

GENEZA NANOSA I ZASIPANJE MALE AKUMULACIJE (RETENZIJE) NA JEDNOM BUJIČNOM VODOTOKU SEDIMENTATION OF SMALL RESERVOIR ON A TORRENT STREAM

REZIME

Brana za retenziju kišnih voda „Velika Dičina“ izgrađena je 1966. godine. Retenzioni prostor se zasipa nanosom, ali se ovaj proces u izvesnoj meri razlikuje od klasičnog fenomena zasipanja akumulacija. U cilju utvrđivanja realne veličine erozije produkcije materijala u slivu i transporta nanosa u profilu brane, obavljena su detaljna terenska istraživanja i merenja. Izvršena su hidrološko-psamološka merenja proticaja vode, pronosa suspendovanog nanosa i geodetska merenja zasipanja retenzije. U okviru analize rezultata istraživanja izvršeno je poređenje rezultata erozionističkih proračuna i korespondentnih vrednosti merenja nanosa.

Ključne reči: retenzija, erozija, proticaj, nanos, sliv, zemljište.

RESUME

Small dam, „Great Dicina“ was built in 1966. This reservoir is with open outlet and without steady volume. Thus, sedimentation process to some extent differs from the classical reservoir siltation phenomenon. In order to determine the sediment yield in the watershed and sediment transport in the profile of the dam, detailed field study and measurements were carried out, including measurements of hydrological parameters, suspended sediment transport and geodetic measurement of reservoir siltation. The analyses of the results lead to comparison of erosion calculation results and corresponding values of sediment measurement.

Keywords: retention, erosion, runoff, sediment, basin, soil.

1. UVOD

Erozioni procesi prisutni su na celokupnoj površini Zemlje, kao dominantan faktor u stalnim promenama i oblikovanju reljefa planete. Erozijska produkcija, transport i taloženje nanosa predstavljaju segmente jedinstvenog prirodnog procesa koji se odvija u sadejstvu više prirodnih činilaca: geomorfoloških, geoloških, pedoloških, meteoroloških, hidroloških, bioloških i dr. Pored prirodnih, i antropogeni faktor igra vrlo značajnu ulogu u razvoju erozionih procesa. Sa razvojem civilizacije antropogeni faktor generiše inteziviranje erozionih procesa, isključivo kao posledicu negativnog delovanja čoveka.

Veliku ulogu u zaštiti prirodnih resursa imaju mikroakumulacije i retenzije, posebno u brdsko-planinskim slivovima. One vrše ulogu zaštite od poplava i nanosa, izravnane bilansa voda, eliminišu štetne posledice neregulisanog vodnog toka, čime indirektno utiču na stvaranje povoljnih uslova za privredni razvoj područja. Poznate su prednosti izgradnje i eksploatacije ovih objekata u planinskim slivovima: pogodna konfiguracija terena, mali stepen naseljenosti i urbaniza-

1. INTRODUCTION

Erosion processes are present on the whole surface of the earth, as the dominant factor in the constant change and shaping the relief of the planet. Sediment yield, transport and sediment deposition are segments of unique natural process that takes place in conjunction with several natural factors: geomorphological, geological, pedologic, meteorological, hydrological, biological and others. In addition to natural, anthropogenic factors also play a very important role in the development of erosion processes. With the development of civilization, anthropogenic factor generates intensified erosion process, solely as a result of the negative effects of man.

Major role in the protection of natural resources have small reservoirs and retentions, especially in mountainous basins. They perform the role of flood and sediment protection, water balance adjustment, eliminating the harmful effects of unregulated water flow, thus indirectly influence the creation of favorable conditions for economic development of those areas. Advantages of construction and operation of these facilities in mo-

1. Prof. dr Slobodan Petković, Šumarski fakultet, Beograd
2. Mr Milanko Ljujić, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Gornji Milanovac

cije, zanemarljiv nivo zagađenja i dobar kvalitet vode. Međutim, ova područja su veoma ugrožena erozionim procesima, različitih formi i intenziteta.

Pojavom jakih kiša ili naglim topljenjem snega dolazi do formiranja intenzivnog površinskog oticaja, pokretanja erozionog materijala sa padina u hidrografsku mrežu, brze koncentracije voda i stvaranja bujičnog poplavnog talasa. Transport vučenog i suspendovanog nanosa koritom bujičnog vodotoka dovodi do zasipanja korisnog prostora akumulacije, ispoljavanja rušilčkog dejstva i degradacije kvaliteta vode. U ovom radu je predstavljen koncept integralnog proučavanja procesa geneze i transporta nanosa i zasipanja male akumulacije na bujičnom slivu Velike Dičine u Gornjim Banjanima.

Ekonomska kriza usporava gradnju novih, pa nam ostaje da postojeće objekte što bolje održavamo i zaštitimo i time produžimo njihov aktivni vek trajanja. U skladu sa Okvirnom direktivom o vodama EU („ODV“), treba predvideti mere za zaštitu, poboljšanje i obezbeđenje dobrog hidrološkog, hemijskog i ekološkog statusa vode i sliva Velike Dičine, imajući u vidu ciljeve evropske politike o sveobuhvatnoj zaštiti voda, integralnom upravljanju vodnim resursima i rečnim slivovima. Na ovako malom i nedevastiranom slivnom području moguće je ostvariti zadati rok i do 2015-te godine obezbediti primenu osnovnih principa ODV. Realizacija pilot sliva u srcu Šumadije, osim praktičnog i edukativnog značaja imala bi i teorijsku primenu na svim manjim brdsko-planinskim slivovima u Srbiji.

2. Osnovne karakteristike sliva i objekata

Reke Velika Dičina i Mala Dičina su sastavnice Dičine u selu Gornji Banjani. Reka Dičina se nizvodno od sela Brđani, kod Preljine, uliva u Čemernicu, koja se u Zapadnu Moravu uliva nizvodno od Čačka. Velika Dičina drenira padine Suvobora i Rajca. Ukupna dužina vo-

untain basins are well known: suitable configuration of the terrain, low density and degree of urbanization, negligible levels of pollution and good water quality. However, these areas are highly threatened by erosion processes, of different forms and intensity.

Emergence of severe rainfalls or sudden melting of snow induce the formation of intense surface runoff, transport of erosion materials from slopes into the hydrographic network, rapid water concentration and creation of torrent flood waves. Suspended sediment transport and bed load transport leads to the siltation of reservoir, manifesting destructive effects and degradation of water quality. This paper presents the concept of integrated research of genesis and sediment transport processes, and siltation of small reservoir -retention on the torrent stream of Velika Dicina in Gornji Banjani.

Economic crisis slows construction of new objects, so we are forced to better maintain and protect the existing facilities and thereby extend their active life. In accordance with the EU Water Framework Directive („WFD“), it is necessary to predict the extent of protection, improvement and provision of good hydrological, chemical and ecological status of Velika Dicina basin, bearing in mind the goals of European policy on the holistic water protection, integrated management of water resources and river basins. For such a small and non-devastated river basin it is possible to achieve given period and to ensure implementation of the basic WFD principles until 2015. Realization of the pilot watershed in the heart of Sumadija, except the practical and educational significance, would have a theoretical application on all small mountainous basins in Serbia.

2. Basic characteristics of the basin and facilities

Rivers Velika Dicina and Mala Dicina are forming Dicina river in the village of Gornji Banjani. Downstream from the village Brđani, near Preljina, Dicina River joins the Cemernica, which flows into the river Velika Morava, downstream from the city of Cacak. Velika Dicina River drains the slopes of mountain Suvobor and Rajac. Total length of the river is 8.4 km, with a slope of about 4%.

Velika Dicina river basin has a proper shape and is highly developed (Figure 1). Basin area is approximately 25 km². Terrain is hilly-mountainous, with many bays and dry valleys. Mean basin slope is 28%, but most of the slopes in the basin are between 40-60%, except for the slopes in the upstream that have a milder slope. The greatest slopes are on the main section of the Velika Dicina river flow, from the profile of the dam to the mouth of the river Brajicka and in the downstream area of the Brajicka



Slika 1. Pregledna karta sliva Velike Dičine
Figure 1 Review map of river Velika Dicina basin

dotoka iznosi 8.4 km, sa padom od oko 4 %.

Sliv Velike Dičine ima pravilan oblik i veoma je razvijen (slika 1). Površina sliva iznosi oko 25 km². Teren je kupiran, izrazito brdsko-planinskog karaktera i sa velikim brojem uvala i suvodolina. Srednji pad sliva je 28 %, ali većina padina u slivu ima nagib 40-60%, izuzev padina u gornjem toku koje imaju blaže nagibe. Najveći nagibi terena su na deonici glavnog toka Velike Dičine, od profila brane do ušća Brajičke reke i na donjem toku Brajičke reke.

Nasuta brana „Velika Dičina“ izgrađena je u periodu 1965-66. godine na istoimenoj reci iznad sela Gornji Banjani. Zbog velikih izmena tokom gradnje, projektovano višenamensko korišćenje akumulacije nije realizovano i sada se koristi kao retenzija za zaštitu od poplava. Bez vodozahvatne kule i zatvaračnice, sa stalno otvorenim temeljnim ispustom objekat služi za zadržavanje poplavnih talasa i nanosa (slika 2).

Osnovni parametri objekta i akumulacionog basena su sledeći:

- Građevinska visina brane $H_{br} = 17,0$ m,
- Širina krune $b = 3,50$ m,
- Dužina po kruni $B = 65,20$ m,
- Tip: brana je od kamenog nabačaja sa glinenom jezgrom,
- Zapremina akumulacije do kote preliva iznosi 340.000 m³,
- Dužina jezera u nivou preliva iznosi 700 m,
- Prosečna širina jezera je 80 m.

3. OSNOVNI FAKTORI EROZIONIH PROCESA U SLIVU

Geološke karakteristike sliva

Slivno područje reke se odlikuje raznolikom geološkom građom. U površinskim slojevima kartirane su stene Karbona, Trijasa, Jure i Kwartara. Gornji Perm je predstavljen bituminoznim stratifikovanim laminiranim krečnjacima. Donji trijas se sastoji iz slojeva škriljaca, liskunovitih peščara, laporaca i alevrolita. U ovim slojevima se nalaze i peskoviti krečnjaci i dolomiti.

