

UDK: 556.16+627.14:627.4/.5
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1614189R

ПРОМЕНЕ ХИДРОЛОШКОГ СТАТУСА СЛИВА УСЛЕД ПРИМЕНЕ ПРОТИВЕРОЗИОНИХ РАДОВА

Јасмина Радоњић, ЈВП „Србијаводе“, ВПЦ „Морава“ Ниш (jasmina.jass.radonjic@gmail.com)
др Ратко Ристић, Универзитет у Београду - Шумарски факултет
Синиша Половина, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет

Извод: Заштита земљишта вегетацијом је примарни фактор за борбу против водне ерозије уз неопходну примену биотехничких, техничких, административних и планских мера. Један од првих сливова који је третиран радовима за заштиту од ерозије и уређење бујица је слив Градашничке реке. Основни параметри за приказ промена хидролошког статуса земљишта су стање ерозије, промена коефицијента ерозије, годишња продукција наноса, специфични годишњи пронос наноса кроз хидрографску мрежу, вредност броја криве отицаја као и вредност максималног протицаја. Радови на заштити од ерозије и уређењу бујица утицали су на смањење вредности коефицијента ерозије са $Z=0.99$ (јака ерозија) на $Z=0.40$ (слаба ерозија), као и на редуковање вредности максималног протицаја са $Q_{\max(1956)}=108,12 \text{ m}^3/\text{s}$ на вредност до $Q_{\max(2014)}=87.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Кључне речи: бујичне поплаве, коришћење земљишта, противерозиони радови, максимални протицај

УВОД

Радови у шумарству, пољопривреди, као и урбанистичке активности на сливовима брдско-планинског подручја могу бити иницијални фактор за развој деструктивних ерозионих процеса и појаву бујичних поплава (Jones and Grant, 1996; Motha et al., 2003; Troendle and Olsen, 1994; Wipf et al., 2005; Fattorini, 2001). Поред биолошких, неопходна је примена биотехничких, техничких, административних, као и планских мера (Gordon et al., 2008; Jeneček et al., 2007; Hejduk, Kasprzak 2004; Kvítek et al., 2004; Ristić et al., 2011). Успостављање квалитетног вегетационог покривача јесте предуслов за стабилизацију земљишта, чиме се стварају услови за превенцију и заштиту од ерозије. Тиме се остварује ефекат интерцепције, као и побољ-

шање инфилтрационо-ретенционог капацитета земљишта (Ristić, Macan, 1997, 2002). Након интензивног почетка примене радова на уређењу бујичних сливова у Србији, у периоду од 1907-1940, уследио је период ниског интензитета радова, од 1941-1954 (Kostadinov, 2007). Следи период обимних активности на заштити од ерозије и бујичних поплава, који траје до средине 70-их година ХХ века (Ristić, 2012). Један од првих третираних сливова у овом периоду, јесте слив Градашничке реке (1956). Највеће поплаве на овом сливу догодиле су се 1948. године (када је дневни максимум падавина износио 62,3 mm), затим 1954, 1955, 1963 и 1965. године. Бујичне поплаве биле су веома деструктивне на подручју града Пирота, на

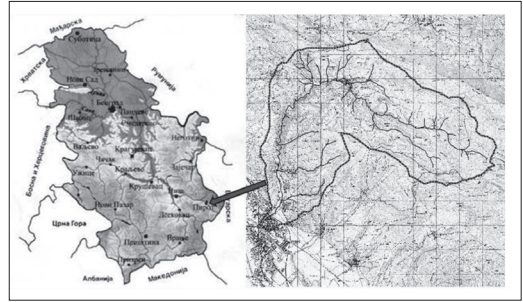
пољопривредним површинама које гравитирају пружу Ниш–Пирот–Димитровград, у околини села Градашница, као и поред пута Пирот–Градашница.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Основни параметри за приказ промена хидролошког статуса земљишта су стање ерозије, вредност коефицијента ерозије, годишња продукција ерозионог материјала, специфичан годишњи пронос наноса, број криве отицаја као и вредност максималног протицаја. Предметни слив се налази у југоисточном делу Србије (слика 1.). Градашничка река је десна притока реке Нишаве, у коју се улива у самом центру Пирота.

Анализирани су сви параметри од значаја за сагледавање стања слива: хидролошке, педолошке и геолошке карактеристике; структура површина (начин коришћења простора); изведени противерозиони радови. Промене начина коришћења простора су анализирани на основу постојеће техничке документације и релевантних података за период 1956-2014, теренских истражних радова, анализе сателитских и орто-фото снимака. Начин коришћења простора је представљен применом CORINE методологије (ЕЕА, 1994). Продукција ерозионог материјала и пронос наноса су утврђени на основу Метода Потенцијала ерозије-МПА (Gavrilović, 1972).

