

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ
ЕРОЗИЈА ЗЕМЉИШТА И ПРЕВЕНЦИЈА БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА

МАСТЕР РАД

ПРЕДМЕТ: ПРЕВЕНЦИЈА ОД БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА

**ТЕМА: ЗАШТИТА ОД ЕРОЗИЈЕ И ПРЕВЕНЦИЈА БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА
КРОЗ КОНЦЕПТ ГЕНЕРАЛНОГ УРЕЂЕЊА СЛИВА РЕКЕ РАЉЕ**

Студент:

Лазар Радуловић, дипл. инж.

Ментор:

др Ратко Ристић, ред. проф.

Београд, 2022.

Абстракт: Бујичне поплаве представљају једну од најфреквентнијих природних непогода на територији Републике Србије и заступљене су претежно на подручју јужно од Саве и Дунава. Настанак бујичних поплава је у директној вези са ерозионим процесима. Доминантан фактор за настанак бујичних поплава представљају природни фактори. Антропогени утицај знатно доприноси интензитету и разорности ових природних појава које се огледају у активностима које су везане за деградацију вегетационог покривача и земљишта као и неадекватном коришћењу земљишног простора. Бујичне поплаве су непредвидиве и кратког трајања што за последицу има немогућност организовања одбране од поплава као на великим рекама. Бујичне поплаве праћене су великим материјалним штетама и не ретко људским жртвама. Најбоља одбрана од бујичних поплава је њихова превенција. Најефикаснија заштита од негативног дејства бујичних поплава и ерозије земљишта остварује се адекватном применом комбинације биолошких, биотехничких и техничких радова и административних мера кроз концепт интегралног уређења.

Кључне речи: бујичне поплаве, ерозија земљишта, противерозиони радови, уређење слива

Abstrakt: Torrential floods represent one of the most frequent natural occurrence on territory of Republic of Serbia and are predominantly represented in the area south of Sava river and Danube. The occurrence of flash floods is in direct connection with erosive processes. Most dominant factor for the occurrence of flash floods represent natural factors. Anthropogenic influence contributes significantly to the intensity and destruction of these natural occurrences which is reflected in the activities that are bound to degradation of the vegetative cover and land as well as inadequate usage of land area. Flash floods are unpredictable and short-lasting which has as a consequence of inability to organize defense from floods like on bigger rivers. Torrential floods are followed by huge material damages and not rarely victims. Best defense from flash floods is their prevention. Most efficient way of protecting from negative effects of flash floods and land erosion is achieved through adequate application of the combination of biological, bio technical and technical works and administrative measures through concept of integral arrangement.

Key words: torrential floods, flash floods, soil erosion, antierosion works, integrated river basin management

Резиме

Једна од најфреквентнијих природних непогода која се јавља на територији Републике Србије су бујичне поплаве. Њихова појава везана је за бујичне водотокове којих је на територији Републике Србије регистровано преко 11.500. Бујичне поплаве настају на сливовима на којима су присутни ерозиони процеси у одређеном стадијуму развоја. Ову врсту хидролошке непогоде карактериште стохастички и стихијски карактер. Ове природне непогоде понекад имају немерљиве последице у еколошкој, економској и социјалној сфери. Због специфичности овог типа поплава који се у многоме разликује од поплава на великим рекама немогуће је применити класичну вандредну одбрану од поплава. С тим у вези неопходно је применити превентивне мере радова и њима смањити вероватноћу од настанка бујичних поплава.

Као пример за овај рад узет је слив Реке раље због специфичности које га карактеришу. Близина аутопута, регионалне железничке пруге, индустријских комплекса као и великог броја насеља у сливу намећу потребу за уређењем слива и заштиту наведене инфраструктуре од поплава. Иако на сливу постоје објекти за заштиту од поплава, поплавне епизоде у блиској прошлости показале су да постојећи објекти не испуњавају сврху за коју су изведени те је с тим у вези неопходно додатно уређење слива применом техничких, биотехничких и биолошких радова као и административних мера.

У раду су анализирани опште карактеристике слива које су у директној вези са настанком и развојем ерозионих процеса као и настанком бујичних поплава. С обзиром да на посматраном водотоку не постоје хидролошка мерења, максимални протицај прорачунат је применом комбинованог метода који обухвата *SCS (Soil Conservation Service)* методологију за раздвајање ефективних од бруто падавина и метода синтетичког јединичног троугаоног хидрограма. Како су бујичне поплаве у директној спрези са ерозионим процесима, анализирани су ерозиони процеси на сливу применом Метода Потенцијала ерозије. На основу извршене анализе и прорачуна дат је предлог радова и мера који би чинили активну компоненту у заштити и превенцији од настанка бујичних поплава.

Садржај

1. Увод.....	5
2. Противерозиони радови	7
3. Материјал рада	8
3.1. Опште карактеристике истраживаног подручја.....	8
3.1.1. Физичко – географске карактеристике слива реке Раље.....	8
3.1.2. Геолошке и геоморфолошке карактеристике истраживаног подручја	10
3.1.3. Педолошке карактеристике истраживаног подручја.....	12
3.1.4. Начин коришћења земљишта на истраживаном подручју	17
3.1.5. Демографске карактеристике истраживаног подручја	19
3.2. Историјат поплава на сливу реке Раље	20
4. Преглед до сада изведених радова у сливу реке Раље	22
5. Хидрометеоролошке карактеристике истраживаног подручја.....	24
5.1. Климатске карактеристике слива	24
5.2. Хидролошке карактеристике слива.....	24
5.2.1. SCS методологија за раздвајање ефективних од бруто падавина	25
5.2.2. Метода синтетичког јединичног хидрограма.....	27
5.3. Резултати.....	28
6. Стање ерозије на истраживаном подручју.....	31
6.1 Метод потенцијала ерозије	31
6.2. Прорачун продукције и проноса наноса	34
6.3. Резултати.....	36
7. Концепт уређења слива реке Раље	39
7.1. Радови на уређењу доњег дела слива	39
7.2. Радови на уређењу горњег дела слива	40
8. Дискусија	43
9. Закључак	45
10. Литература.....	46
Прилози.....	51

1. Увод

Ерозија земљишта и бујичне поплаве су нераздвојне природне појаве које су обликовале рељеф Земље какву данас познајемо. Ови процеси су данас интензивирани у тој мери да доводе у питање опстанак људске цивилизације.

Под појмом ерозије земљишта, у елементарном смислу, подразумевамо промене на површинском слоју земљишног рељефа, које настају као последица деловања кише, снега, мраза, температурних разлика, ветра и текућих вода, или услед деловања антропогеног фактора (Гавриловић, 1972). Процес ерозије земљишта може се дефинисати кроз три фазе: у првој фази елементарне честице земљишта откидају се од масе земљишта, затим следи њихов транспорт под утицајем ерозионог агенса и у последњој фази акумулација честица, када ерозиони агенс нема довољно енергије за њихов даљи транспорт (Stolte et al., 2015). Ерозија је један од важнијих савремених проблема деградације земљишта и значајан фактор угрожавања животне средине широм света (Jain, Das, 2010). Услед антропогеног утицаја, процеса урбанизације, као и неадекватног коришћења земљишног простора долази до интензивирања процеса ерозије земљишта на глобалном нивоу (Zhang et al., 2015).

Поплаве се дефинишу као појава изливања великих вода из речног корита, док се велика вода дефинише као највиши достигнут ниво воде у реци у току једне поплавне епизоде (Костадинов и сар., 2019). Поплаве настају када прилив воде у речно корито премашује капацитет природног ретензионарања и инфилтрације, односно када је површински отицај највише изражен, а количина воде која доспева у речно корито премашује његову пропусну моћ. Поплаве представљају природне хидролошке непогоде, али на њихову фреквентност, у данашње време, у великој мери утиче антропогени фактор.

Бујичне поплаве припадају групи природних хидролошких непогода које су у директној вези са ерозионим процесима и распрострањене су у целом свету, укључујући и територију Републике Србије, где представљају једну од најфреквентнијих природних непогода (Каровић Solomun et al., 2021). Њихова појава везана је за бујичне водотокове чија је основна карактеристика специфичан хидролошки и псамолошки режим. На територији наше земље регистровано је око 11.500 бујичних водотокова просторно смештених јужно од Саве и Дунава, са изузетком Фрушке горе, Тителског брега и Вршачких планина у Војводини (Ристић и сар., 2016). Вероватноћа појаве, интензитет и распрострањеност чине их сталном претњом са последицама у еколошкој, економској и социјалној сфери. Клима, специфичан рељеф, разноликост биљног и земљишног покривача и социјално-економски услови учинили су да је појава бујичних поплава једна од резултујућих форми постојећих ерозионих процеса (Ристић и сар., 2009). Бујичне поплаве настају на сливовима на којима су присутни ерозиони процеси у одређеном стадијуму развоја. Атрибут бујични припада сваком сливу на коме се јављају нагли надоласци великих

вода које су оптерећене високим садржајем наноса без обзира на величину или категорију водотока (Ristić et al., 2012).

Појавом киша великог интензитета, топљењем снега или коинциденцијом ових појава долази до интензивног површинског отицаја, покретања ерозионог материјала са падина у хидрографску мрежу, брзе концентрације воде и формирања бујичног поплавног таласа (Ристић, Малошевић, 2011). Оно што карактерише бујичне поплаве јесте двофазан флуид (нанос и вода), који садржи честице различитог гранулометријског састава (од честица глине до громада пречника 5 метара и тежине 200 тона) које заузимају и до 60% укупне запремине (Јевтић, 1978). Према истраживањима на експерименталним сливовима у Србији око 80% укупно отекле воде као и 90% проноса наноса са бујичних сливова отекне за време 3 – 4 поплавна таласа, док у осталом периоду године на истим сливовима имамо веома мали протицај или ти токови пресуше у топлом периоду године (Костадинов и сар. 2019).

Уз велику кинетичку енергију која прати бујичне токове, овакве појаве карактерише изузетно велика рушилачка моћ, те су углавном овакве епизоде праћене великим материјалним штетама пољопривреди и насељима, индустријској, стамбеној и саобраћајној инфраструктури, а врло често и губицима људских живота. С обзиром да је настанак бујичних поплава готово немогућ без одређене количине еродираниог материјала, ерозију земљишта и бујичне токове треба проучавати заједно.

За разлику од поплава на великим алувијалним водотоцима где је трајање великих вода продуженог интензитета, трајање бујичних поплавних епизода је релативно кратко, реда величине неколико часова. Непредвидив и стихијски наилазак бујичних поплавних таласа такорећи не оставља довољно времена за организовану одбрану од овог типа хидролошке непогоде.

У данашње време поплаве настају као комбинација природних и антропогених чинилаца, односно релације човек – животна средина. Антропогени утицај условио је тренд климатских промена који повећава вероватноћу настанка поплава и других природних непогода. С друге стране, климатске промене намећу тренд све чешћих екстремних кишних епизода где се, у само пар дана у току године, на одређеном простору излучи просечна годишња количина падавина (Kundzewicz, 2015). Пробабалистички трендови екстремних поплава, који се заснивају на климатским пројекцијама и друштвено-економском развоју, указују на повећање екстремних падавина, као и на то да се у наредним деценијама може очекивати двоструко више поплавних догађаја, са повратним периодом већим од 100 година (Alfieri et al., 2015). Односно као последица промене режима падавина све чешћа је појава киша која изазива поплавне воде у односу на мале и средње кише које су корисне. С тим у вези неопходно је предузети превентивне мере и радове, а све у циљу очувања земљишних и водних ресурса и заштите покретне и непокретне имовине и људских живота.

2. Противерозиони радови

Противерозиони радови обухватају широк спектар мера и радова који имају за циљ смањење продукције и проноса наноса као и повећање инфилтрационо – ретенционих карактеристика земљишта. Поред тога противерозионим радовима утиче се на регулацију водног режима, односно промену просторне и временске расподеле воде на сливу. Најбољи приступ решавању проблема ерозије и бујичних поплава заснива се на примени концепта интегралног уређења слива које се састоји из административних, биолошких, биотехничких, агротехничких и техничких мера и радова (Dumbrovsky et al., 2016).

Технички радови обухватају изградњу попречних објеката у кориту водотока. Попречни објекти се граде у горњем току бујичних водотокова ради контроле процеса ерозије и имају вишеструку функцију: осигуравају корито бујичног водотока од дубинске ерозије, задржавају вучени нанос, смањују пад корита, умањују кинетичку енергију тока (Yuan et al., 2019). Такође, заплав преграде штити корито и консолидује обале узводно од преграде. Попречни објекти могу имати различиту корисну висину и граде се од различитих материјала, али најчешће од бетона, камена у цементном малтеру или габиона. Посебни типови бујичарских преграда су такозване функционалне преграде. Оне су имплементирани у новији концепт превенције бујичних поплава – концепт управљања вученим наносим (енг. *Bed Load Management*) (Armanini et al., 2006). Њихова улога је вишеструка: консолидација и стабилизација дна корита и обала, сортирање и задржавање наноса, дозирање наноса и разбијање бујичне лаве (Armanini et al., 2006). Углавном се граде од комбинације бетона и челика са различитим типовима решетки и преливних органа који служе специфичној функцији коју посматрана преграда има (Костадинов, 2008).

Биотехнички радови изводе се на теренима захваћеним јаком и ексцесивном ерозијом, углавном на великим нагибима. Ови радови имају за циљ да зауставе или смање интензитет наноса који се продукује и створе услове за извођење биолошких радова (Kostadinov et al., 2018). У биотехничке радове убрајамо рустикалне преграде, плетере, фашине, илофилтерске појасеве, шумске заштитне појасеве. Ови објекти се изводе од комбинације различитих материјала, углавном камена, жбуња и дрвећа.

Биолошки радови односе се на различите типове пошумљавања и затрављивања. Вегетација представља активну компоненту у борби против ерозије и бујичних поплава и њена улога је вишеструка (Sandercock et al., 2017). Вегетација својим кореновим системом везује земљиште чинећи га отпорнијим на процес ерозије, кроз процес интерцепције где надземни делови биљака заједно са шумском простирком могу да задрже од 10 до 50% укупних падавина (Gerrits et al., 2006) у зависности од врсте. Биолошки радови у највећој мери доприносе смањењу процеса ерозији и регулацији водног режима у сливу.

Административне мере односе се на забране и препоруке које прописује локална самоуправа, а дефинисане су Законом о водама (Службени Гласник Републике Србије, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018). Неке од забрана су разоравање ерозијом угрожених површина, гајење окопавина, испаше на травним површинама на одређени период, испаше у шумама и шумским културама, кресање лисника, неконтролисане сече и крчење шума, механичка оштећења тла свих облика и др.

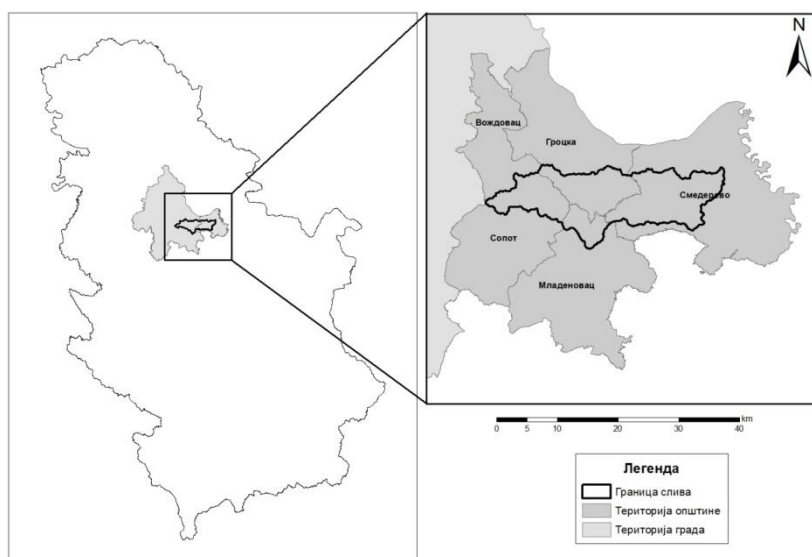
3. Материјал рада

За потребе овог мастер рада изабран је слив реке Раље због својих специфичности које указују на неопходност заштите од поплава. То укључује непосредну близину аутопута Е - 75, железничке пруге Београд – Ниш, индустријске објекте као и неколико насеља у непосредној близини водотока.

3.1. Опште карактеристике истраживаног подручја

3.1.1. Физичко – географске карактеристике слива реке Раље

Река Раља представља леву притоку Језаве у коју се улива код села Радинач недалеко од Смедерева. Слив реке Раље припада сливу Велике Мораве и налази се између слива Језаве на истоку, Коњске реке на југу, Топчидерске реке на западу и непосредног слива Дунава на северу. Слив се простире на територији града Београда и Смедерева на подручју општина Смедерево, Гроцка, Вождовац, Младеновац и Сопот. Просторни положај слива приказан је на слици 1. Слив је издуженог облика са правцем пружања запад – исток. Укупна површина слива износи 292,40 km², док су остали параметри приказани су у табели 1.



