

АНАЛИЗА ФОРМУЛА ЗА ПРОРАЧУН ПАДА ЗАПЛАВА ПРЕГРАДЕ БР. 3 У РЕЦИ ЈАБЛАНИЦИ

THE ANALYSIS OF THE FORMULAS FOR ESTIMATING THE SLOPE OF SILTATION OF CHECK DAM NO. 3 IN THE RIVER JABLANICA

Томислав Стефановић^{1*}, Наталија Момировић¹, Станимир Костадинов², Владо
Чокеша¹, Горан Чешљар¹, Зоран Милетић¹

¹Институт за шумарство, Кнеза Вишеслава 3, 11030 Београд

²Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд

Извод

Таложњем наноса у акумулационом простору узводно од изграђене преграде у кориту бујичног водотока, формира се депонија наноса која се назива заплава. Пад горње површине наталоженог материјала је пад заплава. Потреба праксе за одређивањем вредности ове величине резултирала је бројним формулама за прорачун пада заплава. У овом раду су анализирани и проверени неке од њих, најчешће примењиване у пракси. Вредности величина пада заплава које су добијене обрачуном по формулама различитих аутора упоређене су са вредношћу добијене премером формираног заплава преграде бр.3 у реци Јабланици. Најмањим одступањима од измерене вредности резултирала је примена модела регионалне аналитичке зависности за реку Јабланицу (вишефакторски модел). Минимална одступања имају регионална аналитичка зависност за слив Трговишког Тимока и формула Velikanov-а, а задовољавајући су и резултати примене регионалне аналитичке зависности за слив реке Топлице и за Грделичку клисуру, као и формуле Jaggy-а и Valtyni-а. Овим радом потврђена је исправност опредељења да се пад заплава одређује на основу регионалних аналитичких зависности заснованих на теренским истраживањима на већ формираним заплавама.

Кључне речи: **преграда, пад заплава, пад тока, нанос.**

Abstract

By depositing the aggradation in the accumulation space upstream from the built-up check dam in the stream of a torrent, a deposition of the aggradation, called the siltation, is formed. The slope of the upper surface of the deposited material is a slope of siltation. The need of practice for determining the size of this phenomenon has resulted in numerous formulas for estimating the slope of siltation. In this paper, some of them which are most commonly applied in practice are analyzed and tested. The values of the slope of siltation sizes obtained by the calculation according to the formulas of different authors are compared with the value obtained by the measured value of the formed siltation of check dam No. 3 in the Jablanica River. The lowest deviations from the measured value had the application of the regional analytical dependency model for the Jablanica River (a Multi-Factor model). Minimal deviations had Velikanov's formula which was a regional analytical dependence for the Trgoviški Timok basin, and the results of the Jaggy's and Valtyni's formulas, the regional analytical dependence for the Toplica

¹ * coma958@gmail.com

basin and the Grdelica Gorge, were acceptable. This paper confirms that the best approach for determining the slope of siltation is according to regional analytical dependencies which are based on field research on already formed siltation.

Keywords: check dam, slope of siltation, stream gradient, aggradation

УВОД

Таложењем наноса у акумулационом простору узводно од изграђене преграде у кориту бујичног водотока, формира се депонија наноса која се назива заплав. Количина задржаног наноса у заплаву зависи од корисне висине објекта, хидрауличких и геометријских карактеристика корита.

Пад горње површине наталоженог материјала је пад заплава. Због сложености процеса формирања заплава, пад заплава је показатељ збирног утицаја бројних чинилаца, од којих су најзначајнији: природни пад тока, критична брзина воде, дубина тока, запреминска маса бујичне воде, гранулометријски састав наноса и многи други.

Величина пада заплава представља значајан фактор при одређивању локација за изградњу објеката и одлучујући фактор при одређивању растојања између преграда када се оне пројектују у систему. Потреба праксе за одређивањем вредности ове величине резултирала је бројним формулама за прорачун пада заплава. Практично то су формуле за одређивање пада изједначења у специфичним условима бујичног корита са изграђеним попречним објектима.

