

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ИЗГРАЂЕНИХ ОБЈЕКТА ЗА ЗАШТИТУ АКУМУЛАЦИЈЕ У СЛИВУ ДУБОКИ ПОТОК

АЛЕКСАНДАР АНЂЕЛКОВИЋ¹
ВОЈИСЛАВ ЂЕКОВИЋ
МИЛИЦА ЦАКОВИЋ
НИКОЛА ЖИВАНОВИЋ
МИЛОРАД ЈАНИЋ

Извод: У раду је приказана кратка анализа утицаја примењених антиерозионих објеката за заштиту акумулације у сливу Дубоки поток. Изведени објекти налазе се на левој обали акумулације, у непосредној близини огледала воде. Основна намена примењених објеката била је заштита акумулације од ерозионог материјала са долинских страна и из директних притока акумулације. Примарна функција подигнутих објекта, била је контрола и задржавање ерозионог материјала пре уласка у профил акумулације. У извесној мери изведени објекти су испунили основну своју функцију али је анализом установљено да су у доброј мери деградиране. Депонијске преграде нису запуњене наносом као ни плетери, који су у јако лошем стању. На преградама су постављене велике барбокане кроз које се ерозиони материјал неометано кретао све до акумулације. На долинским странама по изохипсама су подигнути плетери који су требали да контролишу површинско спирање ерозионог материјала. С обзиром да се лева долинска страна налази под аутохтоном вегетацијом доброг склопа и покривности плетери су само делимично одиграли своју функцију.

Кључне речи: попречни објекти, преграде, плетери, ерозиони материјал, акумулација, Дубоки поток

A STUDY OF THE EFFECTS OF MANMADE STRUCTURES BUILT TO PROTECT THE
RESERVOIR IN THE DUBOKI POTOK DRAINAGE BASIN

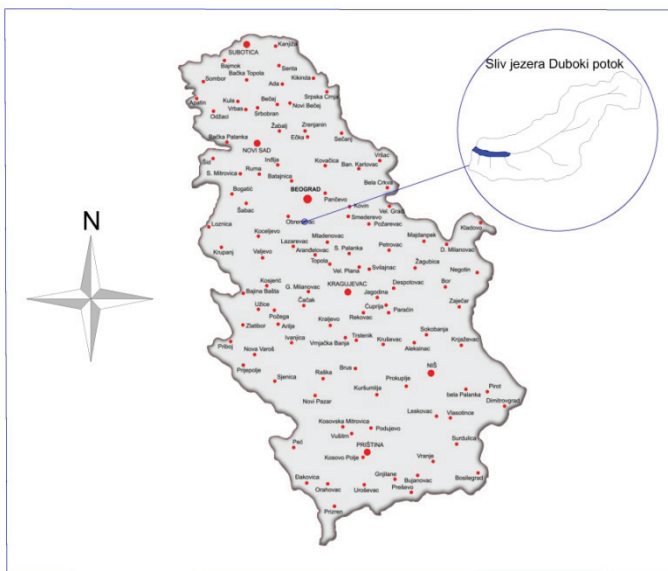
Abstract: The paper presents a brief analysis of the effects of the erosion control structures built to protect the reservoir in the Duboki Potok basin. The structures are located on the left bank of the reservoir, in the immediate vicinity of the water mirror. The main purpose of the applied structures was to protect the reservoir from the erosion material coming from the valley sides and direct reservoir tributaries. The primary function of the structures was to control and retain the erosion material before entering the reservoir profile. To some extent, the constructed structures have served their main purpose, but the analysis has revealed that they are greatly degraded. The storage barriers are not filled with sediment. Neither are the willow spilings which are in a very bad state. The barriers have large pipe outlets through which the erosion material moves smoothly towards the reservoir. Valley sides have willow spilings constructed along the isohels to control the surface erosion. Since the left valley bank is covered with autochthonous vegetation of good canopy closure and coverage, the spilings have only partially served their purpose.