U kategoriji Jure, najviše su zastupljeni serpentiniti. Serpentinški kompleks predstavlja istaknute delove terena podložne procesima erozije i denudacije. S druge strane, u kategoriji Krede, dominiraju krečnjaci i laporci. Kredni fliš obuhvata pretežno karbonatne stene taložene u vreme gornje krede. U sastav ove serije ulaze različiti krečnjaci: bituminozni, laporci, laporovito-peskoviti, rožnaci i dr.

Kvartarni kompleks obuhvata aluvijalni nanos - grubozrne šljunkove, pretežno debljine do 3 m, prekrivene muljem ili prašinastim materijalom debljine do 1 m. Pored toga, zastupljeni su proluvijalna droblina,

River.

The dam "Great Dicina" was built in the period 1965-66, above the village of Gornji Banjani. Because of the great changes during construction, projected multi-purpose use of reservoir has not been realized and is now used as retention area for flood protection. With always opened outlet, the object is fundamental for retaining flood waves and sediments (Figure 2).

The main parameters of the object and accumulation basin (reservoir) are as follows:

- Construction height of the dam $H_{br} = 17,0$ m,
- Crown Width $b = 3,50$ m,
- Crown Length $B = 65,20$ m,
- Type: dam made of stone with clay core,
- Volume of the reservoir to the spillway gradient is 340.000 m³,
- Lake length in the spillway gradient is 700 m,
- Average lake width is 80 m.



Slika 2. Akumulacija (retenzija) „Velika Dičina“
Figure 2 Reservoir (retention) „Velika Dicina“

3. THE MAIN FACTORS OF EROSION PROCESSES IN THE BASIN

Geological characteristics of the basin

River catchment area is characterized by diverse geological materials. The surface layer consists of Carboniferous, Triassic, Jurassic and Cretaceous. Upper Permian is represented by bituminous stratified laminated limestones. Lower Triassic consists of layers of schist, sandstone, marl and alevrolite. In these layers are located sandy limestones and dolomites.

In the Jurassic category, the most represented are serpentinites. Serpentinite complex represents the parts of the terrain that are subjected to erosion and denudation processes. On the other hand, in the Cretaceous category, limestones and marls are dominating. Cretaceous flysch comprises mainly carbonate rocks deposited during the Upper Cretaceous. The

proluvijalni bujični nanos (pretežno gline sa proslojci- ma šljunka), deluvijalna glina (srednje plastične gline i glinoviti šljunak debljine do 3 m) i deluvijalni padinski nanos (zaglinjena drobina debljine do 3 m).

Pedološke karakteristike sliva

Osnovne karakteristike zemljišta određuje matični supstrat. Izdvojene su tri grupe supstrata koje obje- dinjuju zemljišta sličnih osobina: serpentini (ultrama- fiti), kiseli silikatni supstrati i mešoviti silikatno-karbo- natni supstrati. U okviru svake grupe obrazovani su karakteristični tipovi zemljišta.

Zemljišta na serpentinskim supstratima zauzimaju oko 60 % površina slivnog područja i gotovo sve go- leti. Zemljišta na silikatnim supstratima pretežno si- romašna bazama. U proizvodnom smislu ovo su naj- vrednija zemljišta na području sliva. Po pravilu su du- boka i pogodna za razvoj korenovog sistema. Zbog povoljnog mehaničkog sastava ova zemljišta imaju zadovoljavajući vodni režim i solidnu dinamiku vlage. Zemljišta na silikatnim stenama i pored pokrivenosti šumom su izložena eroziji. Osetljivost prema eroziji je visoka jer se rastresiti deo zemljišta posle obilnih kiša lako natopi vodom a kompaktna podloga ne može da primi višak vode.

Zemljišta na silikatno-karbonatnim supstratima su uglavnom plitka i relativno niskih proizvodnih vred- nosti. Sa porastom stepena razvoja i sa povećanjem količine nerastvorenog ostatka kod laporovitih i pe- skovitih krečnjaka, povećava se i dubina zemljišta i poboljšavaju vodne osobine.

Vegetacija

Vegetacioni pokrivač ima značajan uticaj na spreča- vanje stvaranja klizišta, ekstenzivnih erozionih poja- va i ublažavanje dejstva poplavnih talasa. Antiero- ziona uloga vegetacionog pokrivača ne zavisi samo od procenta pošumljenosti ili zatravljenosti slivnog područja već i od prostornog rasporeda određenih tipova vegetacije. Šume su prisutne na strmim nagi- bima i u pojasu rečnih tokova, a na blažim nagibima se nalaze livade i oranice. Oranične površine, zbog slabog vegetacionog pokrivača, mehaničkog raza- ranja strukture zemljišta od strane čoveka i stvaranja brazdi i jaruga veoma su pogodne za razvoj erozionih procesa, posebno na većim nagibima. Neadekvatan izbor kultura, oranje i sadnja niz nagib čine dodatne negativne uticaje antropogenog faktora.

Indirektan uticaj vegetacije ogleda se u povoljnijoj strukturi zemljišta pod biljnim pokrivačem (prven- stveno šumama), čime se jača otpor zemljišta na dejstvo erozionih sila. Povećana infiltracija zemljišta utiče na smanjenje količine i brzine kretanja vode niz padine.

composition of this series includes various limesto- nes: bituminous, marls, marl-sandy, etc.

Quaternary complex comprises alluvial deposits - rou- gh gravel, mostly up to 3 m thick, covered with mud or pulverulent material thickness up to 1 m. In additi- on, proluvial inwards, proluvial torrent deposit (main- ly clay with gravel layers), diluvial clay (medium pla- stic clays and clayey gravel thickness up to 3 m) and diluvial slope deposit (clayey inwards up to 3 m thick) are presented.

Pedologic characteristics of the basin

Basic characteristics of the soil are determined by ba- sic substrate. Three groups of substrates are extrac- ted: serpentines (ultramafics), acidic siliceous substra- tes and mixed silicate-carbonate substrates. Within each group are formed typical types of soil.

Land with serpentine substrates occupies about 60% of catchment area and almost all the waste land. Land with silicate substrates is mainly poor of bases. In terms of production, these are the most valuab- le soils in the basin area. These are commonly deep and suitable for the development of root system. Due to the favorable mechanical composition of the soil, they have a satisfactory water regime and solid mo- isture dynamics. Land with silicate rocks, despite fo- rest coverage are exposed to erosion. Sensitivity to erosion is high, because after heavy rainfall the loose soil is easily soaked with water and compact surface cannot receive excess water.

Land with silicate-carbonate substrates are general- ly shallow and with relatively low production values. With the increased level of development and with in- creasing amounts of non-dissolved remains of marl and sandy limestone, the depth of the soil is increa- sed and water characteristics are improved.

Vegetation

Vegetation covers have a significant impact on pre- venting the creation of landslides, extensive erosion phenomena and mitigate effects of the flood waves. Anti-erosive role of vegetation cover depends not only on the percentage of tree or grass cover of the catchment area but also on the spatial distribution of certain types of vegetation. Forests are present on steep slopes in the river flow areas, and meadows and fields are present on the milder slopes. Arable land, due to the poor vegetation cover, human mechanical destruction of soil structure and creation of furrows and trenches are very suitable for the development of erosion processes, especially at higher slopes. Ina- dequate choice of culture, plowing and planting on the slopes are additional negative impacts of anthro- pogenic factors.

Tabela 1. Vegetacioni pokrivač slivnog područja
Table 1 Vegetation cover of the catchment area

	VEGETACIONI POKRIVAČ VEGETATIONAL COVER	POVRŠINA (HA) SURFACE	PROCENAT POVRŠINE SURFACE PERCENT
1.	PAŠNJACI PASTURES	290	11.5%
2.	NJIVE ARABLE LAND	438	17.0%
3.	GOLETI BARE LAND	250	10.0%
4.	ŠUME FORESTS	1220	48.0%
5.	LIVADE MEADOWS	346	13.5%
	UKUPNO TOTAL	2544	100 %

Vegetacioni pokrivač sliva Velika Dčina čine listopadne šume, zatim livade i pašnjaci. U blizini seoskih naselja nalaze se obradive površine. Podaci o pošumljenosti i načinu korišćenja zemljišta u slivu prikani su u tabeli 1.

Šumski pokrivač čine bukove i hrastove šume, kao i šume mešovitog i izdanačkog tipa. Područje Suvobora pokrivaju kulture crnog i belog bora. Ovde preovlađuju veštački podignuti zasadi starosti 20-30 godina, sa manjim delom starijih kultura autohtone šume. Bukove šume se nalaze na severnim ekspozicijama, a hrastove, uglavnom, na južnim.

Površine koje se koriste za poljoprivrednu proizvodnju zauzimaju 1/3 sliva i raspoređene su oko sela Brajići, Polom i Rajac. Ove površine u potpunosti odgovaraju svojoj nameni izuzimajući manje parcele njiva sa nagibom većim od 12°.

Najveći problem, svakako, predstavljaju goleti. Plitka, skeletna i kamenita zemljišta, lakog mehaničkog sastava i nepovoljnog vodnog režima, obuhvataju najmanju površinu sliva (10 %), a daju najveći doprinos produkciji erozionog materijala.

Klimatske karakteristike sliva

Nadmorska visina sliva ($H_{sr}=700$ mnm) i velika izraženost reljefa čine da sliv Dčine pripada klimatskoj zoni planinskog područja. Ovu klimu karakterišu duge i hladne zime s velikim količinama snega i kratka i topla leta. U najširem smislu ovo područje je izloženo uticaju vazдушnih struja sa zapada, koje ga čine bogatijim padavinama.