У овом раду су анализиране и проверене неке од њих, најчешће примењиване у пракси. Вредности величина пада заплава које су добијене обрачуном по формулама различитих аутора упоређене су са вредношћу добијене премером формираног заплава преграде бр.3 у реци Јабланици (слика 1).



Слика 1. Преграда бр.3 у реци Јабланици

Figure 1. Check dam No. 3 in the Jablanica River

ОБЈЕКАТ ИСТРАЖИВАЊА И МЕТОД РАДА

Слив реке Јабланице припада брдско-планинском делу западне Србије, југозападно од града Ваљева, а северно од планинског низа Медведник-Јабланик-Повлен. Сливно подручје има развијену хидрографску мрежу чију основу представљају Јабланица и њена највећа притока Сушица. Река Јабланица настаје од бројних планинских потока, тече углавном ка североистоку, а узводно од Ваљева спаја се са Обницом чинећи реку Колубару.

Слив Јабланице карактерише веома хетерогена геолошка грађа. Ова река, са својим притокама, усекла се у стене различите геолошке грађе и старости, и њихова заступљеност је неједнака, стим што доминирају кречњаци који заузимају две трећине укупне територије сливног подручја. Дијабаз-рожначка формација заузима знатне површине југозападног и јужног дела овога слива (глинци, пешчари, рожнаци, конгломерати, брече).

Разноврсна геолошка подлога условила је формирање и разноврсних типова земљишта, а најзаступљенији су, сходно геолошкој подлози, смеђе земљиште на дијабазрожначкој формацији и црница на кречњаку.

Стање начина коришћења земљишних ресурса указује да се на подручју слива реке Јабланице, под шумама различитог квалитета и шумском вегетацијом налази приближно половина површине сливног подручја, што је и разумљиво, с обзиром да предметни слив обухвата и два планинска масива погодних за развој шумске вегетације. У оквиру пољопривредних површина најзаступљеније су ливаде и пашњаци, а затим оранице и баште.

Предмет овога рада је преграда пројектована као преграда бр.3 на km 16 + 072 (Idejni projekat mera za zaštitu zemljišta od erozije i uređenje bujica u slivu reke Jablanice, S.O. i S.S. Valjevo, 1964.). Дефинисана је координатама 7 399 967,30 и 4 898 651,50 километарске координатне мреже и налази се на 420 m узводно од улива реке Сушице. Преграда је корисне висине од 4,00 m, изграђена је са зубом и подслапљем од камена у цементном малтеру.

Информације о условима који су владали у сливу и водотоку пре његовог уређења (изградње објекта) добијени су анализом постојеће техничке документације. На тај начин добијени су подаци о уздужном профилу и паду природног корита пре изградње објекта.

Теренским истраживањима анализирано је садашње стање објекта и корита бујичног водотока. На основу обављених геодетских снимања конструисан је уздужни профил заплава и срачунати су просечан пад заплава и остали хидраулички параметри неопходни за прорачун пада заплава по појединим формулама.

За потребе гранулометријске анализе на терену је узет узорак наноса из заплава преграде. Узорак је узет са површине од 1,0 m² (1,0x1,0), до дубине највећег зрна, према методологији Lea Skatule (Velojić, M. 2002). Просејавањем кроз серију сита пречника од 100 mm до 0,1 mm и мерењем узорака формирана је гранулометријска крива са које су детерминисане вредности карактеристичних пречника зрна наноса које са примењују у појединим формулама.

За обрачун пада заплава примењене су формуле које се најчешће употребљавају у пракси код нас и у иностранству и то: Thiery-a, Pimpirev-a, Valentini-a, Jaggya, Valtyni-a, Chezy-a, Šamov-a,

Strikler-a, Krey-a, Lane-a, Mirzazage-a, Schields-a, Egiazarova, Mayer-Peter-a (Kostadinov, S., 1989). Такође, обрађене су и неке формуле регионалних аналитичких зависности: зависност Biolčev-a за територију јужне Бугарске, аналитичка зависност за Грделичку клисуру и Врањску котлину (Kostadinov, S., 1987), део слива реке Дрине на сектору Љубовија-Бајина Башта (Todosijević, M., 2005), слив реке Топлице (Kostadinov, S. i sar., 2011), слив Трговишког Тимока (Bilibajkić, S., 2011) и слив реке Јабланице (Stefanović, T., 2016).