Keywords: transverse structures, barriers, willow spiling, erosion materials, reservoir, Duboki Potok

¹ *Александар Анђелковић, дипл. инж., асистент; др Војислав Ђековић, ред. проф.; Никола Живановић, мастер инж., асистент; Милица Цаковић, дипл. инж.; др Милорад Јанић, ванр. проф.; Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд*

1. УВОД

Слив Дубоког потока налази се у сливу Барајевске реке (слика 1). Поток се улива у Барајевску реку изнад места Барајево, а припада ГЈ „Липовица“, налази се између $44^{\circ}36'49''$ и $44^{\circ}39'39''$ северне географске ширине и $20^{\circ}22'51''$ и $20^{\circ}26'06''$ источне географске дужине (источно од Гринича). По површини, ГЈ „Липовица“ је нешто већа од Авале, али се налази на мањој надморској висини (160-290 m).



Слика 1. Позиција слива (извор: оригинал)
Figure 1 The position of the basin (source: original)



Слика 2. Језеро Дубоки поток (фото: Џаковић, М.)
Figure 2 Duboki Potok Lake (photo: Caković, M.)

Језеро Дубоки поток настало је изградњом бране 1991. године (слика 2). Језеро је дуго око 800 m, широко око 150 m, а водом га снабдева седам притока (потока).

Према подацима из *Основе газдовања шумама за Газдинску јединицу „Липовица“ (2011-2020)*, ова газдинска јединица обухвата површину од 1.234,04 ha. Представља прелазни део између Пиносавске и Рипањске језерске површи, касније уобличен флувијалном ерозијом, који се постепено спушта на север, према Сави, на запад, према Колубари, на југ, према Барајевској реци, и на исток, према Топчидерској реци. Рељеф је обележен постојањем осам басена речних сливова, који се радијално разилазе, у свим правцима, што липовички комплекс чини интересантним хидрографским чвором у околини. Али, и поред мноштва река и потока, овај терен је готово потпуно безводан што је условљено или дубоким нивоом подземних вода или претежно глиновитим саставом педолошке подлоге и доста збијеним земљиштем. Експозиције су различите, од југозападне, преко јужне до источне, североисточне, до чисто северне. Нагиби су врло мали (2-6°), па експозиције немају неког изразитог утицаја на промену флористичког састава и других еколошких фактора, већ само на образовање различитих еколошких варијанти у сливу.

Наведени орографски фактори, заједно са изложеношћу према појединим експозицијама, нагибом и конфигурацијом терена, условљавају појаву станишта сладуна и цера, на јужним и југозападним експозицијама, и само фрагментарно, станишта низијске букве, чије је присуство условљено северним и североисточном експозицијама, као и стрмим и дубоким јаругама, са бројним водотоцима. Букове састојине су овде на доњој граници распрострањења (Cvjetičanin, R. *et al.*, 2016).

Развијени ерозиони процеси у сливу довели су до губитка запремине акумулација, услед седиментације наноса. Овај процес је сложен, а зависи од више различитих фактора, као и граничних услова настанка ерозионог материјала, начина кретања кроз хидрографску мрежу притока до акумулације и начина седиментације у акумулацији. (Đeković, V. *et. al.*, 2015).

Ерозиона продукција наноса у речним сливовима и транспорт наноса у водотоцима представљају две компоненте глобалног природног процеса, који због свог настанка и хидролошких појава има случајни карактер и велики еколошки и водопривредни значај (Đeković, V., 1997).

