UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF FORESTRY

ALEKSANDAR S. ANĐELKOVIĆ

Erosion and Sedimentation Processes on the Watersheds of Small Impounding Reservoirs in the Areas of the City of Belgrade and Fruška Gora

doctoral thesis

Belgrade, 2020.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

АЛЕКСАНДАР С. АНЂЕЛКОВИЋ

Ерозиони и седиментациони процеси на сливним подручјима малих водних акумулација на подручју града Београда и Фрушке горе

докторска дисертација

Београд, 2020.

UNIVERZITET U BEOGRADU

ŠUMARSKI FAKULTET

ALEKSANDAR S. ANĐELKOVIĆ

Erozioni i sedimentacioni procesi na slivnim područjima malih vodnih akumulacija na području grada Beograda i Fruške gore

doktorska disertacija

Beograd, 2020.

Посвећено сину Арсенију Анђелковићу

Ментор:

1. др Ратко Ристић, ред.проф. Универзитета у Београду - Шумарски факултет

Чланови комисије:

1. др Војислав Ђековић, ред.проф. Универзитета у Београду - Шумарски факултет
2. др Милорад Јанић, ван.проф. Универзитета у Београду - Шумарски факултет
3. др Борис Радић, доц. Универзитета у Београду - Шумарски факултет
4. др Славољуб Драгићевић, ред.проф. Универзитета у Београду - Географски факултет
5. др Велибор Спалевић, доц. Универзитет Црне Горе - Филозофски факултет

КЉУЧНЕ ДОКУМЕНТАЦИОНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

Редни број (РБ):	
Идентификациони број (ИБР):	
Тип документације (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани документ
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	Александар Анђелковић, дипл.инж. шумарства
Ментор (МН):	др Ратко Ристић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет
Наслов рада (НР):	Ерозиони и седиментациони процеси на сливним подручјима малих водних акумулација на подручју града Београда и Фрушке горе
Језик публикације (ЈП):	Српски / ћирилица
Земља публикације (ЗП):	Србија
Географско подручје (УГП):	Србија
Година (ГО):	2019
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада:	7 поглавља, 164 странице текста, 133 литературних навода, 104 слика (илустрације, карте, графици, фотографије), 48 табела, прилози
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Научна дисциплина (НД):	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Предметна одредница/ кључне речи (ПО):	Мале акумулације, карактеристике слива, интензитет засипања, ерозиона продукција, мониторинг
УДК:	551.311.21:556.5:627.157(043.3)
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема
Извод (ИЗ):	Истраживањима приказаним у овој докторској дисертацији обухваћене су акумулације на малим сливовима, површине од 4 – 17 km^2 (...) Снимано је дно акумулација (...) Помоћу ДМТ модела су израчунате количине исталоженог (...) Из профила акумулација су узети узорци наноса (...) Резултати истраживања показују да је коришћени модел мониторинга помогао у детерминисању релевантних параметара (...) На основу добијених резултата детерминисан је модел мониторинга, који је могуће примењивати приликом истраживања интензитета засипања акумулација, на другим сливовима у региону, у циљу дефинисања века трајања акумулација.
Датум прихватања теме (НН):	14.01.2015.
Датум одбране (ДО)	
Чланови комисије (КО):	др Ратко Ристић, ред.проф. Универзитета у Београду - Шумарски факултет др Војислав Ђековић, ред.проф. Универзитета у Београду - Шумарски факултет др Милорад Јанић, ван.проф. Универзитета у Београду - Шумарски факултет др Борис Радић, доц. Универзитета у Београду - Шумарски факултет др Славољуб Драгићевић, ред.проф. Универзитета у Београду - Географски факултет др Велибор Спалевић, доц. Универзитет Црне Горе - Филозофски факултет

Ерозиони и седиментациони процеси на сливним подручјима малих водних акумулација на подручју града Београда и Фрушке горе

Резиме

Истраживањима приказаним у овој докторској дисертацији обухваћене су акумулације на малим сливовима, површине од 4 – 17 km^2. Да би се утврдио интензитет засипања акумулационих простора, потребан је дужи временски период за мерење количина исталоженог наноса. За одабране акумулације, прибављена је пројектна документација са почетним стањем запремине акумулација, до коте круне прелива. На одабраним, експерименталним акумулацијама вршена су мерења по истој методологији. Снимано је дно акумулација, на сталним, прецизно одређеним попречним профилима, како би се утврдила количина исталоженог наноса у одређеним временским интервалима. Снимања су вршена ултразвучним сонаром, из чамца, а положај сваке снимљене тачка је дефинисан географским координатама. Подаци мерења су обрађени у програму AutoCAD-MAP-3D 2017- Survey, а затим искоришћени за израду дигиталног модела терена (ДМТ), преко кога су одређене запремине акумулација. На основу података добијених преко ДМТ формиране су криве запремине акумулација за сваки интервал снимања. Помоћу ДМТ модела су израчунате количине исталоженог наноса за одређени период а затим просечни годишњи интензитет засипања сваке акумулације. Да би се одредила количина продукованог наноса из слива коришћена је метода потенцијала ерозије професора (МПЕ), позната и као метод „пофесора Гавриловића“. Однос продукованог наноса из слива и количине исталоженог наноса у профилима акумулација указује на могућност ретензије наноса дуж хидрографске мреже притока. Такође, извршен је прорачун вучних сила тока везаних за фракције вученог наноса, са криве гранулометријског састава 50% учешћа и распоред вучних сила дуж водотока од којих зависи хидраулички транспорт вученог наноса до зоне акумулације. Крупноће ерозионог материјала из притока су одређене методом просејавања. Из профила акумулација су узети узорци наноса са дна (ручним багером) у циљу одређивања количине органске материје у седименту. На узетим узорцима наноса са дна акумулација, методом жарења извршено је одређивање процентуалног учешћа органске материје у површинским слојевима дна акумулација. Затим је извршена гранулометријска анализа преосталог узорка методом хидрометрисања. Контрола тачности мерења ултразвучним сонаром, повремено је

вршена ручном сондом, са градуисаном пантљиком. На основу анализе попречних профила у периодима снимања забележено је издизање и засипање дна акумулација, услед наизменичног деловања процеса таложења и одношења наноса.

Резултати истраживања показују да је коришћени модел мониторинга помогао у детерминисању релевантних параметара и њихових вредности, од значаја за праћење промена унутар сложеног система водотока и истраживаних акумулација. Дефинисане су кумулативне промене површина попречних профила, односно просечних дебљина наносних наслага на дну акумулација. Сви параметри слива од којих зависи интензитет ерозионих процеса, као и продукција наноса из слива, детаљно су анализирани. Различит састав педолошких и геолошких творевина, конфигурација и нагиби сливова, климатске карактеристике, у спрези са начином коришћења простора, утичу на продукцију, транспорт и таложење наноса у акумулацијама.

На основу добијених резултата детерминисан је модел мониторинга, који је могуће примењивати приликом истраживања интензитета засипања акумулација, на другим сливовима у региону, у циљу дефинисања века трајања акумулација.

Кључне речи: мале акумулације, карактеристике слива, интензитет засипања, ерозиона продукција, мониторинг.

Erosion and Sedimentation Processes on the Watersheds of Small Impounding Reservoirs in the Areas of the City of Belgrade and Fruška Gora

Summary

The research presented in this doctoral dissertation deals with impounding reservoirs on small watersheds of the surface area 4–17 km^2. To determine the intensity of reservoir sedimentation, it is necessary to measure the quantities of accumulated sediment over an extended period of time. Project documentation with initial storage volumes up to the crest elevation was obtained for the reservoirs. Measurements were conducted on the chosen experimental reservoirs using the same methodology. The reservoir beds were recorded at constant, precisely determined cross sections, to establish the quantities of accumulated sediment at particular time intervals. The recordings were made using an ultrasound sonar, from a boat, while the position of each recording point was defined by geographic coordinates. The measuring data was processed in the programme AutoCAD-MAP-3D 2017-Survey, and used to construct a digital terrain model (DTM), which was employed to determine storage volumes. Based on the data obtained through DTM, storage volume curves were formed for each recording interval. The DTM was used to calculate the quantities of accumulated sediment for a certain period, and then average annual intensity of each reservoir sedimentation. The Erosion Potential Method (EPM), also known as the "Gavrilović Method", was used to determine the quantity of watershed sediment yield. The relation between watershed sediment yield and quantity of sediment accumulated in the accumulation profiles indicates the possibility of sediment retention along the drainage pattern of affluent streams. Also, tractive forces of the stream related to bedload fractions were calculated, based on the particle size distribution of 50%, together with the distribution of tractive forces along the channel, which determine the hydraulic transport of bedload to the reservoir zone. Coarseness of erosion material from affluent streams was determined by the sieving method. Samples of sediment from the bed were taken (by hand excavator) from the cross sections of reservoirs to determine the quantity of organic matter in the sediment. The sediment samples taken from reservoir beds were used to determine the percentage share of organic matter in

the surface layers of reservoir beds using the annealing method. This was followed by a granulometric analysis of the remaining sample using the hydrometer method. The accuracy of measuring by ultrasound sonar was periodically checked by a manual probe with a graduated band. Based on the analysis of the cross sections in the recording periods, aggradation and sedimentation of the reservoir beds, due to the alternate activities of sediment accumulation and scour were registered.

The results show that the monitoring model helped to determine the relevant parameters and their values, which are important for tracking changes within the complex system of water courses and reservoirs researched here. Cumulative changes of cross section areas, i.e. mean thicknesses of bedload deposits at the reservoir bed, were defined. All watershed parameters that determine the intensity of erosion processes and production of deposits from the watershed were analysed in detail. Different composition of pedological and geological formations, watershed configuration and gradients as well as climate features in conjunction with the use of space have an effect on sediment production, transport and deposition in reservoirs.

Based on the obtained results, a monitoring model was determined and can be used in the research of reservoir sedimentation intensity, on other watersheds in the region, with the aim of defining the lifetime of impounding reservoirs.

Key words: small impounding reservoirs, watershed characteristics, sedimentation intensity, erosion productivity, monitoring.

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА 3
1.1. Приказ проблематике истраживања 3
1.1.1. Стање узводно од акумулација 7
1.1.2. Стање низводно од акумулација 9
1.1.3. Основни фактори процеса засипања акумулација 11
1.1.4. Век трајања акумулација 13
1.1.5. Ефикасност задржавања наноса у акумулацији 15
1.1.6. Густина исталоженог наноса 18
1.1.7. Пронос наноса кроз акумулацију 19
1.2. Циљ истраживања 22

2. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ О ЗАСИПАЊУ АКУМУЛАЦИЈА 23

3. МЕТОДОЛОГИЈА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКОГ РАДА 29
3.1. Концепција теоријских истраживања 29
3.2. Теренска истраживања 30
3.3. Статистичка обрада података 36
3.3.1. Статистичке методе, истраживање промена запремине акумуалција 36
3.3.2. Примена корелација у тумачењу резултата истраживања 37

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА 39
4.1. Приказ теренских истраживања 39
4.2. Општи подаци о сливу и акумулацији Дубоки поток 40
4.2.1. Подаци о сливу акумулације Дубоки поток 44
4.3. Општи подаци о сливу и акумулацији Ресник 45
4.3.1. Подаци о сливу акумулације Ресник 48
4.4. Општи подаци о сливу и акумулацији Љуково 48
4.4.1. Подаци о сливу акумулације Љуково 52
4.5. Општи подаци о сливу и акумулацији Сот 53
4.5.1. Подаци о сливу акумулације Сот 56
4.6. Продукција ерозионог материјала на сливовима 57
4.7. Акумулација Дубоки поток 60
4.7.1. Рекогносцирање слива и идентификација хидролошких, геолошких, геоморфолошких и морфолошких параметара 60
4.7.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења 64
4.7.3. Анализа хидролошко-хидрауличких параметара 66
4.7.4. Гранулометријски састав наноса из главне притоке и акумулације 71
4.7.5. Карактеристике наноса из акумулације Дубоки поток 72

4.7.6. Климатске и метеоролошке карактеристике слива Дубоки поток 74
4.7.7. Морфолошке карактеристике акумулационог басена 74
4.8. Акумулација Ресник..... 77

4.8.1. Рекогносцирање слива и идентификација педолошких, хидролошких, геолошких, геоморфолошких параметара слива акумулације Ресник 77
4.8.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења..... 84
4.8.3. Анализа хидролошко-хидрауличких параметара..... 84
4.8.4. Гранулометријски састав наноса из главне притоке и акумулације 85
4.8.5. Карактеристике наноса из акумулације 86
4.8.6. Климатске и метеоролошке карактеристике слива..... 87
4.8.7. Морфолошке карактеристике акумулационог басена 87
4.9. Акумулација Љуково 91

4.9.1. Рекогносцирање слива и идентификација педолошких, хидролошких, геолошких, геоморфолошких параметара сливу акумулације Љуково..... 91
4.9.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења..... 95
4.9.3. Гранулометријски састав наноса из главне притоке и акумулације 97
4.9.4. Карактеристике наноса из акумулације 98
4.9.5. Климатске и метеоролошке карактеристике на сливу акумулације Љуково 99
4.9.6. Морфолошке карактеристике акумулационог басена 99
4.10. Акумулација Сот..... 103

4.10.1. Рекогносцирање слива и идентификација хидролошких, геолошких, геоморфолошких и морфолошких параметара..... 103
4.10.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења..... 109
4.10.3. Анализа хидрауличко-хидролошких параметара..... 109
4.10.4. Гранулометријски састав наноса из главне притоке..... 111
4.10.5. Рекогносцирање слива и идентификација хидролошких, геолошких, геоморфолошких и морфолошких параметара..... 114
4.11. Статистичка обрада података..... 117

4.11.1. Корелациона анализа утицајних фактора на засипање акумулација..... 117

5. ДИСКУСИЈА 140

6. ЗАКЉУЧЦИ..... 150

7. ЛИТЕРАТУРА..... 152

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1. Приказ проблематике истраживања

Процењује се да на глобалном нивоу постоји око 845.000 брана и акумулација, које служе за сакупљање драгоценог ресурса воде, са укупном запремином већом од 6.000 km^3 (Ristić et al., 2013).

Брдско-планински предели, као и области са ужим и ширим простором око њих, означени су као изворишта квалитетних вода, али често са недовољним капацитетом за потребе водоснабдевања (Weerasinghe, Handapangoda, 2019; Đeković, 2007).

Мале водне акумулације, за разлику од средњих и великих, складније се уклапају у природно окружење и показују мале негативне утицаје на микроклиму и животну средину, уз бројне позитивне ефекте (Moser et al., 2019). Акумулације делују на ублажавање хидролошких екстрема, обезбеђују квалитетно водоснабдевање становништва, представљају ресурс за потребе енергетике и стварају услове за спорт и рекреацију (Horppila, 2019). Сматра се да водопривредни систем на нивоу слива захтева комплексан приступ у управљању, који се заснива на принципу вишенаменског коришћења, у циљу што рационалније употребе водног ресурса (Mladenović et al., 1999; Jednak et al., 2009; Đeković, 1997; Костадинов, 1986). Водни биланс водотока у природном стању показује неравномерност временске дистрибуције, што намеће потребу детерминисања адекватног система управљања током хидролошке године (Bakker et al., 2005; Ристић, 2003; Đeković et al., 2013), кроз периодична, квартална, годишња или вишегодишња изравнања дотока и потрошње воде (Костадинов, 2008).

Вештачке акумулације добијају се преграђивањем природних водотока, бранама. Понекад ови објекти служе само једном циљу (на пример, за водоснабдевање насеља и индустрије), а много чешће су вишенамнески (Đeković, 1997):

- наводњавање пољопривредног земљишта;
- производња електричне енергије;
- прихватање и каснији третман коришћених вода, деградираног квалитета;
- повећање протицаја на низводном делу слива, у маловодним периодима, ради смањења концентрације нежељених материја;
- одржавање биолошког минимума у водотоцима;

- чување и гајење корисних акватичних организама;
- рекреација, риболов, веслање, пливање;
- заштита од поплава.

Вишенаменско коришћење акумулација има своје економско оправдање, јер омогућава располагање потребним количинама квалитетне воде у критичним периодима године (Ristić et al., 2013). Акумулације утичу на изравнавање и уједначавање квалитета воде за водоснабдевање, уколико се њима управља на адекватан начин. У супротном, може доћи до погоршања квалитета воде у акумулацији, због појаве загађења и еутрофизације (Đeković et al., 2017; Nikić et al., 2006). Ако су варијације протицаја у појединим годинама мале, обично је довољно да се акумулација предвиди за једногодишње изравнање дотока и потрошње. У аридним областима ове промене су знатне и тада се поставља проблем вишегодишњег изравнања (Đeković, 1997). Једна од предности изградње акумулација за водоснабдевање у брдско-планинским пределима, огледа се и у могућности за гравитациони транспорт воде до корисника (Đeković, 2007).

Већина земаља у свету користи концепт површинских акумулација, између осталог, у обезбеђивању сигурности водоснабдевања становништва (Babić Mladenović, 2003). Због грешака које су се дешавале услед занемаривања свих фактора који утичу на квалитет и количину воде у акумулацији, долазило је до наглог губљења корисне запремине и старења воде у акумулацијама (Zhang et al., 2016; Đeković et al., 2017). Такве акумулације су најчешће напуштане а њихова експлоатација се показала као нерентабилна. Показало се да је економски оправданија изградња нове акумулације него ревитализација, чишћење од наноса и експлоатација старе (Babić Mladenović, 2003).

Засипање акумулација ерозионим наносом из притока представља озбиљан проблем због губљења корисне запремине, нарочито код малих акумулација у брдско-планинским подручјима (Wolfgang, Walling, 2002). У областима брдско-планинског карактера водотоци поседују велику кинетичку енергију тока за покретање и стварање нових количина наноса, као и за транспорт постојећег наноса из речног корита и слива до профила акумулације (Babić Mladenović, 2003).

Када дође до уношења опасних материја у водоток, није их могуће уклонити и зауставити да не уђу у профил акумулације. Са наносом из слива у акумулацију се уносе различите штетне материје, које мењају квалитет воде у акумулацији (Roots, Roose, 2013).

Да би се заштитиле акумулације од ерозионог материјала и полутаната, могуће је користити заштитне биотехничке мере у сливу, као што су:

- орање по изохипсама;
- израда тераса;
- контурне терасе формиране риперима и плуговима;
- градони;
- рустикалне преграде;
- постављање фашина;
- пошумљавање, мелиорације шума и пашњака;
- спречавање стварања јаруга и вододерина у сливу;
- изградња попречних објеката за заустављање ерозионог материјала;
- изградња илофилтера по ободу акумулације.

Ефикасне мере за контролу кретања наноса кроз хидрографску мрежу сливова су хидротехнички попречни објекти (Костадинов, 2008):

- прагови и
- преграде.

Попречним објектима се врши редукција пада дна корита водотокова до зоне пада изједначења. У тим условима речни ток није у могућности да ствара и покреће нове количине ерозионог материјала, а такође ни да одлаже нанос који вода покреће и носи дуж слива и корита водотока (Sims, Rutherfurd, 2017). Подизањем депонијских преграда у систему стварају се услови за трајно депоновање и заустављање наноса из речног тока. Применом попречних објеката у притокама трајно се зауставља вучени нанос пре уласка у профил акумулације (Костадинов, 2008). Спречавањем појаве ерозионих процеса, поправља се квалитет воде у погледу боје, мириса, укуса, мутноће, као и осталих физичко-хемијских и микробиолошких параметара воде (Đeković, 2007; Летић et al., 2014).

Брдско-планинске области и сливови у њима, најчешће су слабо настањени а привредне активности се одликују ниским интензитетом, тако да се изграђене акумулације понекад могу ефикасно штитити применом само биотехничких мера (Halkos, Matsiori, 2016). Бројна истраживања се усмеравају ка унапређењу и заштити квалитета воде, очувању пројектованих габарита свих типова водних тела, са посебним освртом на контролни мониторинг интензитета засипања акумулација (Babić Mladenović, 2003).

Развој индустрије, градских и сеоских насеља, употреба пестицида и ђубрива у пољопривреди, различити акциденти (природни, технички, ратни) увећавају количину ефлуентних супстанци у хидролошком циклусу акумулација (*Закон о водама 2010*).

Основни узроци еутрофизације језерске воде су засипање акумулација суспендованим наносом и унос органске материје у акумулацију (Ђековић et al., 2017). Уношењем велике количине органских материја и нутријената, пре свега фосфора, ремети се природни циклус развоја фитопланктонских заједница (Letić, 2008; Radojevic et al., 2013).

Проблеми у експлоатацији акумулисаних вода настају у летњим месецима, када су повећане потребе за водом, те се захватају веће количине воде и нагло обара ниво воде у акумулацији (Đeković, 2007). Због тога, језерска вегетација, која је један од фактора очувања квалитета воде у акумулацији, остаје на сувом у приобаљу, суши се и доводи до пренагомилавања органске материје у акумулацијама (Mohammadi, 2019). Ово ремети нормалан биолошки циклус у акумулацији и доводи до поремећаја састава биљних и животињских заједница у језерској води и до сукцесије биљних заједница (Nikić et al., 2015; Letić, 2002). Понекад, интензитет промена услед пренагомилавања органске материје, утиче на стање фитопланктонских заједница, тако да некадашња олиготрофна језера старе и прелазе у мезотрофна и постају неупотребљива за водоснабдевање насеља квалитетном водом (Костадинов, 1986).

Приликом изградње акумулација, посебну пажњу треба обратити на очување квалитета и квантитета воде (Nikić et al., 2015). Познато је да акумулирање воде, било површинско или подземно, за последицу има значајну промену квалитета воде (Никић, 1996).

Добар квалитет речне воде на којој се гради акумулација за водоснабдевање не мора да гарантује и добар квалитет језерске воде (Đeković, 2007). Већина површинских природних и вештачких језера „стари”, при чему дубока језера са почетно ниским концентрацијама нутријената постепено прелазе из олиготрофног у еутрофна и мезотрофна стања, са високом продукцијом органске материје (Nolte et al., 2013). Природна еутрофизација, која се остварује кроз дуги временски период, у великој мери се разликује од „вештачке”, која је углавном последица антропогених активности у сливу акумулације (Letić, 2002). Убрзана еутрофизација вештачких површинских акумулација ремети равнотежу између продукције органске материје и минерализације те материје, при чему продукција постаје вишеструко већа од минерализације (Letić, 2002). Већина органских супстанци, које се уносе у језера не разграђују се у потпуности, већ се акумулирају у седименту, где се њихова разградња наставља у анаеробним условима (Letić, 2002). Минерализација органских материја унетих у акумулациони простор језера се успорава са повећавањем дубине воде у језерима, што доводи до мобилизације нутријената и других

супстанци из седимента у језерску воду. Ово за последицу има повишење концентрације гвожђа, мангана, микроелемената, фосфора, амонијака и других једињења у језерској води. Истовремено, може доћи до стварања водоник-сулфида и метана, што утиче на погоршање мириса и укуса воде. Прекомерно обогаћивање воденог система нутријентима има за последицу масовни развој више врста алги и макрофита. Њиховим изумирањем се убрзава процес еутрофизације, која условљава промену боје, укуса и мириса воде (Летић, 2008; Billington et al., 2005).

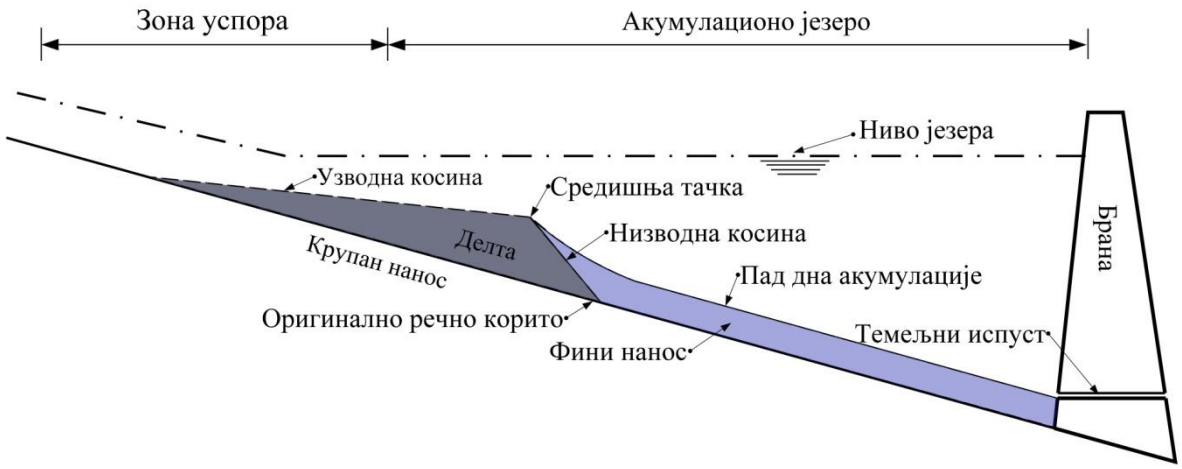
У новије време, активности на пројектовању и изградњи брана и акумулација стагнирају, првенствено због тога што је преостао ограничен број технички, економски и еколошки погодних локација (Lempérière, 2000). Истовремено се констатује да је засипање акумулација наносом велики проблем, тако да се у новије време изузетна пажња посвећује њиховој заштити, рехабилитацији и ревитализацији (Ceylan et al., 2011). Узимајући у обзир да су високе бране које се пројектују ради акумулисања воде изузетно захтевне конструкције, чија изградња некада траје и по неколико десетина година, а цена превазилази оквире интересовања приватних инвеститора (Salomons, Brils 2004), насуте бране се често сврставају у капиталне државне инвестиције са примарним значајем (Bulatov et al., 2016). Из овог разлога се мора истражити све што има утицај на смањење њиховог века експлоатације, у овом случају посматрано кроз проблем засипања наносом (Јовановић, 2008). Многа иностранa искуства у области заштите акумулација од наноса могу имати велики значај, уколико се искористе у циљу продужетка века коришћења постојећих акумулација или у планирању и пројектовању будућих акумулација (Костадинов, 2008; Đeković, 1997; Dragićević et al., 2011).

За одређивање пређеног пута вученог наноса, у току поводња кроз хидрографску мрежу сливова, користе се различите методе, као примена трасера (Walling et al., 2000; Paphitism, 2001; Stevens, Quinton, 2008; Đeković et al., 2015; Kapute et al., 2017). Домаћа искуства у овој области имају посебан значај, јер процес засипања акумулација наносом зависи од локалних фактора: климатских, хидролошко-хидрауличких, геомеханичких, геоморфолошких, антропогених и других.

1.1.1. Стање узводно од акумулација

Изградњом акумулација долази до стварања услова за успоравање воде у речној долини и некадашњем природном водотоку, што доводи до нагле промене режима кретања воде и наноса (Đeković, 1997). На ушћима притока у акумулације смањују се вучне силе

тока *(тангенцијални напони)*, а тиме и кинетичка енергија тока за транспорт наноса. У зони ушћа притока долази до одлагања великих количина вученог наноса, што у појединим случајевима ствара услове за појаву меандара и делти. Најзначајнија последица појаве делти у притокама је стварање додатног успора воде. Додатни успор изазива нежељене последице у речном кориту, приобаљу и у саобраћајној комуникацији дуж речних долина (Jayanath, Gamini, 2003) (Слика 1).



Слика 1. Распоред наносних наслага у акумулацији (извор: **Bruk, 1985).**

Кота успора у зони ушћа притока зависи од коте нивоа воде у акумулацији и протицаја воде у притокама (Đeković, 1997). При ниским водостајима у акумулацијама, водоток у зони ушћа убрзава кретање воде речним коритом, стварајући услове за повећане вучне силе тока и покретање наноса из профила корита (Lajczak, 1996). Ерозиони процеси овог типа су познати као флувијални облици, настали од поткопавања обала и спуштања дна корита *(природне нивелете водотока).* Код наиласка великих вода успор воде зависи од узводног пада речне долине и може се кретати и по неколико стотина метара (Đeković, 1997). Као последица таложења наноса, у зони успора долази до издизања дна речног корита притока. Тиме се смањује пропусна моћ водотока за воду и нанос, а повећава опасност од изливања воде и плављења приобаља. Последица честих плављења пољопривредног земљишта може бити испирање хранљивих елемената из земљишта и забаривање ниских инундација дуж водотока, као и забаривање пољопривредних земљишта издизањем нивоа подземних вода дуж приобаља (Đeković, 1997).

1.1.2. Стање низводно од акумулација

Као последица задржавања воде и наноса у акумулационом простоту, долази до таложења наноса, а „чистије“ преливне воде имају већу кинетичку енергију тока, што доводи до интензивних флувијалних ерозионих процеса на низводним деоницама. Такав водоток има незасићен потенцијал за пријем нових количина наноса са дна и обала корита, стварајући услове и за покретање крупнијих фракција из структуре речног корита (Đeković, 1997). Са речног дна се покрећу и односе прво ситније фракције наноса, које водоток даље транспортује, а остају само крупније фракције (Костадинов, 2008), што доводи до повећања рапавости корита, а то ствара услове за смањење брзине тока.. Ерозија речног корита траје све док се не успостави равнотежа између транспортне способности тока и отпорности корита на ерозионе процесе (Carrascal et al., 1986; Carrascal et al., 2009). Ово је циклична појава јер стално долази до осцилација протицаја у речном кориту, смењују се фазе таложења и покретања наноса из структуре речног корита. На тај начин се успоставља равнотежно стање и стабилност корита, које има тенденцију низводног померања (Dragićević et al., 2017).

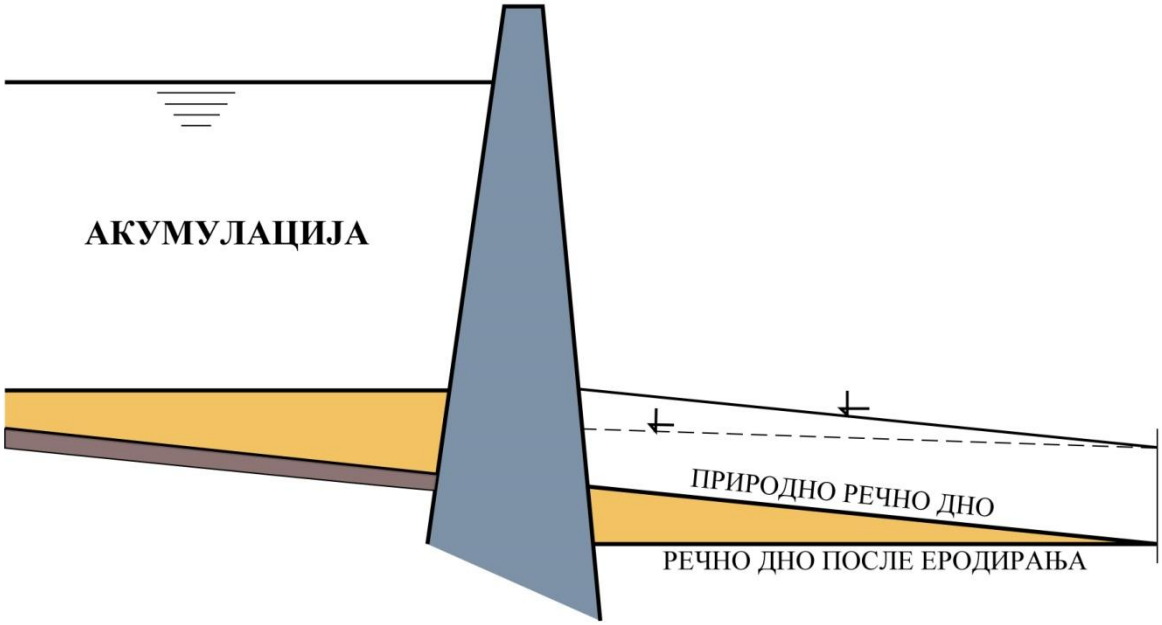
Приликом контролисаног периодичног испуштања воде из акумулације кроз темељни испуст, вода са собом носи и део наноса из акумулације. Ово се најчешће ради у циљу одржавања корисне запремине акумулације за активну заштиту низводног подручја од поплава. Испуштене воде имају већу специфичну масу него речна вода, при истицању, што ствара додатне локалне поремећаје структуре речног корита и појаву локалних деформација речног корита. Локални поремећаји делују на промену пада дна речног корита непосредно низводно од бране, тако да се смењују фазе самопоплочавања са фазама стварања локалних ерозионих шкољки и локалних деформација дна корита (Ђековић, 1993; Костадинов, 1996; Петковић, 1985).

Продубљивање речног корита ствара услове за неометано пропуштање великих вода низводно од акумулације. Међутим, ерозија и промене речног корита низводно од бране могу имати многоструке штетне последице, као што су (Костадинов, 1996):

- нестабилност речних обала;
- поткопавање насипа;
- поткопавање објеката у речном кориту;
- поткопавање мостовских и потпорних стубова.

Ерозија дна речног корита, низводно од акумулације, може да изазове снижавање нивоа подземних вода у приобаљу, што проузрокује штете у пољопривреди (Bruk, 1985).

Парцијални или потпуни прекид проноса наноса речним коритом низводно од акумулације онемогућава коришћење природне мешавине наноса за грађевинске радове (Слика 2).



Слика 2. Приказ утицаја преливних вода на морфологију речног дна низводно од акумулације (извор: Bruk, 1985).

Повремено испуштање воде из акумулације у циљу испирања наноса из акумулације и стварања услова за повећавање корисне запремине акумулације може да изазове многе нежељене последице на низводном делу слива, а и у самој акумулацији. У седименту акумулације се таложе штетне материје и тешки метали а испирањем из акумулације ремети се биолошка равнотежа на низводном делу слива (Sakan et al., 2017; Vukovic et al., 2014). Повећана концентрација ерозионог материјала приликом наглог испуштења воде из акумулације, може да изазове интензивно таложење дуж речног тока (Bruk, 1985). Прво се исталоже најкрупније фракције, ближе брани, док се ситније песковите и муљевите фракције таложе дуж речног корита формирајући спрудове (Gieswein, et al., 2019; Pasternack, Brush, 2013). То проузрокује промену падова и засипање речног корита. Издизање дна природног корита мења морфолошке параметре протицајног профила, што може довести до смањења пропусне способности корита за протицај великих вода у низводном сектору водотока (Bruk, 1985).

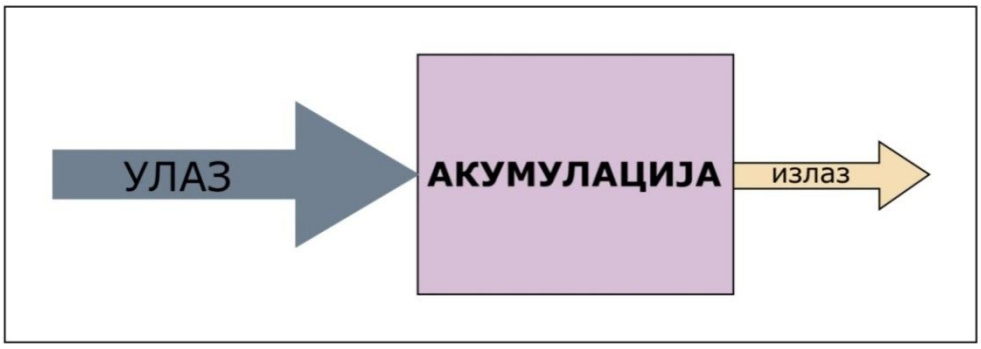
Најфиније муљевите фракције могу изазвати колмирање протицајног профила корита и тиме спречити прихрањивање издани. Најзад, испуштање муља из акумулације може проузроковати помор ихтиофауне у речном току (Letić, 2008). Неодговорни поступак

те врсте догодио се у акумулацији „Аурул” у Румунији 2000. године, када је испуштена велика количина јаловине и цијанида у реку Лапош која се улива у реку Мориш, леву притоку реке Тисе. Том приликом је настала еколошка катастрофа на целокупном низводном делу тока реке Тисе, услед помора ихтиофауне и загађња воде (Đeković, 2007).

У свакој акумулацији се развија језерска подводна вегетација која делује на пречишћавање воде у акумулацији, а истовремено омогућава рибљој популацији неометано храњење и мрешћење (Jude, Pappas 1992). Обарањем нивоа воде у акумулацији ова вегетација остаје на сувом и изумире. Тада долази до сукцесије врста и враћања акумулације у иницијално стање (Letić, 2008). Истовремено долази до пренагомилавања органске материје у језерској води, чијим распадањем се ослобађају нутријенти, нитрати, фосфор и други штетни састојци, који могу погодовати развоју штетних фитопланктонских заједница (Đeković et al. 2017).

1.1.3. Основни фактори процеса засипања акумулација

Да би се лакше сагледали основни фактори процеса засипања акумулација, читав процес се може представити шематски (Слика 3). Под улазом се подразумева протицај воде и наноса, $Q_{(т)}$, $Q_{(с)}$, као и геомеханичке карактеристике наноса. Дефинисање карактеристика уноса наноса у акумулацију је веома деликатан и захтеван процес, захтева обимна теренска истраживања и мерења, у дугом временском периоду (Bruk, 1985).



Слика 3. Шематски приказ засипања акумулација (извор: Bruk, 1985)

Уколико се посматра само суспендовани нанос који се речним коритом креће и улази у акумулацију, његова количина се може релативно лако и једноставно одредити преко концентрације наноса у води или одређивањем мутноће воде. Међутим, проблем се

увећава у периоду поводња, као током маја 2014. године (Anđelković et al., 2018). У таквим условима готово да није могуће прићи водотоку и узорковати воду за анализу (Слика 4).

Слика 4. Профил водотока Дубоког потока у време поплаве маја 2014. године (фото: А. Анђелковић)

Мерење проноса вученог наноса представља комплексан процес, са резултатима који нису увек довољно поуздани, тако да је пожељно комбиновати теренска мерења са рачунским методама. Овакав поступак захтева одређивање гранулометријског састава наноса из дна и обала корита притока, одређивање запреминске и специфичне масе. Применом методе Мајер-Петер-Милера из 1948. године (Babić Mladenović et al., 2013), преко распореда величине тангенцијалних напона по оквашеном обиму протицајног профила водотока, одређују се критичне вучне силе за покретање наноса из профила речног корита за одређене фракције наноса (Петковић, 1985). Вучени нанос се може лако задржати да не доспе у профил акумулације правилним избором места и изградњом депонијских преграда у сливу.

Акумулациони басен трансформише улаз воде и наноса у одговарајући излаз из акумулације. У општем случају, због малих брзина струјања у акумулацији, крупније фракције наноса се веома брзо исталоже на самом ушћу у акумулацију, док фине ситније фракције могу бити транспортоване знатно дуже кроз акумулацију. Један део суспендованих фракција може бити изнет из акумулације (Петковић, 1985). Начин и распоред седиментације наноса у акумулацији зависи од укупне запремине, конфигурације дна, а такође и од односа укупне запремине акумулације и количине воде која улази у

акумулацију и начина евакуације воде из акумулације. Под излазом наноса се подразумева део наноса који се покреће из акумулације приликом захватања и испуштања воде. Процес засипања акумулација је дефинисан управо разликом између количине унетог и изнетог наноса. Мере за спречавање засипања своде се на повећање количине наноса који излази из акумулације и на смањење количине наноса који улази у акумулацију (Petković, 1992). У пракси су уобичајене две групе метода за прогнозу брзине засипања акумулација:

- емпиријске методе и
- методе математичког моделирања (Bruk, 1985).

Да би се већ у фази планирања и пројектовања акумулационих басена сагледале основне карактеристике и последице засипања, користе се емпиријске методе, базиране на резултатима истраживања интензитета засипања на већ изграђеним акумулацијама. Коришћењем података о интензитету засипања постојећих акумулација, може се проценити укупна количина наноса која би се у неком временском интервалу исталожила у новопројектованој акумулацији и оквирно проценити распоред седимента у акумулацији (Bruk, 1985; Jovanović, 2008).

Математичко моделирање базирано је на решавању једначина кретања воде и наноса и на једначинама континуитета за водоток са покретним деформабилним дном. Комплетан модел засипања мора садржати математички опис тродимензионалног распореда брзина воде и наноса у попречном пресеку акумулације. Међутим, сложеност феномена засипања, као и бројна ограничења при решавању релација, захтевају увођење већег броја претпоставки, хипотеза и поједностављења, што доводи до грешака у прорачуну (Bruk, 1985).

1.1.4. Век трајања акумулација

Након изградње бране и пуњења акумулације, целокупан простор акумулације, до коте максималног успора, у почетној фази експлоатисања представља користан простор (Петковић, 1985).

Користан простор се временом засипа и губи основну функцију (Jovanović, 2008). У пројектантском погледу, нема правила о томе када се може сматрати да се акумулација засула, тј. запунила наносом и изгубила своју функцију. Ако акумулација има намену за коришћење водних снага и производњу електричне енергије, без обзира на то што је

изгубила део акумулационог простора, може се рачунати на генерисање висинске разлике између кота нивоа захваћених вода и генераторског постројења, а која се успоставља код прибранских и деривационих хидроелектрана, узимајући само проточне воде (Bruk, 1985). Може се рећи да функција акумулација никада не престаје јер увек остаје концентрисан пад за проточне воде и успостављени водозахват за захватање тих вода и одвођење до корисника. Сматра се да је акумулација потпуно засута уколико њен акумулациони простор износи свега 1% запремине годишњег протицаја водотока (Vladisavljević, 1969; Jovanović, 2008). При димензионисању акумулационих басена дефинише се „мртва" запремина акумулације која је пројектована за пријем наноса из слива, а који се задржава у акумулацији (Слика 5) (Петковић, 1985).

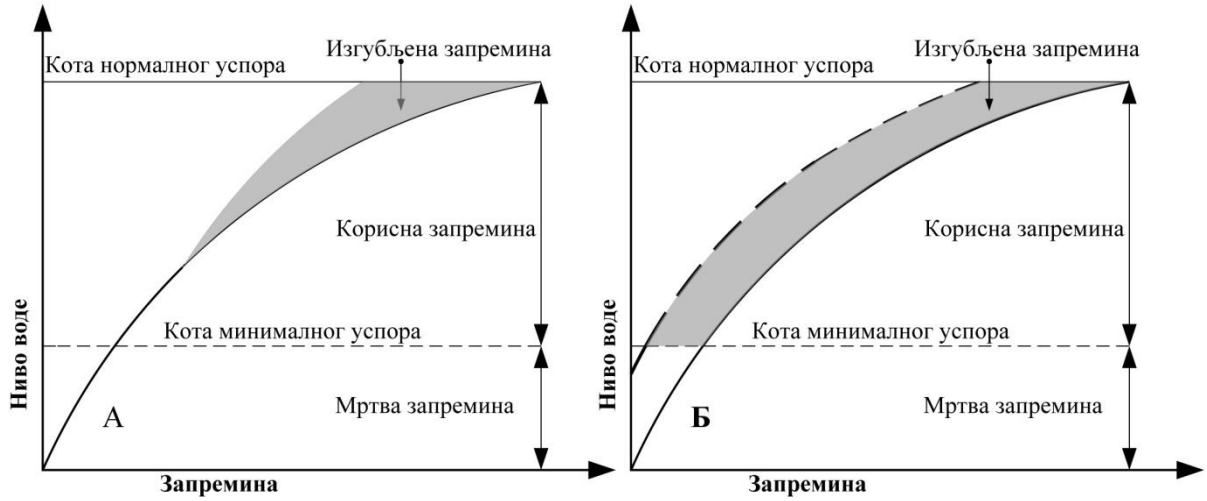
Слика 5. Редукција корисне запремине акумулације услед таложења наноса (извор: Bruk, 1985).

Међутим, засипање се не ограничава само на предвиђени мртав простор, већ по правилу захвата и корисну запремину акумулације. Емпиријске методе, засноване су на резултатима истраживања интензитета засипања педесет и једне акумулације, за одређивање просторне расподеле наноса у акумулацији (Borland, Miler, 1958). Да би се у фази планирања и пројектовања акумулација сагледале последице ерозионих процеса и засипања акумулација, користе се емпиријске методе, базиране на резултатима мерења и праћења интензитета засипања на већ изграђеним акумулацијама у сличним геотопографским условима. Коришћењем тих података може се проценити укупна количина наноса која ће се током дефинисаног периода исталожити у будућу акумулацију, а такође доста грубо проценити распоред исталоженог наноса у акумулацији (Брук, 1985а).

1.1.5. Ефикасност задржавања наноса у акумулацији

За било коју акумулацију може се дефинисати параметар „ефикасности задржавања наноса" који представља проценат наноса који се задржава у акумулацији, у односу на укупну количину наноса који улази у акумулацију.

Ефекти различитих облика наслага су илустровани цртежима (Слика 6). У почетку се нанос задржава у делти и смањује део корисне запремине који коренспондира вишим котама нивоа воде, док се касније смањује запремина у целом дијапазону нивоа. У неким случајевима, када је засипање интензивно, корисна запремина се врло брзо губи (Jovanović, 2008; Prohaska, 1990).



Слика 6. Губитак запремине акумулације услед засипања: А – утицај делте; Б – утицај наносних наслага униформно распоређених по акумулацији (Брук, 1985а).

Брук наводи да овај параметар може да се корелише са следећим параметрима:

- однос између запремине акумулације и годишњег дотока воде у акумулацији (метода Brune-a 1953);
- период задржавања, дефинисан као однос запремине акумулације и дневног дотицаја воде у акумулацију;
- специфично задржавање воде у акумулацији, дефинисано као однос запремине акумулације и површине речног слива узводно од преградног профила бране (Брук, 1985).

На Слици 7 приказан је дијаграм Brune-a који представља везу између ефикасности задржавања наноса у акумулацији и односа запремине акумулације и годишњег дотицаја

наноса (ε). За коефицијент $\varepsilon = 1.0$, ефикасност задржавања наноса у акумулацији је >70%, док је за $\varepsilon = 0{,}2$ ефикасност између 95 и 100%. Ове релације су потврђене у многим случајевима и показују да велике акумулације скоро у потпуности задржавају сав нанос који доспева у акумулацију. За мале вредности коефицијента (ε), метода Brune-а је мање поуздана, што је логично, јер хидолошко-хидраулички услови у малим акумулацијама варирају у зависности од топографских и хидролошко-хидрауличких карактеристика наноса (Брук, 1985а).

Начин и распоред таложења наноса у акумулацији зависе од више међусобно повезаних фактора, међу којима су најзначајнији (Брук, 1985):

- геомеханичке карактеристике наноса;
- однос улаза и излаза наноса из акумулације;
- величина и облик акумуалације;
- оперативна шема коришћења воде из акумулације.

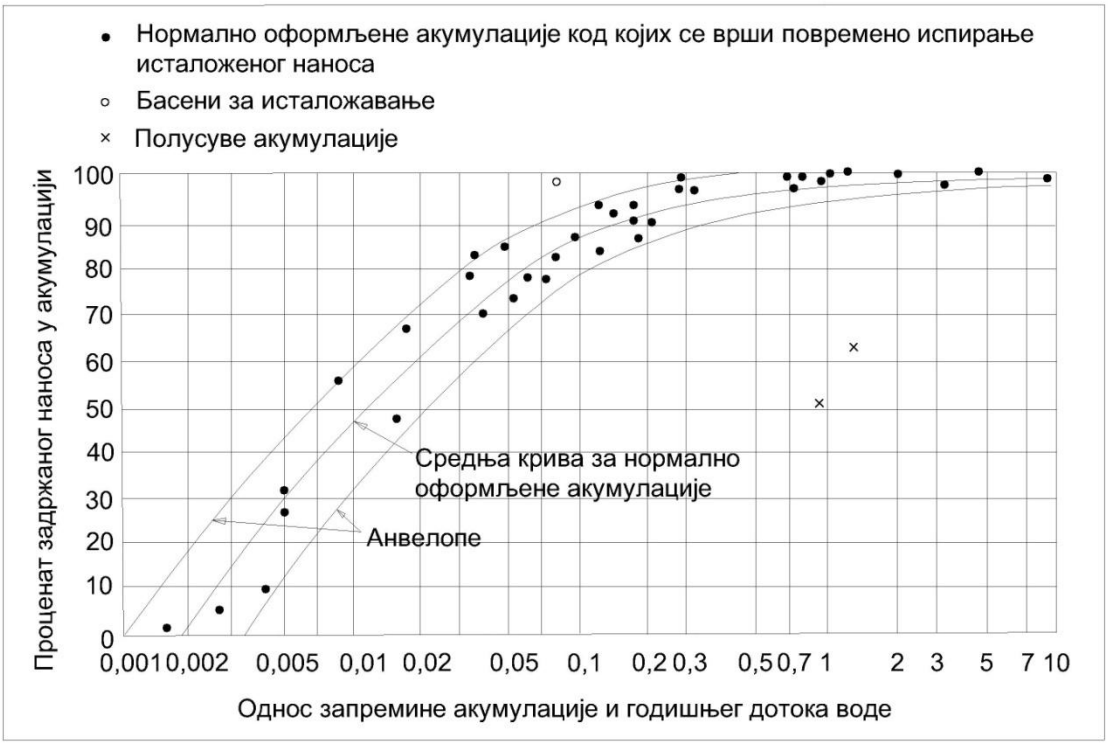
Велики број фактора и сложеност феномена утицали су на развој емпиријских метода за одређивање дистрибуције наноса у акумулацијама (Chaudhuri, 2017). Bureau of Reclamation (U.S.A) препоручује методу *Empirical Area – Reduction Method* (Емпиријска површина – Редукциона метода), која је развијена на основу прикупљених података о засипању 30 акумулација у САД-у. Овде је потребно нагласити да би било пожељно упоредити емпиријске методе које се предлажу у америчкој литератури са подацима о засипању акумулација у Србији (Брук, 1985а; Jovanović, 2008).

На Слици 8 приказана је зависност између:

1. Односа мртвог простора у акумулацији и укупне запремине акумулације;
2. Односа запремине акумулације и исталоженог наноса у мртвој запремини
3. Укупне запремине исталоженог наноса.

За ту сврху, акумулације које су обухваћене овом анализом, биле су подељене у четири групе:

- први тип: језера;
- други тип: акумулације у инундационим површинама у подножју брда;
- трећи тип: брдске акумулације;
- четврти тип: акумулације у клисурама и кањонима.



Слика 7. Дијаграм Brune-а (Брук, 1985а)

Слика 8. Дијаграм Borland Miler-а (Брук, 1985).

На пример, за случај када мртва запремина акумулације износи 5% од укупне запремине акумулације, количина наноса која се задржава у мртвој запремини варира од 10

до 50% од укупне количине исталоженог наноса, у зависности од типа акумулације (Брук, 1985а).

1.1.6. Густина исталоженог наноса

Густина исталоженог наноса представља масу влажног наноса по јединици запремине (Jovanović, 2008). Густина зависи од крупноће фракција наноса, као и од удела органске материје у седименту. Док се за крупније фракције (шљунак, песак) може релативно лако и поуздано прогнозирати густина исталоженог наноса, у случају ситнијих фракција (муљ и глина) вредност густине може знатно варирати. У акумулацијама у којима се у седименту налази органска материја (муљ и глина), вредност густине може бити приближно 1. Овај податак има велики значај, јер указује да седимент може заузети знатно већу запремину од оне која би се добила коришћењем специфичне тежине сувог седиментованог материјала без органске материје (Jovanović, 2008).

Изградња малих брана и акумулација за потребе водоснабдевања и вишенаменског коришћења, захтева релативно висок степен изравнања. Често се догађа да је врло мали однос укупног годишњег дотока и запремине акумулације. У складу са дијаграмом Brune-a (Слика 7), код тих акумулација се по правилу задржава сав нанос који улази у акумулацију (Jovanović, 2008).

Акумулације са високим степеном изравнања имају важну функцију у обезбеђивању довољне корисне запремине акумулације како би се осигурало функционисање хидроенергетског система (Grubert, 2016). Губљење корисне запремине акумулације одражава се на енергетски потенцијал. Услед засипања акумулација смањује се корисна запремина, што проузрокује неизбежне губитке воде и преливање преко евакуационих органа. Бројни истраживачи (Брук, 1985; Мушкатировић, 1976; Јовановић, 2008) су увели појам енергетског еквивалента јединичне запремине изгубљеног простора акумулације (Jovanović, 2008). Један кубни метар корисног простора акумулације има енергетски еквивалент у износу:

$$W \cong \frac{H_b \cdot n}{500} \ [kwh]$$

где је:

- W – енергетски еквивалент јединичне запремине акумулације;

- $n-$ број коришћења запремине акумулације у току године за изравнавање дотока и потрошње;
- H_b – бруто пад хидроенергетског постројења.

На тај начин сваком изгубљеном m^3 воде у корисној запремини акумулације насталом услед таложења наноса одговара изгубљени енергетски еквивалент *W(kwh).*

Ако се акумулациони простор просечно годишње смањује (*W= m^3)* у односу на корисну запремину (Jovanović, 2008), после (T) година укупна сума изгубљене енергије износиће (Брук, 1985a):

$$G_e = \frac{V}{2} \cdot W \cdot T^2$$

односно, укупни економски губитак је:

$$G_n = G_e \cdot K \ ,$$

где је:

- K – цена 1.0 kWh енергије;
- G_s– укупна изгубљена енергија;
- T –временски период;
- G_n – економски губитак у периоду експлоатације акумулације.

1.1.7. Пронос наноса кроз акумулацију

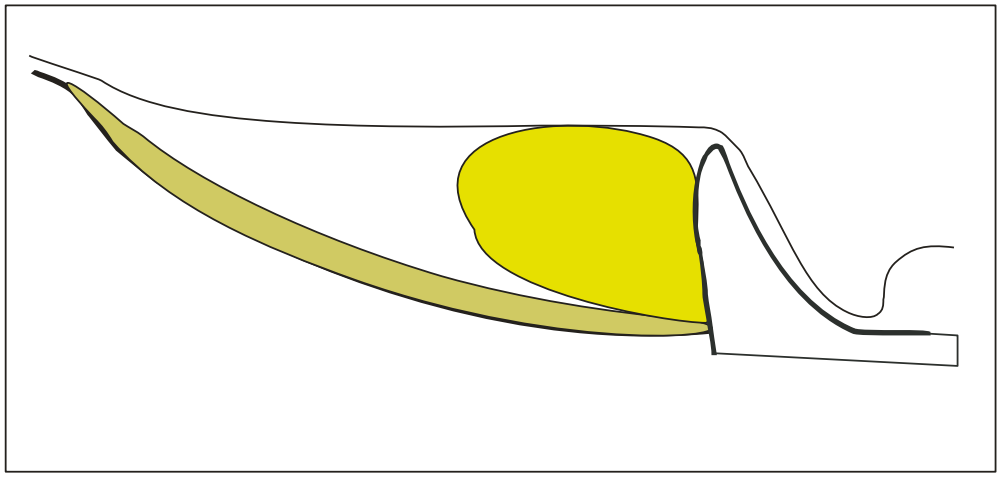
Нанос који водоток транспортује из слива уноси се у акумулацију (Брук, 1985a). После уливања притоке у акумулацију нагло се смањују брзине и вучне силе тока. Прво долази до заустављања и таложења вученог наноса (Sameh, Tetsuya, 2010). Суспендовани нанос се спорије одлаже, и у већини случајева, због топлотне стратификације мутне воде, формирају се мутне струје по дну акумулације (Jovanović, 2008; Tetsuya et al., 2004).

Услед топлотне стратификације воде у језеру, бујична вода која уноси у профил језера велике количине суспендованог материјала креће се по дну језера великом брзином (Mziray et al., 2018). С обзиром да заузима малу површину попречног пресека, из ње се не исталожи суспендовани нанос (муљ) који носи, све до профила бране (Jovanović, 2008).

Одређивање запремине засутог акумулационог простора захтева податке о количини и гранулометријским својствима унетог наноса (Hrissanthou et al., 2018). Од гранулометријског састава наноса и вучне силе тока зависи колика ће се количина и на којем месту депоновати унутар акумулације. Значајну улогу у засипању акумулација има суспендовани (лебдећи) нанос. Суспендовани нанос се често таложи близу бране и на тај начин ствара услове да језеро бива све плиће (Đeković, 1997).

Када стигне до профила бране, мутна струја се одбија од зида бране и има повратни талас чије је чело врло високо, због тога што се вода у овом случају понаша као потопљено тело, тј. има смањену тежину услед дејства потиска. Овај повратни талас може да испуни цело језеро и да се доцније из ове замућене средине суспендовани нанос (муљ) са честицама загађења, које су везане за суспензију, постепено таложи по целом дну језера, остављајући највише материјала у непосредној близини бране (Слика 9) (Đeković, 1997).

Да би се спречило засипање језера муљем који се ствара услед ерозије у сливу, и његовим транспортом кроз хидрографску мрежу до акумулације, потребно је у притокама изградити попречне објекте за контролу кретања ерозионог наноса (Đeković, 1997), уз примену биотехничких и биолошких мера на сливу.



Слика 9. Пронос суспендованог наноса мутном струјом по дну језера (извор: Đeković, 2007).

Количина транспортованог ерозионог материјала може се редуковати ако се на формираним заплавима димензионише широк протицајни профил да би дубина воде у таласу великих вода била што мања, а тиме мања и вучна сила тока (Đeković, 1997). Димензионисање протицајног профила треба извршити у функцији вучне силе, која се може дефинисати изразом:

$$\tau_o = g \cdot \rho_o \cdot R_o \cdot J_o \qquad \left[kN \cdot m^{-2}\right]$$

где су: g– убрзање гравитације;

ρ_o – густина бујичне воде;

P_o – хидраулички радијус тока $R_0 = \frac{A}{O}$;

J_o – пад огледала воде;

A – површина протицајног профила;

O – оквашени обим протицајног профила.

На тај начин се могу стварати услови за акумулацију и одлагање суспендованог наноса пре уласка у профил језера (Đeković, 1997). Поред тога, да би се спречила појава абразије, потребно је заштитити обале језера каменим набачајем, или на неки други начин, од 0 – 1,5 m испод најнижег до 1 – 1,5 m, изнад највишег водостаја у језеру (Đeković, 1997).

Постоје начини за чишћење муља из засутих акумулација, али ови радови су скупи и тешко се могу спровести, те је много боље заштитити акумулацију од засипања (Yanhua et al., 2018). Други проблем засипања акумулација у брдско-планинском региону представљају биљни отпаци и листинац који се уносе у профил акумулације површинским токовима (Foley, Betterton, 2019). Органски биљни материјал упија велику количину воде у себе и постаје тежи, због смањених брзина у акумулацији и полако тоне до дна (Letić et al., 2008). Распадањем ових биљних отпадака долази до развоја разних једињења која могу бити опасна по квалитет воде. У том процесу разлагања разијају се метан и фенолна једињења (Jevtić et al., 1995).

Вода из акумулација може се користити, после прераде и контроле квалитета, за потребе водоснабдевања становништва и друге намене (Đeković, 2007). Што је дубина воде у акумулацији већа, садржај кисеоника по дубини опада (Crossman et al., 2019). Најповољније су акумулације на већим надморским висинама, где су дневна и годишња

колебања температуре релативно мања (Летић et al., 2008), а после третмана прераде (Price, Heberling, 2018), вода се дистрибуира корисницима.

Акумулције могу постати реципијенти у којима се акумулирају полутанти, развијају микроорганизми и алге (Đeković, 2007; Gui et al., 2019; Potapov et al., 2019) а прекомерна концентрација органских материја доводи до еутрофизације вода (Caihong et al., 2019; Dondajewska et al., 2019). На дну језера формирају се дебеле наслаге муља, што се директно одражава на смањење запремине акумулационих базена (Mustafić et al., 2008).

1.2. Циљ истраживања

С обзиром на приказану проблематику, основни циљ ових истраживања састоји се у дефинисању законитости засипања акумулација на истраживаном подручју. Истраживањима су обухваћене базе података о изведеним акумулацијама, као и нова сазнања о факторима који имају утицај на процес ерозије земљишта, процес транспорта наноса кроз хидрографску мрежу експерименталних водотока и сливова, као и процес засипања акумулација ерозионим материјалом. Снимањем запремине акумулација утврђен је интензитет засипања, у односу на нулто стање (непосредно пре пуњења акумулација). Установљене су количине исталоженог наноса по профилима акумулација, за одређени временски интервал. Анализом узорака наноса из профила акумулација утврђена је гранулометријска структура материјала, као и удео органске материје. На узетим узорцима материјала из притока одређен је гранулометријски састав и запреминска маса. На узорцима узетим по профилима акумулација одређен је садржај органске материје, запреминска маса и гранулометријски састав исталоженог материјала.

Крупноћа наноса указује на величину и интензитет вучних сила тока, а степен заобљености фракција на дужину пређеног пута у поводњима. Ситније фракције наноса и органски пливајући нанос креће се и у периоду малих вода и неометано уноси у профил акумулација. Како се овај нанос таложи по профилима, установљено је да се дебљина седимента повећава од ушћа притока према профилу бане. Снимања су вршена из чамца помоћу инструмента Echo-Sonar „Garmin ECHO-200”, у различитим временским интервалима.