Prosečna godišnja suma padavina izmerena na kišomernoj stanici u Gornjim Banjanima iznosi 890 mm. Godišnja količina padavina, u periodu od 1942. do 1991. godine, kretala se od 620 mm (1953. godine) do 1372 mm (1955.). Apsolutni maksimum dnevnih padavina iznosi 184.2 mm, dok je prosečan dnevni maksimum tokom godine 48.8 mm. Prosečan broj dana sa snegom je maksimalan u januaru i iznosi 9.8. Uku-

Indirect impact of vegetation is reflected in the favorable soil structure under plant cover (mainly forest), which strengthens the resistance of soil to the effects of erosion forces. Increased infiltration of soil affects the reduction of water quantity and speed down the slopes.

Vegetation cover of the Velika Dčina river basin are deciduous forests, and meadows and pastures. In the vicinity of rural settlements is arable land. Data on tree cover and the way of soil usage in the basin are shown in Table 1.

Forest cover consists of beech and oak trees and forests of mixed and offspring type. Area of mountain Suvobor is covered with black and white pine. Predominant cultures are those artificially planted some 20-30 years ago, with a smaller part of the older culture of indigenous forest. Beech forests are located on the northern exposures, and oak, mostly in the south.

Areas used for agricultural production occupy 1/3 of the river basin and are arranged around the villages Brajići, Polom and Rajac. These surfaces fully correspond to their purpose with the exception of small land parcels with slope greater than 12°.

The biggest problems are bare lands. Shallow, skeletal and rocky soil, with light mechanical composition and unfavorable water regimes, cover the smallest watershed area (10%), and provide the greatest contribution to the production of erosive material.

Climatic characteristics of the basin

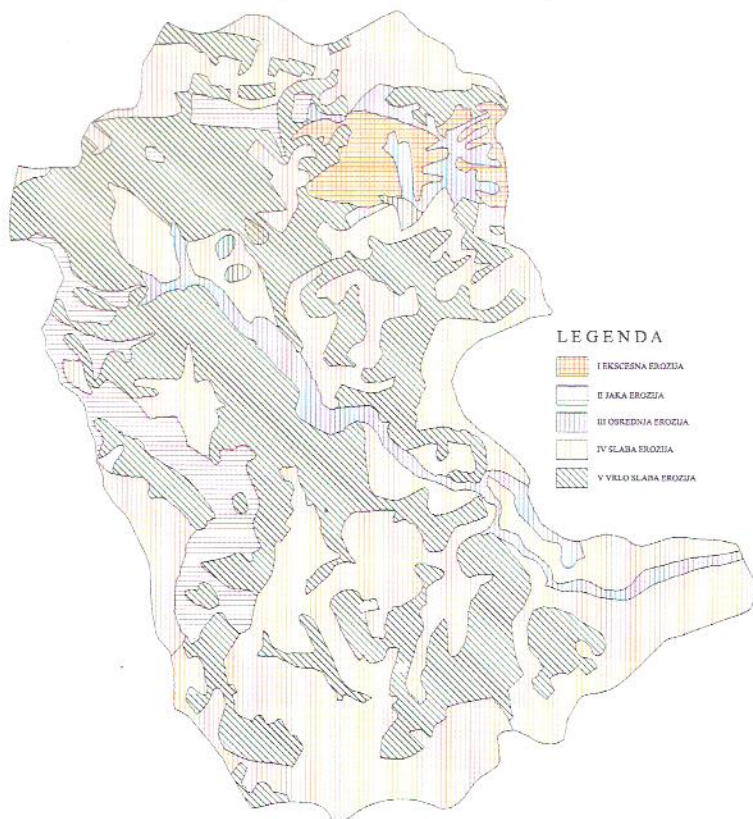
Basin altitude ($H_{sr}=700$ mnm) and large prominence of reliefs makes that Dčine basin belongs to climatic zone of the mountain areas. This climate is characterized by long and cold winters with large amounts of snow and a short and hot summer. In the broadest sense this area is exposed to the influence of air currents from the west, which enables richer rainfalls.

The mean annual precipitation measured at the rainfall gauging station Gornji Banjani is 890 mm. Annual precipitation during the period of the 1942 to 1991, was between 620 mm (1953 year) and 1372 mm (1955). The absolute maximum for daily precipitation is 184.2 mm, while the average daily maximum during the year is 48.8 mm. The maximum average number of days with snow is in January and is 9.8. The total number of days with snow during the year is approximately 37.8. Maximum height of snow measured on gauging station Gornji Banjani is 140.0 cm and was recorded in February 1984.

pan broj dana sa snegom u toku godine je prosečno 37.8. Maksimalna visina snežnog pokrivača izmerna na padavinskoj stanici u Gornjim Banjanima iznosi 140.0 cm i evidentirana je u februaru 1984. godine.

4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Integralni pristup u istraživanju erozionih procesa zahteva sistematsko i interdisciplinarno izučavanje procesa produkcije, spiranja, transporta i taloženja erozionog materijala. Istraživanje obuhvata celokupno slivno područje, hidrografsku mrežu i akumulacioni prostor. U cilju utvrđivanja realne veličine erozione produkcije nanosa u slivu i transporta u hidrografskoj mreži, izvršena su detaljna terenska istraživanja i me-



renja pronosa nanosa.

Za određivanje stepena zastupljenosti pojedinih tipova erozije primenjena je klasifikacija erozije prema S. Gavriloviću. Na osnovu istraživanja erozionih procesa na terenu registrovano je svih pet kategorija razorenosti zemljišta, prevashodno površinskog tipa. Najveći procenat slivne površine pripada kategoriji slabe erozije (44,6%) i vrlo slabe erozije (39,6%). Visoki i ujednačeni procenti ovih kategorija, uz veoma male procenat preostale tri kategorije (ukupno 15,8%), svrstavaju slivno područje Dičine na granicu između slabe i veoma slabe erozivnosti. Na osnovu raspoloživih podloga i prikupljenih podataka na terenu urađena je karta erozije po metodi Gavrilovića (slika 3.). Zastupljenost pojedinih kategorija erozije prikazana je u tabeli 2.

4. RESEARCH METHODOLOGY

Integrated approach to erosion processes study requires systematic and interdisciplinary study of the processes of production, runoff, transport and deposition of erosive material. The research covers the whole catchment area, hydrographic network and the accumulation area. In order to determine the real size of erosive sediment production in the basin and transport in hydrographic network, detailed field research and measurements of sediment transport were carried out.

In order to determine the degree of representation of certain types of erosion, the classification of erosion by S. Gavrilovic was applied. Based on the field research of erosion processes, all five categories of land destroy, primarily surface type, were registered. The largest percentage of the catchment area belongs to the category of low erosion (44.6%) and very low erosion (39.6%). High and equal percentages of these categories, with very small percentages of the remaining three categories (a total of 15.8%), classify the catchment area Dičine on the boundary between low and very low erosion. On the basis of available surfaces and data collected in the field, erosion map by method of Gavrilovic was made (Figure 3). The representation of certain categories of erosion is shown in Table 2

Slika 3. Karta erozije slivnog područja po Gavriloviću

Figure 3 Erosion map of the catchment area by Gavrilovic

Research methodology of the bed load transport includes measurements of water flows and concentration of suspended sediments in the base hydrological station. Continuous measurement of water level is done with standard recorder. Measuring of

Tabela 2. Kategorije erozije na slivu Velike Dicine
Table 2 Erosion categories in the Velike Dicine basin

KATEGORIJA EROZIJE EROSION CATEGORY	(HA)	(%)
I EKSCESNA EROZIJA EXCESS EROSION	78.92	3.1
II JAKA EROZIJA HEAVY EROSION	170.35	6.7
III OSREDNJA EROZIJA MEDIUM EROSION	152.50	6.0
IV SLABA EROZIJA LOW EROSION	1134.38	44.6
V VRLO SLABA EROZIJA VERY LOW EROSION	1007.58	39.6
UKUPNO TOTAL	2543.73	100

Metodologija istraživanja transporta rečnog nanosa obuhvata merenja proticaja vode i koncentracije suspendovanog nanosa na baznoj hidrološkoj stanici. Kontinualno merenje vodostaja se obavlja limnigrafom. Merenje koncentracije suspendovanog nanosa vrši se uzimanjem uzoraka jednom dnevno, stacionarnom metodom iz stalne tačke na profilu hidrološke stanice. Filtriranje, sušenje i merenje suspendovanog nanosa vrši se u laboratoriji, a dobijeni rezultati se obrađuju na računaru.

Imajući u vidu cilj istraživanja, od posebnog je značaja analiza zasipanja retenzije „Velika Dičina“. Tokom istraživanja, u periodu od 1998 – 2001. godine, vršena su geodetska merenja akumulacionog bazena, pomoću obeleženih profila za praćenje zasipanja nanosom. Poprečni profili su obeleženi i postavljeni na rastojanju od 50 m. Merenjem je utvrđena zapremina nasutog materijala od izgradnje akumulacije. Snimanje obeleženih poprečnih profila je vršeno jednom godišnje. U poređenju sa stanjem iz prethodne godine dobijena je zapremina istaloženog materijala u retenzionom prostoru.

Bazni objekat istraživanja predstavlja hidrološka stanica „Velika Dičina“ izgrađena nizvodno od nasute brane. Svakodnevno se meri proticaj vode i koncentracije suspendovanog nanosa. Izgradnjom hidrološke stanice Jolska Strana, uzvodno od akumulacije, i poređenjem podataka izmerenih proticaja na drugoj hidrološkoj stanici dobijen je dokaz o poniranju vode u zoni retenzije. Srednji godišnji proticaj vode u 2001. godini izmeren na stanici Jolska Strana bio je za oko 5% veći od proticaja na hidrološkoj stanici u profilu brane (290:279 l/s). Ako se ima u vidu i dodatnih 5% površine sliva između Jolske Strane i profila brane, onda ukupan srednji godišnji gubitak vode na ovoj deonici iznosi oko 10% Q_{srg} .

Geofizička istraživanja, geoelektrično skeniranje i refrakciono-seizmička ispitivanja odredila su stepen ispuicalosti i oštećenja krečnjačkog masiva u zoni pregradnog mesta i akumulacionog prostora. Lokacija je, usled stalnih tektonskih aktivnosti, ispresecana rasjedima i pukotinama. Karstifikacija je izražena u zoni mlađe trijasko tvorevine sačinjene od bankovitih krečnjaka. Nizvodno od brane je registrovano više karstnih vrela.

5. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Proticaj vode i pronos suspendovanog nanosa

U periodu od 1998 – 2001. godine, vršena su sistematska merenja proticaja vode i pronosa suspendovanog nanosa na hidrološkoj stanici „Velika Dičina“. Pored toga, jednom godišnje su vršena i snimanja akumulacionog bazena, u cilju praćenja zasipanja retenzije. Prosečne srednje mesečne koncentracije suspendovanog nanosa su neujednačene i kreću se od

suspended sediment concentration is done by daily sampling, using the stationary method of permanent point on the profile of hydrological station. Filtering, drying and measurement of suspended sediment are carried out in the laboratory, and the results are processed on the computer.

Bearing in mind the goal of research, special significance has the siltation analysis of the „Velika Dičina“ retention. During the research, in the period from 1998 to 2001, geodetic survey basin were carried out, using marked profiles for siltation monitoring. Transverse sections were marked and placed at a distance of 50 m. Measurement has determined the volume of sediment materials since the construction of the dam and reservoir. Recording of marked transverse profiles was done once a year. In comparison with the situation from the previous year the volume of sediment material in retention area was obtained.

Basic research facility is hydrological station „Velika Dičina“ located downstream from the dam. Water flow and the concentration of suspended sediment are daily measured. Construction of hydrological station Jolska Strana, upstream from the reservoir, and comparison of the measured flow data in the second hydrological station obtained the evidence of water submerge in the retention area. Mean annual water flow in 2001 measured at the station Jolska Strana was about 5% higher than the flow of hydrological station in the dam profile (290:279 l/s). Having in mind an additional 5% of the basin area between Jolska Strana and dam profile, the total mean annual water loss of this section is about 10% Q_{an} .

Geophysical research, geo-electric scanning and refractive-seismic testing determined the level of cracks and damage of the limestone massif in the area of dividing site and accumulation area. Location is due to constant tectonic activity, intersected with thrust faults and fissures. Carstification is expressed in the zone of Lower Triassic structures made of limestone. More carst springs are registered downstream from the dam.

5. RESEARCH RESULTS

Water flow and suspended sediment transport

In the period from 1998-2001, systematic measurements of water flow and suspended sediment transport were carried out on the hydrological station „Velika Dičina“. In addition, recording of reservoir basin were performed once a year, in order to monitor reservoir siltation. The mean monthly concentration of suspended sediment is variable, ranging from 4.6 mg/l (measured in November 1999) to 93.7 mg/l (July 2001), with high oscillations of mean monthly water flow in the range of 48.5 l/s (October 2000) to 733.8

4.6 mg/l (izmereno u novembru 1999. godine) do 93.7 mg/l (jul 2001.) uz velike oscilacije srednjih mesečnih proticaja vode u granicama od 48.5 l/s (oktobar 2000.) do 733.8 l/s (septembar 2001.). Prosečne srednje godišnje koncentracije suspendovanog nanosa su takođe neujednačene i kreću se od 12.3 mg/l (u 1999. godini) do 29.5 mg/l (u 2001. godini). Zanimljivo je da izrazito kišna 1999. godina sa prosečnim godišnjim proticajem od 365.9 l/s istovremeno ima i najmanju koncentraciju suspendovanog nanosa od 12.3 mg/l. To znači da transport nanosa ne zavisi od ukupnog godišnjeg dotoka vode, već od strukture dotoka.

Prva godina osmatranja (1998) je bila umereno sušna, sa prosečnim proticajem u profilu brane $Q_{1sr} = 234.1$ l/s (višegodišnji proseki iznosi 270 l/s). Vrednost srednjeg godišnjeg pronosa suspendovanog nanosa $P_{1srg} = 0.0035$ kg/s, ukupan pronos $P_{1g} = 110.4$ t. Vodostaj u retenziji je registrovan u toku 18 dana.

Druga godina osmatranja je bila kišna, sa prosečnim proticajem $Q_{2sr} = 365.9$ l/s. Vrednost srednjeg godišnjeg pronosa suspendovanog nanosa $P_{2srg} = 0.0045$ kg/s, ukupan pronos $P_{2g} = 141.9$ t. Vodostaj u retenziji je registrovan u toku 63 dana i predstavlja apsolutni rekord. U ovoj godini je registrovana i velika količina istaloženog nanosa u retenziji od 1110 m³.

Treća godina osmatranja je bila izrazito sušna, sa prosečnim proticajem u profilu brane $Q_{3sr} = 186.0$ l/s, što iznosi 69% od višegodišnjeg proseka. Izmerena vrednost srednjeg godišnjeg pronosa nanosa $P_{3srg} = 0.0030$ kg/s, ukupan pronos $P_{3g} = 94.9$ t je najmanji tokom perioda osmatranja. Vodostaj u retenziji je registrovan tokom 23 dana. Zasipanje basena nanosom nije registrovano i pored višestrukog osmatranja geodetskih profila, tako da ukupnu količinu nanosa izmerenog u profilu brane u 2000-toj godini čini suspendovani nanos zapremine 78 m³. S obzirom na osmotrene vodostaje i višednevno zadržavanje vode u akumulaciji, taloženja je svakako moralo biti, ali nije došlo do povećanja zapremine nanosa u ovoj godini zbog razlaganja i sleganja nanosa, pre svega bio-mase, iz prethodne kišne godine.

Četvrta, ujedno i poslednja kalendarska godina osmatranja, prema proticaju od $Q_{4sr} = 279.4$ l/s pripada statističkom višegodišnjem proseku. Vodostaj u retenziji je registrovan u toku 50 dana, znatno je iznad proseka ali nije rekordan. Rekordne su, međutim, vrednosti srednjeg godišnjeg pronosa suspendovanog nanosa $P_{4srg} = 0.0082$ kg/s, ukupan pronos $P_{4g} = 258.6$ t i količina istaloženog nanosa u retenziji od 1520 m³.

Na osnovu četvorogodišnjih merenja suspendovanog nanosa, realna je procena da se ukupan pronos suspendovanog nanosa nalazi u granicama izmerenih vrednosti (90-300 t/god), odnosno $P_{sr} \approx 145$ t/god, ili 120 m³/god. Velika produkcija i transport nanosa mogući su i na slivovima male erozivnosti ($Z=0.22$; $P_{sr} = 0.0050$ kg/s) u uslovima ekstremno visokih padavina u letnjim mesecima. Rezultati višegodišnjih merenja ukazuju na sezonsko kolebanje hidroloških i

l/s (September 2001). The mean annual concentrations of suspended sediment range from 12.3 mg/l (in 1999) to 29.5 mg/l (in 2001). It is interesting that very rainy 1999 with mean annual flow of 365.9 l/s at the same time has the lowest concentration of suspended sediment of 12.3 mg/l. This means that sediment transport does not depend on the total annual water flow, but on the structure of water flow.

The first year of observations (1998) was moderately dry, with an average water flow in the dam profile of $Q_{1sr} = 234.1$ l/s (multi-year average of 270 l/s). The value of mean suspended sediment transport is $P_{1srg} = 0.0035$ kg/s, and the total transport is $P_{1g} = 110.4$ t. Water level in the retention was registered during 18 days.

The second year of monitoring was rainy, with an average flow of $Q_{2sr} = 365.9$ l/s. The value of mean suspended sediment transport is $P_{2srg} = 0.0045$ kg/s, and the total transport is $P_{2g} = 141.9$ t. Water level in the retention was registered during 63 days and is an absolute record. In this year was registered the large amount of sediment in retention of 1110 m³.

The third year of monitoring was extremely dry, with an average water flow in the dam profile of $Q_{3sr} = 186.0$ l/s, which is 69% of the multi-year average. Measured value of mean suspended sediment transport is $P_{3srg} = 0.0030$ kg/s, while the total transport of $P_{3g} = 94.9$ t is the lowest during the observation period. Water level in the retention was registered during 23 days. Reservoir siltation was not registered despite multiple observations of geodetic profiles, so that the total amount of sediment measured in the profile of the dam in 2000 is suspended silt volume of 78 m³. Deposition must have occurred, due to observed water levels and multi-day water retention in the reservoir, but there has been no increase in the volume of sediment in this year due to the decomposition and subsidence of sediment, especially bio-mass, from the previous rainy year.

Fourth, and also the last calendar year of monitoring, according to the flow of $Q_{4sr} = 279.4$ l/s belongs to the statistical average. Water level in the retention registered during 50 days, was significantly above average but has not been a record. Record values, however, are those of mean suspended sediment transport $P_{4srg} = 0.0082$ kg/s, total transport $P_{4g} = 258.6$ t and total amount of retention sediment of 1520 m³.

On the basis of four year measurements of suspended sediment, the realistic estimation is that the total amount of suspended sediment is within the limits of measured values (90-300 t/yr), therefore $P_{sr} \approx 145$ t/yr, or 120 m³/yr. Large production and transport of sediment are possible in basins with low erosion ($Z = 0.22$; $P_{sr} = 0.0050$ kg/s) in conditions of extremely high rainfall in the summer months. Results of multi-year measurement indicate the seasonal variability of hydrological and sediment transport parameters and the possibility of intense erosion processes in river basin.

psamoloških veličina i mogućnost pojave intenzivnih erozionih procesa na slivnom području.

Najveća izmjerena koncentracija suspendovanog nanosa registrovana je 6.08.2002. godine, 852.5 mg/l pri proticaju od 140 l/s.

