

УТИЦАЈ НЕКИХ ХИДРОЛОШКО-ХИДРАУЛИЧКИХ ПАРАМЕТАРА НА ТРАНСПОРТ ВУЧЕНОГ НАНОСА

ВОЈИСЛАВ ЂЕКОВИЋ
ГРОЗДАНА ГАЈИЋ

Извод: Продукција ерозионог материјала из неког слива зависи од низа фактора, а пре свега од стања и очуваности вегетације, врсте геолошко-педолошке подлоге, енергетског потенцијала падавина у сливу и енергетског потенцијала образованих површинских токова. Транспорт наноса од места настанка у низводном смеру водотока одвија се под утицајем силе гравитације и турбулентних карактеристика водотока. У раду су приказани резултати истраживања утицаја хидролошко-хидрауличких чинилаца на покретање речног наноса из профила Гвоздачке реке и њених притока на Гочу.

Кључне речи: гранулометријски састав наноса, вучени нанос, и вучне силе тока.

THE EFFECT OF SOME HYDROLOGIC-HYDRAULIC PARAMETERS ON BEDLOAD TRANSPORT

Abstract: Production of erosion material in a drainage basin depends on various factors, primarily on the condition and preservation of vegetation, type of geological-soil base, energy potential of precipitation in the drainage basin and energy potential of the formed surface flows. Bedload transport from the place of origin in downstream direction is affected by gravity force and by the turbulent characteristics of the channel. This paper presents the research results on the effect of hydrologic-hydraulic factors on sediment movement from profile of the river Gvozdačka Reka and its tributaries on Mt. Goč.

Key words: particle size composition of sediment, bedload, tractive forces

1. УВОД

Кретање ерозионог материјала је процес који непрекидно траје са мањим или већим интензитетом, а у директној је вези са осцилацијама нивоа воде у протицајном профили водотока. Кретање наноса је врло сложен природни процес чије проучавање изискује примену готово свих савремених метода научног истраживања у области механике флуида, турбулентног кретања воде и стохастичке анализе појаве великих вода и транспорта наноса кроз хидрографску мрежу слива. Изучавање кретања вученог наноса присутно је дуго као научна дисциплина, али још увек нема адекватних решења у стручној примени за решавање инжењерских проблема, Г р и г о р и ј е, М. (1995):

Мерење проноса суспендованог наноса на одабраним хидрометријским профилима обавља се по уобичајеној процедури. Суспендовани нанос се проноси у свим хидролошким условима. У сваком природном водотоку, у зависности од његових општих турбулентних својстава, постоји мањи или већи

др Војислав Ђековић, редован професор, Шумарски факултет, Београд
др Гроздана Грујић, ванредни професор, Шумарски факултет, Београд

део финијих (ситнијих) фракција које не могу да падну на дно и не дижу се са дна у суспензији, јер их нема у саставу речног дна.

Међутим, вучени нанос је категорија наноса која се периодично креће и углавном у таласу великих вода. Кретање вученог наноса је могуће контролисати и заустављати у профилима које пројектант одреди. Не постоји строга граница по крупноћи и тежини између фракција вученог и суспендованог наноса. Поједине фракције у неким хидролошким условима крећу се као фракције вученог наноса, а у другим, при повећању протицаја фракције које су се до тада кретале као вучени нанос, прелазе под утицајем турбулентног тока у суспендовани нанос.

У области управљања наносом не може се ништа квантитативно рачунати без података мерења на терену. То не би било могуће чак ни применом сложених динамичких једначина најопштијег типа под претпоставком да су оне аналитички решиве, и тада би били потребни подаци мерења из природних водотока као улазни или контурни услови.

Да би се учинио бар минимални допринос решавању услова покретања наноса у природним водотоцима вршена су истраживања у наставној бази Шумарског факултета на Гочу, на главном току Гвоздачке реке и њеним притокама, на експерименталној деоници дужине око 250 m.