На основу емпиријских метода прорачуна установљене су годишње продукције ерозионог материјала на сливним подручјима експерименталних акумулација. Однос

продукованих количина ерозионог материјала на сливовима и количина исталоженог наноса у акумулацијама указује на степен тачности примењених прорачуна. Треба имати у виду да покренути ерозиони материјал из слива буде привремено депонован дуж водотока и линија кретања, образујући спрудове или депоније (Garcý´a et al., 1995; Garcý´aet al., 1997). Такође, дешава се да заустављени нанос обрасте вегетацијом и никада не настави кретање дуж водотока (Tošić et al., 2013).

2. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ О ЗАСИПАЊУ АКУМУЛАЦИЈА

Изградња акумулација у циљу наводњавања обрадивих површина и водоснабдевања становништва може се датирати у период од пре неколико хиљада година, што је утврђено на основу материјалних остатака некадашњих брана и акумулација (Đeković, 2007**)**. Истраживања интензитета засипања акумулација наносом започела су у XIX веку. У области антиерозионог уређења и уређења сливова пре изградње планираних акумулација неопходно је планирање мера уређења, дефинисаних на основу прорачуна продукције наноса из слива и корита водотока узводно од планираног преградног профила.

В. М. Лохтин је крајем XIX века развио идеју о узајамном деловању тока и речног корита. Н. С. Лељевскиј је истраживао законитости настанка попречних струјања и оповргао теорију паралелних струјања (Đeković, 1997). Kenedi, Lindli, Čin, Akers i dr. (1895) у „Теорији режима" износе закључке и дефинишу законитости у односу на димензије протицајног профила и промену хидрауличких параметара тока (брзине тока и тангенцијалних напона по профилу) у функцији биланса наноса. Теоријом хидрауличке геометрије (Simons i Albertson, 1960.; Schumm, 1960.), Мајер-Петер и Милер дефинисали су појаву критичних тангенцијалних напона у водотоку везаних за пречник зрна, масу и услове покретања наноса у протицајном профилу водотока. Сва ова истраживања рађена су у другој половини XIX и првој половини XX века и у многоме су променила схватања унутар инжењерских дисциплина које су се бавиле изградњом објеката у речним токовима.

Група аутора Blas L. Valero-Garce´s, Ana Navas, Javier Mach´, Des Walling у раду *Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees*, објављеном у часопису „Geomorphology", 1999. године, пружа детаљан приказ састава речног наноса који преко притока долази до акумулација где се таложи. Анализом

минерала који су нађени у наносу, утврдили су порекло великих количина материјала транспортованог током проласка поплавног таласа на реци Есери.

Мале бране и акумулације, поред својих основних функција, могу бити искоришћене и за прикупљање великог броја информација о сливном подручју, еродибилности стена и продуковању наносног материјала, јер активно учествују у ретензији наноса из слива. Током 2010. и 2011. године преко 20 брана у Ирану је искоришћено за оваква истраживања (Vaezi et al., 2017).

У сврху детерминације порекла наноса у акумулацији користе се разне методе, а једна од примењених у Републици Малави (Malawi), на реци Шире (акумулација Нкула), јесте минерални магнетни метод MMA (Mineral Magnetic Approach), који је погодан за одређивање извора флувијалне ерозије и наноса (Mzuza et al., 2017). Истраживања која су рађена на реци Муга у области јужних Пиринеја, показала су да бране умногоме утичу на режим проноса наноса, како у делу изнад бране, тако и у делу тока испод бране (Piqué et al. 2017).

Акумулација бране Латиан у Ирану снимана је седам пута у различитим фазама и временским периодима. Пре изградње урађена је студија седиментације у акумулацији, а каснијим мерењима потврђена је добра предикција у овом случају (Behrangi et al., 2014).

Костадинов, С. (1986) у свом раду *Пронос вученог и укупног наноса у функцији неких хидролошко-хидрауличких параметара бујичних токова* анализира узроке покретања вученог наноса.

Животни век једне акумулације је време од почетка експлоатације до тренутка када се акумулација запуни наносом до коте нормалног успора воде у акумулацији. Од тог периода некадашњи акумулациони простор више не постоји, а речни ток меандрира и креће се дуж засуте акумулације без задржавања воде (Bohlen, Lewis, 2009; Panić et al., 2013).

Последњих деценија појавиле су се многе студије и пројекти који су покушали да одговоре на ову сложену проблематику (Yang, 1999; Walling, Golosov, Panin, 2000; Wolfgang, 2002. и др.).

Код нас су се најчешће проблемом засипања акумулација бавили најистакнутији научници из области ерозије и бујица (Брук, 1985; Ђорђевић, 2017; Јовановић, 2008; Костадинов 2008; Петковић, 1985; Бабић Mladenović, 2003. и др.), научно-образовне

институције и предузећа из домена водопривреде: Шумарски, Грађевински и Географски факултет Универзитета у Београду; Институт за водопривреду „Јарослав Черни"; „Енергопројект" и др. Као пример, могу се навести следећи истраживачки пројекти:

1. „Истраживање процеса засипања акумулација са посебним освртом на засипање Власинског језера" (1985, руководилац истраживања: проф. др Слободан Петковић). У општем делу пројекта наводе се основне карактеристике проблематике засипања акумулација, законитости које је покрећу и ефекти. У другом делу проблем се конкретизује на акумулацију Власинског језера;

2. Енергопројект, Хидроинжењеринг, Институт за водопривреду „Јарослав Черни" (2003): Студија заштите акумулација са хидроенергетском наменом од засипања речним наносом и уношења површинског наноса, I фаза – Заштита акумулација од засипања речним наносом.

Услед изградње брана неминовне су промене и деградација корита и речне долине узводно и низводно од профила бране. Подизањем брана ремете се природни циклуси кретања воде и наноса речним коритом и речном долином. Акумулација воде, која се формира на узводном профилу водотока изнад изграђене бране, у потпуности мења брзину кретања воде у односу на период пре формирања акумулације. Редукција брзине течења условљава промену режима кретања наноса, тако да највећи део остаје у акумулацији, док један део наставља кретање на низводној деоници (Babić Mladenović, 2003).

Начин таложења наноса у профилу акумулације, превасходно зависи од морфолошких и хидролошко-псамолошких особина истраживаног подручја и акумулације. Највећи утицај имају следећи фактори (Babić Mladenović, 2003):

- величина и облик акумулације;
- дужина акумулације;
- продукција ерозионог материјала у сливу, количина и карактеристике самог наноса;
- режим рада акумулације;
- величина, облик и тип евакуационог органа (прелива);
- учесталост појаве поплава и величина поплавног таласа;
- појаве таложења наноса;
- присуство вегетације.

Група аутора на челу са Марином Бабић Младеновић, објавила је 2003. године синтезно саопштење у часопису „Водопривреда", под називом *Засипање акумулација у Србији – проблеми и правци решавања*, у коме се детаљно износе чињенице везане за ову проблематику. Посебна вредност овог истраживања јесте приказ проблематике са егзактним вредностима за једну већу групу акумулација у Србији. Под претпоставком да је механизам засипања акумулација приближно исти за велике и мале акумулације, у наставку текста биће поменуте поједине студије случаја, са одговарајућим коментарима.

Акумулација ХЕ „Бајина Башта" налази се на реци Дрини, а једна од већих притока је река Рзав. Хидроелектрана је направљена 1966. године (Једак et al., 2009). Укупан капацитет акумулације је $340 \cdot 10^6$ m^3 (Božović, 1974). Антиерозионе мере које су биле предвиђене пројектом нису изведене, а псамолошком режиму није дата потребна пажња. Мерења која су вршена била су непотпуна (1976. и 1989. године) и указала су на ниво и распоред наносних формација у акумулацији. После изградње узводних акумулација (Кокин Брод, Потпећ, Пива, Увац и Вишеград) вршена су мерења уноса наноса у акумулацију Бајина Башта. Из ових снимања се може видети смањење интензитета засипања акумулације Бајина Башта са просечно $2{,}5 \cdot 10^6$ m^3/год на значајно мање количине. Установљено је да се корисна запремина акумулације смањила за 9,4% током периода од 1966. до 2002. године. Ово указује да је изградња узводних акумулација спречила унос великих количина наноса у акумулацију Бајина Башта и да ова акумулација није више угрожена од процеса засипања наносом (Babić Mladenović, 2003).

Акумулација ХЕ „Потпећ" – током пројектовања бране и акумулације вршена је и псамолошка анализа и донете су мере за заштиту акумулације од засипања. Међутим, по изградњи бране (1967. године) уочено је брзо засипање, што је довело и до засипања решетки водозахватне грађевине. После отклањања овог проблема, испуштањем воде из акумулације у два наврата, где је изнета и већа количина наноса из профила акумулације, а начињена и огромна штета на низводном делу водотока, кренуло се у чешћа мерења наноса у акумулацији (од 1976. до 1999. чак пет пута). 1988. и 1999. године вршено је пражњење језера, уз опсежне мере заштите низводних деоница. Установљено је да највеће количине наноса стижу током реке Лим, и предвиђене су мере за задржавање овог наноса до 80%, али нису изведени предвиђени објекти. На основу истраживања, закључено је да је корисна запремина акумулације, за период експлоатације од 32 године, смањена за 22,7%. Уочен је тренд пада интензитета засипања акумулације, са првобитних 250 m^3/km^2/god на 100 m^3/km^2/god (Babić Mladenović, 2003).

Акумулације ХЕ „Кокин Брод" и ХЕ „Увац" налазе се на реци Увац. Брана Кокин Брод налази се у истоименом месту, а њеном круном пролази саобраћајница која повезује села Јасеново, Равна Гора и др., са државним путем првог Б реда (Lipovac et al., 2016). Обе акумулације имају велики социоекономски значај (Simić et al., 2016). У време изградње ове две акумулације 1962. године, односно 1979, врло је мало пажње поклањано проблематици везаној за нанос, тако да на акумулацији Увац никад нису рађена било каква псамолошка истраживања, док је Кокин Брод сниман два пута: 1967. и 1970. године. Утврђено је да су акумулације изгубиле свега по 3% од корисне запремине, до 2002. године. Ово је врло дискутабилан податак и у будућности би требало да буде проверен опсежним истраживањима ових локалитета (Babić Mladenović, 2003).

Акумулације ХЕ „Овчар Бања" и ХЕ „Међувршје" налазе се у Овчарско-кабларској клисури. Акумулација Овчар Бања саграђена је 1954. године и врло брзо је засута преко 50%. Испирање, испуштањем воде из акумулације вршено је 1955/56. године и тада је сав нанос пребачен у акумулацију Међувршје, а то је у многоме утицало на ихтиофауну и живи свет у њој (Đikanović et al., 2016). Сматра се да је засипање акумулације Овчар Бања завршено, јер је засута више од 80% корисне запремине. Акумулација Међувршје је засута више од 82%, од чега је 62% корисна запремина. Постројења на обе бране функционишу као проточна и лимитирана су смањеном корисном запремином (Babić Mladenović, 2003).

Акумулација ХЕПС „Ђердап I" – у време пројектовања ове акумулације урађене су детаљне и опсежне анализе, прорачуни таложења наноса и деформација речног корита. Акумулација је намењена производњи електричне енергије (Feith, Feith, 1980; Vuković et al., 2014). Урађена је прогноза укупних количина наноса, подужног распореда, дубине и гранулометријског састава, као и повишења нивоа воде. Донета је стратегија да се периодично морају вршити мерења, и са тим се отпочело одмах по изградњи. Највеће количине наноса пристизале су у првим годинама рада акумулације, при чему је у првих седам година регистровано 170 $m^3/m^2/god$. У каснијим годинама смањио се интензитет засипања на 100 $m^3/m^2/god$ (Babić Mladenović et al., 2013). Највеће количине наноса регистроване су између бране и ушћа реке Нере (87%), што представља дужину од неких 132 km. Део код Доњег Милановца се понаша као таложница и за сад задржава велике количине наноса, али се сматра да ће запуњењем тог природног таложника доћи до равномернијег распростирања наноса по акумулацији, што ће доста неповољније утицати на режим експлоатације, као и на пловидбу тим делом Дунава (Бабић Mladenović, 2003).

Акумулација ХЕПС „Ђердап II" – ова акумулација је под константним утицајем узводније акумулације, а растојање између њих је свега 80 km, тако да се не може очекивати једнак режим засипања (Stevović, Nestorović, 2016). Овде је уочено засипање ниског интензитета и претежно се ради о фином (суспендованом) наносу, који углавном доспева преко узводне акумулације, а мањи део је продукт флувијалне ерозије (Babić Mladenović, 2003).

Акумулација ПАП „Лисина" - изграђена је на Божичкој реци 1977. године и чини део Власинског система. На овој акумулацији никада није вршено снимање акумулационог простора, тако да нема поузданих података о смањењу корисне запремине. Претпоставља се да је тај простор редукован, али се не може са сигурношћу то и потврдити док се не ураде псамолошка истраживања (Babić Mladenović, 2003).

Када се говори о доброј пракси пројектовања брана и акумулација, незаобилазно се мора поменути пројекат бране и акумулације **Крчевица**, за чију је изградњу била планирана сва пропратна документација везана за детаљна хидролошка и псамолошка истраживања. Од овог пројекта се одустало због превелике насељености у зони планиране акумулације. Али, потом су урађена четири мања пројекта, од којих су неки и реализовани. То су:

- Дубоки поток, на Дубоком потоку,
- Крчевица на Хајдучком потоку,
- Барајевица на Барајевском потоку и
- Барајевска река на Барајевској реци.

За ове бране урађени су идејни пројекти који су обухватали и опсежне анализе хидролошких и псамолошких чинилаца. Акумулација Дубоки поток је један од предмета истраживања у овој докторској дисертацији. Циљ и намена ових акумулација била је превасходно контрола протицаја на већем делу слива Барајевске реке (која припада сливу Колубаре), задржавање наноса, оплемењивање малих вода, наводњавање, као и коришћење за спорт и рекреацију.

У области Војводине у периоду после 1960. године изграђене су бројне мале водне акумулације (од 1965. до 1990. године – шеснаест; десет на подручју Фрушке Горе, пет на подручју Северне Бачке и једна у Банату). Основни циљ изградње ових акумулација био је наводњавање пољопривредних површина, а затим заштита од поплава, спорт и рекреација,

узгој рибе. Неке су постале колектори отпадних вода, а све су мање или више изгубиле део запремине услед засипања (Đeković, 2007). Прве три формиране акумулације су:

- Месић
- Сот
- Мохарач

За ове три акумулације, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду спровео је истраживање под називом *Студија дефинисања методологије оцене стања, одржавања и управљања вишенаменским акумулацијама изграђеним у Војводини са применом на акумулацијама „Месић", „Сот" и „Мохарач".* Студија је рађена 2013. године са циљем осматрања и одржавања објеката. У оквиру израде студије, рађена је анализа планске документације и главног пројекта. Такође, вршена су геодетска мерења бране и хидротехничких објеката на њој, као и локализована снимања појединих делова акумулације.

На основу изучавања домаће и стране литературе у области вишенаменског коришћења акумулација учињен је покушај синтезе најважнијих теоријских достигнућа у овој области. На тај начин дефинисан је теоријски оквир за конкретна теренска истраживања у овој дисертацији.

3. МЕТОДОЛОГИЈА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКОГ РАДА

3.1. Концепција теоријских истраживања

Основни циљ теоријских истраживања састојао се у анализи најважнијих законитости у природним условима развоја и експлоатације акумулација, као и њиховој интерпретацији у контексту најновијих сазнања у области продукције и транспорта ерозионог материјала из слива до профила акумулација. У том циљу, извршен је увид у одговарајућу научну и стручну литературу. На тај начин добијена је могућност компарације и интерпретације резултата истраживања у погледу савремених научних сазнања о проблемима продужетка века трајања акумулација и очувања резерве воде у њима.

На бази теоријских истраживања интензитета засипања акумулација наносом уочене су све битне компоненте и релевантни фактори ових процеса, на основу чега је било могуће

дефинисати смернице за конкретна теренска истраживања. С друге стране, анализом и интерпретацијом резултата истраживања добила се реална квантитативна представа о законитостима засипања акумулација наносом.

3.2. Теренска истраживања

У погледу теренског истраживачког рада није могао бити избегнут утицај неких ограничавајућих фактора у вези са дужином периода истраживања и финансијским могућностима.

Теренским мерењима и осматрањима обухваћени су битни параметри сливова и акумулација у дужем временском раздобљу. При томе су вршена компаративна истраживања карактеристика сливова: Шидске Шидине (у даљем тексту: акумулација Сот), потока Љуково (акумулација Љуково), Дубоког потока (акумулација Дубоки поток) и потока Паригуз (акумулација Ресник). Приказане карте коришћења земљишта у сливним подручјима израђене су методом даљинске детекције, са ортофото снимака, што је кориговано на основу теренског рекогносцирања сливних подручја, уз одговарајућу фото документацију.

За снимање школьки акумулација коришћен је Echo-sonar „Garmin ECHO-200". При томе, за све снимљене тачке одређене су координате у пројекцији „Gaus Kriger". Снимања конфигурације језерског дна обављана су по профилима. Положаји снимљених тачака дефинисани су помоћу геодетског инструмента „Topcon GMS-2". На основу регистрованих координата свих тачака, на унапред задатим попречним профилима, сонаром (Ashley 2009) су мерене дубине воде до дна акумулација. Снимљене тачке анализиране су у програму „AutoCAD Map 3D 2017", а у програмима „Survey", „DMT", „Volume", „Trasa" и „SKV" (Јанић, 1989, 2014, 2015.), који раде у окружењу AutoCAD. Обављено је дигитално моделирање акумулација, цртање попречних профила, као и одређивање биланса наноса. Веза за сталне репере остварена је на основу нивелманског снимања, помоћу инструмента „Kern swiss GK1-A" (Слика 17). Репери код свих брана налазе се на круни прелива и на круни бране. У фази нивелманског снимања увек је снимана кота нивоа воде у акумулацији, како би се тачно дефинисале осцилације нивоа воде у односу на круну прелива.

Пробно тестирање инструмената за мерење вршено је на базенима Завода за спорт и медицину спорта на Кошутњаку. Касније је током мерења вршена константна провера

тачности снимања ручно израђеним инструментом (сондом) за мерење дубине (Слика 10). Да би се обезбедила тачност мерења при кретању чамца, и избегло нагињање сонде под неким углом, сонда за мерење постављена је у вертикалну пластичну цев, која је искоришћена као цилиндар у коме се сонда несметано помера пратећи ниво воде, у вертикалном правцу, без могућности хоризонталног померања. Дубина урањања сонде у воду ограничена је пловком и износи 7 cm од површине воденог огледала.

Слика 10. Пантљика са причвршћеним тегом за мерење дубине воде у акумулацији (фото: Анђелковић, А.)

На основу снимљених података израђени су дигитилни модели терена (школьки акумулација – ДМТ). ДМТ модели урађени су за сваку акумулацију (Janić et al., 2015). На основу ДМТ модела, коришћењем наведених компјутерских програма, израчунате су запремине и стање акумулација у периоду мерења, а на основу тих података урађене су криве запремине у програму Microsoft Office Excel 2007.

Да би се обезбедили поуздани подаци о пореклу седимента у акумулацијама, вршена су истраживања седимента на спрудовима притока и из речних корита (Слика 11).

Слика 11. Узимање поремећеног узорка наноса (14.9.2016. године) из главне притоке акумулације Дубоки поток (фото: Ђековић, В.)

На основу тих узорака дефинисане су гранулометријске криве методом просејавања, одређена је специфична маса и крупноћа фракција, нацртане су криве гранулометријског састава. Остала истраживања наноса у акумулацијама вршена су узимањем узорака са дна акумулација помоћу „ручног багера", *Van Veen Grab Sampler* (Слика 18) (Gage, 1975). На овим узорцима вршено је одређивање процентуалног учешћа органске материје, методом сушења и жарења на температури од 350^0C (Слика 12), у лабораторији Института за шумарство у Београду.

Слика 12. Поступак обраде узорака у лабораторијским условима (фото: Анђелковић, А.).

Након сагоревања органске материје и одређивања процентуалног учешћа органске материје у узетом узорку, на преосталом делу узорка вршена је гранулометријска анализа материјала на свим узорцима узетим из профила акумулација. Одређивање гранулометријског састава на узорцима из акумулација вршено је према стандарду SRTSU.B 1.018 (2005), методом хидрометрисања.

Обављено је детаљно картирање начина коришћења земљишта у сливу и одређивање степена покривености вегетацијом, као и сагледавање услова за заштиту земљишта од ерозионих процеса, на основу даљинске детекције са ортофото снимака и теренским рекогносцирањем. За дефинисање продукције наноса са сливова коришћена је метода Потенцијала ерозије „МПЕ" (Гавриловић 1972; Dragičević et al., 2016; Globevnik et al., 2003; Fanetti, Vezzoli 2007; Dragićević et al. 2017; Ristić et al., 2011). МПЕ је уведена у праксу уређења бујичних водотокова 1972. године, а применом GIS (Mason, 2005) и AutoCAD Map (Hobbs, Chan, 1990), добила је на значају.

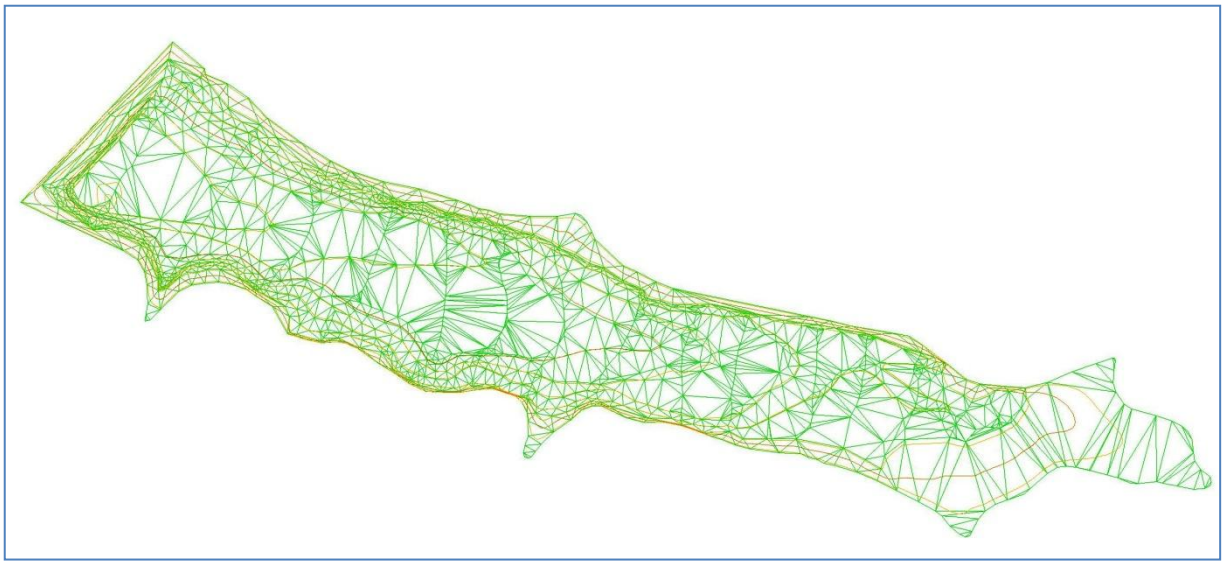
Рекогносцирање слива имало је за циљ да се одреде ерозиона жаришта, као и локације са којих се врши покретање ерозионог материјала и његов даљи транспорт кроз хидрографску мрежу до зоне одлагања.

За снимање конфигурације језерског дна коришћен је инструмент Echo-Sonar „Garmin ECHO – 200” (Слика 14).

Слика 13. Изглед инструмента Topcon GMS – 2;

Слика 14. Изглед инструмента Echo-Sonar „Garmin ECHO–200”

Положај снимљених тачака, дефинисан је преко географских координата геодетским инструментом „Topcon GMS – 2” (Слика 13).



Слика 15. Елевација маса преко троуглова у програму Survey (извор: Анђелковић, А.)

На основу регистрованих координата свих тачака, на унапред задатим попречним профилима, сонаром су мерене дубине воде до дна акумулација. Снимљене тачке су, у програмима „AutoCAD 3D Map 2017” и „Survey”, коришћене за цртање попречних профила акумулација, а такође и за израду дигиталног модела акумулације и рачунање количине наноса (Слике 15 и 16) (Јанић, 2006).

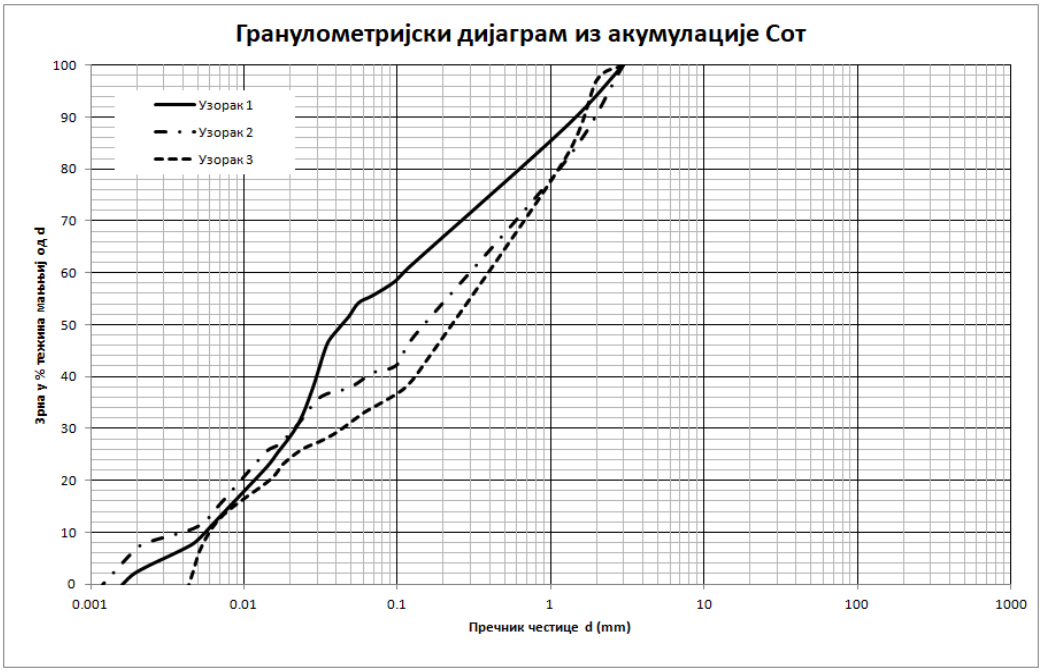
Слика 16. Изглед једног дигиталног модела акумулације у реалним условима, са попречним профилима (извор: Анђелковић, А.)

Слика 17. Геодетски инструмент Kern swiss GK1 – A, у току снимања (фото: Анђелковић, А.)

За дефинисање услова покретања наноса, кроз хидрографску мрежу слива и кроз акумулацију, из профила притока и из профила језера узети су узорци наноса (Слика 18).

Слика 18. Поступак узимања наноса са дна акумулације (фото: Ђековић, В.).

На овим узорцима вршене су гранулометријске анализе (Слика 19).



Слика 19. Дијаграм гранулометријског састава

Остали прикупљени подаци су статистички обрађени и приказани. Дијаграми корелација рађени су у програму Statgraphics. Дате су једноструке и вишеструке корелационе анализе између различитих параметара. Оваква статистичка обрада података представљена је у графичком и аналитичком облику.

3.3. Статистичка обрада података

3.3.1. Статистичке методе, истраживање промена запремине акумуалција

У теоријској анализи века трајања акумулација најчешће се користе следеће расподеле:

1. **Gausova – normalna raspodela**

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot exp - \left(\frac{(x - x_{sr})^2}{2\sigma^2}\right) \quad -\infty \leq x \leq +\infty$$

2. **Log-normalna raspodela Galton-a**

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma y} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot exp - \frac{\left(\ln x - \mu_y\right)}{2\sigma \cdot y^2} \qquad 0 < x < \infty$$

3. Gama raspodela

$$f(x) = \frac{1}{G(\alpha)\beta\alpha} \cdot x^{\alpha-1} \cdot \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \qquad 0 < x < \infty;$$

где су:

x −случајно промењива,

x_{sr}, μ_y – средња вредност случајно промењиве

$$\mu_y = ln\frac{\mu_x^2}{(\sigma x^2 + \mu_x^2)^{1/2}},$$

σ^2, σx^2 – дисперзија случајно промењиве

$$\sigma x = \ln\left(1 + \frac{\sigma x^2}{\mu_x^2}\right)$$

$$\alpha = \frac{x_{sr}^2}{\sigma^2}; \qquad \beta = \frac{1}{\alpha}.$$

Испитивањем емпиријских кривих расподеле, њиховим поређењем са теоријским кривама, потребно је испитати хомогеност и независност података у складу са физичким параметрима који утичу на развој сливова, продукцију наноса, хидраулички транспорт наноса и засипање акумулација (Eyrolle et al., 2012). У ту сврху могу се користити познати статистички тестови при којима се строго мора водити рачуна о хомогености и независности подататака још при избору сливова и акумулација на којима је вршено мерење и истраживање процеса засипања и при избору временског интервала за који се очекују значајније промене морфологије акумулационих шкољки (Martens, et al., 1986)

3.3.2. Примена корелација у тумачењу резултата истраживања

За оцену поузданости резултата истраживања коришћене су статистичке методе: методе корелације, регресије и одређивање коефицијента корелације. Корелација је стање узајамне везе или реципрочне повезаности варијабли у линеарној или експоненцијалној зависности. У овим истраживањима углавном су коришћене вишеструке линеарне корелационе зависности, с обзиром да засипање акумулација настаје услед деловања више фактора, који су случајног карактера и могу бити међусобно повезани. Корелација

представља и образац варирања варијабли у зависности од начина на који су повезане, а који је битно другачији од њихових изолованих својстава или очекиваног начина реаговања (Wold, 1975).

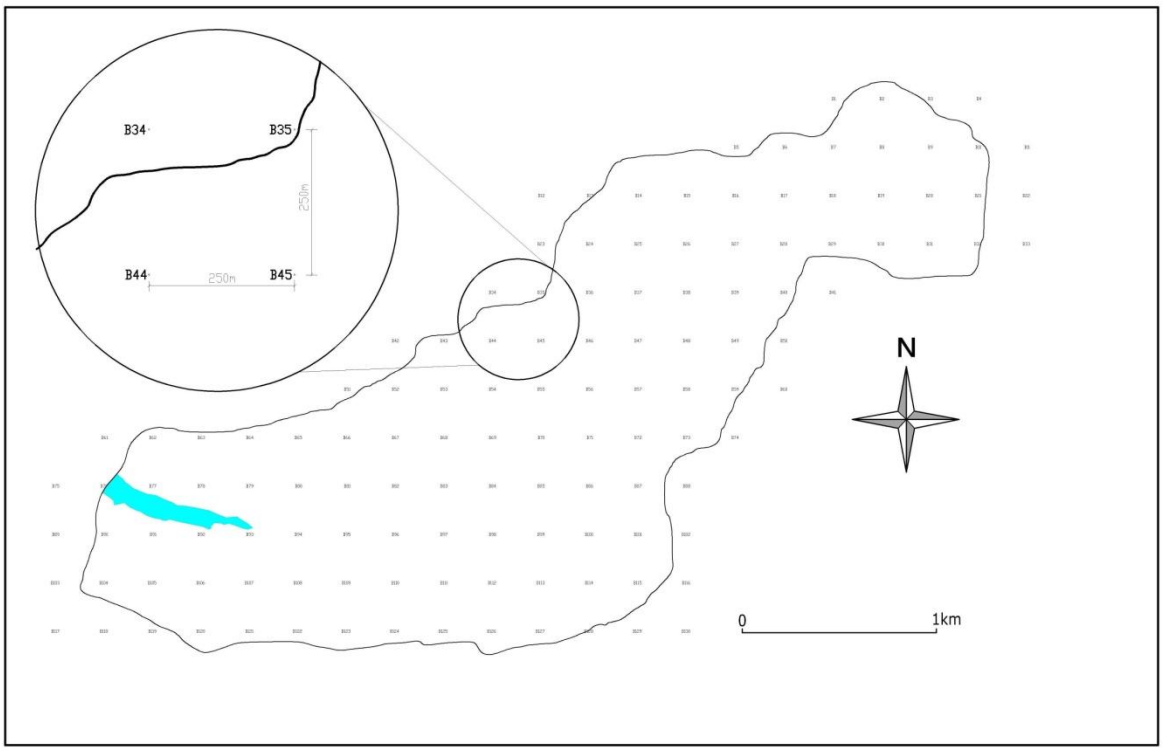
3.3.2.1. Геостатистичка метода мреже тачака

У овој анализи коришћени су подаци добијени постављањем координатне мреже на сливовима, са размаком између преломних тачака од 250m (Слика 20). За сваку тачку су посебно анализирани: пад (J), коефициент „Y”[1], коефицијенти „X” и „a” на основу карата коришћења простора на сливним подручјима, коефицијент „φ” и, напослетку, за сваку тачку је посебно анализиран коефицијент еродибилности терена „Z” на основу Методе потенцијала ерозије (Табеле 2, 3, 4, 5, 6 и 7).

Ова метода се препознаје под називом *Grid based overlay operation method*, и први пут је примењена 1992. године. Анбалаган је предложио да се одређена подручја поделе на просторне сегменте који представљају појединачне аспекте простора (нпр. нагиб терена) (Anbalagan, 1992). Саркар и сарадници су предложили да се за потербе примене оваог приступа користе правилне квадратне „решеткасте ћелије” (Sarkar et al, 1995).

Примена овог приступа подразумева просторну логику која је својствена ГИС-у радном окружењу. Заправо, овим је омогућено да се симултано анализира више фактора који утичу на развој одређеног процеса, у овом случају, процеса ерозије земљишта који су квантификовани применом Методе потенцијала ерозије. Поједининачни параметри (који?) су методом преклапања (енг. overlay method) сублимирани и добијен је просторни распоред коефицијента ерозије Z. Мреже тачака које представљају „узорке” на истраживаним подручјима, генерисане су у програму „AutoCAD Map 3D 2017”, у Гаус Кригеровој пројекцији за зону 7.

[1] Коефицијент Y је обједињен са педолошких и геолошких карата сливног подручја.

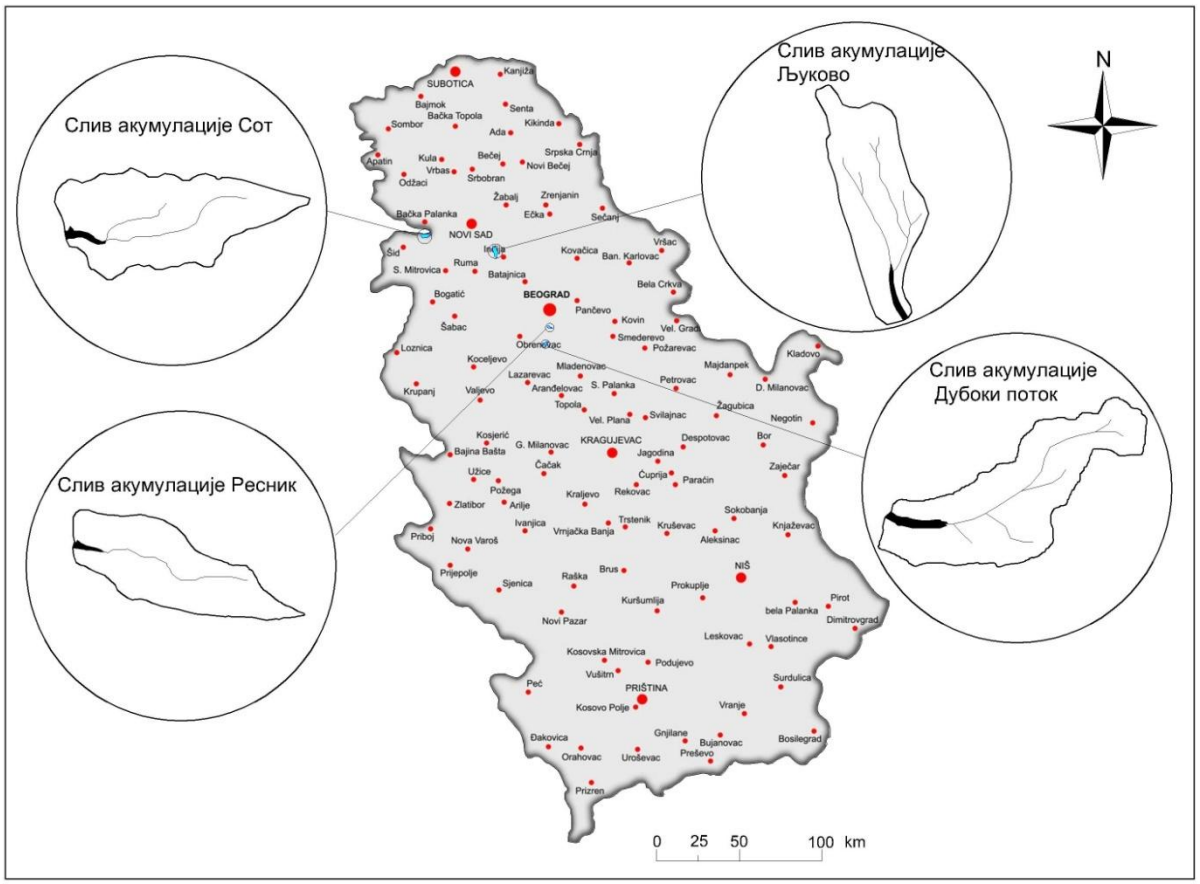


Слика 20. Пример приказа мреже тачака на сливном подручју акумулације Дубоки поток

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

4.1. Приказ теренских истраживања

Истраживања интензитета засипања наносом обухватила су четири формиране акумулације, две на административном подручју града Београда (општине Барајево и Раковица) и две на подручју АП Војводине (општине: Шид и Инђија) (Слика 21). Процес обраде и систематизације свих релевантних података о малим водним акумулацијама захтевао је комплексан приступ, који је обухватао проучавање целокупне стручне и техничке документације о овим акумулацијама, као и теренске истражне радове, узорковање наноса из профила притока и профила акумулација.



Слика 21. Просторни распоред и локација истраживаних сливова (извор: Анђелковић, 2018)

4.2. Општи подаци о сливу и акумулацији Дубоки поток

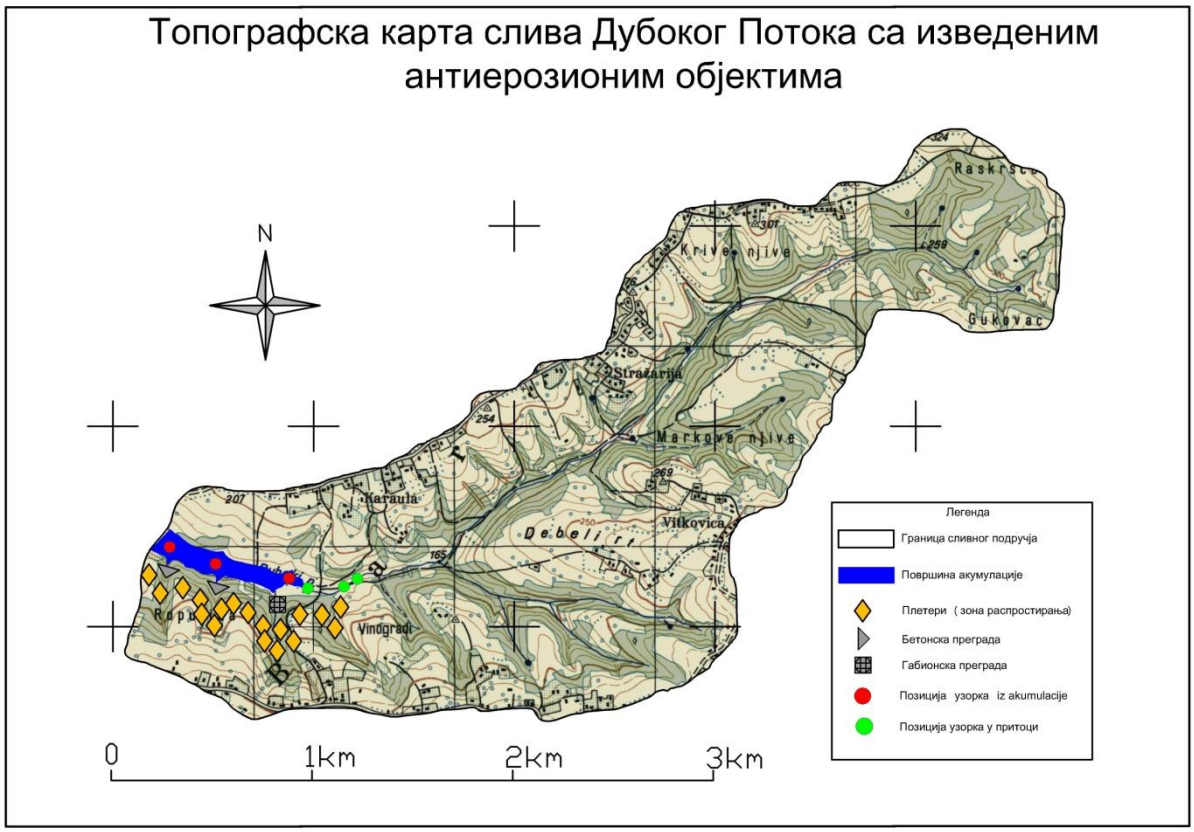
Језеро Дубоки поток (Слика 22) настало је изградњом насуте бране 1991. године на истоименом потоку, у вршном делу слива. Језеро је дугачко око 800 m, широко око 150 m, а водом га снабдева седам притока (потока). Такође, постоје узводно и две мање ретензије које служе као таложнице, за заустављање и таложење муља и наноса из притока. Дубоки поток је лева притока Барајевске реке, која се улива у Бељаницу, и припада сливу Колубаре (Николић, 1986).

Слика 22. Изглед акумулације Дубоки поток, 2016. године (фото: А. Анђелковић)

Дубоки поток улива се у Барајевску реку код места Репушина, на 147 m надморске висине. Извориште је на коти 286 m испод Гуковца, а највиша кота слива је на 346 m. (Слика 23).

Правац пружања слива је североисток – југозапад, док су доминантне експозиције падина северозападне и југоисточне (Водопривреда, 1991).

У бочним притокама подигнуте су преграде за заустављање наноса пре уласка у профил акумулације. Преграде „1" и „2" (Слика 24), десно од профила бране, гледано узводно, изведене су од набијеног бетона, корисне висине 3,5 m, а растојање од обале језера до преграда је 30 и 35 m.



Слика 23. Прегледна карта слива акумулације Дубоки поток, са позицијама узорковања материјала 2017. године (извор: Анђелковић, А.)

Преграде су углавном незапуњене, што значи да су ерозиони процеси на левој долинској страни слабо изражени. Десна долинска страна, гледано узводно, је под аутохтоном вегетацијом цера, граба и букве са појединачним стаблима липе и трешње. Следећа преграда (Слика 24) изведена је од габиона, корисне висине 1,20 m. Заплав је испуњен ерозионим материјалом, на коме се спонтано развијају јове и врбе.

Слика 24. Депонијска преграда (лево) и габионска преграда (десно) у десним притокама акумулације Дубоки поток (фото: Анђелковић, А.; 2016.)

Будући да се на левој долинској страни налазе природне шуме, као мера заштите акумулације од површинског спирања наноса, подигнути су плетери (Слика 25).

Слика 25. Плетери по ободу акумулације за спречавање површинског спирања наноса (фото: Анђелковић, А.; 2016.)

На сливу акумулације Дубоки поток нема индустријских постројења тако да језеро представља драгоцену резерву квалитетне воде, незагађене и погодне за спорт и рекреацију, као и за снабдевање пољопривредних површина и привредних објеката.

Језеро Дубоки поток покрива површину од око 8 хектара, а оивичено је густим шумским појасем, који је испресецан бројним мањим изворима и потоцима. Језеро се редовно порибљава, чисти и одржава, те је постало омиљено одредиште многим риболовцима и излетницима.

Са супротне стране налази се уређена шљунковита плажа, где у летњем периоду освежење у чистој води овог језера потражи и велики број купача (Слика 26). На левој обали језера налази се зграда кајакашког клуба „Барајево”.

Слика 26. Језеро Дубоки поток током летњих месеци (фото: bg.info.org; 2016.)

Осетљивост према ерозији је повећана, на ораничним површинама због обраде земљишта и растреситости површинских слојева.

Подаци о брани (Водопривреда, 1991)**:**

- Максимална грађевинска висина.....15,00 (m)
- Дужина бране у круни .....145,0 (m)
- Ширина бране у круни .....5,0 (m)
- Кота круне бране .....152,0 (m)
- Тип прелива: Кригеров, бочни правоугаони са брзотоком и слапиштем (Слика 27)
- Кота круне прелива .....150,50 (m)
- Кота нормалног успора .....148,80 (m)
- Кота максималног успора .....151,20 (m)
- Запремина акумулације на коти круне бране.... .....460.000 (m^3)
- Запремина акумулације при максималном успору ..... 345.000 (m^3)
- Запремина акумулације на коти нормалног успора .....200.000 (m^3)
- Запремина акумулације на коти круне прелива.....300.000 (m^3)
- Пројектована запремина за пријем поплавног таласа..... 95.000 (m^3)

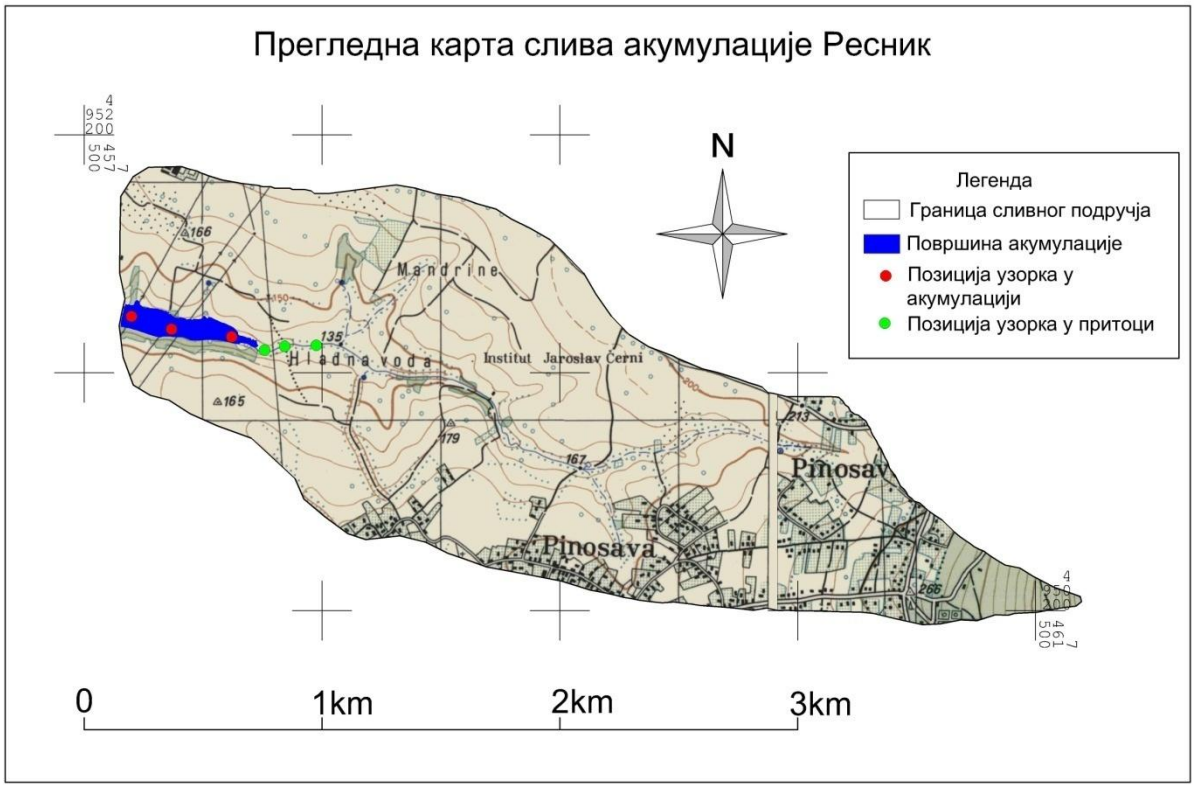
4.2.1. Подаци о сливу акумулације Дубоки поток

- Површина слива до преградног профила акумулације .....6,05 km^2
- Просечне вишегодишње падавине за овај део слива.....$H_g = 719{,}40\ mm/god$ (Водопривреда, 1991).

Слика 27. Изглед прелива, брана Дубоки поток (фото: В. Ђековић; 2015.)

4.3. Општи подаци о сливу и акумулацији Ресник

Брана и акумулација Ресник (Слика 29) налази се у подножју планине Авала, у насељу Ресник. Брана је изграђена 1980. године. Дужина језера износи око 700 m, ширина 120 m, а просечна дубина око 12,5 m. Слив акумулације Ресник има површину до прегрaдног профила од око 4 km^2. (Слика 28)



Слика 28. Прегледна карта сливног подручја акумулације Ресник са позицијама узорковања материјала 2016. године (извор: Анђелковић, А.)

Због честих плављења приобаља низводно од насеља Ресник, подигнута је брана и формирано акумулационо језеро. Ресничко језеро је постало омиљено место излетника и риболоваца, окружено листопадном шумом. На језеру се често одржавају разне спортско рекреативне манифестације.

У приобаљу језера Ресник уочљив је проблем комуналног чврстог отпада. Из насеља на десној долинској страни уливају се отпадне воде у језеро, што негативно утиче на квалитет воде. Планирана је изградња спортско-рекреативног комплекса, али идеја још увек није реализована. Постоји и предлог за изградњу бициклистичке стазе Раковица-

Ресник-Авала, која би ишла обалом Топчидерске реке и пролазила преко слива акумулације Ресник (Урбанистички завод Београда, 2017).

Да би се ово језеро могло користити за спорт, рекреацију и друге сродне намене, неопходна је изградња адекватне саобраћајнице за прилаз језеру, са паркинг простором за већи број возила. У плану је изградња мале марине, али без коришћења моторног погона за пловне објекте (Урбанистички завод Београда, 2017).

Слика 29. Изглед акумулације Ресник, поглед са бране (фото: Анђелковић, 2013).

Језеро је угрожено ерозионим процесима који стварају услове за продукцију наноса и његов даљи транспорт притокама, до зоне таложења у профилу акумулације. Велики део слива налази се под урбанизованим површинама (ниског степена уређења) и ораницама, које утичу на велику продукцију наноса. Само вршни део слива обрастао је шумом која досеже до врха Авале. Деградирана ниска шума налази се и на левој обали дуж саме

акумулације, у појасу од 100 m, и има улогу илофилтера. Остале површине су под засадима винограда или су то закоровљене њиве.

На десној обали акумулације налази се клизиште (Слика 30) и осулина (Слика 31), које дирекно уносе велике количине материјала у профил акумулације. У том делу прекинут је земљани пут који је пролазио обалом акумулације. На телу клизишта постоји самоникла жбуната вегетација у којој доминира багрем, али због честог померања земљишта, примећено је да се у одређеним периодима суши и касније обнавља, што није довољно за заустављање кретања земљаних маса.

Слика 30. Клизиште (фото: Анђелковић, А.; 2013.)

Слика 31. Осулина (фото: Анђелковић, А.; 2013.)

Подаци о брани (Хидропројекат, 1980):

- Максимална грађевинска висина.....15 (m)
- Ширина бране у круни ..... 5,0 (m)
- Највећа ширина бране у ножици (темељу)..... 95,00 (m)
- Дужина бране у круни .....121,0 (m)
- Нагиб узводне косине бране 1:3
- Нагиб низводне косине бране 1:2,75
- Кота круне бране .....130 (m)
- Тип прелива: Бочни прелив са брзотоком и слапиштем (Слика 32)
- Кота круне прелива ..... 128,8 (m)
- Кота минималног радног нивоа.....120,00 (m)
- Запремина акумулације на коти круне прелива .....351.000 (m^3)
- Пројектована запремина за пријем поплавног таласа..... 105.300 (m^3)

4.3.1. Подаци о сливу акумулације Ресник

- Површина слива до преградног профила акумулације .....4,0 km^2
- Просечне вишегодишње падавине.....$H_g = 727{,}10\ mm/god$ (Хидропројекат, 1980):

Слика 32. Изглед прелива акумулације Ресник (фото: Ђековић, В.; 2013.)

4.4. Општи подаци о сливу и акумулацији Љуково

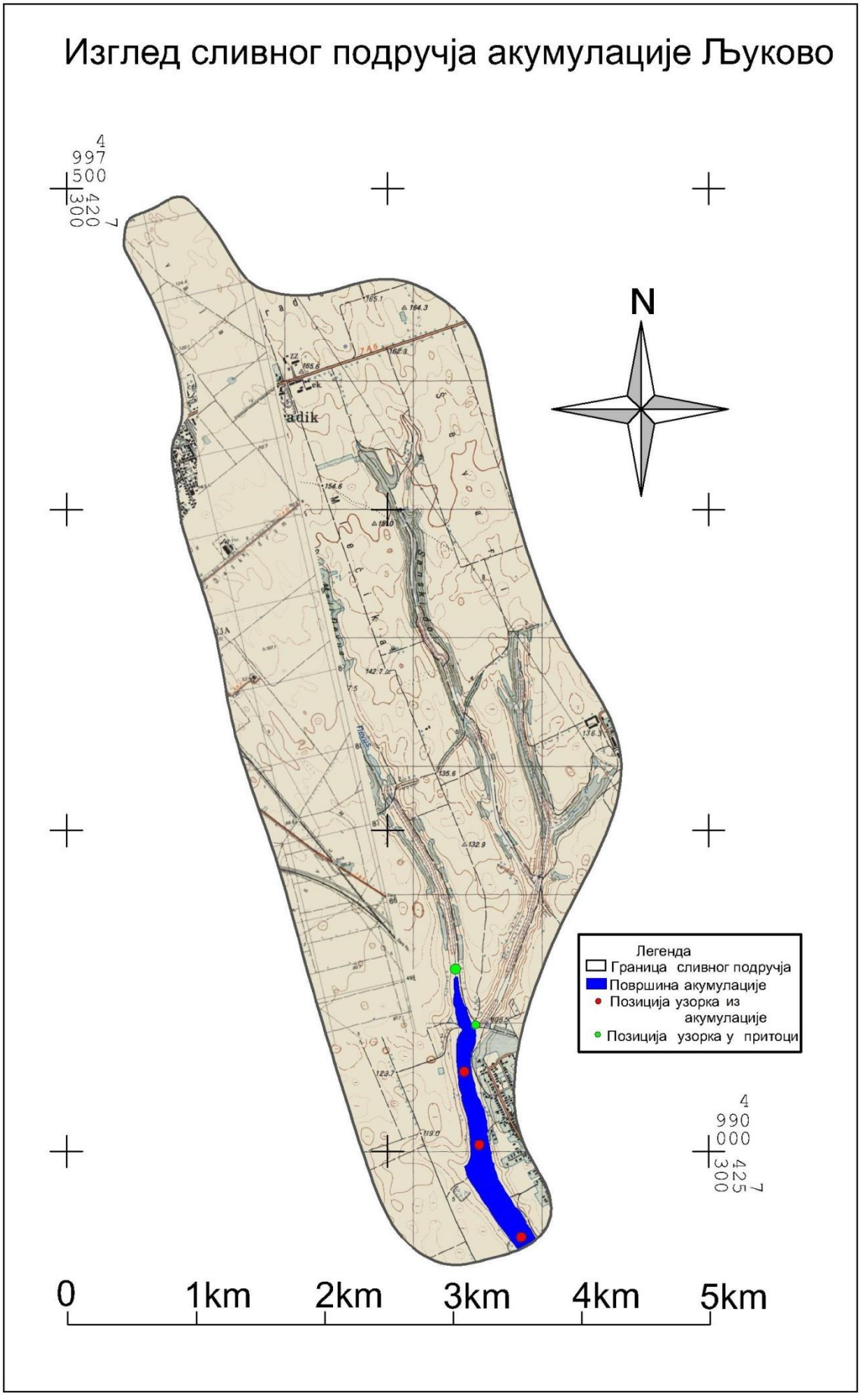
Акумулација Љуково налази се код Инђије, у селу Јарковац, на Јарковачком потоку. Позната је као Јужна акумулација (Слика 33), а изграђена је 1973. године. Брана је земљана, насута. Слив до преградног профила заузима површину од 17,10 km^2.

Акумулација има уједначен биланс дотока и отицања. Од укупне пројектоване запремине акумулације, пројектом је предвиђено да пријем ерозионог материјала са долинских страна и из слива буде W=50.000 m^3, са веком експлоатисања акумулације од 50 година. Косине су урађене са коефицијентом сигурности на клизање n=2.

Брана је фундирана на терену са којег је прво скинут хумусни хоризонт дебљине 0,50–0,90 m и слој барске глине до дебљине од 2,20 m. Узводна косина обложена је бетонским плочама, како би се амортизовао негативан утицај таласа.

Слика 33. Акумулација Љуково (фото: Анђелковић, А.; 2013.)

У телу бране, на низводној косини, уграђена је филтерска дренажа са каменом стопом, а остали део косине је заштићен од процеса површинске ерозије мешавином трава. На брани се налазе водозахват и темељни испуст са цевоводом пречника $\emptyset = 450$ mm, који се може користити за потпуно пражњење акумулације. Брана је обезбеђена и преливом за евакуацију великих вода. Прелив има сабирни канал, прелазне деонице, брзоток, и бучницу за умирење енергије тока. На крају цевовода је црпна станица која служи за потискивање воде до система за заливање, на оближњим обрадивим површинама. Акумулација је делимично пражњена 1992. године. Поред своје основне намене за наводњавање, језеро се користи као рибњак са годишњим уловом рибе, од 3 до 5 тона.


Изглед сливног подручја акумулације Љуково
4 997 500
7 420 300
N
Легенда
Граница сливног подручја
Површина акумулације
Позиција узорка из акумулације
Позиција узорка у притоци
4 990 000
7 425 300
0
1km
2km
3km
4km
5km

Слика 34. Прегледна карта слива акумулације Љуково, са позицијама узетих узорака (извор: Анђелковић, А.)

Слика 35. Изглед прелаза за механизацију са Google Earth-а и фото снимак, 2013. године (извор: Анђелковић, А.)

Слика 36. Локација на којој се налазио прелаз, са Google Earth-а, и фото снимак, 2016. године (извор: Ђековић, В.)

У вршном делу акумулације постојао је цевасти пропуст, преко којег је прелазио пут за кретање тешке пољопривредне механизација. Овај прелаз је срушен 2014. године, а највећи део материјала је завршио у акумулацији (Слика 35 и Слика 36).

Слика 37. Бочни прелив акумулације Љуково (фото: Анђелковић, А.; 2013.)

Подаци о брани (Хидросрем, 1973)**:**

- Максимална грађевинска висина.....7,00 (m)
- Дужина бране у круни .....186,20 (m)
- Ширина бране у круни .....3,0 (m)
- Нагиб узводне косине бране 1:2,25
- Нагиб низводне косине бране 1:1,25
- Запремина тела бране .....32.211 (m^3)
- Кота круне бране .....109,20 (m)
- Тип прелива: Бочни прелив са брзотоком и слапиштем (Слика 37)
- Кота круне прелива ..... 107,60 (m)
- Кота максималног успора .....108,20 (m)
- Запремина акумулације на коти круне прелива .....980.000 (m^3)
- Пројектована запремина за пријем поплавног таласа.....50.000 (m^3)

4.4.1. Подаци о сливу акумулације Љуково

- Површина слива до преградног профила акумулације .....17,10 km^2
- Просечне вишегодишње падавине .....$H_g = 744{,}84\ mm/god$ (Хидросрем, 1973)

4.5. Општи подаци о сливу и акумулацији Сот

Акумулација Сот настала је 1979. године, преграђивањем потока Шидска Шидина (Слика 38). Површина језера је око 33 хектара. Налази се на јужним падинама Фрушке Горе, у природном амбијенту, на простору који је незнатно урбанизован. Брана и акумулација Сот формирани су у близини истоименог села, на територији општине Шид, првенствено ради задржавања поплавног таласа и заштите низводног подручја од поплава и наноса. У летњим месецима, вода из акумулације се користи за наводњавање обрадивих површина и напајање стоке. Акумулација је предвиђена и за узгој риба, спортски риболов, за спортове на води и рекреацију становништва. Брдовите обале језера, које се уздижу и до 200 метара висине, прекривене су ливадама и шумама храста, граба и липе, мешовитим састојинама четинара и лишћара. Језеро и област око њега су под управом предузећа „Национални парк Фрушка гора".