Pronos suspendovanog nanosa u bujičnim talasima

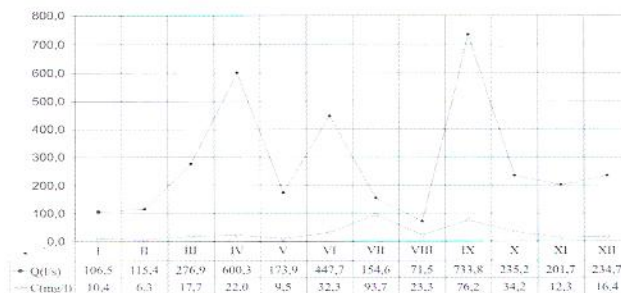
Osnovni problem kod osmatranja nanosa na bujičnim vodotocima se odnosi na metodologiju osmatranja, sa jednim dnevnim terminskim uzimanjem uzoraka suspenzije. Uzorkovanje vode bujičnih talasa uzvodno od retenzije i zahvatanje krupne organske materije stacionarnom metodom je neizvodljivo. Bujični talasi sa vremenskom bazom kraćom od 24 časa prođu između dva terminska osmatranja, a izmereni pronos nanosa je manji od stvarnog, s obzirom na nemogućnost zahvatanja reprezentativnog uzorka suspenzije. Razlika između registrovanog i stvarnog pronosa nanosa, je naročito izražena kod manjih vodotoka, kod kojih talasi bujičnih voda učestvuju sa 50-90% u ukupnom godišnjem transportu nanosa.

Ključnu ulogu u procesu transporta suspendovanog nanosa u manjim vodotocima imaju talasi velikih voda. Broj (n_t) i veličina bujičnih talasa variraju iz godine u godinu. Zapremina talasa velikih voda (W_t) i struktura godišnjeg dotoka sa psamološkog aspekta su najbitniji. Koeficijent strukture godišnjeg oticanja je odnos između sumarne zapremine talasa velikih voda i godišnjeg dotoka (W_g): $\tau = \sum \Omega \tau / W_g$

Rekonstrukcija pronosa suspendovanog nanosa u talasima velikih voda izvršena je pomoću metode „sintetičkog psamograma“ (Petković, 1993.). Determinisanje vrednosti koncentracije suspendovanog nanosa u vrhu talasa (C_{max}) je određivana pomoću korelativne zavisnosti $C(Q)$, s tim što je za najveći registrovani dotok u periodu osmatranja usvojeno $C_{max}=2.00 \text{ kg/m}^3$ na osnovu analogije sa slivovima sličnih karakteristika. Na slici 5. je prikazana rekonstrukcija pronosa nanosa u jednom talasu velikih voda. U tabelama 3 i 4, prikazan je proračun transporta nanosa u talasima velikih voda na ulazu i izlazu iz akumulacije.

Prema rezultatima proračuna u 2001. godini u basenu je zadržano 60% (2.821 t : 4722 t) nanosa u bujičnim talasima, a u 1999. godini 52% (982 t : 1890 t). Osmotreni talas u februaru 1998. godine, bez uspora i zadržavanja nanosa u basenu, je prošao kroz temeljni ispušt. Očigledno je da procenat taloženja nanosa u talasima velikih voda direktno zavisi od veličine talasa i vremena zadržavanja u retenziji.

Ukupan godišnji transport nanosa (P_g^*) predstavlja zbir godišnjih vrednosti P_g (dobijene merenjem suspendovanog nanosa), vrednosti istaloženog nanosa u basenu P_{ak} (dobijene geodetskim merenjem) i vrednosti $\sum P_t$ (pronos



Slika 4. Dijagram srednjih mesečnih vrednosti proticaja i koncentracije suspendovanog nanosa u 2001. Godini
Figure 4 Diagram of mean monthly values of water flow and concentration of suspended sediment in 2001

The highest measured concentration of suspended sediment has been registered on August 6th 2002, 852.5 mg/l with water flow of 140 l/s.

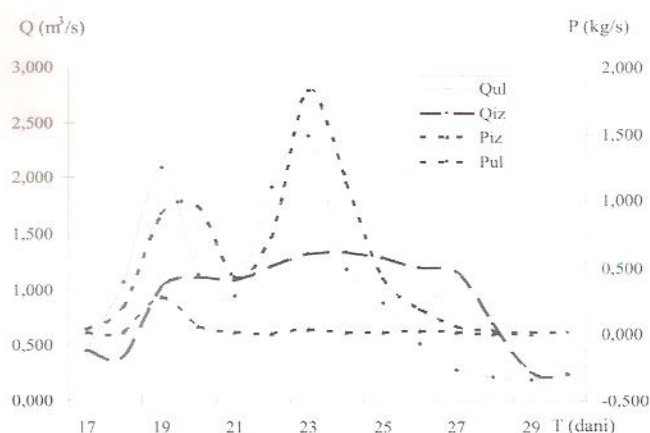
Suspended sediment transport in flood waves

The main problem in sediment monitoring in the torrent currents refers to the methodology of monitoring, with one daily suspension sampling. Sampling of torrent waves upstream from the retention and sampling of large organic matter by stationary method is impracticable. Torrent waves with time base shorter than 24 hours pass between two term observations, and measured sediment transport is lower than real, given the impossibility of sampling representative sample of the suspension. The difference between registered and actual sediment transport, is particularly pronounced in smaller streams, where torrent water waves participate with 50-90% of the total annual sediment transport.

Key role in the process of suspended sediment transport in small water currents have large water waves. Number (n_t) and size of torrent waves vary from year to year. Volume of large water waves (W_t) and the composition of the annual inflow from sedimentation aspects are the most important. The coefficient of the structure of the annual outflow is the relation between the summary volume of large water waves and the annual inflow (W_g): $\tau = \sum \Omega \tau / W_g$

Reconstruction of suspended sediment transport in large waves was made using methods of „synthetic sediment hydrograph“ (Petkovic, 1993). The determination of the value of the concentration of suspended sediment in the top of the wave (C_{max}) was obtained using correlative dependence $C(Q)$, and the highest adopted inflow during the period of observation was $C_{max}=2.00 \text{ kg/m}^3$, on the basis of similar basin analogy. Figure 5 is showing the reconstruction of sediment transport on a large water wave. In tables 3 and 4, is shown the calculation of sediment transport of large water waves at the inlet and outlet of the reservoir.

Hidrogram i psamogram poplavnog talasa jun 1999. god.



Slika 5. Hidrogram i psamogram bujičnog talasa, osmotren u junu 1999. god.

Figure 5 Hydrograph and sediment rate of torrent wave, observed in June 1999

nanosa u bujičnim talasima). Na osnovu izvršene analize hidrološkog i psamološkog režima Velike Dičine, determinisan je pronos nanosa u talasima i proračunata merodavna vrednost transporta nanosa u profilu brane. Ona se kreće u rasponu od 500-7.000 t/god. Prosečno učešće bujičnih talasa u ukupnom godišnjem transportu nanosa iznosi 20-70% (1998. g-2001. g, tabela 5.).

Sa pojavom poplavnih talasa, u retenziji se odvijaju ciklični procesi taloženja, podizanja i odnošenja sitnih čestica nanosa. Organske materije, najčešće huminskog porekla, nastale truljenjem i razlaganjem biomase, ne mogu se taložiti u retenziji. Voda ih odnosi u obliku rastvora huminskih kiselina, ili plivajućih čestica.

Zasipanje akumulacije nanosom

Proces zasipanja akumulacije „Velika Dičina“ je determinisan na osnovu rezultata geodetskih snimanja akumulacionog basena. Snimanja i merenja su pokazala da se veći deo nanosa istaloži u basenu, a ostatak ode kroz temeljni ispušt ili preko preliva brane. Od izuzetnog značaja su podaci o ukupnom zasipanju akumulacije u prvih trideset godina postojanja, dobijeni na osnovu merenja i rekognosciranja početnog – „nultog“ stanja.

Suspendovani nanos se taloži u donjem delu basena, u zoni koja je najčešće pod vodom. Debljina nasutog sloja neposredno uz branu iznosi 1,5 m, a maksimalna dubina na mestu pregrađivanja rečnog korita iznosi 2.8 m. Najveće rastojanje od ose brane na kome je registrovano zasipanje akumulacije iznosi oko 450 m. Merenjem je utvrđeno zasipanje akumulacije nanosom od 12.800 m³ u periodu od 1966-1997. godine. Ovoj zapremini nanosa treba dodati 3.000 m³ nanosa koji je izvađen i odvezen, u periodu 1982-1983. godine, za potrebe izrade humusnog sloja na lokaciji filterne stanice i cevovoda sirove vode. Ukupne količine zasutog materijala u periodu od 31 godine iznose 15.800 m³, odnosno 510 m³/god.

According to calculation results in 2001 the basin has retained 60% (2821 t: 4722 t) of the torrent wave sediment, and 52% (982 t: 1890 t) in 1999. Observed wave in February 1998, without any slow down and sediment retain, has passed through a fundament outlet. It is obvious that the percentage of sediment deposition in the large water waves directly depends on the size of waves and retention times.

The total annual sediment transport (P_g^*) represents the sum of annual value of P_g (obtained by measuring the suspended sediment), value of deposited sediment in the basin P_{ak} (obtained by geodetic measurement) and ΣP_t value (sediment transport in torrent waves). On the basis of performed analysis of the hydrologic and sediment regime of Velike Dičine basin, sediment transport in waves was determined as well as the relevant value of sediment transport in the dam profile. It is in the range of 500-7000 t/yr. The average participation of torrent waves in the total annual sediment transport is 20-70% (1998 - 2001, Table 5).

With the advent of the flood waves, cyclic processes of deposition are taking place in the retention, together with transport of small sediment particles. Organic matter, usually of humin origin, obtained by decay and decomposition of biomass, cannot be deposited in the retention. They are dissolved in the form of humic acid solution, or floating particles.

Reservoir siltation

The process of „Velika Dičina“ reservoir siltation is determined on the basis of the results of geodetic surveys of reservoir basin. Recording and measurements showed that the most of the sediment is deposited in the basin, and the rest passes through basic outlet or through the dam spillway. Of great importance are data on the total reservoir siltation in the first thirty years of existence, obtained on the basis of measurements and initial - „zero“ state.

Suspended silt is deposited in the lower part of the basin in the area that is mostly under water. Thickness of the silted layer next to the dam is 1.5 m, and maximum depth at the level of damming of river is 2.8 m. The greatest distance from the dam axis on which the siltation is registered is about 450 m. Measurement has determined the sediment siltation of 12,800 m³ in the period 1966-1997. This volume of sediment should be added to 3000 m³ of sediment that was extracted and were taken in the period 1982-1983, for the purposes of making humus layer at the location of filter station and raw water pipeline. Total amount of silted material in the period of 31 years are 15,800 m³, or 510 m³/yr.