Промене хидролошких услова су сагледане на основу упоређивања вредности максималног протицаја из периода пре примене противерозионих радова (1956) и после извођења противерозионих радова на сливу Градашничке реке (2014). Прорачун максималног протицаја извршен је применом комбинованог поступка (Ristić, 2011), који се заснива на следећим процедурама: SCS методологији (SCS, 1979) за раздвајање ефективних падавина P_e , од укупних падавина P_t ; теорији синтетичког јединичног хидрограма за детерминисање вршне ординате јединичног отицаја q_{max} . Прорачун максималног протицаја обављен је уз примену регионалних зависности: времена кашњења слива (Ristić, 2003); унутар дневне расподеле падавина (Janković, 1994); класификације хидролошких класа земљишта (Đorović, 1984).



Слика 1. Положај слива Градашничке реке

Циљ истраживања јесте приказ промена које су уследиле на сливу бујичног водотока, након извођења противерозионих радова, кроз побољшање хидролошких услова на сливу, које је постигнуто применом радова и мера за заштиту од ерозије и уређење бујица.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Главне хидролошке карактеристике слива Градашничке реке приказане су у Табели 1.

Слив Градашничке реке формира се испод Скувије, једног од огранака Старе Планине. Протиче кроз атаре села Добри До, Нишора и Градашнице, као и кроз град Пирот, у чијем се центру улива у реку Нишаву. Огранци Старе планине припадају Јури, и сливно подручје Градашничке реке простира се преко слојева јурске формације (кречњаци, пешчари, лапорци и глинци). Терцијер је заступљен на простору села Градашнице (жути и црвени пешчар, конгломерат, кварц, кварцити и модри филити), (GI, 1970).

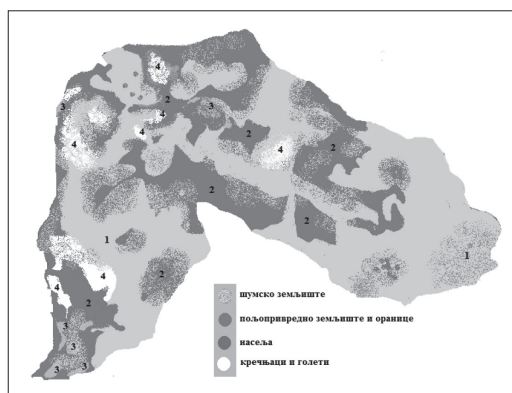
Највећи део површине на сливу коришћен је као шумско (43%) и пољопривредно (42%) зе-мљиште (слика 2), док је преостали део сливне површине (15%) била голет (кречњак и пешчар). Шума доброг склопа простира се само на изворишном делу слива, као и на мањим деловима код Градашничке клисуре, Тепавца, испод Церцеља и Градишта. Остали део шумског зе-мљишта представљао је ниску деградирани шу-му или шикару, услед претеране испаше, сече и кресања лисника. Пољопривредно земљиште коришћено је и на нагибима већим од 60%, и то за садњу ратарских култура (пше-

Табела 1. Хидролошке карактеристике слива Градашничке реке

Параметар	Ознака	Јединица	Вредност за слив Градашничке реке
Површина слива	F	km ²	43.85
Обим слива	O	O	42
Кота врха слива	Kv	mnm	1234
Кота ушћа слива	Ku	mnm	370
Средња надморска висина	Hsr	mnm	970
Дужина главног тока	L	km	18
Апсолутни пад тока	Ia	%	4.8
Уравнати пад тока	Iu	%	3.44
Средњи пад слива	Isr	%	33
Густина хидрографске мреже	G	km/km ²	1.1

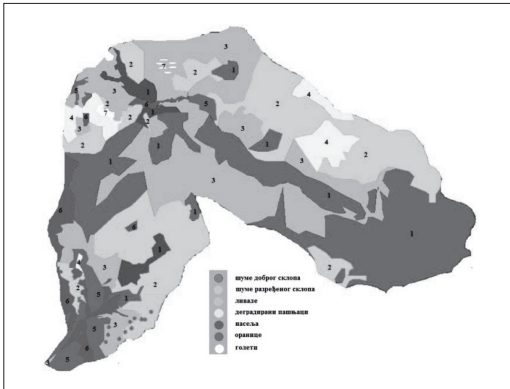
ница, кукуруз), после чије жетве је формиран црни угар, једну до две године. Једини вид противерозионе заштите који је примењиван јесте терасирање земљишта (на нивоу појединачних парцела или до границе културе), како би се смањило пад терена. Најочуваније површине 50-их година прошлог века на сливу Градашничке реке, биле су под пашњацима и ливадама, са густим и виталним травно-легуминозним покривачем, где није било појава интензивног спирања земљишта. Такође, у овом периоду је гајење оваца било веома уносно и широко распрострањено занимање. После извођења биолошких противерозионих радова и примене административних мера и забрана, дошло је до промена у начину коришћења простора на сливу Градашничке реке. Процент под шумским земљиштем је повећан на 55.9%, према стању из 2014. године, и то тако што је 30.4% под шумама доброг склопа, а 25.5% под шумама са разређеним склопом. Површине под ливадама заузимају 29.7%, под ораницама 3.5%, под пашњацима 4.2%, под голетима 3.8%, а осталих 2.9% површине су градска и сеоска насеља. Промене у начину коришћења простора јасно се уочавају упоређивањем карата намене површина из 1956. и 2014. године (слике 2 и 3). Противерозиони радови на сливу Градашничке реке (биолошки, биотехнички и технички) вршени су у периоду од 1956-1980 године (слика 4), на ос-