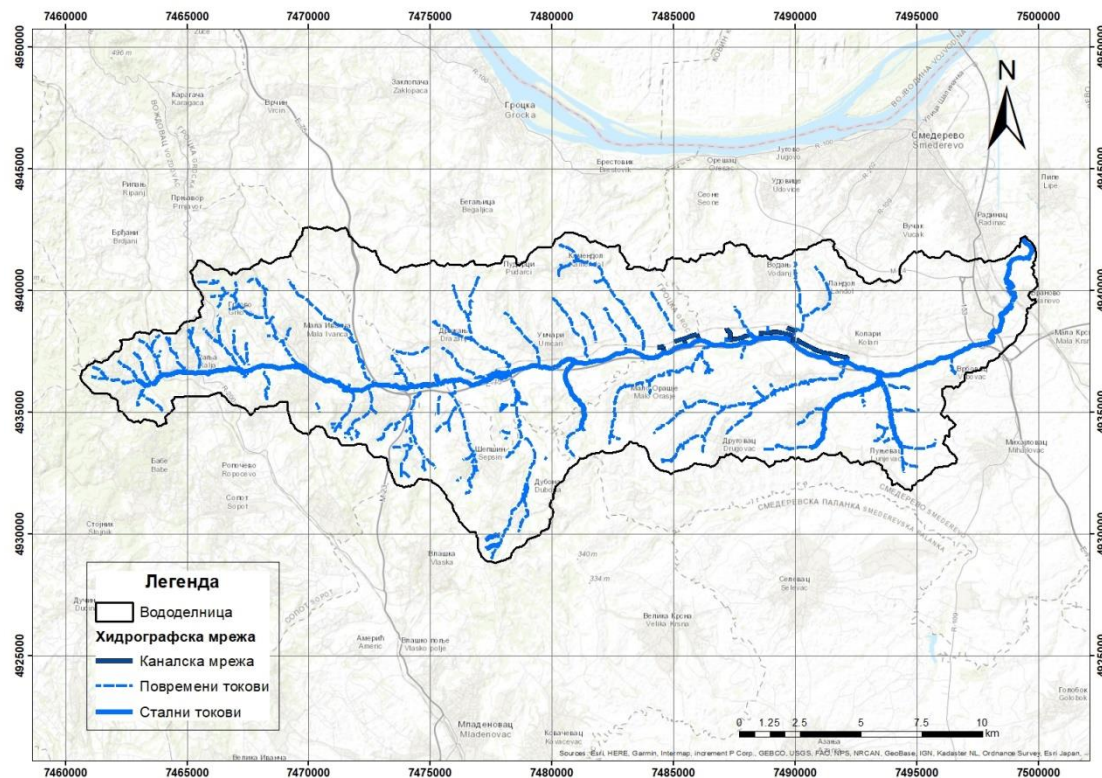
Слика 1. Географски положај слива реке Раље (извор: аутор)

Слив реке Раље одликује се великом површином слива са веома густом хидрографском мрежом (слика 2). Иако слив и корито карактеришу релативно мали нагиби терена, у

сливу се налази велики број подсливова, у виду јаруга и повремених токова који се одликују великим падовима слива и дна корита. С обзиром на географски положај слива, пад корита реке Раље карактерише велика нехомогеност, те се кориту у вршним деловима слива одликује великим нагибима док је средњи и доњи део типично равничарског карактера. У доњем делу слива присутна је и каналска мрежа која служи спуштању нивоа подземних вода, а ток Раље представља колектор.

Табела 1. Физичко - географске карактеристике слива реке Раље (извор: аутор)

Параметар	Ознака	Вредност
Површина слива	A	292,40 km ²
Обим слива	O	119 km
Кота врха слива	Kv	395 mmm
Кота ушћа слива	Ku	72 mmm
Дужина слива по главном току	L	48,70 km
Растојање од тачке у речном кориту, најближој тежишту слива, до излазног профила	Lc	25,10 km
Апсолутни пад речног корита	Ia	0,007%
Уравнати пад речног корита	Iu	0,04%
Дужина свих водотокова у сливу	ΣL	243,9 km
Густина хидрографске мреже	G	4,96 km/km ²
Средња надморска висина	Hsr	206 m
Средња висинска разлика	D	143 m
Средњи пад слива	Isr	10,32 %



Слика 2. Хидрографска мрежа слива реке Раље (извор: аутор)

3.1.2. Геолошке и геоморфолошке карактеристике истраживаног подручја

За издвајање геолошких јединица коришћена је Основна геолошка карта (ОГК) размере 1:100000, лист Смедерево, док је за опис издвојених геолошких целина коришћен пратећи тумач (Pavlović, 1977). Процентуални удео геолошких творевина приказан је у табели 2 док је њихов просторни распоред приказан на слици 3.

Кредни седименти распрострањени су у околини Раљске Ковионе, у горњем делу слива, највероватније као остаци у палеорељефу (Pavlović, 1977). На простору истраживаног подручја приступни су седименти алба и седименти турон – сенона.

Седименти алба имају мали проценат распрострањености и откривени су у дубљим ерозионим усецима испод неогена или тектонски спуштеним блоковима у турон – сенону (Pavlović, 1977). У литолошком погледу представљени су песковитим лапорцима, лапоровитим кречњацима и пешчарима са амонитима.

Седименти турон – сенона имају највеће распрострањење у односу на остале кредне творевине (Pavlović, 1977). У литолошком погледу седименти ове серије не показују већу разноврсност. Изграђени су од песковитих лапорца, пешчара и кречњака. Кречњаци су слојевити и плочасти.

Неоген се одликује сарматским, панонским и понтским седиментима.

Сарматске творевине разликују две серије, глиновито - песковити део серије који је у литолошком погледу састављен од пескова, пешчара и песковите глине и кречњачко - пешчарски део серије који је састављен од органогено оолитских и песковитих кречњака (Pavlović, 1977).

Панонски седименти у односу на остале неогене творевине заузимају највеће распрострањење. Овде се срећу невезани кварцни пескови различитог гранулометријског састава, бели слојевити лапорци, песковите глине и пешчари.

Седименти понта изграђују терене Смедеревског Подунавља пружајући се од реке Раље до Дунава и већином су покривени квартарним наслагама (Pavlović, 1977). Литолошки састав серије обележен је честим смењивањем различитих седимената и појава косе и укрштене слојевитости. Понтијска серија углавном је изграђена од средњезрних пескова, алевролитско - глиновитих пескова, песковито – ламинираних лапораца као и шљунка.

У холоцену је издвојено више картираних јединица, које су сврстане у две генетске секвенце: флувијална и падинска.

Флувијална секвенца обухвата: фацију корита – алувијон, спрудове и плаже; поводањску фацију и фацију мртваја, поред тога издвојена су и два нивоа речних тераса (висока и ниска).

Падинском секвенцом обухваћени су: пролувијалне, делувијалне и пролувијално – делувијалне творевине као и падински лесоиди (Pavlović, 1977).

У сливу реке Раље присутне су виша и нижа речна тераса. Виша речна тераса присутна је у доњем делу слива уз само ушће Раље у Језаву, док нижа речна тераса прати готово цео ток реке Раље (Pavlović, 1977). У литолошком погледу обе речне терасе изграђене су од пескова, алевритских пескова и песковитих алеврита, знатно ређе и шљункова.

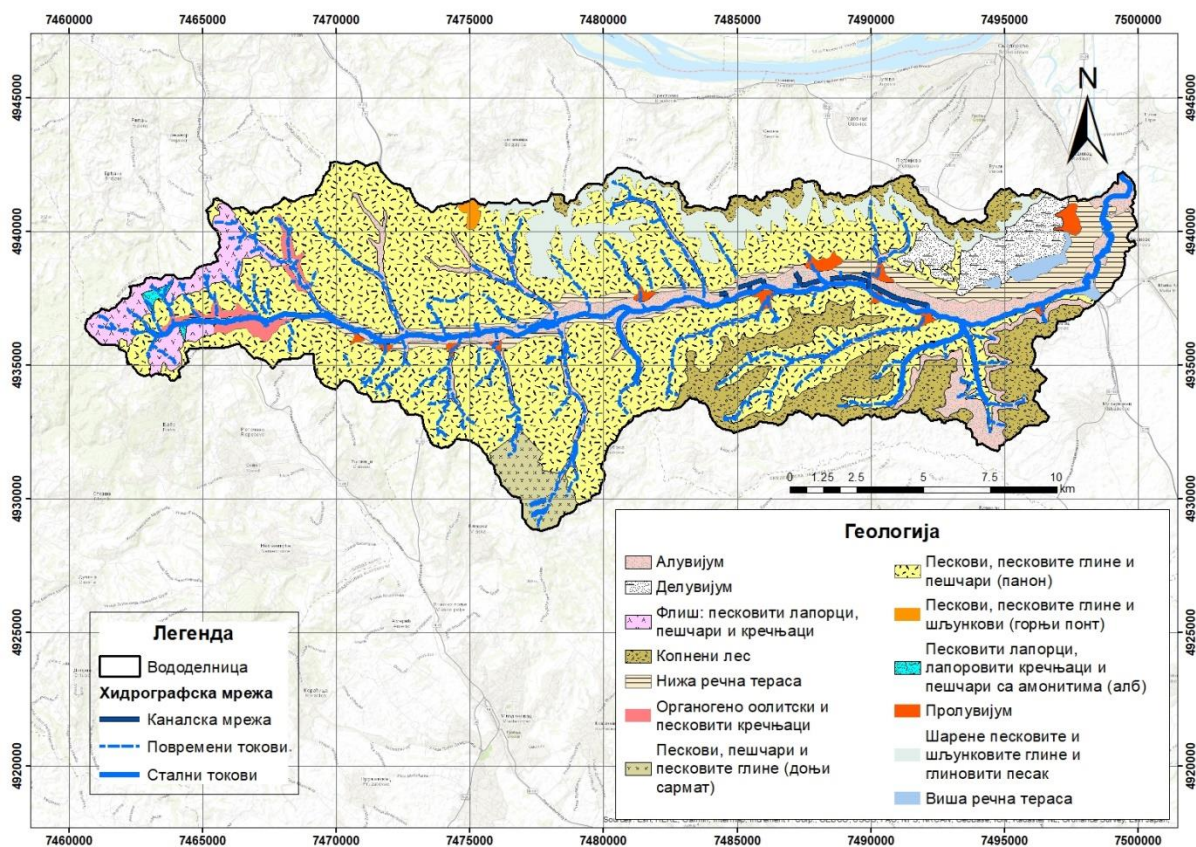
Делувијум је присутан у доњем делу слива и изграђен је од преталожених неогених и квартарних седимената, и због тога се често и не разликује од седимената подине. Транспорт материјала у овим творевинама је краткотрајан, што је условило и знатно мању заобљеност фрагмената.

Пролувијум је настао дејством бујичних токова и обично се јавља на ушћу бочних притока у главну речну долину. Изграђен је од истог материјала као и алувион и терасе. Исталожени материјал по саставу одговара грађи терена са којих је спирање извршено.

Алувијум се јавља у долини реке. Не постоје неке законитости у грађи вертикалних профила. У саставу се најчешће јављају ситнозрни пескови, алеврити и алевро – пелити док шљунак редовно изостаје (Pavlović, 1977).

Табела 2. Литолошки састав терена на сливу реке Раље (извор: аутор)

рб	Ознака	Назив	Површина [km ²]	Површина [%]
1	M ₃ ²	Пескови, песковите глине, пешчари (панон)	158,84	54,32
2	K ₂ ^{2,3}	Флиш: песковити лапорци, пешчари, кречњаци (турон - сенон)	10,53	3,60
3	¹ M ₃ ¹	Пескови, пешчари песковите глине (доњи сармат)	6,37	2,18
4	a	Алувијум	34,15	11,68
5	¹ Pl ₁ ²	Пескови, песковите глине, шљункови (горњи понт)	0,59	0,20
6	l-w	Копнени лес	32,16	11,00
7	t ₁	Нижа речна тераса	16,00	5,47
8	b-r/w	Шарене песковите и шљунковите глине, глиновити песак	15,65	5,35
9	pr	Пролувијум (плавински конус)	3,27	1,12
10	² ₁ M ₃ ¹	Органогени - оолитски и песковити кречњаци (доњи сармат)	3,04	1,04
11	M ₁ ⁵	Песковити лапорци, лапоровити кречњаци, пешчари са амонитима (алб)	0,63	0,22
12	d	Делувијум	9,40	3,22
13	t ₁	Виша речна тераса	1,79	0,61
		Укупно:	292,41	100,00



Слика 3. Геолошки састав слива реке Раље (извор: аутор)

3.1.3. Педолошки карактеристике истраживаног подручја

Земљиште представља посебан, самосталан, сложен и специфичан површински слој земље који је настао као резултат заједничког и узајамног дејства – литосфере, атмосфере, хидросфере и биосфере и то кроз време (Антић и сар., 2007). Једна од најпотпунијих дефиниција земљишта гласи (Кнежевић, Кошанин, 2016): Земљиште је тродимензионално природно – историјско тело, површински растресити слој земљине коре настао заједничким утицајем атмосфере, биосфере, хидросфере на површински слој литосфере, који је стекао ново квалитативно својство – плодност, по којем се оно разликује од мртвих стена у осталим деловима литосфере.

С друге стране земљиште можемо посматрати као динамичко тело које није случајна мешавина распаднутих стена и органске материје већ део природе који се прилагођава спољашњим и унутрашњим силама које на њега делују (Гавриловић, 1972). Одавде се јасно уочава значај особина земљишта када је у питању проучавање процеса ерозије земљишта.

У зависности од физичко – хемијских особина земљишта као што су структура, гранулометријски састав, литолошки састав и садржај органске материје утичу на отпорност или неотпорност земљишта на ерозионе процесе.

За одређивање педолошких карактеристика истраживаног подручја коришћена је педолошка карта (Танасијевић и сар., 1961) дигитализована у ГИС окружењу. Просторни распоред типова земљишта заступљених на сливу приказан је на слици 4. На сливу је најзаступљенија гајњача која се простире на више од 80% површине слива. Већи део гајњаче налази се у процесу лесивирања док је један део лесивиран. Остали типови земљишта приказани су у табели 3. На основу националне Класификације земљишта у Републици Србији (Ђорђевић и сар., 2011) дат је преглед типова земљишта заступљен на истраживаном подручју.

Смоница

Смонице се образују на супстратима који у себи садрже више од 30% глине. Други предуслов за образовање смоница је смењивање сувог и влажног периода. Најраспрострањеније су у равничарским пределима са претежно таласастим рељефом, најчешће на надморској висини од 200 до 600 метара, где природну вегетацију чине лишћарске шуме, травне заједнице, али и семихидрофилна вегетација (Антић и сар., 2007).

Ова земљишта припадају класи хумусно-акумулативних земљишта са типичном грађом профила А – АС – С и њихова дубина варира и може бити и до 150 cm.

Смонице карактерише механички састав са великим садржајем глине и колоида. Типичне смонице садрже од 50 – 70% физичке глине (честице величине < 0,02 mm) и претежно више од 40% колоидне глине (честице величине < 0,002 mm). Спадају у класу глинуша и тешких глинуша са веома лошим ваздушно водним режимом (Ђирић, 1991).

Ова земљишта карактеришу повољне хемијске особине. Садржај хумуса се креће од 3 – 5% а под природном вегетацијом садржај хумуса може се кретати у опсегу 7 – 8%. Хемијска реакција земљишта варира од неутралне до благо алкалне (pH = 6,5 – 8,0) (Ђорђевић и сар., 2011). Уз то због великог садржаја честица глине и колоида смонице се одликују високим капацитетом адсорпције при чему је адсорптивни комплекс засићен јонима калцијума и магнезијума.

С обзиром на гранулометријски састав смонице и учешћа великог процента глине ова земљишта су отпорна на плувијалну ерозију односно ерозију изазвану „бомбардовањем кишним капима“. С друге стране инфилтрационе способности смонице су веома лоше тако да у случају кишних епизода које изазивају бујичне поплаве на површинама на којима су заступљене може се очекивати повећан површински отицај.

На истраживаном подручју поред типичне смонице заступљена је и смоница у одређеним стадијумима еволуције. У доњим деловима слива где је присутан висок ниво подземне воде дошло је до процеса оглејавања у дубљим деловима профила алувијалну смоницу и прелаз из смонице у ливадска земљишта (Ђорђевић и сар. 2011).

Гајњача

Гајњаче се сматрају зоналним земљиштима те се с тим у вези образују под специфичним климатским и биолошким условима, са средњом годишњом количином падавина од 600 – 700 mm и средњом годишњом температуром од 11 – 12°C на различитим карбонатним и бескарбонатним супстратима, обичино богатим базама као и на магматским и метаморфним стенама (Антић и сар., 2007). Такође њихово образовање везано је за шумску вегетацију, углавном климазоналне заједнице храста и цера. Данас је на овим површинама најчешће заступљена пољопривредна производња.

Гајњаче припадају класи камбичних земљишта са карактеристичним камбичним (В) хоризонтом и типичном грађом профила А – (В) – С. Класа камбичних земљишта представља следећи стадијум еволуције, хумусно – акумулативна земљишта кроз процес огајњачавања прелазе у класу камбичних земљишта. Дубина ових земљишта варира и може да се креће до 100 cm (Ђорђевић и сар., 2011).

Хоризонт А карактерише иловаста текстура за разлику од камбичног хоризонта који је искључиво глиновите текстуре. Ова земљишта су углавном скелетна па самим тим и добро аерисана са одличним водно – ваздушним режимом. У природим условима имају стабилну структуру па су самим тим и одличне инфилтрационе карактеристике. Обрадом, ове физичке особине се погоршавају, те гајњаче постају мање отпорне на ерозију.

Хемијске особне варирају у широком интервалу у зависности о начина и интензитета коришћења, матичног супстрата и степена еродираности. Садржај хумуса креће се у интервалу од 2 – 3% на површинама које се обрађују до 4 – 5% на земљиштима која су под шумом (Ђирић, 1991). Гајњаче су неутралне до слабо киселе реакције са високим капацитетом адсорпције.

Уз неадекватно и интензивно коришћење ова земљишта су мало отпорна на ерозију. На истраживаном подручју осим типичне гајњаче заступљена је и гајњача у процесу лесивирања као и лесивирана гајњача.

Чернозем

Чернозем је у Републици Србији распрострањен на територији Војводине. Мање површине срећу се јужно од Саве и Дунава и то између Београда и Пожаревца у долини Велике Мораве и источној Србији у области Дунавског кључа. Ово земљиште образује се у условима континенталне и степске климе са хладним и сувим зимама, влажним пролећима и сувим и топлим летима. образује се углавном на лесним супстратима, али нису изузетак карбонатни језерски и речни седименти (Ђирић, 1991).