Брана „Шидска Шидина" (у даљем тексту: акумулација Сот) је насута земљана брана, непреливна, са низводном ножицом од камена и дренажним тепихом испод низводног дела косине. За евакуацију великих вода из профила акумулације пројектован је и изведен од бетона, бочни прелив капацитета $Q = 36{,}00 m^3 \cdot s^{-1}$ (Слика 39), са максималном рачунском дубином преливних вода $H_p = 0{,}76\ m$, чему одговара максимална кота успора 142,60 m.

Слика 38. Изглед акумулације Сот (фото: Ђековић, В.; 2014.)

Прелив је изведен са сабирним каналом, брзотоком и бучницом као умиривачем енергије преливних вода. За пражњење акумулације је изграђен темељни испуст са изливном грађевином у виду подводног армирано бетонског шахта, са челичним цевоводом који има дворедно везане затвараче на низводном крају. Темељни испуст има засебно слапиште, а вода се после слапишта спаја са преливним водама брзотока и упушта у природно корито.

Брана има нагиб низводне косине 1:2,50 и узводне 1:2,25. Ширина круне бране је 3 m, а највећа висина 11,60 m. Највећа ширина темељне стопе износи 54,60 m. На низводној косини се налази банкина за спречавање сливања падавинских вода низ косину бране и заштиту од површинских ерозионих процеса. Ширина банкине је 1,0 m, а налази се на коти 138,60 m. Тело бране је формирано машинским насипањем.

Слика 39. Бочни прелив на брани Сот (фото: Анђелковић, А.; 2014.)

Узводна косина бране обложена је бетонским плочама на тампону (контра филтеру), од природне мешавине шљунка и песка дебљине 20 cm ,у циљу заштите од таласа.

Вода која се процеђује кроз тело и, делимично, кроз темељ бране, захвата се дренажним тепихом и ножицом низводне косине. Дренажним каналом се контролисано одводи у низводно корито. Акумулацију снабдева водом поток Шидина и мања десна притока.

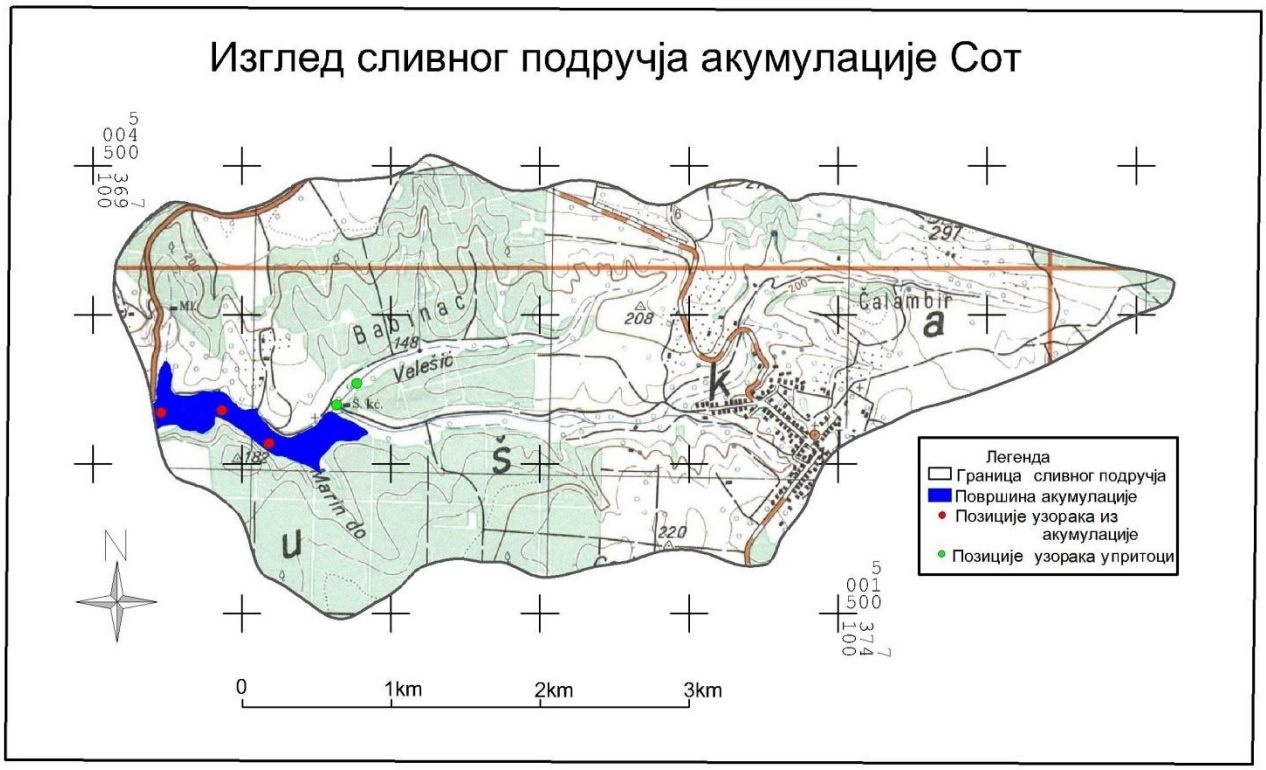
Бочни прелив је изведен у левом боку акумулације, на коти 141,84 m, док је излазна кота темељног испуста на 134,00 m. Изградња бране је започета и завршена 1979. године. У наставку су дате карактеристике бране Сот.

Подаци о брани (Колаковић et al., 2013):

- Максимална грађевинска висина.....11,60 (m)
- Дужина бране у круни .....185,0 (m)
- Ширина бране у круни .....3,0 (m)
- Највећа ширина бране у ножици (темељу)..... 54,60 (m)
- Нагиб узводне косине бране 1:2,25
- Нагиб низводне косине бране 1:2,50
- Запремина тела бране .....50.333 (m^3)
- Кота круне бране .....143,60 (m)
- Кота круне прелива ..... 141,84 (m)
- Кота максималног успора .....142,60 (m)
- Запремина акумулације на коти круне прелива .....880.000 (m^3)

- Запремина акумулације при максималном успору .....1.072.000 (m^3)
- Пројектована запремина за пријем поплавног таласа..... 125.000 (m^3)

4.5.1. Подаци о сливу акумулације Сот



Слика 40. Прегледна карта слива акумулације Сот (извор: А. Анђелковић)

- Површина слива до преградног профила акумулације .....13,60 km^2 (Слика 40)
- Просечне вишегодишње падавине .....$H_g = 759mm/god$ (Колаковић et al., 2013).

4.6. Продукција ерозионог материјала на сливовима

На основу обраде топографских подлога су детерминисане основне физичко-географске карактеристике сливова акумулација Дубоки поток, Ресник, Љуково и Сот (Табела 1.). Коришћене су топографске карте, у размери 1:25.000, које су дигитализоване применом софтвера „GlobalMaper", „AutoCAD Map 2017", „Survey".

Табела 1. Основни физичко-географски параметри истраживаних сливова (извор: оригинал)

Назив слива	Површина слива (km^2)	Обим слива (km)	Кота врха слива (m)	Кота излазног профила (m)	Дужина главног водотока (km)	Средњи пад слива ‰	Апс. пад тока %	Средња висинска разлика (m)	Средња надморска висина (m)	Средња годишња количина падавина *(mm)*
	F	O	N_v	N_u	L	J_{sr}	$J_{ap.to}$	D	N_{sr}	H_{god}
Дубоки поток	6,05	13,06	340,5	150,50	5,18	120,74	36,69	86,28	236,78	719,40
Ресник	4,00	9,870	435,5	128,80	4,60	71,78	66,70	61,68	190,48	727,10
Љуково	17,11	20,58	170,5	107,6	8,84	29,16	7,11	22,70	130,30	744,84
Сот	13,60	17,82	290,5	141,84	7,56	84,52	19,66	57,31	199,15	759,00

У Табели 2 приказана је пондерисана вредност коефицијента ерозије Z (Гавриловић, 1972), док су вредности осталих параметара приказане у табелама 3, 4, 5, 6 и 7.

Табела 2. Годишња продукција наноса у сливовима (извор: оригинал)

Назив слива	Реципрочна вредност коефицијента отпора	Изражени процеси ерозије у сливном подручју	Коефицијент уређења слива	Средња годишња температура ваздуха (^{0}C)	Температурни коефицијент слива (^{0}C)	Средња вредност коефицијента ерозије	Количина продукције наноса из слива *(m^3/god)*	Коефицијент ретенције наноса у сливу
	Y	φ	$X{\cdot}a$	t_0	T	Z	G_{god}	R_u
Дубоки поток	0,516	0,10	0,39569	11,87	1,134	0,196	1344,78	0,00657
Ресник	0,580	0,40	0,6543	12,50	1,162	0,253	1350,42	0,00500
Љуково	0,431	0,15	0,6984	11,80	1,131	0,112	1696,41	0,00270
Сот	0,485	0,15	0,611	10,65	1,079	0,137	1773,42	0,00410

Табела 3. Укупан коефицијент отпора земљишта

Слив	Структура површина	Површина	Заступље–ност у односу на укупну површину	Вреднос коефи–цијента	Вредност коефицијента отпора	Реципрочна вредност
		km^2	%	Y	„Y“	$1/_{„Y“}$
Дубоки поток	Фације корита: шљунак, песак и суглине	0,03	0,50	2,00	0,010	0,5165
	Делувијално-пролувијални седименти	0,68	11,24	1,60	0,182	
	Флиш: пешчари, алевролити, глинци и лапорци	5,10	84,30	1,20	1,0116	
	Кречњаци, ређе лапоровити пешчари и песак	0,24	3,97	1,10	0,0433	
Типови земљишта и њихов утицај на коефицијент отпора (Y)					**1,2469**	
Дубоки поток	Параподзоласто лесивирано земљиште	0,27	4,46	1,00	0,0446	
	Алувијално делувијално иловасто земљиште	0,12	0,20	1,60	0,0032	
	Гајњача иловасто-глинцовита на терцијарним седиментима	2,23	36,86	0,80	0,2948	
	Иловасто-глинцовита у лесивирању	2,94	48,59	0,60	0,2915	
	Гајњача иловасто-глинцовита еродирана	0,31	5,12	0,80	0,0409	
	Скелетно земљиште на серпентину	0,18	2,97	0,50	0,0148	
Укупно коефицијент отпора за слив акумулације Дубоки поток:					**0,689**	**0,5165**
Ресник	Флиш: пешчари и глинци, ређе лапорци и кречњаци	0,17	4,25	1,10	0,04675	0,580
	Кречњаци, глине и песковите глине (сармат)	1,29	32,25	1,10	0,3547	
	Сивоплавичаста, лапоровите и гвожђевите глине	1,88	47,00	0,60	0,282	
	Алевролит и лапорци	0,66	16,50	1,10	0,1815	
Типови земљишта и њихов утицај на коефицијент отпора (Y)					**0,865**	
Ресник	Делувијум	0,41	10,25	1,20	0,123	
	Еродирана земљишта на разним супстратима	0,23	5,75	1,10	0,0632	
	Гајњача	3,36	84,00	0,80	0,672	
Укупно коефицијент отпора за слив акумулације Ресник:					**0,858**	**0,580**
Геолошка подлога и коефицијент отпора Љуково (Y)						
Љуково	Песковито глиновити алевролити, песковити алевролити, алевролитски пескови	9,87	57,68	1,6	0,923	0,431
	Алевролитски пескови, велтилиране погребене земље	5,51	32,15	1,0	0,3215	
	Пескови и алевролитски пескови	1,74	10,17	1,1	0,112	
Типови земљишта и њихов утицај на коефицијент отпора (Y)					**1,3565**	
	Карбонатни чернозем на лесном платоу	15,06	88,02	0,50	0,4401	

Љуково	Алувијално делувијална земљишта (карбонатна и бикарбонатна)	2,05	11,98	0,60	0,512	0,431
Укупно коефицијент отпора за слив акумулације Љуково:					**0,9521**	**0,431**
Сот	Лес- пескови и песковити алевролити	10,52	77,35	1,6	1,237	0,4858
	Песак- шљунак и алевролитске песковите глине	1,25	9,20	2,0	0,184	
	Пескови и глиновити пескови	1,43	10,51	1,20	0,126	
	Преталожени лес, мрки алевролити	0,21	1,54	1,1	0,0169	
	Кварц серицитски шкриљци	0,13	0,96	1,2	0,0115	
	Измењени серпентинити	0,06	0,44	1,0	0,0044	
Типови земљишта и њихов утицај на коефицијент отпора (Y)						
Сот	Гајњаче	7,14	52,50	0,80	0,420	
	Лесивиране гајњаче	4,46	32,80	0,70	0,229	
	Алувијално-делувијално земљиште карбонатног и бикарбонатног састава	2,00	14,70	0,60	0,088	
Укупно коефицијент отпора за слив акумулације Сот:					**2,0168**	**0,4858**

- X · a – претставља коефицијент уређења слива или ерозионог подручја и односи се на заштићенст земљишта од утицаја атмосферилија и сила ерозије природним условима, вегетацијом и сл. (Гавриловић 1972).
- φ – бројни еквивалент видљивих и јасно изражених процеса ерозије у сливном подручју.

Табела 4. Коефицијент уређења слива Дубоки поток (извор: оригинал)

Структура површина	Површина у км^2	Процентуално учешће (%)	Коефицијент X	Коефицијент a	Укупно X · a
Микроакумулација	0,065	1,09	0,00	0,00	0,00
Насеља	0,899	14,86	0,05	0,05	0,03715
Воћњаци	0,114	1,88	0,70	1,00	0,08316
Ливаде и пашњаци	1,084	17,92	0,40	1,00	0,07168
Оранице са орањем уз и низ нагиб	1,219	20,15	0,90	1,00	0,18135
Шума и шикара доброг обраста	2,669	44,10	0,05	1,00	0,02205
Укупно	6,05	100			**0,39569**

Табела 5. Коефицијент уређења слива акумулације Ресник (извор: оригинал)

Структура површина	Површина у км^2	Процентуално учешће (%)	Коефицијент X	Коефицијент a	Укупно X · a
Микроакумулација и забарене површине	0,047	1,175	0,00	0,00	0,000000
Насеља	0,885	22,125	0,95	0,95	0,199680
Воћњаци и виногради	0,047	1,175	0,70	1,00	0,008225
Ливаде и пашњаци	1,100	27,500	0,40	1,00	0,110000
Оранице са орањем уз и низ нагиб	1,470	36,750	0,90	1,00	0,330750
Шума и шикара доброг обраста	0,451	11,275	0,05	1,00	0,005640
Укупно	4,00	100			**0,6543**

Табела 6. Коефицијент уређења слива акумулације Љуково (извор: оригинал)

Структура површина	Површина у км^2	Процентуално учешће (%)	Коефицијент X	Коефицијент a	Укупно X · a
Микроакумулација и забарене површине	0,400	2,33	0,00	0,00	0,00
Насеља	1,345	7,87	0,05	0,05	0,000197
Воћњаци и виногради			0,70	1,00	
Ливаде и пашњаци			0,40	1,00	
Оранице са орањем уз и низ нагиб	13,153	76,87	0,90	1,00	0,69183
Деградиране шума и шикаре	2,212	12,93	0,05	1,00	0,006465
Укупно	17,11	100			**0,6984**

Табела 7. Коефицијент уређења слива акумулације Сот (извор: оригинал)

Структура површина	Површина у км^2	Процентуално учешће (%)	Коефицијент X	Коефицијент a	Укупно X · a
Микроакумулација и забарене површине	0,214	1,57	0,00	0,00	0,000
Насеља	0,412	3,029	0,05	0,05	0,000075
Воћњаци и виногради	0,089	0,654	0,70	1,00	0,004578
Ливаде и пашњаци	0,387	2,840	0,40	1,00	0,01136
Оранице са орањем уз и низ нагиб	5,070	37,29	0,90	1,00	0,5677
Шума и шикаре доброг обраста	7,428	54,617	0,05	1,00	0,0273
Укупно	13,60	100			**0,611**

4.7. Акумулација Дубоки поток

4.7.1. Рекогносцирање слива и идентификација хидролошких, геолошких, геоморфолошких и морфолошких параметара

Слив Дубоког потока има издужен облик са генералним правцем пружања запад – исток. Надморска висина слива креће се од 151 m на круни бране до 346 m у вршним деловима слива. Сеоска насеља распоређена су по ободу слива и представљају изворишта отпадних вода. У овим насељима отпадне воде се одлажу у процедне септичке јаме, из којих се изливају и загађују подземне воде и површинске токове (Andjelkovic et al., 2017). У периоду интензивних падавина, када су површински слојеви земљишта засићени влагом, изливање отпадних садржаја из септичких јама повећава опасност за настанак клизишта. Клизишта представљају додатни извор ерозионог материјала који доспева до профила акумулације.

Табела 8. Заступљеност геолошких творевина у сливу акумулације Дубоки поток (Слика 41) (извор: ГеолИСС, Л34-125 Обреновац)

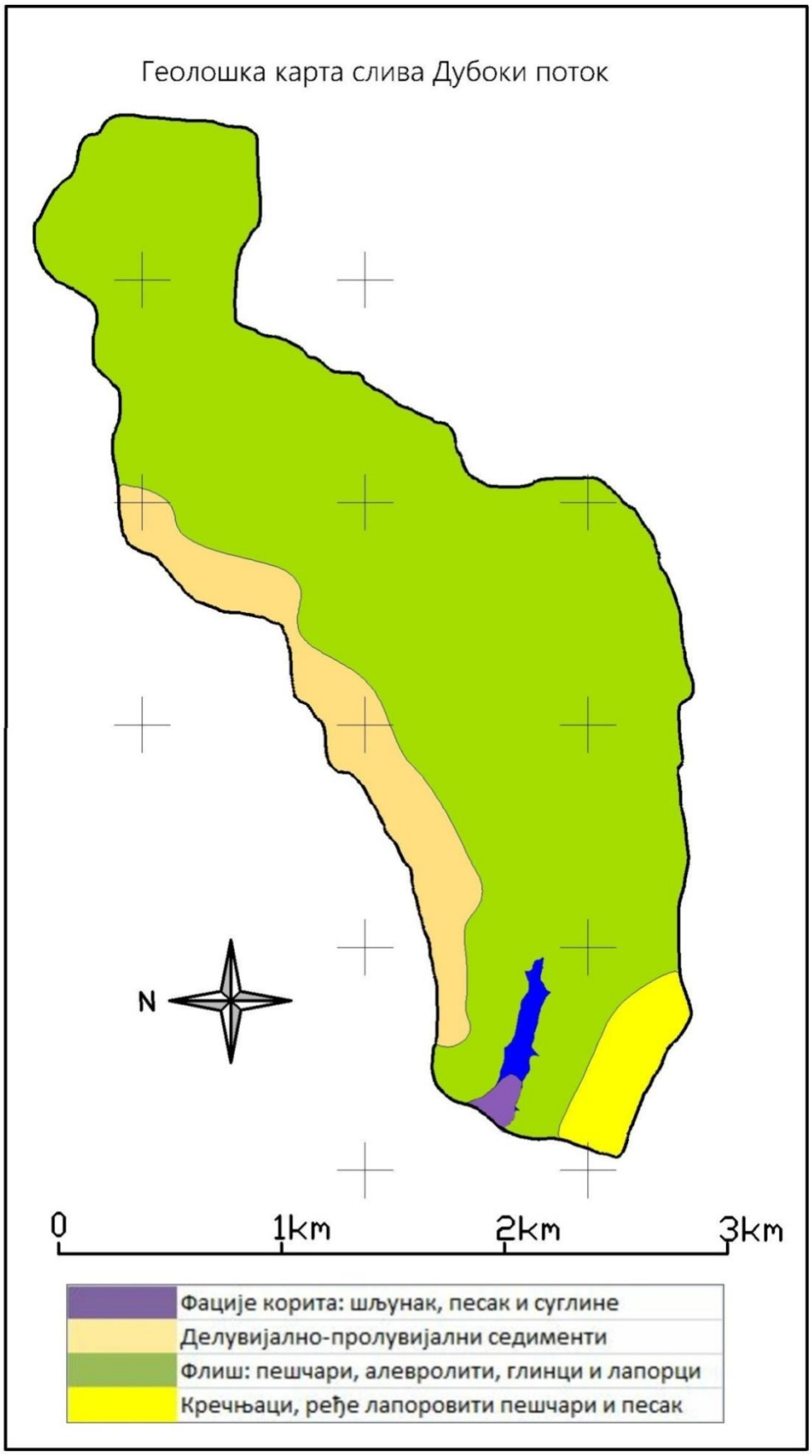
Геолошка структура слива	km^2	(%)
Фације корита: шљунак, песак и суглине	0,03	0,50
Делувијално-пролувијални седименти	0,68	11,24
Флиш: пешчари, алевролити, глинци и лапорци	5,10	84,30
Кречњаци, ређе лапоровити пешчари и песак	0,24	3,97
Укупно	6,05	100,00

У Табели 8 приказана је заступљеност одређених геолошких структура у сливу до прегрaдног профила бране. Распрострањеност ових типова геолошких творевина приказана је на карти (Слика 41).

Табела 9. Заступљеност земљишних творевина у сливу акумулације Дубоки поток (Слика 43) (извор: оригинал).

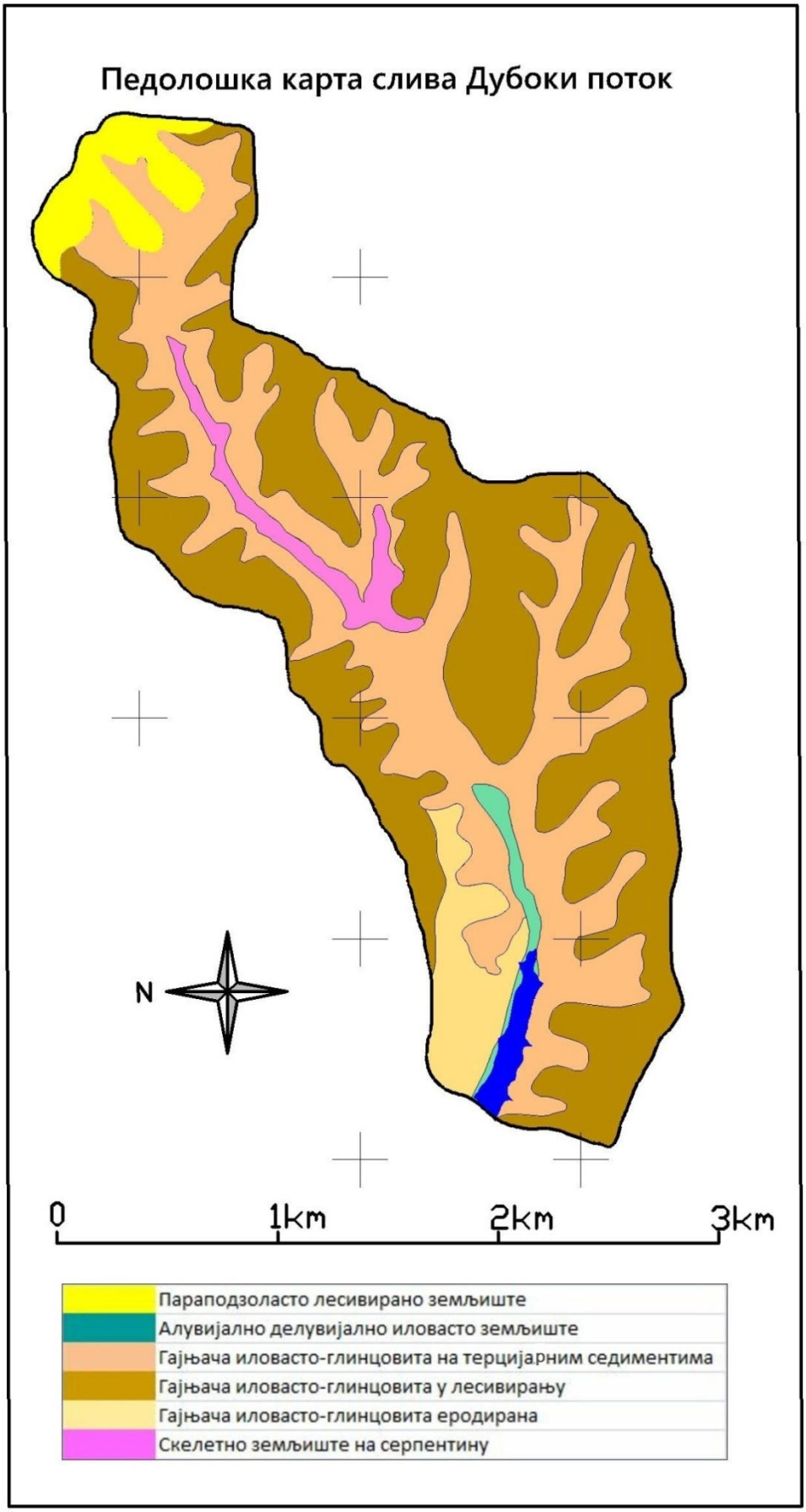
Педолошка структура слива	km^2	(%)
Параподзоласто лесивирано земљиште	0,27	4,46
Алувијално делувијално иловасто земљиште	0,12	0,20
Гајњача иловасто-глинцовита на терцијарним седиментима	2,23	36,86
Гајњача иловасто-глинцовита у лесивирању	2,94	48,59
Гајњача иловасто-глинцовита еродирана	0,31	5,12
Скелетно земљиште на серпентину	0,18	2,97
Укупно	6,05	100,00

У Табели 9 приказана је процентуална заступљеност типова земљишта у сливном подручју до прегрaдног профила бране. Распрострањеност ових типова земљишта приказана је на педолошкој карти слива акумулације Дубоки поток (Слика 42).



Слика 41. Геолошка карта слива акумулације Дубоки поток

(извор: ГеолИСС, Л34-125 Обреновац**).**



Слика 42. Педолошка карта слива Дубоки поток (извор: Škorić et al., 1985**)**

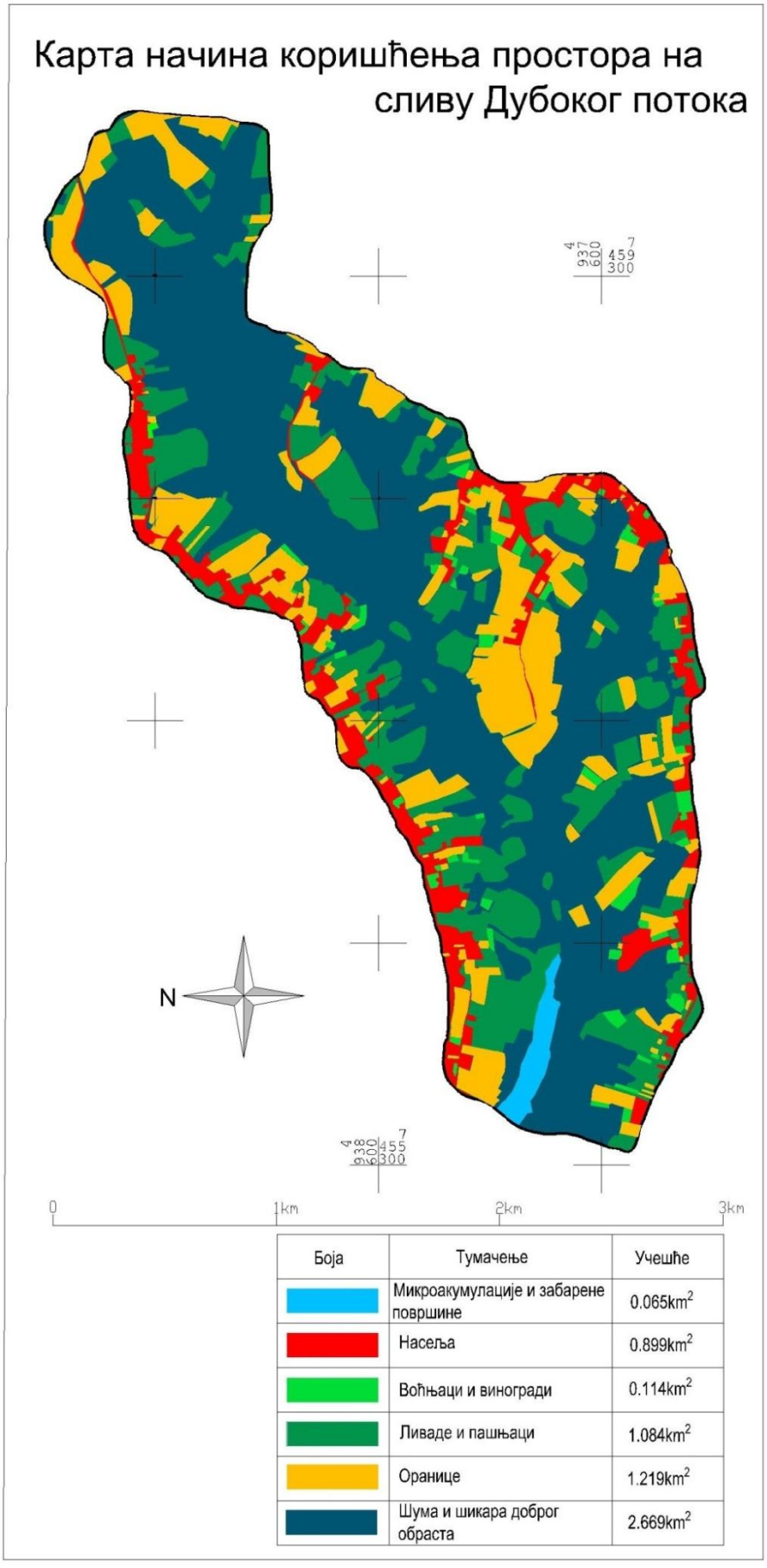
4.7.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења

Пројектном документацијом бране и акумулације Дубоки поток (из 1991. године) дефинисана је запремина иницијалне фазе акумулације, пре пуњења. Мерење количине исталоженог наноса у акумулацијама обављено је у периоду од 2013. до 2015. године.

Слика 43. Предеони елементи слива акумулације Дубоки поток (фото: А. Анђелковић)

На Слици 43 приказане су парцеле у непосредној близини акумулације Дубоки поток, које могу бити извор ерозионог материјала, услед примене неодговарајућих техника обраде и коришћења земљишта.

Карта начина коришћења простора, односно структуре површина на сливу, израђена је на основу ортофото снимака (Слика 44), за сливно подручје до профила бране.



Слика 44. Карта коришћења простора на сливу акумулације Дубоки поток (извор: Анђелковић, 2017).

4.7.3. Анализа хидролошко-хидрауличких параметара

У табелама 10 и 11 представљени су основни идентификациони подаци о репрезентативним кишомерним станицама и забележеним дневним вредностима падавина, у мају 2014. године. Током маја 2014. године (13. и 14. маја) пало је више од 200 mm падавина, што је изазвало појаву разорних бујичних поплава. Слабљење и престанак падавина започели су током 16. маја (Zarić, 2014; Frantar et al. 2015).

Формиран поплавни талас покретао је и носио велике количине ерозионог материјала (Đeković et al., 2015), који је исталожен у профилу акумулације Дубоки поток.

У једној од главних притока језера Дубоки поток забележени су трагови великих (Слика 45).

Слика 45. Изглед протицајног профила са максималним нивоом воде и после проласка поплавног таласа (фото: А. Анђелковић)

Изворишни део слива Дубоког потока има релативно малу површину, у односу на укупну површину слива, односно, 1,62 km^2. Слив је у доњем делу, ближе језеру, делимично обрастао шумом доброг склопа и покровности, са развијеним земљишним творевинама, добре структуре. Под шумом се налази укупно 43,10% од укупне површине слива. Под утринама, напуштеним њивама (и делом њивама које се још увек активно користе), виноградима и окућницама, се налази око 56,9% површине слива.

Анализом хидрауличких трагова великих вода утврђено је да је дубина воде на појединим профилима била већа од 2 m, а ширина протицајног профила преко 4,5 m. Током трајања поплавног таласа бележени су трагови велике воде, а обављено је мерење површинске брзине тока, помоћу пловка. После проласка поплавног таласа извршена су

накнадна геодетска снимања протицајних профила, у циљу детерминисања геометријских и хидрауличких параметара тока, и каснијег одређивања укупног протицаја воде (Đeković et al., 2015).

За истраживање услова појаве флувијалних ерозионих процеса, током трајања максималног протицаја, узети су узорци наноса из дна и обала протицајног профила, ради утврђивања гранулометријских карактеристика.

За прорачун максималног протицаја коришћене су максималне дневне кише вероватноће појаве Hg(p), одређене на основу теоријске расподеле вероватноћа Log Pearson Type III (Табела 12). У Табелама 10 и 11 приказан је преглед разматраних падавинских станица са бројем осмотрених максималних падавина које су коришћене за одређивање вероватноће појаве екстремних падавина (Табела 12).

Табела 10. Основни идентификациони параметри кишомерних станица у околини Београда (извор: оригинал)

N^0	Метеоролошка станица	Географске координате мерних станица		Надморска висина	Број обрађених података	Година почетка мерења
		Ширина	Дужина			
1	Авала – Шумска управа	44,42	20,31	290	42	1953
2	Барајево	44,36	20,27	270	32	1963
3	Врчин	44,39	20,25	250	38	1958
4	Јајинци	44,44	20,29	175	43	1952
5	Раља	44,34	20,34	230	45	1945
6	Вождовац	44,34	20,24	150	36	1954
7	Вранић	44,36	20,22	230	35	1955

Табела 11. Подаци о падавинама у непосредној близини слива Дубоки поток (извор: РХМЗ РС)

N^0	Подручје ГМЦ	Назив станице	Подаци о падавинама у току 3 дана (*mm*)			
			14.5.2014.	15.5.2014.	16.5.2014.	Укупно за 3 дана
1	Београд	Пиносава	16,20	129,00	72,20	217,20
2	Београд	Макиш	31,10	100,80	46,20	178,10
3	Београд	Јајинци	21,20	148,20	48,20	217,60
4	Београд	Церак	25,20	104,00	47,20	176,40
5	Ваљево	Степојевац	23,60	185,10	84,80	293,50
6	Ваљево	Уб	61,20	114,80	51,20	227,20
7	Ваљево	Љиг	31,00	125,00	73,50	229,50

Параметри теоријске расподеле кише јаког интензитета, пре максималних падавина у мају 2014. године, као и резултати прорачуна приказани су у Табели 12. Критични тангенцијални напони и максимални тангенцијални напон по дну корита дати су у Табели 13.

Табела 12. Рачунске кише за прорачун великих вода за анализирани профил водотока (извор: оригинал)

МЕРОДАВНЕ РАЧУНСКЕ КИШЕ ЗА ПРОРАЧУН ВЕЛИКИХ ВОДА			
N^0	Вероватноћа %	Повратни период	H_g (p) (*mm*)
1	0,01	10.000	194,00
2	0,10	1.000	137,00
3	1	100	93,80
4	2	50	82,00

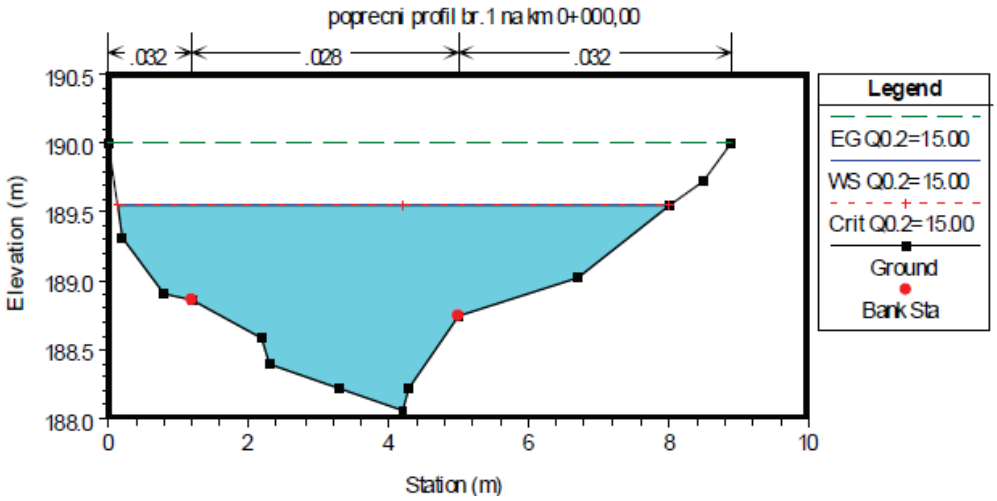
Траг велике воде послужио је само да би се извршило калибрисање пропусне способности корита, а не у сврху осредњавања хидрауличких и морфолошких параметара протицајних профила на деоници водотока. С обзиром на то да су отпори корита и геометрија протицајног профила променљиви, као и пад дна корита, најподеснији прорачуни за ову сврху су на основу диференцијалних једначина неједноликог течења.

Табела 13. Површинска брзина тока и тангенцијални напони по дну корита (извор: оригинал)

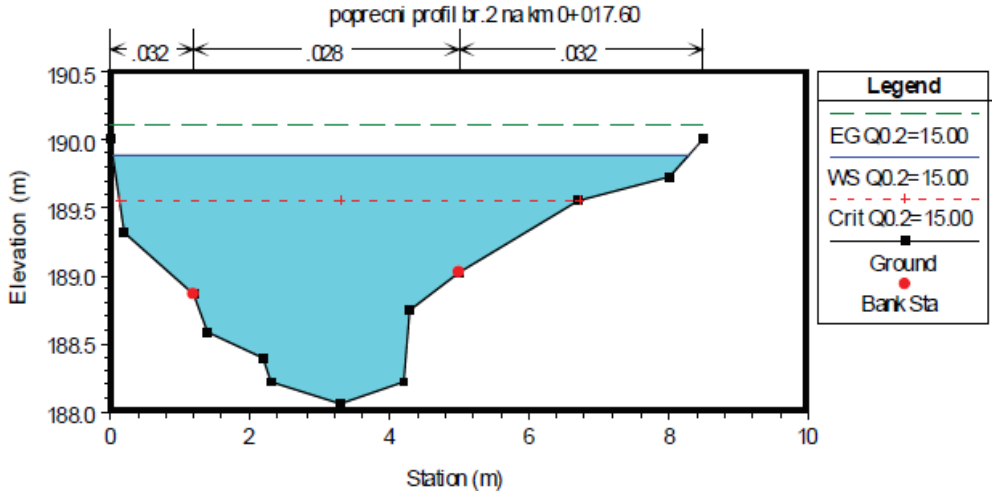
Профил	Стационажа	Максимална дубина тока *h*	Средња површинска брзина тока $V_{sr.pov}$	Средњи пречник наноса $d_{50\%}$	Тангенцијални напони	
					Критични τ_{cr}	Стварни τ_{max}
N^0	*km*	*m*	$m^1.s^{-1}$	*mm*	kN/m^2	kN/m^2
1	0+000	1,50	4,90	1,20	0,00077	0,600
2	0+017,60	1,84	4,55	/	/	0,557
3	0+036,60	1,49	5,00	20	0,0129	0,613

У Табели 14. приказани су резултати морфолошко-хидрауличке анализе главне притоке са прорачуном критичних тангенцијалних напона за средњи пречник зрна наноса $d_{50\%}$ са криве гранулометријског састава. Може се констатовати да, при максимално

забележеном протицају од $Q=15,00\ m^3.s^{-1}$ у свим профилима, тангенцијални напони су редовно већи од критичних напона, тако да речно корито није отпорно на флувијалне ерозионе процесе, а то је констатовано и снимањем конфигурације дна акумулације. У таласу великих вода од 14. до 16. маја 2014. године, унета је велика количина наноса у акумулацију.



Слика 46. Попречни профил бр. 1 са нивоом воде (HEC-RAS).



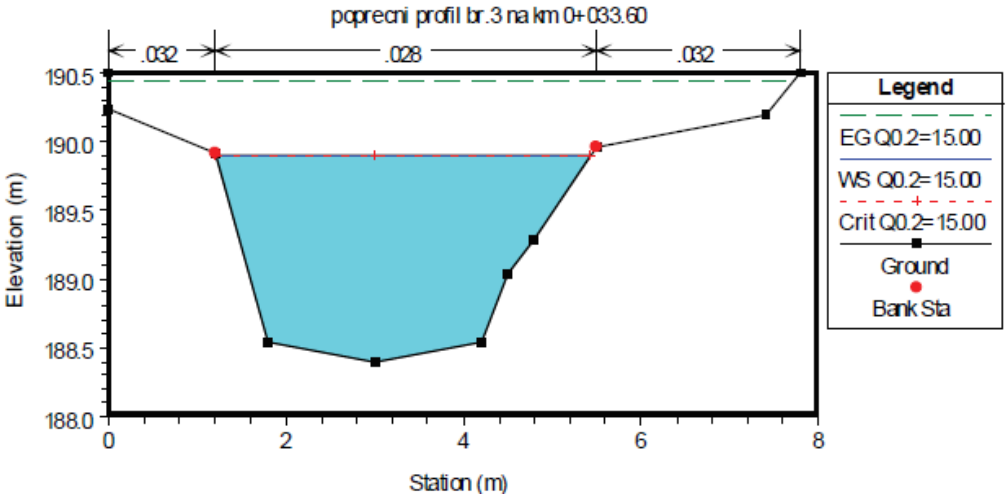
Слика 47. Попречни профил бр. 2 са нивоом воде (HEC-RAS).

Дуж тока се јављају преломи у паду нивелете дна. Средњи пад тока I_t=5,6% измерен је на делу корита главне притоке од ушћа у акумулацију до извора. Пад тока на анализираном подужном профилу од попречног профила 1 до профила 3 је I_0=1,04%. Прорачуни су изведени на основу диференцијалне једначине неједноликог течења:

$$\Delta Z = \frac{Q^2}{K} \cdot \Delta L + \frac{(V_u^2 - V_n^2)}{2g}, \qquad [9]$$

где су:

- ΔZ –денивелација нивоа воде на укупној деоници водотока од профила до профила;
- K – средња вредност модула протицаја;
- V_u^2 – долазна брзина воде на улазни профил деонице и
- V_n^2 – брзина протицаја воде узводно и низводно (у односу на профиле) на посматраној деоници.



Слика 48. Попречни профил бр. 3 са нивоом воде (HEC-RAS).

Табела 14. Улазни подаци и резултати прорачуна у програму „HEC-RAS", на деоници корита Дубоког потока (извор: оригинал)

Sek-tor deo-ica	Pr-ofil	Proti-caj	Q Total	Min Ch EI	W.S. Elev	Crt.W.S.	E.G.Elev	E.G. Slop	Vel Chnl	Flov Area	Top	Frud
			$m^3 \cdot s^{-1}$	*M*	*m*	*m*	*m*	*m/m*	*m/s*	m^2	*m*	
1	3	Q_{max}	15,00	99,44	100,9	100,94	101,50	0,00711	3,29	4,56	4,18	1,01
1	2	Q_{max}	15,00	99,09	100,6	100,59	101,04	0,00486	3,09	5,42	6,72	0,92
1	1	Q_{max}	15,00	98,71	100,2	100,14	100,63	0,00504	3,20	5,12	5,50	0,94
Површина сliva A=1,62 km^2												

У Табели 14 приказани су резултати прорачуна протицаја великих вода и осталих хидрауличких параметра на истраживаној деоници водотока, при меродавном протицају од Q_{max}=15,0 $m^3 \cdot s^{-1}$. Измерена брзина воде у речном кориту је у границама V=3,09-3,29 $m^1 \cdot s^-$.

Деоница водотока главне притоке, непосредно пре ушћа у акумулацију Дубоки поток, карактерише се уједначеним морфолошким елементима и уједначеним коефицијентом отпора. Коефицијент рапавости је усвојен за главно корито n=0,028, а за инундације n=0,032. Урађено је више варијанти прорачуна са различитим протицајима *(Q1=12,50 $m^3 \cdot s^{-1}$, Q2=13,00 $m^3 \cdot s^{-1}$, Q3=14,20 $m^3 \cdot s^{-1}$* и *Q4=15,00 $m^3 \cdot s^{-1}$*; са протицајем од *Q=15,00 $m^3 \cdot s^{-1}$* добила се кота нивоа воде на профилима, која је регистрована као траг

велике воде у току 15. маја 2014. године, у 12 сати и 44 минута, и приказана је у Табели 14 (Слика 45). На основу трагова великих вода установљено је да је протицај великих вода током мајских поплава износио $Q=15{,}00\ m^3 \cdot s^{-1}$. Режим течења на експерименталној деоници је на граници мирног и силовитог. За хидрауличку анализу коришћена је диференцијална једначина неједноликог течења прилагођена компјутерском програму „HEC-RAS" (Слика 46, 47 и 48). Димензије протицајних (попречних) профила су неуједначене и промењиве, са неуједначеним коефицијентом рапавости дуж тока.

4.7.4. Гранулометријски састав наноса из главне притоке и акумулације

На Слици 49 приказан је дијаграм гранулометријског састава материјала узетог из корита притока. Може се констатовати да је средња крупноћа наноса на 50% учешћа 1,90 до 20 mm. Критична вучна сила тока за покретање и транспорт наноса дуж притока креће се у границама од 0,00077 kN/m^2 до 0,0129 kN/m^2 (добијено преко једначине за критични тангенцијални напон са прилагођеном *Shildsovom константом*).

$$\tau_{cr} = \theta \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_{sr}, \qquad [10]$$

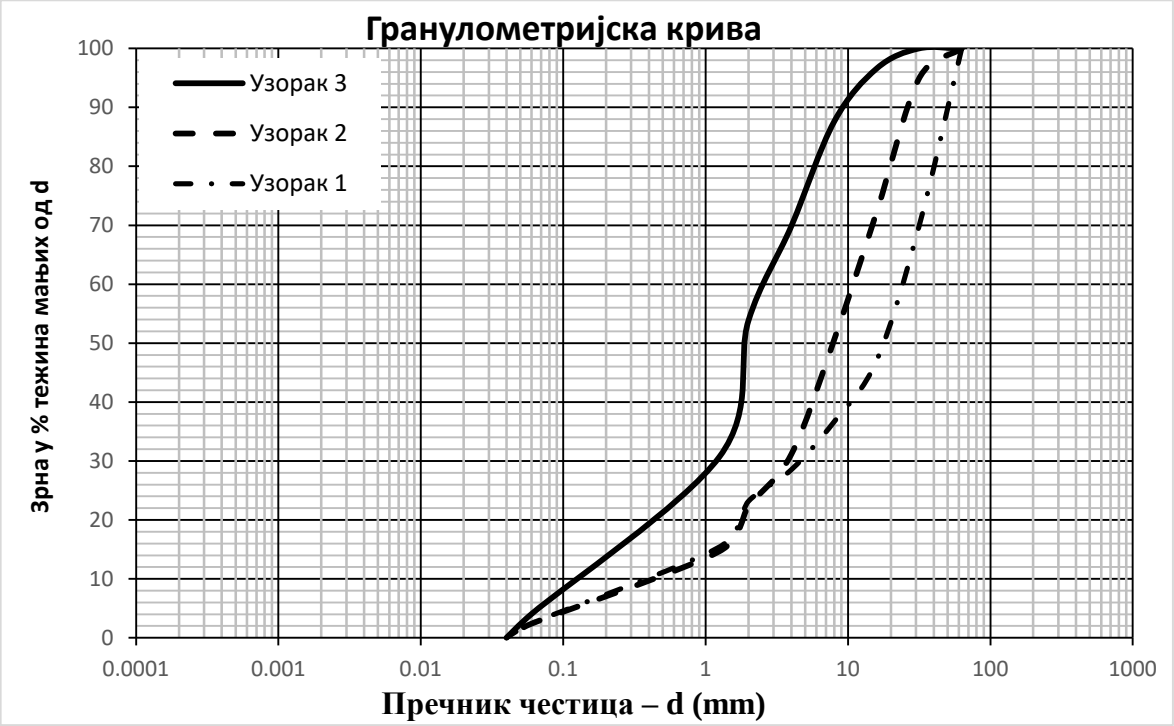
где су: τ_{cr} – критични тангенцијални напон;

θ – Shildsova константа (средња вредност 0,0478);

ρ_s – запреминска маса наноса 2,4 t/m^3;

ρ – запреминска маса воде 1,0 t/m^3;

d_{sr} – средњи пречник наноса у метрима.



Слика 49. Дијаграм гранулометријског састава материјала из корита притоке акумулације Дубоки поток (извор: оригинал)

4.7.5. Карактеристике наноса из акумулације Дубоки поток

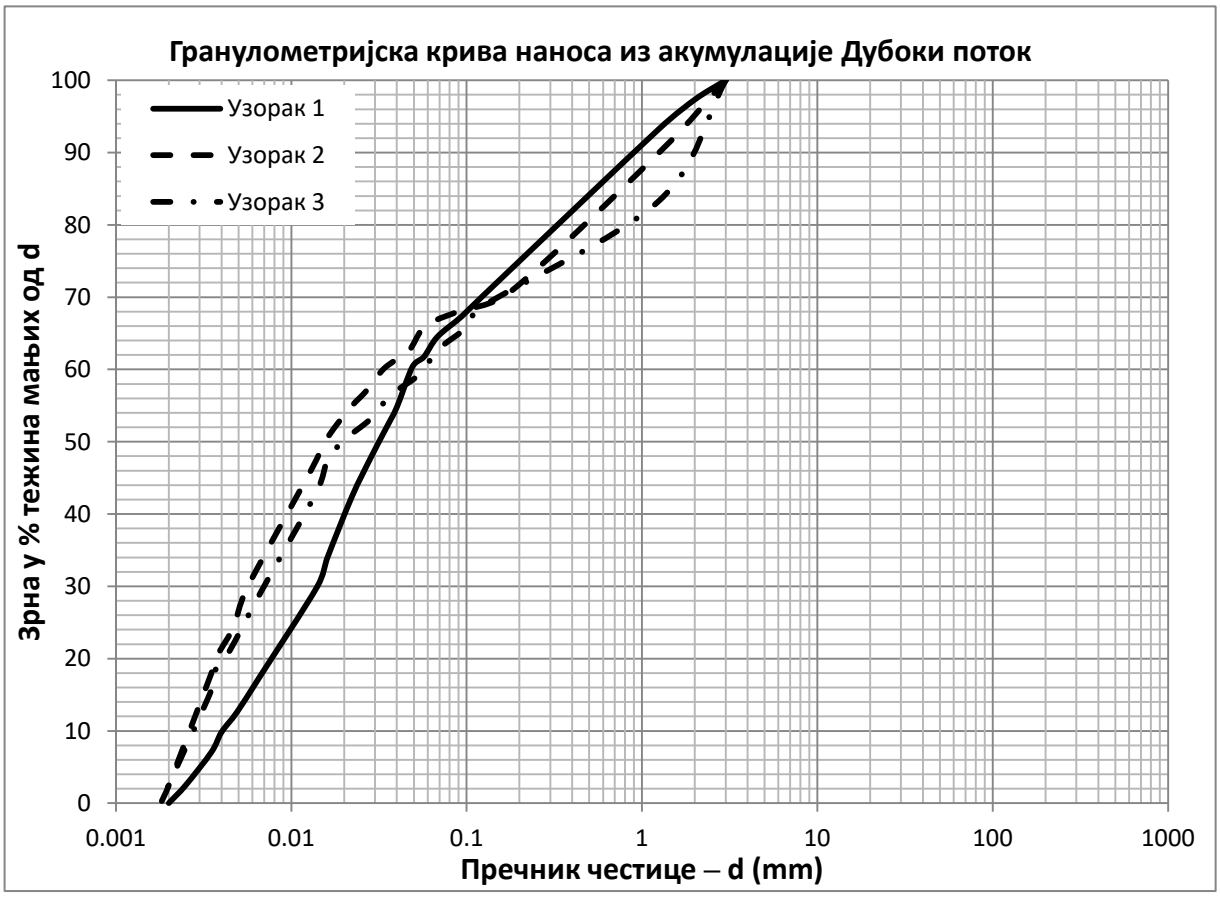
Из профила акумулације узети су узорци исталоженог наноса, и на њима је извршена гранулометријска анализа методом седиментације (Слика 50). Овом методом одређиван је пречник фракција наноса исталожених у профилима акумулације. На већем броју узорака одређен је садржај органске материје (Табела 15). Сврха ових истраживања била је да се одреди главни узрок смањења запремине акумулације у периоду од 1991. до 2015. године.

Повећан интензитет падавина ствара услове за појаву великих вода у притокама и повећан хидраулички транспорт наноса дуж хидрографске мреже све до зоне акумулације. Укупна количина исталоженог наноса у периоду од 2013. до 2015. године, на коти нормалног успора 148,80 m, износи 2.021,94 m^3, од чега је удео органске материје у седименту акумулације 117,08 m^3.

Табела 15. Садржај органске материје у профилима дна акумуалције Дубоки поток (извор: оригинал)

LRB	Координате локација са којих су узети узорци *(Lat/Lon)*	Маса (Gr)			Маса (Gr)		Садржај органске материје у %
		Празне посуде	Посуде и узорка на 105^0C	Посуде и узорка након жарења на 350^0C	Узорка на 105^0C	Узорка после жарења на 350^0C	
1	7455931,37-4937870,30	105,31	119.09	118.52	13,78	13,21	4,136
2	7455821,6-49377903,90	99,19	111.01	110.27	11,82	11,08	6,260
3	7455680,84-4937945,20	113,97	124.33	123.80	10,36	9,83	5,116
4	7455586,41-4937968,10	75,62	86.73	85.98	11,11	10,36	6,751
5	7455598,60-4938001,12	85,12	95.82	95.21	10,70	10,09	5,701
6	7455602,21-4938037,81	100,85	112.06	111.30	11,21	10,45	6,779

Средња вредност садржаја органске материје: 5,7905 %



Слика 50. Дијаграм гранулометријског састава материјала из акумулације Дубоки поток (извор: оригинал)

На основу дијаграма гранулометријског састава исталоженог наноса у акумулацији, констатовано је да се средњи пречник зрна наноса $d_{50\%}$, налази у границама од 0,015 mm до 0,03 mm.

4.7.6. Климатске и метеоролошке карактеристике слива Дубоки поток

У хидролошком смислу слив Дубоког потока припада сливу Барајевске реке.

За потребе анализе метеоролошких података и података о падавинама, за овај слив изабрани су подаци са следећих станица:

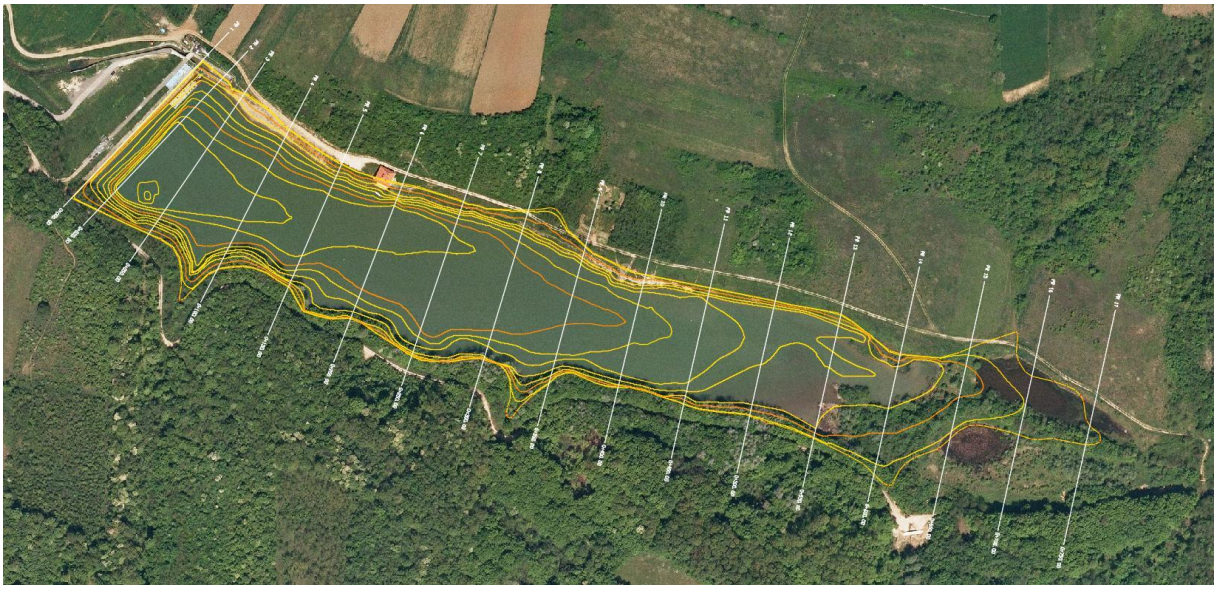
- Авала – Шумска управа,
- Барајево,
- Врчин,
- Јајинци,
- Раља,
- Вождовац,
- Вранић.

За све станице низ осматрања је дужи од 30 година. Максимална једнодневна киша за овај слив (табела 12) износи $H_{1\%}$=93,80 mm.

4.7.7. Морфолошке карактеристике акумулационог басена

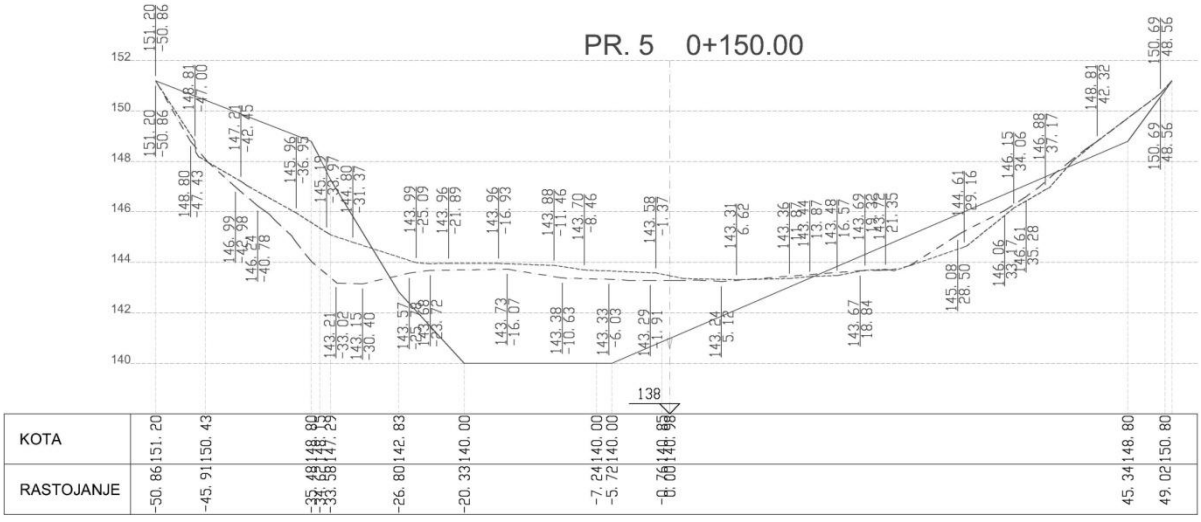
Конфигурација дна акумулације Дубоки поток снимана је инструментом Echo-Sonar „Garmin ECHO-200”, а на основу тих снимања у програму „AutoCAD Map 3D 2017” израђен је модел акумулације (Слика 51).

У Табели 17 приказане су координате профила из којих су узети узорци седимента са дна акумулације, за одређивање гранулометријског састава и садржаја органске материје. На Сликама 52, 53 и 54 приказани су одабрани, карактеристични попречни профили акумулације.