нову пројектне документације из 1956. године, Управа за шумарство НОС, „Идејни пројекат: Слив реке Нишаве – бујица звана Градашничка река“. Биолошки радови обухватили су: ресурекциону сечу (180,11 ha), шумљавање на јаме (109,05 ha), шумљавање на терасе (9,7 ha), шумљавање на градоне (59,35 ha) и мелiorацију пашњака (28,81 ha). Биотехнички радови обухватили су: микро-ретензионе поја-



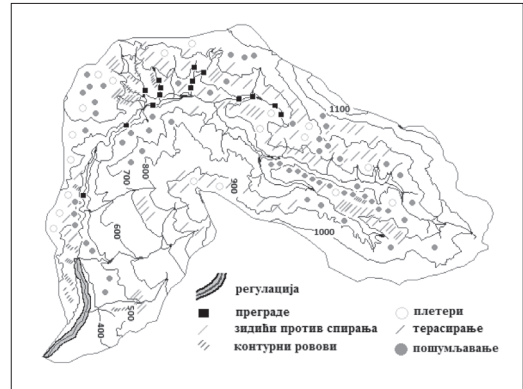
Слика 2. Начин коришћења земљишта 1956. год.

- површине под шумским земљиштем са шумама разређеног склопа и местимично са шумама доброг склопа;
- земљиште са интензивном пољопривредном обрадом, оранице и деградирани пашњаци;
- насеља;
- површине под голетима и кречњацима



Слика 3. Начин коришћења земљишта 2014. год.

- шумско земљиште са шумама доброг склопа;
- шумско земљиште са местимично разређеним склопом;
- очуване ливаде и пашњаци;
- деградирани пашњаци;
- насеља, урбанизовано земљиште и индустријска зона;
- земљиште под интензивном пољопривредном производњом и уситњени појединачни поседи под ораницама и воћњацима;
- голети



Слика 4. Биолошки, биотехнички и технички радови на сливу Градашничке реке

уздужне регулационе радове, иновирани 1978. године, а радови су изведени до 1980. године.

Регулација Градашничке реке изведена је као једногуби трапезни профил од камена у цементном малтеру. Депонијско-консолидационе преграде пројектоване су у великом броју на притокама Градашничке реке. Већина притока главног тока представља јаруге, суводолине и повремене токове, преко којих се до главног тока транспортовала велика количина наноса.

севе (98,1 m²), контурне ровове са воћем (89,16 ha), тарасирање (240,5 ha), бенч терасе (346,11 ha) и плетере (580 m²). Технички радови обухватали су: зидиће против спирања (3100,0 m³), лучне преграде (3 кот.), депонијско-консолидационе преграде (66 кот.) и регулацију корита у дужини од 2,8 km. Изведени су и технички радови који су се односили на попречне објекте, док је техничка документација везана за

Продукција и пронос наноса

Карактеристичне вредности продукције и проноса наноса приказане су у табели 2. Ове вредности су репрезентативни показатељи вредности коефицијента ерозије, у условима пре и после извођења радова на заштити од ерозије и уређења бујица.

Табела 2. Упоредни приказ вредности продукције и проноса наноса 1956. и 2014. године

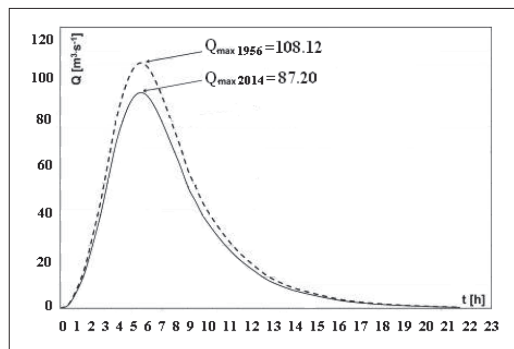
Параметар	Ознака	Јединица	1956.	2014.
Укупна продукција наноса	W_{god}	m ³	84 977,56	24 611,39
Специфична продукција наноса	W_{sp}	m ³ /km ² /год	1 937,91	561,26
Годишњи пронос наноса	W_p	m ³	61 198,24	17 720,20
Специфични пронос наноса	W_{psp}	m ³ /km ² /год	1 3395,63	404,11
Годишњи пронос вученог наноса	W_{vn}	m ³ /год	25 091,28	3 189,64
Годишњи пронос суспендованог наноса	W_{sn}	m ³ /год	36 106,96	14 530,56
Коефицијент ерозије	Z	-	0.99	0.40