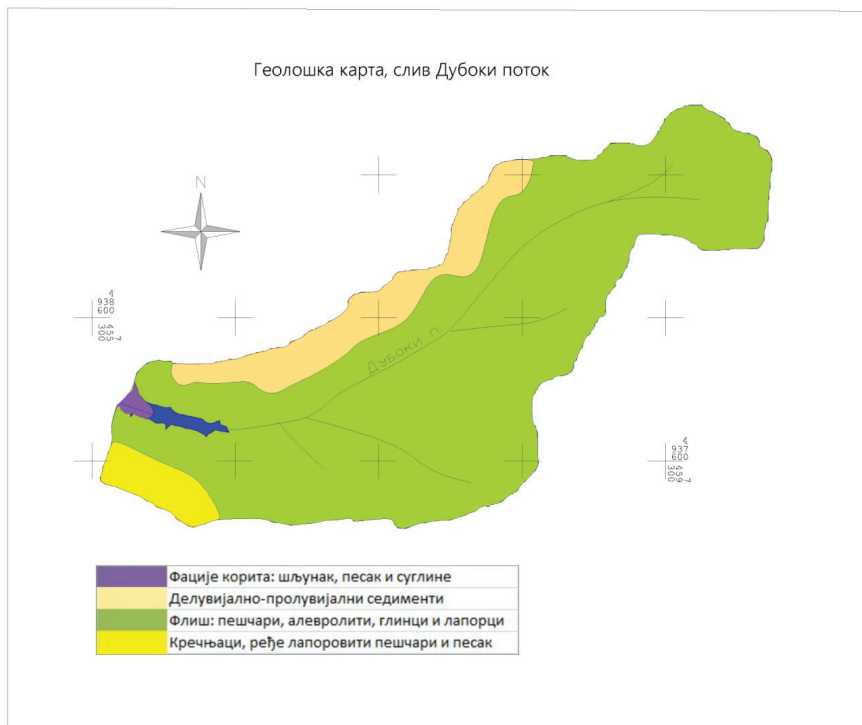
2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Геолошку подлогу слива Дубоки поток чине флиш (84,30%), пешчари, лапорци и лапоровити пешчари у различитим фазама распадања (слика 3). У таквим условима јављају се два типа земљишта: лесивирана гајњача, под климатогеном шумом сладуна и цера и смеђе кисело земљиште, које се образује на геолошкој подлози доломитних и глиновитих пешчара. У оваквим условима јављају се ретке састојине субпланинске букве. Гајњаче представљају распрострањени тип земљишта у Србији. Лесивиране гајњаче су

прилично истражене на подручју Београда и околине. Обрасле су шумама сладуна и цера (слика 4). Храстова заједница утиче на процес лесивирања. Гајњача у различитим фазама, заузима у сливу 90,57%.

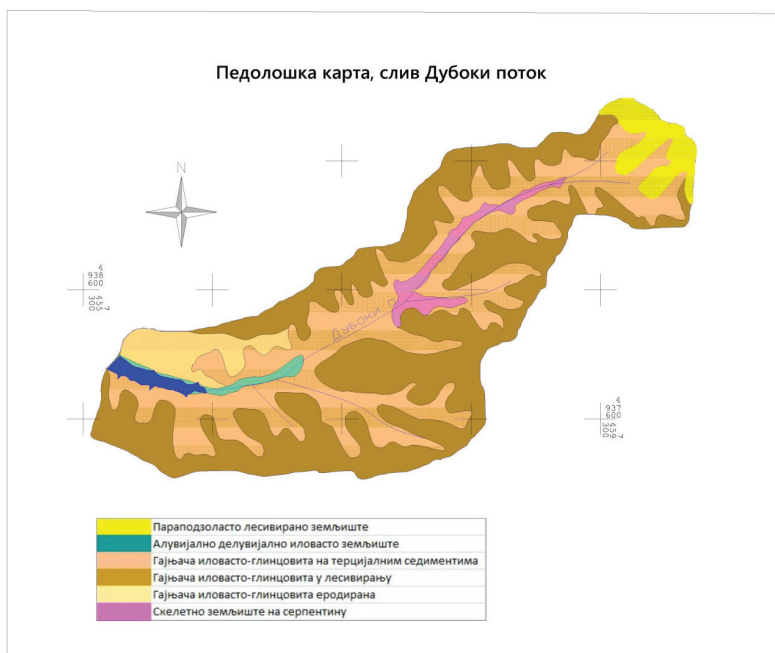
Просечна вредност укупне годишње количине падавина, за анализирани период, износи 717,1 mm (PXM3-PC). Ова вредност представља повољне количине падавина, с обзиром на положај Београда и околине на ободу Панонске низије и умерено континенталну климу.