Ово су дубока земљишта са типичном грађом профила А – С са честом појавом прелазног хоризонта АС. Механички састав зависи од супстрата на коме је земљиште образовано и углавном спада у иловаче. Са стабилном зрнастом структуром спада у

земљишта са повољним физичким особинама. Одликује се добрим водно – ваздушним особинама.

У нашим условима садржај хумуса креће се од 4 – 6% и опада по дубини. Реакција чернозема је благо алкална са рН који се креће у интервалу од 7,6 – 8,3 јединица и са повећањем садржаја калцијум карбоната расте. Черноземи у Србији имају средњи капацитет адсорпције док је zasiћеност адсорптивног комплекса виока (Ђорђевић и сар. 2011).

Чернозем се на истраживаном подручју налази у доњем делу слива, најближе ушћу Раље у Језаву и на њему је присутна пољопривредна производња. Он је деградиран и подлеже процесу огајњачавања с обзиром на ниво подземне воде у тој области.

Алувијално – делувијалне творевине

Алувијална земљишта образују се на специфичним местима, у долинама река и настају под утицајем хидролошког режима водотока. Настају таложењем материјала који река избацује. Материјал је различитог гранулометријског састава у зависности од хидролошког режима водотока па самим тим разликујемо слојеве различите моћности, хемијског и механичког састава (Ђорђевић и сар., 2011).

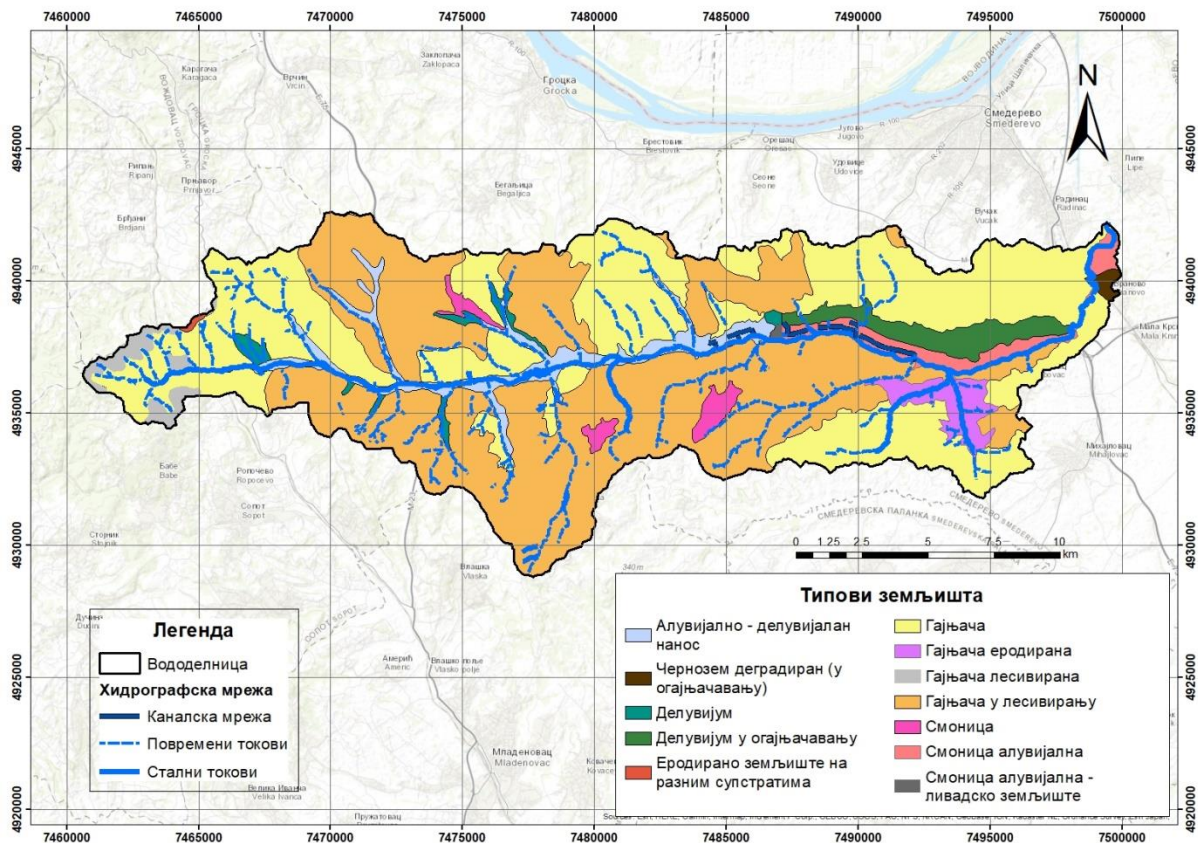
Профил алувијалног земљишта карактерише одсуство хумусног хоризонта и велика слојевитост па се грађа профила састоји из иницијалног хоризонта (А) и у теорији неограниченим бројем слојева.

Физичке особине оваквих земљишта зависе од броја слојева, њихове дебљине, поретка слојева, гранулометријског састава као и хемијског и минеролошког састава. Самим тим не може се говорити о типичним особинама ових земљишта, али имају своја обележја (Ћирић, 1991). Механички састав креће се од песковитог до иловастог без изражене структуре. Ова земљишта су добро пропусна.

Ове творевине углавном су карбонатне. Садржај хумуса може да се креће од 1 – 2% код иловастих варијанти док код песковитих не прелази 1%. На истраживаном подручју ови педолошки типови везани су уско уз водотокове.

Табела 3. Типови земљишта заступљени на сливу реке Раље (извор: аутор)

рб	Тип земљишта	Површина [km ²]	Површина [%]
1	Делувијум	3,34	1,14
2	Гајњача	112,16	38,36
3	Смоница алувијална (ливадско земљиште)	0,22	0,07
4	Гајњача у лесивирању (оподзољавању)	131,20	44,87
5	Гајњача лесивирана (оподзољена)	4,22	1,44
6	Еродирано земљиште на разним супстратима	0,23	0,08
7	Смоница	3,89	1,33
8	Алувијално - делувијалан нанос	14,54	4,97
9	Смоница алувијална	7,57	2,59
10	Гајњача еродирана	6,06	2,07
11	Делувијум у огајњачавању	8,06	2,76
12	Чернозем деградиран (у огајњачавању)	0,92	0,32
	Укупно:	292,41	100,00



Слика 4. Педолошки састав истраживаног подручја (извор: аутор)

3.1.4. Начин коришћења земљишта на истраживаном подручју

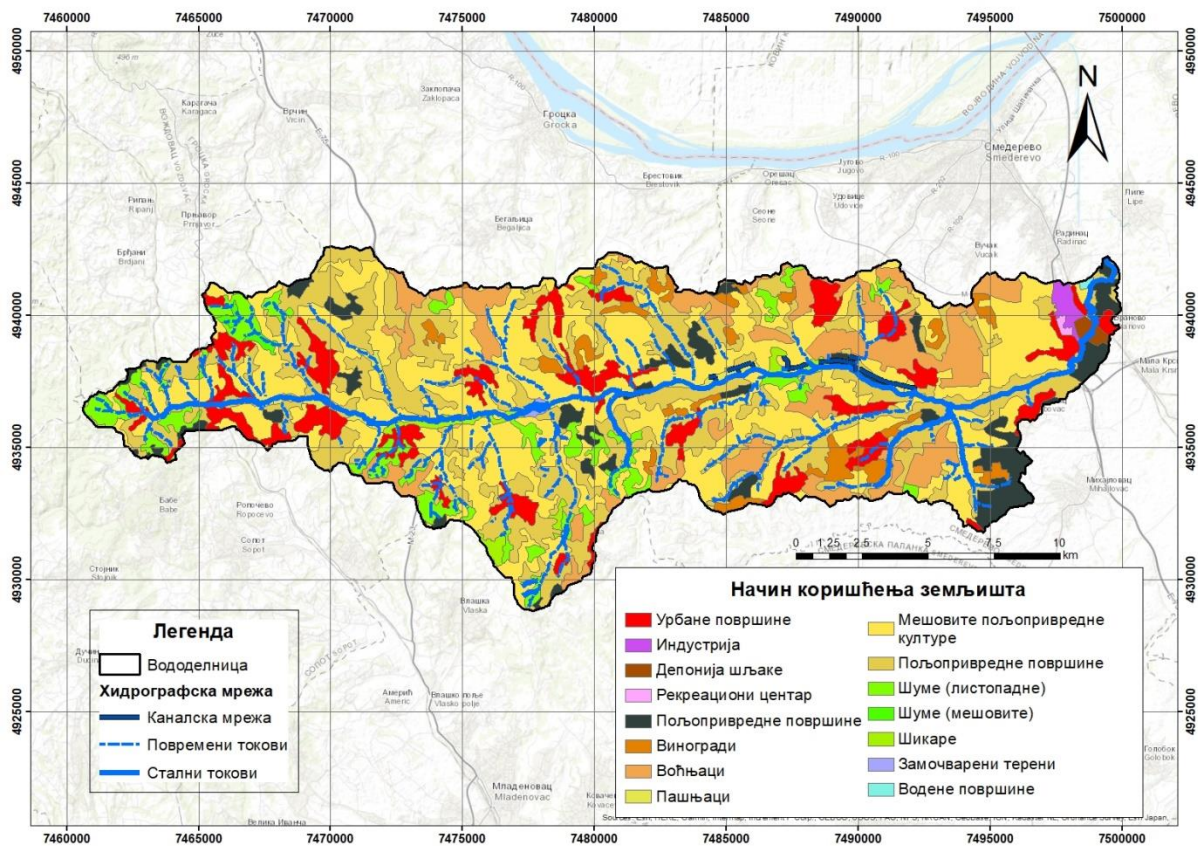
Инвентар земљишног покривача представља врло значајан и неопходан податак приликом анализирања природних појава као што су ерозија земљишта и бујичне поплаве. Међу бројим иницијативама за обезбеђивање оваквих података је *CORINE Land Cover (COoRdination of INformation on the Environment)* база података (Kosztra et al., 2019). Она се издваја од осталих по својој методологији која обезбеђује довољну свеобухватност и конзистентност на простору држава Европског континента. Ова методологија дефинише јединствену номенклатуру и дефиницију класа земљишног покривача као и начин њиховог картирања.

За израду карте начина коришћења земљишта коришћена је *CORINE Land Cover 2018* база података која је модификована према актуелном начину коришћења земљишта који је дефинисан ортофото снимцима новијег датума и самим рекогносцирањем истраживаног подручја.

Начин коришћења површина на сливном подручју веома је нехомоген. На истраживаном подручју су у највећој мери заступљене површине на којима се узгајају пољопривредне културе и заузимају више од 60% површине слива. То су углавном културе у редовима, житарице или мешовити пољопривредни засади. Обиласком терена утврђено је велика већина ових површина са обрадом низ нагиб. После пољопривредних површина, највећи удео имају воћњаци у којима такође доминира обрада низ нагиб. Урбане површине заузимају нешто мање од 9% површине слива. Површине под шумом су фрагментисане, мозаично распоређене, са проређеним склопом и углавном изданачког порекла и заузимају нешто више од 6% површине слива. У табели 4 приказан је начин коришћења земљишта на истраживаном подручју, док је на слици 5 приказан просторни распоред коришћења површина.

Табела 4. Начин коришћења земљишта на истраживаном подручју (извор:)

рб	Начин коришћења површина	Површина [km ²]	Површина [%]
1	Урбане површине	26,95	9,22
2	Индустрија	1,32	0,45
3	Депонија шљаке	0,89	0,30
4	Рекреациони центри	0,25	0,09
5	Пољопривредне површине	16,79	5,74
6	Виногради	9,73	3,33
7	Воћњаци	32,20	11,01
8	Пашњаци	2,71	0,93
9	Мешовите пољопривредне културе (баште)	100,56	34,39
10	Пољопривредне површине	78,41	26,81
11	Шуме (листопадне)	17,32	5,92
12	Шуме (мешовите)	0,83	0,28
13	Шикаре	3,91	1,34
14	Замочварени терени	0,39	0,13
15	Водене површине	0,16	0,06
	Укупно:	292,41	100,00



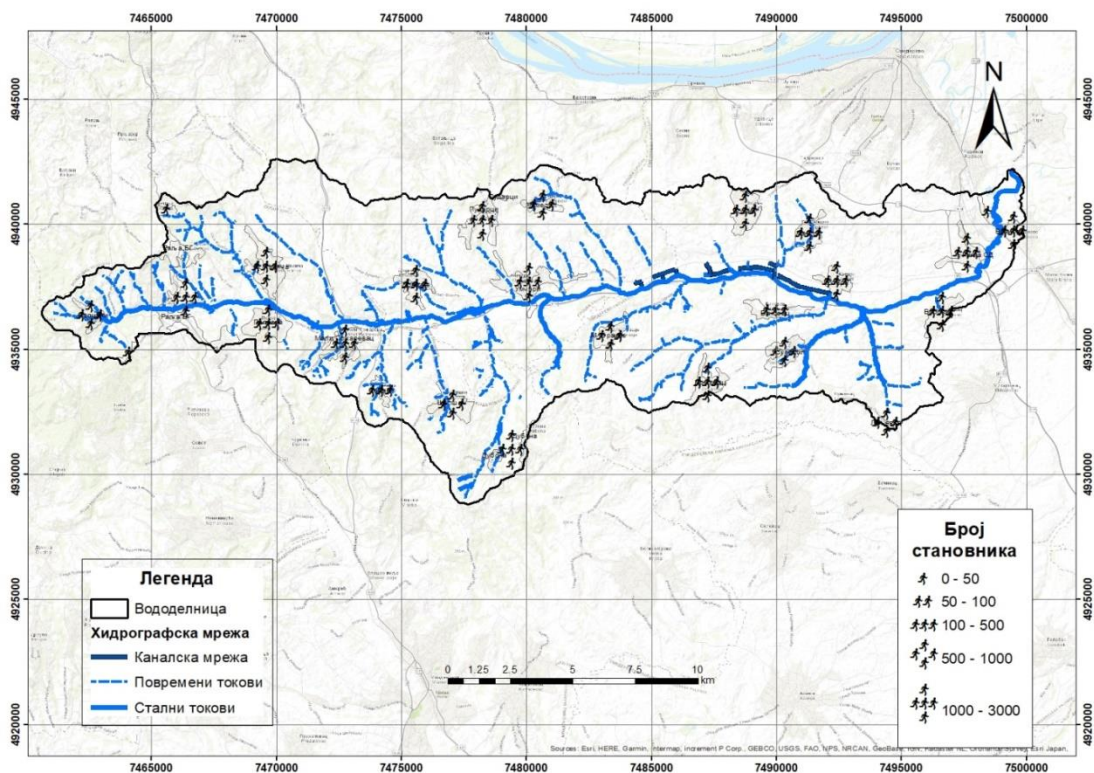
Слика 5. Начин коришћења површина на сливу реке Раље (извор: аутор)

3.1.5. Демографске карактеристике истраживаног подручја

Слив реке Раље простира се на територији општина Смедерево, Гроцка, Вождовац, Младеновац и Сопот, а према регионално подели слив се простира на подручју Подунавског и Београдског округа. На основу анализе просторних података преузетих са портала ГеоСрбија (<https://a3.geosrbija.rs/>) и података расположивих на сајту Републичког завода за статистику (<https://www.stat.gov.rs/>) у табели 5 приказана су насеља која се налазе на простору истраживаног слива реке Раље са бројем становника према попису из 2011. године. Приликом анализе ерозије земљишта и бујичних поплава антропогени фактор значајан је из неколико разлога. Утицај човека у многоне утиче на стање и развој ерозионих процеса на сливу који су у директној вези са настанком бујичних поплава, са друге стране бујичне поплаве понекад имају катастрофалан утицај на човека, те је приликом анализе ерозионих и бујичних процеса неопходно сагледати и антропогени фактор. На слици 6 је приказан просторан распоред становника на истраживаном подручју.

Табела 5. Основни подаци о насељима и броју становника на сливу (извор: Републички завод за статистику)

рб	Насељено место	Општина	Округ	Површина [km ²]	Површина на сливу [km ²]	Удео у укупној површини [%]	Број становника (2011)
1	Враново	Смедерево	Подунавски	16,91	2,14	0,73	2690
2	Раља			7,51	7,51	2,57	1209
3	Водањ			13,87	12,62	4,32	1206
4	Ландол			12,31	11,17	3,82	1141
5	Колари			10,04	10,04	3,43	1089
6	Врбовац			15,28	11,36	3,88	1020
7	Биновац			8,16	8,16	2,79	428
8	Суводол			11,85	11,85	4,05	788
9	М. Орашје			16,42	15,76	5,39	994
10	Друговац			25,85	15,73	5,38	1566
11	Луњевац			8,28	4,13	1,41	563
12	Дражањ	Гроцка	Београдски	17,01	17,01	5,82	1441
13	Умчари			28,18	28,18	9,64	2699
14	Пударци			13,41	9,68	3,31	1353
15	Камендол			15,92	10,07	3,44	964
16	Дубона	Младеновац	Београдски	23,05	12,86	4,40	1009
17	Шепшин			12,39	12,39	4,24	736
18	Сенаја			4,35	4,35	1,49	405
19	М. Пожаревац	Сопот	Београдски	19,82	15,2	5,20	1391
20	Поповић			16,57	9,99	3,42	1679
21	М. Иванча			17,08	17,08	5,84	1769
22	Раља			13,97	10,96	3,75	2993
23	Парцани			11,09	7,91	2,71	619



Слика 6. Просторни распоред становника на сливу реке Раље (извор:аутор)

3.2. Историјат поплава на сливу реке Раље

Бујичне поплаве су најфреквентнија природна непогода често праћена великим материјалним штетама и неретко губицима људских живота. Река Раља, иако нема изражен рељеф који је карактеристичан за бујичне сливове, у блиској прошлости услед промене режима падавина показала је бујичан карактер.