Промене хидролошких услова

Меродавна вредност максималног протицаја, $Q_{\max(1956)} = 108.12 \text{ m}^3/\text{s}$, на сливу Градашничке реке (1956. године) добијена је као просечна вредност, према следећим методама: 4 коефицијента; Посенти-ју; Кестлин-у; Исковском; Мели-ју; Кирштајнер-у. Такође, добијена је средња вредност броја криве отицаја $CN_{sr(1956)} = 71$. Прорачун максималног протицаја на сливу Градашничке реке 2014. године, извршен је на основу *Котбинованог метода* и износи $Q_{\max(2014)} = 87.2 \text{ m}^3/\text{s}$, док средња вредност броја криве отицаја износи $CN_{sr(2014)} = 62$. Вредности максималног отицаја и средње вредности броја криве отицаја (из 2014. године) односе се на услове у сливу након извођења радова за заштиту од ерозије и уређење бујица.

ДИСКУСИЈА

Ефекти који се јављају након извршених радова на заштити од ерозије и уређењу бујица су многобројни. Сливно подручје Градашничке реке налази се на изразито планинском терену. Купираност терена сливног подручја посебно је наглашена у средњем и доњем делу. Висок проценат просечног пада добијен је услед јако истакнутих тачака на вододелници и врло стрмог нагиба падина у непосредној околини. Петрографски састав је различит, јер се поред кречњака у значајном проценту јављају пешчари, лапорци и глинци. Градашничка клисура и делови слива по вододелници су испрани од земљишта до кречњачке подлоге, док су на долинским странама образоване површине са дубоким педолошким хоризонтом. На кречњачкој подлози образована је смоница, која је скоро непропустљива за воду. Присуство креча земљишту пружа стабилност. Североисточни и јужни делови вододелнице прекривени су вртачама. На површинама које су образоване на пешчарима као педолошки слој заступљене глинене пескуше, чија је водопропустљивост мала. Оваква геолошка разноликост, у условима примитивних агротехничких мера, довела је до појаве интензивних ерозионих процеса и бујичних поплава.



Слика 5. Хидрограм максималног отицаја пре (1956) и после (2014) извођења противерозионих радова

Почетно стање ерозионих процеса 1956. године, репрезентовано је кроз коефицијент ерозије $Z=0,99$ (јака ерозија). Радови на заштити од ерозије и уређењу бујица утицали су на вредности проноса и продукције наноса, као и на вредности површинског отицаја. Вредност коефицијента ерозије у 2014. години износи $Z=0,40$ (слаба ерозија). Радови на уређењу слива довели су до смањења укупне годишње продукције ерозионог наноса са $W_{\text{god.}(1956)} = 84977,56 \text{ m}^3$ до вредности од $W_{\text{god.}(2014)} = 24611,39 \text{ m}^3$, и редуковања вредности специфичног проноса наноса са $W_{\text{psp.}(1956)} = 13395,63 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$ до вредности $W_{\text{psp.}(2014)} = 404,11 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$. Добијена вредност максималног протицаја од $Q_{\max(2014)} = 87,2 \text{ m}^3/\text{s}$ значајно је нижа од вредности максималног протицаја пре примене противерозионих радова $Q_{\max(1956)} = 108,12 \text{ m}^3/\text{s}$. Овакве промене код хидролошких параметара указују на ефекте који су директно узроковани применом противерозионих радова.

ЗАКЉУЧАК

Ерозија земљишта је природни феномен присутан на целокупној површини земље, на чији интензитет директан утицај имају људске активности.

Промене хидролошких услова слива, услед примене противерозионих радова, представљене су на примеру слива Градашничке реке, који је средином 50-тих година XX века био

видно угрожен процесима ерозије, са коефицијентом $Z=0,99$ (јака ерозија) и честим појавама бујичних поплава. После извођења противерозионих радова на сливу, у последњих 30 година није било значајнијих поплавних догађаја. Коефицијент ерозије је редукован на вредност од $Z=0,40$, што карактерише слабу

ерозију. Начин коришћења земљишта је значајно промењен на целом сливном подручју, а учешће површина под шумском вегетацијом (шуме доброг склопа) је вишеструко повећано. Такође, повећане су и површине под очуваним ливадама и пашњацима на рачун напуштених ораница, воћњака и винограда.