Шумски покривач слива Дубоког потока, чине аутохтоне биљне заједнице храстова *Quercus ceris*, *Quercus petraea*, и *Prunus avium*, *Acer campestre* и биљне заједнице липе *Tilia sp.* Вегетација је распоређена на левој долинској страни и дуж притока док се ливадске и пољопривредне површине налазе као сочива у оквиру шумских биљних заједница, и у вршним деловима слива. Десна долинска страна је под травним формацијама, са доста ораница и напуштених њива, које су обрасле коровским и травним врстама. Вегетациони покривач има одлучујући утицај на спречавање екцесивних ерозионих процеса, појаву клизишта, као и ублажавање поплава (Ђековић, V. et. al., 2015).



Слика 3. Геолошка карта слива до преградног профила бране
(извор: оригинал, подлога: <http://geoliss.mre.gov.rs.>)

Figure 3 Geological map of the basin to the barrier profile of the dam
(source: original, background: <http://geoliss.mre.gov.rs.>)



Слика 4. Педолошка карта слива до преградног профила бране
(извор: оригинал, подлога: Геокарта 1961)

Figure 4 Soil map of the basin to the barrier profile of the dam.
(source: original, matrix: Geomap 1961)

Антиерозиона улога вегетационог покривача не зависи само од процента пошумљености или затрављености сливних површина, већ и од просторног распореда одређених типова вегетације. Током изградње бране и акумулације 1991. године на левој падини подигнути су системи плетера, за заустављање и спречавање процеса површинске ерозије (слике 5 и 6).



Слика 5. Изглед плетера
(фото: Ђековић, В.)

Figure 5 Willow spiling (photo: Đeković, V.)

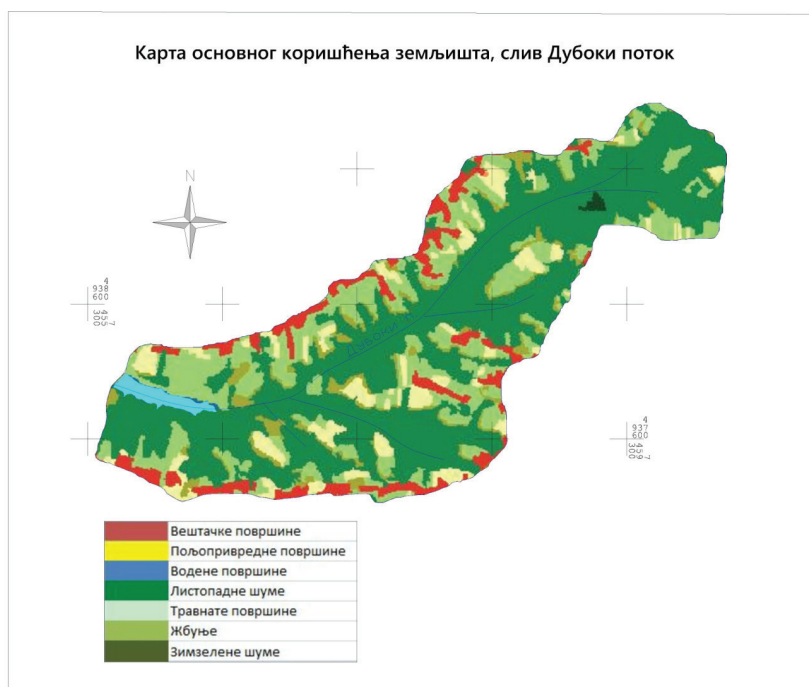


Слика 6. Изглед плетера
(фото: Ђековић, В.)

Figure 6 Willow spiling (photo: Đeković, V.)