Measurement has determined the volume of silted retention area, position and thickness of silted layer in the period between the dam construction and August 1997. Mean (average) annual value of siltation

Tabela 3. Proračun transporta nanosa u talasima velikih voda na ulazu u akumulaciju
Table 3 Calculation of sediment transport in large water waves at the inlet of the accumulation

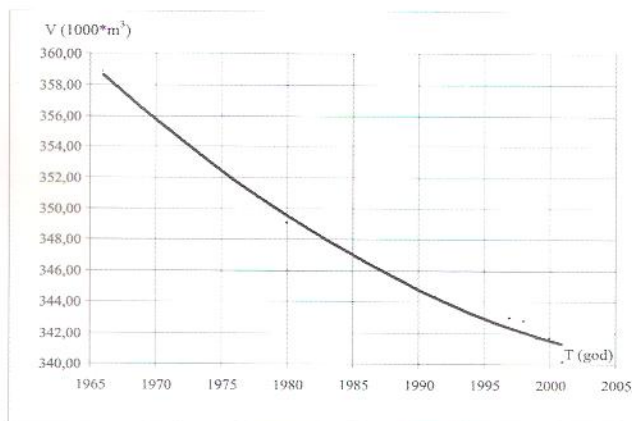
YEAR	VREMENSKI INTERVAL TIME INTERVAL	VREMENSKE BAZE (ČASOVA) TIME BASE (HOURS)		QMAX M ³ /S	C(Q) CMAX KG/M ³	P _T T	Σ IIT T	W _T M ³	ΣW _T M ³ ·10 ⁶
		T ₀	T _p						
1998.	11.02.-17.02.	144	122,4	1,02	0,41	92,14	92,14	264384	0,264
1999.	20.02.-27.02.	168	142,8	1,33	0,53	181,19	1889,86	402192	2,599
	01.03.-15.03.	192	163,2	1,64	0,64	308,33		566784	
	17.06.-30.06.	264	224,4	2,09	0,90	761,23		993168	
	28.07.-07.08.	120	102	2,95	1,18	639,11		637200	
2000.	NISU REGISTROVANI TALASI VELIKIH VODA LARGE WATER WAVES ARE NOT REGISTERED					0,00	0,00	0,00	0,000
2001.	02.03.-08.03.	56	48	2,78	1,11	264,39	4722,16	280224	3,506
	09.04.-13.04.	80	68	3,09	1,22	461,42		444960	
	20.04.-30.04.	118	100	3,90	1,56	1098,41		828360	
	19.06.-29.06.	70	60	6,63	1,81	1285,23		835380	
	06.09.-15.09.	68	58	4,30	1,72	769,48		526320	
	26.09.-02.10.	14	12	18,49	2,00	792,11		465948	
	27.11.-01.12.	58	49	1,20	0,48	51,11		125280	

Tabela 4. Proračun transporta nanosa u talasima velikih voda na izlazu iz akumulacije
Table 4 Calculation of sediment transport in large water waves at the ouaccumulation

YEAR	VREMENSKI INTERVAL TIME INTERVAL	VREMENSKE BAZE (ČASOVA) TIME BASE (HOURS)		QMAX M ³ /S	C(Q) CMAX KG/M ³	P _T T	Σ IIT T	W _T M ³	ΣW _T M ³ ·10 ⁶
		T ₀	T _p						
1998.	11.02.-17.02.	144	122,4	1,02	0,41	92,14	92,14	264384	0,264
1999.	20.02.-27.02.	144	122	0,97	0,40	85,48	908,04	251424	2,181
	01.03.-15.03.	288	245	1,25	0,49	269,89		648000	
	17.06.-30.06.	312	265	1,32	0,52	327,66		741312	
	28.07.-07.08.	244	207	1,23	0,49	225,00		540216	
2000.	NISU REGISTROVANI TALASI VELIKIH VODA LARGE WATER WAVES ARE NOT REGISTERED					0,00	0,00	0,00	0,000
2001.	02.03.-08.03.	132	112	1,15	0,46	106,84	1901,20	273240	3,255
	09.04.-13.04.	120	102	1,16	0,47	100,10		250560	
	20.04.-30.04.	240	204	1,45	0,58	308,82		626400	
	19.06.-29.06.	236	201	2,24	0,90	727,94		951552	
	06.09.-15.09.	230	196	1,21	0,58	246,96		500940	
	26.09.-02.10.	130	111	2,16	0,86	369,48		505440	
	27.11.-01.12.	98	83	0,83	0,33	41,07		146412	

Tabela 5. Prikaz hidroloških i psamoloških parametara u periodu od 1998-2001. god.
Table 5 Review of hydrological and psamological parameters in the period 1998-2001

YEAR	HIDROLOŠKI PARAMETRI HYDROLOGICAL PARAMETERS						PSAMOLOŠKI PARAMETRI PSAMOLOGICAL PARAMETERS					
	Q _{SR} M ³ /S	W _G M ³ ·10 ⁶	QMAX M ³ /S	Σ W _T M ³ ·10 ⁶	T	N _T	P _{SR} KG/S	P _G T	P _{AK} T	Σ P _T T	P _G [*] T	Σ P _T /P _G [*]
1998	0,234	7,379	1,02	0,264	0,04	1	0,0035	109,30	300,00	92,14	501,44	0,18
1999	0,366	11,542	2,95	2,599	0,23	4	0,0045	141,91	1332,00	1889,86	3363,77	0,56
2000	0,186	5,866	0,92	0,000	0,00	0	0,0030	94,87	0,00	0,00	94,87	0,00
2001	0,279	8,799	18,49	3,506	0,40	7	0,0082	260,00	1824,00	4722,16	6806,16	0,69



Slika 7. Dijagram promene zapremine retenzionog prostora od 1966 – 2001. Godine
Figure 7 Diagram of volume changes in the retention area from 1966 to 2001

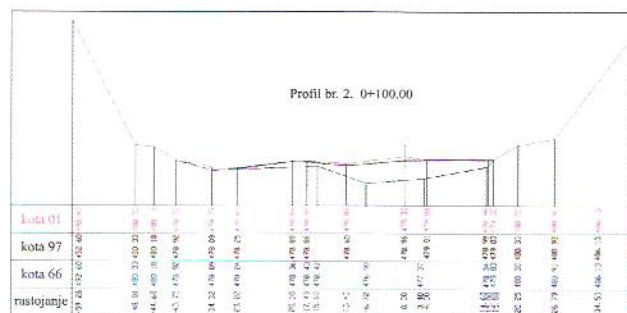
Merenjem je utvrđena zapremina zasotog retenzionog prostora, položaj i debljina nasutog sloja od izgradnje brane do avgusta meseca 1997. godine. Utvrđena je srednja (prosečna) godišnja vrednost zasipanja akumulacije u periodu osmatranja. Karakteristike i struktura nanosa su određeni granulometrijskim analizama uzoraka nanosa. Uzorci sa profila 2 su uzeti sa dubine od 100 cm, a sa profila 5 sa dubine od 20 cm. Granulometrijska struktura nanosa u basenu je heterogena, a osnovnu komponentu čini prašinski pesak. Najsitniju strukturu imaju površinski slojevi, a slojevi na većoj dubini imaju krupniju strukturu nanosa.

6. ANALIZA I INTERPRETACIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Ukupne količine nanosa

Ukupne količine nanosa, sa slivnog područja Velike Dičine, u profilu brane čine četiri komponente: istaloženi nanos u akumulaciji, suspendovani nanos u vodotoku, vučeni nanos i nanos u talasima velikih voda na izlazu iz akumulacije. Na osnovu iskustva sa naših vodotoka i opažanja na hidrološkoj stanici procen-

in the observed period was determined. Characteristics and structure of the sediment were determined using grain size analysis of sediment sampling. A sample for profile 2 are taken from a depth of 100 cm, and for the profile 5 from a depth of 20 cm. Granulometric structure of the sediment in the basin is heterogeneous, and the primary component of sand is pulverulent sand. The smallest structures have surface layers and layers of greater depth have larger sediment structure.

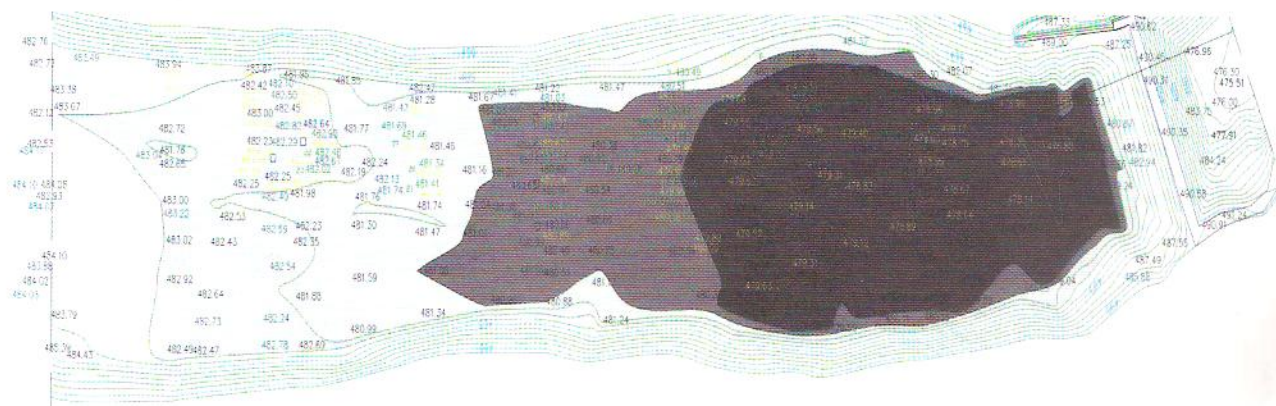


Slika 6. Poprečni preseki retenzionog prostora: 1966, 1997 i 2001. godine
Figure 6 Transverse sections of retention area: 1966, 1997 and 2001

6. ANALYSIS AND INTERPRETATION OF RESEARCH RESULTS

Total sediment yield

Total sediment yield, from the catchment area of Velika Dičina consists of four components: silted sediment in reservoir, suspended silt in the water current, suspended sediment and sediments of large water waves at the outlet of the dam. Based on experience with Serbian rivers and observations on hydrological station it is estimated that suspended sediment participates with 5% in the total sediment amount. The average volume weight of suspended sediment is 1,2 t/m³.