Изворишне притоке Гвоздачке реке; Бела и Преровска река, доносе из слива до зоне студенског насеља на Гочу велике количине ерозионог материјала и са њиме затрпавају изведене попречне објекте у кориту водотока. Сливови ових водотока налазе се под вегетационим покривачем доброг склопа и покровности >95%, тако да нема видљивих трагова плувијалне ерозије у сливу, изузетак су шумске влаке, Л е т и ћ, Љ. (1983).

Међутим, у процесу флувијалне ерозије настаје органо-минерални нанос којег водоток перманентно и периодично покреће кроз хидрографску мрежу слива. Овај нанос се депонује у залеђу природних препрека или у залеђу подигнутих попречних објеката. Основна намена ових попречних објеката у хидрографској мрежи слива је заштита водозахвата и очување квалитета воде за низводне кориснике.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

За одређивање граничних услова покретања вученог ерозионог материјала коришћена је метода Мајер-Петер-Милера, и то за одређивање критичне вучне силе. Упоређивањем стварних вучних сила са критичним, одређене су фазе покретања ерозионог материјала различитих димензија и начин његовог кретања кроз хидрографску мрежу водотока. Теренске методе обухватиле су снимања протицаја воде у главном току и притокама. При томе, узимани су узорци наноса за одређивање гранулометријског састава и запреминске и специфичне тежине. Такође, на овим узорцима вршено је испитивање осталих геомеханичких карактеристика, угла унутрашњег трења и кохезије.

На основу геодетских снимања дефинисана је морфологија природног корита, попречни профили, пад дна и пад огледала воде. Начин кретања наноса (*суспендовани и вучени*) у директној су вези са крупноћом фракција наноса и њиховом специфичном тежином, а поред тога, у вези су са трубулентним режимом водотока и стварним вучним силама у водотоку. Критичне вучне силе према МПМ, дефинисане су у зависности од специфичне тежине

наноса, густине воде и средњег пречника наноса са криве гранулометријског састава 50% учешћа.

$$\tau_{cr} = 0.047 \cdot g(\rho_s - \rho_w) d_{sr} \text{ kN/m}^2$$

Где су:

τ_{cr} - критични тангентијални напон;

g - убрзање гравитације;

ρ_s - специфична тежина наноса;

ρ_w - густина воде;

d_{cp} – средњи, (меродавни) пречник наноса.

У овим истраживањима пажња је усмерена на услове при којима долази до покретања фракција наноса из структуре дна речног корита при различитим хидролошким условима, и када која фракција почиње да се креће и при којим стварним вучним силама као вучени нанос.

Стварна вучна сила дефинисана је релацијом:

$$\tau_o = \rho_w \cdot g \cdot h_{max} \cdot J$$

Где су:

τ_o - стварни тангентијални напон;

g - убрзање гравитације;

ρ_w - густина воде;

h_{max} – максимална дубина воде у хидрометријском профилу водотока;

J - пад огледала воде.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У анализи услова покретања вученог наноса вршена су следећа истраживања:

- а) геомеханичка анализа ерозионог материјала из профила речног корита;
- б) хидролошке анализе водотока;
- в) хидрауличке анализе транспорта наноса;
- г) морфолошка анализа речног корита.

а) Геомеханичка анализа ерозионог материјала из профила речног корита

Геолошку подлогу слива Гвоздачке реке чине: серпентини, серпентинити, перидотити међусобно измешани, зрнасте и једре структуре, масивни, често испресецани пукотинама и водопропустљиви, а затим дацити и андезити, углавном терцијерне старости, порфири и порфирити мезозојске старости често масивни и водонепропусни.

У процесу распадања и ерозионог разарања геолошке подлоге као крајњи продукти настају ситнији ерозиони материјали који се у процесу хидрауличног транспорта крећу претежно као суспендовани нанос.

У циљу одређивања геомеханичких карактеристика ерозионог материјала узети су узорци и извршена је гранулометријска анализа материјала, запреминска и специфична тежина, кохезија и угао унутрашњег трења.