Ораничне површине, због слабе покривности вегетационог покривача, механичким разарањем структуре земљишта атмосферским падавинама настају бразде и јаруге, веома су погодне за развој свих облика ерозионих процеса. Индиректан утицај вегетације огледа се у стварању повољне структуре шумског земљишта, чиме се јача његов инфилтрациони капацитет, а коренов систем додатно инпрегнише и ојачава педолошки слој земљишта повећавајући отпорност земљишта на процес ерозије.

Повећана инфилтрација воде у шумско земљиште утиче на смањење количине и брзине кретања воде низ падине слива. Подаци о покривности слива вегетацијом, о пошумљености и начину коришћења земљишта у сливу приказани су на слици 7.



Слика 7. Карта вегетације слива до преградног профила бране
(извор: оригинал, подлога: корина 2010)

Figure 7 Map of the vegetation of the basin to the barrier profile of the dam
(source: original, matrix: Corina 2010)

На основу тематских карти детерминисани су услови у сливном подручју као што су: педолошки, геолошки и начин коришћења земљишта у сливу. Методом просејавања и хидрометрисања детерминисана је крупноћа наноса у главној притоци и дат је приказ на гранулометријском дијаграму. У раду су приказане антиерозионе мере, које постоје у сливу, њихове позиције и мере установљене су директним мерењем на терену 6. јула 2017. године. Сви постојећи објекти детаљно су приказани.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Подаци о покривности слива вегетацијом, о пошумљености и начину коришћења земљишта у сливу приказани су на слици 7 и у табели 1.

Табела 1. Подаци о начину коришћења земљишта у сливу (извор: оригинал)
Table 1 Land use in the basin (source: original)

N ₀ .	Вегетациони покривач	Површина у km ²	% површине
1	Вештачке површине	0,43	7,11
2	Травнате површине	2,17	35,87
3	Пољопривредне површине	0,54	8,93
4	Жбуње	0,21	3,47
5	Водене површине	0,074	1,22
6	Зимзелене шуме	0,016	0,26
7	Листопадне шуме	2,61	43,14
8	УКУПНО	6,05	100

Присуство зрна одређених фракција у маси узорка узетих са трена, одређен је лабораторијским огледима, методом просејавања. Гранулометријски састав је дефинисан кривом која описује величину зрна, различите фракција изражену у процентима тежине, према стандарду (SRPS U.B1.018;2005). Иако се на гранулометријском дијаграму, поред величине зрна крупнозрног састава, приказују и величине зрна ситнозрног тла, дијаграм се искључиво користи за класификацију крупнозрног тла. Осим облика гранулометријске криве за опис крупнозрног материјала употребљавају се следећи нумерички показатељи:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \text{ коефицијент једноличности или униформности материјала:}$$

$$C_z = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \text{ коефицијент закривљености:}$$

где је:

d_{10} – ефективна величина зрна; од којег је 10% материјала у узорку мање од ове величине

d_{60} – доминантна величина зрна; којег је 60% материјала у узорку мање од ове величине

d_{30} – величина зрна; од којег је 30% материјала у узорку мање од ове величине.

За одређивање гранулометријског састава материјала на узорцима из притока коришћена је:

- метода просејавања, за крупнозрни део узорка, који се састоји највећим делом од фракција (зрна) крупноће од 0.075 до 60 mm.
- метода седиментације, коришћена је за ситнозрни део узорка који је остао на задњем делу гарнитуре сита без перфорација, а која се састоји највећим делом од честица (зрна) мањих од 0.075 (0.06) mm.
- комбиновање методе сејања и седиментације омогућило је добијање

континуалне криве гранулометријског састава у узорку, почевши од најкрупнијих па до наситнијих финих честица узорка. Ова метода је такође коришћена за класификацију земљишта у сливу, одређивање водопропусности земљишта, одређивање осетљивости земљишта на мраз, и ерозију.