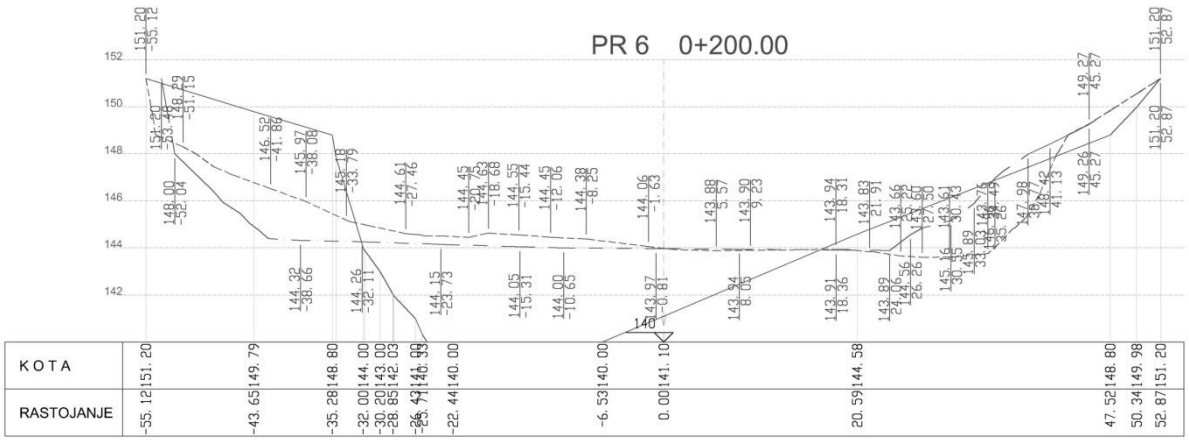


Слика 51. DMT акумулације Дубоки поток са контролним профилима

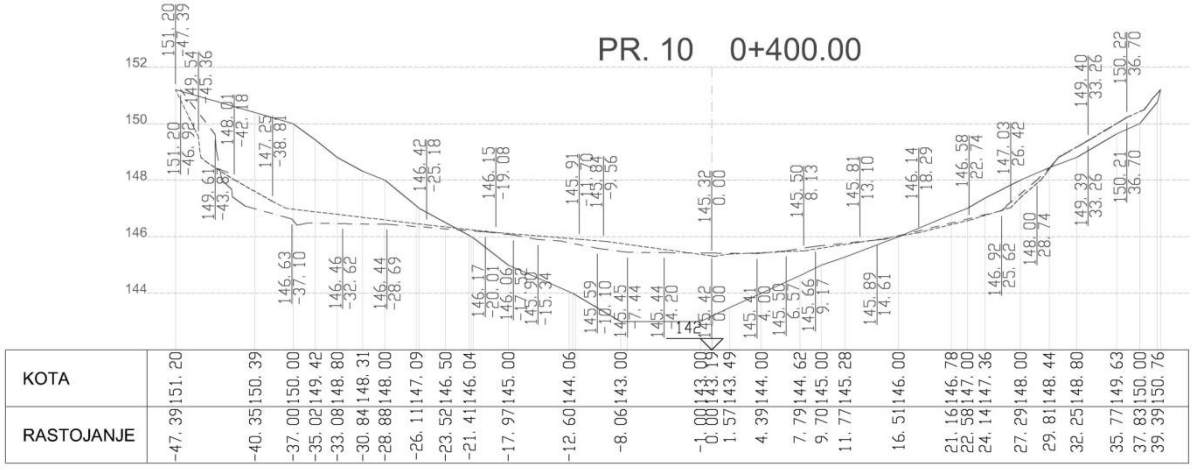
На Слици 55 приказане су криве запремине акумулације Дубоки поток, за 1991., 2013. и 2015. годину. Може се констатовати да је запремина акумулације 1991. године на коти круне прелива (150,50 m) била W_0 =300.000,00 m^3. Током експлоатације дошло је до засипања акумулације ерозионим материјалом, тако да се 2013. године запремина смањила на W_1 =270.276,43 m^3, а 2015. године запремина акумулације на коти круне прелива била је W_2 =267.574,29 m^3.



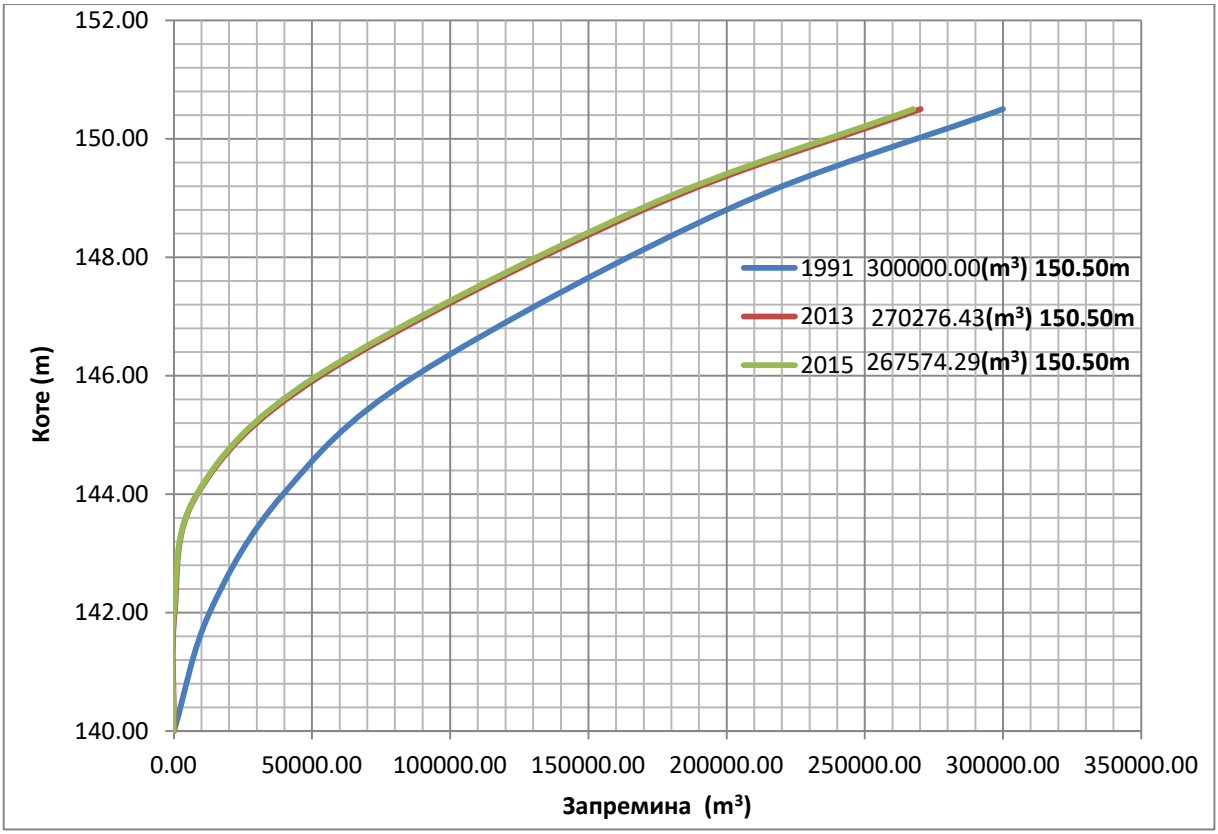
Слика 52. Приказ попречног профила бр. 5 акумулације Дубоки поток, снимљеног у различитим интервалима 1991., 2013., 2015. год. (извор: оригинал)



Слика 53. Приказ попречног профила бр. 8 акумулације Дубоки поток, снимљеног у различитим интервалима 1991., 2013., 2015. год. (извор: оригинал)



Слика 54. Приказ попречног профила бр. 10 акумулације Дубоки поток, снимљеног у различитим интервалима 1991., 2013., 2015. год. (извор: оригинал)



Слика 55. Крива запремине акумулације за 1991., 2013. и 2015. годину (извор: оригинал)

Годишњи интензитет засипања у периоду од 1991. до 2015. године, у односу на коту круне прелива 150,50 m био је:

$$i = \frac{W_0 - W_2}{n} = 1351{,}07 m^3/\text{god}, \qquad [11]$$

где су: W_0 *и* W_2, запремине акумулације у тренутку мерења у m^3

n = број година (укупно 24).

4.8. Акумулација Ресник

4.8.1. Рекогносцирање слива и идентификација педолошких, хидролошких, геолошких, геоморфолошких параметара слива акумулације Ресник

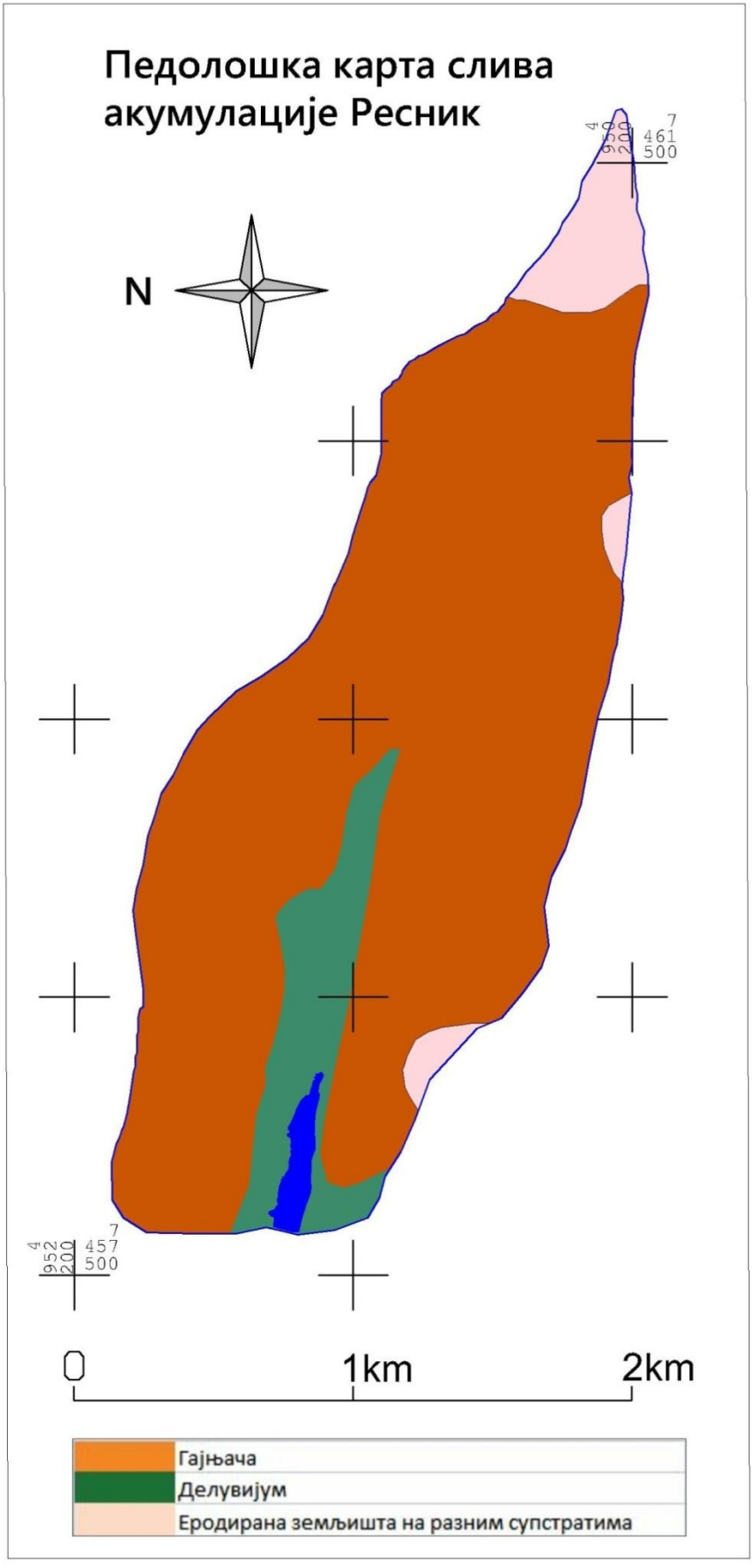
Рекогносцирањем слива (обиласком терена) констатовано је тренутно стање појаве ерозионих процеса на сливу. У горњим деловима и на десној долинској страни (гледано низводно), у прошлости су се налазиле пољопривредне површине све до нивоа воде у акумулацији. Напуштањем пољопривредних површина, на њивама су се појавиле

разређене формације коровских врста трава и жбуња, које нису имале задовољавајући заштитни ефекат, тако да је дошло до појаве површинских облика ерозије, мреже бразда и појаве ембриона јаруга.

Укупна површина слива потока Паригуз износи 4,36 km^2, док је површина слива до бране 4,00 km^2. Структура површина у сливу акумулације приказана је у Табелама 16 и 17.

Табела 16. Заступљеност педолошких творевина у сливу акумулације Ресник (Слика 56)
(извор: ГеолИСС, Л34-113 Београд, Л34-114 Панчево, Л34-125 Обреновац, Л34-126 Смедерево)

Педолошка структура слива	km^2	(%)
Делувијум	0,41	10,25
Еродирана земљишта на разним супстратима	0,23	5,75
Гајњача	3,36	84,00
Укупно	4,00	100,00



Слика 56. Педолошка карта слива акумулације Ресник (извор: Škorić et al., 1985**)**

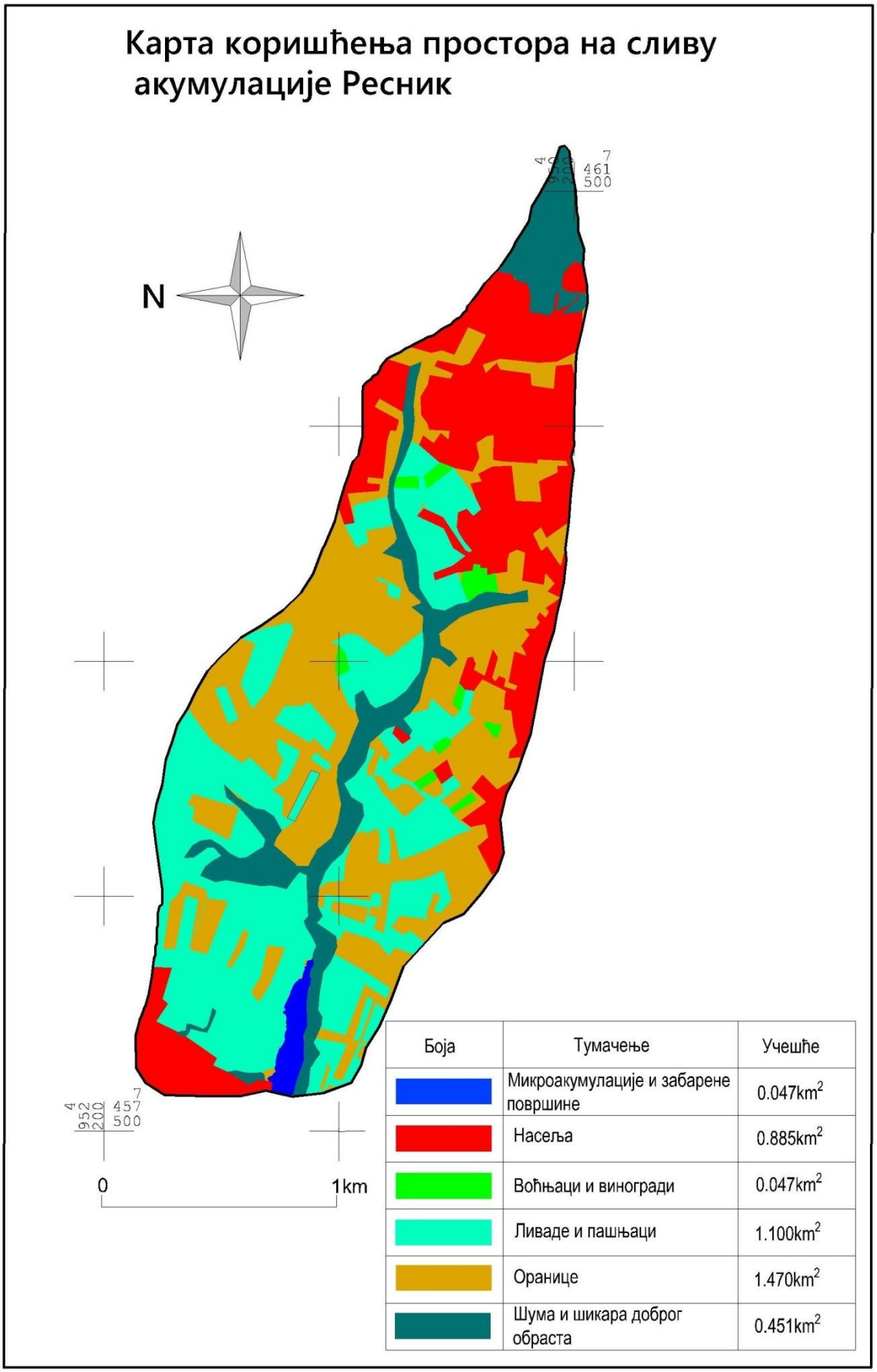
На сливу акумулације Ресник доминирају гајњаче, на 84% сливне површине (Слика 56), на којима су формиране храстове шуме (китњака, сладуна и цера). Гајњаче су погодне и за ратарску, повртарску, воћарску и виноградарску производњу, посебно на вршним деловима слива.

Карта коришћења простора (Слика 57) приказује структуру површина на сливу. Земљиште у сливу акумулације Ресник све више је под притиском легалне и нелегалне градње, тако да се бројне пољопривредне површине претварају у грађевинске парцеле, што доводи и до уклањања вегетације.

На Слици 58 може се запазити да централни део слива заузимају сивоплавичасте лапоровите и гвожђевите глине (47,00%), док највише пределе према Авали прекривају алевролит и лапорци (16,50%).

Табела 17. Геолошки састав слива акумулације Ресник (извор: оригинал)

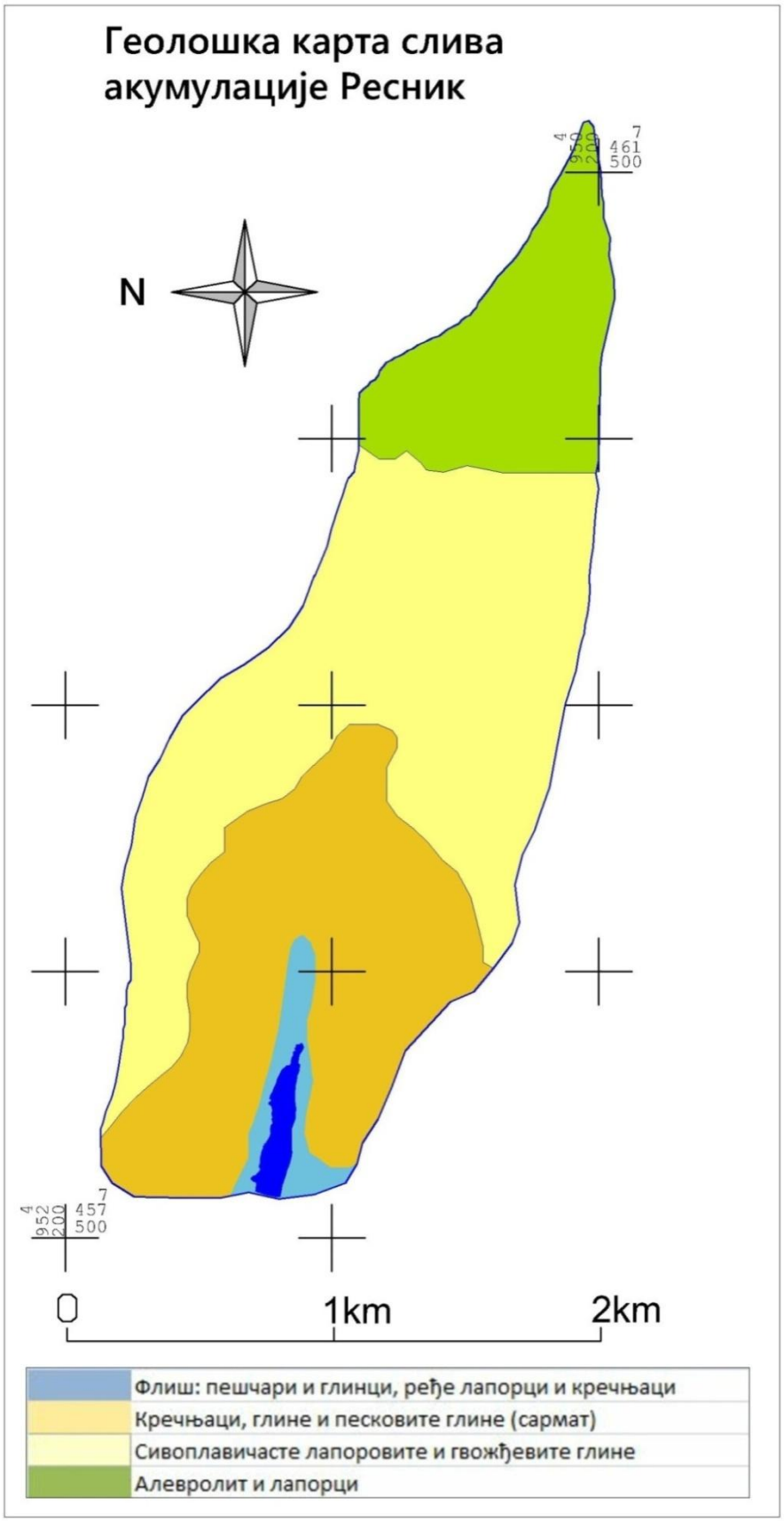
Геолошка структура слива	**km^2**	**(%)**
Флиш: пешчари и глинци ређе лапорци и кречњаци	0,17	4,25
Кречњаци глине и песковите глине (сармат)	1,29	32,25
Сивоплавичасте лапоровите и гвожђевите глине	1,88	47,00
Алевролит и лапорци:	0,66	16,50
Укупно	4,00	100,00



Слика 57. Карта коришћења простора на сливу акумулације Ресник (извор: оригинал)

У непосредној близини акумулације геолошку структуру слива чине кречњаци, глине и песковите глине (сармат) (32,25%), на које се низводно наслањају флиш, пешчари и глинци, ређе лапорци и кречњаци (4,25%). У зависности од геолошке подлоге образовани су карактеристични типови земљишта. Земљиште на кречњацима, глинама и песковитим глинама заузимају око 32,25% сливног подручја. Ова земљишта су тешка, глиновита и са слабом плодношћу, тако да су оранице у горњим деловима слива и на долинским странама напуштене и претварају се у утрине и голети. Земљишта имају задовољавајући водни режим, са значајним инфилтрационим капацитетом. Осетљивост на дејство ерозионих процеса је повећана на ораничним површинама, због обраде земљишта и растреситости површинских слојева.

Покретање наноса из притока и са долинских страна дешава се у периоду интензивних падавина, када нанос бива унет у профил акумулације, где се зауставља и таложи.



Слика 58. Геолошки састав слива акумулације Ресник (извор: ГеолИСС, Л34-113 Београд, Л34-114 Панчево, Л34-125 Обреновац, Л34-126 Смедерево)

4.8.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења

Анализом техничке документације бране и акумулације Ресник из 1978. и 1979. године добијен је податак о запремини акумулације пре пуњења, које је обављено 1980. године. Истраживања интензитета засипања акумулације започета су 2013. године.

Директним снимањем конфигурације језерског дна ехо-сонаром и сондама, дефинисане су промене запремине акумулације у одређеном временском интервалу. Теренски истражни радови и прво снимање акумулације изведено је 20. септембра 2013. године, а снимање је поновљено 10. децембра 2015. године. Теренско рекогносцирање сливног подручја урађено је у више наврата, почевши од 08. марта 2013. године а настављено је током 2014., 2015. и 2016. године. Узорци наноса из притока и обала узети су за анализу 14.09.2016. године. Узорци наноса из акумулације узети су 30.05.2016. године.

4.8.3. Анализа хидролошко-хидрауличких параметара

У циљу дефинисања услова, од значаја за покретање и транспорт наноса у притокама акумулације, одређени су тангенцијални и критични тангенцијални напони. Да би се ова анализа спровела, било је неопходно снимање попречних профила у притокама до нивоа обала и одређивање средње дубине тока. Такође, извршено је снимање уздужног пада тока од ушћа у акумулацију до стационаже од 0+280 m. Пад дна водотока креће се у границама *J_0=0,005 – 0,010*.

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h \cdot J_0 \qquad [13] \qquad\qquad \tau_{cr} = \theta \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_0) d_{sr} \qquad [14]$$

Табела 18. Вучне силе у главној притоци (извор: оригинал)

Профили	Стационаже	Пад дна притоке	$d_{sr}[mm]$	$h_0[m]$	$\tau_0[N/m^2]$	$\tau_{cr}[N/m^2]$
1	0+035	0,005	0,04	1,50	73,50	0,0295
2	0+120	0,005	1,60	1,30	63,70	1,1744
3	0+280	0,010	1,30	1,20	117,70	0,9542

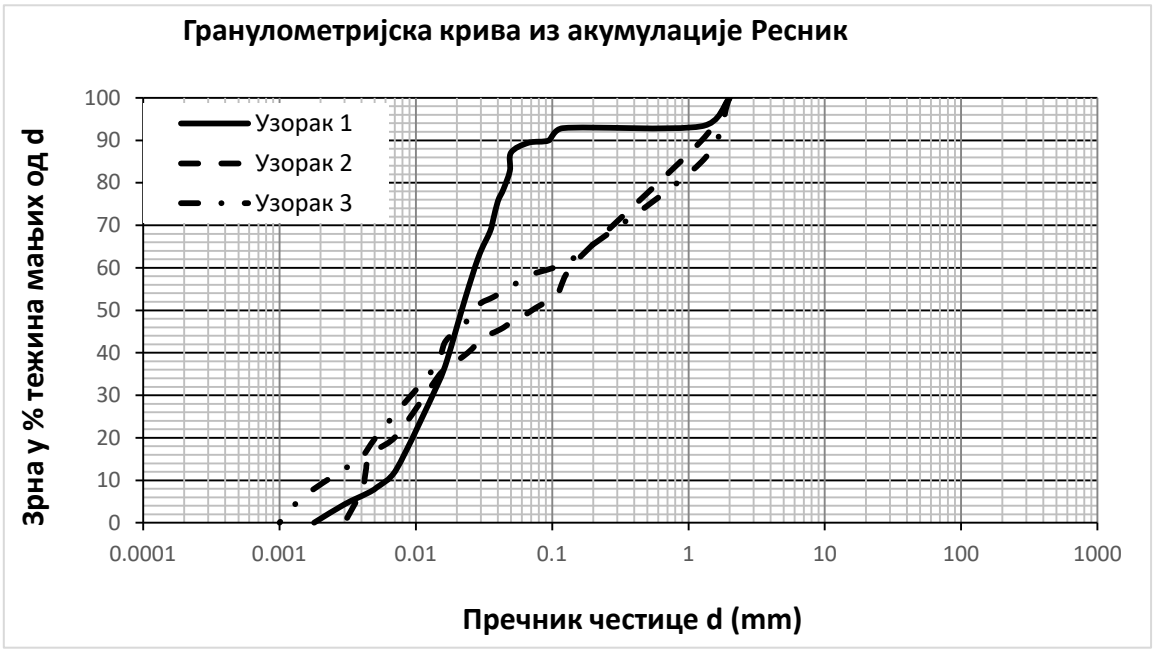
На основу резултата анализе вучних сила тока (Табела 18) може се констатовати да у свим профилима, у којима су узети узорци наноса за гранулометријску анализу, вучна сила тока је редовно већа од критичне вучне силе за покретање наноса дефинисане крупноће фракција. При максималним протицајима редовно се може очекивати померање наноса према акумулацији и улазак у профил акумулације.

Вегетација која се развија на обалама у самом кориту водотока деловала је на редукцију количине наноса која улази у профил акумулације.

4.8.4. Гранулометријски састав наноса из главне притоке и акумулације

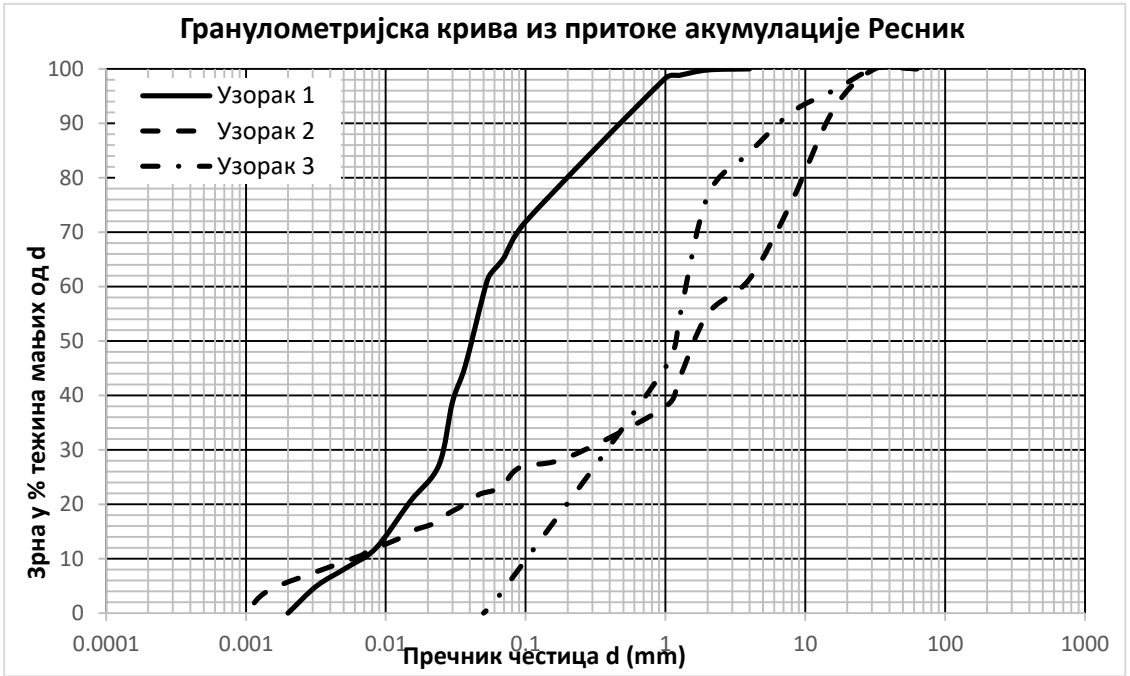
За дефинисање услова покретања наноса кроз хидрографску мрежу и таложења у профилу акумулације, узети су узорци наноса из профила притока и из профила језера. На овим узорцима вршено је испитивање крупноће фракција, методама просејавања и хидрометрисања. Крупноћа фракција из притока (Слика 60), при 50% учешћа, креће се у границама од 0,04 mm до 1,60 mm, што указује на то да су тангенцијални напони на овом сектору водотока недовољни за покретање крупнијих фракција наноса. Узорци за гранулометријску анализу наноса из притока узети су по профилима главног тока (Слика 28). Први узорак је узет на крају успора воде у акумулацији, на стационажи 0+035 km (од краја успора воде). Крупноћа наноса се креће од 0,02 mm до 4,00 mm. Други узорак узет је са стационаже 0+120 km. У овој зони крупноћа фракција се креће од 0,001 mm до 30,00 mm. Трећи узорак је узет са стационаже 0+280 km, а крупноћа фракција се креће у границама 0,05 mm до 60 mm (Слика 59). Крупније фракције наноса се таложе и заустављају на узводним деоницама водотока, пре зоне доњег тока и пре акумулације. Пад корита главне притоке, у зони акумулације, креће се у границама од J_0=0,005-0,010. На Слици 60 приказан је дијаграм гранулометријског састава наноса из профила акумулације. Узета су укупно три узорка из репрезентативних попречних профила акумулационог простора.

Крупноћа наноса у првом профилу, у непосредној близини бране, креће се од 0,002 mm, на 50% учешћа крупноћа фракција је 0,02 mm и на 100% учешћа износи 2,00 mm. У другом профилу, на стационажи 0+250 km, крупноћа фракција креће се од 0,002 mm, на 50% учешћа је 0,15 mm и на 100% учешћа износи 2,00 mm. У трећем профилу, крупноћа фракција креће се од 0,001 mm, на 50% учешћа је 0,025 mm и на 100% учешћа износи 2,00 mm.



Слика 59. Гранулометријски састав наноса из акумулације Ресник

(извор: оригинал)



Слика 60. Гранулометријски састав наноса из притоке акумулације Ресник

(извор: оригинал)

4.8.5. Карактеристике наноса из акумулације

У циљу одређивања порекла и састава наноса у акумулацији, на узетим узорцима наноса из акумулације вршено је испитивање садржаја органске материје. Нанос из

профила акумулације узиман је помоћу специјалног ручног хватача из чамца. Узорци наноса су обрађени у педолошкој лабараторији Института за шумарство у Београду. Методом жарења је одређен садржај органске материје (Табела 19), а крупноћа фракција одређена је методом хидрометрисања.

Табела 19. Садржај органске материје у узорцима из акумулације Ресник (извор: оригинал)

Број профила	Положај профила по координатама (Lat/Lon)	Маса (gr)			Маса (gr)		Садржај органске материје у %
		Празне посуде	Посуде и узорка на 105^0C	Посуде и узорка након жарења на 350^0C	Узорка на 105^0C	Узорка након жарења на 350^0C	
1	7457686,3-4951421,4	105,35	115,60	115,09	10,25	9,74	4,976
2	7457819,7-4951393,95	99,18	108,98	108,46	9,80	9,28	5,306
3	7458198,4-4951333,1	114,00	124,78	123,95	10,78	9,95	7,699

Просечан садржај органске материје у наносу је 5,984%.

Процентуално учешће органске материје, у наносу акумулације Ресник, износи 5,984%. Разградњом органске материје на дну језера, у анаеробним условима, део органске материје се минерализује, а део се разлаже (Ђековић 2007). У процесу разлагања настају штетена једињења из групе фенола, тако да вода у акумулацији прелази из олиготрофног у мезотрофно стање. У води се развијају фитопланктонске заједнице које утичу на погоршање квалитета воде (Ђековић et al., 2017).

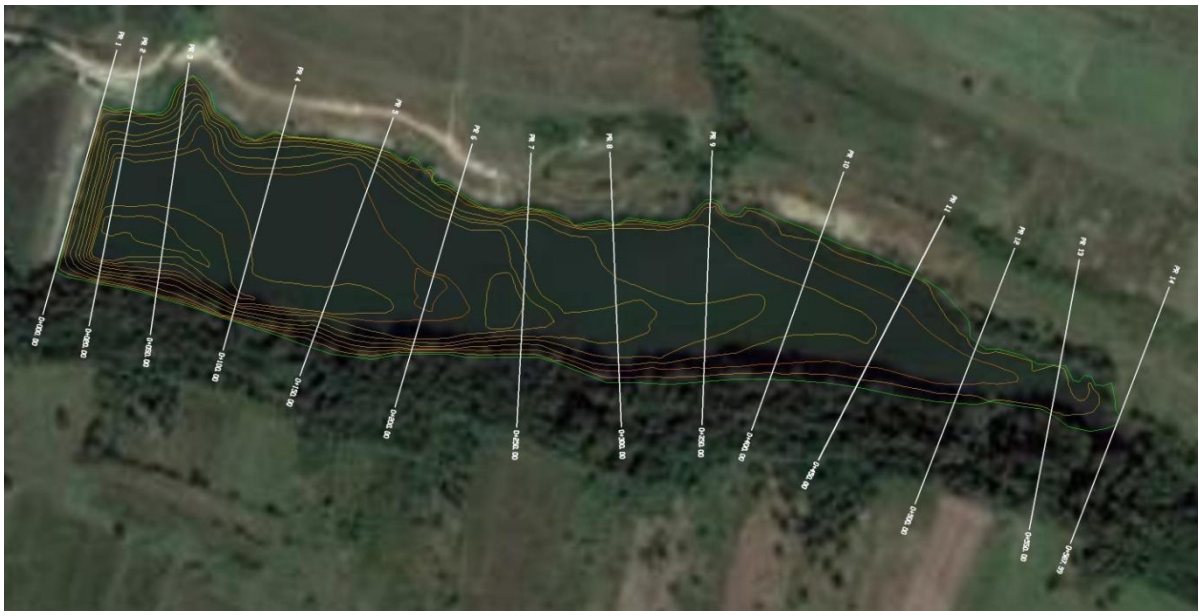
4.8.6. Климатске и метеоролошке карактеристике слива

С обзиром да су локације акумулација Ресник и Дубоки поток, географски и топографски врло блиске, метеоролошки (климатски) подаци меродавни су за обе акумулације. Меродавне метеоролошке станице за слив акумулације Ресник исте су као и за акумулацију Дубоки поток.

4.8.7. Морфолошке карактеристике акумулационог басена

На основу снимљених координата свих тачака, на унапред задатим сталним попречним профилима, сонаром су мерене дубине воде до дна акумулације. Снимљени профили су обрађени у програму „AutoCAD Map 3D" и урађен је ДМТ акумулације, после чега је одређена запремина акумулације. На основу података о укупној запремини

акумулације, у функцији висинских кота круне прелива и коте максималног успора воде, одређене су криве запремине акумулације у три временска пресека (1989., 2013. и 2015. године) (Слика 61).



Слика 61. Акумулација Ресник са положајем попречних профила ДМТ (извор: оригинал)

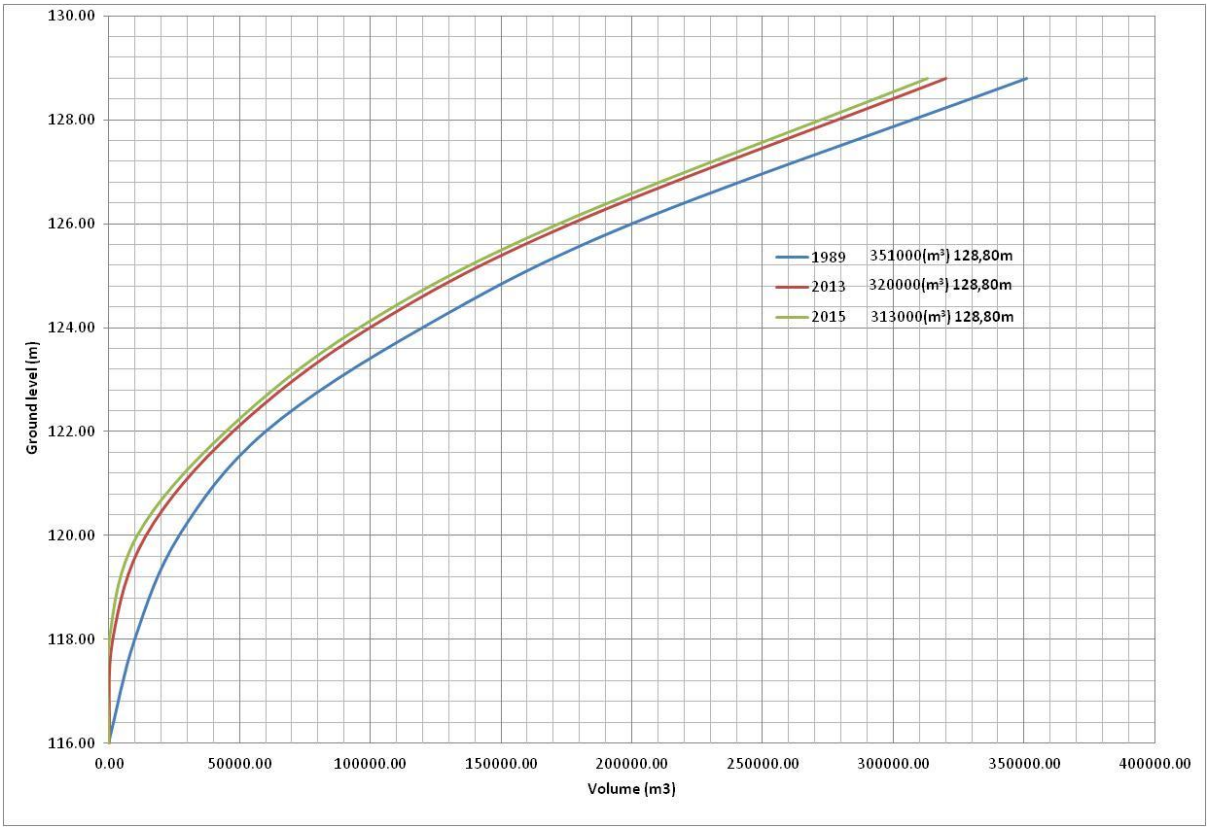
Нулта (почетна) запремина акумулације, до коте максималног успора, 1989. године износила је $W_0 = 351.000$ m^3. Следеће снимање извршено је после 24 године (Слика 62), односно, 2013. године, када је измерена запремина акумулације $W_1 = 320.000$ m^3, док је 2015. године утврђена запремина од $W_2 = 313.000$ m^3.

Интензитет засипања у периоду од 1989. до 2013. године износи:

$$i = \frac{351000 - 320000}{24} = 1291{,}66 m^3/god$$

Интензитет засипања у периоду од 2013. до 2015. године износи:

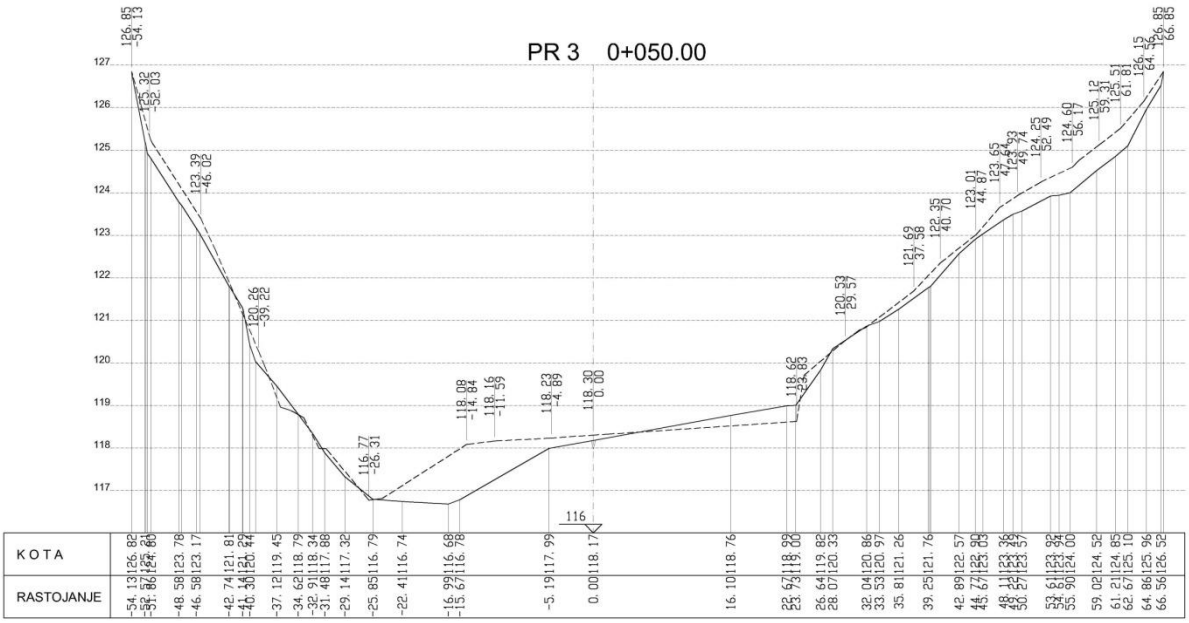
$$i = \frac{320000 - 313000}{2{,}5} = 2800{,}00 m^3/god$$



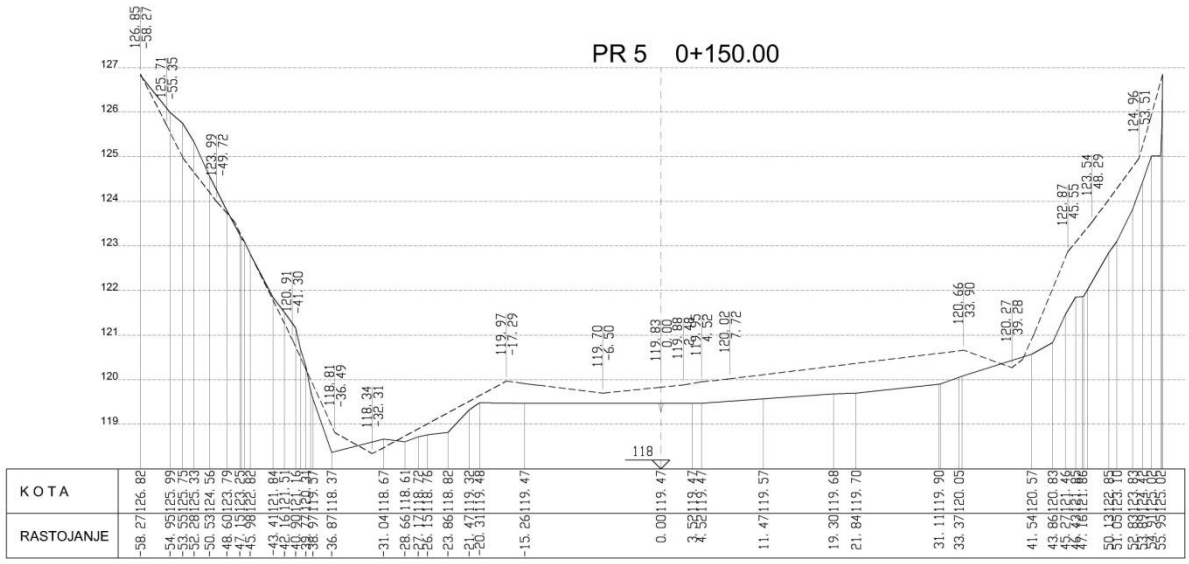
Слика 62. Криве запремине акумулације из 1989., 2013. и 2015. године (извор: оригинал)

У периоду између два снимања, 2013. и 2015. године, дошло је до драстичног повећања количине исталоженог наноса у акумулацији, највише због интензивних падавина, последичних ерозионих процеса и бујичне поплаве, током маја 2014. године (Zarić 2014; Frantar et al. 2015). Просечан годишњи интензитет засипања био је 2,2 пута већи него у интервалу од 1989. до 2013. године.

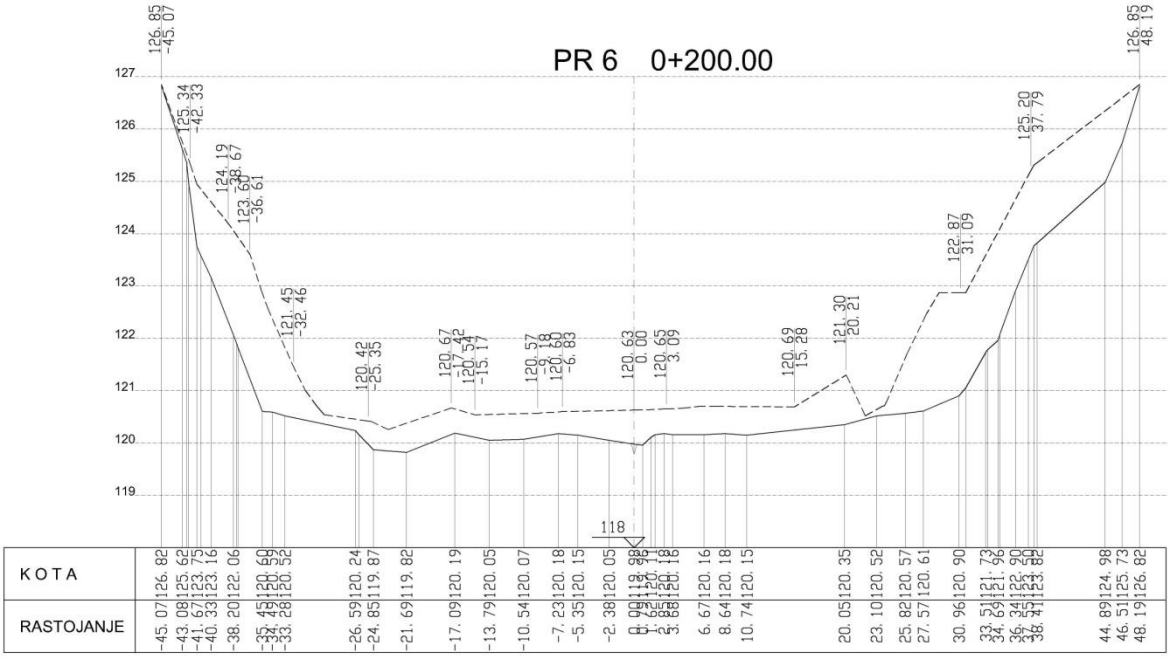
На сликама 63–65 приказани су (у програму „AutoCAD") репрезентативни попречни профили бр. 3, 5 и 6. На приказаним профилима може се запазити просторна дистрибуција наноса по дну акумулације, као и деформације обала настале услед рада језерских таласа и бочног прилива наноса у простор акумулације. Сви профили су приказани у прилозима, у размери 1:100/500, а овде су приказане шеме три репрезентативна профила.



Слика 63. Попречни профил бр. 3 акумулације Ресник (извор: оригинал)



Слика 64. Попречни профил бр. 5 акумулације Ресник (извор: оригинал)



Слика 65. Попречни профил бр. 6 акумулације Ресник (извор: оригинал)

4.9. Акумулација Љуково

4.9.1. Рекогносцирање слива и идентификација педолошких, хидролошких, геолошких, геоморфолошких параметара сливу акумулације Љуково

Испитивања која су изведена пре изградње бране показала су да је терен састављен од хоризоната леса, глине, средње прашинасте глине, лесне иловаче и глине високе пластичности (Хидросрем, 1973). На основу овог геомеханичког састава може се закључити да је терен слабо водопропустљив, са коефицијентом филтрације К=10^{-6} до 10^{-8}*sm/sec.* На равним и слабо нагнутим деловима слива овакав терен је склон забаривању и спором отицању површинских вода.

Просторни распоред геолошких творевина слива потока Љуково представљен је на генерисаној карти (Слика 66), док је процентуално учешће појединих формација представљено у табели 20. Распоред земљишних творевина представљен на генерисаној педолошкој карти (Слика 67). Слив потока Љуково има површину, до профила бране, 17,10 km^2.

Табела 20. Геолошка структура слива акумулације Љуково (извор: ГеолИСС, Л34-101 Инђија)

Геолошка структура слива	km^2	(%)
Песковито-глиновити алевролити, песковити алевролити, пескови	9,87	57,68
Алевролит пескови, пескови алевролити, пескови, колувијални шљунак, феритилиране погребне земље	5,50	32,15
Пескови, алеврит пескови	1,74	10,17
Укупно	17,11	100,00

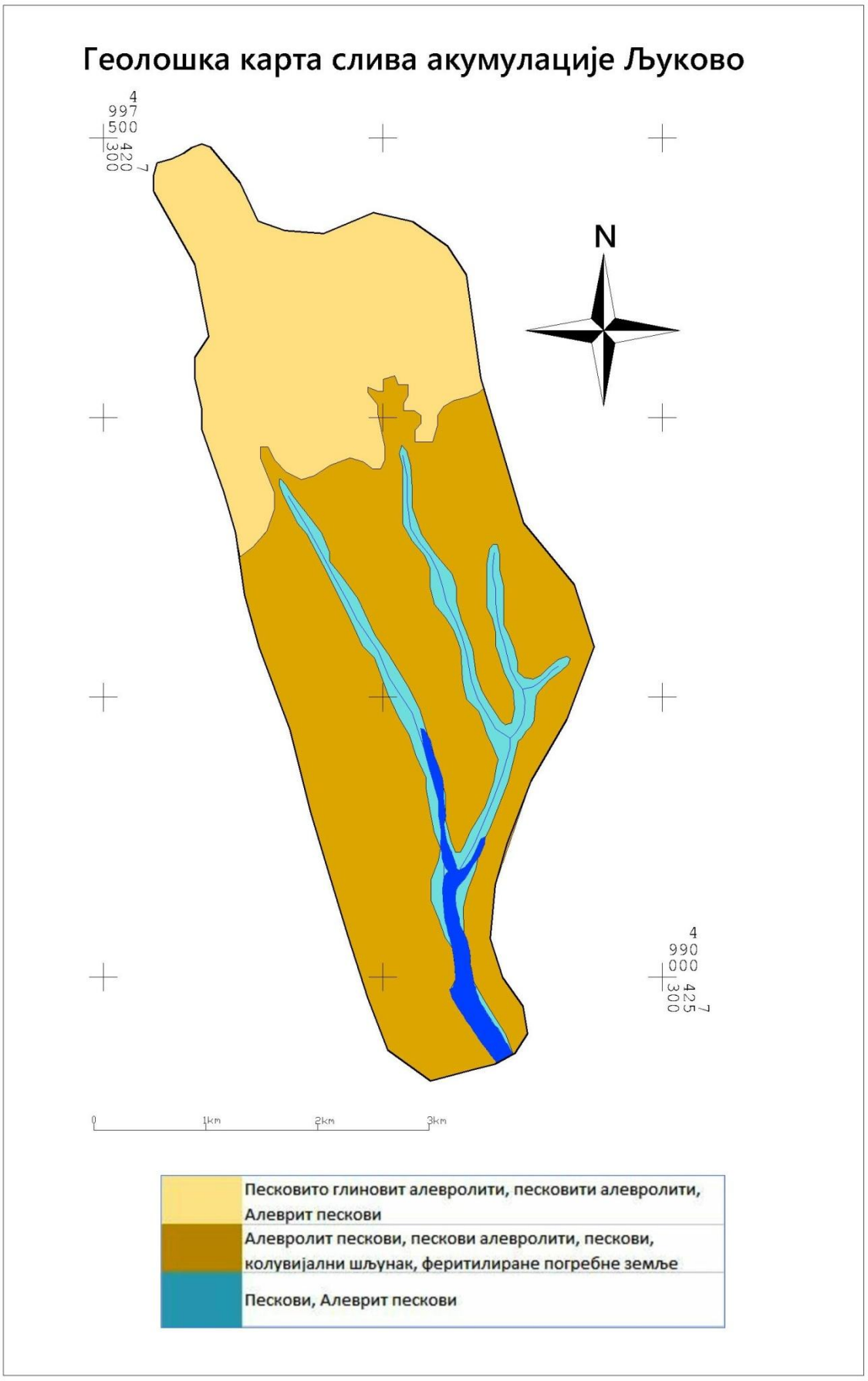
У геолошкој структури слива преовлађују песковито глиновити алевролити и алевролит пескови, колувијални шљунак и феритилиране погребене земље (57,68%), док се песковите формације јављају дуж главних притока у уском појасу (42,32%).

У педолошкој структури слива потока Љуково преовлађује карбонатни чернозем на лесним платоима, а дуж притока алувијално-делувијална земљишта карбонатног и бикарбонатног састава (Табела 21).

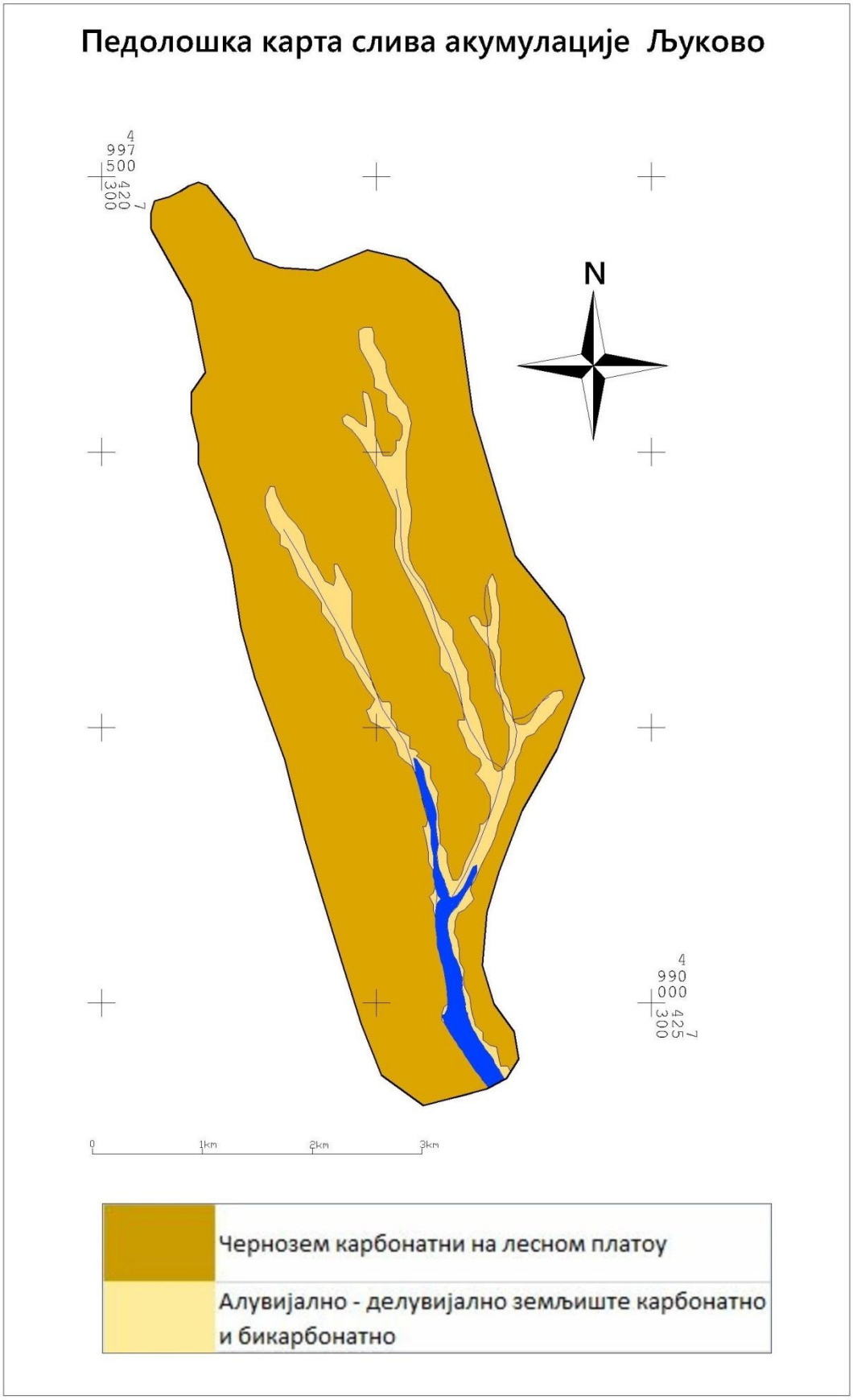
Табела 21. Педолошка структура слива акумулације Љуково (извор: РГЗ, Педолошка карта за територију АП Војводина)

Педолошка структура слива	km^2	(%)
Карбонатни чернозем на лесном платоу	15,06	88,02
Алувијално-делувијално земљиште карбонатно и бикарбонатно	2,05	11,98
Укупно	17,11	100,00

У структури површина доминирају површине под пољопривредним земљиштем, са 76,87% (Слика 68), које су и главни извор ерозионог материјала.



Слика 66. Геолошка карта слива акумулације Љуково (извор: ГеолИСС, Л34-101 Инђија)



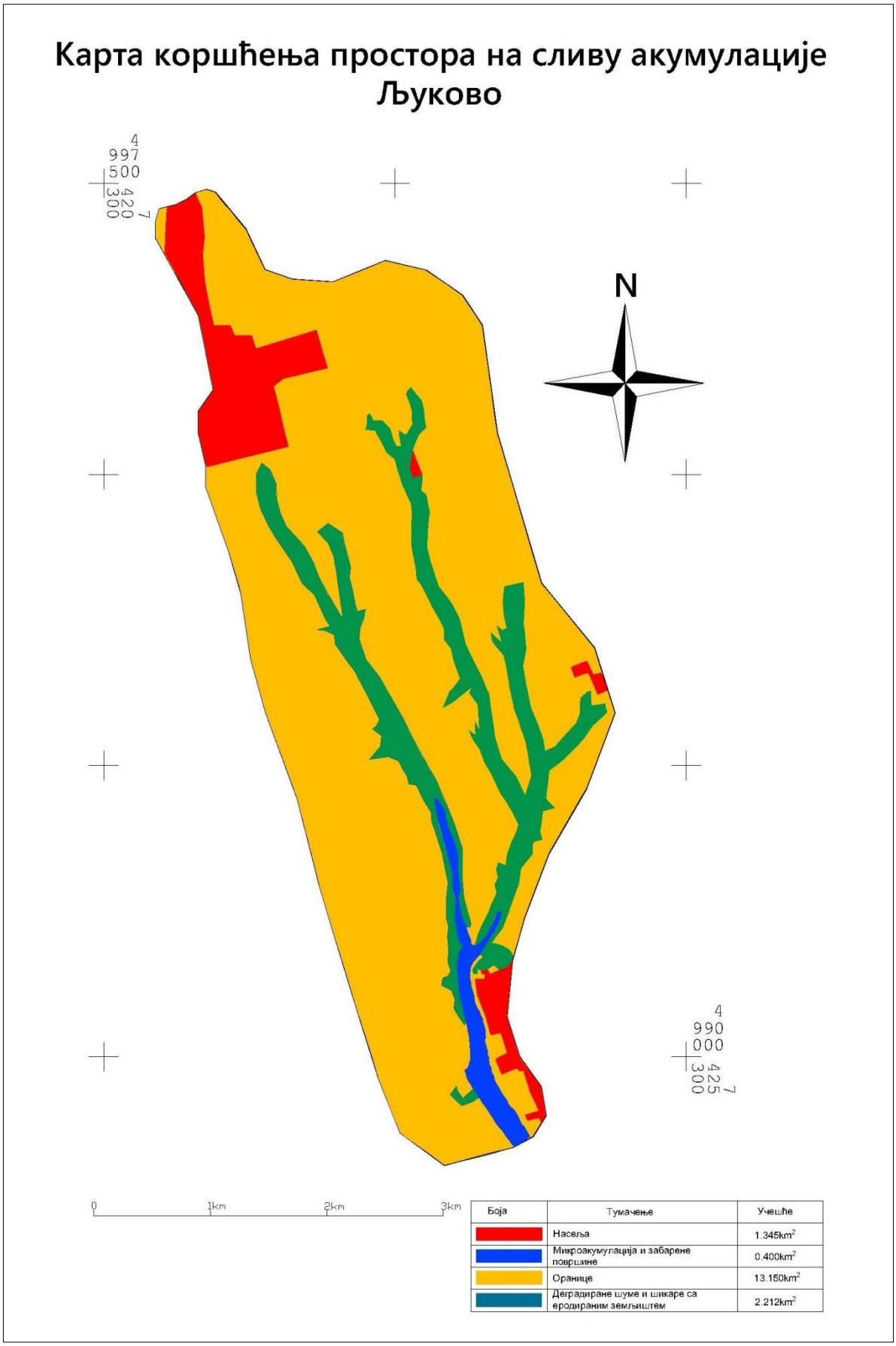
Слика 67. Педолошка карта слива акумулације Љуково
(извор: Републички геодетски завод, Педолошка карта за територију АП Војводина)

Ерозиони процеси, као и у свим осталим сливовима, поред осталог, зависе од начина коришћења земљишта. У сливу акумулације Љуково нису видљиви трагови ерозије, јер су готово све површине под пољопривредним културама, са редовном обрадом земљишта. У току вегетационог периода земљиште се обрађује, чиме су евентуално видљиви трагови ерозије неутралисани. Током теренских истражних радова, у три јесења термина (08.11. 2013. године; 6.11.2015. године; 24.11.2016. године), уочена је браздаста ерозија на нагибима, са браздама дубине 20–30 cm. На врховима брегова преовлађује жуто-сива боја земљишта, док земљиште при подножју падина има тамнију боју а у долинама црну боју, што је карактеристично за чернозем и ритску црницу. То је знак да су ерозиони процеси у зачетку, а истовремено упозорење да примењене агротехничке мере нису довољне за спречавање ерозионих процеса на долинским странама и у вршним деловима слива.