в) Хидрауличке анализе транспорта наноса

Покретање ерозионог материјала у водотоковима одвија се периодично у таласима великих вода. Речни нанос се дели према начину кретања на вучени и суспендовани. Тангентијални напони (потискујућа сила) јављају се по целокупном оквашеном обиму протицајног профила, при чему су највећи на месту највеће дубине водотока, Јевтић, Љ., Ђековић, В., Ристић, Р. (1995):

Познато је да је брзина воде при дну равна нули, (због вискозности воде), али се при малој удаљености брзо мења. Како се за брзину по дну узима она брзина која се јавља на удаљености од $0.04X$ од дна, брзина воде по дну се добија у односу на средњу брзину тока.



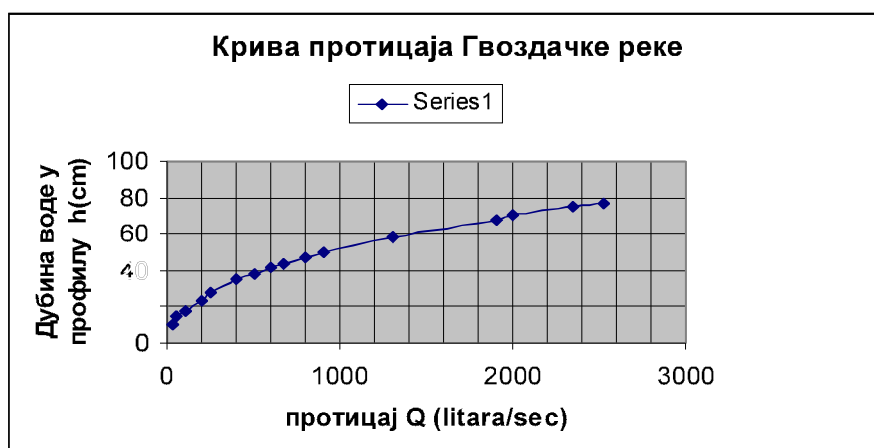
Слика 1 - Гвоздачка река при протицају $Q=2.49 \text{ m}^3/\text{sec}$
Figure 1 - Gvozdačka Reka during the discharge $Q=2.49 \text{ m}^3/\text{sec}$

Tabela 1 - Измерени протицаји у главном току и притокама (10-12). 05. 2006. год.
Table 1 - The Measured Discharges in Main Stream and Tributaries

Преровска река	Водотоци	
	Бела река	Гвоздачка река
$Q \text{ (m}^3/\text{sec)}$	$Q \text{ (m}^3/\text{sec)}$	$Q \text{ (m}^3/\text{sec)}$
0.110	0.120	0.230
0.219	0.198	0.417
0.215	0.235	0.450
0.215	0.785	1.000
0.215	1.785	2.000
0.215	2.285	2.500

$$V_o = V_p \cdot \eta^k = 1.20 V_{sr} \cdot 0.04^{0.20} = 0.63 V_{sr} \cdot (m^3/c).$$

Гранична потискујућа сила је она сила при којој се још не креће нанос одређене крупноће и запреминске масе. Уколико је нанос крупнији, утолико је потребна већа потискујућа сила да га покрене. Како је тангентијални напон везан за дубину тока и пад огледала воде, а ове величине за протицај, то се може при сваком протицају у речном кориту одредити не само проносна моћ водотока за нанос, него и величина зрна која се при таквим условима може покретати.



Слика 2 - Крива протицаја Гвоздачке реке на профилу водозахвата за рибњак
Figure 2 - Discharge curve of Gvozdacka Reka at the profile of fishpond intake

Одређивање проноса вученог наноса је мукотрпан посао и теоријски још увек у потпуности неразрађен. Анализа узрока, стварања и покретања крупнијих фракција наноса је много тежа и захтева теренске истражне радове, јер не постоји устаљена методологија која може да пружи задовољавајуће резултате. Кретање вученог наноса одвија се по дну речног корита и углавном у таласима великих вода.