На дијаграму 1 приказан је гранулометријски састав материјала узетог из корита притока. Може се констатовати да је средња крупноћа наноса на 50% учешћа од 1,20 до 20 mm. Критична вучна сила тока за покретање и транспорт наноса дуж притока креће се у границама од 0,00077 kN/m² до 0,0129 kN/m², добијено преко једначине за критични тангентијални напон МРМ са Shilds-овом константом.

$$\tau_{cr} = \theta \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_{sr}$$

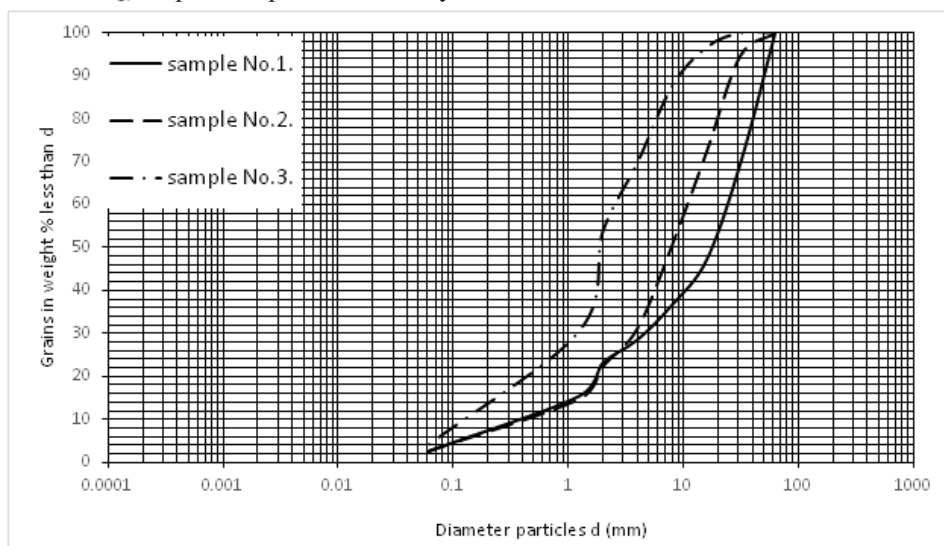
Где су: τ_{cr} – критични тангентијални напон;

θ - Shildsova константа ср.вредност 0,047

ρ_s – запреминска маса материјала (наноса) 2,4 t/m³

ρ - запреминска маса воде 1,0 t/m³

d_{sr} – средњи пречник наноса у m



Дијаграм 1. Гранулометријски састав материјала из корита притока

(извор: Anđelković, A. *et.al.*, 2017)

Diagram 1 Granulometric composition of the material from the beds of the tributaries

(source: Anđelković, A. *et al.*, 2017)

Рекогносцирањем сливног подручја регистровани су сви изведени антиерозиони радови. Извршено је премеравање две бетонске класичне преграде у зони акумулације и једне габионске преграде као и диспозиција и стање плетера. Сви ови објекти налазе се на левој долиноској страни акумулације. (слике 8, 9, 10, 11 и 12)



Слика 8. Позиција преграда и плетара у односу на акумулацију Дубоки поток
(слика: оригинал)

Figure 8 The position of the barriers and spilings in relation to the Duboki potok reservoir
(photo: original)



Слика 9. Преграда бр. 1
(слика: Цаковић, М.)

Figure 9 Barrier 1 (photo: Caković, M.)



Слика 10. Преграда бр. 2
(слика: Цаковић, М.)

Figure 10 Barrier 2 (photo: Caković, M.)