CHANGES IN THE HYDROLOGICAL STATUS OF THE BASIN DUE TO THE APPLICATION OF EROSION CONTROL WORKS

Jasmina Radonjic, PWC "Srbijavode", WMC "Morava" Nis (jasmina.jass.radonjic@gmail.com)

Ratko Ristic, University of Belgrade, Faculty of Forestry

Sinisa Polovina, University of Belgrade, Faculty of Forestry

Abstract: Protection of land with vegetation is the primary factor in the fight against water erosion with necessary application of biotechnical, technical, administrative and planning measures. One of the first basins to be treated with works for the protection against erosion and torrent control is the Gradasnica River basin. The basic parameters to display the changes of the hydrological status of the land are the state of erosion, the change of erosion-coefficient, annual sediment yield, specific annual sediment discharge through the hydrographic network, the value of the runoff curve number and value of the maximal discharge. Works on protection from erosion and regulations of torrents have influenced the decrease in erosion coefficient values from strong erosion ($Z=0.99$) to the value of weak erosion ($Z=0.40$), as well as the reduction of the maximum discharge value from $Q_{\max(1956)}=108,12\text{m}^3/\text{s}$ to the value of $Q_{\max(2014)}=87.2\text{m}^3/\text{s}$.

Key words: torrential floods, land use, erosion control works, maximal discharge

INTRODUCTION

The works in forestry, agriculture and urban development activities in the basins of mountainous areas may be the initial factor for the development of destructive erosion processes and the occurrence of torrential floods (Jones and Grant, 1996; Motha et al., 2003; Troendle and Olsen, 1994; Wipf et al., 2005; Fattorini, 2001). In addition to biological measures, much needed is the application of biotechnical, technical, administrative and planning measures (Gordon et al., 2008; Jenecek et al., 2007; Hejduk, Kasprzak 2004; Kvítek et al., 2004; Ristic et al., 2011). The establishment of the quality of vegetation cover is a prerequisite for stabilizing the soil, which creates conditions for the prevention and protection from erosion. This achieves the effect of interception,

as well as improvement of infiltration-retention capacity of the soil (Ristic, Macan, 1997, 2002). After intensive beginning of the works on implementation of the erosion and torrent control works in torrential catchments in Serbia in the period from 1907-1940, a period of low intensity works followed from 1941-1954 (Kostadinov, 2007). The second period of erosion control works, which is run until mid-1970s of XX century, was a period of extensive activities for the protection from erosion and torrential floods, (Ristic, 2012). One of the first treated basins in this period is the basin of the Gradasnica River (1956). The biggest floods in this basin occurred in 1948 (when the daily maximum precipitation was 62.3 mm), then in 1954, 1955, 1963 and 1965. Torren-

tial floods were very destructive in the town area of Pirot, in agricultural areas which gravitate to the railway line of Nis-Dimitrovgrad-Pirot, near the village of Gradasnica, as well as along the road from Pirot to Gradasnica.

MATERIAL AND METHODS

Basic parameters to display the changes of the hydrological status of the soil are the state of erosion, the value of erosion-coefficient, the annual production of erosion material, specific annual sediment transport, runoff curve number as well as the value of the maximal discharge. The basin concerned is located in the southeast part of Serbia (Figure 1).

The Gradasnica River is the right tributary of the Nisava River, and it flows into it in the center of Pirot. All parameters of importance for understanding the state of the basin were analysed: hydrological, pedological and geological characteristics; surface structure (space usage); implemented erosion control works. Changes in the land use are analyzed on the basis of existing technical documentation and relevant data for the period from 1956-2014, field research works, analysis of satellite and ortho-photo images.

The manner of using the space is presented using the CORINE methodology (EEA, 1994). Production of erosion material and discharge transfer were estimated on the basis of the "Erosion Potential Method" - EPM (Gavrilovic, 1972).

Changes in hydrological conditions were analyzed by comparing the value of the maximal discharge from the period prior to the application of erosion control works (1956) and after the erosion control works in the basin of the Gradasnica River (2014). The calculation of maximal discharge was carried out using a *combined procedure* (Ristic, 2011), which is based on the following procedures: the SCS methodology (SCS, 1979) for the separation of effective precipitation P_e from total precipitation P_t ; theory of synthetic unit hydrograph for the determination of peak discharge ordinate unit q_{max} . The computation of maximal discharge was based on the regional analysis: lag time (Ristic, 2003); internal daily distribution of precipitation (Jankovic, 1994); and classification of soil hydrologic groups (Djorovic, 1984).

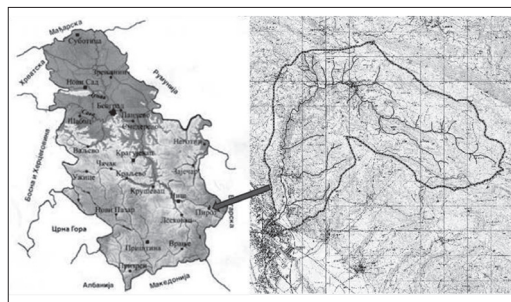


Figure 1. The position of the Gradasnica River

The aim of this research is to show the changes which followed in the basin of torrential watercourse, after implementation of erosion control works, through the improvement of hydrological conditions in the basin, which is achieved by implementing the works and measures for erosion control and torrential flood protection.