Slika 8. Situacioni plan brane i akumulacije sa zonama zasipanja
Figure 8 Situational plans of dam and accumulation with siltation zones

jeno je da vučeni nanos učestvuje sa 5% u ukupnoj količini nanosa. Prosečna zapreminska težina suspendovanog nanosa iznosi 1,2 t/m³.

Prosečne godišnje količine nanosa:

— istaloženi	720 m ³
— suspendovani	126 m ³
— vučeni	37 m ³
— u bujičnim talasima	1397 m ³

Ukupno: 2280 m³ ~ 90 m³/km²

Determinisanje produkcije i transporta nanosa u slivu pomoću empirijskih formula

S obzirom na kompleksnost direktnog terenskog determinisanja produkcije nanosa na jednom slivnom području, uobičajena je primena empirijskih formula. U svetu se koristi veliki broj metoda za proračun, a kod nas se najčešće primenjuju metode Gavrilovića i Petkovića.

Proračun po formuli S. Gavrilovića:

$$W_{\text{god}} = T \cdot H_{\text{god}} \cdot \pi^3 \cdot F \text{ (m}^3/\text{god)},$$

gde su: W_{god} – ukupna produkcija erozionih nanosa kao rezultat delovanja procesa vodne erozije na određenu površinu, T – temperaturni koeficijent područja, H_{god} – srednja godišnja visina padavina, Z – koeficijent erozije, F – površina sliva (km²). U formulu se uvodi i koeficijent retencije (zadržavanja) erozionog materijala u slivu - R_u. Srednja godišnja vrednost transporta nanosa iznosi: G_{god} = W_{god} · R_u (m³/god), dok specifična vrednost, na jedinicu površine sliva, iznosi: G_{god / sp} = G_{god} / F (m³/km²/god)

Empirijska formula Petkovića za proračun produkcije i transporta nanosa (Petković, 1993.) je složenija od prethodne, jer pored geomorfoloških i erozionih parametara, u proračun uvodi i hidrološke parametre slivnog područja. Formula ima sledeći oblik:

$$g_r = 1.3 \cdot 10^5 \cdot A^{-0.1} \cdot I^{0.6} \cdot H^{0.5} \cdot E^{0.7} \text{ (m}^3/\text{km}^2/\text{god)},$$

gde su: g_r – godišnja vrednost transporta nanosa iz sliva, A – površina sliva, I – reprezentativni pad I =

Average annual sediment amount:

— silted	720 m ³
— suspended	126 m ³
— transported	37 m ³
— in torrent waves	1397 m ³

Total: 2280 m³ ~ 90 m³/km²

The determination of sediment yield and transport in the basin using empirical formulas

Due to the complexity of the direct field determination of sediment yield in a river basin, a common practice is application of empirical formulas. A number of calculation methods are used worldwide, and in our country the most used are methods by Gavrilovic and Petkovic.

Calculation using the formula by S. Gavrilovic:

$$W_{yr} \cdot H_{yr} \cdot \pi^3 \cdot F \text{ (m}^3/\text{yr)},$$

where: W_{yr} – total sediment yield, as a result of water erosion processes actions in a certain area, T – temperature coefficient of the region, H_{yr} – mean annual precipitation, Z – coefficient of erosion, F – catchment area (km²). The formula also uses the retention coefficient of erosive material in the basin - R_u. Mean annual value of sediment transport is: G_{yr} = W_{yr} · R_u (m³/yr), while a specific value, per unit of the basin area, is: G_{yr / sp} = G_{yr} / F (m³/km²/yr)

Empirical formula by Petkovic for calculation of sediment yield and transport (Petkovic, 1993) is more complex than previous, because in addition to erosion and geomorphological parameters, introduces the hydrological parameters of catchment areas in the calculation. The formula has the following form:

$$g_r = 1.3 \cdot 10^5 \cdot A^{-0.1} \cdot I^{0.6} \cdot H^{0.5} \cdot E^{0.7} \text{ (m}^3/\text{km}^2/\text{yr)},$$

where: g_r – annual value of sediment transport in the

basin, A – catchment area, I – representative slope I =

$= \sqrt{I_d \times I_o}$, I_d – mean basin slope, I_o – mean stream slope, H – hydrological factor H = q · τ, 0 – specific average annual outflow in the basin – coefficient of the annual outflow structure, relation between total

Tabela 6. Ukupne količine nanosa
Table 6 Total sediment amount

NANOS/GODINA SEDIMENT/YEAR	1998	1999	2000	2001
- ISTALOŽENI - SILTED	250 M ³	1110 M ³	0 M ³	1520 M ³
- SUSPENDOVANI - SUSPENDED	109,3 / 1,2 = 91 M ³	141,9 / 1,2 = 118 M ³	94,1 / 1,2 = 78 M ³	260,0 / 1,2 = 216 M ³
- VUČENI - TRANSPORTED	341 X 0,05 = 17 M ³	1228 X 0,05 = 61 M ³	78 X 0,05 = 4 M ³	1736 X 0,05 = 67 M ³
- U TALASIMA - IN WAVES	92,14 / 1,2 = 78 M ³	1889,9/1,2= 1575 M ³	0,00	4722,2/1,2 = 3935 M ³
UKUPNO: TOTAL:	436 M ³	2864 M ³	82 M ³	5738 M ³

$\sqrt{I_d \times I_0}$, I_{sl} – srednji pad sliva, I_0 – srednji pad toka, H – hidrološki faktor $H = q \cdot \tau$, θ – specifični prosečni godišnji oticaj iz sliva, τ – koeficijent strukture godišnjeg oticanja, odnos između sumarne zapremine talasa velikih voda i godišnjeg dotoka, E – erozioni faktor $E = E_0 + e$, E_0 – indeks erozije (0,03 za vrlo slabu eroziju do 0,3 za ekscesnu eroziju), e – koeficijent $e = A_0/A$, A_0 – površine zahvaćene jakom erozijom.

Prema formuli Gavrilovića, dobija se srednja godišnja vrednost transporta nanosa u profilu brane: $G_{god} = 3.755 \text{ m}^3/\text{god}$. Specifična vrednost transporta nanosa, po jedinici površine sliva, iznosi:

$$G_{god / sp} = 3.755/25 = 147 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$$

S druge strane, prema formuli Petkovića se dobija:

$$g_r = 158 \text{ (m}^3/\text{km}^2/\text{god)},$$

Na osnovu upoređenja rezultata formula Gavrilovića i Petkovića, može se konstatovati minimalna razlika, sasvim prihvatljiva kada je u pitanju primena empirijskih formula.

Komparativna analiza rezultata merenja nanosa i rezultata empirijskih formula

U tabeli 6. su prikazane vrednosti ukupnog transporta nanosa iz sliva retenzije, dobijene geodetskim snimanjima zasipanja retenzionog prostora i merenjima nanosa na profilu nizvodno od brane (uključujući i rekonstrukciju pronosa nanosa u bujičnim talasima). Srednje godišnje veličine transporta nanosa i specifičnog transporta iznose:

$$G_{god} = 2280 \text{ m}^3/\text{god} \quad g = 90 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{god}$$

S druge strane, na osnovu empirijskih formula Gavrilovića i Petkovića, dobijaju se vrednosti specifičnog transporta od 147 – 158 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{god}$.

Na osnovu upoređenja merenih i računskih vrednosti se može konstatovati značajna razlika. Manje veličine transporta nanosa dobijene geodetskim snimanjima zasipanja retenzionog prostora i merenjima nanosa na profilu nizvodno od brane (uključujući i rekonstrukciju pronosa nanosa u bujičnim talasima) proizlaze iz činjenice da se deo vode i nanosa gubi usled proviranja iz basena. Kao što je istaknuto, geofizičkim istraživanjima su utvrđeni ispucalost i oštećenja krečnjačkog masiva u zoni pregradnog mesta i akumulacionog prostora. Lokacija je, usled stalnih tektonskih aktivnosti, ispresecana rasedima i pukotinama. Otuda je vrednost ukupne količine nanosa koja dospeva iz sliva retenzije veća od vrednosti dobijene merenjima.

volume of large waves and annual inflow E – erosive factor $E = E_0 + e$, E_0 – erosion index (0,03 for very low erosion up to 0,3 for excess erosion), e – coefficient $e = A_0/A$, A_0 – areas with high erosion.

According to the formula by Gavrilovic, the mean annual value of sediment transport in the profile of the dam is: $G_{yr} = 3.755 \text{ m}^3/\text{yr}$. Specific value of sediment transport, per unit of the basin area, is:

$$G_{yr / sp} = 3.755/25 = 147 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$$

On the other hand, according to the formula by Petkovic:

$$g_r = 158 \text{ (m}^3/\text{km}^2/\text{yr)},$$

Based on the comparison of results obtained using formulas by Gavrilovic and Petkovic, it can be noticed the minimum difference, quite acceptable when it comes to applying the empirical formula.

Comparative analysis of measured and calculated results

Table 6 shows the values of the total sediment transport from the retention basin, obtained from geodetic recordings of reservoir siltation and measurements of sediment in the downstream profile of the dam (including the reconstruction of the sediment transport in torrent waves). The mean annual size of sediment transport and specific transport are:

$$G_{yr} = 2280 \text{ m}^3/\text{yr} \quad g = 90 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$$

On the other hand, based on empirical formula by Gavrilovic and Petkovic, calculated values of a specific transport are 147 – 158 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$.