4.9.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења

Увидом у постојећу документацију из главног пројекта бране и акумулације Љуково, која се налази југозападно од села Јарковац, преузети су подаци о запремини акумулације (Хидросрем, 1973). Подаци из пројекта су касније искоришћени за детерминисање просечног годишњег интензитета засипања акумулације. Анализа је рађена за криве запремине из 1973. и 2013. године. Пронађен је и податак о стању акумулације у међупериоду, јер је постојало још једно снимање 2002. године, и оно је такође укључено у анализу, као и последње (контролно) снимање из 2015. године.

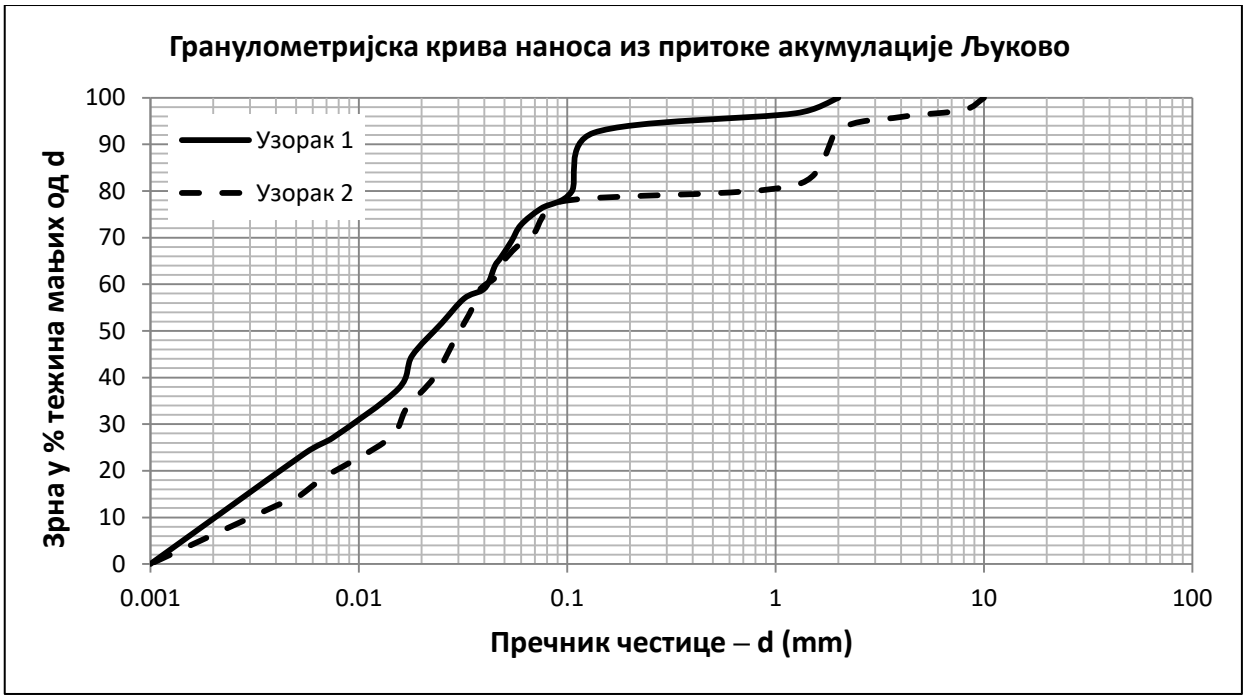
Узорци који су коришћени за анализу гранулометријског састава узети су 24.11.2016. године, са дна акумулације и из главних притока.



Слика 68. Карта коришћења простора на сливу акумулације Љуково (извор: оригинал)

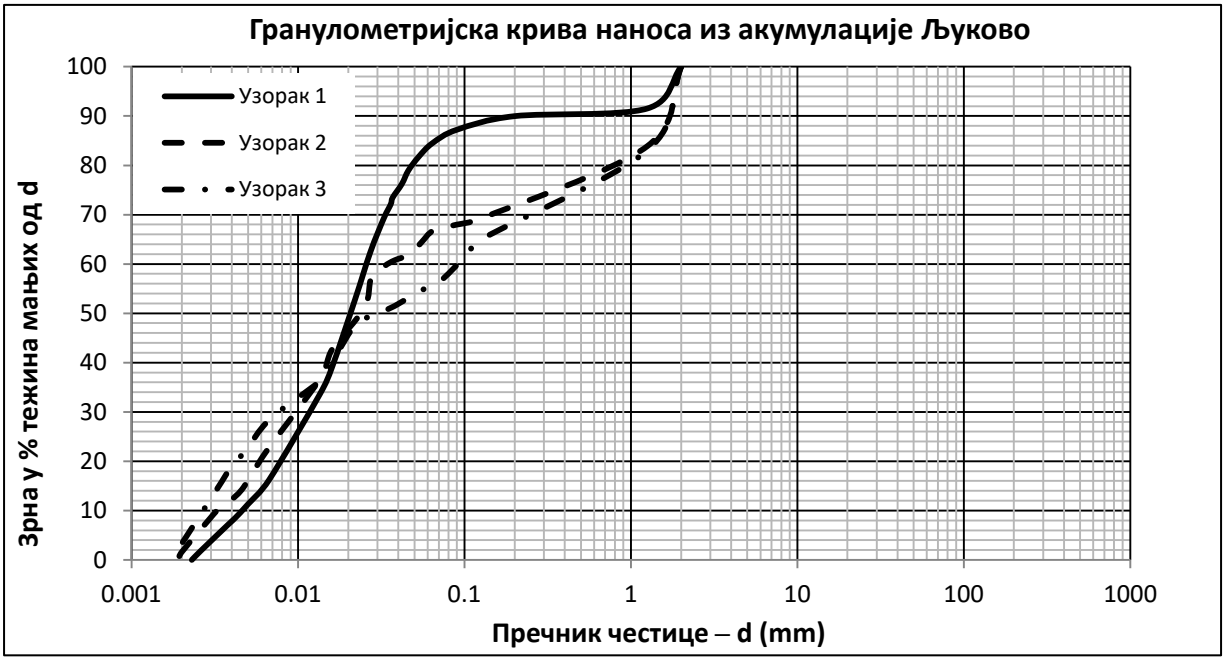
4.9.3. Гранулометријски састав наноса из главне притоке и акумулације

Ерозиони материјал у притокама је врло ситне структуре, са средњим пречником фракција $d_{50\%}$=0,024-0,032 mm). Гранулометријска крива састава материјала из притока представљена је на дијаграму (Слика 69).



Слика 69. Дијаграм гранулометријског састава материјала из главне притоке језера Љуково (извор: оригинал)

Крупноћа фракција у акумулацији је једнородног састава, са средњим пречником $d_{50\%}$=0,02 -0,03 mm (Слика 70).



Слика 70. Крива гранулометријског састава материјала из акумулације Љуково (извор: оригинал)

4.9.4. Карактеристике наноса из акумулације

Нанос је из акумулације узоркован са више карактеристичних тачака (Слика 32) чије су координате дате у Табели 22. Ручним, посебно дизајнираним алатом („багером"), захватан је поремећен узорак са дна акумулације и вршена је његова анализа у лабораторијским условима, где је на основу спаљивања утврђен удео органске материје.

Табела 22. Садржај органске материје у акумулацији Љуково (извор: оригинал)

Љуково							
РБ	Координате профила из којих су узети узорци (Lat/Lon)	Маса (gr)			Маса (gr)		Садржај органске материје у %
		Празне посуде	Посуде и узорка на 105^0C	Посуде и узока након жарења на 350^0C	Узорка на 105^0C	Узорка након жарења на 350^0C	
1	7423413,75-4990815,05	105,35	114,84	114,53	9,49	9,18	3,267
2	7423397,004-4990589,00	99,23	110,39	109,96	11,16	10,73	3,853
3	7423402,60-4990551,89	114,01	124,80	124,44	10,79	10,43	3,336
4	7423501,7-4990039,15	85,15	94,95	94,55	9,80	9,40	4,082
5	7423557,7-4989792,7	75,62	86,19	85,79	10,57	10,17	3,784
6	7423685,9-4989572,3	85,13	96,10	95,63	10,97	10,5	4,284
7	7423838,34-4989336,4	100,88	110,55	110,10	9,67	9,22	4,654

Средњи проценат органске материје: 3,89 %.

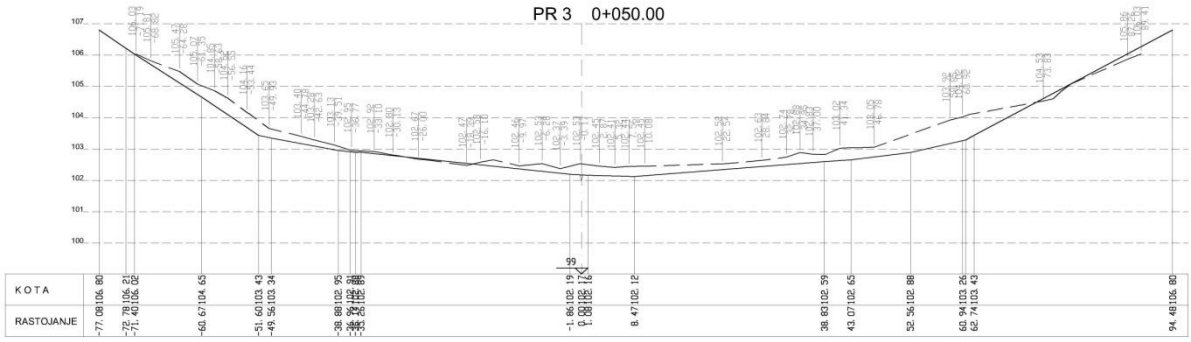
4.9.5. Климатске и метеоролошке карактеристике на сливу акумулације Љуково

Средњегодишње количине падавина на сливу акумулације Љуково су 744,84 mm/god, што је блиско просеку падавина за територију Републике Србије (Републички хидрометеоролошки завод Србије, 2014).

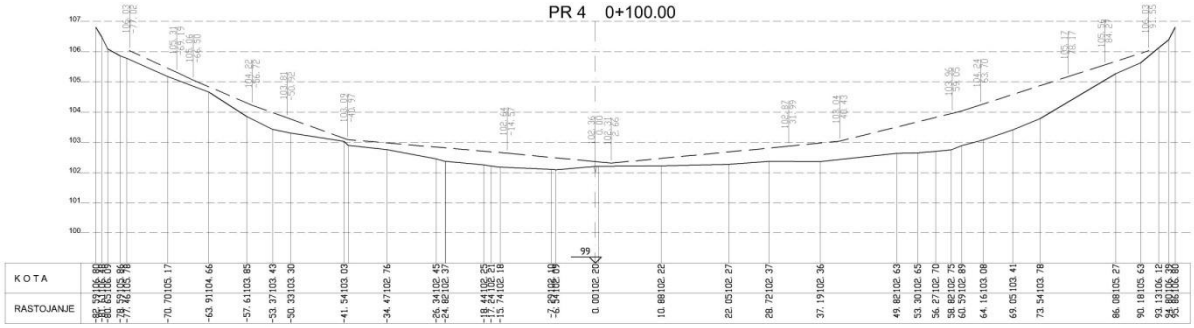
Поплаве, које су захватиле Србију маја 2014. године, нису се јавиле на сливу акумулације Љуково, тако да није било ни повећаног уноса наноса у акумулациони простор.

4.9.6. Морфолошке карактеристике акумулационог басена

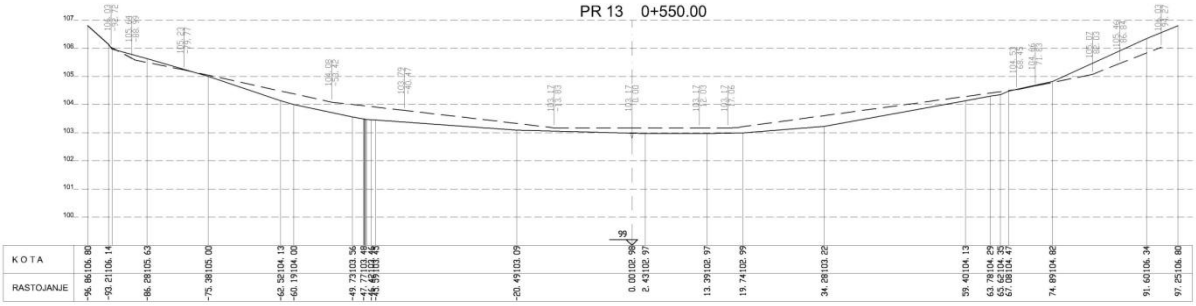
Мерењем дубине на тачкама познатих координата, на сталним попречним профилима, реконструисана је конфигурација дна акумулације Љуково до коте воденог огледала у тренутку снимања. Мерењем у различитим временским терминима добијени су подаци на основу којих је могуће утврдити промене на телу наноса, његову запремину и интензитет засипања акумулације. Такође, конструисане су и криве запремине, на основу снимања у четири термина (Слика 75).



Слика 71. Снимљен попречни профил бр. 3 акумулације Љуково (извор: оригинал)



Слика 72. Снимљен попречни профил бр. 4 акумулације Љуково (извор: оригинал)

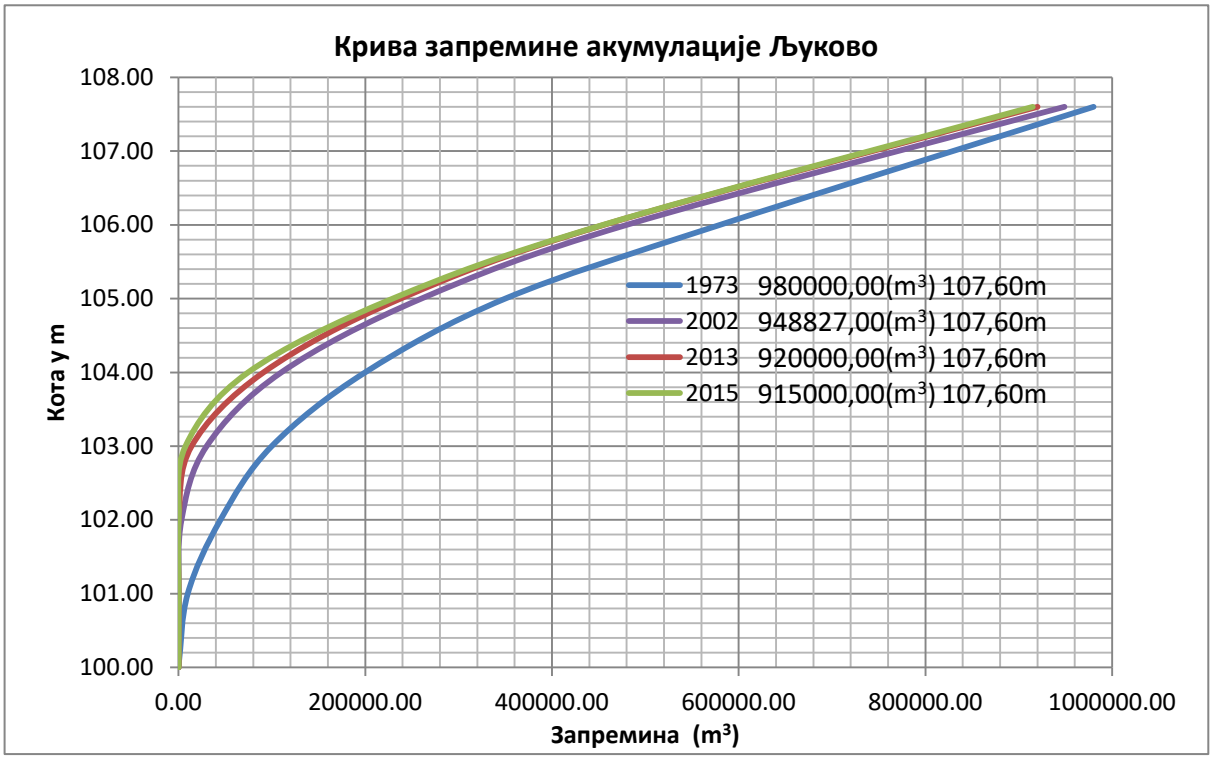


Слика 73. Снимљен попречни профил бр. 13 акумулације Љуково (извор: оригинал)

Ради боље визуелне представе процеса засипања акумулације нацртани су попречни профили за оба термина снимања (Слике 71, 72 и 73).

Слика 74. ДМТ акумулације Љуково

На Слици 74. приказан је изглед ДМТ модела акумулације, са позицијама снимљених профила који су анализирани и приказани у прилозима.



Слика 75. Промена запремине акумулације Љуково (извор: оригинал)

Нулта (почетна) запремина акумулације, до коте максималног успора 1973. године, износила је W_0 =980.000 m^3. Следеће снимање извршено је после 40 година, 2013. године, када је измерена запремина акумулације W_1 =920.000 m^3. Последње снимање је обављено 2015. године и тада је измерена запремина W_2 = 915.000 m^3.

Интензитет засипања у периоду 1973–2013. године износио је:

$$i = \frac{980000-920000}{40} = 1500{,}00 m^3/god.$$

Интензитет засипања у периоду 2013–2015. године износио је:

$$i = \frac{920000-915000}{2} = 2500{,}00 m^3/god.$$

4.10. Акумулација Сот

4.10.1. Рекогносцирање слива и идентификација хидролошких, геолошких, геоморфолошких и морфолошких параметара

У структури геолошке грађе слива акумулације Сот преовлађују лес-пескови и песковити алевролити (Табела 23).

Табела 23. Геолошка структура слива акумулације Сот (извор: ГеолИСС, Л34-99 Бачка Паланка).

Геолошка структура слива	km^2	(%)
Лес - пескови и песковити алевролити	10,52	77,35
Песак – шљунак и алевролитске песковите глине	1,25	9,20
Пескови и глиновити пескови	1,43	10,51
Преталожени лес, мрки алевролити	0,21	1,54
Кварц серицитски шкриљци	0,13	0,96
Измењени серпентинити	0,06	0,44
Укупно	13,60	100,00

Доминантне геолошке творевине, током процеса распадања, производе релативно ситан ерозиони материјал који се лако покреће под утицајем кинетичке енергије површинских токова, делом заустављa у меандрима и депресијама, а делом доспева до акумулационог простора. Просторна дистрибуција геолошких творевина је представљена на генерисаној карти (Слика 76).

У педолошкој структури слива акумулације Сот (Слика 77) преовлађују гајњаче и лесивиране гајњаче, са високим садржајем глине. Са повећањем садржаја глине и повећаним влажењем, долази до бубрења и распадања структурних агрегата, који имају малу отпорност на интензивне падавине, са последичном појавом површинског спирања и браздања (Antić et al., 2007).

Гајњаче настају дуготрајним процесима распадања матичне геолошке подлоге у садејству са деловањем живих организама (микроорганизми, гљиве и биљке). Хемијска својства гајњача варирају у зависности од интензитета коришћења земљишта, степена еродираности и хемијских својстава матичног супстрата. Садржај хумуса код гајњача је у интервалу од 2 до 5%, неутралне су до слабо киселе хемијске реакције, имају висок капацитет адсорпције. Примарни тип вегетације на гајњачама су храстове шуме (китњака, сладуна и цера), мада су гајњаче погодне и за ратарску, повртарску, воћарску и

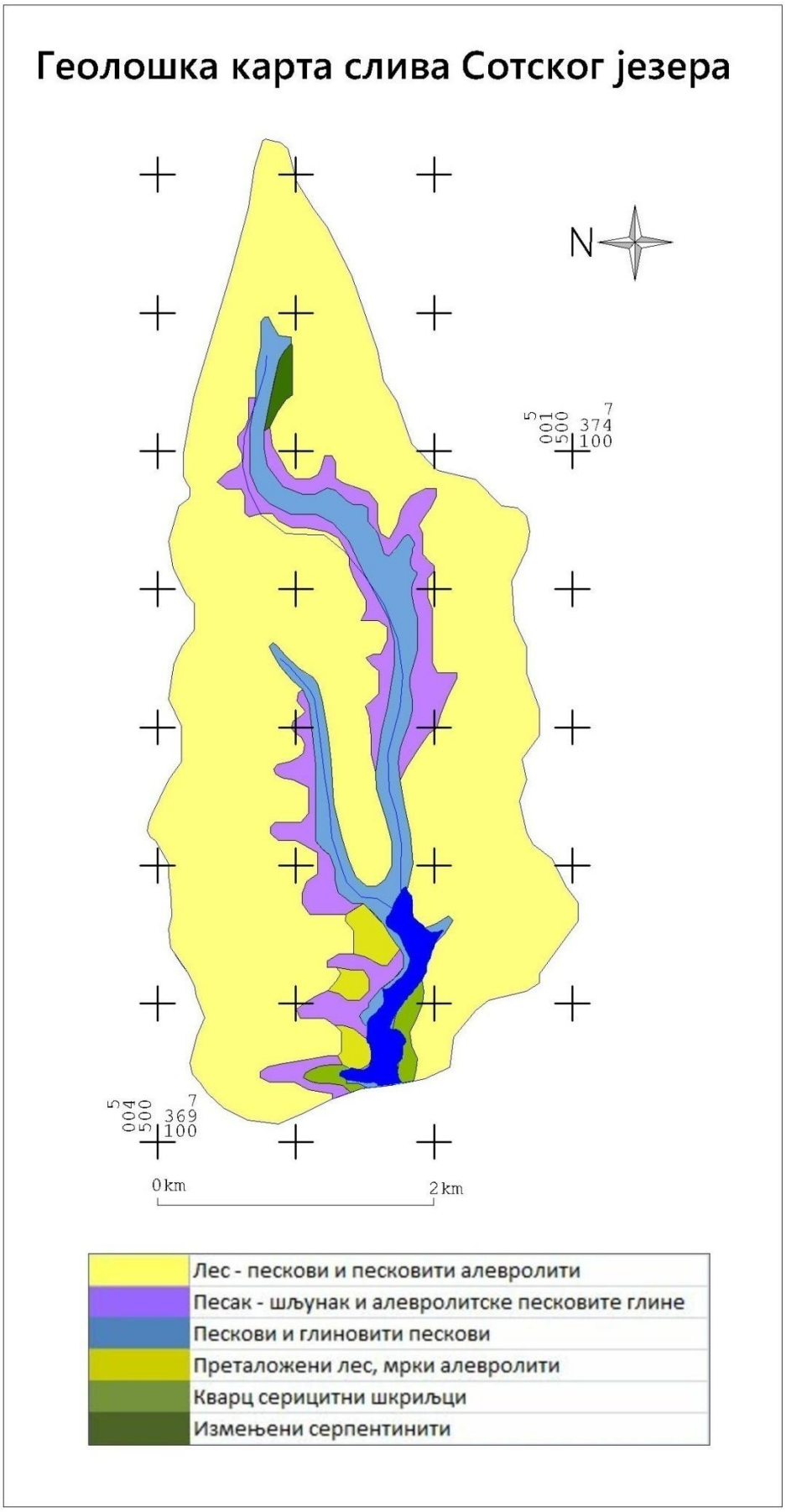
виноградарску производњу (Antić et al., 2007). Дуж притока се јављају алувијално-делувијална земљишта карбонатног и бикарбонатног састава (Табела 24).

Табела 24. Педолошка структура слива акумулације Сот

(извор: РГЗ, **Педолошка карта за територију АП Војводина).**

Педолошка структура слива	**km^2**	**(%)**
Гајњача	7,14	52,50
Лесивирана гајњача	4,46	32,80
Алувијално-делувијално земљиште карбонатно и бикарбонатно	2,00	14,70
Укупно	13,60	100,00

Сви ови типови земљишта подложни су утицају ерозионих процеса, међутим релативно благ рељеф и добра покровност вегетацијом значајно редукују интензитет ерозије. У вишим деловима слива су заступљене пољопривредне површине, које уз примену плодореда и одговарајућих агротехничких мера, имају висок степен отпорности на ерозионе процесе (Слика 78).



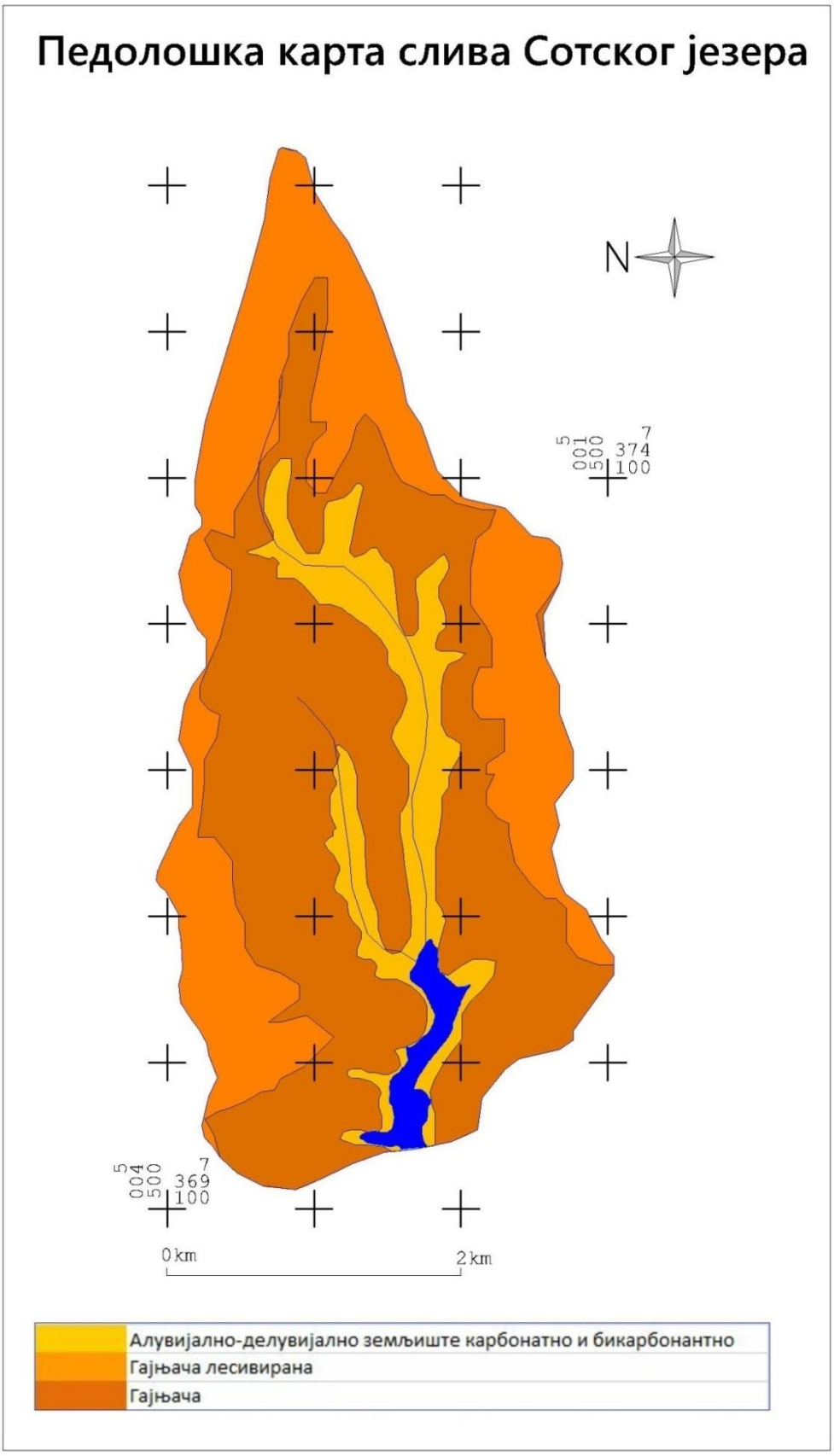
Слика 76. Геолошка карта слива акумулације Сот (извор: ГеолИСС, Л34-99 Бачка Паланка**)**

Песковите формације се јављају се дуж главних притока, у уском појасу. Нанос у притокама је уједначене структуре, врло ситан, са средњим пречником фракција наноса у дијапазону $d_{50\%}$=0,042–0,27 mm (Слика 79).

Фрушкогорска лесна зараван је заталасана, са благо урезаним долинама потока. Према Дунаву се завршава одсеком који је дислоциран сурдуцима. Алувијалне равни су настале наизменичним деловањем процеса флувијалне ерозије и акумулације, а изграђене су од песка, речног муља и глине (Antić et al., 2007).

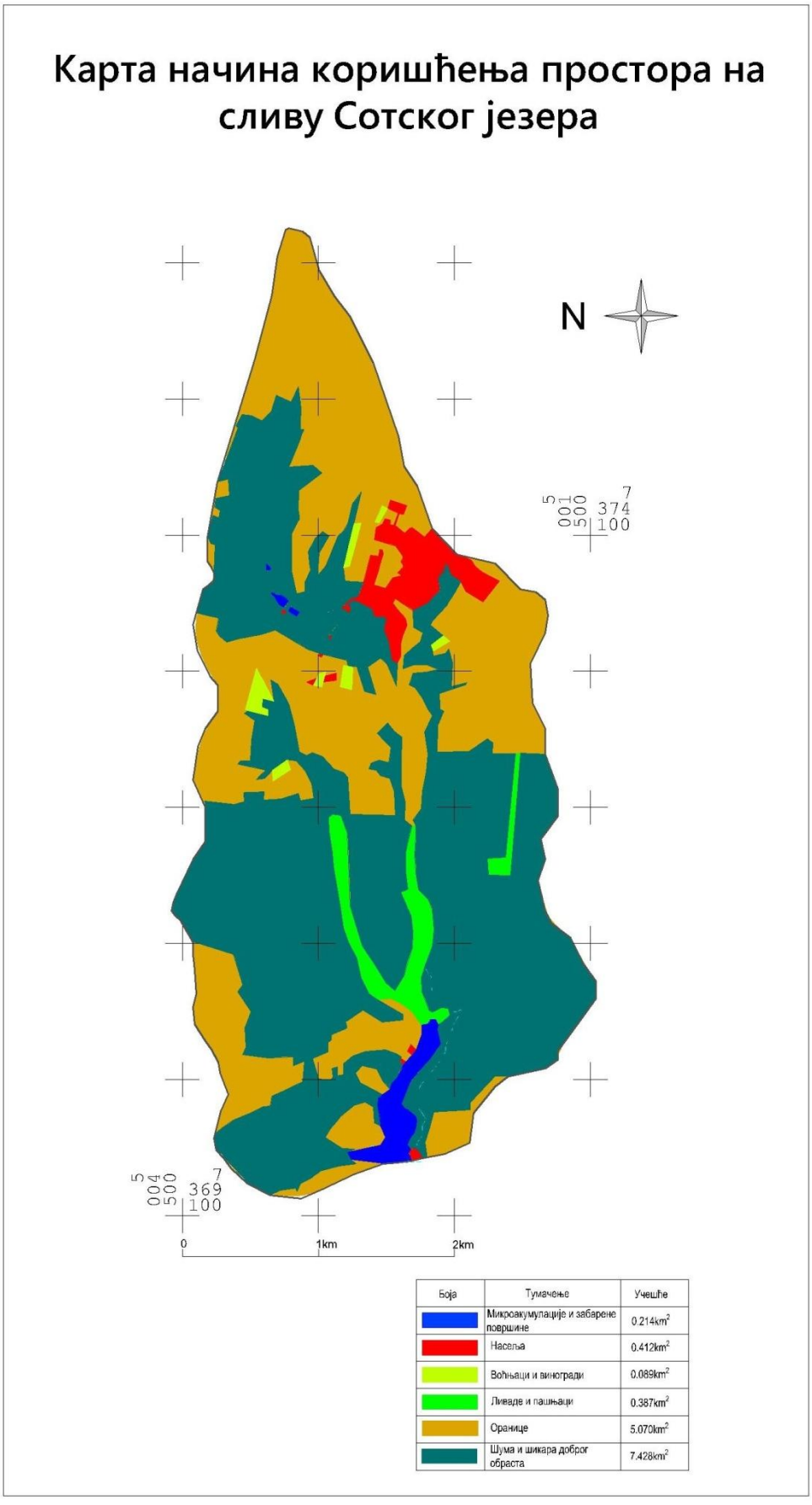
На југоисточним, јужним и југозападним падинама Фрушке горе клизишта су ретка, због благог нагиба терена. Клизишта се најчешће јављају на прегибима између лесне заравни и алувијалне равни Дунава, на северним падинама Фрушке горе. Главни агенс у стварању клизишта на северним падинама Фрушке горе је река Дунав, услед ерозионог рада на подсецању падина десне обале (Antić et al., 2007).

На сливу акумулације Сот могу се издвојити следеће просторне целине: пољопривредне површине; листопадне шуме; травне површине; водена површина акумулације; урбанизоване површине. Доминирају листопадне шуме, на 7,429 km^2 (56 %) (Слика 78).



Слика 77. Педолошка карта слива акумулације Сот

(извор: РГЗ, Педолошка карта за територију АП Војводина)



Слика 78. Карта коришћења простора у сливу акумулације Сот (извор: оригинал)

Ове шуме се налазе у централном делу слива и дуж потока и удолина. Шуме се налазе и близу акумулације, где као својеврсни илофилтери штите акумулацију од покренутог ерозионог материјала са долинских страна.

4.10.1.1. Картирање ерозионих процеса у сливу

Ерозиони процеси, као и у свим осталим сливовима, поред осталог, зависе од начина коришћења земљишта у сливу. У сливу акумулације Сот нису видљиви трагови ексцесивне ерозије. У току вегетационог периода земљиште се обрађује, чиме су евентуално видљиви трагови ерозије неутралисани. Обилазак сливног подручја обављен је у 4 наврата, када нису регистровани интензивни ерозиони процеси: 11.07.2013. године, 03.07.2014. године, 30.10.2015. године, и 22.11.2016. године.

4.10.2. Период истраживања и врсте извршених теренских мерења

Вештачка акумулација Сот настала је 1979. године преграђивањем потока Шидска Шидина насутом браном, са површином од 33 хектара. Територијално припада општини Шид. Брана и акумулација Сот налазе се код истоименог села.

Директним снимањем конфигурације језерског дна у периоду између 2013. и 2015. године, дефинисане су промене запремине акумулације у одређеном временском интервалу. Теренски радови одвијали су се у више праваца. Узорковање материјала са дна акумулације и из главних притока обављено 22.11.2016. године.

4.10.3. Анализа хидрауличко-хидролошких параметара

Критична вучна сила за покретање фракција наноса у притокама дефинисана је:

$$\tau_{cr} = \theta \cdot g \cdot (\rho_{s-}\rho) \cdot d_{sr}, \qquad [14]$$

где су:

- θ – Shildsova константа, за сваки конкретан случај мора се извршити тарирање константе (у случају овог прорачуна усвојена је средња вредност θ= 0,047);

- g – убрзање силе земљине теже = 9,81 m·s^{-1}
- ρ_s – запреминска маса наноса у сувом стању, одређена у лабораторији $\rho_c = 2{,}20$ kN·m^{-3};
- ρ – запреминска маса чисте воде без наноса $\rho = 1{,}0\ t/m^3$;
- d_{sr} – средњи пречник наноса са криве гранулометријског састава 50% учешћа у метрима, $d_{sr} = \mathrm{d}50\% = 0{,}015 - 0{,}017\mathrm{mm}$.

Величина критичног тангенцијалног напона за најкрупније фракције наноса из профила притока и са обала крупноће d_{sr} =0.017mm је:

$$\tau_{cr} = 0{,}047 \cdot 9{,}81 \cdot (2{,}20 - 1{,}00) \cdot 0{,}000017 = 9{,}41 \cdot 10^{-5} kN \cdot m^2.$$

У исто време, при максималном протицају, у притоци $Q_{1\%} = 26{,}52 m^3 \cdot s^{-1}$ јављају се знатно веће вучне силе, које изазивају промену морфологије протицајних профила. Међутим, ерозионе шкољке у поточном кориту су обрасле вегетацијом.

Вучна сила тока при максималном протицају је дефинисана једначином:

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h_0 \cdot J_0\ , \quad [15]$$

где су:

- τ_0 – вучна сила тока или тангенцијални напон $N \cdot m^2$;
- ρ – густина воде =1,00 t/m^3;;
- h_0 – нормална дубина тока при максималном протицају ($Q_{1\%} = 26{,}52 m^3 \cdot s^{-1}$); h_0=1,45m;
- J_0 – пад дна корита = 0,0005.

Из тога следи:

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h_0 \cdot J_0 = 1{,}0 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}45 \cdot 0{,}0005 = 0{,}0071 kN \cdot m^2 \gg \tau_{cr=} 9{,}41 \cdot 10^{-5} kN \cdot m^2$$

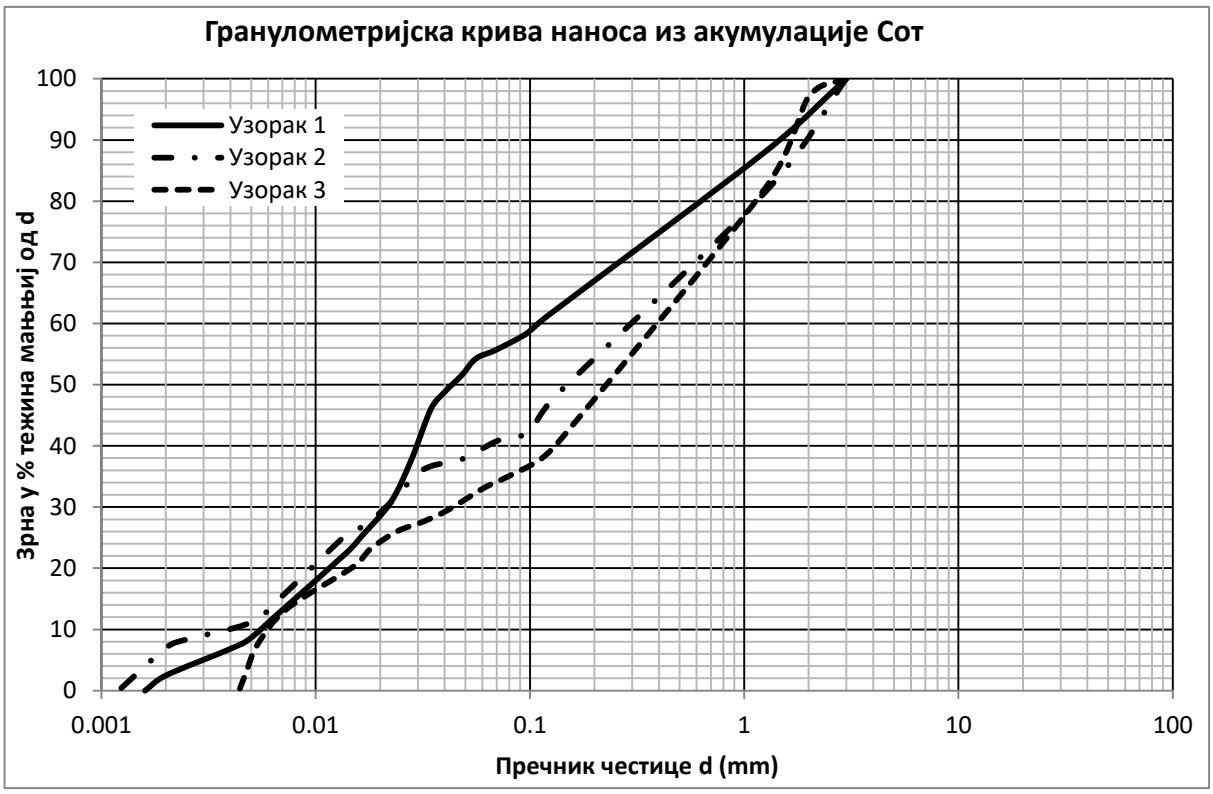
Вучне силе тока су знатно веће од вредности критичних вучних сила за средњи пречник наноса, тако да се могу очекивати значајне морфолошке промене протицајних профила, током појаве максималног протицаја.

Корито у притоци је стабилно, без видљивих трагова ерозије и таложења наноса, обрасло вегетацијом (Слика 81).

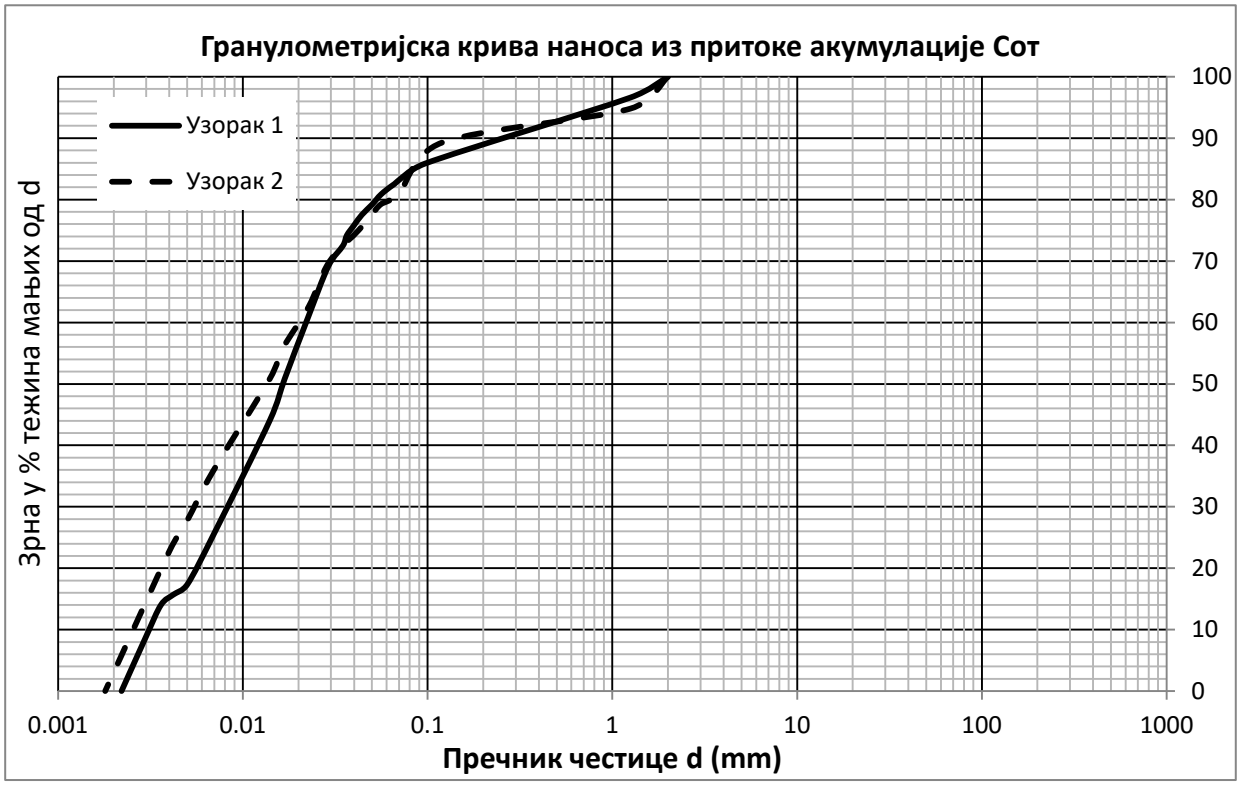
4.10.4. Гранулометријски састав наноса из главне притоке

Средња крупноћа фракција наноса из профила акумулације креће се у дијапазону $d_{sr} = 0{,}045 - 0{,}25\ mm$. Исталожени материјал у профилу акумулације није много ситнији од ерозионог материјала у притокама (Слика 79). Средњи садржај органске материје у акумулацији Сот износи 5,853% (Табела 25).

Из профила акумулације и из главног тока (Слика 81) узети су узорци исталоженог наноса, и на њима је извршена гранулометријска анализа методом седиментације. Овом методом одређиван је пречник фракција наноса исталожених у профилима акумулације. На већем броју узорака одређен је садржај органске материје (Слика 82).



Слика 79. Дијаграм гранулометријског састава материјала из акумулације (извор: оригинал)



Слика 80. Дијаграм гранулометријског састава наноса из притока (извор: оригинал)

4.10.4.1. Карактеристике наноса из акумулације

Слика 81. Узимање узорака наноса из притока (фото: В. Ђековић)

Табела 25. Садржај органске материје у узорцима наноса из профила акумулације Сот (извор: оригинал)

Р.Б.	Координате профила из којих су узети узорци (Lat/Lon)	Маса (gr)			Маса (gr)		Садржај органске материје %
		Празне посуде	Посуде и узорка на 105^0C	Посуде и узорка након жарења на 350^0C	Узорка на 105^0C	Узорка након жарења на 350^0C	
1	7370275,012-5002634,90	105,35	115,46	114,61	10,11	9,26	8,407
2	7370150,8-5002781,88	99,23	109,83	109,33	10,60	10,10	4,717
3	7369964,73-5002859,3	114,00	124,78	124,30	10,78	10,30	4,453
4	7369774,345-5002856,62	100,98	112,44	111,85	11,46	10,87	5,148
5	7369548,21-5002841,44	75,74	86,14	85,46	10,4	9,72	6,538

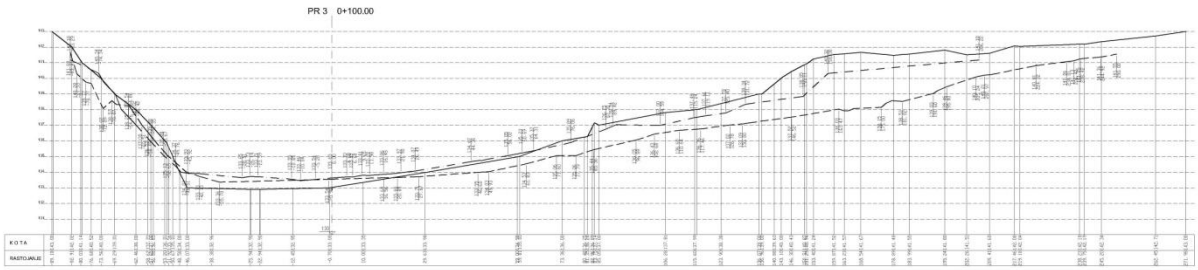
Средњи садржај органске материје је 5,853%.

Слика 82. Узорци наноса из акмулације за одређивање садржаја органске материје (фото: А. Анђелковић)

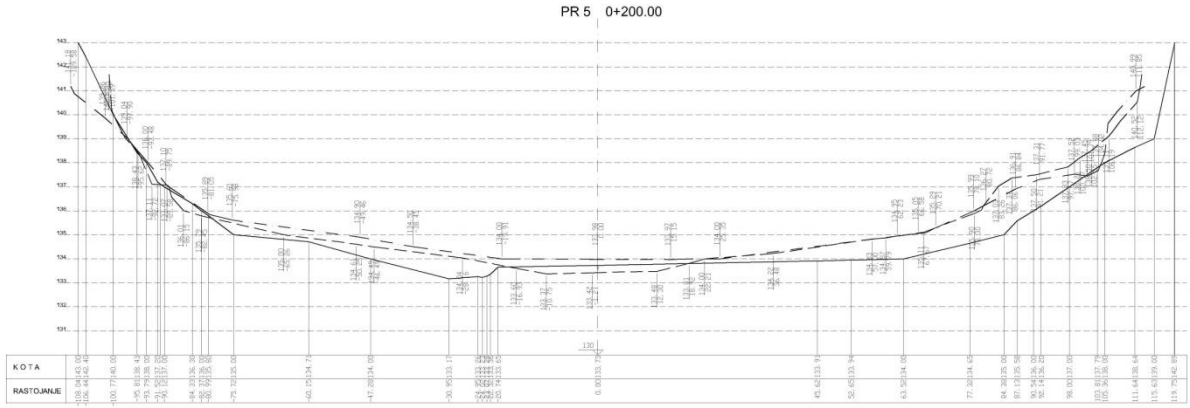
4.10.5. Рекогносцирање слива и идентификација хидролошких, геолошких, геоморфолошких и морфолошких параметара

Контролна снимања конфигурације језерског дна вршена су током 2014. и 2015. године. Нулто или почетно стање је из 1979. године, и преузето је из пројектне документације (Колаковић, 2013). Почетно стање је добијено геодетским снимањем речне долине пре пуњења акумулације, а затим је одређена запремина акумулације до коте максималног успора. Године 2014. извршено је прво снимање Echo-Sonarom. Положаји снимљених тачака дефинисани су преко географских координата геодетским инструментом. Снимања су вршена по унапред задатим реперним профилима, а контрола тачности мерења сонаром вршена је повремено специјалном сондом из чамца. Установљено је да се тачност снимања сонаром креће у границама $\pm$ 2 cm. После снимања акумулације, на основу добијених резултата који су обрађени у програму „AutoCAD – Survey", урађен је дигитални модел акумулације (ДМТ) (Анђелковић et al., 2017). Тај модел је затим преклопљен преко ортофото снимка (Слика 83). ДМТ је послужио за све даље прорачуне карактеристика акумулације (попречних профила-Слике 84, 85 и 86; уздужног профила; линија запремине акумулације итд.).

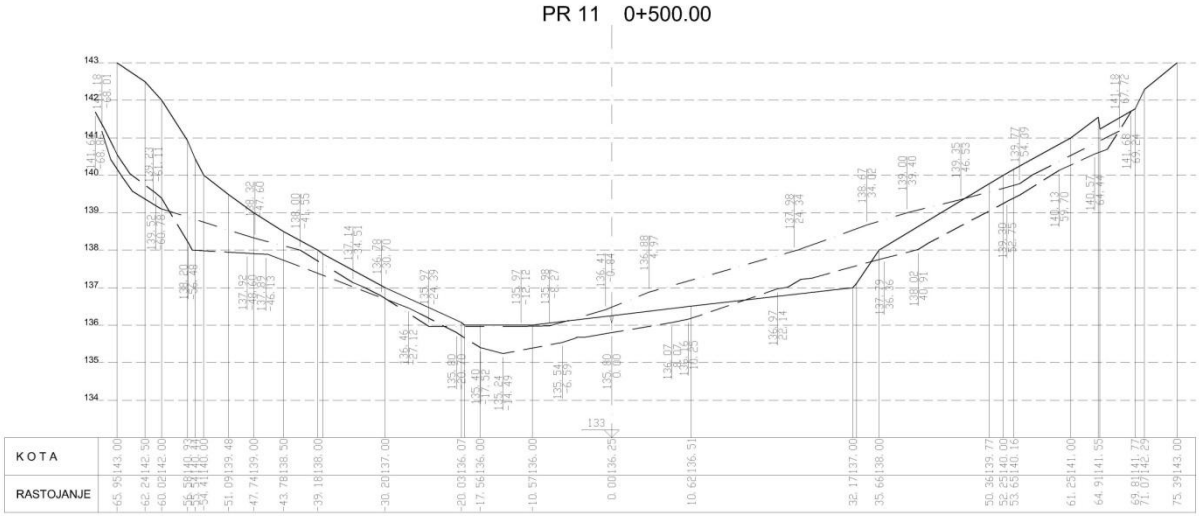
Слика 83. Дигитални модел акумулације Сот (извор: оригинал; 2014. године)



Слика 84. Снимљен попречни профил бр. 3 акумулације Сот (извор: оригинал)

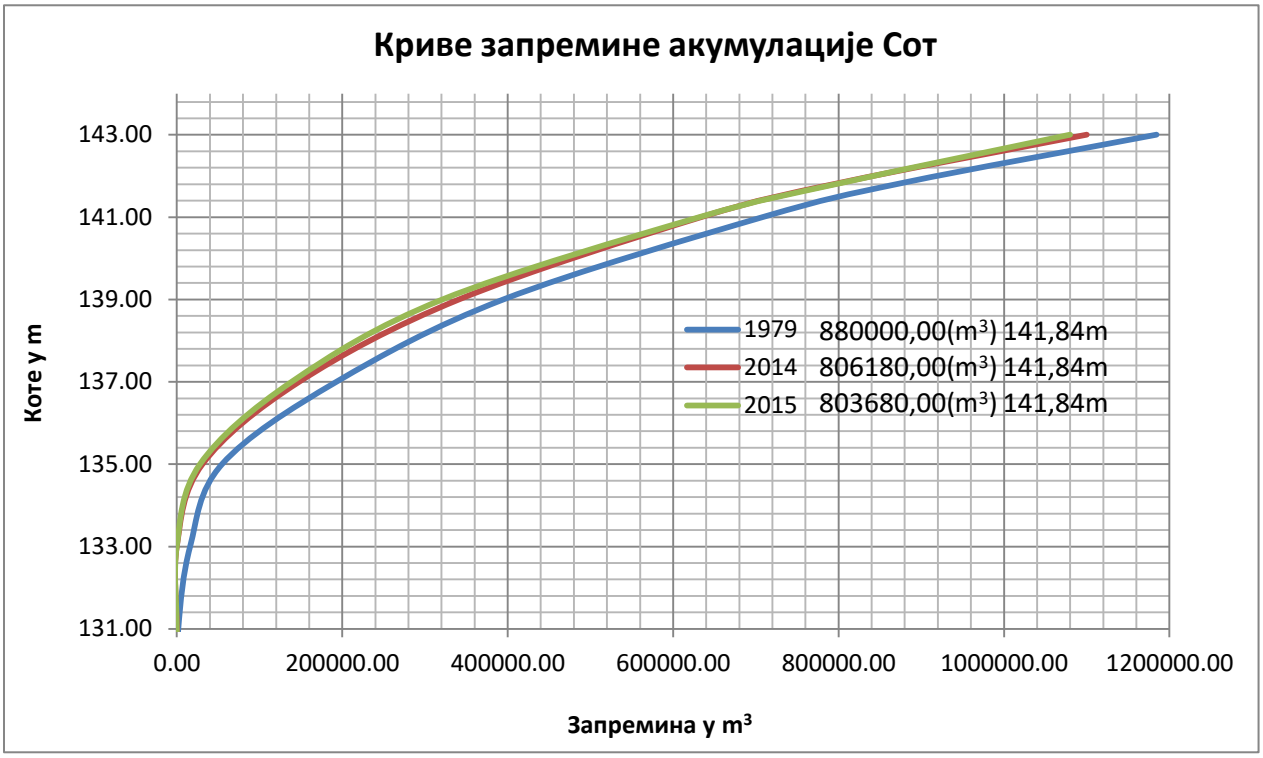


Слика 85. Снимљен попречни профил бр. 5 акумулације Сот (извор: оригинал)



Слика 86. Снимљен попречни профил бр. 11 акумулације Сот (извор: оригинал)

Дигитални модел акумулације урађен је за сваки временски термин током кога је обављено снимање. Попречни профили су конструисани помоћу ДМТ и нацртани у програму „AutoCed – map 3D". Профили су преклопљени и на њима се могу запазити различите фазе седиментације, морфолошког обликовања обала и дна акумулације.



Слика 87. Криве запремине акумулације Сот (извор: оригинал)

На основу промене запремине акумулације, услед таложења наноса у временском интервалу између два мерења, одређен је интензитет засипања и губљења корисне запремине акумулације (Слика 87).

Нулта (почетна) запремина акумулације, до коте круне прелива (141,84 m), износила је 1979. године $W_0 = 880.000,00$ m^3. Прво контролно снимање извршено је 03.07.2014. године, после 35 година. Измерена је запремина акумулације $W_1 = 806.180,00$m^3, а 30.10.2015. године извршено је друго контролно снимање: запремина акумулације износила је $W_2 = 803.680,00$m^3.

Интензитет засипања у периоду од 1979. до 2014. године износио је:

$$i = \frac{880.000,00 - 806.180,00}{35} = 2109,14 m^3/god.$$

Интензитет засипања у периоду од 2014. до 2015. године износио је:

$$i = \frac{806.180,00 - 803.680,00}{1,5} = 1666,67 m^3/god.$$

На основу тога може се закључити да је у периоду од 2014. до 2015. године, дошло до смањења интензитета засипања наноса акумулације. Маја 2014. године јавиле су се интензивне падавине и површински отицаји на сливу акумулације Сот, што је условило продукцију, транспорт и таложење великих количина наноса. У просеку је интензитет засипања, у периоду од 1979. година до маја 2014. године, био 1.26 пута већи него у периоду од 03.07.2014. године до 30.10.2015. Под утицајем појачаних падавина у сливу акумулације Сот 2014. године дошло је до спирања наноса са долинских страна директно у профил акумулације. У тим процесима дошло је до смањења пада и дубине језера према обалама, што је евидентирано током снимања.

4.11. Статистичка обрада података

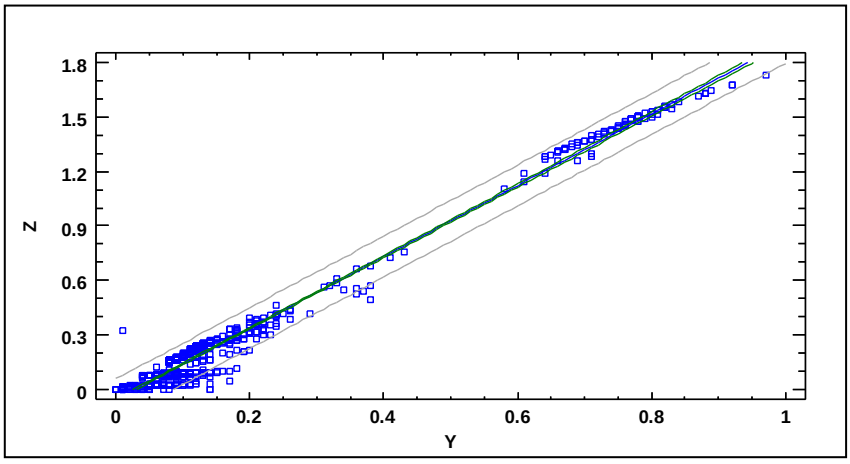
4.11.1. Корелациона анализа утицајних фактора на засипање акумулација

Истраживања интензитета засипања акумулација наносом ограничена су на четири акумулације на различитим локалитетима, на административном подручју града Београда и подручја Фрушке горе. За све сливове коришћена је иста методологија и тумачења су дата у претежно истом облику.

4.11.1.1. Анализа зависности коефицијента ерозије Z од обједињеног коефицијента педолошке и геолошке структуре сливова

Поређењем резултата за коефцијент ерозије „Z" на основу теоријског рачунања који је дат у поглављу „Резултати" и резултата добијених овом статистичком методом, није се наишло на већа одступања у односу на степен заступљене ерозије на сливовима. У оба случаја добијени су слични коефицијенти ерозије.

Анализирани коефицијент „Y" добијен је обједињавањем вредности отпора земљишта са педолошких и геолошких подлога (Табела 3). Анализирана је јачина везе између ових параметара на моделима који су обухватали све анализиране сливове. У неким моделима су приказане јачине веза између ова два коефицијента за све тачке на сливном подручју, без обзира на начин коришћења простора на сливовима, док је у другим моделима ова анализа рађена засебно за доминантне начине коришћења простора.