Применом наведених формула, узимајући у обзир измерене параметре, срачунат је пад заплава преграде бр.3 у реци Јабланице према свакој од њих, чиме су добијени релевантни параметри за њихово поређење.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

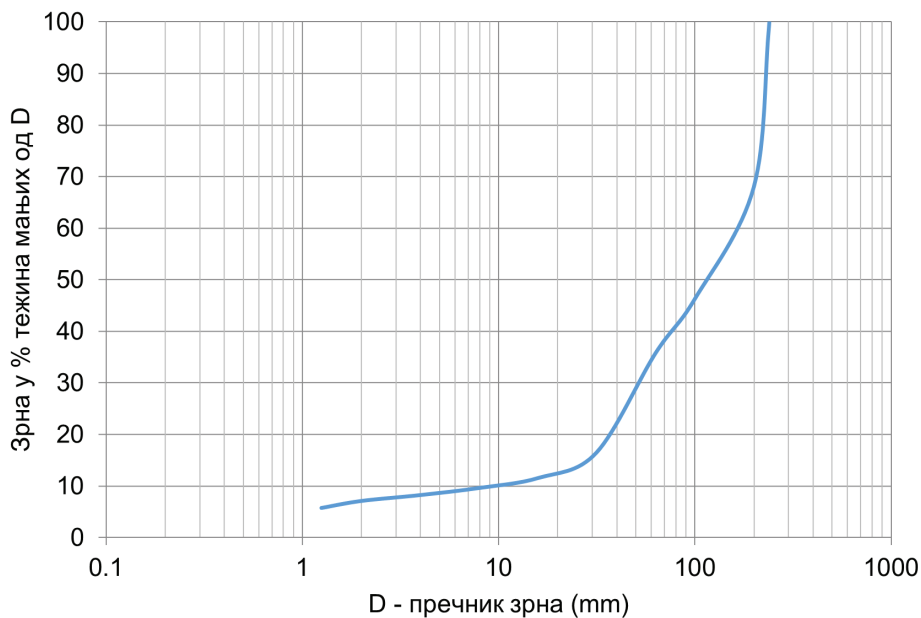
Обрадом података извршених геодетских снимања и конструкцијом подужног профила констатовано је да је узводно од изграђене преграде бр.3 у реци Јабланице формиран заплав дужине око 826 m, са просечним падом $I_z = 1,30$ %. Располагава техничка документација указује да је пад природног корита, на тој деоници, пре изградње објекта, износио $I_t = 1,78$ %. Изградњом ове преграде, корисне висине $h_k = 4,0$ m задржано је укупно $W = 28.800,00\text{m}^3$ наноса.

У циљу прикупљања неопходних података, односно потребних параметара, за примену свих формула за прорачун пада заплава, урађена је гранулометријска анализа наноса из формираног заплава. Као резултат ове анализе образована је гранулометријска крива (графикон 1.), са које су утврђене вредности карактеристичних пречника наноса (табела 1.). У наносу доминира ситан камен $d_{sr} = 117,3$ mm. Вредност коефицијента неуједначености наноса према Allen-Hazen-у $U = 16,79$ указује да је узорак, односно нанос који сачињава заплав ове преграде, по крупноћи нехомоген (Popović, M., Kostadinov, S., 1987).

Теренским и лабораторијским истраживањима и прорачунима добијени су хидраулички параметри тока:

- Површина попречног пресека	$F = 24,80 \text{ m}^2$
- Оквашени обим	$O = 20,22 \text{ m}$
- Хидраулички радијус	$R = 1,226 \text{ m}$
- Средња дубина тока	$h = 1,59 \text{ m}$
- Средња брзина воде	$V_{sr} = 4,28 \text{ ms}^{-1}$
- Коефицијент рапавости по Maning-y	$n = 0,03$
- Коефицијент брзине по Maning-y	$C = 34,49$
- Коефицијент бујичности тока	$K = 0,84$
- Средња висина рапавости корита	$\Delta_{sr} = 14,4 \text{ cm}$
- Запреминска маса чисте воде	$\rho = 1,00 \text{ tm}^{-3}$
- Средња запреминска маса бујичне воде	$\rho_0 = 1,19 \text{ tm}^{-3}$
- Средња запреминска маса наноса	$\rho_n = 2,62 \text{ tm}^{-3}$
- Коефицијент трења наноса о подлогу	$f = 0,75$