RESULTS AND DISCUSSION

The basin of the Gradasnica River is formed below Skuvija, one of the branches of Stara Mountain. It flows through the villages of Dobri Do, Nisor and Gradasnica, as well as through the town of Pirot, where it flows into the River Nisava in the town centre. Branches of Stara Mountain belong to Jurassic period, and the basin area of the Gradasnica River extends through layers of Jurassic formations (limestones, sandstones, marls and shales). Tertiary is present in the village of Gradasnica (yellow and red sandstone, conglomerate, quartz, quartzite and phyllite blue), (GI, 1970). The main hydrographic characteristics of the Gradasnica River basin are presented in Tab. 1

The largest part of the basin area was used as forest (43%) and agricultural (42%) land (Figure 2), while the remaining part of the basin surface (15%) was barren land (limestone and sandstone). Forest of good set stretched over only to the source part of the basin, as well as on the smaller parts near Gradasnica Gorge, Tepavac and under Cercelj and Gradiste. The rest of the forest land was a low degraded forest or thicket, due to overgrazing, felling and pruning the trees. Agricultural land was used on slopes greater than 60%, for the planting of field crops (wheat, corn), and

Table 1. Hydrological parameters of the Gradasnica River basin

Parameter	Mark	Unit	Value for the Gradasnica River basin
Magnitude	F	km ²	43.85
Perimeter	O	O	42
Peak point	Kv	mnm	1234
Confluence point	Ku	mnm	370
Mean altitude	Hsr	mnm	970
Length of the main stream	L	km	18
Absolute slope of river bed	la	%	4.8
Mean slope of river bed	lu	%	3.44
Mean slope of terrain	lsr	%	33
Density of hydrographic network	G	km/km ²	1.1

after the harvest, bare fallow was formed in the period of one to two years. The only form of erosion control protection that was applied was terracing of the soil (at the level of individual plots or up to the borderline of the crops), in order to reduce the slope. The best preserved areas in the '50s in the basin of the Gradasnica River were covered with pastures and meadows, dense and vital grass-legume cover, where there was no occurrence of intense leaching of soil. In addition, during this period, sheep breeding was very profitable and of a widespread interest. After performing biological erosion control works and the application of administrative measures and prohibitions, there have been changes in space usage in the basin of the Gradasnica River. Percentage under forest land increased to 55.9%, according to the state from 2014, in a way that 30.4% is covered by forests of good set, and 25.5% under forests with diluted set.

The area covered by meadows occupies 29.7%, arable land is 3.5%, pastures amount to 4.2%, and 3.8% are bare heights, while the remaining 2.9% of the area is covered with urban and rural settlements. Changes in space usage are clearly noticed by comparing the maps of land use from 1956 and 2014 (Figures 2 and 3). Erosion control works in the basin of the Gradasnica River (biological, biotechnical and technical) were carried out in the period from 1956-1980 (Figure 4), on the basis of the design documentation from 1956, the Directorate of Forestry NOS, "Pre-

liminary design: The basin of the Nisava River - torrent called the Gradasnica River". Biological works included: felling of regeneration (180.11 ha), reforestation in pits (109.05 ha), reforestation in terraces (9.7 ha), reforestation in bench terraces or so-called 'gradons' (59.35 ha), melioration of pastures (28.81 ha). Biotechnical works included: micro-retention belts (98.1 m²), contour trenches with fruits (89.16 ha), terracing (240.5 ha), bench terraces (346.11 ha) and braidings (580 m²). Technical papers included: small walls

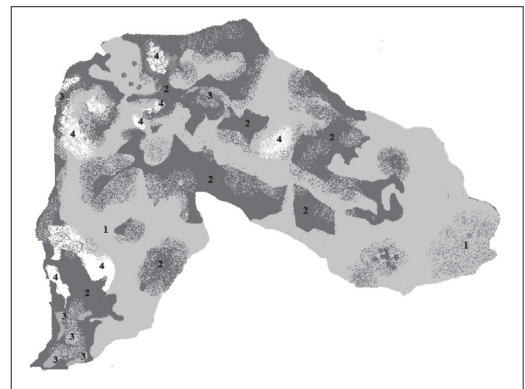


Figure 2. Land use in 1956

1. area under forest land with forests of diluted set and sporadically with forests of good set
2. land with intensive agricultural purposes, arable land and degraded pastures
3. settlements
4. areas under bare heights and limestone



Figure 3. Land use in 1956

1. forest land with forests of good set
2. forest land with sporadically diluted set
3. preserved meadows and pastures
4. degraded pastures
5. settlements, urbanized land and industrial zones
6. land under intensive agricultural production and fragmented individual landholdings under arable land and orchards
7. bare heights

against leaching (3100.0 m³), arched partitions (3 pcs.), landfill-consolidation barriers (66 pcs.) and the regulation of the riverbed in the length of 2.8 km. Technical works were performed that were related to transverse structures, while technical documentation related to the longitudinal regulation works was innovated in 1978, and the works were implemented by 1980.