Слика 88. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y

На дијаграму на Слици 88 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента ерозије Z и коефицијента Y на свим тачкама у анализираним сливним подручјима. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе Z= – 0.0551194+1.96507·Y. Коефицијент корелације је врло висок, износи **R = 0.992,** што указује да је коефицијент ерозије Z снажно повезан и зависан од коефицијента отпора земљишта Y. Сви остали параметри модела дати су табеларно у оригиналном излазном фајлу програма **Statgraphics,** у коме је рађена анализа (Табела 26**)**. Увидевши да је веза између коефицијента Y и коефицијента Z велика, анализа је проширена на сваки појединачни слив, а додатно и на значајне чиниоце коришћења простора на сливу.

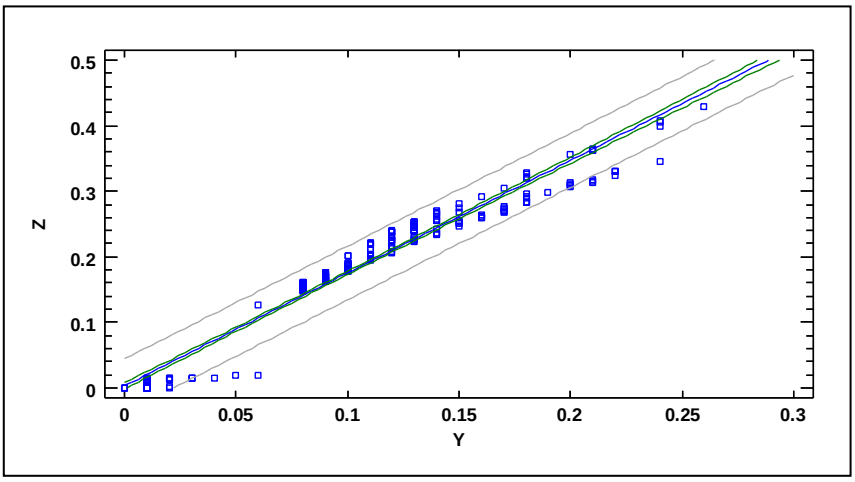
Табела 26. Параметри модела линеарне функције за све анализиране сливове

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estumate*	*Error*	*Statustuc*	*P-Value*
Intercept	-0.0551194	0.00293984	-18.7491	0.0000
Slope	1.96507	0.0101169	194.236	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	123.743	1	123.743	37727.77	0.0000
Residual	2.11225	644	0.0032799		
Total (Corr.)	125.855	645			

Correlation Coefficient = **0.991573** R-squared = 98.3217 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 98.3191 percent Standard Error of Est. = 0.0572704 Mean absolute error = 0.0447949 Durbin-Watson statistic = 0.917664 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.529609 Linear model: Y = a + b*X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **Y**

Анализом појединачних сливова потврђује се снага везе између ова два коефицијента.



Слика 89. Линеарни модел који приказује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y за слив акумулације Љуково

На дијаграму на Слици 89 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y на свим тачкама у сливном подручју акумулације Љуково. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y= a+ b·X, а једначина везе гласи Z= 0.00338568+1.72049·Y. Коефицијент корелације је врло висок, износи **R = 0.980,** што указује да је коефицијент ерозије Z снажно повезан и зависан од коефицијента отпора земљишта Y. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 27.

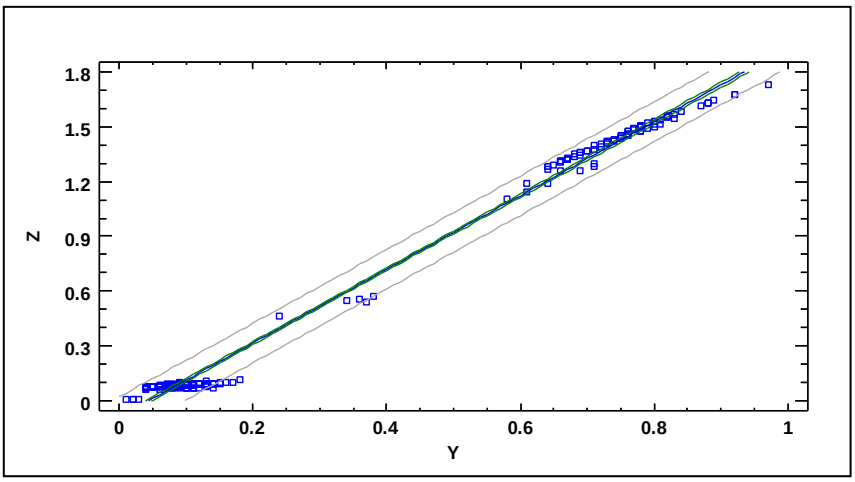
Табела 27. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Љуково

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estumate*	*Error*	*Statustuc*	*P-Value*
Intercept	0.00338568	0.00249717	1.35581	0.1763
Slope	1.72049	0.0212196	81.0799	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	2.84786	1	2.84786	6573.96	0.0000
Residual	0.117398	271	0.000433204		
Total (Corr.)	2.96526	272			

Correlation Coefficient = **0.980004** R-squared = 96.0409 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 96.0263 percent Standard Error of Est. = 0.0208135 Mean absolute error = 0.0166923 Durbin-Watson statistic = 1.29046 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.352339 Linear model: Y = a + b*X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **Y**

Поређењем коефицијента корелације који је добијен за сва сливна подручја и коефицијента корелације за слив акумулације Љуково, види се да нема великих одступања, да су у оба случаја везе врло јаке. Параметри коришћени у моделу акумулације Љуково су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0% и дају корелациону везу која се уклапа у просек за сва четири анализирана слива.



Слика 90. Линеарни модел који приказује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y, за слив акумулације Сот

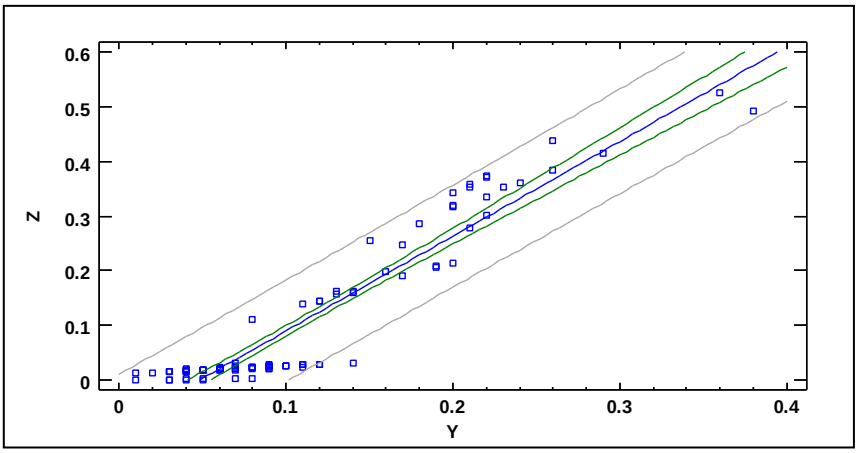
На дијаграму на Слици 90 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента ерозије Z и коефицијента Y на свим тачкама у сливном подручју акумулације Сот. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z = –0.0885617+2.02047·Y. Коефицијент корелације је врло висок, износи **R = 0.996,** што указује да је коефицијент ерозије Z снажно повезан и зависан од коефицијента отпора земљишта Y. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 28.

Табела 28. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Сот

Coefficients					
	Least Squares	*Standard*	*T*		
Parameter	*Estumate*	*Error*	*Statustuc*		*P-Value*
Intercept	-0.0885617	0.00546786	-16.1968		0.0000
Slope	2.02047	0.0116287	173.749		0.0000
Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	90.436	1	90.436	30188.70	0.0000
Residual	0.629095	210	0.00299569		
Total (Corr.)	91.0651	211			

Correlation Coefficient = **0.99654** R-squared = 99.3092 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 99.3059 percent Standard Error of Est. = 0.0547329 Mean absolute error = 0.0444561 Durbin-Watson statistic = 1.22733 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.3833 Linear model: Y = a + b*X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **Y**

Анализирани параметри на сливном подручју акумулације Сот показују значајну сигнификантност на нивоу поузданости од 95.0% и дају јаку корелациону везу, већу него у претходно анализираном случају акумулације Љуково.



Слика 91. Линеарни модел који приказује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y, за слив акумулације Дубоки поток

На дијаграму на Слици 91 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y на свим тачкама у сливном подручју акумулације Дубоки поток. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+ b·X, а једначина везе гласи Z=–0.0838486+1.73408·Y. Коефицијент корелације је врло висок, износи **R = 0.944,** што указује да је коефицијент ерозије Z снажно повезан и зависан од коефицијента отпора земљишта Y. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 29.

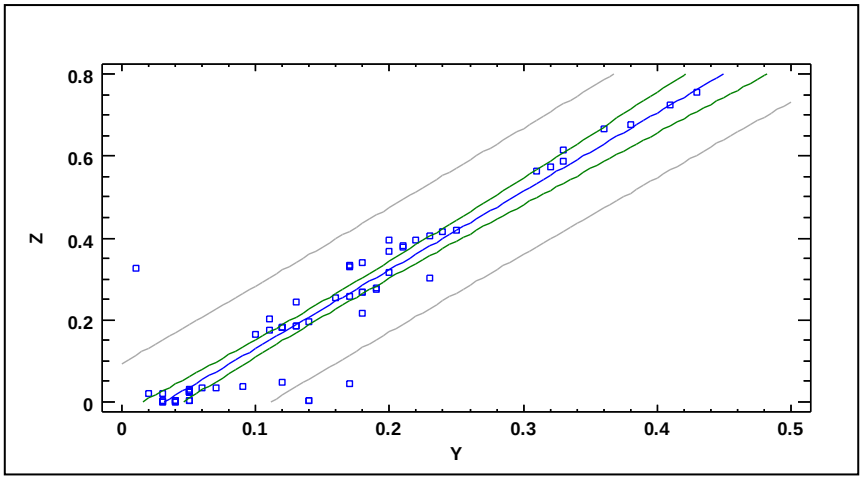
Табела 29. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Дубоки поток

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statustuc*	*P-Value*
Intercept	-0.0838486	0.00833143	-10.0641	0.0000
Slope	1.73408	0.0620261	27.9573	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	1.69346	1	1.69346	781.61	0.0000
Residual	0.205829	95	0.00216662		

Total (Corr.)	1.89929	96			
Correlation Coefficient = **0.944261** R-squared = 89.1628 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 89.0488 percent Standard Error of Est. = 0.0465469 Mean absolute error = 0.036848 Durbin-Watson statistic = 1.60657 (P=0.0202) Lag 1 residual autocorrelation = 0.179162 Linear model: Y = a + b*X			Dependent variable: **Z** Independent variable: **Y**		

Исто као и у претходна три случаја, параметри који су коришћени за анализу модела акумулације Дубоки поток су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Корелациона веза је врло јака.



Слика 92. Линеарни модел који приказује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y, за слив акумулације Ресник

На дијаграму на Слици 92 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и коефицијента Y на свим тачкама у сливном подручју акумулације Дубоки поток. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+ b·X, а једначина везе гласи Z=–0.0606988+1.91507·Y. Коефицијент корелације је врло висок, **R = 0.935,** што указује да је коефицијент ерозије Z чврсто повезан и зависан од коефицијента отпора земљишта Y. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 30.

Табела 30. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Ресник

Coefficients					
	Least Squares	*Standard*	*T*		
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statustuc*		*P-Value*
Intercept	-0.0606988	0.016817	-3.60937		0.0006
Slope	1.91507	0.0918361	20.8531		0.0000
Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	2.46789	1	2.46789	434.85	0.0000
Residual	0.351865	62	0.00567524		
Total (Corr.)	2.81976	63			

Correlation Coefficient = **0.935529**
R-squared = 87.5215 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 87.3202 percent
Standard Error of Est. = 0.0753342
Mean absolute error = 0.0418804
Durbin-Watson statistic = 0.842663 (P=0.0000)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.325421
Linear model: Y = a + b*X

Dependent variable: **Z**
Independent variable: **Y**

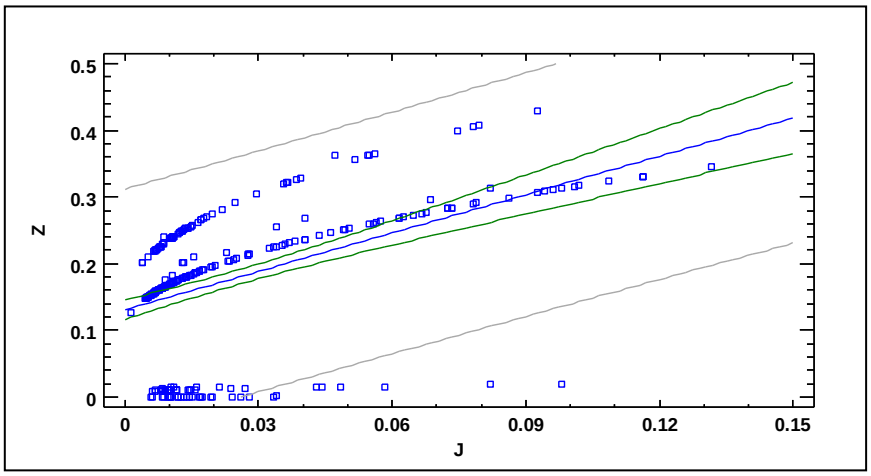
Као и у претходна четири случаја, параметри који су коришћени за анализу модела акумулације Ресник су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Корелациона веза је врло јака са коефицијентом корелације R = 0.935, што недвосмислено указује на повезаност коефицијента отпора земљишта Y и коефицијента ерозије Z.

4.11.1.2. Анализа зависности коефицијента ерозије Z од карактеристичних падова на сливном подручју

Циљ ове анализе био је да се утврди чврстина везе између карактеристичних падова на сливу и коефицијента ерозије **Z**. Анализом је обухваћена продукција ерозионог материјала по тачкама (пикселима), на сливним подручјима, у размацима од по 250 m, са карактеристичним падовима, за све тачке на сливном подручју, без обзира на начин коришћења простора на сливу.

Даљом анализом у обраду је укључен и фактор коришћења простора на сливном подручју, коефицијенти *X* и *a*, тако што су корелисани коефицијент **Z** и карактеристични падови само са површина које представљју доминантне форме коришћења простора на сливу (површине под ораницама, високом и ниском вегетацијом, као и урбанизоване површине).

4.11.1.2.1. Анализа слива акумулације Љуково



Слика 93. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за слив акумулације Љуково

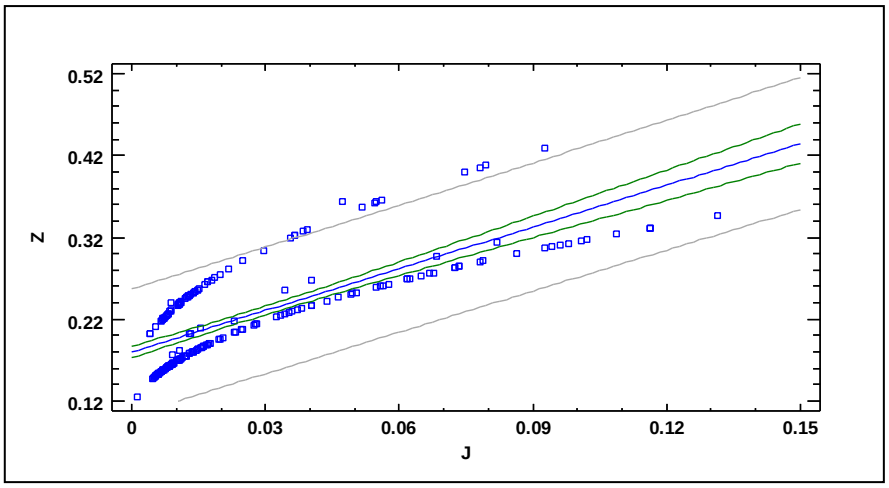
На дијаграму на Слици 93 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, на свим тачкама у сливном подручју акумулације Љуково. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.130712+1.92159·J. Коефицијент корелације је релативно слаб, износи **R=0.482,** што указује на то да се резултат не прилагођава линеарном моделу да би описао везу између параметара пада J и коефицијента ерозије Z. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 31.

Табела 31. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Љуково

Coefficients					
	Least Squares	*Standard*	*T*		
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statustuc*		*P-Value*
Intercept	0.130712	0.00763589	17.1182		0.0000
Slope	1.92159	0.212288	9.05178		0.0000
Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	0.688392	1	0.688392	81.93	0.0000
Residual	2.27687	271	0.00840172		
Total (Corr.)	2.96526	272			

Correlation Coefficient = **0.481822** R-squared = 23.2152 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 22.9319 percent Standard Error of Est. = 0.0916609 Mean absolute error = 0.0691858 Durbin-Watson statistic = 0.150926 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.917861 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%.



Слика 94. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова (J), за тачке на ораницама сливног подручја акумулације Љуково

На дијаграму на Слици 94, приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J за тачке на ораницама у сливном подручју акумулације Љуково. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.179707+1.69947· J. Коефицијент корелације износи **R = 0.772** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као оранице има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 32.

Табела 32. Параметри модела линеарне функције за тачке на ораницама анализираног слива акумулације Љуково.

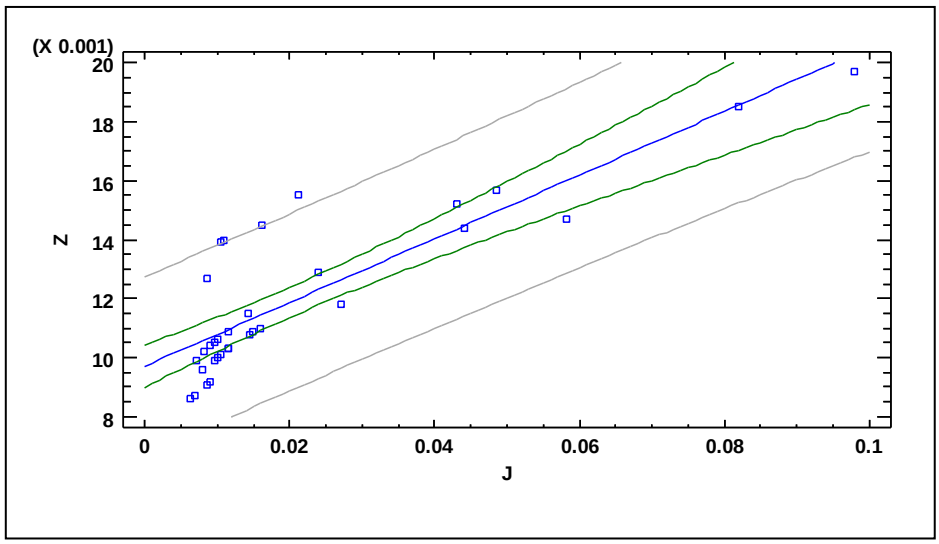
Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statustuc*	*P-Value*
Intercept	0.179707	0.00367359	48.9186	0.0000
Slope	1.69947	0.0959937	17.704	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratuo*	*P-Value*
Model	0.480675	1	0.480675	313.43	0.0000
Residual	0.326655	213	0.00153359		
Total (Corr.)	0.80733	214			

Correlation Coefficient = **0.771614** R-squared = 59.5389 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 59.3489 percent Standard Error of Est. = 0.0391611 Mean absolute error = 0.0336676 Durbin-Watson statistic = 0.589386 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.70235 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Корелациони коефицијент је значајно већи, тумачи се као *умерено јака веза* између променљивих, у поређењу са претходним моделом.

Намеће се закључак да су корелационе везе јаче када се посматрају падови са обрадивих површина које служе у пољопривредне сврхе, у односу на коефицијент ерозије на сливу, него када се посматра само пад, без обзира на начин коришћења површинског слоја земљишта и његов утицај на коефицијент ерозије.



Слика 95. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумама на сливном подручју акумулације Љуково

На дијаграму на Слици 95 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумом у сливном подручју акумулације Љуково. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.0097141+0.107934·J. Коефицијент корелације износи **R=0.859** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као шуме има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 33.

Табела 33. Параметри модела линеарне функције за тачке на површинама под шумом анализираног слива акумулације Љуково

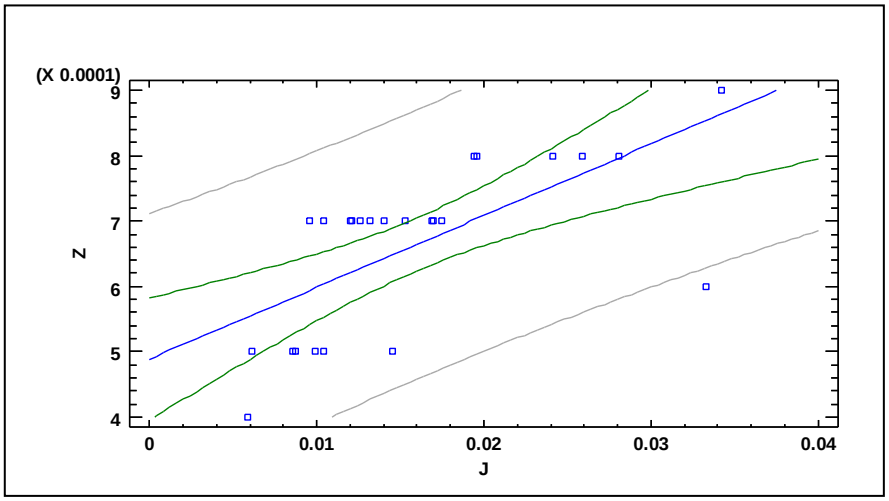
Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.0097141	0.000351697	27.6206	0.0000
Slope	0.107934	0.0115719	9.32723	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.000182669	1	0.000182669	87.00	0.0000
Residual	0.000065091	31	0.00000209971		
Total (Corr.)	0.00024776	32			

Correlation Coefficient = **0.858651**
R-squared = 73.7282 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 72.8807 percent
Standard Error of Est. = 0.00144904
Mean absolute error = 0.00104304
Durbin-Watson statistic = 0.927431 (P=0.0004)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.456672
Linear model: Y = a + b·X

Dependent variable: **Z**
Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Из приложеног модела се види колико је значајна улога шуме у спречавању настанка ерозионог материјала. То се посебно огледа у смањеном коефицијенту ерозије, и у јачини веза између ове две променљиве.



Слика 96. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама које имају карактер урбаних средина, на сливном подручју акумулације Љуково

На дијаграму на Слици 96 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама које имају карактер урбаних средина у сливном подручју акумулације Љуково. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.000488794+0.0109695·J. Коефицијент корелације износи **R = 0.668** (умерено јака веза),

што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као урбанизоване површине има значајну улогу у добијању ерозионог материјала. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 34.

Табела 34. Параметри модела линеарне функције за тачке на урбанизованим површинама анализираног слива акумулације Љуково.

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.000488794	0.0000451332	10.83	0.0000
Slope	0.0109695	0.00254652	4.30766	0.0003

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	1.7754E-7	1	1.7754E-7	18.56	0.0003
Residual	2.2006E-7	23	9.56783E-9		
Total (Corr.)	3.976E-7	24			

Correlation Coefficient = **0.668228** R-squared = 44.6529 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 42.2465 percent Standard Error of Est. = 0.0000978153 Mean absolute error = 0.0000783031 Durbin-Watson statistic = 0.548992 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.701437 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Смањена количина ерозионог материјала, коефицијента ерозије, везана је за начин употребе земљишта на овим површинама (стамбени објекти, бетониране и асфалтиране окућнице, асфалтиране улице и др.) На оваквим теренима веза између пада и коефицијента ерозије је умерено значајна управо из горе наведених разлога.

4.11.1.2.2. Анализа слива акумулације Сот

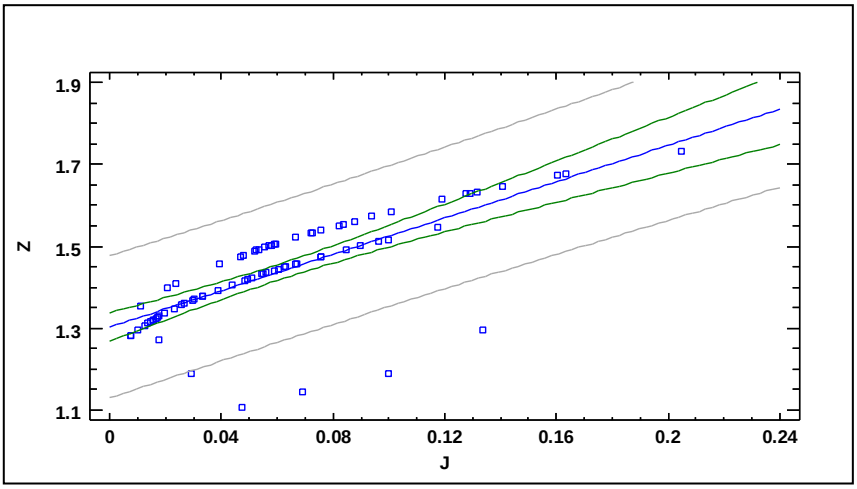
У Табели 35, приказани су параметри линеарног модела слива акумулације Сот, за параметре пада и коефицијента ерозије, за све тачке које припадају сливном подручју. Коефицијент корелације износи R=–0.204, што показује веома слабу повезаност параметара, тако да се не може формирати одговарајућа регресиона зависност. Параметри су несигнификантни на датом нивоу значајности. Једначина везе је Z=0.800974–2.44384·J, што указује на то да се резултат не прилагођава линеарном моделу да би описао везу између параметара пада J и коефицијента Z.

Табела 35. Параметри модела линеарне функције за анализиран слив акумулације Сот

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.800974	0.0795412	10.0699	0.0000
Slope	-2.44384	0.808966	-3.02094	0.0028

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	3.79265	1	3.79265	9.13	0.0028
Residual	87.2724	210	0.415583		
Total (Corr.)	91.0651	211			

Correlation Coefficient = **-0.204078** R-squared = 4.16477 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 3.70841 percent Standard Error of Est. = 0.644657 Mean absolute error = 0.599549 Durbin-Watson statistic = 0.100809 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.944065 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**



Слика 97. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на ораницама сливног подручја акумулације Сот

На дијаграму на Слици 97 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J за тачке на ораницама у сливном подручју акумулације Сот. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.179707+1.69947·J. Коефицијент корелације износи **R=0.733** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као оранице има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 36.

Табела 36. Параметри модела линеарне функције за тачке на ораницама анализираног слива акумулације Сот

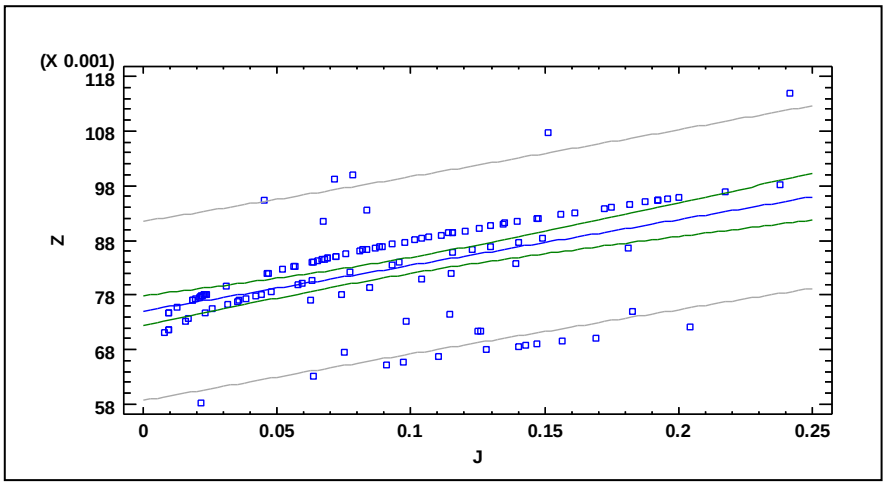
Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	1.30291	0.017525	74.3455	0.0000
Slope	2.21672	0.237508	9.33323	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.634749	1	0.634749	87.11	0.0000
Residual	0.546512	75	0.00728682		
Total (Corr.)	1.18126	76			

Correlation Coefficient = 0.733041
R-squared = 53.7349 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 53.118 percent
Standard Error of Est. = 0.0853629
Mean absolute error = 0.047859
Durbin-Watson statistic = 1.14216 (P=0.0000)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.428611
Linear model: Y = a + b·X

Dependent variable: **Z**
Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Корелациони коефицијент је значајно већи, тумачи се као умерено јака веза између промењљивих, у поређењу са претходним моделом.



Слика 98. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумама на сливном подручју акумулације Сот.

На дијаграму на Слици 98 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J за тачке на површинама под шумом у сливном подручју акумулације Сот. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0. 0750719+0.0835012·J. Коефицијент корелације износи **R=0.509** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као шуме има значајну улогу у добијању ерозионог наноса.

Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 37.

Табела 37. Параметри модела линеарне функције за тачке на површинама под шумом анализираног слива акумулације Сот

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.0750719	0.00140209	53.5428	0.0000
Slope	0.0835012	0.0128478	6.49925	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.00281815	1	0.00281815	42.24	0.0000
Residual	0.00807278	121	0.0000667172		
Total (Corr.)	0.0108909	122			

Correlation Coefficient = 0.508686 R-squared = 25.8761 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 25.2635 percent Standard Error of Est. = 0.00816806 Mean absolute error = 0.00566586 Durbin-Watson statistic = 1.0781 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.459807 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. На линеарном моделу се може види колико је значајна улога шуме у настанку ерозионог материјала. То се посебно огледа у смањеном коефицијенту ерозије, и у јачини веза између ове две променљиве, као и код слива акумулације Љуково.

Статистичка анализа променљивих за површине које имају карактер урбанизованих површина није рађена, због малог броја тачака које су припале тим површинама.

4.11.1.2.3. Анализа слива акумулације Дубоки поток

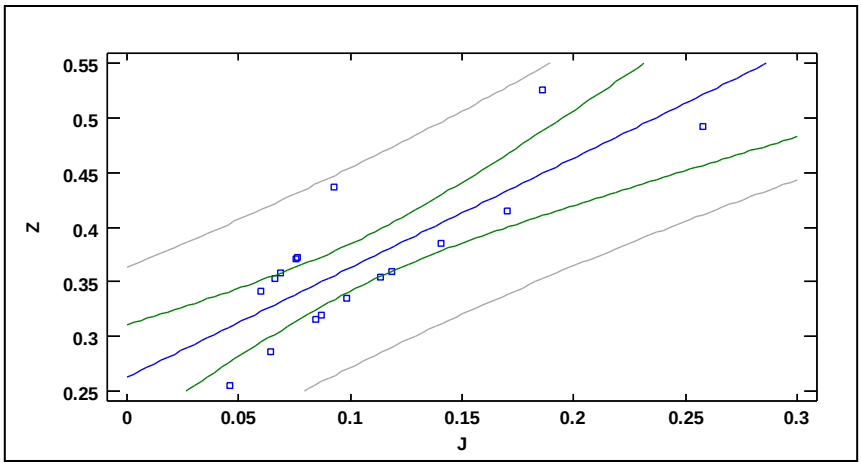
У Табели 38 приказани су параметри линеарног модела слива акумулације Дубоки поток, за параметре пада и коефицијента ерозије, за све тачке које припадају сливном подручју. Коефицијент корелације износи **R= –0.089**, што показује веома слабу повезаност параметара. Параметари су несигнификантни на датом нивоу значајности, тако да се не може формирати одговарајућа регресиона зависност. Једначина везе је Z=0.0802516+0.245445·J. Ово указује на то да се резултат не прилагођава линеарном моделу да би описао везу између параметара пада J и коефицијента Z.

Табела 38. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Дубоки поток

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.0802516	0.0350044	2.29262	0.0241
Slope	0.245445	0.282885	0.867648	0.3878

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.0149323	1	0.0149323	0.75	0.3878
Residual	1.88435	95	0.0198353		
Total (Corr.)	1.89929	96			

Correlation Coefficient = **0.0886682** R-squared = 0.786205 percent R-squared (adjusted for d.f.) = -0.258151 percent Standard Error of Est. = 0.140838 Mean absolute error = 0.118267 Durbin-Watson statistic = 0.0771777 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.943034 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**



Слика 99. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на ораницама сливног подручја акумулације Дубоки поток

На дијаграму на Слици 99 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на ораницама у сливном подручју акумулације Дубоки поток. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.26271+1.00318·J. Коефицијент корелације износи **R=0.807** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као оранице има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 39.

Табела 39. Параметри модела линеарне функције за тачке на ораницама анализираног слива акумулације Дубоки поток

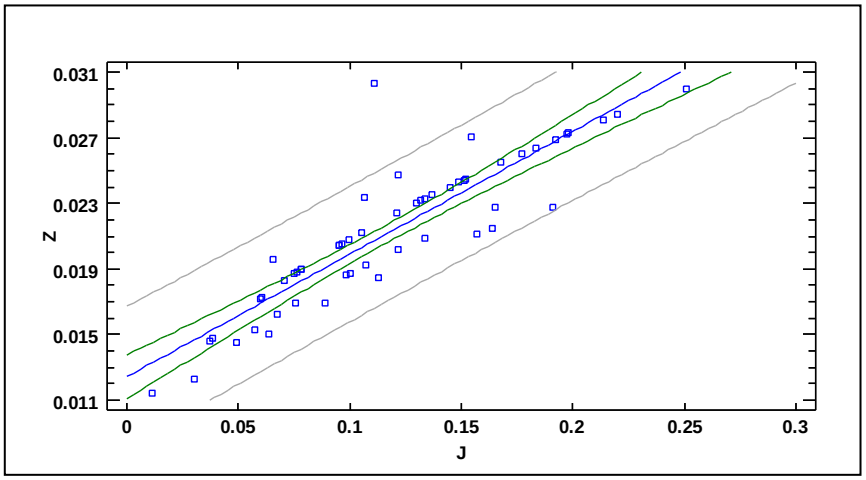
Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.26271	0.0225101	11.6708	0.0000
Slope	1.00318	0.189374	5.29733	0.0001

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.0487045	1	0.0487045	28.06	0.0001
Residual	0.0260344	15	0.00173562		
Total (Corr.)	0.0747389	16			

Correlation Coefficient = **0.807256**
R-squared = 65.1662 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 62.844 percent
Standard Error of Est. = 0.0416608
Mean absolute error = 0.0345582
Durbin-Watson statistic = 1.786 (P=0.3326)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.0904856
Linear model: Y = a + b·X

Dependent variable: **Z**
Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Корелациони коефицијент је значајно већи, тумачи се као умерено јака веза између променљивих, у поређењу са претходним моделом. Овде се показало да су падови на ораничним површинама у јакој вези са коефицијентом ерозије, што се могло и претпоставити.



Слика 100. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумама на сливном подручју акумулације Дубоки поток

На дијаграму на Слици 100 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумом у сливном подручју акумулације Дубоки поток. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.0124243+0.0748223·J. Коефицијент

корелације износи **R=0.892** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као шуме има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Приметно је да је количина продукованог наноса значајно мања него на површинама под ораницама, што је очекивано. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 40.

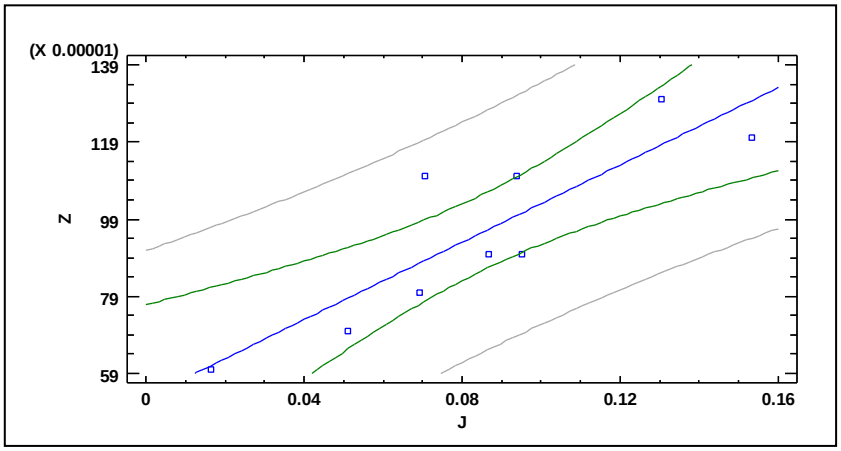
Табела 40. Параметри модела линеарне функције за тачке на површинама под шумом анализираног слива акумулације Дубоки поток

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.0124243	0.000670883	18.5193	0.0000
Slope	0.0748223	0.00520392	14.3781	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.000858899	1	0.000858899	206.73	0.0000
Residual	0.0002202	53	0.00000415472		
Total (Corr.)	0.0010791	54			

Correlation Coefficient = **0.892155** R-squared = 79.5941 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 79.2091 percent Standard Error of Est. = 0.00203831 Mean absolute error = 0.00138742 Durbin-Watson statistic = 1.87029 (P=0.3116) Lag 1 residual autocorrelation = 0.0598851 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%.



Слика 101. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама које имају карактер урбанизованих средина, на сливном подручју акумулације Дубоки поток

На дијаграму на Слици 101 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента *Z* и карактеристичних падова J, за тачке на површинама које имају

карактер урбанизованих средина у сливном подручју акумулације Дубоки поток. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи *Z*=0.000528188+0.00501736·J. Коефицијент корелације износи **R=0.868** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као урбане површине има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 41.

Табела 41. Параметри модела линеарне функције за тачке на урбанизованим површинама анализираног слива акумулације Дубоки поток

Coefficients					
	Least Squares	*Standard*		*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*		*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.000528188	0.000101414		5.20825	0.0012
Slope	0.00501736	0.00108569		4.62134	0.0024
Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	3.33058E-7	1	3.33058E-7	21.36	0.0024
Residual	1.09165E-7	7	1.55949E-8		
Total (Corr.)	4.42222E-7	8			
Correlation Coefficient = 0.86784 R-squared = 75.3146 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 71.7881 percent Standard Error of Est. = 0.00012488 Mean absolute error = 0.0000970712 Durbin-Watson statistic = 1.43115 (P=0.1999) Lag 1 residual autocorrelation = 0.250773 Linear model: Y = a + b·X			Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**		

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Смањена количина ерозионог материјала, коефицијента ерозије, везана је за начин употребе земљишта на овим површинама (стамбени објекти, бетониране и асфалтиране окућнице, асфалтиране улице и др.) На оваквим теренима веза између пада и коефицијента ерозије је умерено значајна управо из горе наведених разлога.

4.11.1.2.4. Анализа слива акумулације Ресник

Као што је био случај у претходним примерима, и код слива акумулације Ресник приметно је одсуство јаке везе између пада и коефицијента ерозије, ако се за променљиве користе тачке са свих површина. У Табели 42, приказани су параметри линеарног модела слива акумулације Ресник, за параметре пада и коефицијента ерозије, за све тачке које припадају сливном подручју. Коефицијент корелације износи **R=–0.266,** што показује веома слабу повезаност параметара. Параметари су несигнификантни на датом нивоу значајности, тако да се не може формирати одговарајућа регресиона зависност. Једначина

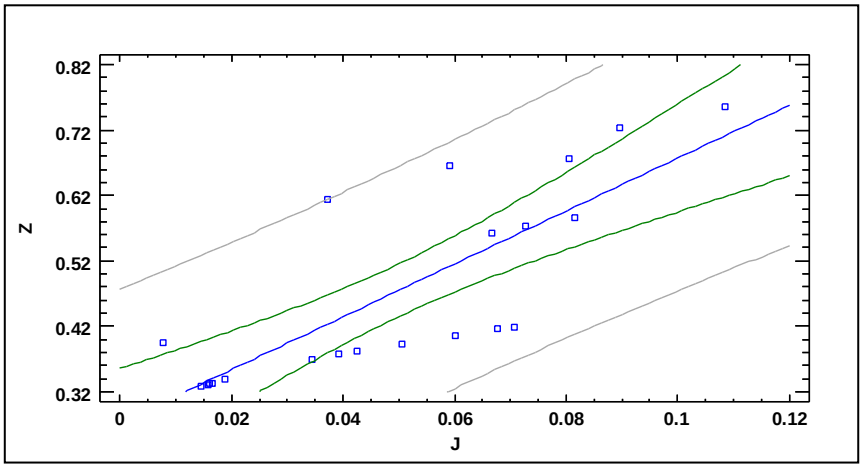
везе је Z=0.307622–0.98002·J. Ово указује на то да се резултат не прилагођава линеарном моделу да би описао везу између параметара пада J и коефицијента Z.

Табела 42. Параметри модела линеарне функције за анализирани слив акумулације Ресник

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.307622	0.0439993	6.99152	0.0000
Slope	-0.98002	0.450109	-2.1773	0.0333

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.200289	1	0.200289	4.74	0.0333
Residual	2.61947	62	0.0422495		
Total (Corr.)	2.81976	63			

Correlation Coefficient = -0.266515 R-squared = 7.10305 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 5.60471 percent Standard Error of Est. = 0.205547 Mean absolute error = 0.160511 Durbin-Watson statistic = 0.476171 (P=0.0000) Lag 1 residual autocorrelation = 0.761515 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**



Слика 102. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на ораницама сливног подручја акумулације Ресник

На дијаграму на Слици 102, приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на ораницама у сливном подручју акумулације Ресник. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.273016+4.03996·J. Коефицијент корелације износи **R=0.804** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на површинама које се користе као оранице има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 43.

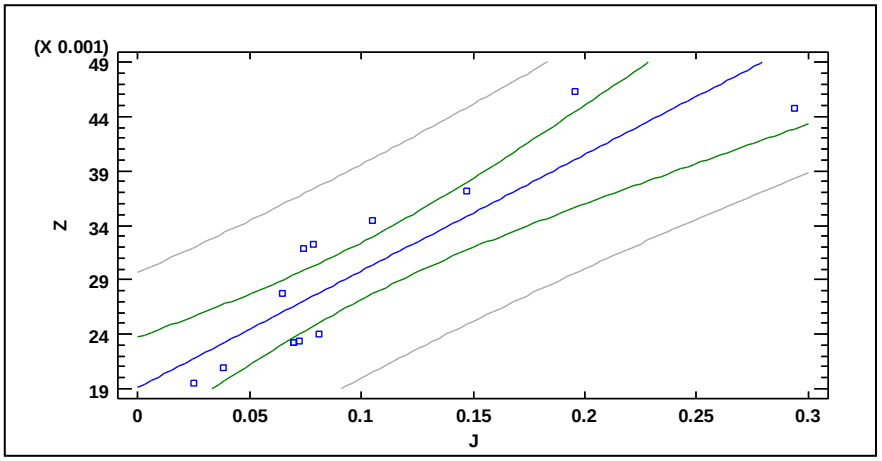
Табела 43. Параметри модела линеарне функције за тачке на ораницама анализираног слива акумулације Ресник

Coefficients				
	Least Squares	*Standard*	*T*	
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*	*P-Value*
Intercept	0.273016	0.0393463	6.9388	0.0000
Slope	4.03996	0.685222	5.89584	0.0000

Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.272911	1	0.272911	34.76	0.0000
Residual	0.149171	19	0.00785109		
Total (Corr.)	0.422081	20			

Correlation Coefficient = 0.804104 R-squared = 64.6583 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 62.7982 percent Standard Error of Est. = 0.0886064 Mean absolute error = 0.0639815 Durbin-Watson statistic = 1.62855 (P=0.1952) Lag 1 residual autocorrelation = 0.172327 Linear model: Y = a + b·X	Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**

Овде се показало да су падови на ораничним површинама у јакој вези са коефицијентом ерозије. Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Корелациони коефицијент је значајно већи, тумачи се као умерено јака веза између промењљивих, у поређењу са претходним моделом.



Слика 103. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумама на сливном подручју акумулације Ресник

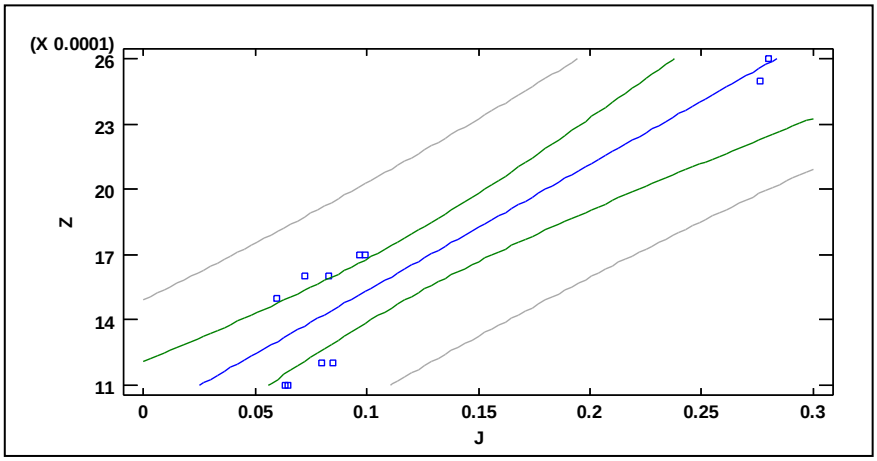
На дијаграму на Слици 103 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента Z и карактеристичних падова J, за тачке на површинама под шумом у сливном подручју акумулације Ресник. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи Z=0.0191111+0.106903·J. Коефицијент корелације износи **R=0.885** (умерено јака веза), што указује на то да карактеристичан пад са слива на

површинама које се користе као шуме има значајну улогу у добијању ерозионог наноса. Приметно је да је коефицијент ерозије значајно мањи него на површинама под ораницама, што је очекивано. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 44.

Табела 44. Параметри модела линеарне функције за тачке на површинама под шумом анализираног слива акумулације Ресник

Coefficients					
	Least Squares	*Standard*	*T*		
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*		*P-Value*
Intercept	0.0191111	0.00209168	9.13673		0.0000
Slope	0.106903	0.0169968	6.28959		0.0001
Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.000730278	1	0.000730278	39.56	0.0001
Residual	0.000203065	11	0.0000184605		
Total (Corr.)	0.000933343	12			
Correlation Coefficient = **0.884552** R-squared = 78.2432 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 76.2653 percent Standard Error of Est. = 0.00429657 Mean absolute error = 0.00371925 Durbin-Watson statistic = 1.15449 (P=0.0308) Lag 1 residual autocorrelation = 0.282718 Linear model: Y = a + b·X			Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**		

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%.



Слика 104. Линеарни модел приказује јачину везе између коефицијента ерозије (Z) и карактеристичних падова J, за тачке на површинама које имају карактер урбанизованих средина, на сливном подручју акумулације Ресник

На дијаграму на Слици 104 приказан је линеарни модел који показује јачину везе између коефицијента ерозије *Z* и карактеристичних падова J, за тачке на површинама које имају карактер урбанизованих средина у сливном подручју акумулације Ресник. Линеарна једначина која је добијена из овог модела је Y=a+b·X, а једначина везе гласи

Z=0.000953921+0.00580371·J. Коефицијент корелације износи **R=0.923** (јака веза), што указује на то да карактеристичан пад на урбанизованим површинама има значајну улогу у продукцији ерозионог наноса. Сви остали параметри модела линеарне функције за ово сливно подручје дати су у Табели 45.

Табела 45. Параметри модела линеарне функције за тачке на урбанизованим површинама анализираног слива акумулације Ресник

Coefficients					
	Least Squares	*Standard*	*T*		
Parameter	*Estimate*	*Error*	*Statistic*		*P-Value*
Intercept	0.000953921	0.000112063	8.51236		0.0000
Slope	0.00580371	0.000808686	7.17672		0.0001
Analysis of Variance					
Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Model	0.00000226124	1	0.00000226124	51.51	0.0001
Residual	3.95127E-7	9	4.3903E-8		
Total (Corr.)	0.00000265636	10			
Correlation Coefficient = **0.922634** R-squared = 85.1253 percent R-squared (adjusted for d.f.) = 83.4725 percent Standard Error of Est. = 0.00020953 Mean absolute error = 0.00017629 Durbin-Watson statistic = 2.31656 (P=0.6133) Lag 1 residual autocorrelation = -0.208931 Linear model: Y = a + b·X			Dependent variable: **Z** Independent variable: **J**		

Коришћени параметри су сигнификантни на нивоу поузданости од 95.0%. Смањена количина ерозионог материјала, коефицијента ерозије, везана је за начин употребе земљишта на овим површинама (стамбени објекти, бетониране и асфалтиране окућнице, асфалтиране улице и др.). На оваквим теренима веза између пада и коефицијента ерозије је значајна.

5. ДИСКУСИЈА

У овој дисертацији су истраживане четири акумулације и њихова сливна подручја: Љуково, Сот, Ресник и Дубоки поток. Сливови акумулација Љуково и Сот припадају по својој географској позицији јужном делу Фрушке Горе, док су административно у оквиру локалних самоуправа Инђија и Шид. Сливна подручја акумулација Ресник и Дубоки поток налазе се на административном подручју града Београда, односно, градских општина Вождовац и Барајево.

Анализе које су урађене на истраживаним локалитетима обухватале су периодично снимање дна акумулација и истраживачке радове у сливном подручју (узимање узорака наноса за анализу: из главних притока и са дна акумулација), као и рекогносцирање сливног подручја ради детерминисања ерозионих жаришта. Све остале анализе, моделирања, израде карата, статистичке корелације су урађене у специјализованим софтверима.

Слично истраживање урадила је група аутора: Farhang Behrangi, Mohammad Ali Banihashemi, Shayesteh Mahani, Mohammad Reza Rahmanian на брани Латиан (Latian Dam), у Ирану. Снимали су акумулацију у седам наврата, у циљу предвиђања интензитета засипања акумулације за будућа пројектантска решења (Farhang, 2014).

За одређивање ерозионог потенцијала могу се користити разне методе, попут USLE (Stefanescu et al., 2011), RUSLE, метода Потенцијала ерозије (Гавриловић, 1972) и др. Радислав Тошић је такође дао опсежну студију 2012. године из сличне проблематике, *Слив акумулације Дренова (Ерозиони процеси и засипање акумулације)*, где је анализом више модела дошао до закључка да је емпиријска метода Потенцијала ерозије и даље најтачнија за оваква сливна подручја.

Методом Потенцијала ерозије урађене су процене годишње продукције наноса у сливовима истраживаних акумулација. Установљено је да се, по свим параметрима који су анализирани, сва четири слива налазе у сличним односима и да се, очекивано, највише наноса продукује у највећим од истраживаних сливова, али не и у вредностима специфичне продукције. Тако, укупна годишња продукција наноса у сливу акумулације Ресник износи 1.350,42 m^3/god (337,60 m^3/god/km^2), док је ова количина наноса за слив акумулације Љуково 1.696,41 m^3/god. (99,147 m^3/god/km^2). Површина слива акумулације Љуково је 17,11

km^2, док је површина слива акумулације Ресник 4,00 km^2 (у оба случаја до прегрaдног профила бране). Ако би се разматрале специфичне (јединичне) вредности може се закључити да би у сливном подручју акумулације Љуково требало да буде четири пута већа продукција наноса од оне која је измерена у акумулацији. Такође, слив акумулације Сот, који се по површини налази на трећем месту (од четири анализирана слива), има највећу годишњу продукцију наноса: 1.773,42 m^3/god. (130,398 m^3/god/km^2). Поређењем добијених вредности може се говорити о другим факторима који значајно више утичу на продукцију наноса у сливу. Поређењем фактора по утицају, највећу улогу има коришћење земљишног простора у сливу, као и доминантни пад. Анализирањем карата добијених са ортофото снимака, као и рекогносцирањем терена, дошло се до података везаних за начин коришћења земљишта у сливу. Издвајају се два доминантна разлога која значајно утичу на продукцију наноса у сливу, а то су: 1. површине обрасле шумама и шикарама и 2. обрадиве површине. Тако се, по процентуалном учешћу шума и шикара, издваја слив акумулације Сот, са чак 54,617%, док најмању заступљеност површина под шумом има слив Љукова, са 12,93%. У погледу обрадивих површина, ситуација је нешто другачија. На првом месту, по процентуалној заступљености у сливном подручју, доминантно место има слив акумулације Љуково са 76,87%, док се на зачељу налази слив акумулације Дубоки поток са 20,15%. Остала два слива су приближних вредности: 36,75% Ресник и 37,29% Сот. Као што се може видети по годишњим количинама продукције наноса у сливу, ни ова два фактора не утичу на продукцију у пресудној мери. Иако би логично било да се најмање наноса продукује на најпошумљенијим сливовима, а највише на сливовима под пољопривредном површином, овде се јасно види да је законитост умногоме другачија, а пресудан фактор је нагиб. Сличан закључак изнели су аутори рада о засипању акумулације Гоч-Гвоздац. Иако је слив на коме је саграђена микро-акумулација, доминантно прекривен најквалитетнијим шумама букве, јеле и смрче, дошло је до готово потпуног засипања акумулационог простора, током релативно кратког периода (Jevtić et al., 1995).

Сличан приступ овом проблему, сагледан кроз продукцију наноса у сливу, обрадила је у раду *Угроженост акумулације „Завој" ерозивним процесима – методолошки, сазнајни и заштитни аспект* група аутора (Мустафић et al., 2008). У њему је приступано проблему засипања акумулација са другог аспекта. Наиме, аутори су детаљном обрадом карата за сливно подручје у софтверском пакету „Intergraph GeoMedia 5.2" дали детаљну анализу сливног подручја, користећи формуле за прорачун продукције наноса. На основу добијених карата и њиховом анализом, дошло се до закључака колика је продукција наноса у сливу,

из којих делова слива највише наноса пристиже и како решити проблем засипања постојеће акумулације. Није било анализе стварног засипања акумулације, путем теренског мерења, као ни поновних анализа за одређени низ година.

Слив акумулације Љуково има најмањи средњи пад слива Jsr, као и најмањи апсолутни пад тока и средњу висинску разлику у односу на сва четири слива. Стога, иако се највећи део слива налази под обрадивим површинама, продукује се умерена количина наноса, јер нема екстремних падова терена, нити критичне брзине за покретање наноса у водотоку, односно, степен засутости акумулације је релативно мали. Највећи средњи пад слива има акумулација Дубоки поток, а највећи апсолутни пад тока има слив акумулације Ресник. Комбиновањем ових чинилаца долази се до логичног распореда сливова по количини продукованог наноса. На првом месту је **Сот** са 1773,42 m^3/god, затим **Љуково** са 1696,41 m^3/god, потом **Ресник** са 1350,42 m^3/god и на крају **Дубоки поток** са 1344,78 m^3/god. Ово су подаци добијени коришћењем формуле Метода потенцијала ерозије (табела 46).

Табела 46. Приказ прорачуна продукције наноса, МПЕ методом и измереног наноса у акумулацијама.

Акумулација	Средња годишња продукција наноса - МПЕ (m^3/god)	Средња годишња количина исталоженог наноса (m^3/god)
Дубоки поток	1344,78	1351,07
Ресник	1350,42	1291,66
Љуково	1696,41	1500,00
Сот	1773,42	2109,14

Анализом узорака наноса, узетих ручним багером са дна акумулација, рачунат је проценат органске материје који је заступљен у укупном телу наноса. Овај податак се мора узети са извесном резервом, јер је багер пројектован да се само својом тежином утисне у тело наноса и захвати поремећени узорак. У дубљим слојевима наносног тела проценат органске материје се смањује. Ограничавајући фактор за добијање релевантнијих података о процентуалном учешћу органске материје био је недостатак адекватне опреме за узимање узорка. На оваквом типу акумулација није могуће инсталирати опрему са гарнитурама за бушење, којима би се могло допрети до дубљих слојева наносног тела. Ограничавајући фактори су габарит такве опреме и немогућност испловљавања довољно великог пловила на који би такав тип опреме могао да се инсталира. Реч је о малим водним акумулацијама у неприступачним деловима слива (без потребне путне инфраструктуре).

Из узорака који су добијени на овај начин, и обрађени у лабораторијским условима, добијени су следећи резултати: нанос из акумулације **Љуково** садржи 3,89% органске материје, из акумулације **Дубоки поток** 5,79%, из акумулације **Сот** 5,89% и из акумулације **Ресник** 5,98%. Уочљива је веза између процентуалног садржаја органске материје у акумулационим басенима и процентуалног учешћа шума у сливним подручјима. Поредећи те податке, шуме и шикаре доброг обраста заузимају 11,27% укупног простора на сливу акумулације Ресник, 12,93% на сливу акумулације Љуково, 44,10% на сливу акумулације Дубоки поток и 54,62% на сливу акумулације Сот (Табеле 4; 5; 6; и 7). Такође, ако би се погледале карте коришћења земљишта у сливу или ортофото снимци акумулација, може се уочити још једна доминантна разлика између акумулације Љуково и остале три акумулације, а то је да се високе шуме налазе уз леву обалу све три акумулације, што није случај за акумулацију Љуково. Ово иницира претпоставку да се велики део органске материје (лисник, мртве гране, пала стабла и др.) допрема у акумулацију непосредно са њених обала, које су у већој или мањој мери нападнуте ерозионим радом таласа (абразивна ерозија). Поређењем акумулација, можемо видети да се акумулација Љуково по дубини налази на зачељу, а уједно је по површини огледала воде највећа. Овим се стварају добри предуслови за бујање подводне траве и алги, те се тиме умањује настала разлика у продукцији органске материје због мање заступљености шумског покривача у непосредној близини језера, што се може видети на карти коришћења простора на сливу (Слика 68). Други фактор који, такође у великој мери, утиче управо на развој подводне вегетације јесте велика количина азотно-фосфорних ђубрива, која се сливају у акумулацију из непосредне близине, јер се акумулација налази у подручу са интензивном пољопривредном производњом на површини од 13,15 km^2 (Слика 68).

Wallng E.D. са групом аутора, у раду који је објављен 2008. године у часопису Хидрологија, износи занимљив став о праћењу честица фосфора у суспендованом наносу, које потичу из извора са дна акумулација. Анализирали су подручје у југозападној Великој Британији, односно, два слива, са укупно 12 притока. Дошли су до закључка да један део фосфора у води потиче управо из ових извора (Wallng E. D. et al., 2008).

Још један од фактора који у одређеној мери утичу на проценат органске материје јесте средњи пад слива и апсолутни пад тока. Ако се анализирају ови подаци, може се закључити да се у случају акумулације Љуково ради о веома малим падовима, те се највећи део органске материје разлаже у сливу, без покретања са места на ком настаје. То условљава мали пад слива и, такође, мали апсолутни пад тока, где готово да течење воде из

притоке можемо упоредити са ламинарним течењем, тако да је пронос органске материје водотоком сведен на минимум (табела 47).

Табела 47. Средњи садржај органске материје у акумулацијама.

Акумулација	Органска материја (%)
Дубоки поток	5,7905
Ресник	5,9840
Љуково	3,8900
Сот	5,8530

Група аутора на челу са Vaezi Ali Reza користила је узорке наноса из преко 20 акумулација у Ирану, ради процене утицаја разних фактора на засипање. Пронашли су снажну корелациону везу између засипања акумулације и пада корита главне притоке (Vaezia et al., 2017).

Анализирањем геолошких карата истраживаних сливова, може се наћи извесна зависност између појединих фација које се на њима карактеристично јављају. Тако, на пример, код подавалских акумулација доминирају у геолошком погледу глине са примесама гвожђа и алевролита, у значајнијој мери прожете пешчарима. Док је код фрушкогорских сливова доминантна подлога везана за лес-глиновите и песковите алевролите, опет у значајнијем односу (Табеле 20 и 23). У оба случаја приметна је већа количина ситнијих фракција, уз добар део примеса песка. У свим акумулацијама средњи пречник зрна, са учешћем на 50% гранулометријске криве, је у границама од 0,015–0,25 mm.

Табела 48. Површине сливова и крупноћа наноса са карактеристичним падовима.

Акумулација	Површина слива (km^2)	Средњи пречник наноса d_{50} (mm)	Апс. пад тока $J_{ap.to}$ (%)	Средњи пад слива J_{sr} (%)
Дубоки поток	6,05	1,90–20,00	3,67	12,74
Ресник	4,00	0,02–0,08	6,67	7,178
Љуково	17,11	0,02–0,03	0,71	2,916
Сот	13,60	0,015–0,017	1,97	8,452

Ако се анализирају појединачно узорци из акумулација, по крупноћи честица издваја се акумулација Дубоки поток, у којој се пречник зрна креће од 1,90 до 20,00 mm (табела 48). Може се закључити да је у овом случају пресудна улога средњег пада слива и

апсолутног пада тока у функцији геолошке и педолошке подлоге, јер су најкрупније фракције заступљене управо на овој акумулацији, која има велике падове. Оно што се такође намеће као интересантан податак је чињеница да се по крупноћи честица не разликују битно остале три акумулације, иако је реч о потпуно различитим сливовима по скоро свим параметрима (површина слива, средњи пад слива, апсолутни пад тока, величина акумулације, геолошка структура слива, начин коришћења земљишта и др.). Преко акумулације Љуково на вршном делу, налазио се прелаз са цевастим пропустом у насипу, јер је насип коришћен као пут за прелаз пољопривредне механизације. Прелаз је срушен пре узимања узорака за анализу. Приликом рушења, део насипа који је служио као пут, остао је у акумулацији. Ако је реч о насипању материјалом који није из сливног подручја акумулације Љуково, онда то делом објашњава појаву фракција које су некарактеристичне за овај слив. Такође, добар део наноса у акумулацију Љуково долази директно са обала необраслих високом вегетацијом (појас који обухвата ширину од 5 до 30 m око акумулације, Слика 68). Акумулација има највећу дужину огледала воде, у поређењу са остале три, пет пута је дужа од акумулације Ресник, тако да овај проценат спраног земљишта није занемарив.