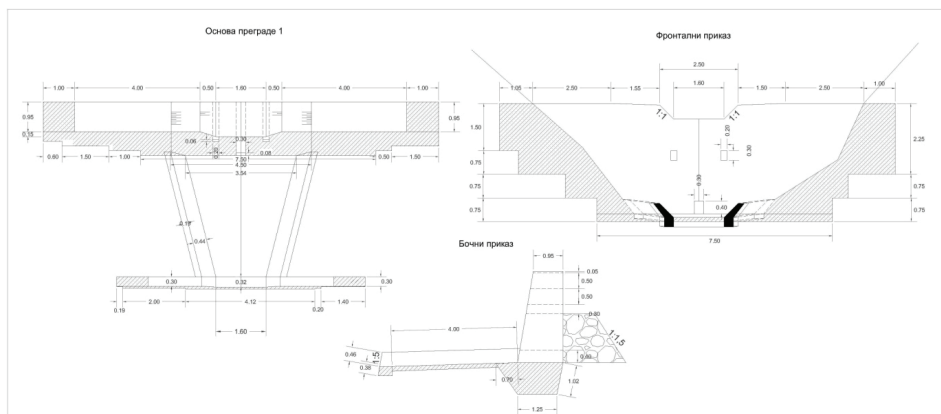
Слика 11. Габионска преграда
(слика: Анђелковић, А.)

Figure 11 Gabion check dam
(photo: Anđelković, A.)



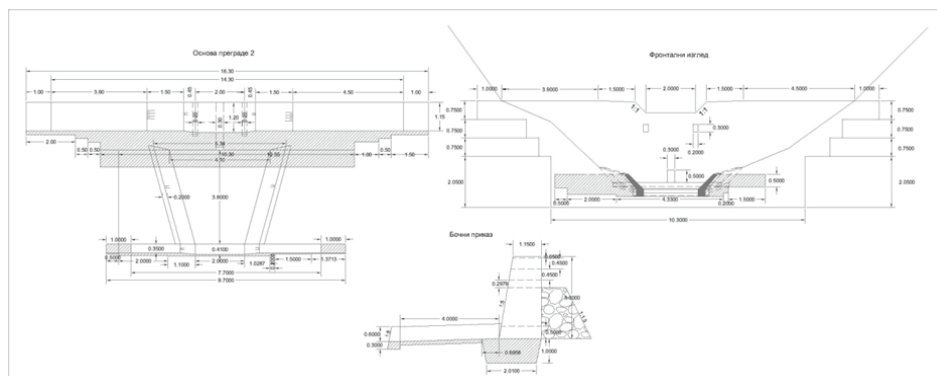
Слика 12. Плетери
(слика: Анђелковић, А.)

Figure 12 Willow spiling
(photo: Anđelković, A.)



Слика 13. Приказ преграде 1 (извор: оригинал)
Figure 13 Scheme of Barrier 1 (source: original)

На слици 13. и 14. приказане су бетонске преграде која се налази непосредно изнад бране и означене су као преграда 1 и преграда 2. Реч је о типским преградама рађеним од набијеног бетона.



Слика 14. Приказ преграде 2 (извор: оригинал)
Figure 14 Scheme of Barrier 2 (source: original)

Трећа преграда, узводно од акумулације, изграђена је од габиона (слика 15). Преграда је карактеристична по томе што има пет цевастих испуста (барбокана) пречника 30 cm (слика 11). Габионске преграде су попречне грађевине од жичаних корпи испуњене ломљеним каменом или каменим облацима (слика 11).

Плетери су антиерозиона мера која се примењује код ерозијом веома оштећених обала, где јаруге достижу дубине 1,30-1,50 m (слика 12). (Ђорђевић, М. *et.al.*, 2002). Веома успешно смањују брзину површинског кретања воде и ерозионог материјала, стварајући услове за таложење наноса и тако непосредно штите обалу од еродирања. Плетери су веома једноставне конструкције. Изграђују се од врбовог прућа и врбових кочића. Могу да