Уврштавањем измерених и срачунатих параметара у формуле у којима фигурирају, обрачунат је пад заплава преграде бр.3 у реци Јабланици према свакој од помињаних формула различитих аутора. Обрачунате вредности упоређене су са стварним, на терену измереним, падом заплава. Резултати спроведених прорачуна приказани су у табели 2 и на графикону 2.



Графикон 1. Гранулометријска крива наноса

Chart 1. Particle-size distribution curve

Табела 1. Карактеристични пречници наноса d (mm)

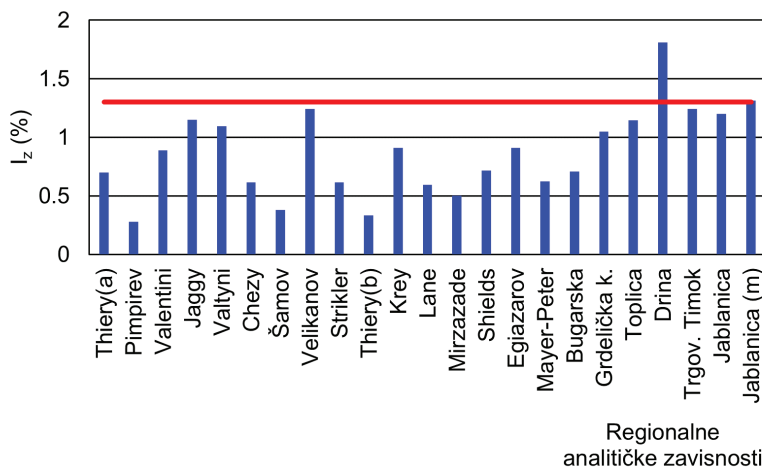
Table 1. Characteristic sediment diameters d (mm)

d_5	d_{10}	d_{25}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{75}	d_{90}	d_{95}	$d_{97,5}$	d_{max}	d_{sr}	d_e
1,1	9,7	45,5	53,7	117,3	163,3	208,8	227,5	233,8	236,9	240,0	117,3	122,0

Табела 2. Резултати прорачуна пада заплава

Table 2. Results of calculated values of slopes of siltation

Ред. број	Метода	Пад заплава		Одступања	
		Срачуната вредност	Стварна вредност	Апсолутна	Процентуална
		%	%	%	%
1.	Thiery(a)	0,70	1,30	-0,60	-46,10
2.	Pimpirev	0,28	1,30	-1,02	-78,70
3.	Valentini	0,89	1,30	-0,41	-31,55
4.	Jaggy	1,15	1,30	-0,15	-11,47
5.	Valtyni	1,09	1,30	-0,21	-15,80
6.	Chezy	0,62	1,30	-0,68	-52,66
7.	Šamov	0,38	1,30	-0,92	-70,68
8.	Velikanov	1,24	1,30	-0,06	-4,52
9.	Strikler	0,62	1,30	-0,68	-52,64
10.	Thiery(b)	0,33	1,30	-0,97	-74,37
11.	Krey	0,91	1,30	-0,39	-30,09
12.	Lane	0,59	1,30	-0,71	-54,33
13.	Mirzazade	0,50	1,30	-0,39	-29,72
14.	Schildes	0,72	1,30	-0,58	-44,81
15.	Egiazarov	0,91	1,30	-0,39	-29,90
16.	Mayer-Peter	0,62	1,30	-0,68	-52,16
17.	Бугарска	0,71	1,30	-0,59	-45,55
18.	Грделичка к.	1,05	1,30	-0,25	-19,49
19.	Топлица	1,14	1,30	-0,16	-11,94
20.	Дрина	1,81	1,30	0,51	39,34
21.	Тргов. Тимок	1,24	1,30	-0,06	-4,33
22.	Јабланица	1,20	1,30	-0,10	-7,75
23.	Јабланица (m)	1,31	1,30	0,01	0,91



Графикон 2. Вредности пада заплава по формулама различитих аутора

Chart 2. Values of the slope of siltation according to the formulas of different authors

АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Преграда бр.3, на km 16 + 072 у реци Јабланици испунила је своју основну улогу задржавања наноса у акумулационом простору. Њеном изградњом и таложењем наноса узводно од ње, формиран је моћан заплав дужине око 826 m. Формирани заплав има просечни пад $I_z = 1,30$ % што је 73 % од пада корита $I_t = 1,78$ %, у зони објекта, пре његове изградње.