Највећу улогу у продукцији наноса има коефицијент ерозије. Гледано са тог аспекта, у сва четири сливна подручја јавља се по једна доминантна педолошка творевина која заузима у просеку 85% слива. Код акумулације Дубоки поток, доминантно земљиште у сливу представља гајњача иловасто-глиновита на терцијарним седиментима, гајњача иловасто-глиновита у лесивирању и гајњача иловасто-глиновита еродирана са учешћем од 90,57%. Слив акумулације Ресник је претежно под гајњачама, са учешћем од 84% у укупној педолошкој структури слива. Занимљиво је да се варијација овог типа земљишта (гајњача и лесивирана гајњача) јавља доминантно и на подручју слива акумулације Сот са учешћем од 86,30%, док је једино у сливу акумулације Љуково доминантан чернозем на лесу са 88%. По структури земљишта намеће се закључак да се од четири слива, три налазе под гајњачама и само један под черноземом. На основу рачунатих количина продукције наноса, не можемо са сигурношћу тврдити да су гајњаче еродибилније од чернозема и обрнуто, због свих других фактора који на еродибилност земљишта утичу, а из прорачуна се види да ни један слив не одскаче нарочито по количини продукције наноса.

У хидролошком смислу, по средњегодишњој количини падавина, сва четири слива припадају подручју са умереном расподелом падавина од 629,2 mm (Сремска Митровица) до 698,2 mm (Београд) (Станојевић, 2012); 719,40 mm Дубоки поток; 727,10 mm Ресник;

744,84 mm Љуково и Сот са 759,00 mm. Разлике су незнатне да би се говорило о некој екстремнијој појави еродибилности на основу разлика у интензитету и количини падавина. Међутим, карактеристична је једна друга појава, која се везује за циклонску активност Тамара, који је условио обилне падавине на подручју територија БиХ и централне Србије 2014. године (Зарић, 2014).

Појас циклонске активности донео је веће падавине у Колубарском региону (Зарић, 2014). Велике количине падавина пале су на сливове акумулација Ресник и Дубоки поток између 200,1 и 275,0 mm, док је део обимнијих падавина захватио и подручје слива акумулације Сот од 125,1 до 150,0 mm и у значајно блажем смислу слив акумулације Љуково од 100,1 до 125,0 mm (Зарић, 2014).

Овакав развој ситуације условио је сигурно у већој мери унос наноса у акумулационе басене. У случају три од четири акумулације, мерења засипања вршена су и пре и после овог догађаја, једино је у случају акумулације Сот снимање обављено у оба случаја после маја 2014. године. Анализирајући количине наноса, просечно по годинама и између два снимања, уочљива је разлика у количини исталоженог материјала. На **Дубоком потоку** је прво снимање дна вршено 19.04.2013. године, а друго 01.12.2015. године. У том раздобљу десиле су се поплаве у Колубарском региону. Узимајући у обзир укупно просечно годишње засипање од 1.351,07 m^3/god, само у овом периоду између два снимања акумулација је засута за 2.702,14 m^3. То имплицира да се за 955 дана (приближно 2,5 године) засуло 2.702,14 m^3, што је 1.080,86 m^3/god. Анализирано на овај начин, може се установити да није било појачаног засипања акумулације у односу на просек годишњег засипања. Прво снимање акумулације **Ресник** вршено је 20.09.2013. године, а друго 10.12.2015. године. Просечно годишње засипање акумулације Ресник износи 1.291,66 m^3/god, али се зато за период између два снимања засула за 7.000 m^3. Када се обрачуна број дана, видљиво је да се акумулација за овај кратак период (811 дана; приближно 2,5 године) засипала просечно годишње за 2.800,00 m^3/god. Долази се до разлике од 1.508,34 m^3 у односу на просечно годишње засипање. Овај податак је свакако интересантан, са аспекта проноса наноса у таласима великих вода. Позиција акумулације **Љуково** је била таква да ју је готово обишао тродневни циклус падавина у мају 2014. године. Заправо, пале су нешто веће од уобичајних киша за тај период године. Прво снимање вршено је 08.11.2013. године, а друго 06.11.2015. године. За овај период акумулација је засута за 5.000 m^3, док је њен вишегодишњи просек 1.500 m^3. Када се ова количина наноса подели на период између два

снимања, долази се до податка да се акумулација засула више од просечног, укупно 2.500 m^3/god, што прави разлику од 1.000 m^3. Акумулација **Сот** се такође нашла на удару појачаног интензитета падавина, али су оба снимања урађена после мајских поплава 2014. године. Прво снимање је урађено 03.07.2014. године, а друго 14.11.2015. године. Између два снимања, акумулација је засута мање од просечне вредности 1.666,67 m^3/god, док је њен вишегодишњи просек 2.109,14 m^3/god.

Из анализе засипања акумулација наносом, може се констатовати да је за три акумулације снимање извршено пре и после мајских поплава 2014. године, и да је у два случаја констатована појава значајно веће засипање од годишњег просека, док је у једном случају (Дубоки поток) приметно засипање које је испод просека за годишњи ниво засипања. Објашњење треба потражити у чињеници да на сливном подручју акумулације Дубоки поток постоје изведене антиерозионе мере, узводно од акумулације. Три директне притоке које се уливају директно у акумулацију по левој обали су умирене преградама (две класичне преграде од бетона и једна габионска), а читава лева обала уз акумулацију уређена је плетерима. Управо сличне закључке имали су аутори који су обрађивали проблем засипања Грошничке акумулације. Она је саграђена 1938. године, а контролна снимања акумулације рађена су 1950., 1964., и 1982. године. Од 1938., до 1950. године изгубљено је 14,8% од укупне запремине акумулације. Дошло се до закључка да је годишње просечно засипање 1,16%. На основу тог просека прогнозирано је да би акумулација за 30 година експлоатације била засута 50% (1955). Снимања запремине акумулације која су урађена 1964. и 1982. године показала су да се интензитет засипања умногоме смањио због антиерозионих мера које су примењене у сливу, али и због сталног испуштања воде са наносом кроз темељне испусте приликом наиласка поплавних таласа. То је имало веома повољне ефекте на испирање исталоженог наноса близу преградног профила бране.

Сливно подручје Дубоког потока је у великој мери обухваћено ниском вегетацијом која полако преузима примат над обрадивим површинама, тако да је продукција ерозионог материјала последњих година мања у односу на раније године. Ово није случај са сливовима Ресник (слике 30 и 31) и Љуково (слика 68), и то се одразило на количину наноса који се исталожио у периоду поплава маја 2014.

Обављено је поређење резултата сопствених истраживања и досадашњих истраживања која су рађена на подручју Републике Србије, за акумулације ХЕ Бајина

Башта, ХЕ Потпећ, ХЕ Кокин Брод, ХЕ Увац, ХЕ Овчар Бања, ХЕ Међувршје, ХЕПС Ђердап I, ХЕПС Ђердап II, и ПАП Лисина. Констатовано је да већи број анализираних акумулација има изражен проблем засипања (Бабић Младеновић, 2003). На овим акумулацијама углавном нису рађена снимања акумулационог басена или је то обављено делимично, тако да се не може са сигурношћу закључити да су добијени подаци у потпуности веродостојни. У неким случајевима рађена је процена засутости на основу продукције наноса на сливном подручју и његовог транспорта кроз хидрографску мрежу.

Аутори из института Јарослав Черни су анализирали Брестовачку акумулацију која је изграђена 1959. године. Енергопројект је радио снимање 18 профила 1978. године. На основу овог снимања установљено је да је за 19 година експлоатације засуто 6,46% од укупне запремине акумулације, а да је највише засипања било на најузводнијим профилима (Петковић, 1985).

Поређењем интензитета засипања истраживаних акумулација добијају се следећи односи: највише је засута акумулација **Дубоки поток** са 10,81% од укупне запремине, на коти прелива. Узимајући у обзир да је од формирања акумулације до завршног снимања прошло 24 године, може се констатовати да акумулација није угрожена засипањем у великој мери. Сличан проценат засутости има и акумулација **Ресник** са 10,82%, али за период експлоатације од 26 година. Акумулација **Сот** се за 36 година експлоатисања засула за 8,67%. Акумулација **Љуково** најбоље одолева притиску засипања и за 42 године коришћења до дана последњег снимања, засута је 6,63%, што је свакако одличан показатељ да је акумулација витална и да се у пуној мери може наставити њена даља експлоатација. Гледано са овог аспекта, део објашњења свакако треба потражити у топографским параметрима сливног подручја. Можемо констатовати да се акумулација са најмањим падовима на сливу најмање засипа, док се у случају највећег средњег пада слива и највећег апсолутног пада тока, акумулације највише засипају: случај акумулација Дубоки поток и Ресник. Ове две акумулације су у односу на акумулацију Љуково скоро двоструко млађе, а уједно су скоро двоструко више засуте. Ако се настави ова тенденција засипања у будућности, можемо очекивати да ове две акумулације када буду „старе" колико и акумулација Љуково, могу бити преко 20% засуте наносом, што свакако није добро, иако тренутно нису угрожене од засипања. Са друге стране, ове две акумулације су и грађене да би се вршила контрола наноса и спречило засипање Ђердапске акумулације наносом из колубарског и топчидерског сливног подручја. Стога се може закључити да оне успешно

обављају своју функцију. Акумулације Сот и Љуково, рађене су претежно за потребе наводњавања и њихова функција у овом смислу није угрожена.

6. ЗАКЉУЧЦИ

Предмет истраживања у овој дисертацији су биле четири мале водне акумулације, које су пројектоване и коришћене као вишенаменски објекти, за различите потребе: заштита од бујичних поплава; наводњавање пољопривредних површина; спорт и рекреација.

Највећи фактор ризика за функционалност ових објеката јесте могућност засипања ерозионим и другим материјалом, који доспева са сливног подручја и гравитирајућих површина око самих акумулационих простора. Временски периоди од пуњења акумулација до 2015. године, када је обављено завршно снимање, варирају у дијапазону од 24 до 42 године, када је утврђен средњи годишњи интензитет засипања, који износи: Дубоки поток i=1.351,07m^3/god; Ресник, i=1.291,76m^3/god; Сот, i=2.109m^3/god; Љуково, i=1.500,00 m^3/god. Одступања од просечних вредности засипања су могућа, пре свега због појаве екстремних хидролошких епизода, са неуобичајено јаким падавинама, кратког трајања, уз пратећу појаву бујичних поплавних таласа, изражене кинетичке енергије, што доводи до повећаног уноса материјала у акумулационе просторе.

На основу снимања и анализе стања сталних попречних профила истраживаних акумулација, утврђене су промене услед доспевања и таложења наноса. Обале су претпеле морфолошке промене у виду обрушавања и подсецања. Смањење запремина истраживаних акумулација, у односу на почетно стање, одвијало се промењивим интензитетом. Запремина акумулације Дубоки поток изгубила је 10,81% од укупне запремине, за период од 24 године. Запремина акумулације Ресник смањила се за 10,82% током периода експлоатације од 26 година. Запремина акумулације Љуково смањила се за 6,63% за период од 42 године, док се запремина акумулације Сот смањила за 8,67% за период од 36 година. Утврђено је да значајну улогу, у односу на количину материјала који се исталожио у акумулацијама, имају: карактеристични нагиби падина у сливовима, начин коришћења земљишта, педолошко-геолошка структура сливова, метеоролошко-климатске карактеристике подручја.

Зависност коефицијента отпора земљишта на ерозију Y и коефицијента ерозије Z, показује да је коефицијент отпора земљишта један од кључних фактора са чврстим корелационим везама у свим сливним подручјима.

Зависност коефицијента ерозије Z у односу на падове са свих површина на сливним подручјима истраживаних акумулација, показује релативно слабе везе између

променљивих, али када се одвојено корелишу падови са одређених површина и коефицијентерозије Z, онда се овај закључак мења. Ово индиректно говори да се на истраживаним подручјима не може посматрати само пад терена, већ и начин употребе земљишта на падинама са специфичним нагибима. Тек у оваквом случају види се чврста веза између продукованог наноса, пада терена и начина коришћења земљишта у сливу.

Засипање акумулација представља комплексан природни процес, који зависи од бројних фактора у сливу и гравитирајућој хидрографској мрежи. Морфолошки процеси у акумулацијама не могу се посматрати изоловано од услова у сливном подручју, већ се морају истраживати у континуитету, од слива кроз хидрографску мрежу до формираних акумулација.

У сливовима акумулација Љуково и Сот, преовлађују стене чијим распадањем настаје врло ситан нанос (прашинасто-глиновитог састава), док у сливу акумулација Ресник и Дубоки поток, преовлађују стене чијим распадањем настаје крупнији нанос. Описане разлике су условиле стварање седимената различитог литолошког и геомеханичког састава.

Резултати овог истраживања показују да се овакав модел може користити за праћење дугорочних промена низа параметара унутар сложеног система водотокова и акумулација, као што су нивои слободне површине и протоци воде, кумулативне промене просечних дебљина наносних наслага на дну и транспорт наноса. Потребна су побољшања, како у погледу концептуалних аспеката моделирања интеракције слива и акумулације, тако и у домену формирања репрезентативних база података о интензитету засипања за већи број формираних акумулација у различитим географским условима, у циљу добијања регионалних зависности које доприносе целовитом сагледавању појаве засипања акумулација. Последично, тиме би се на основу јасне представе о доминантним узрочним факторима и самом процесу засипања, створили услови за израду концепта интегралних мера превенције и заштите.

Применом одговарајућих мера превенције и заштите смањује се интензитет засипања и продужава функционални век акумулација, чиме се повећава ниво уређености водопривредних система а локалним заједницама обезбеђују различите користи. Такође, неопходна је стална контрола интензитета засипања, на основу мерења, која би требало редовно спроводити сваких 10 година и ванредно, после сваког екстремног хидролошког догађаја, према методологији примењеној у овом раду.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Anbalagan R. (1992): Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain, 0013-7952/92/$05.00, Engineering Geology, N_0 32: p 269-277.
2. Anđelković A., Đeković V., Janić M., Spalević V., Đukanović G., Nikolić V. (2018): International Scientific Conference, Floods on the river Belica at Jagodina, Serbia in 2014, Gredit'2018 – Green Development, Green Infrastucture, Green Technology, p. 191., 22–25 March, 2018, Skopje.
3. Anđelković A., Ristić R., Janić M., Đeković V., Zivanović N., Spalević V. (2017): Genesis of sediments and siltation of the accumulation "Duboki potok" of the Barajevska river basin, Serbia, Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol. 18, No 4, p 1735–1745.
4. Antić M., Jović N., Avdalović V. (2007): Pedologija, Unverzitetski udžbenik.
5. Ashley N. C. (2009): Quantitative estimate of mass sediment movement with sonar in deer creek reservoir, Department of Civil and Environmental Engineering Brigham Young University, p.5 – 57.
6. Ayhan C., Hakan K., Ilke E. (2011): An analysis of bathymetric changes in Altinapa reservoir, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, September, Vol. 6, No. 2, p.15 – 24.
7. Babic Mladenovioć M., Kolarov V., and Damjanovic V. (2013): Sediment regime of the Danube River in Serbia, International Journal of Sediment Research, ISSN: 1001-6279, Vol. 28 N0. 4, p. 470–485.
8. Babić Mladenovioć M., Varga S. (1997): Problemi zasipanja akumulacija – osvrt na međunarodnu konferenciju u Fort Kolinsu, SAD, "Vodoprivreda" 0350-0519,29 p. 165–166, Beograd.
9. Babić Mladenovioć M., Varga S., Petković S. (1999): Kontrola zasipanja akumulacija nanosom-iskustva i mogućnosti, Monografija "Upravljanje vodnim resursima Srbije 99", Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", p. 27–50.
10. Бабић Младеновић М., Обушковић З., Кнежевић З. (2003): Засипање акумулација у Србији – Проблеми и правци решавања, Водопривреда 0350-0519, 35 (2003) УДК: 627.8.034 с. 387–393. Синтезни рад.
11. Bakker Martha M., Govers G., Kosmas C., Vanacker V., Oost van K., Rounsevell M. (2005): Soil erosion as a driver of land-use change, Agriculture, Ecosystems and Environment 105, p. 467–481.

12. Billington P. D., Jackson C. D., Melosi V. M. (2005): The history of large federal dams: planning, design, and construction in the era of big dams, Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Colorado p. 1-529.
13. Bohlen C., Lewis L. Y. (2009): Examining the economic impacts of hydropower dams on property values using GIS, Journal of Environmental Management, ISSN 0301-4797, Volume 90, Supplement 3, July 2009, p. 258–269.
14. Božović A. (1974): Review and appraisal of case histories related to seismic effects of reservoir impounding, Engineering Geology, N0 8, ISSN: 0013-7952, p. 9-27, Amsterdam, Netherlands.
15. Bruk S. (1985): Osnove za proučavanje transporta rečnog nanosa, Instit „Jaroslav Černi“, Beograd.
16. Bulatov G., Ibraeva Y., Tarasevskii P., (2016): Computing values of crack characteristics in earth dam. Procedia Engineering 165, 15th International scientific conference Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development, p. 1611–1618.
17. Власисављевић Ж. (1969): O vodoprivredi, pogledi i metode, Univerzitetski udžbenik, Građevinski fakultet, s. 5–150, Beograd.
18. Caihong T., Yujun Y., Zhifeng Y., Yang Z., Teklit Z., Xuan W., Xiuli C., Pengyu D. (2019): Planktonic indicators of trophic states for a shallow lake (Baiyangdian Lake, China, Journal Pre-proof, Available online 24 August 2019, 125712, ISSN: 0075–9511.
19. Carrascal L. M., Ismael G., Gordo O. (1986): Partial least-squares regression on designvariables as an alternative to analysis of variance. Anal. Chim.Acta. 191: 133–148.
20. Carrascal M. L., Galván I., Gordo O. (2009): Partial least squares regression as an alternative to current regression methods used in ecology, Oikos 118: 681 690, 2009doi: 10.1111/j.1600-0706.2008.16881.x Volume 118, Issue 5, May 2009, p. 681–690.
21. Chaudhuri D. (2017): Empirical approaches in prediction of reservoir sedimentdistribution – An experience of 57 reservoirs in the USA and India, International Journal of Sediment Research, ISSN 1001-6279, Volume 32, Issue 2, June 2017, p. 260–276.
22. Crossman J., Futter M.N., Elliott J.A., Whitehead P.G., Jin L., Dillon P.J. (2019): Optimizing land management strategies for maximum improvements in lake dissolved oxygen concentrations Science of The Total Environment, Volume 652, 20 February 2019, p. 382-397.
23. Dade B. W., Renshaw E. C., Magilligan J. F. (2011), Sediment transport constraints on river response to regulation, Geomorphology 126, p. 245–251.

24. Djekovic V., Andjelkovic A., Milivojevic S., Spalevic V., Vujacic D., Barovic G. (2015), Conditions for the initiation of motion and transport of sediment in torrential watercourses, Sixth International Scientific Agricultural Symposium Agrosym 2015, 10.7251/AGSY 15052034D 2034 Original scientific paper, Jahorina, Bosnia and Herzegovina; 15-18 October 2015, p 2034–2043.
25. Dondajewska R., Kozak A., Rosińska J., Gołdyn R. (2019): Water quality and phytoplankton structure changes under the influence of effective microorganisms (EM) and barley straw – Lake restoration case study, Science of the Total Environment 660 (2019) ISSN 1355–1366, p. 1355–1366.
26. Dragicevic, S., Filipovic, D., Kostadinov, S., Ristic, R., Novkovic, I., Zivkovic, N., Andjelkovic, G., Abolmasov, B., Secerov, V. and Djurdjic, S (2011): Natural Hazard Assessment for Land-use Planning in Serbia, March 2011. International Journal of Environmental Research 5(2): 371–380.
27. Dragičević N., Karleuša B., Ožanić N. (2016): Pregled primjene Gavrilovićeve metode (metoda potencijala erozije), GRAĐEVINAR 68 (2016) 9, DOI: 10.14256/JCE.1602.2016, p. 715-725, Časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera.
28. Dragićević S., Pripužić M., Živković N., Novković I., Kostadinov S., Langović M., Milojković B., Čvorović Z. (2017): Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study – Kolubara River Basin (Serbia), DOI10.3390/w9100748, Water 9(10):748, p.2–17.
29. Đeković V. (1997): Projektovanje u bujičarstvu, univerzitetski udžbenik, Šumarski fakultet, Beograd, p.1–259 .
30. Đeković V. (2007): Zaštita voda, univerzitetski udžbenik, Šumarski fakultet, Beograd.
31. Đeković V., Anđelković A., Bošnjaković A., Janić M. (2017): Analiza kvaliteta vode u akumulaciji „Vrutci“ Udruženje šumarskih inžinjera i tehničara Srbije. Šumarstvo 3-4 jul-decembar/2017. UDK 556.551(497.11 Užice) UDK 556.11:627.81(497.11 Užice).
32. Đeković V., Anđelković A., Milošević N., Gajić G., Janić M. (2013): Effect of Reservoir on Floodwave Transformation. Carpathian Journal of Envrinmental Sciences. Maj 2013 vol 8. N_o. 2, p. 107–112.
33. Đeković, V., Anđelković, A., Spalević, V., Milivojević, S., Milošević, N. (2015): Analiza poplava u slivu Barajevske reke tokom maja 2014. godine, Šumarstvo, No.1-2. UDK 556.166:627.51(497.11)(282.2 Barajevska reka)”2014”, p. 31–48, Udruženje šumarskih inžinjera i tehničara Srbije.

34. Đikanović V., Skori S., Jarić I., Lenhardt M. (2016): Age-specific metal and accumulation patterns in different tissues of nase (Chodrostoma nasus) from the Medjuvršje Reservoir, Science of the Total Environment, ISSN: 0048-9697, Vol. 566-567, p. 185-190, Netherlands.
35. Eyrolle F., Radakovitch O., Raimbault P., Charmasson S., Antonelli C., Ferrand E., Aubert D., Raccasi G., Jacquet S., Gurriaran R. (2012): Consequences of hydrological events on the delivery of suspended sediment and associated radionuclides from the Rhône River to the Mediterranean Sea, Sediments, sec 3 · Hillslope and river basin sediment dynamics · research article, J Soils 12: DOI 10.1007/s11368-012-0575-0, p. 1479–1495.
36. Fanetti D., Vezzoli L. (2007): Sediment input and evolution of lacustrine deltas: The Breggia and Greggio rivers case study (Lake Como, Italy), Quaternary International DOI: 10.1016/j.quaint.2007.02.008 174:113–124.
37. Farhang B., Mohammad Ali B., Shayesteh M., Mohammad Reza R. (2014): Sediment settling in the Latian Dam in Iran, International Journal of Sediment Research, ISSN: 1001-6279, Vol.29., p. 208–217. China.
38. Feith P., and Feith L. (1980): Communication on energy, Electrification in Yugoslavia - a progress report, Energy Policy, ISSN: 0301-4215, p. 165–169, UK.
39. Foley T. A., Betterton E. A. (2019): Nitrogen dry deposition to Lake Superior and Lake Michigan, Journal of Great Lakes Research ISSN 0380-1330, Vol. 45 p. 224–239.
40. Frantar P., Zorn M., Bahun G. (2015): Katastrofalne poplave v Srbiji maja 2014, Ujma, Št. 29 (2015), p.264-269, ISSN - 0353-085X, COBISS.SI-ID - 16348418, Založništvo in izdelava – Ljubljana: Ministrstvo za obrambo: Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, 1987– Slovenia.
41. Gage D. J. (1975): A comparison of the deep-sea epibenthic sledge and anchor-box dredge samplers with the van Veen grab and hand coring by diver, Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, Volume 22, Issue 10, October 1975, p. 693-702 Pergamon Press. Printed in Great Britain.
42. Гавриловић, С. (1972): Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији (Engineering of Torrents and Erosion). Београд.
43. Garcý´a - Ruiz J.M., Lasanta T., Marti C., Gonzales C., White S., Ortigosa L., Ruiz Flano P. (1995): Changes in runoff and erosion as a consequence of land-use changes in the Central Pyrenees Physical.Chemical Earth.
44. Garcý´a - Ruiz J.M., Lasanta T., Gonza´lez C., Martý´ C., White S., Ortigosa L. (1997): Sediment sources during the traditional land use system in the Spanish Pyrenees. Physics and Chemistry of The Earth.

45. Gieswein A., Hering D., Lorenz Armin W. (2019): Development and validation of a macroinvertebrate-based biomonitoring tool to assess fine sediment impact in small mountain streams, Science of The Total Environment, ISSN 0048-9697, Volume 652, 20 February 2019, p. 1290–1301.
46. Globevnik L., Holjevik D., Petkovsek G., Rubinic J. (2003): Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. In: De Boer, D.; Froehlich, W.; Mizuyama, T.; Pietroniro, A. (Eds.). Erosion prediction in Ungauged Basins: Integrating methods and techniques, 279. IAHS Publication, p. 22-233.
47. Grubert E. A. (2016): Water consumption from hydroelectricity in the United States, Advances in Water Resources, ISSN 0309-1708 Volume 96, October 2016, p. 88–94.
48. Gui L. L., Chun H. Z., Saverio F., Wei H. Y. (2019): Interactions between microorganisms and clay minerals: New insights and broader applications, Applied Clay Science 177 (2019) 91–113, 0169–1317, International journal.
49. Halkos G., Matsiori S. (2016): Determining public attitudes and willingness-to-pay for artificial lakes protection, Water Resources and Economics, ISSN 2212-4284, Volume 15, July 2016, p. 15–27.
50. Harvey J. W., Wagner B. J. (2000): Quantifying hydrologic interactions between streams and their subsurface hyporheic zones. Aquatic Ecology 2000, ISBN 978-0-12-389845-6 p. 3-44
51. Hobbs F., Chan C. (1990): AutoCAD as a cartographic training tool: a case study, Computer-Aided Design, Volume 22, Issue 3, April 1990, p. 151–157.
52. Horppila J. (2019): Sediment nutrients, ecological status and restoration of lakes, Water Research, ISSN: 0043-1354, Volume 160, 1 September 2019, p. 206–208.
53. Hrissanthou V., Delimani P., Xeidakis G. (2010): Estimate of sediment inflow into Vistonis Lake, Greece, International Journal of Sediment Research ISSN 1001-6279, Vol. 25 (2010) p. 161–174.
54. Хидропројекат, 1980: Извод из главног пројекта бране Ресник, ООУР Водопривреда, Веле Нигрове 16, Београд.
55. Хидропројекат, 1991: Извод из главног пројекта бране Дубоки поток, , ООУР Водопривреда, Веле Нигрове 16, Београд
56. Хидросрем, 1973. Извод из главног пројекта бране Јужна акумулација, Друштвено водопривредно предузеће, Променада 13, Сремска Митровица.
57. Институт за водопривреду „Јарослав Черни”, 1995: Засипање Грошничког језера, Београд.
58. Janić, M., Djukanović, G., Grujović, D., Mijić, N. (2015): Earthwork volume calculation

from digital terrain models, JIDEG – the SORGING Journal, Volume 10, Special Issue, fascicle 2, ISSN (online version), p. 2344–4681.

59. Јанић М. (2006): Дигитални геодетски план као основа за пројектовање и ГИС, Други међународни научно-стручни скуп „Саврмена теорија и пракса у градитељству" ЗИБЛ, Влада РС, Град Бања Лука, Бања Лука.
60. Jayanath A., Gamini H. (2003): Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal, Journal of Environmental Management 68, 343–353.
61. Jednak S., Kragulj D., Bulajic M., Pittman R. (2009): Electricity reform in Serbia, Utilities Policy, 17, Issn: 0957-1787 p. 125–133.
62. Jevtić Lj., Đeković V., Ristić R., Matić V. (1995): Istraživanje intenziteta zasipanja nanosom akumulacije na Goču. Milojević, Miloje (ur.). Zaštita voda '95. Beograd: Jugoslovensko društvo za zaštitu voda, 1995, p.169–173. [COBISS.SR-ID 512240796].
63. Jovanović M. (2008): River Regulation, River Hydraulics and Morphology (Regulacija reka rečna hidraulika i morfologija), univerzitetski udžbenik, Građevinski fakultet, Beograd. COBISS. SR-ID 149389324 p.1-500 .
64. Jude D. J., Pappas J. (1992): Fish Utilization of Great Lakes Coastal Wetlands, Journal of Great Lakes Research, ISSN 0380-1330, Volume 18, Issue 4, 1992, p. 651–672.
65. Kaludjerovic-Radoicic T., Raicevic S. (2010): Aqueous Pb sorption by synthetic and natural apatite: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies, Chemical Engineering Journal, ISSN:1385-8947, Vol.160, p. 503–510, Netherlands.
66. Kaputе M. M., Weiguo Z., Chapola S. L., Tembo M., Kaputе F. (2017): Determining sources of sediments at Nkula Dam in the Middle Shire River, Malawi, using mineral magnetic approach, Journal of African Earth Sciences, ISSN: 1464-343X , Vol. 126, p. 23–32.
67. Kostadinov S. (2008): Bujični tokovi i erozija, univerzitetski udžbenik, Šumarski fakultet, Beograd.
68. Kostadinov S. (1986): Pronos vučenog i ukupnog nanosa u funkciji nekih hidrološko-hidrauličkih parametara bujičnih vodotokova, Beograd.
69. Колаковић С., Фабиан Ђ., Будимски Љ., Јефтенић Г., Машић Б., Колаковић С. (2013): Студија дефинисања методологије оцене стања, одржавања и управљања вишенаменским акумулацијама изграђеним у Војводини са применом на акумулацијама „Месић", „Сот" и „Мохарач", Факултет Техничких наука, Универзитет Нови Сад.

70. Lajczak A. (1996): Reservoir sedimentation problems in the Vistula River basin, Poland, Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium July 1996). IAHSPubl.no. 236.
71. Lempérière F., HydroCoop (2000): Design and Construction of Dams, Reservoirs, and Balancing Lakes, Paris, France, p. 1–29.
72. Letić Lj. (2002): Korišćenje voda u šumskim područjima. Deo 1, Uređivanje voda - Bioregulacije. 1. izd. Beograd: Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2002. 283 str., ilup.ISBN 86-7299-080-3. [COBISS.SR-ID 99985676]
73. Letić Lj., Đeković V., Mihajlović B. (2008): OBEDSKA BARA I NJEN UTICAJ NA REŽIM VODA U „KUPINSKIM GREDAMA", Glasnik Šumarskog Fakulteta, Beograd, 2008, Br. 97, UDK: 504.3.73, 0353-4537, p.187–196.
74. Летић Љ., Никић З., Савић Р., Николић В. (2014): Утицај вегетационог покривача на ретенцију и отицање воде на подручју Фрушке горе, Шумарство, UDK 556.1:582(497.113 Fruška gora), с. 97-111, Удружење шумарских инжењера и техничара Србије, Београд.
75. Lipovac K., Nešić M., Tešić M., Ross A., Tubić V., Marić B. (2016): A comparative analysis of dangerous locations on the public roads in Serbia, Safety Science, ISSN: 0925-7535, Vol. 84, p.190–200, Nicosia, Cyprus.
76. Mason P.J. (2005): REMOTE SENSING | GIS, Encyclopedia of Geology (Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences), 2005, p. 420–431.
77. Mohammadi B. (2019): Predicting total phosphorus levels as indicators for shallow lake management, Ecological Indicators, ISSN 1470-160X, Volume 107, December 2019, Article 105664.
78. Moser K.A., Baron J.S., Brahney J., Oleksy I.A., Saros J.E., Hundey E.J., Sadro S.A., Kopáček J., Sommaruga R., Kainz M.J., Strecker A.L., Chandra S., Walters D.M.,Preston D.L., Michelutti N., Lepori F., Spaulding S.A., Christianson K.R., Melack J.M., Smol J.P. (2019): Mountain lakes: Eyes on global environmental change, Global and Planetary Change, ISSN 0921-8181, Volume 178, July 2019, p. 77-95.
79. Mustafić S., Kostadinov S., Manojlović P. (2008): Ugroženost akumulacije "Zavoj" erozivnim procesima – metodološki, saznajni i zaštitni aspekt – Glasnik srpskog geografskog društva, UDC 911.2:551.053(497.11), No 1. p.29–42, Beograd.
80. Mziray P., Kimirei I. A., Staehr P. A., Lugomela C. V., Perry W. L., Trolle D., O'Reilly C. M., Mgana H. F. (2018): Seasonal patterns of thermal stratification and primary production in

the northern parts of Lake Tanganyika, Journal of Great Lakes Research, Volume 44, Issue 6, December 2018, p. 1209–1220.

81. Nikić Z., Nadeždić M., Ristić R. (2006): GEOSREDINA I SADRŽAJ NEKIH ELEMENATA U VODI KOD PREGRADNOG MESTA HIDROAKUMULACIJE "GRLIATE" U PERIODU 1991-2004. GODINE, Šumarstvo, UDK 556.3/5:630*116.3, p.59–68, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara srbije, Beograd.
82. Nikić Z., Ristić R., Letić L., Anđelić M., Mrvaljević V. (2015): Mutual relation of river water and groundwater in the area of hygrophilic forests in the ravni srem downstream of Sremska Mitrovica, Serbia, International Conference reforestation challenges, 03–06 June 2015, Belgrade, Serbia.
83. Никић З. (1996): Утицај вештачких површинских акумулација на животну средину са хидрогеолошког аспекта, стр. 595–601, 11. Југословенски симпозијум о хидрологији и инжењерској геологији, Будва 1–4. октобар 1996., књ. 1.
84. Николић М. (1986): Идејно решење Барајевских акумулација са програмом заузећа површина, Хидропројекат, новембар 1986.3.
85. Nolte, S., Koppenaal, E. C., Esselink, P., Dijkema, K. S., Schuerch, M., De Groot, A. V., Bakker, J. P., Temmerman S. (2013): Measuring sedimentation in tidal marshes: a review on methods and their applicability in biogeomorphological studies, J Coast Conserv DOI 10.1007/s11852-013-0238-3.
86. Panić M., Urošev M., Milanović P. A., Brankov J., Bjeljac Ž. (2013): Small hydropower plants in Serbia: Hydropower potential, current state and perspectives, Renewable & Sustainable Energy Reviews, ISSN: 1364-0321, N0. 23, p. 341–349, UK.
87. Paphitism D. (2001): Sediment movement under unidirectional flows: an assessment of empirical threshold curves, Coastal Engineering UK, 43, p. 227–245.
88. Pasternack B., Gregory B.S.G. (2013): Sedimentation Cycles in a River-Mouth Tidal Freshwater Marsh, Coastal and Estuarine Research FederationSedimentation, Estuaries, Vol. 21, No. 3, p. 407–415.
89. Petković S. (1992): Odabrana poglavlja hidraulike otvorenih tokova. Šumarski fakultet, Beograd.
90. Петковић С. (1985): Истраживања процеса засипања акумалуација са посебним осврtом на засипање Власинског језера, Јарослав Черни, Београд.
91. Piqué, G., Batalla, R.J., López, R., Sabater, S. (2017): The fluvial sediment budget of a dammed river (upper Muga, southern Pyrenees), Geomorphology, ISSN: 0169-555X, Vol. 293, p. 211–226.

92. Potapov S., Belykh O., Krasnopeev A., Galachyants A., Podlesnaya G., Khanaev I., Tikhonova I. (2019): Diversity and biogeography of bacteriophages in biofilms of Lake Baikal based on g23 sequences, Journal of Great Lakes Research, ISSN 0380-1330, Vol. 45 issue 5, p. 1–7, International Association for Great Lakes Research.
93. Price I. J., Heberling T. M. (2018): The Effects of Source Water Quality on Drinking Water Treatment Costs: A Review and Synthesis of Empirical Literature, Ecological Economics, Volume 151, September 2018, p. 195–209.
94. Radojevic, I., Comic, L., Rankovic, V., Ostojic, A., Topuzovic M. (2013): Applying Neural Networks for Predicting the Fa cultative Oligotrophic Bacteria in Two Reservoirs with Different Trophic State. Journal of Environmental Protection and Ecology 14, No 1, p. 55–63 (2013)
95. Републички хидрометеоролошки завод Србије, 2014: РХМЗ Србије, Подаци о падавинама и температурама, , Кнеза Вишеслава 66, Београд.
96. Ristić R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragićević S., Trivan G., Radić B., Trifunović M., Radosavljević Z. (2012): Torrential floods and town and country planning in Serbia, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 23–35, 2012, European Geosciences Union.
97. Ristić R., Ljujić M., Despotović J., Aleksić V., Radić B., Nikić Z., Milčanović V., Malušević I., Radonjić J. (2013): Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 8. No. 1, p. 91–98.
98. Ristić R., Malošević D. (2011): Hidrologija bujičnih tokova, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd p. 1 - 221.
99. Ристић Р. (2003): Време кашњења отицаја на бујичним сливовима у Србији, Гласник шумарског факултета, Београд, 2003, бр. 87, стр.51-65, 0353-4537, УДК: 627.14, Србија.
100. Roots O., Roose A. (2013): Hazardous substances in the aquatic environment of Estonia, Chemosphere, ISSN 0045-6535, Volume 93, Issue 1, September 2013, p. 196–200.
101. Sakan S., Sakan N., Anđelković I., Trifunović S., Đorđević D. (2017): Study of potential harmful elements (arsenic, mercury and selenium) in surface sediments from Serbian rivers and artificial lakes, Journal of Geochemical Exploration, ISSN: 0375-6742, Volume 180, September 2017, p. 24–34.
102. Salomons W., Brils J. (2004): Contaminated Sediments in European River Basins, Abatement of water pollution from contaminated land, landfills and sediments, Netherlands, p. 3–97.

103. Sameh A. K., Tetsuya S. (2010): River Morphology and Sediment Management Strategies for Sustainable Reservoir in Japan and European Alps, Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 53 B.
104. Sarkar, S., Kanungo, D.P., Mehrotra, G.S. (1995): Landslide hazard zonation: a case study in Garhwal Himalaya, India, Mountain Research & Development, Volume 15, Issue 4, 1995, p. 301–309.
105. Simić V., Simić S., Paunović M., Radojković N., Petrović A., Talevski T., Milošević Đ. (2016): The Alburnus benthopelagic fish species of theWestern Balkan Peninsula, Science of the Total Environment, 540 (2016) 410–417.
106. Sims A.J., Rutherfurd I. D. (2017): Management responses to pulses of bedload sediment in rivers, Geomorphology, ISSN 0169-555X, Volume 294, 1 October 2017, p. 70–86.
107. Ştefănescu L., Constantin V., Surd V., Ozunu A., Vlad Ş.N. (2011): Assessment of soil erosion potential by the usle method in Roşia Montană mining area and associated natech events, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, February 2011, Vol. 6, No. 1, p.35–42.
108. Stevens J. C., Quinton N. J. (2008): Investigating source areas of eroded sediments transported in concentrated overland flow using rare earth element tracers, Catena 74, p.31–36.
109. Stević S., Nestorović Ž. (2016): Impact of Environment GIS Modeling on Sustainable Water Systems Management, International Conference on Efficient & Sustainable Water Systems Management toward Worth Living Development, 2nd EWaS 2016, Šumarski fakultet, s. 5-380,ISBN 978-86-7299-133-8, Beograd.
110. Службени гласник РС, бр. 30/2010, 93/2012,0101/2016, 95/2018 и др. закони.
111. Службени гласник, 2002. Уредба о утврђивању водопривредне основе Републике Србије, Закона о водама ("Службени гласник РС", бр. 46/91, 53/93, 67/93, 48/94 и 54/96).
112. Службени гласник, 2015. Закон о водама ("Сл. гласник РС", бр. 30/2010 и 93/2012).
113. Станојевић Г. (2012): АНАЛИЗА ГОДИШЊИХ ПАДАВИНСКИХ СУМА НА ПРОСТОРУ СРБИЈЕ, J. Geogr. Inst. Cvijic 62(2) (1-13), UDC: 911.2:551.58(497.11) DOI: 10.2298/IJGI1202001S, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ.
114. Škorić A., Filipovski G., Ćirić M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo.

115. Tetsuya S., Masahisa O., Yasufumi T. (2004): Reservoir sedimentation management with bypass tunnels in Japan, Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation October 18 – 21, Yichang, China, p. 1036–1046.
116. Todorović T. (1991): Osnovi geotehnike u bujičarstvu, Univerzitetski udžbenik, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, ISBN, 8672990986, 9788672990980.
117. Tosic R., Dragicevic S., Belanovic-Simic S., Brceski I., Lovric N. (2013): Considerations on reservoir sedimentation and heavy metals content within the Drenova reservoir (B&H), Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, November 2013, Vol. 8, No. 4, p. 175 - 184
118. Vaezi A. R., Abbasi M., Keesstra S., Cerdà A. (2017): Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments, Catena, ISSN: 0341-8162, Vol. 157, p. 227–240.
119. Valero-Garce´s Blas L., Navas A., Mach´ J., Walling D. (1999a): Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees, Geomorphology 28 1999. 23–41.
120. Vukovic D., Vukovic Z., Stankovic S. (2014): The impact of the Danube Iron Gate Dam on heavy metal storage and sediment flux within the reservoir, Catena ISSN: 0341-8162, p. 18-23.
121. Урбанистички завод Београда, 2017. План детаљне регулације за спортски центар "Језеро" у Реснику градске општине Раковица и Вождовац, Нацрт плана, , Јавно урбанистичко предузеће, Палмотићева 30, 11000 Београд.
122. Zarić M. (2014): Meteorološka analiza vremenske nepogode koja je izazvala obilne kiše u maju 2014. godine u Srbiji, COBISS.SR-ID 513891249, p.120–135, Elementarne nepogode – Zaštita – Srbija, RHMZS, Beograd.
123. Zhang X., Zou R., Wang Y., Liu Y., Zhao L., Zhu X., Guo H. (2016): Is water age a reliable indicator for evaluating water quality effectiveness of water diversion projects in eutrophic lakes?, Journal of Hydrology, ISSN 0022-1694, Volume 542, November 2016, p. 281–291.
124. Walling E. D., Collins A.L., Stroud, R.W. (2008): Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments, Journal of Hydrology (2008) ISSN: 0022-1694, Volume 350, Issues 3–4, p. 274– 289.
125. Walling E. D., Golosov V. N., Panin A.V. (2000): Use of radio caesium to investigate erosion and sedimentation in areas with high levels of Chernobyl fallout. In: Foster, I. D. L. (Ed.), Tracers in Geomorphologi.

126. Walling E. D., He Q. (2002): Using 137Cs measurements to test distributed soil erosion and sediment delivery models, Department of Geography, University of Exeter, Exeter, EX4 4RJ, UK
127. Walling, D. E., He, Q. (1998): The spatial variability of overbank sedimentation on river floodplains Geomorphology 24, 209–223.
128. Walling, D. E., Owensa, P. N., Cartera, J., Leeksb, G. J. L., Lewisb, S., Mehargc, A. A., Wrightd J. (2003): Storage of sediment-associated nutrients and contaminants in river channel and floodplain systems, Applied Geochemistry 18, 195–220.
129. Weerasinghe V. P. A., Handapangoda K. (2019): Surface water quality analysis of an urban lake; East Beira, Colombo, Sri Lanka, Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, ISSN 2215-1532, Volume 12, December 2019, Article 100249.
130. Wold, H. (1975): Soft modelling by latent variables; the nonlineariterative partial least squares approach In: Gani, J. (ed.), Perspectives in probability and statistics. Papers in honour ofM. S. Barlett. Academic Press, p. 117–142.
131. Wolfgang S., Walling D. E. (2002): Modelling erosion, sediment transport and sediment yield, International Hydrological Programme, No. 60 UNESCO, Paris, 2002, p. 243–264.
132. Yang H., Haynes M., Winzenread S., Okada K. (1999): The History of Dams, California.
133. Yanhua L., Ninghui S., Ruixin G., Huaizhou X., Qin Z., Zhihua H., Mengjuan F., Dong L., Shenghu Z., Jianqiu C. (2018): Occurrence and partitioning behavior of organophosphate esters in surface water and sediment of a shallow Chinese freshwater lake (Taihu Lake): Implication for eco-toxicity risk, Chemosphere 202 (2018) p. 255-263 ISSN 0045-6535, Incorporating Chemosphere – Global Change Science.

Биографија

Александар Анђелковић, рођен је 12.02.1985. године у Сурдулици, где је завршио основну и ПШШ, Јосиф Панчић, смер Шумарство, средњу школу. Основне студије на Шумарском факултету у Београду уписао је 2004. године, смер за Заштиту од ерозије и уређење бујица.

2011. изабран је за Демонстратора волонтера на предметима Пројектовање у бујичарству, Заштита вода и Водопривреда брдскопланинских предела.

2011. године, уписао је Докторске студије на Шумарском факултету, програм Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса.

Од 2011. године запослен је на пројекту Министарства Науке и технолошког развоја *Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину, праћење утицаја, адаптација и ублажавање (43007),* као Истраживач приправник

2013. године изабран је у звање Истраживач сарадник.

2014. године изабран је на Шумарском факултету у звање Асистент, на ужој научној области Ерозија и контзервација земљишта и вода. Обавља извођење вежби на предметима са основних студија Пројектовање у бујичарству и Заштита вода, и предмету Мониторинг квалитета површинских вода, на мастер студијама.

Аутор је више од **30** научних радова, у часописма и на научним конференцијама, од тог броја **6** радова је објављено у међународним часописима (SCI листе).

Вишегодишњи је члан Удружења бујичара Србије. Дуже од 5 година члан је Балканске асоциације за заштиту животне средине (B.EN.A. - Balkan Environmental Association), под чијим покровитељством је добио **Прву награду** за постер презентацију на међународној конференцији 2017. године "Environmental engineering and sustainable development, May 25 – 27. 2017."

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора __Александар Анђелковић_____

Број индекса ____9/2011_____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Ерозиони и седиментациони процеси на сливним подручјима малих водних_____акумулација на подручју града Београда и Фрушке горе_____

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

_____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора __Александар Анђелковић_____

Број индекса _____9/2011_____

Студијски програм Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса_

Наслов рада _Ерозиони и седиментациони процеси на сливним подручјима малих водних акумулација на подручју града Београда и Фрушке горе_____

Ментор ___др Ратко Ристић, редовни професор_____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

_____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Ерозиони и седиментациони процеси на сливним подручјима малих водних акумулација на подручју града Београда и Фрушке горе

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

_____

1. **Ауторство**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

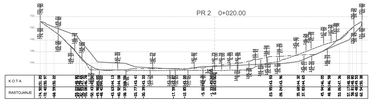
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

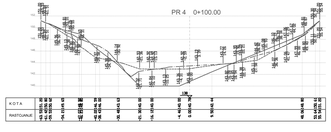
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

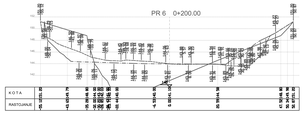
5. **Ауторство – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

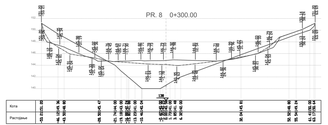
6. **Ауторство – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

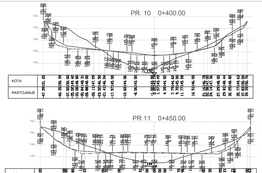
ПРИЛОЗИ

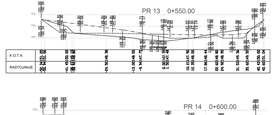


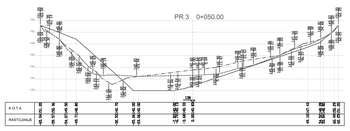


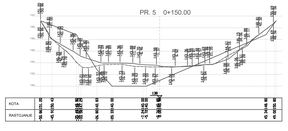


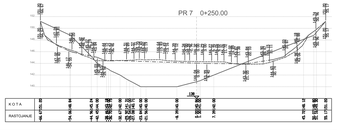


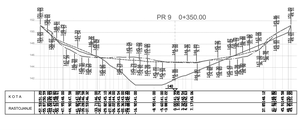


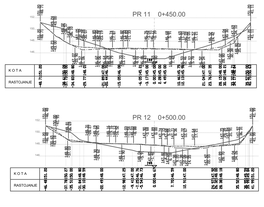


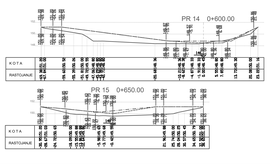


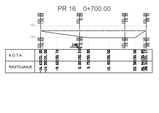










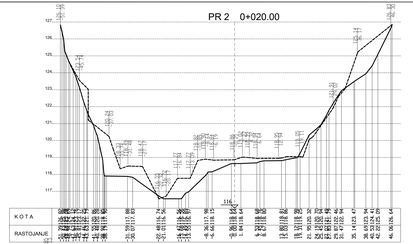


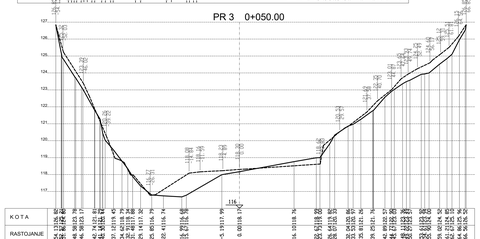
ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ
АКУМУЛАЦИЯ ДУБОКИ ПОТОК

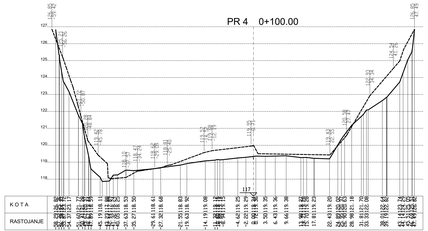
РАЗМЕРА 1:100/500

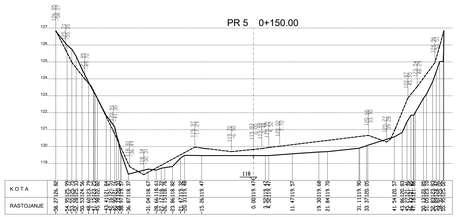
Бр. профила 2-16

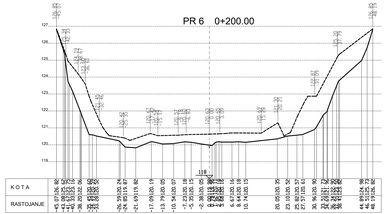
1991
2010
2015

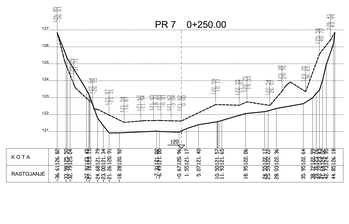


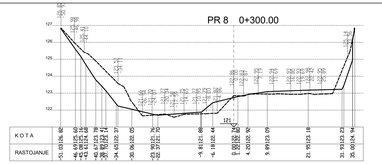


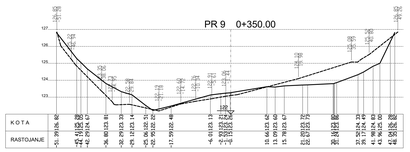


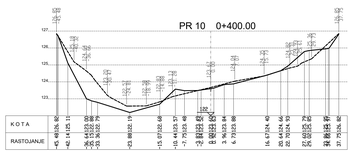


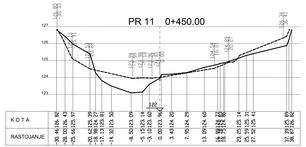


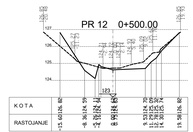


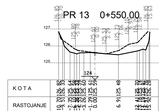












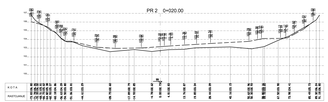
ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ АКУМУЛАЦИЈЕ РЕСНИК

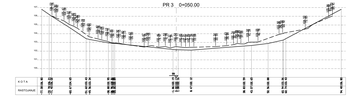
РАЗМЕРА 1:100/500

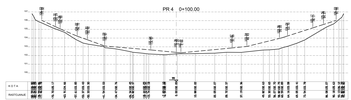
Бр. профила 2-13

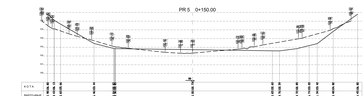
——— 2013

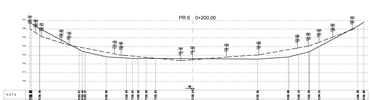
---------- 2015

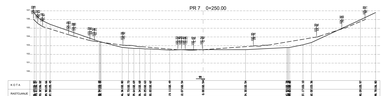


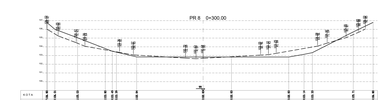


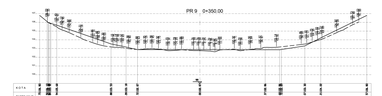


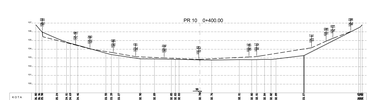


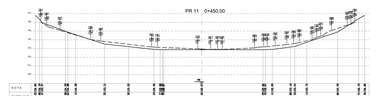


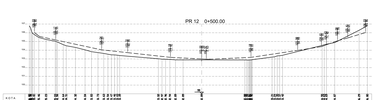












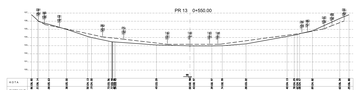
ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ АКУМУЛАЦИЈЕ ЉУКОВО

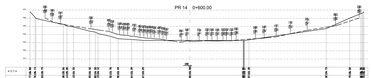
РАЗМЕРА 1:100/500

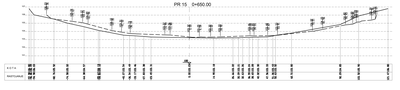
бр. профила 2-12

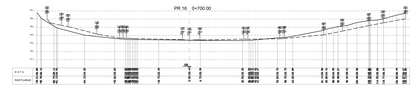
2013

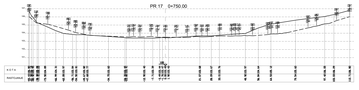
2015

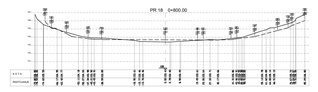


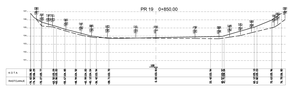


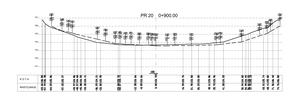


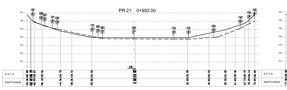


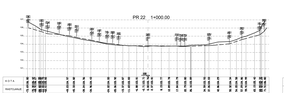


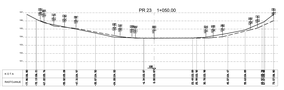


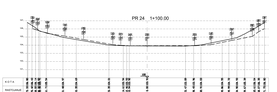


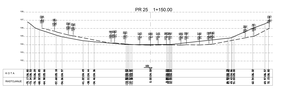


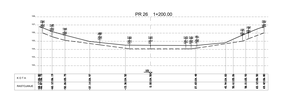












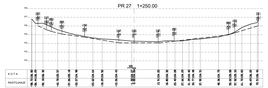
ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ АКУМУЛАЦИЈЕ ЉУКОВО

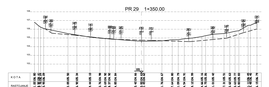
РАЗМЕРА 1:100/500

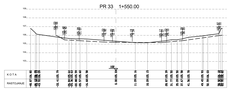
Бр. профила 13-26

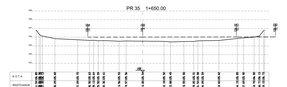
2013

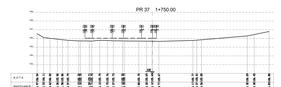
2015

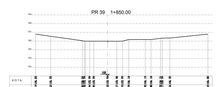


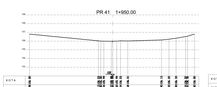


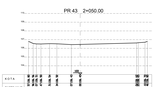


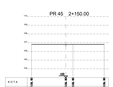


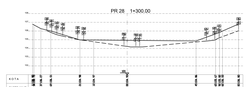


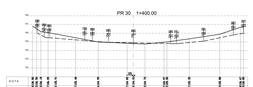


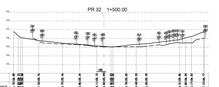


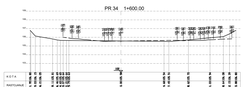


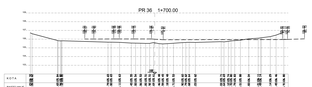


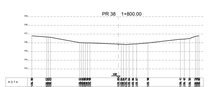


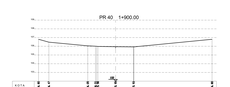


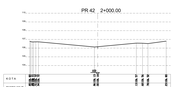


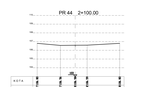












ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ АКУМУЛАЦИЯ ЛЪКОВО

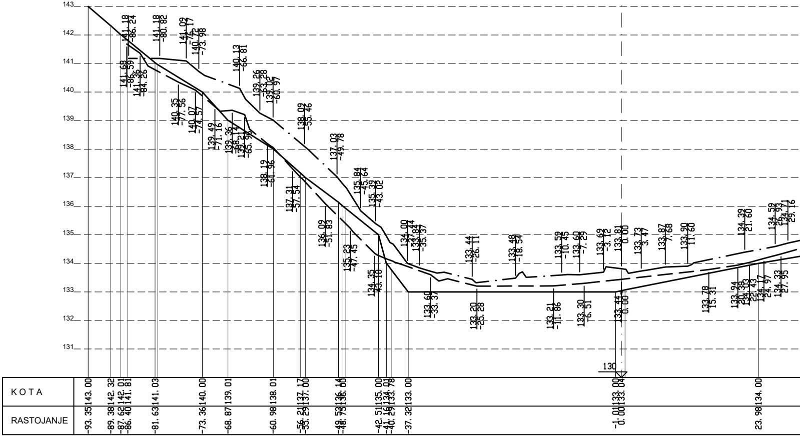
РАЗМЕРА 1:100/500

Бр. профила 14-46

2013

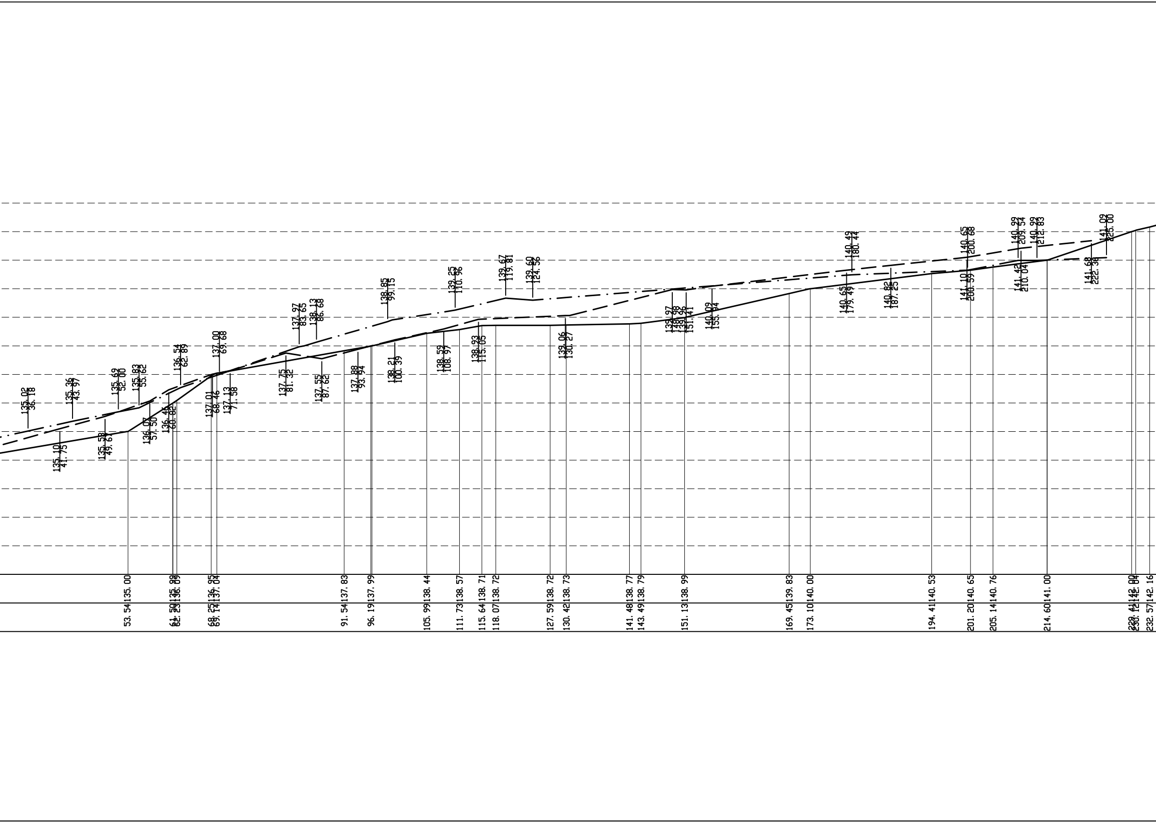
2015

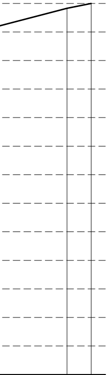
PR 2 0+050.00



143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
131
130
141.18 -86.24
141.68 -86.59
141.36 -84.26
141.18 -80.82
141.09 -76.17
140.72 -73.98
140.35 -77.56
140.07 -74.57
140.13 -66.81
139.49 -71.16
139.36 -68.14
139.21 -65.98
139.26 -63.28
139.02 -60.97
138.19 -61.96
138.09 -55.46
137.31 -57.54
137.03 -49.78
136.09 -51.83
135.84 -43.64
135.39 -43.02
135.23 -47.45
134.35 -43.18
134.00 -37.44
133.84 -35.37
133.60 -33.37
133.44 -26.11
133.20 -25.28
133.48 -18.54
133.59 -10.45
133.60 -7.29
133.21 -11.86
133.30 -6.51
133.69 -3.12
133.81 0.00
133.44 0.00
133.73 3.47
133.87 7.68
133.90 11.60
133.78 15.31
134.39 21.60
133.94 20.39
134.03 22.43
134.17 24.97
134.33 27.95
134.59 25.93
134.71 29.16