4. ЗАКЉУЧЦИ

- вегетациони покривач у сливу заступљен је са 43,40% под шумом, 8,93% под парницама, док се под ливадама и пашњацима налази 35,87% површине слива, остале површине су под насељеним деловима и воденим површинама. Примећено је да се одвијају спори облици површинске ерозије. Нема видљивих трагова браздасте и јаружасте ерозије;
- у залеђу преграда нема формираног заплава од наноса узводно од преградних профила. На преградама су изведене барбокане већих димензија тако да целокупан нанос, који се покреће у таласима великих вода, пролази кроз барбокане до акумулације. Такође, заплав на габионској пегради обрастао је вегетацијом и није изражен, јер постављене ПВЦ цеви у телу преграде стварају услове за неометано кретање нанос на заплаву. Плетери који су постављени контурно по изохипсама дуж леве обале акумулације, такође немају формиран и задржан нанос. Све ово инплицира да је падина зона денивелације, која је иначе добро обрасла вегетацијом, средњим и високим шумама, доброг стања довољно заштићена од ерозионих процеса;
- сви изведени објекти делимично су испунили своју улогу јер у периоду интензивних падавина спречавају да део органске материје уђе у профил акумулације, као и ретке крупне фракције наноса. То је значајно, јер поред засипања акумулационих басена минералном материјом, органска материја, такође, игра важну улогу. Органска маса и делови вегетације који доспеју до профила акумулације, распадају се у специфичном окружењу, радом микроорганизама, у условима са ограниченом количином кисеоника, што ствара погодне услове за продукцију штетних материја у води попут фенолних једињења;

ЛИТЕРАТУРА

- Andjelkovic, A., Ristic, R., Janic, M., Djekovic, V., Spalevic, V. (2017): Genesis of sediments and siltation of the accumulation "Duboki potok" of the Barajevska river basin, serbia, conference: international U.A.B. – B.EN.A. conference, Environmental engineering and sustainable development, at Alba Iulia, Romania 2017.
- Cvjetičanin, R., Brujić, J., Perović, M., Stupar, V. (2016): Dendrologija. Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet
- Dorović, M., Velašević, V., Letić, Lj. (2002): Ekološki aspekt očuvanja, zaštite i uređenja voda šumskih slivova. Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet
- Đeković, V. (1997): Univerzitetski udžbenik „PROJEKTOVANJE U BUJIČARSTVU, Šumarski fakultet Beograd. ID56318732 str. 1-264.
- 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.
- Djekovic, V., Andjelkovic, A., Milivojevic, S., Spalevic, V., Vujacic, D., Barovic, G. (2015): Conditions for the initiation of motion and transport of sediment in torrential water-courses, Proceedings, Agrosym 2015, **6**, 2034
- (2011): *Основа газдовања шумама за Газдинску јединицу „Липовица“ (2011/2020)*, ЈП за газдовање шумама „Србијашуме“ ШГ „Београд“, Београд
- PXM3-PC
<http://www.hidmet.gov.rs>
<http://geoliss.mre.gov.rs/>
<http://www.geosrbija.rs/>

A STUDY OF THE EFFECTS OF MANMADE STRUCTURES BUILT TO PROTECT THE RESERVOIR IN THE DUBOKI POTOK DRAINAGE BASIN

*Aleksandar Anđelković
Vojislav Đeković
Milica Čaković
Nikola Živanović
Milorad Janić*

Summary

The paper presents the analysis of the state of erosion control structures and the measures applied to protect the reservoir from the siltation of the erosion material coming from the drainage basin and from the valley banks. The analysis includes soil and geological maps, as well as a map of the basin vegetation for 2010, a diagram of the granulometric composition and an analysis of the sediment from the main tributary. It can be noted that the mean sediment grain size in 50% of the share ranges from 1.20 to 20mm. The critical tractive force for the sediment transport along the tributaries ranges from 0.00077 kN / m² to 0.0129 kN / m², obtained by the equation for the critical shear stress MPM with Shileds curve. The manmade structures constructed on the left bank in the immediate vicinity of the reservoir were analyzed. There are two concrete barriers and one gabion check dam. Their function was to prevent the inflow of the sediment from the tributaries, which besides the mainstream, flow directly into the reservoir, as well as the direct flow from the valley sides (willow spiling). Spilings extend along the entire left bank of the reservoir, but they are in a very poor state. To a certain extent, the structures have been serving their purpose, but the analysis reveals that they are greatly degraded. There is no sediment aggradation upstream from the barrier profile, which implies that the forest serves a good purpose in the protection of soil from erosion.