Најскорије бујичне поплаве забележене у сливу реке Раље догодиле су се крајем јуна 2018. године. Услед кише великог интензитета дошло је до формирања бујичног поплавног таласа на територији Општине Гроцка, када су леве притоке Раље у местима Камендол и Умчари направиле велику материјалну штету на стамбеним објектима и путној инфраструктури.

Поплаве 2014. године забележене су готово на свим местима у оквиру слива реке Раље. Услед дуготрајних киша у мају 2014. године дошло је до формирања бујичних поплавних таласа на притокама реке Раље. Услед велике количине воде у виду атмосферских падавина као и прилива воде из притока у главни ток, ток Раље је тада скренуо ван регулисаног корита и излио се у левој долини, плавећи насеља у доњем делу тока.



Слика 7. Поплава у селу Раља 2014. године (извор: Сектор за ванредне ситуације Смедерево, Кликовац, 2014)



Слика 8. Поплава у селу Раља 2014. године (извор: Сектор за ванредне ситуације Смедерево, Кликовац, 2014)



Слика 9. Штете након бујичних поплава у Умчарима 2018. године (извор: www.alo.rs)



Слика 10. Штете након бујичних поплава у Камендолу 2018. године (извор: Сектор за ванредне ситуације Смедерево, Кликовац, 2018)

4. Преглед до сада изведених радова у сливу реке Раље

Радови на уређењу слива реке Раље почели су шездесетих година двадесетог века. Потреба за уређењем јавила се са изградњом аутопута „Братство – јединство“, данашњи аутопут Е – 75 који пресеца раљску долину (Извод из главног пројекта регулације реке Раље, Водопривредна организација „Смедерево“ 1990). Изведени радови приказани су на слици 11.

Корито реке Раље, регулисано је на две деонице (Извод из главног пројекта регулације реке Раље, Водопривредна организација „Смедерево“ 1990):

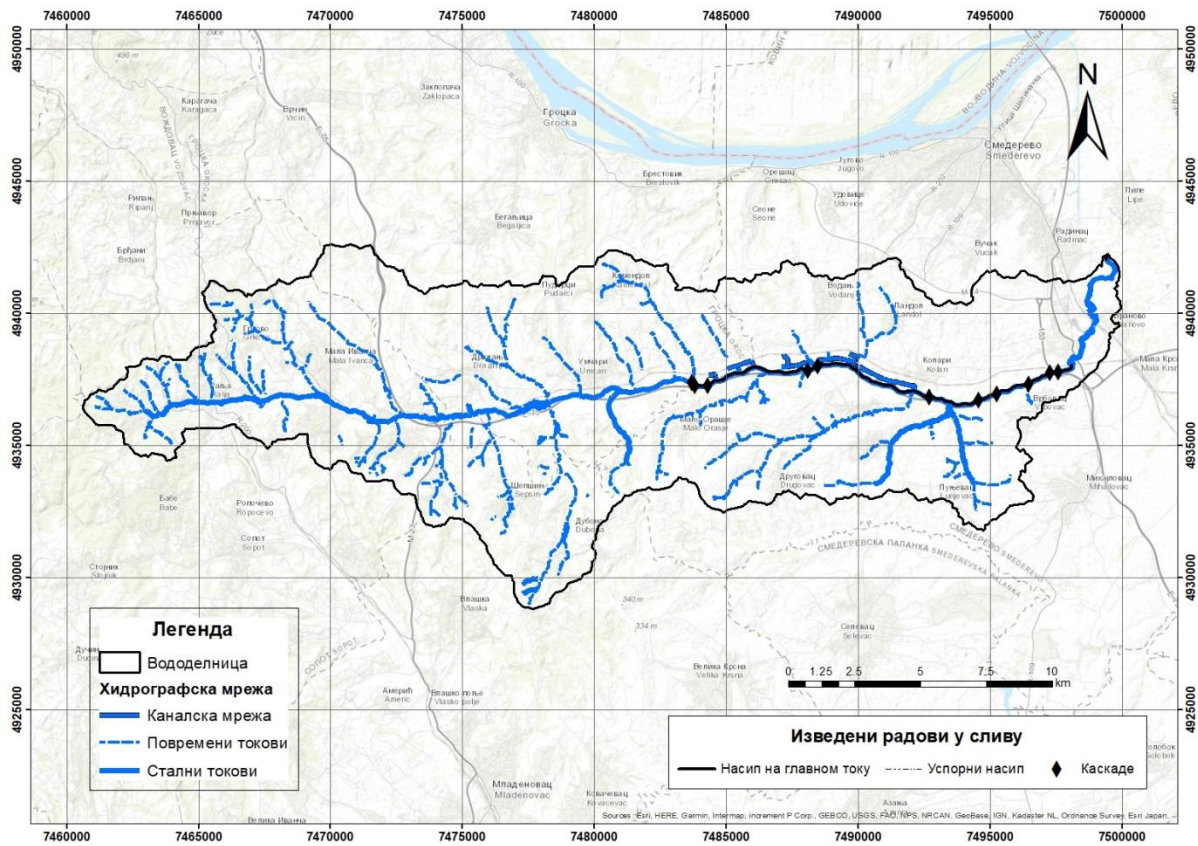
- Од ушћа у Језаву до стационаже 0+920 km подигнут је левообални заштитни насип пројектован на протицај $Q = 140 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Од железничког моста на прузи Београд – Мала Крсна на стационажи 5+090 km у дужини од 15 km у виду левообалног земљаног насипа пројектованог на протицај $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$, при чему насип аутопута представља деснообални насип регулације. Насипи су необложени, осим у зони мостова и каскада.

Наведени насипи се данас налазе у видно деформисаном стању у односу на пројектовано, са колотразима на круни насталих кретањем механизације која се користи у пољопривреди.

На делу регулисаног корита због варијација у рељефу и савладавања пројектованог пада нивелете урађене су каскаде. На деоници од моста на железничкој прузи Београд – Мала Крсна изведено је укупно 11 каскада од бетона са бучницом. Каскаде су данас урушене и обрасле високим растињем тако да у практичном смислу не служе сврси за коју су изведене.

Уз радове на регулисању главног тока реке Раље урађени су успорни насипи на Ландолском и Камендолском потоку, који су везани за левообални Раљски насип.

На територији насеља Колари, Водањ, Ландол и Врбовац на потезу између аутопута и железничке пруге ископана је мрежа мелиорационих канала за одводњавање пољопривредног земљишта који се дренирају у Раљу кроз цевне пропусте са жабљим поклопцем. Пропусти су израђени од бетона и данас се налазе у лошем стању (деформисани, обрасли вегетацијом, неки од пропуста су засути наносом и комуналним отпадом).



Слика 11. Карта изведених радова у сливу реке Раље (извор: аутор)

5. Хидрометеоролошке карактеристике истраживаног подручја

5.1. Климатске карактеристике слива

Истраживаног подручје одликује се континенталном климом која је модификована специфичним географским положајем. Пре свега на модификацију климе посматраног подручја утичу две велике реке, Дунава и Велике Мораве, а присутан је утицај и Панонске низије која се налази непосредно северно од слива реке Раље. Из ових разлога посматрано подручје одликује се великом учесталашћу и јачином кошава. Средња годишња температура износи 11,4°C при чему зиме могу бити изузетно хладне и са релативно дугим мразним периодима. Средња годишња количина падавина износи 650 mm, а падавине су најфреквентније и највеће у периоду од априла до јуна месеца (<https://www.hidmet.gov.rs/>).

5.2. Хидролошке карактеристике слива

За хидролошку анализу слива реке Раље коришћени су подаци са четири падавинске станице које се налазе на сливу или у његовој непосредној близини (Мала Крсна, Умчари, Мали Пожаревац, Раља). Подаци су преузети из Републичког хидрометеоролошког завода Србије (<https://www.hidmet.gov.rs/>) и односе се на максималне дневне годишње суме падавина.

За одређивање максималних падавина одређене вероватноће појаве примењени су теоријске расподеле *Gumbel* и *Log Pearson Type III* с обзиром да је дужина низа година осматрања за све анализирани станице већи од 25 година. У табели 6 приказани су добијени резултати на основу примењених расподела за вероватноћу појаве 1%. У прилогу 1-8 приказан је поступак прорачуна максималне вредности падавина одређене вероватноће појаве.

Табела 6. Вредности максималних падавина вероватноће појаве 1%

Падавинска станица	<i>Gumbel</i> расподела [mm]	<i>LPT III</i> расподела [mm]
Мала Крсна	130,86	149,15
Умчари	85,23	92,58
Раља	80,21	82,28
М. Пожаревац	98,61	107,65

На основу добијених података извршена је интерполација максималних падавина вероватноће појаве 1%. На основу интерполације добијена је максимална киша вероватноће појаве 1% за слив реке Раље $H_{1\%} = 104,25\text{mm}$.

За потребе прорачуна велике воде одређене вероватноће појаве коришћен је комбиновани метод који се заснива на теорији јединичног синтетичког хидрограма и

SCS (*Soil conservation Service*) методи за одређивање ефективних падавина (Ристић, Малошевић, 2011).

5.2.1. SCS методологија за раздвајање ефективних од бруто падавина

Метод за раздвајање ефективних падавина од бруто падавина, односно прорачун функције губитака кише развијен је од стране америчке агенције за заштиту земљишта (*Soil conservation Service – SCS, данас, National Resource Conservation Service – NRCS*) (Al-Ghobari et al., 2020).

Овај метод полази од претпоставке да се бруто падавине процесима трансформације разлажу на (Ристић, Малошевић, 2011): директан отицај изражен као ефективна киша, реална инфилтрација воде у сливу и почетне губитке, уз то уведен је и термин потенцијално могуће инфилтрације. Основна претпоставка SCS методе је да је ефективна киша увек мања или једнака укупној висини кише, а да је количина воде инфилтрирана у земљиште након почетка отицаја увек мања или једнака потенцијално могућој инфилтрацији (Азлен и сар., 2018). Одатле следи:

$$\frac{R}{d} = \frac{Pe}{P - I}$$

Где је:

P – бруто падавине

Pe – ефективна киша

I – почетни губици

R – реална инфилтрација воде у сливу

d – потенцијално могућа инфилтрација воде у сливу

Комбиновањем горње једначине са једначином континуитета:

$$R = (P - I) - Pe$$

Добија се:

$$\frac{(P - I) - Pe}{d} = \frac{Pe}{P - I}$$

Решавањем једначине по Pe добија се израз:

$$Pe = \frac{(P - I)^2}{(P - I) + d}$$

На основу дугогодишњег истраживања и проучавања на експерименталним сливовима Служба за конзервацију земљишта је дошла до следеће зависности, која важи за стање просечне влажности земљишта:

$$I = 0,2 \cdot d$$

Уношењем овог израза у једначину за прорачун ефективних падавина добија се:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot d)^2}{P + 0,8 \cdot d}$$

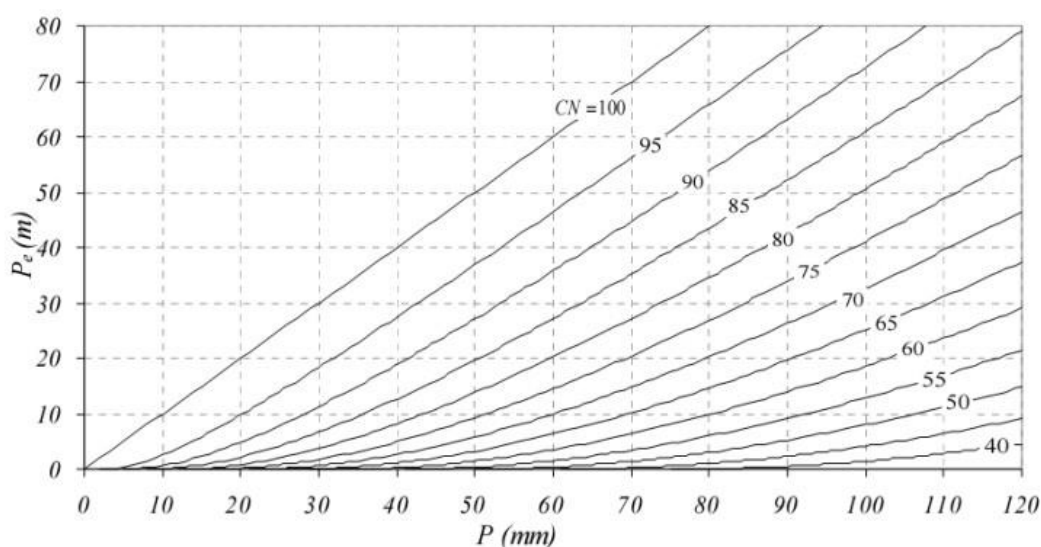
Вредност потенцијалне могуће инфилтрације d , одређена је изразом:

$$d = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Потенцијално могућа инфилтрација воде у сливу зависи од вредности CN броја. Вредност CN броја односно броја криве отицаја одређује се на основу 4 параметра (NRCS, 2009):

- Хидрографске класе земљишта,
- Начина коришћења земљишта,
- Начина обраде земљишта,
- Хидролошких услова.

Вредност броја CN је бездимензионална и вредност му се креће између 1 и 100 (NRCS, 2004). За непропусне површине као што су асфалт и бетон и водене површине вредност броја $CN = 100$, док је за све остале природне површине $CN < 100$. Веза између бруто падавина, ефективних падавина и броја CN приказана је на слици 12.



Слика 12. Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи (извор: Ристић, Малошевић, 2011)

5.2.2. Метода синтетичког јединичног хидрограма

Јединични хидрограм се дефинише као хидрограм директног отицаја услед јединичне ефективне кише која је равномерно распоређена по површини слива и константног је интензитета током ефективног трајања (Азлен и сар., 2018). Синтетички јединични троугаони хидрограм конструише се на основу рачунски добијених вредности: време кашњења слива, време пораста хидрограма, време опадања хидрограма, временска база хидрограма, вршна ордината синтетичког јединичног хидрограма.

Време кашњења слива добија се на основу израза:

$$tp = C \cdot \left(\frac{L \cdot Lc}{I^{0.5}} \right)^n$$

tp – време кашњења слива [h];

L – дужина слива по главном току [km];

Lc – растојање од тежишта до излазног профила [km];

Iu – уравни пад тока[%];

$C = 0,751$;

$n = 0,336$.

Вредности параметара добијене су на основу обраде хидрограма са 93 бујична слива у Србији (Ристић, Малошевић, 2011).

Време пораста хидрограма добија се на основу срачунатог времена кашњења слива tp за одговарајуће време трајања кише Tk .

$$Tp = \frac{Tk}{2} + tp$$

Време опадања хидрограма добија се на основу времена пораста хидрограма и коефицијента облика хидрограма K , који је у функцији површине слива и који се одређује на основу дијаграма.

$$Tr = K \cdot Tp$$

Временска база хидрограма се израчунава као збир времена пораста и опадања хидрограма:

$$Tb = Tp + Tr$$

Вршна, максимална, ордината јединичног синтетичког хидрограма израчунава се на основу дефинисане временске базе хидрограма према релацији:

$$q_{max} = \frac{0.56 \cdot A \cdot 1,0}{Tb}$$

Где је:

q_{max} - вршна (максимална) ордината јединичног синтетичког хидрограма [$m^3s^{-1}mm^{-1}$]

A – површина слива [km^2]

Вршна ордината синтетичког јединичног хидрограма даје вредност протицаја даје вредност протицаја од 1 mm ефективне кише.

Максималан протицај Q_{max} представља комбинацију вршне ординате јединичног протицаја, за дато трајање кише и висине ефективних падавина за исто трајање. Вредности q_{max} и Pe не морају бити максималне вредности али њихов производ даје максималан протицај:

$$Q_{max} = q_{max} \cdot Pe$$

Максимални протицај израчунава се за различита времена трајања ефективне кише Tk као и за различите вредности ефективних падавина Pe . Применом поступка оптимизације усваја се највећа вредност Q_{max} .

На основу дефинисаних временских карактеристика синтетичког јединичног троугаоног хидрограма и израчунатог максималног протицаја, на основу спроведеног поступка оптимизације, могуће је конструисати реални криволинијски хидрограм укупног протицаја. То се постиже трансформацијом синтетичког јединичног троугаоног хидрограма помоћу бездимензионалног SCS јединичног хидрограма (Ристић, Малошевић 2011).

5.3. Резултати

На основу анализе података са падавинских станица и интерполације добијених резултата одређена је максимална дневна киша вероватноће појаве једном у сто година $H_{1\%} = 104,25mm$.

Број криве отицаја CN одређен је на основу начина коришћења површина у сливу, типа земљишта односно хидролошке класе земљишта (A, B, C, D) и хидролошких услова на сливној површини. Добијена вредност $CN_{sr}=78$ одговара просечним условима влажности земљишта. Бујичне поплаве се углавном јављају у пролећном периоду, када земљиште садржи доста воде услед отапања снега и претходних падавина, услед чега је инфилтрационо ретенциони капацитет земљишта значајно смањен. Из тих разлога за даљи прорачун усвојена је вредност $CN_{nsr}= 90$ (на основу упоредних вредности бројева криве отицаја).