Увидом у резултате прорачуна пада заплава, према формулама различитих аутора, може се закључити да је само вредност пада заплава обрачуната на основу регионалне зависности за део слива реке Дрине већа од стварно измерене вредности пада заплава. Остале формуле резултирале су мањим вредностима пада заплава од измерене. Ова одступања крећу се до 78 % од измерене вредности.

Најмањим одступањима од измерене вредности резултирала је примена модела регионалне аналитичке зависности за реку Јабланицу (вишефакторски модел), што је и очекивано с обзиром да се тестирана преграда и заплав налазе у сливу у коме је формула и дефинисана.

Коректним резултатима резултирале су и регионална аналитичка зависност за слив Трговишког Тимока и формула Velikanov-a чија су одступања мања од 5 %.

Задовољавајућим, са одступањима мањим од 20 %, могу се сматрати и резултати примене регионалне аналитичке зависности за слив реке Топлице и за Грделичку клисуру, као и формуле Jaggy-a и Valtyni-a.

Задовољавајући резултати примене појединих формула регионалних аналитичких зависности вероватно се могу приписати сличности услова у којима су формиран истраживани заплави, првенствено сличности гранулометријских састава наноса. Прост (simple) модел зависности пада заплава од пада природног корита дефинисан за слив

Трговишког Тимока резултирао је бољим резултатом од простог модела за слив на коме се налази истраживани заплава.

Насупрот очекивању, регионална аналитичка зависност за слив реке Дрине, који је географски најближи истраживаном подручју, дала је резултат са скоро 40 % одступања од стварно измерене вредности. Ова одступања вероватно се могу приписати великим разликама у конфигурацији рељефа, односно формула за слив Дрине дефинисана је на теренима са много већим нагибима од оног у зони истраживаног заплава (Todosijević, M., 2005).

Увидом и у резултате сличних истраживања (Kostadinov, S., 1989; Velojić, M., Stefanović, T., 2002; Bilibajkić, S. i sar., 2009; Bilibajkić, S. i sar., 2010), где су се као меродавне за прогнозу пада заплава потврђивале формуле различитих аутора, није могуће донети заједнички закључак, одредити се за најкоректнију и препоручити једну формулу која се најбоље прилагођава свим подацима са терена. Ова разноликоост резултата само потврђује потребу за теренским истраживањима на већ формираним заплатама, чиме би се добило више формула аналитичких зависности, али прилагођених локалним условима. Овако формиране формуле аналитичке зависности имале би регионални карактер, али би омогућавале знатно тачнији прорачун пада заплава.

Коректни резултати примене формула Jaggy-a и Valtyni-a које су базиране на формули Valentini-a отварају простор и за усмеравање пажње (истраживања) на константу у формули Valentini-a. Одређивање вредности константе у формули Valentini-a, на основу теренских истраживања на већ формираним заплатама, могао би бити пут за решавање проблема прогнозе пада заплава. На овај начин одређена константа, такође би имала регионални карактер.

ЗАКЉУЧЦИ

Изградњом преграде бр.3 у реци Јабланици формиран је моћан заплава укупне дужине 826 m, са падом $I_z = 1,30 \%$, односно 73 % од пада корита у зони објекта, пре његове изградње.

Нанос у заплаву је нехомоген ($U = 16,7$) и доминира ситан камен $d_{sr} = 117,3 \text{ mm}$.

Обрачунате вредности пада заплава по формулама различитих аутора, мање су од стварног, на терену измереног, пада заплава. Ова констатација не важи само за вредност пада заплава обрачунате на основу регионалне аналитичке зависности за део слива реке Дрине, чија је вредност већа од стварно измерене вредности пада заплава.