On the basis of comparison of measured and calculation values may we can conclude a significant difference. Smaller values of sediment transport derived by geodetic recordings of reservoir siltation and measurements of sediment in the downstream profile of the dam (including the reconstruction of the sediment transport in torrent waves) are the result of the fact that part of the water and sediment is lost due efflux in the basin. As noted, geophysical research has determined the level of cracks and damage of the limestone massif in the area of dividing site and accumulation area. Location is due to constant tectonic activity, intersected with thrust faults and fissures. Hence the value of the total amount of sediment that reaches from the retention basin is greater than the value obtained by measurements.

Comparison of research results with data for other basins in Serbia

Database on sedimentation in the territory of Serbia includes the results of measurements of suspended sediment in several larger and smaller rivers, as well

Upoređenje rezultata istraživanja sa podacima za druge slivove u Srbiji

Baza podataka o nanosu na vodotocima na teritoriji Srbije obuhvata rezultate merenja suspendovanog nanosa na više većih i manjih vodotoka, kao i rezultate snimanja zasipanja akumulacionih basena. Jedan deo podataka o nanosu je analiziran u našoj stručnoj literaturi (Petković S., et al, 1999.). U tabeli 7. su prikazani uporedni rezultati merenja i proračuna transporta nanosa (po formuli Petkovića) za neke reke u Srbiji, sa površinom sliva manjom od 1000 km².

Na osnovu rezultata iz table 7, konstruisan je dija-

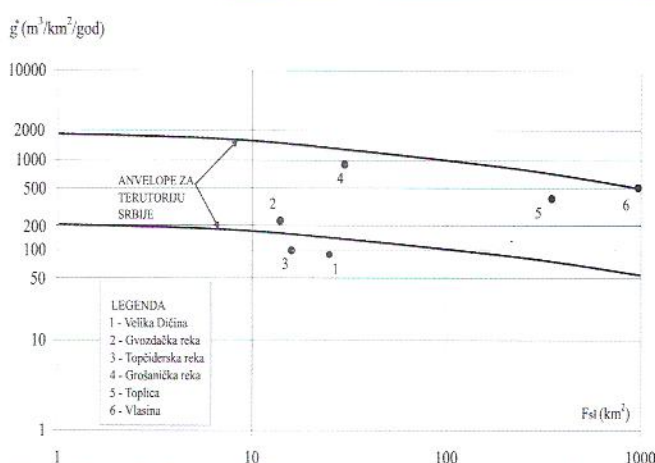
gram korelacije između sedimentnog transporta (g) i površine sliva (F) za neke reke u Srbiji, prikazan na slici 9. Na dijagramu su naznačene anvelope vrednosti g (F), dobijene na osnovu merenja nanosa na većem broju vodotoka u Srbiji. Iz slike 9 se može konstatovati da je transport nanosa u slivu Velike Dicine, registrovan na brani, manji od raspona za teritoriju Srbije, što proizlazi iz činjenice da se deo vode i nanosa gubi usled proviranja iz basena.

Based on the results from Table 7, a diagram of a specific correlation between sediment transport (g) and watershed area (F) is obtained, shown in Figure 9. On the diagram are specified the range of values g (F), obtained on the basis of sediment measurement applied to a number of river flows in Serbia. From Figure 9 it can be concluded that the sediment transport in the Velika Dicina basin, registered at the dam, is lower than the range for the territory of Serbia, which stems from the fact that part of the water and sediment is lost due to infiltration in the reservoir area.

Tabela 7. Uporedni rezultati merenja i proračuna transporta nanosa (po formuli Petkovića) za neke reke u Srbiji
Table 7 Comparative results of measurements and calculation of sediment transport (for Serbia)

REKA RIVER	F KM ²	I	Q M ³ /S/KM ²	H	E	GMER M ³ /KM ² /YR	GRAČ M ³ /KM ² /YR
VELIKA DIČINA VELIKA DICINA	25	0.11	0.010	0.0022	0.06	90	158
GVOZDAČKA REKA GVOZDACKA RIVER	14	0.17	0.014	0.0042	0.03	214	177
TOPČIDERSKA REKA TOPCIDER RIVER	16	0.08	0.005	0.0013	0.08	100	126
GROŠNIČKA REKA GROSNICKA RIVER	30	0.13	0.008	0.0022	0.40	900	688
TOPLICA TOPLICA RIVER	349	0.13	0.010	0.0022	0.24	380	415
VLASINA VLASINA RIVER	972	0.10	0.009	0.0027	0.41	500	466

gram korelacije specifičnog transporta nanosa (g) i površine sliva (F), prikazan na slici 9. Na dijagramu su naznačene anvelope vrednosti g (F), dobijene na osnovu merenja nanosa na većem broju vodotoka u Srbiji. Iz slike 9 se može konstatovati da je transport nanosa u slivu Velike Dicine, registrovan na brani, manji od raspona za teritoriju Srbije, što proizlazi iz činjenice da se deo vode i nanosa gubi usled proviranja iz basena.



Slika 9. Korelacija specifičnog transporta nanosa (g) i površine (F), za slivove do 1000 km²

Figure 9 Correlation of specific sediment transport (g) and surface (F), for basins up to 1000 km²

7. ZAKLJUČCI

Do kvantitativnog determinisanja transporta nanosa iz rečnog sliva, može se doći integralnim proučavanjem procesa geneze i transporta nanosa. Moraju se analizirati uslovi erozije produkcije i kretanja erodiranog materijala, povezanost procesa površinskog oticanja, spiranja i odnošenja tla sa pojavom velikih voda.

must be analyzed, as well as connection between process of surface drainage and soil runoff, during the appearance of high waters.

In the case of retention in the Velika Dicina basin, the results of measurements and calculations indicate torrent character of rivers and large annual and seasonal fluctuations of hydrological and sediment transport values. Sediment transport does not depend on the total annual water inflow, but on the inflow composi-

7. CONCLUSIONS

Quantitative determination of sediment transport from the river basin can be obtained by studying the integral process of the sediment genesis and transport. Conditions of sediment yield and transport

U slučaju sliva retenzije na Velikoj Dičini, rezultati merenja i proračuna ukazuju na bujični karakter vodotoka i velika godišnja i sezonska kolebanja hidroloških i psamoloških veličina. Transport nanosa ne zavisi od ukupnog godišnjeg dotoka vode, već od strukture dotoka, odnosno broja i veličine bujičnih talasa.

Prema obavljenim merenjima i erozionističkim proračunima sa slivnog područja do basena retenzije „Velika Dičina“ svake godine se transportuje skoro 4000 m³ nanosa. Srednja godišnja vrednost transporta nanosa u profilu brane, po metodi Gavrilovića iznosi 3755 m³/god, a po metodi Petkovića 3945 m³/god.

U cilju smanjenja produkcije i transporta nanosa potrebno je izvršiti odgovarajuće protiverozione mere na zaštiti slivnog područja i hidrografske mreže. Neophodno je obaviti određene biotehničke radove na slivu i izgraditi više poprečnih objekata u hidrografskoj mreži, primenom koncepta integralnih melioracija.

Težište je na biotehničkim radovima (pošumljavanje i melioracije degradiranih šuma i livada), jer se pored protiverozione funkcije ostvaruju značajni ekološki efekti: vezivanje CO₂, očuvanje i poboljšanje biodiverziteta. Tehnički radovi se odnose na izgradnju poprečnih pregrada i pragova za stabilizaciju korita i obala i zadržavanje nanosa.

Primarni cilj zaštitnih mera je obezbeđenje dobrog hidrološkog i ekološkog statusa vode i sliva Velike Dičine i stvaranje uslova za integralno upravljanje vodnim resursom i rečnim slivom, shodno Okvirnoj direktivi o vodama EU („ODV“).

tion, i.e. the number and size of torrent waves.

According to the performed measurements and erosion calculations of the catchment area, total annual sediment transport in the Velika Dicina basin is 4000 m³. The mean annual value of sediment transport in the profile of the dam, according to methods by Gavrilovic is 3755 m³/yr, and 3945 m³/yr according to methods by Petkovic.

In order to reduce sediment production and transport it is necessary to perform appropriate erosion control measures to protect the catchment areas and hydrographic network. It is necessary to perform certain biotechnical works on the basin and build more facilities in the hydrographic network, using the concept of integral reclamation.

The focus is on biotechnical works (afforestation and reclamation of degraded forests and meadows), which have, besides erosion control functions, the significant environmental effects: binding of CO₂, conservation and improvement of biodiversity. Technical works are related to the construction of transverse bulkhead and thresholds for the stabilization river beds and banks and sediment retention.

The primary objective of protection is to provide a good hydrological and ecological water status of Velike Dicine basin, and creation of conditions for integrated management of water resources and river basin, according to the EU Water Framework Directive of (“WFD”).

LITERATURA / LITERATURE

1. Ljujić M., „Zasipanje nanosom retenzije Velika Dičina u funkciji načina korišćenja sliva“, magistarski rad, Beograd, 2003.
2. Petković S.: „Uzroci i posledice erozije zemljišta i strategija kontrole erozije“. Monografija. Sumarski fakultet. Beograd. 1993.
3. Petković S. at all.: „Erosion and sedimentation problems in Serbia“. Hydrological Sciences Journal. 1999.
4. Dožić S., „Biološki aspekt zaštite mikroakumulacija od erozije“, Beograd, 1999.
5. Gavrilović S., „Iženjerski priručnik za rešavanje problema iz oblasti bujičnih tokova i erozije“, Beograd, 1978.
6. Jovanović S., „Hidrologija“, Beograd, 1989.
7. Kordić N., Nikolić M., „Generalni projekat rekonstrukcije brane Banjani“, Beograd, 2002.
8. Palmar B., Ljujić M., „Hydrological analysis of the extreme events in the central part of Sumadija“, The EXTREMS of the EXTREMS, Rejkjavik, 2000.
9. Ljujić M., „Projekat pripremnih radova za sanaciju i rekonstrukciju brane Banjani“, JKP, G. Milanovac, 2002.
10. Ristić R., Nikić Z., „Održivost sistema za vodosnabdevanje Srbije sa aspekta ugroženosti erozionim procesima“, Beograd 2007.
11. Ristić R., Macan G., „Analiza režima oticaja i kvaliteta voda sa mikroslivova pod šumskom vegetacijom i goletima“, Zaštita voda, Ulcinj, 1996.