Коришћењем комбинованог метода за прорачун максималног протицаја на сливу реке Раље конструисан је јединични синтетички троугаони хидрограм на основу података у прилогу број 9. На основу прорачуна уочава се да је максималан протицај за

надпросечне услове влажности вероватноће појаве $p = 1\%$ достигнут за деветочасовну кишу, те се за конструкцију јединичног синтетичког троугаоног хидрограма усвајају следећи параметри:

$$T_k = 9 \text{ h};$$

$$T_r = 18,55 \text{ h};$$

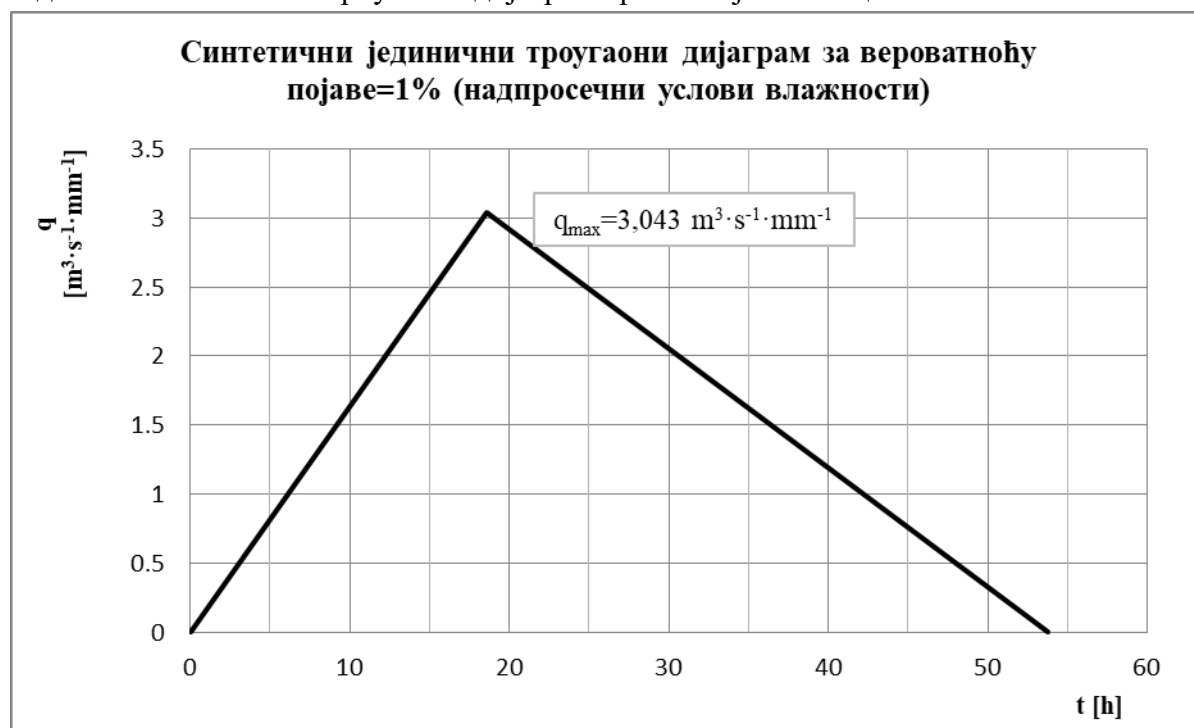
$$K = 2;$$

$$T_r = 35,25 \text{ h};$$

$$T_b = 53,80 \text{ h};$$

$$q_{\max} = 3,043 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Јединични синтетички троугаони дијаграм приказан је на слици:

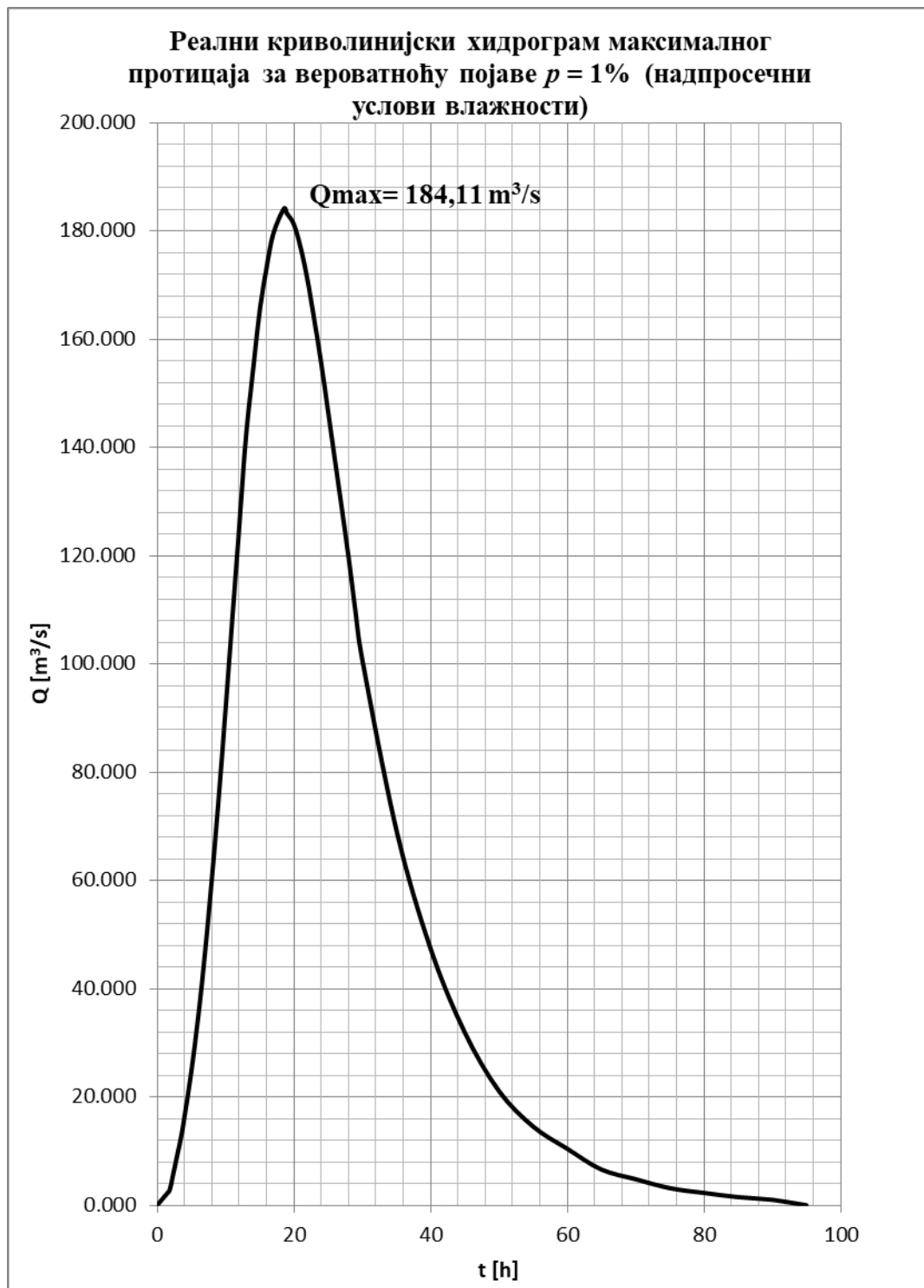


Слика 13. Синтетички јединични троугаони хидрограм (извор: аутор)

Максималан протицај $Q_{\max(1\%)}$ износи $184,11 \text{ m}^3/\text{s}$. Надпросечни услови влажности земљишта усвојени су због тога што се бујичне поплаве махом дешавају у пролеће. У том периоду, земљиште је углавном у условима потпуне сатурације, услед топљења снега са планина и атмосферских падавина или приликом коинциденције ове две појаве. У оваквим условима инфилтрациони капацитет је сведен на минимум те је површински отицај максимално изражен.

На основу конструисаног јединичног синтетичког троугаоног хидрограма и израчунатог максималног протицаја на основу спроведеног поступка оптимизације извршена је трансформација јединичног синтетичког дијаграма у реални

криволинијски хидрограм на основу SCS бездимензионалног јединичног хидрограма. Поступак оптимизације приказан је у прилогу број 9.



Слика 14. Хидрограм максималног протицаја на реци Раљи у случају надпросечних услова влажности земљишта (извор: аутор)

6. Стање ерозије на истраживаном подручју

6.1 Метод потенцијала ерозије

Метод Потенцијала ерозије или како је то познатије у пракси, метод професора Гавриловића, намењен је за проучавање ерозионих процеса на сливовима бујичних токова. Метод је настао на основу вишегодишњих мерења и истраживања на бујичним токовима на територији некадашње Југославије.

Метод полази од аналитичко – квантитативне обраде података о елементима који утичу на ерозију ради добијања коефицијента ерозије слива или ерозионог подручја (Z). Коефицијент ерозије зависи од педолошких карактеристика сливног подручја затим начина коришћења и обраде земљишног простора, рељефа као и видљивих ерозионих процеса на сливу (Гавриловић, 1972). Коефицијент ерозије (Z) прорачунава се на основу следеће релације:

$$Z = Y \cdot Xa \cdot (\varphi + \sqrt{I_{sr}})$$

Где је:

Y – реципрочна вредност коефицијента отпора земљишта на ерозију

Xa – коефицијент уређења слива

φ – бројни еквивалент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса

I_{sr} – средњи пад слива или ерозионог подручја

Кроз вишегодишња истраживања и мерења протицаја бујичних наноса у периоду од 1950 – 1956 год. предложено је да се за подручје наше земље усвоји комбинација поделе ерозионих процеса у пет категорија и за сваку усвоји вредност коефицијента ерозије. Вредности коефицијента Z крећу се углавном између 0,1 и 1,5 (Табела 7), односно од очуваних, ерозијом слабо захваћених површина до екстремно деградираних површина (Гавриловић, 1972).

Табела 7. Вредности коефицијента ерозије - Z (извор: Гавриловић, 1972)

Категорија разорности [Ke]	Јачина ерозионих процеса у кориту и сливу	Тип владајуће ерозије	Коефицијент ерозије [Z]	Средња вредност коефицијента ерозије
I	Експесивна ерозија	дубинска	1,51 и више	1,25
		мешовита	1,21-1,50	
		површинска	1,01-1,20	
II	Јака ерозија	дубинска	0,91-1,00	0,85
		мешовита	0,81-0,90	
		површинска	0,71-0,80	
III	Осредња ерозија	дубинска	0,61-0,70	0,55
		мешовита	0,51-0,60	
		површинска	0,41-0,50	
IV	Слаба ерозија	дубинска	0,31-0,40	0,30
		мешовита	0,25-0,30	
		површинска	0,20-0,34	
V	Врло слаба ерозија	Трагови ерозије	0,01-0,19 и мање	0,10

Коефицијент отпора земљишта на ерозију Y

Реципрочна вредност коефицијента отпора земљишта на ерозију зависи од геолошке подлоге, педолошког типа земљишта и климата. Те вредности односе се на отпорност земљишта на деловање „бомбардовања земљишта кишним капима“ као и отпорност земљишта на деловање текуће воде – површинског отицаја (Гавриловић, 1972). Вредности коефицијента Y одређене су експерименталним путем и приказане у табели 8.

Табела 8. Средње вредности коефицијента Y (извор: Гавриловић, 1972)

рб	Типови земљишних творевина и средно врсте	Средња вредност коефицијента Y
1	Пескови, шљунак и невезана земљишта	2
2	Лес, туфови, слатине, степска земљишта и сл.	1,6
3	Распаднути кречњаци и лапорци	1,2
4	Серпентинити, црвени пешчари, флишне наслаге	1,1
5	Подзоли и параподзоли, распаднители шкриљци, микашисти, гнајсеви, аргилошкриљци	1
6	Једри и шкриљасти кречњаци, црвенице и хумусно силикатна земљишта	0,9
7	Гајњаче и панинска земљишта	0,8
8	Смонице, ритске оранице и мочварна земљишта	0,6
9	Чернозем и алувијални наноси добре структуре	0,5
10	Голи, компакти еруптиви	0,25

Коефицијент уређења слива X_a

Овај коефицијент односи се на заштићеност земљишта од утицаја атмосферских талога и сила ерозије природним условима, вегетационим покривачем и слично или вештачки створеним условима, антиерозионим и мелиоративним техничким, биолошким и биотехничким радовима на сливном подручју. Вредности коефицијента X_a приказани су у табели 9.

Табела 9. Вредности коефицијента X_a (извор: Гавриловић, 1972)

рб	Услови који утичу на вредност коефицијента X_a	Средња вредност X_a
Слив или подручје пре антиерозионих радова		
1	Потпуно голо, необрадиво земљишта	1
2	Оранице са обрадом низ нагиб	0,9
3	Воћњаци и виногради без приземне вегетације	0,7
4	Планински пашњаци и сувати	0,6
5	Ливаде, детелишта и сличне вишегодишње пољопривредне културе	0,4
6	Деградиране шуме и шикаре са еродираним земљштем	0,6
7	Шуме и шикаре доброг слопа и обраста	0,05
Слив или подручје после антиерозионих радова		
1	Оранице са контурном обрадом	0,63
2	Оранице добре неге и заштићене малчирањем	0,54
3	Контурно појасна обрада са плодоредима	0,45
4	Контурни воћњаци и видогради	0,315
5	Терасирање земљишта ораница, терасе и градони	0,36
6	Затрављивање гоилх земљишта и мелиорација пашњака и сувати	0,3
7	Израда контурних ровова средње густине	0,24
8	Ретардациони водопутеви, микроакумулације	0,27
9	Обично пошумљавање у јаме или на пруге	0,2
10	Пошумљавање уз израду градона	0,1
11	Уређење корита водотока техничким објектима: канализација, кинете, иградња преграда и сл	0,7

Коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса Φ

Коефицијент Φ представља бројни еквивалент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса ерозије у сливу. Одређује се на основу осматрања на терену а неке вредности приказане су у табели 10.

Табела 10. Вредност коефицијента ϕ (извор Гавриловић, 1972)

рб	Услови који утичу на вредност коефицијента	Средња вредност коеф. ϕ
1	Слив или подручје потпуно обухваћено јаружастом ерозијом или урвинским процесима (дубинска ерозија)	1
2	Око 80% слива под браздастом и јаружастом ерозијом	0,9
3	Око 50% слива под браздастом и јаружастом ерозијом	0,8
4	Цео слив под површинском ерозијом: распадине и осулине, нешто мало бразда и јаруга као и јака крашка ерозија	0,7
5	Цео слив под површинском ерозијом али без видљивих дубинских процеса	0,6
6	Земљиште са 50% површине обухваћено са површинском ерозијом док је остали део слива очуван	0,5
7	Земљиште са 20% површине обухваћено са површинском ерозијом, док је 80% слива очувано	0,3
8	Земљиште у сливу без видљивих трагова ерозије али у коритима водотока има мањих одрона и клижења	0,2
9	Слив без видљивих трагова ерозије али претежно под ораницама	0,15
10	Подручје или слив без видљивих трагова ерозије као у сливу тако и у кориту водотока, али претежно под шумама или вишегодишњом вегетацијом	0,1

Средњи нагиб терена на сливу

Последњи члан у формули за прорачун коефицијента ерозије представља квадратни корен средњег пада слива или ерозионог подручја, а одређује се на основу карте нагиба терена сливног подручја.

6.2. Прорачун продукције и проноса наноса

Продукт ерозионих процеса у сливу и кориту је ерозиони нанос. Материјал продукован дејством ерозионих агенаса бива транспортован, брже или краће, са падина слива у хидрографску мрежу који се даље транспортује у зависности од хидролошко – хидрауличких услова и транспортне способности водотока (Костадинов, 2008). Присуство наноса у хидрографској мрежи доводи до појаве двофазног флуида који представља једну од карактеристика бујичних поплава. Нанос својим присуством повећава запремину, а самим тим и протицај двофазног флуида, што самим тим повећава ризик од изливања воде и корита водотока. Према истраживањима на експерименталним сливовима у Србији око 80% укупно отекле воде као и 90% проноса наноса са бујичних сливова отекне за време 3-4 поплавна таласа, а у осталом периоду године водотоци пресуше или имају врло мали протицај (Kostadinov i sar.,2019). С тим у вези неопходан је прорачун просечне годишње продукције и проноса наноса на

бујичним сливовима. Прорачун продукције ерозионог наноса рачуна се према формули (Гавриловић, 1972):

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F \quad [m^3/god]$$

Где је:

W_{god} – Годишња продукција ерозионог материјала на сливу [m^3/god]

T – температурни коефицијент: $T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0,1}$

t – средња годишња температура на сливу [$^{\circ}C$]

H_{god} – средња годишња количина падавина на сливу [mm]

Z – коефицијент ерозије

F – површина слива [km^2]

Наведени образац даје укупну средњегодишњу продукцију наноса на одређеном сливу или ерозионом подручју. Познато је да нанос произведен ерозионим процесима у сливу не доспева у целости до најниже тачке слива, односно, одређен део продукваног наноса бива задржан у увалама, депресијама или заравнима. С тим у вези неопходно је раздвојити продукцију од проноса наноса. За одређивање годишњег проноса наноса, Гавриловић уводи коефицијент ретенције наноса R_u . Коефицијент ретенције наноса представља чинилац којим се смањује просечна годишња количина продукваног наноса у односу на место његовог стварања до места на коме се врши мерење, односно до излазног профила (Гавриловић, 1972). Множењем просечне средњегодишње продукције наноса са коефицијентом ретенције наноса добија се средњегодишња запремина вученог и суспендованог наноса:

$$G_{god} = W_{god} \cdot R_u \quad [m^3/god]$$

Где је:

G_{god} – годишњи пронос наноса на сливу [m^3/god]

W_{god} – годишња продукција наноса на сливу [m^3/god]

R_u – коефицијент ретенције наноса: $R_u = \frac{(O \cdot D)^{0,5}}{0,25 \cdot (L + 10)}$

где је:

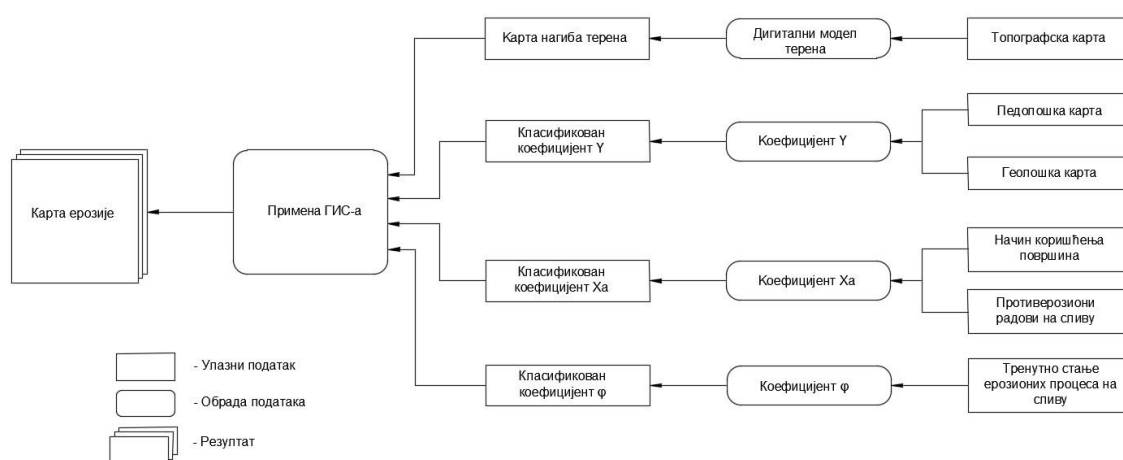
O – обим слива [km]

D – средња висинска разлика [km]

L – дужина слива по главном току [km]

6.3. Резултати

Анализа деградираниости земљишта Методом Потенцијала ерозије урађена је у ГИС (Географски Информациони Систем) окружењу. За извајање основних физичко – географских карактеристика слива коришћена је топографска карта размере 1:25000. За одређивање коефицијента Y коришћене су педолошка и геолошка карта, док је коефицијент X_a одређиван на основу карте начина коришћења површина. Вредност коефицијента ϕ одређена је на основу видљивих трагова ерозионих процеса на основу рекогносцирања терена и извршених теренских истражних радова. На слици 15 дат је шематски приказ Методе Потенцијала ерозије.