Очекивано, с обзиром да се тестирана преграда и заплава налазе у сливу у коме је формула и дефинисана, најмањим одступањима од измерене вредности резултирала је примена модела регионалне аналитичке зависности за реку Јабланицу (вишефакторски модел).

Минимална одступања имају регионална аналитичка зависност за слив Трговишког Тимока и формула Velikanov-a, а задовољавајући су и резултати примене регионалне аналитичке зависности за слив реке Топлице и за Грделичку клисуру, као и формуле Jaggy-a и Valtyni-a.

Потреба за практичним решењем проблема прогнозе пада заплава резултирала је бројним формулама за прорачун пада заплава. Свакако, да истраживања на једном формираном заплаву, не могу бити меродавна за доношење коначне одлуке у избору најмеродавније формуле, али коректни резултати примене регионалних аналитичких зависности потврда су исправности опредељења да се пад заплава одређује на основу регионалних аналитичких зависности заснованих на теренским истраживањима већ формираних заплава. На тај начин добиле би се аналитичке зависности са параметрима прилагођеним локалним условима што би омогућило њихово коришћење за прорачун и прогнозу пада заплава приликом израде техничке документације.

ЛИТЕРАТУРА

Bilibajkić, S., Stefanović, T., Ratknić, M. (2009): Analysis of the Formulas for the Calculation of the Slope of Siltation. International Conference "Land Conservation" – LANDCON 0905, GLOBAL CHANGE – CHALLENGES FOR SOIL MANAGEMENT, From Degradation through Soil and Water Conservation to Sustainable Soil Management, CD ROM Conference Proceedings, Topic 4, May 26-30, 2009., Tara Mountain, Serbia.

Bilibajkić, S., Stefanović, T., Ratknić, M., Braunović, S. (2010): Analysis of Formulas for the Calculation of the Slope of Siltation of Dam No.1 in the Torrent Melo. International Scientific Conference, FOREST ECOSYSTEMS AND CLIMATE CHANGES, Proceedings, Volume 1, pp. 257-264, March 9-10th, 2010., Belgrade, Serbia.

Bilibajkić, S. (2011): Uticaj izvedenih tehničkih i bioloških radova na intenzitet erozionih procesa u slivu Trgoviškog Timoka, Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Beograd.

Kostadinov, S. (1987): Pad zaplava u bujičnim vodotocima jugoistočne Srbije, Erozijska – stručno-informativni bilten br.15, str. 129-133, Beograd.

Kostadinov, S. (1989): Analiza formula za proračun pada zaplava, Šumarstvo br. 3-4, str. 3-17, Beograd

Kostadinov, S., Dragović, N., Zaltić, M., Todosijević, M. (2011): Natural effect of classical check dams in the torrents of the river Toplica drainage basin, Fresenius Environmental Bulletin, 20(4), Parlar scientific publication, Germany, p.p.1102-1108, ISSN: 1- 4619, M 23

Popović, M., Kostadinov, S. (1987): Karakteristike granulometrijskog sastava vučenog nanosa u zavisnosti od geološke podloge u slivu, Šumarstvo br. 3-4, str. 15-23, Beograd.

Stefanović, T., (2016): Efekti protiverozionih radova u slivu reke Jablanice uzvodno od buduće vodne akumulacije "Rovni" Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Beograd.

Todosijević, M., (2005): Efekti poprečnih objekata u bujičnim tokovima sliva reke Drine na sektoru Loznica - Bačevci (14. april 2005.), Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.

Velojić, M. (2002): Prirodni efekti antierozionih tehničkih objekata u slivu reke Nišave, Posebna izdanja, Zadužbina Andrejević, Beograd.

Velojić, M., Stefanović, T. (2002): Analiza zaplava pregrade br.1 u Kusovranskoj reci, Zbornik radova, Institut za šumarstvo, Tom 46-47, str. 139-148, Beograd.

*** (1964): Idejni projekat mera za zaštitu zemljišta od erozije i uređenje bujica u slivu reke Jablanice, S.O. i S.S. Valjevo, Reonska sekcija za zaštitu zemljišta od erozije i uređenje bujica Loznica.