Regulation of the Gradasnica River is designed as a single trapezoidal profile of stone in cement mortar. Landfill-consolidation partitions were designed in large numbers on the tributaries of the

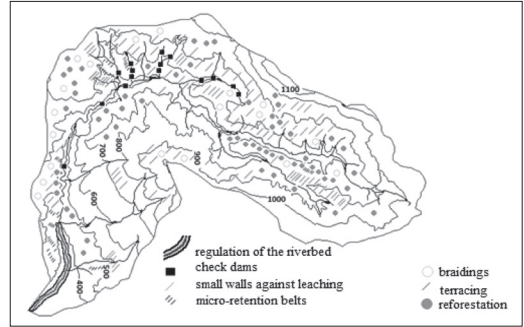


Figure 4. Biological, biotechnical and technical works in the basin of the Gradasnica River

Gradasnica River. Most of the tributaries of the main flow are ravines, dry valleys and occasional streams, through which the large amounts of sediment are transported to the main flow.

Sediment yield and transport

The characteristic values of sediment yield and discharge are shown in Table 2. These values are representative indicators of the value of erosion-coefficient in the conditions before and after the execution of works on the protection from erosion and torrential floods management.

Changes in hydrological conditions

Reference value of the maximum flow, $Q_{\max(1956)} = 108.12 \text{ m}^3/\text{s}$, in the basin of the Gradasnica River (1956) was obtained as an average value, according to the following methods: 4

Table 2. Comparative review of the value of sediment yield and transport in 1956 and 2014

Parameter	Mark	Unit	1956	2014
The total sediment yield	W_a	m ³	84 977,56	24 611,39
Specific sediment yield	W_{asp}	m ³ /km ² /year	1 937,91	561,26
Annual sediment transport	W_{at}	m ³	61 198,24	17 720,20
Specific sediment transport	W_{atasp}	m ³ /km ² /year	1 3395,63	404,11
Annual discharge of bed-load sediment	W_{abls}	m ³ /year	25 091,28	3 189,64
Annual discharge of suspended sediment	W_{ass}	m ³ /year	36 106,96	14 530,56
Erosion-coefficient	Z	-	0.99	0.40

coefficients; Posenti; Kestlin; Iskovski; Meli; Kirstajner. In addition, a mean value of runoff curve number $CN_{sr(1956)} = 71$. The calculation of the maximum flow in the basin of the Gradasnica River in 2014 was made on the basis of the combined method and amounts to $Q_{max(2014)} = 87.2$ m³/s, while for the counted runoff curve is $CN_{sr(2014)} = 62$. The values of the maximum runoff and mean values of runoff curve number (in 2014) refer to the conditions in the basin after the execution of works for protection from erosion and torrential floods.

The effects that occur after the completion of works on erosion control and regulation of torrents are numerous. The basin area of the Gradasnica River is located in an extremely mountainous terrain. The cone shape of the terrain in the basin area is particularly emphasized in the middle and lower part. A high percentage of the average decline was obtained due to highly prominent points in the basin and very steep slope angles in the immediate vicinity. Petrographic composition is different, because in addition to the limestone, there is a significant percentage of sandstones, marls and shales. Gradasnica Gorge and parts of the basin were washed from the land to the limestone substrate, while the valley sides formed areas with deep pedological horizon. On a limestone substrate, there is the formation of smonica, which is almost impermeable to water. The presence of lime in the soil provides stability. The northeastern and southern parts of the basin are covered with sinkholes. In areas that are established in the sandstone there are pedological layers of sand clay, whose permeability is low. This geological diversity, in terms of primitive agritechnical measures has led to the emergence of intense erosion processes and torrential floods.

The initial state of erosion processes in 1956, was represented by the coefficient of erosion $Z = 0.99$ (strong erosion). Works on protection from erosion and regulation of torrential floods affected the value of sediment yield and discharge, as well as the value of surface runoff. The value of erosion coefficients in 2014 was $Z = 0.40$ (weak erosion). Works on arranging the basin have led to the reduction of total annual production of erosion sediment $W_{a(1956)} = 84977.56$ m³ up to the value of $W_{a(2014)} = 24611.39$ m³, reducing the value

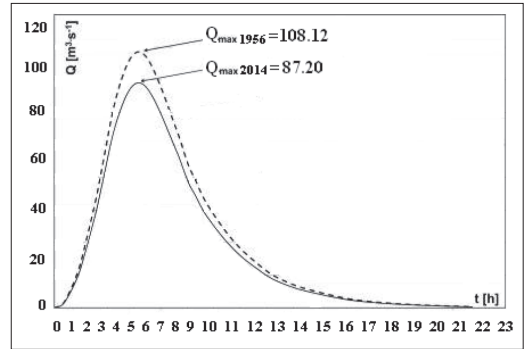


Figure 5. Hydrograph of the maximum runoff before (1956) and after (2014) performing the works of erosion control measures

of the specific sediment discharge with $W_{atsp.(1956)} = 13395.63$ m³/km²/year to a value of $W_{atsp.(2014)} = 404.11$ m³/ km²/year. The resulting value of the maximum flow $Q_{max(2014)} = 87.2$ m³/s was significantly lower than the value of maximum discharge prior to application of erosion control works $Q_{max(1956)} = 108.12$ m³/s. These changes in hydrological parameters directly indicate the effects that are caused directly by using erosion control works.