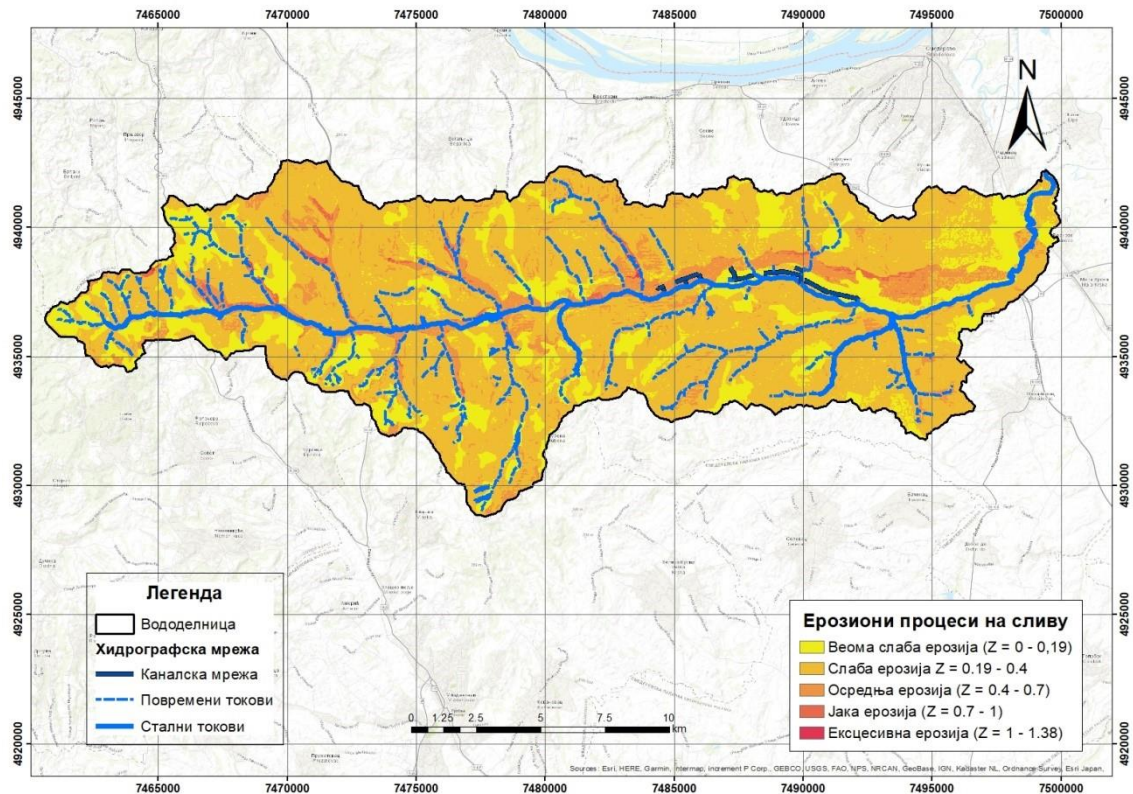


Слика 15. Шематски приказ примене методе потенцијала ерозије у ГИС - у (извор: Amiri, 2010)

Вредности коефицијента ерозије приказани су у табели 11. На сливу су најзаступљеније категорије веома слабе и слабе ерозије, што је и очекивано с обзиром на веома мале нагибе у сливу. Експесивна и јака ерозија присутне су локално, на деловима слива где су нагиби израженији, углавном у јаругама. Осредња ерозија присутна је дуж хидрографске мреже, где преовлађују невезани типови земљишта који су лако покретљиви под дејством воде. Према наведеној класификацији средњи коефицијент ерозије Z_{sr} износи 0,26 што значи да на сливу влада слаба ерозија.

Табела 11. Заступљеност категорија ерозије на сливу реке Раље (извор: аутор)

рб	Јачина ерозионих процеса у сливу	Категорија разорности	Површина [km ²]	Површина [%]
1	Врло слаба ерозија	V	63,38	21,70
2	Слаба ерозија	IV	193,94	66,41
3	Осредња ерозија	III	31,11	10,65
4	Јака ерозија	II	3,45	1,18
5	Експесивна ерозија	I	0,17	0,06
	Укупно:		292,04	100,00



Слика 16. Карта ерозије (извор: аутор)

Укупна годишња продукција наноса:

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F = 14681,25 \text{ m}^3/\text{god}$$

Специфична годишња продукција наноса:

$$W_{godsp} = \frac{W_{god}}{F} = 60,57 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{god}$$

Добијене вредности указују да, гледано у просеку, на сливу реке Раље владају процеси слабе ерозије. Ако узмемо да годишњи толерантни губитак земљишта износи $100 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (Костадинов, 2008) на основу наведеног прорачуна на сливу Раље нису изражени ерозиони процеси. То на први поглед може да завара јер у сливу постоје бројни подсливови у којима су ерозиони процеси изражени.

Укупни годишњи пронос наноса:

$$G_{god} = W_{god} \cdot R_u = 4126,92 \text{ m}^3/\text{god}$$

Специфични годишњи пронос наноса:

$$G_{godsp} = \frac{G_{god}}{F} = 17,03 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{god}$$

Добијена вредност специфичног годишњег проноса наноса је у складу са прорачуном продукције наноса и говори да ерозиони процеси на сливу као и транспорт наноса није изражен. Са друге стране, према истраживањима на експерименталим сливовима у Србији доказано је да 80% отекле воде и 90% проноса наноса отекне за време 3-4 поплавна таласа, док у остатку године имамо мали протицај или водотоци пресуше (Костадинов и сар., 2019). Посматрано на тај начин, неопходно на одређеним местима применити мере за задржавање вученог наноса, али и одговарајући протицајни профил и пад нивелете за транспорт суспендованог наноса.

7. Концепт уређења слива реке Раље

На основу анализе природних карактеристика сливног подручја као и израђених подлога следи предлог концепта уређења слива реке Раље. Концепт уређења слива треба базирати на принципима функционалности, рационалности и економичности. Најлогичније је слив поделити на две целине – доњи део слива где је основни проблем уређење главног тока и заштита приобаља од великих вода и горњи део слива где је неопходно зауставити ерозионе процесе који се јављају локално и уређење притока које имају бујичан карактер.

7.1. Радови на уређењу доњег дела слива

С обзиром да у доњем делу слива постоје објекти за заштиту од штетног дејства великих вода логично је да приликом постављања новог концепта уређења ови објекти буду садржани у њему. Главни ток Раље регулисан је од железничког моста на прузи Београд – Мала Крсна до ушћа Камендолског потока. Регулација је изведена шездесетих година двадесетог века када је изграђен левообални насип, док је насип аутопута предвиђен као деснообални насип регулације (типски профил регулисаног водотока приказан је у прилогу 10). У склопу регулације која је дужине 15,4 km изведено је 11 каскада за савладавање пројектованог пада нивелете. Регулација је пројектована на протицај $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ (Извод из главног пројекта регулације реке Раље, Водопривредна организација „Смедерево“ 1990).

Тренутно, минор корито регулисаног водотока је веома запуштено и зарасло те му је пропусна моћ вишеструко смањена (слика 17), док су каскаде махом урушене. С тим у вези неопходно је повећавање пропусне моћи корита крчењем шибља и дрвећа у минор кориту водотока. Протицај на који је регулација пројектована и изведена разликује се од протицаја срачунаног и приложеног у овом раду. Разлог томе је промена начина коришћења површина коју прати тренд климатских промена (повећење максималних дневних количина падавина). То намеће додатно повећање пропусне моћи регулисаног корита које се може обезбедити надвишењем круне постојећег левообалног насипа. Пошто траса изведеног левоовалног насипа није симетрична са трасом насипа аутопута не мора се нужно надвисити цео насип, већ само оне деонице где попречни пресек регулације не задовољава пропусну моћ за срачунати протицај.



Слика 17. Тренутно стање минор корита реке Раље (Извор: аутор)

У склопу чишћења минор корита потребно је нивелету изведене регулације вратити на пројектовано стање. То намеће обнову урушених каскада и бучница (типски изглед каскаде дат је у прилогу 11). На основу Извода из главног пројекта регулације реке Раље у склопу регулације није предвиђен један консолидациони појас за заштиту корита од регресивне ерозије. Било би пожељно у току реконструкције регулације осигурати корито са неколико консолидационих појасева на карактеристичним местима.

С обзиром да се у више наврата дешавало да се велика вода излива у приобаље пре почетка регулације једно од решења могло би бити продужетак регулације у дужини од око 100 m узводно од Камендолског потока и изградња адекватног уливног објекта у регулацију у виду консолидационог појаса или каскаде.

Низводно од изведене регулације предвиђа се наставак регулације у дужини од око 1,5km мерено по траси водотока с обзиром да река Раља ту протиче кроз село Раља које је у блиској прошлости плављено. Предвиђена регулације треба да се састоји од двогубог корита са левообалним и деснообалним насипом геометрије такве да се уклопи у постојећу регулацију.

Поред наведених радова, на одређеним местима предвиђа се осигурање кривина регулације и ножице насипа аутопута каменим набачајем на шљунчаној постељици ради заштите од поткопавања.

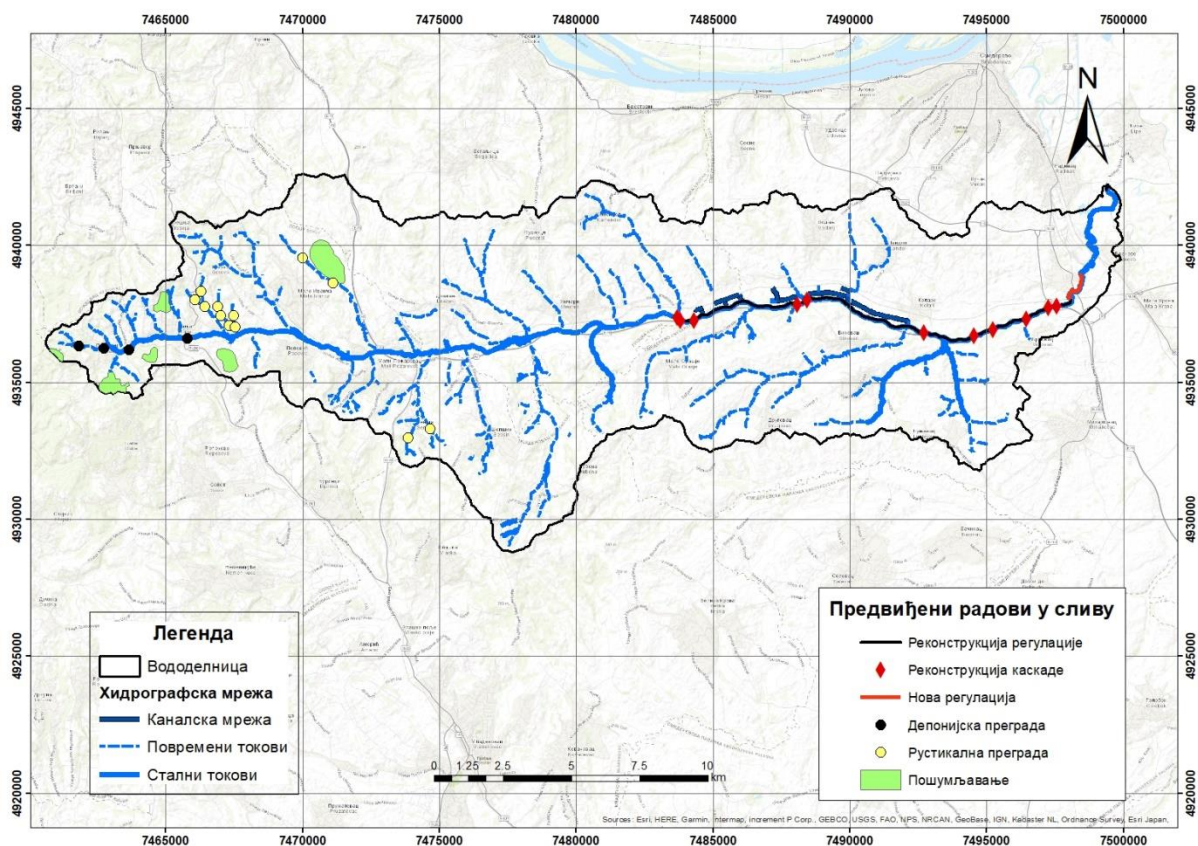
7.2. Радови на уређењу горњег дела слива

Радови у горњем делу слива имају за циљ уређење горњег дела тока реке Раље као и притока реке Раље које имају бујичан карактер као и смањење продукције ерозионог

материјала. Због карактеристика бујичних токова одбрана од бујичних поплава разликује од одбране од поплава на великим рекама. Најбољи начин за одбрану од бујичних поплава је њихова превенција. У складу са уоченим природним карактеристикама истраживаног слива као и анализе израђених подлога као и непосредним рекогносцирањем терена неопходно је остварити следеће:

- Побољшање инфилтрационо – ретенционих карактеристика земљишта на деловима где је уочена већа продукција ерозионог наноса. То се остварује применом биолошких и биотехничких мера и радова;
- Изградња попречних објеката у виду преграда и прагова на притокама реке Раље са циљем спречавања дубинских ерозионих процеса, стабилизације корита и задржавања продукваног ерозионог наноса;
- Примена административних мера у виду планова за проглашење ерозионих подручја и планова за одбрану од бујичних поплава те кроз њих дефинисати забране и препоруке.

Просторни распоред мера и радова приказан је на слици 17.



Слика 18. Предвиђени радови у сливу (извор:аутор)

С обзиром да највећи део површине слива заузимају пољопривредне површине које се активно обрађују, из тог разлога, пошумљавање се предвиђа у вршним деловима слива.

Пошумљавање је предвиђено у горњим деловима истраживаног подручја, где су присутни највећи нагиби терена и где је коефицијент ерозије Z највећи.

Такође, у увалама и јаругама на местима где су изражене максималне вредности коефицијента ерозије Z предвиђају се рустикалне преграде са циљем да ублаже пад, задрже ерозиони нанос и од њега формирају заправ који ће се користити за садњу одређених врста дрвећа и жбуња (типски изглед рустикалне преграде дат је у прилогу 12)

Од техничких мера превиђа се изградња бујичарских преграда (типски изглед преграде од габиона и бетона дат је у прилогу 13 и 14) од различитог материјала у зависности од ситуације на терену. Изградња ових објеката предвиђена је у вршном делу слива који се одликује највећим падом. Изградња ових објеката треба да обезбеди консолидацију корита уз задржавање наноса и у циљу елиминисања даљег продубљивања корита.

Иако се слив не одликује израженим нагибима, највећи део његове површине заузимају пољопривредне површине где је заступљена обрада низ нагиб. У току падавина, ове површине доприносе повећању површинског отицаја на падинама слива и бржег транспорта воде у реципијент. Пошто се у склопу слива налазе земљишта великог производног потенцијала, уместо претварања тих површина у шуме и травне површине једно од решења је прелазак на контурну обраду која ће утицати на редукцију површинског отицаја.

Поред наведеног неопходно је повећање пропусне моћи корита на свим притокама (корита су у потпуности обрасла) и на притокама које пролазе кроз насеља осигурати ушће у реципијент, односно ток Раље. Такође неопходно је осигуравање пропуста који пролазе кроз насип аутопута. Управљање ризицима од поплава представља циклус који у свом ланцу обухвата фазе превенције и заштите, припреме, одговора на потенцијалне поплаве и опоравка од евентуалних поплава у које су интегрисане краткорочне и дугорочне мере и стратегије.

8. Дискусија

Бујичне поплаве представљају једну од најчешћих природних катастрофа у Републици Србији. Бујичне поплаве карактеристичне су за брдско планински регион, где владају велики нагиби и где су интензивирани ерозиони процеси (Hübl et al., 2011). Јављају се углавном у пролеће, услед интензивних атмосферских падавина и наглим отапањем снега или услед коинциденције ове две појаве.

Слив реке Раље нема карактеристике типичних бујичних водотокова већ више подсећа на равничарски ток. Међутим у последњих неколико година на сливу је забележено више поплавних таласа које у потпуности имају бујични карактер, те с тим у вези логично је посматрати га као бујичан водоток. С обзиром на специфичности које се односе на веома важне инфраструктурне објекте који се налазе у сливу, овај слив треба да буде третиран интегралном заштитом у циљу смањења ризика од потенцијалних штета на овим објектима. Уз то, сливно подручје карактерише велики број насеља која могу бити угрожена појавом бујичних поплавних таласа.