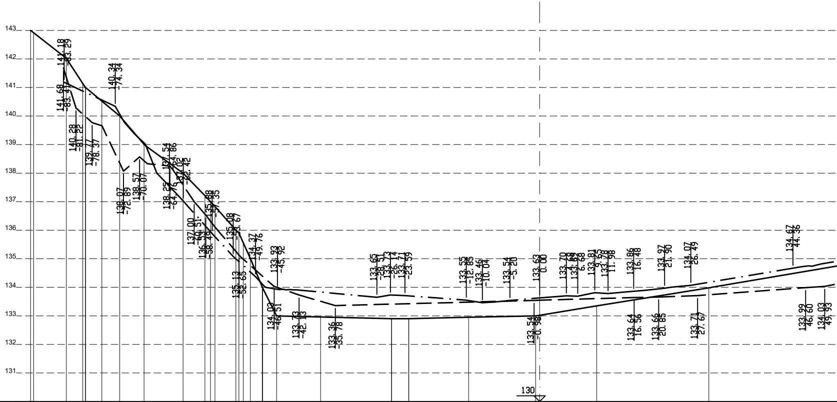
KOTA	RASTOJANJE
143.00	-93.35
142.32	-89.38
142.01	-87.62
141.81	-86.40
141.03	-81.63
140.00	-73.36
139.01	-68.87
138.01	-60.98
137.17	-56.21
137.00	-55.29
136.14	-49.53
136.00	-48.75
135.00	-42.51
134.01	-41.16
133.78	-40.29
133.00	-37.32
133.00	-1.01
133.04	0.00
134.00	23.98


135.02
36.18
135.10
41.75
135.36
43.97
135.53
49.67
135.69
52.00
135.83
55.62
136.07
57.50
136.46
60.82
136.54
62.89
137.00
69.68
137.01
68.46
137.13
71.58
137.75
81.32
137.97
83.65
137.55
87.62
138.13
86.68
137.88
93.94
138.85
99.15
138.21
100.39
138.59
108.97
139.25
110.96
138.93
115.05
139.67
119.81
139.60
124.58
139.06
130.27
139.97
151.41
140.09
155.94
140.65
179.49
140.49
180.44
140.82
187.25
141.10
200.59
140.65
200.68
140.99
209.54
141.42
210.04
140.99
212.83
141.68
222.38
141.09
225.00
135.00
53.54
135.98
61.50
136.09
62.39
136.95
68.25
137.04
69.14
137.83
91.54
137.99
96.19
138.44
105.99
138.57
111.73
138.71
115.64
138.72
118.07
138.72
127.59
138.73
130.42
138.77
141.48
138.79
143.49
138.99
151.13
139.83
169.45
140.00
173.10
140.53
194.41
140.65
201.20
140.76
205.14
141.00
214.60
142.00
229.41
142.04
230.12
142.16
232.57



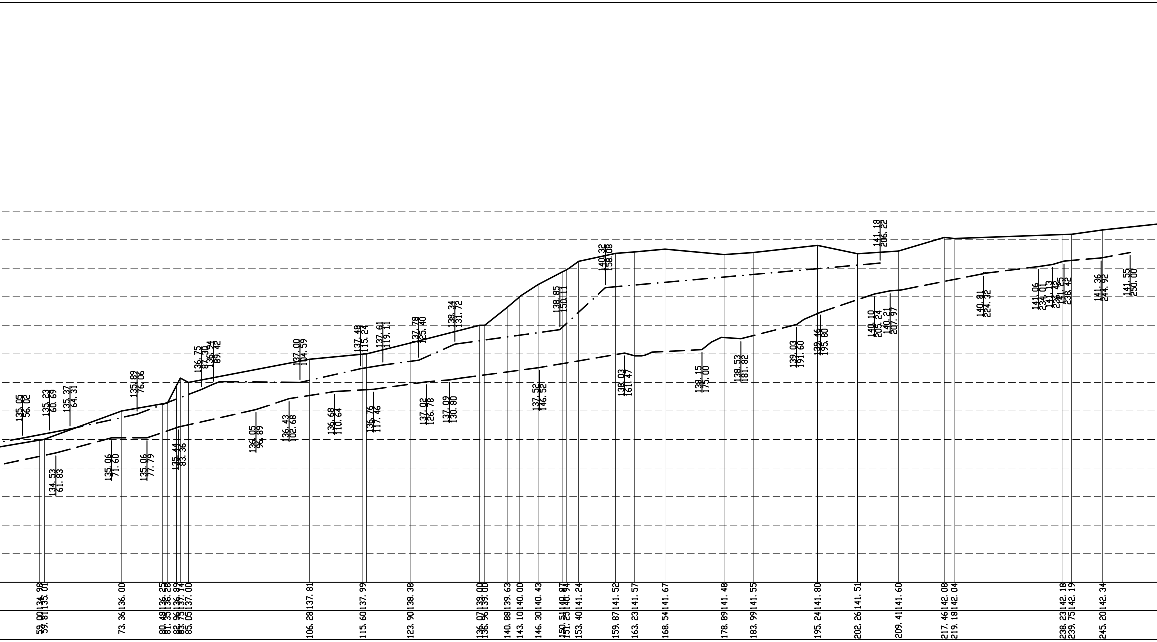
142.83	143.00
245.41	249.64

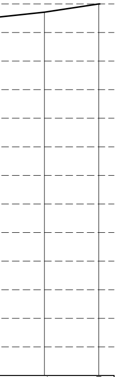
PR 3   0+100.00


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
131
130
141.18
-83.29
141.68
-83.47
140.34
-74.34
140.28
-81.22
139.77
-78.37
138.07
-72.89
138.57
-70.07
137.54
-64.86
138.25
-64.76
137.02
-62.42
137.00
-60.51
136.33
-58.49
135.88
-57.35
135.08
-53.67
135.13
-52.63
134.37
-49.76
133.93
-45.92
134.03
-46.51
133.73
-42.13
133.36
-35.78
133.65
-28.51
133.73
-26.14
133.71
-23.59
133.55
-12.85
133.46
-10.04
133.54
-5.20
133.63
0.00
133.54
-0.98
133.81
133.78
11.98
133.86
16.48
133.64
16.56
133.97
21.90
133.66
20.85
134.07
26.49
133.71
27.67
134.67
44.36
133.99
46.60
134.03
49.93

K O T A	143.00	142.02	141.14	140.52	140.00	139.01	138.00	137.21	137.00	[illegible]	136.83	136.01	135.56	135.01	134.00	133.00
RASTOJANJE	-89.18	-82.91	-80.03	-76.68	-73.56	-69.29	-62.46	-58.62	[illegible]	[illegible]	-56.88	-53.20	-51.92	-50.67	-48.58	-46.07

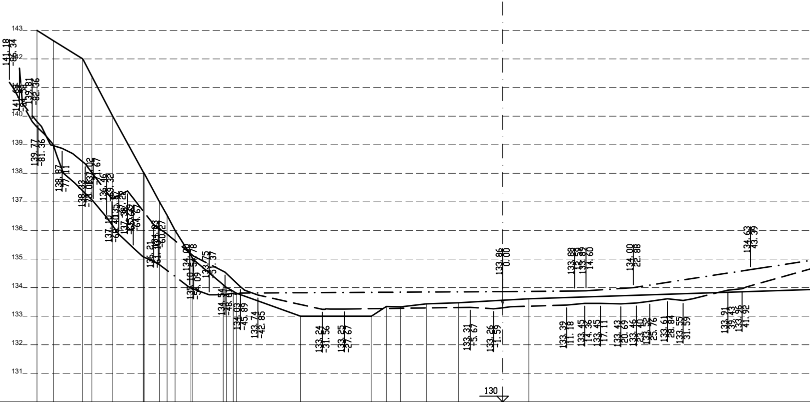
K O T A	132.96	132.90	132.90	132.95	133.00	133.35	133.98
RASTOJANJE	-38.38	-25.94	-22.94	-12.45	-0.70	10.00	29.63


135.05 56.02
135.23 60.69
135.37 64.31
134.53 61.83
135.06 71.60
135.89 76.06
135.06 77.79
135.44 83.36
136.75 87.30
136.24 89.42
136.05 96.89
136.43 102.68
137.00 104.59
136.68 110.64
137.48 115.24
136.76 117.46
137.61 119.11
137.78 125.40
137.02 126.78
138.34 131.72
137.09 130.80
137.52 146.52
138.85 150.11
140.32 158.08
138.03 161.47
138.15 175.00
138.53 181.82
139.03 191.60
139.46 195.80
140.10 205.24
140.21 207.97
141.18 206.22
140.81 224.32
141.06 234.01
141.13 236.42
141.25 238.42
141.36 244.92
141.55 250.00
134.98
135.01
136.00
136.25
136.28
136.89
137.14
137.00
137.81
137.99
138.38
139.00
139.00
139.63
140.00
140.43
140.87
140.94
141.24
141.52
141.57
141.67
141.48
141.55
141.80
141.51
141.60
142.08
142.04
142.18
142.19
142.34
59.00
59.81
73.36
80.48
81.35
82.96
83.75
85.05
106.28
115.60
123.90
136.07
136.96
140.88
143.10
146.30
150.51
151.29
153.40
159.87
163.23
168.54
178.89
183.99
195.24
202.26
209.41
217.46
219.18
238.23
239.75
245.20



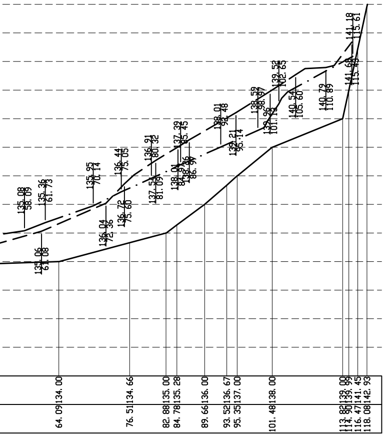
142. 71	143. 00
262. 45	271. 98

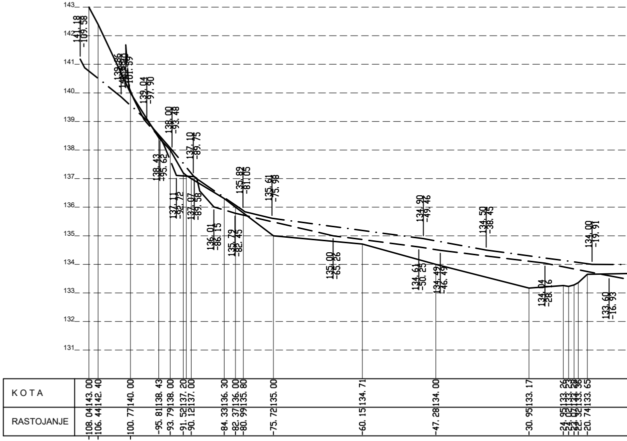
PR 4 0+150.00



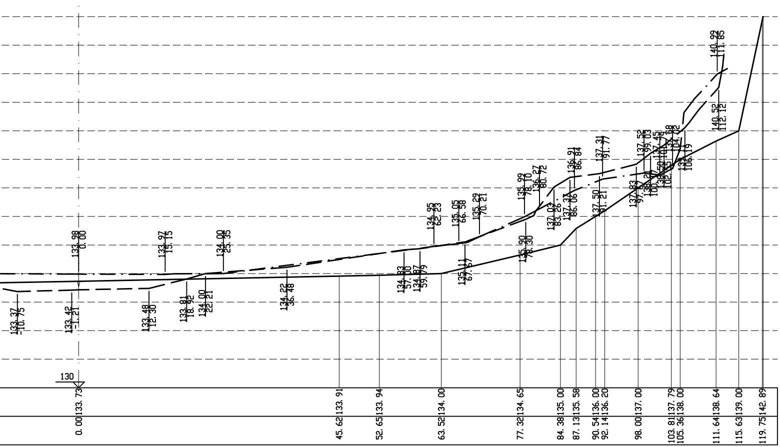
143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
131
130
141. 18
-86. 34
139. 81
-82. 36
139. 77
-81. 36
138. 87
-77. 11
138. 33
137. 02
-71. 67
136. 46
-69. 32
137. 10
137. 25
136. 21
134. 83
-60. 27
134. 00
-54. 09
-52. 78
133. 75
-51. 37
134. 54
134. 03
-45. 89
133. 74
-42. 85
133. 24
-31. 56
133. 25
-27. 67
133. 31
-5. 67
133. 26
-1. 59
133. 86
0. 00
133. 88
133. 89
14. 60
134. 00
22. 88
134. 63
43. 39
133. 39
11. 18
133. 45
14. 36
133. 45
17. 11
133. 43
20. 69
133. 46
23. 40
133. 52
25. 76
133. 61
28. 84
133. 55
31. 59
133. 91
39. 43
133. 96
41. 92

K O T A	RASTOJANJE
143. 00	-81. 52
142. 64	-78. 66
142. 01	-73. 56
141. 39	-71. 91
140. 00	-68. 27
138. 04	-62. 91
137. 00	-60. 07
136. 53	-58. 74
136. 00	-57. 34
135. 12	-54. 58
134. 10	-48. 93
133. 87	-47. 17
133. 00	-35. 38
133. 00	-23. 02
133. 34	-20. 37
133. 33	-17. 92
133. 43	-13. 36
133. 47	-7. 75
133. 56	0. 00
133. 61	4. 58

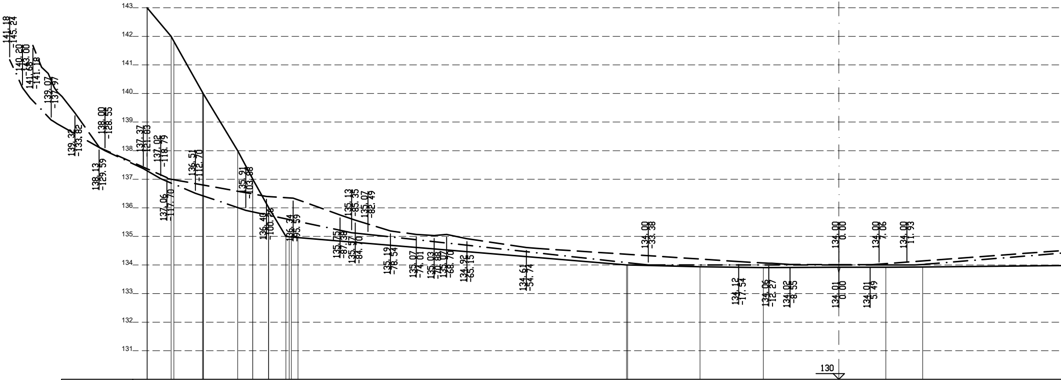

135.08
58.09
135.36
61.73
135.06
61.08
135.95
70.14
136.04
72.36
136.44
75.05
136.72
75.60
136.91
80.32
137.53
81.09
137.39
85.45
138.01
92.48
139.21
95.14
138.59
98.97
139.52
102.65
138.96
101.13
140.54
105.60
140.79
110.89
141.18
115.61
141.68
115.45
64.09 134.00
76.51 134.66
82.88 135.00
84.78 135.28
89.66 136.00
93.52 136.67
95.35 137.00
101.48 138.00
113.82 139.00
114.90 139.99
116.47 141.45
118.08 142.93


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
131
141.18
-109.58
139.04
-97.90
138.00
-93.48
138.43
-95.62
137.10
-89.75
137.11
-92.72
137.07
-89.58
136.01
-86.15
135.79
-82.45
135.89
-81.05
135.61
-75.98
135.00
-65.26
134.90
-49.46
134.61
-50.25
134.49
-46.49
134.50
-38.45
134.04
-28.16
134.00
-19.91
133.60
-16.93
KOTA
RASTOJANJE
-108.04 143.00
-106.44 142.40
-100.77 140.00
-95.81 138.43
-93.79 138.00
-91.52 137.20
-90.12 137.00
-84.33 136.30
-82.37 136.00
-80.99 135.80
-75.72 135.00
-60.15 134.71
-47.28 134.00
-30.95 133.17
-24.95 133.26
-20.74 133.65

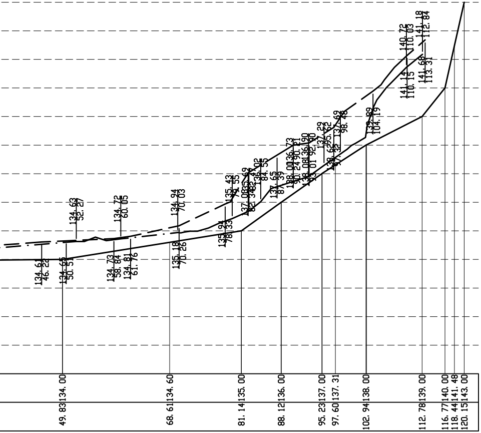
PR 5 0+200.00

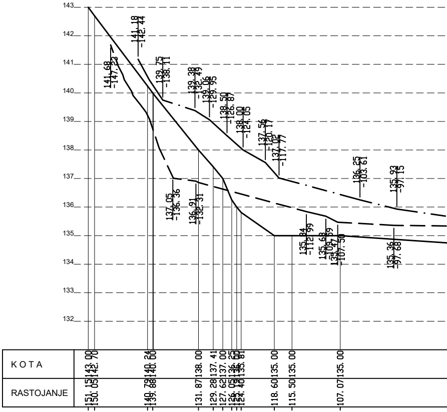

133.37
-10.75
133.42
-1.21
133.98
0.00
133.48
12.30
133.97
15.15
133.81
18.92
134.00
22.21
134.00
25.35
134.22
36.48
134.83
57.00
134.87
59.79
134.95
62.23
135.05
66.58
135.11
67.57
135.29
70.21
135.90
78.30
135.99
78.10
136.27
80.72
137.03
83.26
137.31
86.06
136.91
86.84
137.50
91.21
137.31
91.77
137.83
97.67
138.24
100.47
137.52
99.03
137.45
102.55
104.02
106.19
140.52
112.12
140.99
111.85
130
0.00
133.73
45.62
133.91
52.65
133.94
63.52
134.00
77.32
134.65
84.38
135.00
87.13
135.58
90.54
136.00
92.14
136.20
98.00
137.00
103.81
137.79
105.36
138.00
111.64
138.64
115.63
139.00
119.75
142.89

PR 6 0+250.00

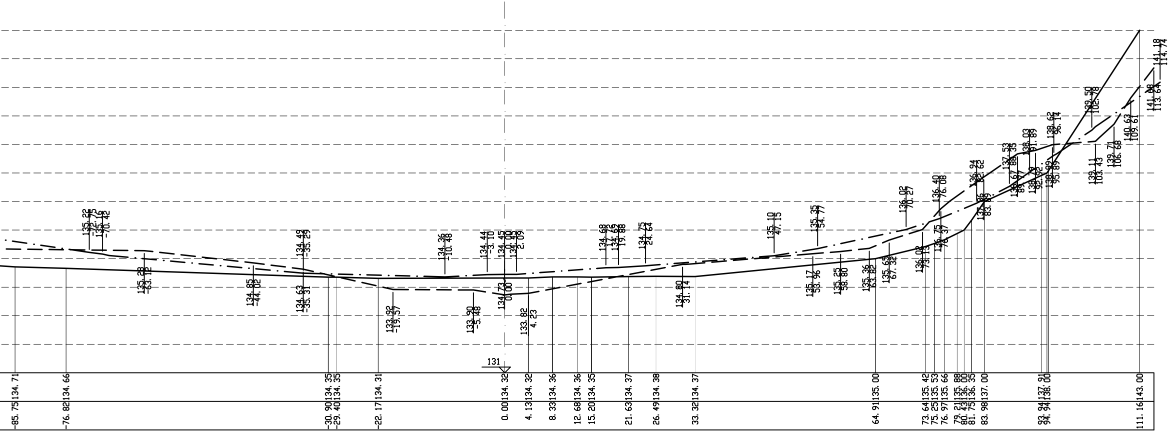

143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
131
130
141.18 -145.24
140.20 -143.00
141.68 -141.18
139.07 -137.97
139.32 -133.82
138.00 -128.55
138.13 -129.59
137.37 -121.83
137.02 -118.79
137.06 -117.70
136.51 -112.70
135.91 -103.88
136.40 -100.28
136.34 -95.59
135.75 -87.38
135.13 -85.35
135.57 -84.70
135.07 -82.49
135.19 -78.54
135.07 -74.01
135.03 -70.88
135.07 -68.70
134.92 -65.15
134.61 -54.74
134.00 -33.38
134.12 -17.54
134.06 -12.27
134.02 -8.55
134.00 0.00
134.01 0.00
134.00 7.06
134.01 5.49
134.00 11.93

KOTA	143.00	142.00	140.04	138.00	137.01	136.01	135.00	134.98	134.96	134.00	133.94	133.91	133.92	133.92	133.93
RASTOJANJE	-121.17	-116.97	-111.47	-105.30	-102.68	-99.89	-96.85	-95.91	-94.73	-37.18	-24.32	-13.22	0.00	8.24	14.70

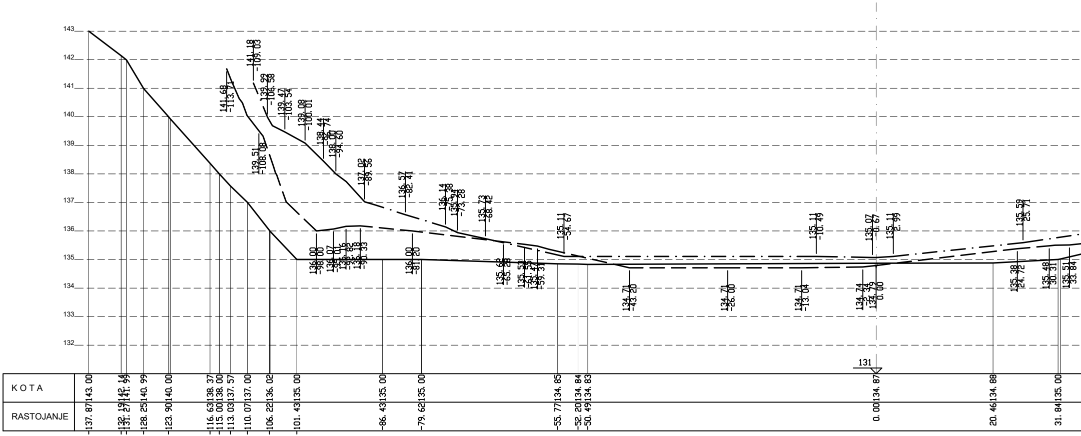

134.63
52.27
134.72
60.05
134.94
70.03
135.43
135.94
78.33
134.61
46.22
134.65
50.51
134.73
58.84
134.81
61.76
135.18
70.26
137.65
87.39
137.29
139.89
104.19
140.72
110.03
141.18
112.84
141.14
110.15
141.68
113.31
49.83 134.00
68.61 134.60
81.14 135.00
88.12 136.00
95.23 137.00
97.60 137.31
102.94 138.00
112.78 139.00
116.77 140.00
118.44 141.48
120.15 143.00

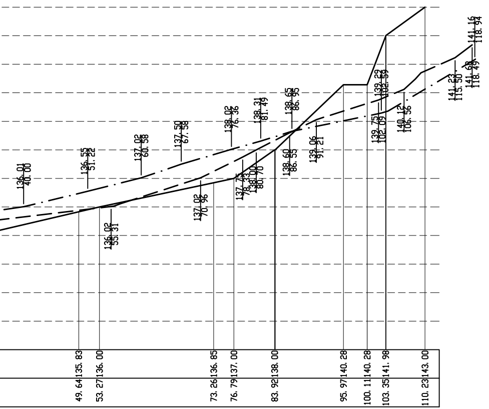

143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
141.18
-142.44
141.68
-147.23
139.75
-138.11
139.38
-132.49
139.06
-129.95
138.50
-126.87
138.00
-124.05
137.56
-120.17
137.05
-117.77
136.25
-103.61
135.93
-97.15
137.05
-136.36
136.91
-132.31
135.84
-112.99
135.68
-109.69
135.47
-107.50
135.36
-97.68
KOTA
RASTOJANJE
151.15 143.00
150.05 142.70
140.79 140.24
139.88 140.00
131.87 138.00
129.28 137.41
127.62 137.00
126.05 136.25
125.19 136.00
124.40 135.81
118.60 135.00
115.50 135.00
107.07 135.00

PR 7 0+300.00


135.22
-72.75
135.18
-70.42
135.28
-63.12
134.85
-44.02
134.49
-35.29
134.63
-35.31
133.92
-19.57
134.36
-10.48
133.90
-5.48
134.44
-3.10
134.45
0.00
134.73
0.00
134.43
2.09
133.82
4.23
134.68
134.62
19.88
134.75
24.64
134.80
31.14
135.10
47.15
135.35
54.77
135.17
53.96
135.25
58.80
135.36
63.82
135.65
67.32
136.02
70.27
136.02
73.13
136.40
76.08
136.75
76.37
136.94
82.62
137.06
83.89
137.53
88.35
136.67
89.77
138.03
91.89
138.18
92.92
138.62
96.14
138.38
95.89
139.50
102.78
139.11
103.43
139.71
106.68
140.63
109.61
141.18
114.74
141.08
113.64
131
134.71
-85.75
134.66
-76.82
134.35
-30.90
134.35
-29.40
134.31
-22.17
134.32
0.00
134.32
4.13
134.36
8.33
134.36
12.68
134.35
15.20
134.37
21.63
134.38
26.49
134.37
33.32
135.00
64.91
135.42
73.64
135.53
75.25
135.66
76.97
135.88
79.21
136.00
80.43
136.35
81.75
137.00
83.98
137.91
93.94
138.00
94.94
143.00
111.16

PR 8 0+350.00


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
132
131
KOTA
143.00
142.14
141.99
140.99
140.00
138.37
138.00
137.57
137.00
136.02
135.00
135.00
135.00
134.85
134.84
134.83
134.87
134.88
135.00
RASTOJANJE
-137.87
-132.19
-131.27
-128.25
-123.90
-116.63
-115.00
-113.03
-110.07
-106.22
-101.43
-86.43
-79.62
-55.77
-52.20
-50.49
0.00
20.46
31.84


136.01
40.00
136.55
51.22
137.02
60.58
137.50
67.58
138.02
76.36
138.31
81.49
138.65
86.95
136.02
55.31
137.02
70.96
137.75
78.23
138.00
80.70
138.60
86.55
139.06
91.21
139.75
102.09
139.29
102.59
140.15
106.56
141.23
115.50
141.68
118.49
141.16
118.94
135.83
49.64
136.00
53.27
136.85
73.26
137.00
76.79
138.00
83.92
140.28
95.97
140.28
100.11
141.98
103.35
143.00
110.23

ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ АКУМУЛАЦИЈЕ СОТ

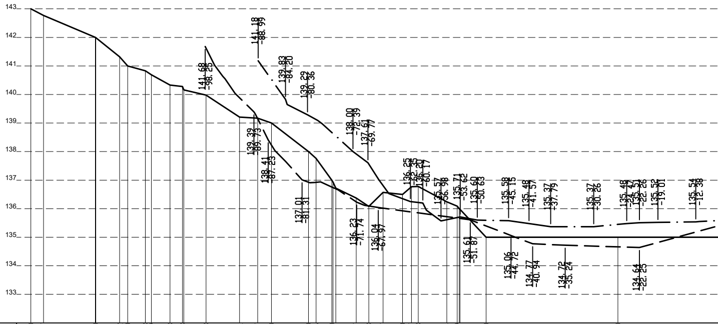
РАЗМЕРА 1:100/500

Бр. профила 2-8

——— 2079

— — — 2014

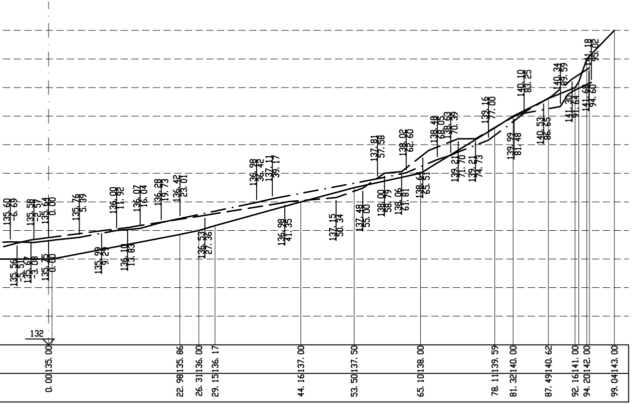
— · — · — 2015


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
141. 68
-98. 25
141. 18
-88. 99
139. 83
-84. 20
139. 29
-80. 36
139. 39
-89. 73
138. 41
-87. 23
137. 01
-81. 31
138. 00
-72. 39
137. 61
-69. 77
136. 23
-71. 74
136. 04
-67. 97
136. 25
-62. 35
136. 20
-60. 17
135. 57
-56. 98
135. 71
-53. 62
135. 60
-50. 63
135. 61
-51. 87
135. 58
-45. 15
135. 48
-41. 57
135. 37
-37. 79
135. 37
-30. 26
135. 48
-24. 47
135. 51
-22. 26
135. 52
-19. 01
135. 54
-12. 38
135. 06
-44. 72
134. 77
-40. 94
134. 72
-35. 24
134. 64
-22. 25

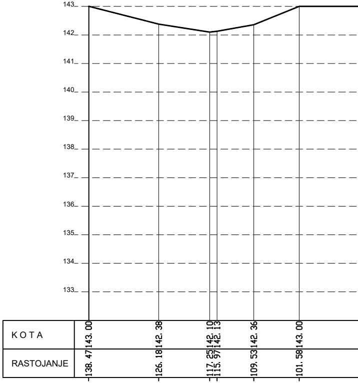
K O T A	143. 00	142. 77	142. 00	141. 32	141. 00	140. 83	140. 69	140. 33	140. 28	139. 98	139. 21	139. 17	139. 00	138. 00
RASTOJANJE	-128. 78	-126. 55	-117. 46	-113. 24	-111. 83	-108. 74	-107. 67	-104. 41	-102. 24	-98. 11	-92. 24	-89. 07	-86. 67	-80. 19

K O T A	137. 76	137. 00	136. 37	136. 08	136. 57	136. 50	136. 77	136. 78	136. 24	136. 09	135. 00	135. 00
RASTOJANJE	-78. 84	-76. 09	-71. 82	-69. 63	-67. 12	-63. 72	-62. 14	-60. 97	-55. 96	-54. 15	-49. 08	-26. 02

PR 9   0+400.00

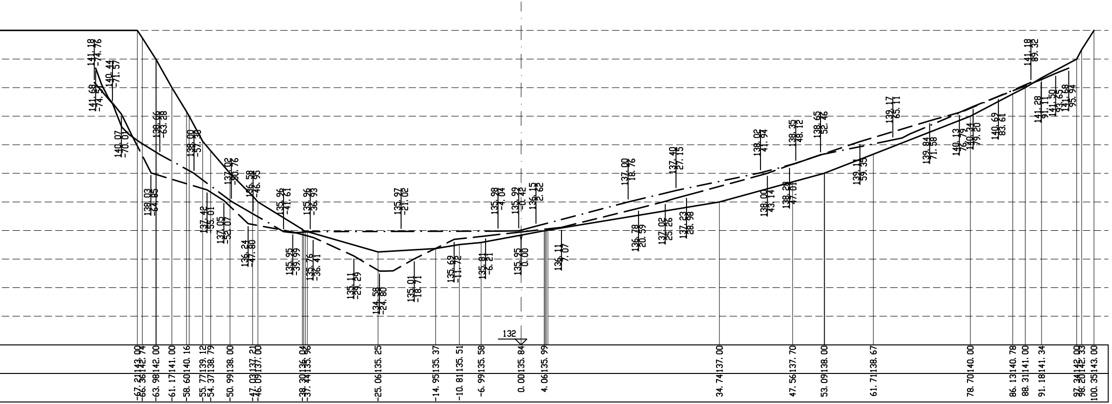


132
0.00 135.00
22.98 135.86
26.31 136.00
29.15 136.17
44.16 137.00
53.50 137.50
65.10 138.00
78.11 139.59
81.32 140.00
87.49 140.62
92.16 141.00
94.20 142.00
99.04 143.00



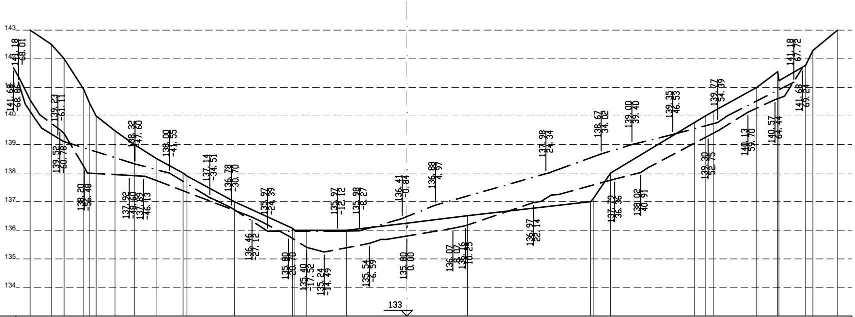
143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
133
KOTA
RASTOJANJE
143.00 138.47
142.38 126.18
142.10 117.25
142.13 115.97
142.36 109.53
143.00 101.58

PR 10 0+450.00


141.18 -74.76
140.44 -71.57
141.68 -74.57
140.07 -70.07
138.66 -63.28
138.03 -64.85
138.00 -57.38
137.42 -55.01
137.02 -50.76
137.05 -52.07
136.58 -46.95
136.24 -47.80
135.96 -41.61
135.95 -39.99
135.96 -36.93
135.76 -36.41
135.11 -29.29
134.58 -24.80
135.97 -21.02
135.01 -18.71
135.69 -11.72
135.81 -6.21
135.98 -4.04
135.99 -0.42
135.95 0.00
136.15 2.62
136.11 7.07
137.00 18.76
136.78 20.59
137.02 25.26
137.40 27.15
137.23 28.98
138.02 41.94
138.00 43.14
138.35 48.12
138.28 47.01
138.65 52.46
139.11 59.35
139.17 65.11
139.84 71.58
140.13 76.79
140.34 79.20
140.69 83.61
141.18 89.32
141.28 91.11
141.50 93.65
141.68 95.94
132

143.00	142.74	142.00	141.00	140.16	139.12	138.79	138.00	137.21	137.00	136.04	135.96	135.25	135.37	135.51	135.58	135.84	135.99	137.00	137.70	138.00	138.67	140.00	140.78	141.00	141.34	142.00	142.33	143.00
-67.21	-66.36	-63.98	-61.17	-58.60	-55.77	-54.37	-50.99	-47.03	-46.09	-38.30	-37.44	-25.06	-14.95	-10.81	-6.99	0.00	4.06	34.74	47.56	53.09	61.71	78.70	86.13	88.31	91.18	97.34	98.20	100.35

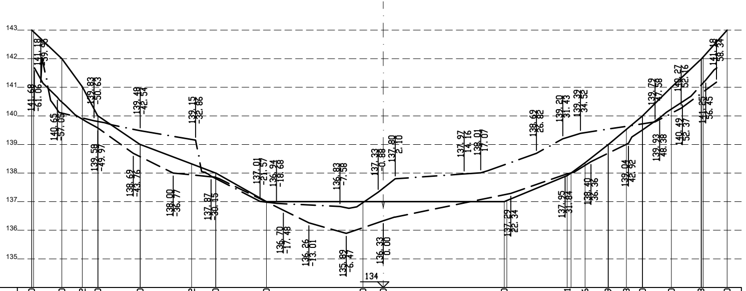
PR 11 0+500.00



143
141
140
139
138
137
136
135
134
133
141.18 -68.01
141.68 -68.86
139.23 -61.11
139.52 -60.78
138.20 -56.48
137.92 -49.60
138.32 -47.60
137.89 -46.13
138.00 -41.55
137.14 -34.51
136.78 -30.70
136.46 -27.12
135.97 -24.39
135.80 -20.70
135.40 -17.52
135.24 -14.49
135.97 -12.12
135.98 -8.27
135.54 -6.59
136.41 -0.84
135.80 0.00
136.88 4.97
136.07 8.07
136.16 10.25
136.97 22.14
137.98 24.34
138.67 34.02
137.79 36.36
139.00 39.40
138.02 40.91
139.35 46.53
139.30 52.75
139.77 54.39
140.13 59.70
140.57 64.44
141.18 67.72
141.68 69.24

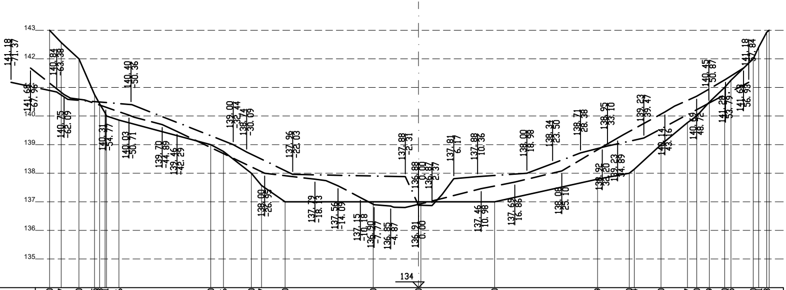
KOTA	RASTOJANJE
143.00	-65.95
142.50	-62.24
142.00	-60.02
140.93	-56.58
140.44	-55.54
140.00	-54.41
139.48	-51.09
139.00	-47.74
138.50	-43.78
138.00	-39.18
137.00	-30.20
136.07	-20.03
136.00	-17.56
136.00	-10.57
136.25	0.00
136.51	10.62
137.00	32.17
138.00	35.66
139.77	50.36
140.00	52.25
140.16	53.65
141.00	61.25
141.55	64.91
141.77	69.81
142.29	71.07
143.00	75.39

PR 12 0+550.00


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
141.68 -61.06
141.18 -59.95
140.65 -57.05
139.83 -50.63
139.58 -49.97
139.48 -42.54
138.69 -43.76
139.15 -32.86
138.00 -36.77
137.87 -30.15
137.01 -21.57
136.94 -18.68
136.70 -17.48
136.26 -13.01
135.89 -6.47
136.83 -7.58
137.33 -0.88
137.80 2.10
136.33 0.00
137.97 14.16
138.01 17.07
137.29 22.34
138.69 26.82
139.20 31.43
139.39 34.52
137.95 31.84
138.40 36.36
139.04 42.92
139.79 47.58
139.93 48.38
140.27 52.16
140.49 52.37
141.25 56.45
141.18 58.34

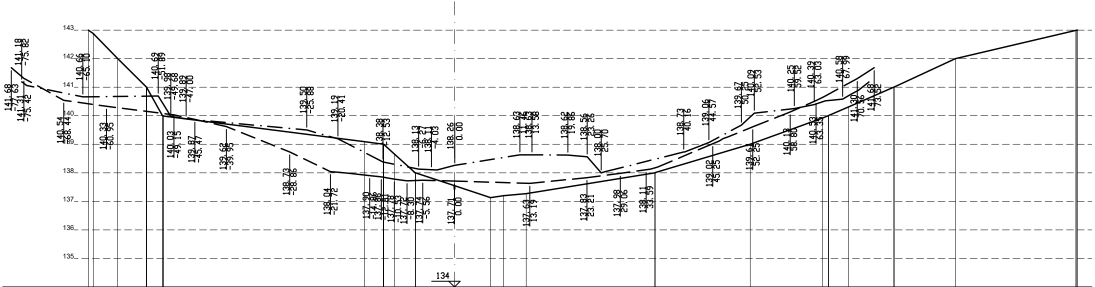
KOTA	143.00	142.00	141.02	140.00	139.00	138.32	138.00	137.00	137.00	137.00	137.00	137.91	138.36	138.99	139.53	140.00	141.00	141.98	143.00
RASTOJANJE	-61.56	-56.26	-52.68	-49.97	-42.56	-33.54	-29.34	-20.45	-3.55	0.00	21.18	32.20	35.32	39.34	42.56	45.38	50.44	55.62	60.20

PR 13 0+600.00


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
141.18 -71.37
141.68 -67.96
140.84 -63.38
140.75 -62.09
140.40 -50.36
140.31 -54.77
140.03 -50.71
139.70 -44.89
139.46 -42.29
139.00 -37.44
138.74 -30.09
137.96 -22.03
138.00 -26.95
137.79 -18.13
137.56 -14.09
137.13 -10.18
136.90 -7.77
136.85 -4.87
137.88 -2.31
136.88 0.00
136.87 2.37
136.91 0.00
137.81 6.17
137.88 10.36
137.46 10.98
137.65 16.86
138.00 18.98
138.34 23.50
138.08 25.10
138.71 28.38
138.95 33.10
138.92 33.20
139.23 34.89
139.23 39.47
140.14 43.16
140.45 50.87
140.01 48.72
141.28 53.79
141.68 56.98
141.18 57.84

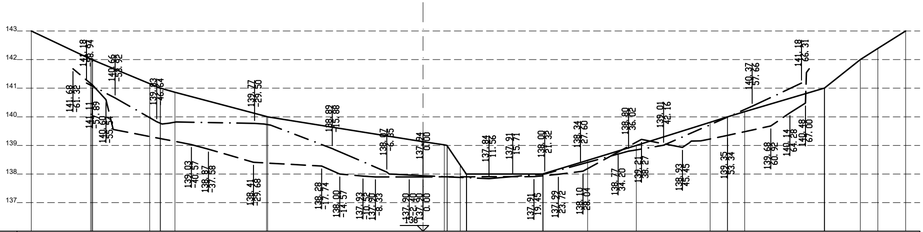
KOTA	143.00	142.57	142.00	140.75	140.43	140.11	139.86	139.00	138.76	138.00	137.57	137.00	137.00	137.00	137.00	137.79	138.00	138.14	139.00	139.77	140.00	140.49	141.00	141.25	142.00	142.41	142.93
RASTOJANJE	-64.62	-62.59	-59.48	-56.74	-55.85	-54.90	-52.47	-36.38	-34.17	-29.27	-27.49	-23.36	-7.93	0.00	13.33	31.37	36.91	37.80	42.49	47.12	48.75	50.94	53.63	54.74	58.64	59.61	61.00

PR 14 0+650.00


143
142
141
140
139
138
137
136
135
134
141.68 -72.63
141.31 -75.42
141.18 -75.82
140.54 -68.44
140.66 -65.10
140.33 -60.95
140.69 -51.89
139.98 -49.68
139.89 -47.00
140.03 -49.15
139.87 -45.47
139.62 -39.95
139.50 -25.88
138.73 -28.86
139.19 -20.41
138.04 -21.72
137.90 -14.86
137.86
137.81
137.48 -10.73
137.73 -8.30
137.74 -5.56
138.38 -12.53
138.13
138.27 -4.03
138.26 0.00
137.71 0.00
138.63 11.45
138.58 13.58
137.63 13.19
138.62 19.86
138.56 23.26
137.83 23.21
138.00 25.70
137.98 29.06
138.11 33.59
138.73 40.16
139.06 44.57
139.02 45.25
139.67 50.65
140.09 52.53
139.63 52.25
140.25 59.52
140.13 58.80
140.39 63.03
140.53 63.35
140.58 67.99
141.30 70.56
141.68 73.52

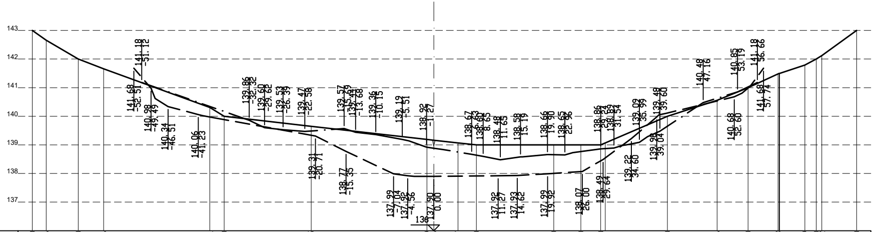
KOTA	143.00	142.88	142.00	141.00	140.00	139.09	139.00	138.66	138.00	137.55	137.13	137.20	137.27	138.00	139.00	139.92	140.00	140.31	141.00	142.00	142.99
RASTOJANJE	-64.13	-63.27	-58.99	-53.95	-51.16	-15.75	-12.43	-10.53	-6.87	0.00	6.32	8.59	12.56	35.08	51.81	64.49	65.50	69.06	76.94	87.75	108.84

PR 15 0+700.00


143
142
141
140
139
138
137
136
141.18 -58.94
141.68 -61.32
141.11 -57.89
140.60 -55.54
140.66 -53.92
139.83 -46.24
139.03 -40.57
138.87 -37.58
139.77 -29.50
138.41 -29.68
138.89 -15.88
138.28 -17.74
138.00 -14.57
137.93 -10.52
137.90 -8.33
138.07 -6.35
137.90 -2.40
137.90 0.00
137.94 0.00
137.84 11.56
137.91 15.71
137.91 19.45
138.00 21.32
137.99 23.72
138.34 27.60
138.10 28.04
138.77 34.20
138.80 36.02
138.21 38.27
139.01 42.16
138.93 45.45
139.35 53.34
139.68 60.92
140.14 64.28
140.48 67.00
140.37 57.66
141.18 66.31

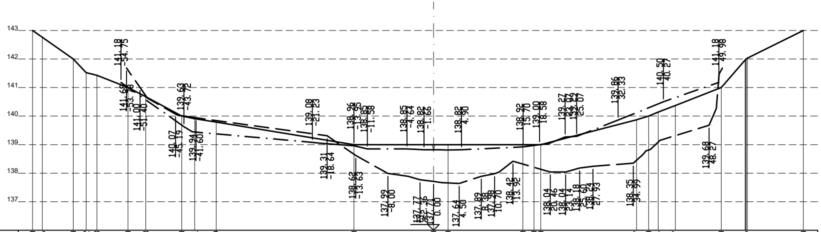
KOTA	143.00	142.02	141.16	141.00	140.86	140.01	139.13	139.02	138.31	138.00	138.00	138.48	139.00	139.81	140.00	140.18	141.00	142.00	142.39	143.00
RASTOJANJE	-68.61	-58.22	-47.88	-46.03	-43.44	-27.41	0.00	3.73	6.53	7.59	20.94	28.83	37.37	50.30	53.33	56.35	70.29	76.62	79.68	84.55

PR 16 0+750.00


143
142
141
140
139
138
137
136
141.18 -51.12
141.68 -52.51
140.98 -49.49
140.34 -46.51
140.06 -41.23
139.86 -32.32
139.60 -29.62
139.53 -26.39
139.47 -22.58
139.31 -20.71
138.77 -15.35
139.57
139.49 -13.68
139.36 -10.15
139.19 -5.51
138.92 -1.27
137.99 -7.04
137.92 -4.56
137.90 0.00
138.67 8.65
138.48 11.63
137.92 11.27
138.58 15.19
137.93 14.62
138.66 19.90
137.99 19.92
138.65 22.96
138.07 26.00
138.86 31.54
138.49 29.64
139.09 35.99
139.22 34.60
139.48 39.60
139.98 39.04
140.48 47.16
140.68 52.60
140.85 53.19
141.18 56.62
141.68 57.74

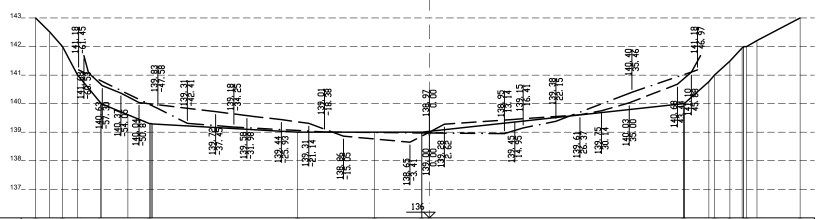
KOTA	143.00	142.66	142.00	141.66	140.31	140.00	139.65	139.19	139.16	139.07	139.00	139.00	139.00	139.00	139.07	140.00	140.56	141.00	141.48	141.79	142.00	142.12	143.00
RASTOJANJE	-70.28	-67.86	-62.24	-57.80	-39.21	-36.69	-21.46	-1.19	0.00	4.25	7.46	21.00	25.75	29.21	30.03	40.90	49.60	55.02	60.28	64.96	66.97	67.94	74.03

PR 17 0+800.00


143
142
141
140
139
138
137
141.18 -54.75
141.68 -53.78
141.00 -51.40
139.63 -43.72
140.07 -45.19
139.94 -41.60
139.08 -21.23
139.31 -18.64
138.96 -13.95
138.85 -11.58
138.62 -13.63
137.99 -8.00
138.85 -4.64
138.82 -1.66
137.77
0.00
138.82 4.90
137.64 4.50
137.89 8.38
137.98 10.70
138.42 13.92
138.92 15.70
139.00 18.58
139.27 23.57
139.99 25.07
138.04 20.46
138.04 23.14
138.18 25.60
138.24 27.93
139.86 32.33
138.35 34.99
140.50 40.27
141.18 49.98
139.68 48.27

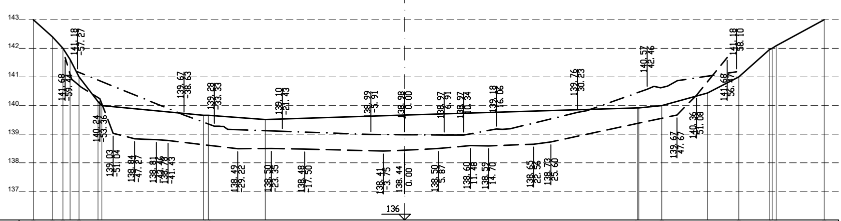
KOTA	143.00	142.76	142.00	141.52	141.43	141.00	140.68	140.00	139.91	139.79	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.87	140.00	140.14	140.37	141.00	141.96	143.00
RASTOJANJE	-70.24	-68.53	-63.10	-60.85	-58.97	-53.52	-50.40	-44.10	-41.83	-38.07	-13.93	0.00	2.54	15.65	17.60	18.79	35.58	37.68	39.36	42.36	50.40	54.57	64.79

PR 18 0+850.00


143
142
141
140
139
138
137
136
141.18 -61.45
141.69 -60.53
140.63 -57.30
140.37 -54.05
140.04 -50.81
139.83 -47.58
139.31 -42.41
139.72 -37.45
139.18 -34.25
139.58 -31.98
139.44 -25.93
139.31 -21.14
139.01 -18.38
138.86 -15.05
138.65 -3.41
138.97 0.00
139.00 0.00
139.28 2.62
138.95 13.14
139.45 14.95
139.15 16.41
139.38 22.15
139.61 26.37
139.75 30.14
140.03 35.00
140.40 35.46
140.68 43.44
141.10 45.88
141.18 46.97

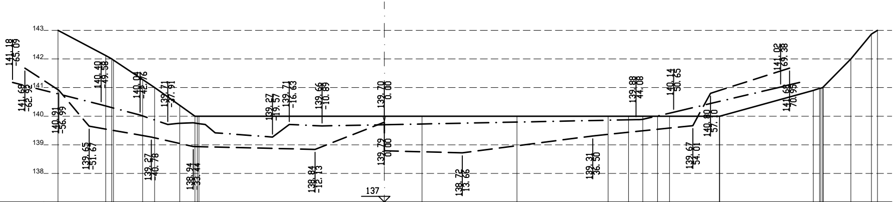
K O T A	143.00	142.51	142.00	141.01	140.02	139.61	139.30	139.00	139.00	139.00	139.03	140.00	140.77	141.00	141.49	141.95	142.00	142.21	143.00
RASTOJANJE	-69.00	-66.51	-64.27	-61.66	-57.58	-52.83	-49.06	-23.12	-9.61	-1.40	0.00	44.50	48.95	49.93	52.64	54.78	55.55	57.37	64.94

PR 19 0+900.00


143
142
141
140
139
138
137
136
141.18 -57.27
141.69 -59.44
140.24 -53.36
139.03 -51.04
138.84 -47.27
138.81 -43.71
138.78 -41.43
139.67 -38.63
139.28 -33.33
138.49 -29.22
138.50 -23.35
139.10 -21.43
138.48 -17.50
138.41 -3.75
138.99 -5.91
138.98 0.00
138.44 0.00
138.50 5.87
138.97 6.91
138.97 10.34
138.60 11.48
138.59 14.70
139.18 16.06
138.65 22.56
138.73 25.60
139.76 30.23
140.57 42.46
139.67 47.67
140.36 51.08
141.68 56.47
141.18 58.10

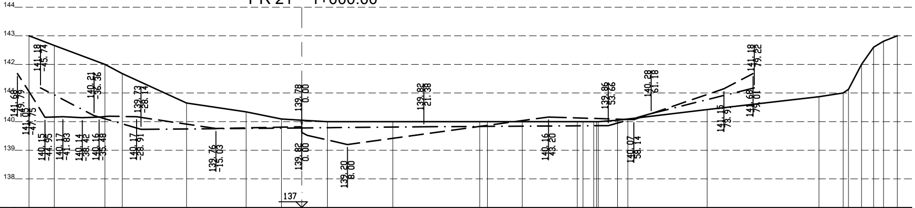
K O T A	143.00	142.40	142.00	141.61	141.00	140.14	139.66	139.66	139.51	139.67	139.92	140.00	140.44	141.00	141.95	142.09	143.00
RASTOJANJE	-65.01	-61.65	-59.83	-58.58	-57.02	-53.68	-35.21	-34.38	-24.42	0.00	40.74	45.01	53.02	58.49	63.84	65.04	73.45

PR 20 0+950.00


143
142
141
140
139
138
137
141.18 -65.09
141.68 -62.92
140.91 -56.99
139.65 -51.67
140.40 -49.58
140.04 -42.76
139.27 -40.78
139.71 -37.91
138.94 -33.44
139.27 -19.57
139.71 -16.63
138.84 -12.13
139.66 -10.89
139.70 0.00
139.79 0.00
138.72 13.66
139.31 36.50
139.88 44.08
140.14 50.65
139.67 54.01
140.80 57.10
141.02 69.38
141.68 70.95

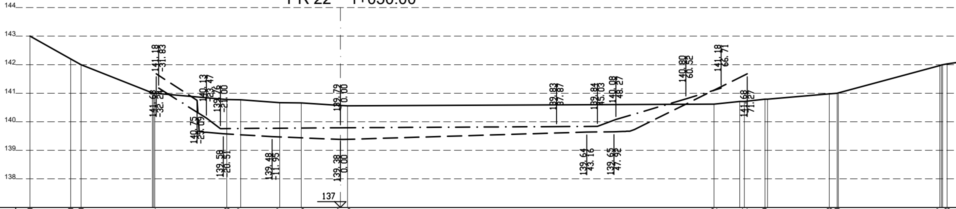
KOTA	143.00	142.12	142.00	141.28	141.00	140.38	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.90	140.97	142.00	142.87	143.00
RASTOJANJE	-57.13	-48.77	-47.71	-42.31	-40.21	-35.81	-33.15	0.00	6.60	23.22	39.19	42.75	45.25	47.84	49.94	58.67	75.10	76.20	81.69	85.28	86.35

PR 21 1+000.00


144
143
142
141
140
139
138
137
141.18 -45.74
141.68 -49.79
141.05 -47.75
140.15 -44.95
140.17 -41.83
140.14 -38.42
140.21 -36.36
140.16 -35.48
139.73 -28.14
140.17 -28.91
139.76 -15.03
139.78 0.00
139.82 0.00
139.20 8.00
139.82 21.38
140.16 43.20
139.86 53.66
140.07 58.14
140.28 61.18
141.15 73.91
141.68 79.01
141.18 79.22

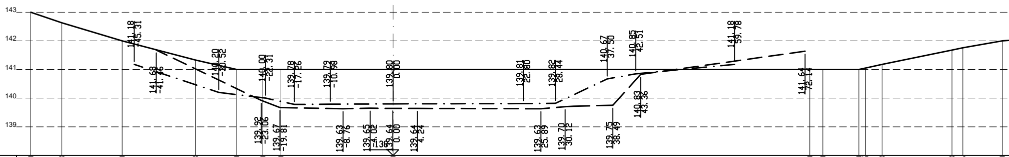
KOTA	143.00	142.66	142.00	141.68	140.65	140.34	140.09	140.05	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.05	140.09	140.42	140.87	141.00	141.13	142.00	142.60	142.81	143.00
RASTOJANJE	-47.74	-43.33	-34.46	-31.43	-20.16	-9.74	-3.55	0.00	4.49	15.94	31.15	32.52	38.62	48.24	49.23	51.13	51.93	55.28	57.08	70.98	90.56	94.78	95.72	98.01	100.13	101.86	104.28

PR 22 1+050.00

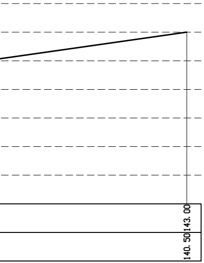

144
143
142
141
140
139
138
141.18 -31.83
141.68 -32.24
140.13 -23.47
139.76 -21.00
140.75 -25.09
139.58 -20.51
139.48 -11.95
139.79 0.00
139.38 0.00
137
139.83 37.87
139.84 45.03
140.08 48.27
139.64 43.16
139.65 47.92
140.80 60.52
141.18 66.71
141.68 71.27

KOTA	RASTOJANJE
143.00	-54.36
142.20	-47.24
142.00	-45.41
141.01	-32.92
140.78	-19.88
140.77	-17.46
140.67	-10.61
140.66	-6.84
140.57	0.00
140.56	1.26
140.62	65.45
140.71	69.96
140.71	70.76
140.79	74.39
140.98	85.66
141.00	87.02
141.97	105.01
142.03	106.29

PR 23 1+100.00


144
143
142
141
140
139
141.18 -45.31
141.68 -41.46
140.20 -30.52
140.00 -22.31
139.78 -17.26
139.79 -10.98
139.80 0.00
139.92 -23.06
139.67 -19.81
139.63 -8.76
139.65 -4.02
138
139.64 0.00
139.64 4.24
139.81 22.80
139.82 28.44
139.63 25.89
139.70 30.12
140.67 37.50
140.85 42.51
139.75 38.49
140.83 43.36
141.18 59.78
141.64 72.14

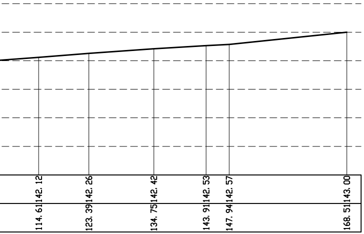
KOTA	RASTOJANJE
143.00	-63.43
142.63	-57.99
142.00	-47.43
141.33	-34.59
141.00	-27.39
141.00	-22.80
141.00	-19.64
141.00	0.00
141.00	72.98
141.00	75.26
141.00	81.56
141.05	82.75
141.18	85.63
141.68	97.86
141.76	99.76
142.00	106.67


143. 00
140. 50

ПОПРЕЧНИ ПРОФИЛИ АКУМУЛАЦИЈЕ СОТ

РАЗМЕРА 1:100/500

Бр. профила 9-22


142. 12
142. 26
142. 42
142. 53
142. 57
143. 00
114. 61
123. 39
134. 75
143. 91
147. 94
168. 51

——— 2079

— — — 2014

— · — · — 2015