CONCLUSION

Soil erosion is a natural phenomenon present on the entire surface of the earth, while its intensity has a direct impact on human activity.

Changes in hydrological conditions of the basin, due to the application of erosion control works, were presented using the example of the Gradasnica River basin, which in the mid-50s of XX century was visibly threatened by erosion processes, with a coefficient $Z = 0.99$ (strong erosion) and frequent occurrences of torrential floods. After erosion control works, the erosion coefficient was reduced to the value of $Z = 0.40$, which is a characteristic of weak erosion. Land use has changed significantly in the whole river basin area, and the share of areas under forest vegetation (forests of good set) was increased manifold. In addition, there is an increased number of preserved meadows and pastures at the expense of abandoned arable land, orchards and vineyards.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Gavrilovic S. (1972): Engineering of Torrents and Erosion, Journal of Construction (Special Issue), Belgrade, Yugoslavia
- Djorovic, M. (1984): Determination of hydrological soil groups in the definition of runoff in the method of SCS, Vodoprivreda 87, Belgrade, 57-60
- (1994), EEA (European Environmental Agency) Coordination of information on the Environment.
- Fattorini M. (2001): Establishment of Transplants on Machine-Graded Ski Runs Above Timberline in the Swiss Alps; Restoration Ecology, Volume 9, Issue 2, pages (119–126)
- (1970): GI (Geological Institute), Basic geological map, 1:100 000 - Pirot, Belgrade, Yugoslavia
- Gordon, J. M., Bennet S. J., Alfonso C. V., Binger, R. I. (2008): Modeling long term soil losses on agricultural fields due to ephemeral gully erosion, Journal of soil and water conservation, 63, (173–181)
- Hejduk, S., Kasprzak, K. (2004): Advantages and risks of grassland stands from the viewpoint of flood occurrence. Grassland Science in Europe, 9, 228–230.
- Janeček, M., Dumbrovský, M., Dostál, T., Hůla, J., Kubátová, E., Podhrázská, J. et al. (2007): Protection of agricultural soils from the soil erosion. VUMOP Praha
- (1956): Preliminary design: Basin of the Nisava River, the torrent called the Gradasnica River, Department of Forestry NOS
- Jankovic D. (1994): Characteristics of heavy rains in the territory of Serbia, Construction calendar, Belgrade
- Jones, J. A., and G. E. Grant, (1996): Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon, Water Resources Research, (959–974)
- Kostadinov, S. (2007): Erosion and torrent control in Serbia – hundred years of experiences; International Conference Erosion and torrent control as a factor in sustainable river basin management, Belgrade, Proceedings (CD)
- Kvítek, T., Novák, P., Duffková, R., Fučík, P., Lexa, M. (2004): Principles of the differentiated zones Management using the permanent grassland in the water resources catchments. VUMOP Praha.
- Motha, J.A., Wallbrink, P.J., Hairsine, P.B. and Grayson, R.B. (2003) Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia. Water Resources Research, (1-18)
- Ristic R., Kostadinov S., Radic B., Trivan G., Nikic Z. (2012): Torrential floods in Serbia – Man made and natural hazards, In Conference Proceedings, INTERPRAEVENT, Grenoble, (771-779)
- Ristic R., Malosevic D. (2011): Hydrology of torrential floods; University of Belgrade, Faculty of Forestry, Belgrade.
- Ristic R., Radic B., Vasiljevic N., Nikic Z. (2011): Land use change for flood protection-a prospective study for the restoration of the Jelašnica river watershed, Bulletin of the Faculty of Forestry 103, 115-130
- Ristic, R. (2002): Occurrence mode of great waters in torrential basins in Serbia, Forestry, 1-3, (1-14).
- Ristic, R. (2003): Time of runoff delay in torrential basins in Serbia, Herald of the Faculty of Forestry, 87, (51-65)
- Ristic, R., Macan, G. (1997): The Impact of erosion control measures on runoff processes, Human impact on erosion and sedimentation, Proceedings of Rabat Symposium S6, IAHS Publ. 245, (191-203)
- Troendle, CA and WK Olsen. (1994) Potential effects of timber harvest and water management on streamflow dynamics and sediment transport. In Sustainable Ecological Systems Proceedings, General Technical Report RM-247, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, Fort Collins, Colorado, (34-41)
- Wipf, S., Rixen, C., Fischer, M. et al. (2005): Effects of ski piste preparation on alpine vegetation, J Appl Ecol 42, (306-316)