Иако у доњем делу слива постоје објекти за заштиту од поплава, прорачуном приказаним у овом раду установљено је да протицај на који је пројектована постојећа регулација нема одговарајућу пропусну моћ да прихвати срачунати протицај за данашње услове на сливу. Постојећа регулација изведена је пре око 60 година, и пројектована је на основу тадашњих услова на терену. Урбанизација и интензивирана пољопривредна производња довеле су до промене хидролошких услова на сливу чему додатно доприноси тренд климатских промена и све чешће екстремне кишне епизоде (Kundzewicz, 2015).

На основу анализе падавина са 4 падавинске станице које се налазе на сливу применом метода параметарске хидрологије добијена максимална вредност дневне кише вероватноће појаве једном у сто година износи $H_{1\%} = 104,25\text{mm}$. Применом комбинованог метода за одређивање максималног протицаја на неизученим сливовима одређен је максимални протицај вероватноће појаве једном у сто година $Q_{max(1\%)} = 184,11 \text{ m}^3/\text{s}$. Објекти за заштиту од поплава у сливу Раље пројектовани су на максимални протицај $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ (Извод из главног пројекта регулације реке Раље, Водопривредна организација „Смедерево“ 1990). Одавде следи да постојећи објекти не врше функцију за коју су пројектовани, те да доњи део слива не поседује адекватну заштиту од евентуалних поплава. Процес урбанизације у комбинацији са неадекватном обрадом пољопривредних површина, воћњака и винограда, углавном низ нагиб, довело је до повећања површинског отицаја услед екстремних кишних епизода.

Анализом ерозионих процеса на сливу реке Раље применом Метода Потенцијала ерозије утврђено је да на сливу влада слаба ерозија са коефицијентом ерозије $Z=0,26$. Највећи део слива захваћен је пољопривредном, воћарском и виноградарском производњом где се примењује обрада низ нагиб што доприноси развоју процеса ерозије. На сливу се локално јављају процеси јаке и ексцесивне ерозија, углавном на

већим нагибима и деградираном земљишту. Специфична продукција наноса у сливу износи $60,57 \text{ m}^3/\text{km}^2$ годишње, што представља и више него толерантне губитке земљишта. Поређења ради на деградираним шумским и пољопривредним земљиштима на обрадивим површинама у Хрватској износи $375\text{--}11983,3 \text{ m}^3/\text{km}^2$ годишње, у зависности од начина обраде (Kisić et al., 2005), у Кини продукција наноса износи $13863,3 \text{ m}^3/\text{km}^2$ годишње (Chen et al., 2006), док на пашњацима Новог Зеланда специфична продукција наноса износи $21703 \text{ m}^3/\text{km}^2$ годишње (Gomez et al., 2003). Ипак, ерозиони процеси који се јављају локално, у подсливовима притока и јаруга у комбинацији са интензивним падавинама доводе до настанка бујичних поплава.

Иако на први поглед река Раља изгледа као питом водоток у њеном сливу све су чешће појаве бујичних поплава. Промена начина коришћења површина и неадекватна обрада пољопривредног земљишта могу у многоме да допринесу настанку бујичних поплава (Togri et al., 2002). У сливу реке Раље пољопривредне површине заједно са виноградима и воћњацима заузимају више од 70% површине слива и у на њима је заступљена обрада низ нагиб. То директно доводи до повећања површинског отицаја и брзе концентрације воде са падина у реципијент самим тим и наглог пораста протицаја.

Тренд климатских промена показује да су све чешће екстремне кишне епизоде, где за само пар дана падне просечна годишња количина падавина (Vinet, 2011). То намеће све већу вероватноћу настанка бујичних поплава а самим тим и потребу за превенцијом и заштитом. Концептом генералног уређења слива реке Раље применом техничких, биотехничких и биолошких радова у виду подизања попречних објеката и пошумљавања у горњем делу слива уз примену административних мера на целој површини слива довеле би до смањења површинског отицаја приликом екстремних киша а самим тим и смањења протицаја у водотоку. Такође, наведене мере би утицале на смањење ерозије у притокама и јаругама. С друге стране регулациони радови предвиђени у доњем делу слива пружили би адекватну заштиту од штетног дејства великих вода и обезбедили постојећу инфраструктуру од великих материјалних штета.

9. Закључак

Стохастичка природа поплава указује на могућност њихове појаве на различитим територијама, у различитим годишњим добима и временским периодима, са различитим интензитетима и дужином трајања. У тренду климатских промена и све чешћих екстремних кишних епизода појава бујичних поплава је све чешћа, а потенцијалне штете и последице могу да буду немерљиве. За разлику од великих река где је могуће применити ванредну одбрану од поплава, код бујичних токова је то немогуће због самих карактеристика овог природног хазарда те је најбоља одбрана од бујичних поплава њихова превенција.

Иако на први поглед река Раља подсећа на типични равничарски водоток, поплаве које је овај водоток изазвао у блиској прошлости указују да она има бујичан карактер. Као слив на којем се поред великог броја насеља налази се и мрежа битних инфраструктурних објеката, као што су аутопут, међународна пруга и индустријски комплекси неопходно је управљати ризицима од поплава које могу да доведу до великих материјалних штета, онеспособљавања инфраструктуре и угрожавања људских живота. Управљање ризицима од поплава представља циклус који у свом ланцу обухвата фазе превенције и заштите, припреме, одговоре на потенцијалне поплаве и опоравка од евентуалних поплава у које су интегрисане краткорочне и дугорочне мере и стратегије (Commission of the European Communities, 2004). Због значаја материјалних добара која се налазе на сливу и заштите и очувања природних ресурса ову проблематику треба третирати у складу са Директивом о водама 2000/60/ЕК.

Најбољи приступ решавању проблема заштите од поплава и сузбијања ерозије представља примена концепта интегралног уређења слива. Интегрално уређење слива представља специфичну комбинацију биолошких, биотехничких и техничких противерозионих радова и примену административних мера које имају за циљ заустављање процеса ерозије и регулацију водног режима у сливу који представљају заштиту и превенцију од настанка бујичних поплава.

Концепција уређења слива реке Раље разматрана је кроз концепт интегралног уређења и принципа економичности, рационалности и функционалности. Уређење слива подељено је на радове у горњем делу слива који имају за циљ регулацију водног режима и заустављање ерозионих процеса док се радови у доњем делу слива односе на спречавање изливања велике воде из корита и плављење површина у приобаљу. Применом ових мера могуће је смањити ризик од настанка поплава и осигурати заштита у случају њихове појаве.

10. Литература

- Азлен М., Пузовић Р., Златановић Н., Ристић Р., Милчановић В., Трипкович В., Дробњак А., Половина С., Малушевић И., Миљковић Д. (2018): Студија угрожености путева I II реда од појаве бујичних токова у сливу Јужне Мораве, (лева страна слива слива Јужне Мораве од Сталаћа до границе реке Јабланице, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд
- Al-Ghobari H., Dewidar A., Alataway A. (2020): Estimation of Surface Water Runoff for a Semi-Arid Area Using RS and GIS-Based SCS-CN Method, MDPI, doi:10.3390/w12071924;
- Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L., and Forzieri, G. (2015): Global warming increases the frequency of river floods in Europe, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 2247–2260, <https://doi.org/10.5194/hess-19-2247-2015>;
- Антић М., Јовић Н., Авдаловић В. (2007): Педологија, Шумарски факултет Универзитета у Београду;
- Armanini A., Dellagiacomma F., & Ferrari L. (2006): From the check dam to the development of functional check dams. 10.1007/BFb0011200.
- Amiri, F. (2010): Estimate of erosion and sedimentation in semi-arid basin using empirical models of erosion potential within a Geographic Information System, *Air, Soil and Water Research* 2010:3 37–44;
- Бабић Младеновић М., (2018): Уређење водотокова, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд;
- Commission of the European Communities 2004 - https://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/com.htm;
- Chen, H., Cai, Q. (2006): Impact of hillslope vegetation restoration on gully erosion induced sediment yield. *Science in China: Series D Earth Sciences*, 49 (2), 176–192;
- Vinet F. (2011): Flood risk assessment and management in France: the case of Mediterranean basins, pp.105-132, DOI : 10.2495/978-1-84564-560-1/05;
- Гавриловић С. (1972): Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији, часопис „Изградња“, специјално издање, Београд;

- Gerrits A.M.J., Savenije H.H.G., Pfister L. (2006): Forest floor interception measurements, UNCERTAINTIES IN THE ‘MONITORING-CONCEPTUALISATION-MODELLING’ SEQUENCE OF CATCHMENT RESEARCH, International conference, Luxembourg, p 81-86;
- Gomez, B., Banbury, K., Marden, M., Trustrum, N.A., Peacock, D.H., Hoskin, P.J. (2003): Gully erosion and sediment production: Te Weraroa Stream, New Zealand. *Water Resources Research*, 39 (7), 1187;
- Hübl, J., Fuchs, S., Sitter, F. & R. Totschnig (2011): Towards a frequency-magnitude relationship for torrent events in Austria. In: Genevois, R., Hamilton, D. & A. Prestininzi (ed.): 5th International conference on debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction and assessment. Rome: Casa Editrice Università La Sapienza. p. 895-902;
- Dumbrovsky M., Korsuň S., (2016): Optimization of Soil Erosion and Flood Control Systems in the Process of Land Consolidation. In: Godone, D. , Stanchi, S. , editors. Research on Soil Erosion, <https://www.intechopen.com/chapters/37815> doi: 10.5772/50327;
- Jain M.K., Das D. (2010): Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resources management*, 24 (10), 2091–2112;
- Јевтић Јб. (1978): Инжењерски приручник за решавање проблема из области бујичних токова, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд;
- Каровић Solomun, M., Ferreira, C. S. S., Zupanc, V., Ristić, R., Drobnjak, A., & Kalantari, Z. (2021). Flood legislation and land policy framework of EU and non-EU countries in Southern Europe. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, e15596. <https://doi.org/10.1002/wat2.1566>;
- Kisić, I., Bašić, F., Butorac, A., Mesić, M., Othmar, N., Sabolić, M. (2005): *Soil erosion under different tillage systems*, Zagreb, Faculty of Agriculture;
- Кнежевић М., Кошанин О. (2016): Практикум из педологије, Шумарски факултет Универзитета у Београду;
- Костадинов С. (2008): Бујични токови и ерозија, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд;

- Kostadinov, S., Braunović, S., Dragičević, S., Zlatić, M., Dragović, N., Rakonjac, N. (2018): Effects of Erosion Control Works: Case Study—Grdelica Gorge, the South Morava River (Serbia). *Water* 2018, 10, 1094. <https://doi.org/10.3390/w10081094>
- Костадинов С., Тошић, Р., Хркаловић Д., Николић С., Судар Н., Каповић Солонун М., Драгићевић, С., Момировић Н., Цупаћ Р., Босанкић Г., Бундало С. (2019): Контрола ерозије земљишта у функцији смањења ризика од поплава у сливу реке Врбас, Република Српска, Часопис ВОДОПРИВРЕДА бр. 51, стр. 211 - 224
- Kosztra B., Büttner G., (2019): Updated CLC illustrated nomenclature guidelines, European Topic Centre on Urban, land and soil systems
- Методологија за систематско праћење квалитета и стања земљишта у Републици Србији;
- NRCS (2004): National Engineering Handbook Part 630 Hydrology, Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes;
- NRCS (2009): National Engineering Handbook Part 630 Hydrology, Chapter 9 Hydrologic Soil Groups
- Z. W. Kundzewicz (2015): Climate change track in river floods in Europe, Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, doi:10.5194/piahs-369-189-2015
- Pavlović Z., (1997): Tumač za list Smederevo L 34-126, Zavod za geološka, hidrogeološka, geofizička i geotehnička istraživanja „Geozavod“, Beograd
- Ристић Р., Малошевић Д. (2011): Хидрологија бујичних токова, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд;
- Ristić R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragičević S., Trivan G., Radić B., Trifunović M., Radosavljević Z. (2012): Torrential floods and town and country planning in Serbia, Natural hazards and earth system sciences;
- Ристић Р., Милчановић В., Малушевић И., Половина С. (2016): Ерозија земљишта и бујичне поплаве у Србији, Тематски зборник – Деградација и заштита земљишта, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд;
- Ристић Р., Радић Б., Васиљевић Н. (2009): Карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији, Гласник српског географског друштва, свеска 4;

- Sandercock P., Hooke J.M., Baets S., Poesen, J., Meerkerk, A., Wesemael B., Cammeraat E.L.H., (2017): Effectiveness of Plants and Vegetation in Erosion Control and Restoration DOI: 10.1007/978-3-319-44451-2_4.
- Танасијевић Ђ., Јеремић М., Филиповић Ђ., Алексић Ж., Никодијевић В., Антоновић Г., Спасојевић М., (1961): Педолошка карта, Институт за проучавање земљишта Топчидер – Београд, Завод за Картографију „Геокарта“, Београд;
- Torri, D., Borselli, Lorenzo & Calzolari, Costanza & Yanez, MS & Sanchis, MP & Rubio, José & Morgan, RPC & Asins, Sabina & Andreu, Vicente, (2002): Soil erosion, land use, soil qualities and soil functions: effects of erosion, Conference: Man and soil at the Third Millennium, Vol 1 - 131-148;
- Jannes Stolte, Mehreteab Tesfai, Lillian Øygarden, Sigrun Kværnø, Jacob Keizer, Frank Verheijen, Panos Panagos, Cristiano Ballabio, Rudi Hessel ; Soil threats in Europe; EUR 27607 EN; doi:10.2788/488054 (print); doi:10.2788/828742 (online), (str. 15 – 24)
- Zhang W., Zhou J., Feng G., Weindorf D.C., Hu G., Sheng J. (2015): Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example. International Soilless and Water Conservation Research;
- Извод из главног пројекта регулације реке Раље, Водопривредна организација „Смедерево“ 1990;
- Ћирић М., (1991): Педологија, Свјетлост, Сарајево;
- Yuan, Shuilong & Li, Zhanbin & Li, Peng & Xu, Guoce & Hd, Gao & Xiao, Lie & Wang, Feichao & Wang, Tian. (2019): Influence of Check Dams on Flood and Erosion Dynamic Processes of a Small Watershed in the Loss Plateau. Water. 11. 834. 10.3390/w11040834.

Интернет странице:

- <https://a3.geosrbija.rs/>, (приступљено 20.08.2022.);
- <https://www.alo.rs/beograd/beograd/talas-je-nosio-sve-pre-sobom/173467/vest>, (приступљено 25.08.2022.);
- https://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php, (приступљено 27.08.2022.);
- <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/hydrology/?cid=stelprdb1043063> (приступљено 28.08.2022.)

Прилози

Прилог 1-8. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве

Прилог 1. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Мала Крсна *Gumbel* расподелом

Кишомерна станица		Мала Крсна		Број n	63
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] ↓	P %	$(X_i - X_{sr})^2$
1	1955	32.3	170.2	1.56	14933.7
2	1956	53.6	143.1	3.13	9044.7
3	1957	74.9	91.7	4.69	1910.0
4	1958	25.8	81.8	6.25	1142.7
5	1959	25.8	78.5	7.81	930.5
6	1960	28.2	74.9	9.38	723.8
7	1961	25.8	68.5	10.94	420.4
8	1962	28.2	66.9	12.50	357.3
9	1963	28.2	57.8	14.06	96.1
10	1964	34.6	57.4	15.63	88.4
11	1965	46.7	55.1	17.19	50.5
12	1966	28.6	53.6	18.75	31.4
13	1967	50.9	53.5	20.31	30.3
14	1968	43.7	52.3	21.88	18.5
15	1969	42.3	50.9	23.44	8.4
16	1970	40.7	48.9	25.00	0.8
17	1971	37.1	48.6	26.56	0.4
18	1972	27.8	47.6	28.13	0.2
19	1973	35.4	47.2	29.69	0.6
20	1974	33.5	46.7	31.25	1.7
21	1975	48.6	45.6	32.81	5.7
22	1976	31.3	45.4	34.38	6.7
23	1977	36.2	43.9	35.94	16.8
24	1978	40.4	43.7	37.50	18.5
25	1979	29.3	42.3	39.06	32.4
26	1980	36.2	40.7	40.63	53.2
27	1981	32.8	40.7	42.19	53.2
28	1982	52.3	40.4	43.75	57.7
29	1983	68.5	38.7	45.31	86.4
30	1984	38.7	38.1	46.88	97.9
31	1985	78.5	37.1	48.44	118.7
32	1986	35.2	36.7	50.00	127.6
33	1987	55.1	36.7	51.56	127.6
34	1988	36.7	36.2	53.13	139.2
35	1989	48.9	36.2	54.69	139.2

36	1990	31.1	35.6	56.25	153.7
37	1991	57.4	35.4	57.81	158.7
38	1992	47.6	35.2	59.38	163.7
39	1993	20.8	35.2	60.94	163.7
40	1994	66.9	34.6	62.50	179.5
41	1995	45.4	34.5	64.06	182.2
42	1996	35.2	34.3	65.63	187.6
43	1997	143.1	33.5	67.19	210.1
44	1998	29	33	68.75	224.9
45	1999	170.2	32.8	70.31	230.9
46	2000	34.5	32.3	71.88	246.4
47	2001	34.3	31.3	73.44	278.8
48	2002	29.8	31.1	75.00	285.5
49	2003	57.8	30.3	76.56	313.2
50	2004	40.7	29.8	78.13	331.1
51	2005	91.7	29.3	79.69	349.6
52	2006	43.9	29	81.25	360.9
53	2007	25.1	28.6	82.81	376.2
54	2008	27.7	28.2	84.38	391.9
55	2009	30.3	28.2	85.94	391.9
56	2010	38.1	28.2	87.50	391.9
57	2011	35.6	27.8	89.06	407.9
58	2012	53.5	27.7	90.63	411.9
59	2013	45.6	25.8	92.19	492.7
60	2014	81.8	25.8	93.75	492.7
61	2015	47.2	25.8	95.31	492.7
62	2016	36.7	25.1	96.88	524.2
63	2017	33	20.8	98.44	739.6
		Xsr	48.00		36051.7