Ова истраживања се заснивају на анализи једначине Мајер-Петер-Милера.

$$\tau_{cr} = 0.047 g(\rho_s - \rho) d_{sr} \text{ kN/m}^2$$

Једначина је добијена експерименталним мерењима и истраживањима проноса наноса у планинским рекама, а дефинише граничне вредности вучне силе за покретање наноса средњег пречника са гранулометријске криве. На основу ове једначине, могуће је дефинисати критичне тангентијалне напоне за фракције 10% - 90%, учешћа наноса у структури речног дна.

Упоредивањем максималних тангентијалних напона (стварних), са критичним напонима могу се одредити фазе покретања појединих фракција у различитим хидролошким условима.

На деоници низводно од водозавата као мерног објекта изабрана је права деоница водотока дужине 250 m. На тој деоници постављене су градуиране летве за читавање дубине у сваком дијапазону протицаја. Снимљени

су попречни протицајни профили. Константовано је да се димензије и пад дна корита не мењају и да су константни као и остали хидраулучки параметри дуж водотока (*кривина наноса и коефицијент отпора*). Са криве протицаја на мерном профилу дефинисани су протицаји приликом испуштања воде из акумулације.

С обзиром да се симулација протицаја великих вода на овој деоници може понављати више пута у току дана (*испуштањем воде из акумулације*), експерименти су врло значајни за регион брчко планинских токова. На основу анализе геомеханичких карактеристика ерозионог материјала из профила Гвоздачке реке, констатована је запреминска маса наноса од:

$$\rho_s = 2.054 \text{ k/m}^3 \quad \tau_{cr} = 0.047 \cdot g(\rho_s - \rho_w) d_{sr} \quad (\rho_s - \rho_w) = 1.054 \text{ k/m}^3$$

Стварна вучна сила у профилу водотока дефинисана је релацијом:

$$\tau_o = \rho_v \cdot g \cdot h_{mah} \cdot J$$

Табела 2 - Фазе покретања наноса из профила Гвоздачке реке

Table 2 - The Aggradation Movement Phases From Gvozdacka River Profile

Протицај (Q) l/sec	Меродавни пречник наноса (mm)									τ_{cr} kN/m ²	o kN/m ²	Дубин. Воде у профилу m
	d10	d20	d30	d40	d50	d60	d70	d80	d90			
125	3									0.0138	0.0472	0.21
216		9.0								0.0437	0.0539	0.24
230			17							0.0826	0.0564	0.25
417				28						0.1360	0.0808	0.36
450					39					0.1895	0.0819	0.365
1000						51				0.2478	0.1213	0.54
2000							80			0.3887	0.1582	0.703
2490								105		0.5103	0.1703	0.76
2500									116	0.5637	0.1724	0.767

На основу предходне анализе (табела 2), из профила Гвоздачке реке при протицају од $Q=2.5 \text{ m}^3/\text{sec}$, покренуће се све фракције пречника мањег од $d<39 \text{ mm}$, док остале фракције мирују. Упоређивањем стварних вучних сила са критичним вучним силама, може се закључити да су стварне вучне силе мање од критичних у дијапазону анализираних протицаја на овој деоници водотока, те да се у профилу водотока неће појавити процеси флувијалне ерозије. Фракције наноса пречника $d<39 \text{ mm}$, проносе се протицајним профилем при протицајима ($Q>2.50 \text{ m}^3/\text{sec}$), углавном као вучени нанос. Фракције наноса ($d=3 \text{ и } 9 \text{ mm}$), крећу се при протицајима од $Q=125$ до $Q=216 \text{ l/sec}$. У тим условима дубина воде креће се од 21 до 24 cm .

г) морфолошка анализа речног корита.

Морфолошке анализе обухватиле су геодетска снимања речног корита у зони Наставне базе на Гочу на дужини 250 m низводно од водозавхвата за Рибњак (слика 2). У том смислу вршена су снимања попречних профила и снимање уздужног профила водотока. Може се констатовати да су површине протицајних профила уједначене, са дужином у дијапазону од (21-76 cm), док је ширина огледала воде при максималном протицају око 3.80m. Подужни пад корита водотока једнак је паду огледала воде на овој деоници и износи: $J = 2.29\%$, Ђековић, В. (1993):

Да би се обезбедила општа стабилност протицајног профила, обале су заштићене са крупним блоковима камена којег водоток ни при максималним протицајима не може да покрене. У међувремену, између крупних блокова камена никла је вегетација врбе, тако да се може констатовати да се регулисана деоница одржава као биорегулација у природним, стабилним условима. Хидраулички транспорт вученог наноса одвија се по дну протицајног профила, где су и највећи тангенцијални напони тока, условљени највећом дужином воде у профилу корита, Ђековић, В. (1997):

$$\tau_o = \rho_v \cdot g \cdot h_{mah} \cdot J$$

4. ЗАКЉУЧЦИ

- транспорт речног наноса протицајним профилем водотока је хидролошко-хидрауличка категорија која је условљена с једне стране крупноћом наноса и запреминском тежином;
- покретање ерозионог материјала из профила речног корита зависи од хидрауличких параметра тока, брзине кретања воде и вучних сила тока;
- у процесу хидрауличног транспорта наноса одлучујућу улогу има састав и крупноћа наноса, а затим турбулентни режим тока, протицај воде, морфолошки параметри тока дубина воде у профилу и пад огледала воде;
- да би се пројектним решењима одабрала адекватна заштита протицајног профила од појава флувијалне ерозије речног корита, мора се извршити геомеханичка анализа материјала из протицајног профила: гранулометријска анализа ерозионог материјала, кохезија, угао унутрашњег трења, запреминска тежина сува и у потопљеним условима;
- покретања фракција одређеног пречника, као и фазе када и под којим условима је потребно вршити заштиту протицајног профила од ерозионих процеса, као и коју врсту материјала изабрати за облагање и изградњу појединих типова регулационих објеката.

ЛИТЕРАТУРА

- Б е к о в и ћ, В. (1997): „Пројектовање у бујичарству“ Универзитетски уџбеник, Шумарски факултет, Београд.
- Б е к о в и ћ, В. (1993): „Истраживање законитости морфолошких законитости малих водотока“ Докторска дисертација. Шумарски факултет, Београд.
- Л е т и ћ, Јб. (1981): магистарски рад „Ретензиона улога шуме у отицању воде и наноса“, Шумарски факултет, Београд.
- Ј е в т и ћ, Јб, Ђ е к о в и ћ, В, Р и с т и ћ, Р. (1995): „Истраживање интензитета засипања наносом акумулације на Гочу“. Зборник радова Конференције југословенског друштва за заштиту вода Србије „Заштита вода 95“. Тара.
- „Области бујичних токова“, Универзитетски уџбеник, Шумарски факултет, Београд.
- Б р у к, С. (1970): „Теоријска разматрања у области механике кретања речних наноса“. Семинар Ерозија, Бујични токови и нанос, Београд.
- Г р и г о р и ј е, М. (1995): „Шумско хидролошка студија слива Гвоздачке реке са освртом на водне потенцијале Врњачка Бања“.
- Гајић, Г. (2004): „Лабораторијска геотехничка испитивања“, Помоћни Универзитетски уџбеник, Шумарски факултет у Београду.

THE EFFECT OF SOME HYDROLOGIC-HYDRAULIC PARAMETERS ON BEDLOAD TRANSPORT

*Vojislav Đeković
Grozdana Gajić*

Summary

The conditions causing sediment detachment from river bed were researched in the river Gvozdačka Reka within the teaching centre on Mt. Goč. Based on this and similar researches, it is possible to predict the way of bedload transport and the effects of sediment on the creation of various morphological forms of the channel, also sediment discharge during the peak flood. For this purpose, the critical tractive forces were researched at the profiles of the rivers Bela, Prerovska Reka and Gvozdačka Reka on Goč, in the aim of determining the threshold forces causing sediment transport of different particle sizes. Critical tractive forces are defined in the function of sediment particle-size distribution. By comparing the real with critical tractive forces, it is possible to determine the transport phases of every fraction from the structure of river bed.