Стандардна девијација	
σ_{n-1}	24.11
Коефицијент редукованог повратног периода	
Yt50	3.90
Yt100	4.60
Yt200	5.30
Редукована средина и стандардна девијација	
Yn	0.5532
σ_n	1.178
Фактор фреквенције	
K50	2.84
K100	3.44
K200	4.03

Максималне падавине одређене вероватноће појаве	
Xt50	116.56
Xt100	130.86
Xt200	145.10

Прилог 2. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Мала Крсна *LPT III* расподелом

Кишомерна станица			Мала Крсна			Број n	63
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] (Pi)↓	Xi= log Pi	(Xi-Xsr) ²	(Xi-Xsr) ³	P [%]
1	1955	32.3	170.2	2.23	0.34551	0.2030892	1.56
2	1956	53.6	143.1	2.16	0.26263	0.1345949	3.13
3	1957	74.9	91.7	1.96	0.10189	0.0325256	4.69
4	1958	25.8	81.8	1.91	0.07268	0.0195941	6.25
5	1959	25.8	78.5	1.89	0.06336	0.0159477	7.81
6	1960	28.2	74.9	1.87	0.05351	0.0123779	9.38
7	1961	25.8	68.5	1.84	0.03707	0.0071367	10.94
8	1962	28.2	66.9	1.83	0.03322	0.0060550	12.50
9	1963	28.2	57.8	1.76	0.01411	0.0016753	14.06
10	1964	34.6	57.4	1.76	0.01340	0.0015509	15.63
11	1965	46.7	55.1	1.74	0.00960	0.0009409	17.19
12	1966	28.6	53.6	1.73	0.00740	0.0006362	18.75
13	1967	50.9	53.5	1.73	0.00726	0.0006183	20.31
14	1968	43.7	52.3	1.72	0.00568	0.0004277	21.88
15	1969	42.3	50.9	1.71	0.00404	0.0002567	23.44
16	1970	40.7	48.9	1.69	0.00213	0.0000983	25.00
17	1971	37.1	48.6	1.69	0.00189	0.0000822	26.56
18	1972	27.8	47.6	1.68	0.00119	0.0000409	28.13
19	1973	35.4	47.2	1.67	0.00095	0.0000292	29.69
20	1974	33.5	46.7	1.67	0.00068	0.0000179	31.25
21	1975	48.6	45.6	1.66	0.00025	0.0000039	32.81
22	1976	31.3	45.4	1.66	0.00019	0.0000027	34.38
23	1977	36.2	43.9	1.64	0.00000	0.0000000	35.94
24	1978	40.4	43.7	1.64	0.00001	0.0000000	37.50
25	1979	29.3	42.3	1.63	0.00028	-0.0000048	39.06
26	1980	36.2	40.7	1.61	0.00113	-0.0000378	40.63
27	1981	32.8	40.7	1.61	0.00113	-0.0000378	42.19
28	1982	52.3	40.4	1.61	0.00135	-0.0000498	43.75
29	1983	68.5	38.7	1.59	0.00307	-0.0001705	45.31
30	1984	38.7	38.1	1.58	0.00387	-0.0002411	46.88
31	1985	78.5	37.1	1.57	0.00544	-0.0004017	48.44
32	1986	35.2	36.7	1.56	0.00616	-0.0004836	50.00
33	1987	55.1	36.7	1.56	0.00616	-0.0004836	51.56
34	1988	36.7	36.2	1.56	0.00713	-0.0006023	53.13

35	1989	48.9	36.2	1.56	0.00713	-0.0006023	54.69
36	1990	31.1	35.6	1.55	0.00841	-0.0007714	56.25
37	1991	57.4	35.4	1.55	0.00887	-0.0008348	57.81
38	1992	47.6	35.2	1.55	0.00933	-0.0009019	59.38
39	1993	20.8	35.2	1.55	0.00933	-0.0009019	60.94
40	1994	66.9	34.6	1.54	0.01083	-0.0011276	62.50
41	1995	45.4	34.5	1.54	0.01110	-0.0011690	64.06
42	1996	35.2	34.3	1.54	0.01164	-0.0012550	65.63
43	1997	143.1	33.5	1.53	0.01395	-0.0016479	67.19
44	1998	29	33	1.52	0.01554	-0.0019366	68.75
45	1999	170.2	32.8	1.52	0.01620	-0.0020623	70.31
46	2000	34.5	32.3	1.51	0.01794	-0.0024038	71.88
47	2001	34.3	31.3	1.50	0.02179	-0.0032166	73.44
48	2002	29.8	31.1	1.49	0.02262	-0.0034021	75.00
49	2003	57.8	30.3	1.48	0.02615	-0.0042293	76.56
50	2004	40.7	29.8	1.47	0.02854	-0.0048220	78.13
51	2005	91.7	29.3	1.47	0.03108	-0.0054790	79.69
52	2006	43.9	29	1.46	0.03268	-0.0059064	81.25
53	2007	25.1	28.6	1.46	0.03489	-0.0065177	82.81
54	2008	27.7	28.2	1.45	0.03721	-0.0071792	84.38
55	2009	30.3	28.2	1.45	0.03721	-0.0071792	85.94
56	2010	38.1	28.2	1.45	0.03721	-0.0071792	87.50
57	2011	35.6	27.8	1.44	0.03965	-0.0078943	89.06
58	2012	53.5	27.7	1.44	0.04027	-0.0080820	90.63
59	2013	45.6	25.8	1.41	0.05361	-0.0124132	92.19
60	2014	81.8	25.8	1.41	0.05361	-0.0124132	93.75
61	2015	47.2	25.8	1.41	0.05361	-0.0124132	95.31
62	2016	36.7	25.1	1.40	0.05929	-0.0144353	96.88
63	2017	33	20.8	1.32	0.10569	-0.0343589	98.44
		Σ	2639.8	90.37	1.49	0.37	

Стандардна девијација	
σ	0.1549
Коефицијент асиметрије Cs	
Cs	1.6670
Фактор фреквенције	
K50	2.803
K100	3.426
K5200	4.043
Средња вредност Xi	
Xi _{sr}	1.64
Логаритамска вредност максималних падавина	
logH ₅₀	2.077
logH ₁₀₀	2.174
logH ₂₀₀	2.269

Максималне падавине одређене вероватноће [mm]	
P _{50max}	119.48
P _{100max}	149.15
P _{200max}	185.89

Прилог 3. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Умчари
Gumbel расподелом

Кишомерна станица		Умчари		Број n	68
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] ↓	P %	(Xi-Xsr) ²
1	1949	31.5	115.4	1.45	5703.3
2	1950	24.3	92.8	2.90	2800.5
3	1951	29.9	54.5	4.35	213.7
4	1952	35.4	51.4	5.80	132.7
5	1953	31.3	50.7	7.25	117.1
6	1954	26.4	50.6	8.70	114.9
7	1955	28.9	50.2	10.14	106.5
8	1956	25.2	50.1	11.59	104.4
9	1957	21.5	48.2	13.04	69.2
10	1958	36.1	46.5	14.49	43.8
11	1959	36.1	45.7	15.94	33.9
12	1960	50.7	45.7	17.39	33.9
13	1961	33.4	45.2	18.84	28.3
14	1962	36.8	45	20.29	26.2
15	1963	29.3	44.6	21.74	22.3
16	1964	30.5	44.5	23.19	21.3
17	1965	38.9	40.8	24.64	0.8
18	1966	26.2	40.6	26.09	0.5
19	1967	54.5	40.3	27.54	0.2
20	1968	50.1	40.3	28.99	0.2
21	1969	45.7	38.9	30.43	1.0
22	1970	45.7	38.5	31.88	1.9
23	1971	38.1	38.1	33.33	3.2
24	1972	38.1	38.1	34.78	3.2
25	1973	30.4	38	36.23	3.5
26	1974	30.4	37.8	37.68	4.3
27	1975	25.7	37.2	39.13	7.2
28	1976	22.1	36.8	40.58	9.5
29	1977	46.5	36.5	42.03	11.4
30	1978	44.5	36.1	43.48	14.3
31	1979	37.2	36.1	44.93	14.3
32	1980	23.2	35.4	46.38	20.1
33	1981	40.6	34.8	47.83	25.8
34	1982	30.2	34.5	49.28	28.9

35	1983	26.5	34	50.72	34.6
36	1984	30.2	33.4	52.17	42.0
37	1985	50.6	33	53.62	47.3
38	1986	40.8	31.5	55.07	70.2
39	1987	40.3	31.3	56.52	73.6
40	1988	30.8	30.8	57.97	82.4
41	1989	40.3	30.5	59.42	88.0
42	1990	20.8	30.4	60.87	89.9
43	1991	28.4	30.4	62.32	89.9
44	1992	30.4	30.4	63.77	89.9
45	1993	18.9	30.2	65.22	93.7
46	1994	10.8	30.2	66.67	93.7
47	1995	30.2	30.2	68.12	93.7
48	1996	25.2	29.9	69.57	99.6
49	1997	33	29.3	71.01	111.9
50	1998	38.5	29.1	72.46	116.2
51	1999	92.8	28.9	73.91	120.6
52	2000	36.5	28.7	75.36	125.0
53	2001	50.2	28.4	76.81	131.8
54	2002	34.5	26.5	78.26	179.0
55	2003	51.4	26.4	79.71	181.7
56	2004	44.6	26.2	81.16	187.1
57	2005	45	25.7	82.61	201.1
58	2006	45.2	25.2	84.06	215.5
59	2007	38	25.2	85.51	215.5
60	2008	34	24.3	86.96	242.7
61	2009	29.1	24.2	88.41	245.9
62	2010	48.2	24.2	89.86	245.9
63	2011	24.2	23.2	91.30	278.2
64	2012	37.8	22.1	92.75	316.1
65	2013	28.7	21.5	94.20	337.8
66	2014	115.4	20.8	95.65	364.0
67	2015	34.8	18.9	97.10	440.2
68	2016	24.2	10.8	98.55	845.6
Xsr			39.88		11777.1

Стандардна девијација	
σ_{n-1}	13.26
Коефицијент редукованог повратног периода	
Yt50	3.90
Yt100	4.60
Yt200	5.30
Редукована средина и стандардна девијација	
Yn	0.5546

σ_n	1.183
Фактор фреквенције	
K50	2.83
K100	3.42
K200	4.01
Максималне падавине одређене вероватноће појаве	
Xt50	77.40
Xt100	85.23
Xt200	93.03

Прилог 4. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Умчари
LPT III расподелом

Кишомерна станица			Умчари			Број n	68
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] (Pi)↓	$X_i = \log P_i$	$(X_i - X_{sr})^2$	$(X_i - X_{sr})^3$	P [%]
1	1949	31.5	115.4	2.06	0.23109	0.1110858	1.45
2	1950	24.3	92.8	1.97	0.14904	0.0575372	2.90
3	1951	29.9	54.5	1.74	0.02400	0.0037170	4.35
4	1952	35.4	51.4	1.71	0.01676	0.0021703	5.80
5	1953	31.3	50.7	1.71	0.01526	0.0018844	7.25
6	1954	26.4	50.6	1.70	0.01504	0.0018454	8.70
7	1955	28.9	50.2	1.70	0.01421	0.0016941	10.14
8	1956	25.2	50.1	1.70	0.01401	0.0016575	11.59
9	1957	21.5	48.2	1.68	0.01031	0.0010474	13.04
10	1958	36.1	46.5	1.67	0.00739	0.0006352	14.49
11	1959	36.1	45.7	1.66	0.00615	0.0004823	15.94
12	1960	50.7	45.7	1.66	0.00615	0.0004823	17.39
13	1961	33.4	45.2	1.66	0.00542	0.0003994	18.84
14	1962	36.8	45	1.65	0.00514	0.0003689	20.29
15	1963	29.3	44.6	1.65	0.00460	0.0003122	21.74
16	1964	30.5	44.5	1.65	0.00447	0.0002990	23.19
17	1965	38.9	40.8	1.61	0.00085	0.0000248	24.64
18	1966	26.2	40.6	1.61	0.00073	0.0000198	26.09
19	1967	54.5	40.3	1.61	0.00057	0.0000135	27.54
20	1968	50.1	40.3	1.61	0.00057	0.0000135	28.99
21	1969	45.7	38.9	1.59	0.00007	0.0000006	30.43
22	1970	45.7	38.5	1.59	0.00002	0.0000001	31.88
23	1971	38.1	38.1	1.58	0.00000	0.0000000	33.33
24	1972	38.1	38.1	1.58	0.00000	0.0000000	34.78
25	1973	30.4	38	1.58	0.00000	0.0000000	36.23
26	1974	30.4	37.8	1.58	0.00002	-0.0000001	37.68
27	1975	25.7	37.2	1.57	0.00012	-0.0000013	39.13
28	1976	22.1	36.8	1.57	0.00024	-0.0000038	40.58
29	1977	46.5	36.5	1.56	0.00037	-0.0000071	42.03

30	1978	44.5	36.1	1.56	0.00058	-0.0000138	43.48
31	1979	37.2	36.1	1.56	0.00058	-0.0000138	44.93
32	1980	23.2	35.4	1.55	0.00106	-0.0000343	46.38
33	1981	40.6	34.8	1.54	0.00159	-0.0000636	47.83
34	1982	30.2	34.5	1.54	0.00191	-0.0000833	49.28
35	1983	26.5	34	1.53	0.00250	-0.0001251	50.72
36	1984	30.2	33.4	1.52	0.00333	-0.0001926	52.17
37	1985	50.6	33	1.52	0.00397	-0.0002498	53.62
38	1986	40.8	31.5	1.50	0.00692	-0.0005756	55.07
39	1987	40.3	31.3	1.50	0.00739	-0.0006349	56.52
40	1988	30.8	30.8	1.49	0.00864	-0.0008028	57.97
41	1989	40.3	30.5	1.48	0.00945	-0.0009181	59.42
42	1990	20.8	30.4	1.48	0.00973	-0.0009591	60.87
43	1991	28.4	30.4	1.48	0.00973	-0.0009591	62.32
44	1992	30.4	30.4	1.48	0.00973	-0.0009591	63.77
45	1993	18.9	30.2	1.48	0.01030	-0.0010452	65.22
46	1994	10.8	30.2	1.48	0.01030	-0.0010452	66.67
47	1995	30.2	30.2	1.48	0.01030	-0.0010452	68.12
48	1996	25.2	29.9	1.48	0.01120	-0.0011850	69.57
49	1997	33	29.3	1.47	0.01314	-0.0015060	71.01
50	1998	38.5	29.1	1.46	0.01383	-0.0016264	72.46
51	1999	92.8	28.9	1.46	0.01454	-0.0017538	73.91
52	2000	36.5	28.7	1.46	0.01528	-0.0018887	75.36
53	2001	50.2	28.4	1.45	0.01643	-0.0021057	76.81
54	2002	34.5	26.5	1.42	0.02504	-0.0039628	78.26
55	2003	51.4	26.4	1.42	0.02556	-0.0040875	79.71
56	2004	44.6	26.2	1.42	0.02663	-0.0043460	81.16
57	2005	45	25.7	1.41	0.02943	-0.0050494	82.61
58	2006	45.2	25.2	1.40	0.03243	-0.0058409	84.06
59	2007	38	25.2	1.40	0.03243	-0.0058409	85.51
60	2008	34	24.3	1.39	0.03837	-0.0075164	86.96
61	2009	29.1	24.2	1.38	0.03908	-0.0077245	88.41
62	2010	48.2	24.2	1.38	0.03908	-0.0077245	89.86
63	2011	24.2	23.2	1.37	0.04666	-0.0100783	91.30
64	2012	37.8	22.1	1.34	0.05622	-0.0133290	92.75
65	2013	28.7	21.5	1.33	0.06203	-0.0154483	94.20
66	2014	115.4	20.8	1.32	0.06939	-0.0182807	95.65
67	2015	34.8	18.9	1.28	0.09304	-0.0283812	97.10
68	2016	24.2	10.8	1.03	0.30038	-0.1646286	98.55
		Σ	2193.4	86.98	0.78	0.16	

Стандардна девијација	
σ	0.1076
Коефицијент асиметрије C_s	
C_s	1.9488
Фактор фреквенције	
K50	2.896
K100	3.578
K5200	4.260
Средња вредност X_i	
$X_{i_{sr}}$	1.58
Логаритамска вредност максималних падавина	
$\log H_{50}$	1.893
$\log H_{100}$	1.966
$\log H_{200}$	2.040
Максималне падавине одређене вероватноће [mm]	
P_{50max}	78.18
P_{100max}	92.58
P_{200max}	109.60

Прилог 5. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Раља
Gumbel расподелом

Кишомерна станица		Раља		Број n	74
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] ↓	P %	$(X_i - X_{sr})^2$
1	1942	46.5	95.6	1.33	2399.4
2	1943	26.5	71.6	2.67	624.2
3	1944	35.6	70.5	4.00	570.4
4	1945	44.7	64.3	5.33	312.7
5	1946	26.4	59.4	6.67	163.4
6	1947	17.2	59.2	8.00	158.3
7	1948	30.6	58.7	9.33	146.0
8	1949	29.1	58.2	10.67	134.2
9	1950	30.5	57	12.00	107.8
10	1951	38.8	56.5	13.33	97.7
11	1952	59.4	56.2	14.67	91.8
12	1953	26.4	56	16.00	88.1
13	1954	36	54.5	17.33	62.2
14	1955	58.7	54.5	18.67	62.2
15	1956	50.3	52.4	20.00	33.5
16	1957	41.1	51.2	21.33	21.0
17	1958	37.2	50.3	22.67	13.6
18	1959	38.3	49.1	24.00	6.2
19	1960	43.4	47.6	25.33	1.0
20	1961	29.1	46.9	26.67	0.1
21	1962	34.8	46.5	28.00	0.0

22	1963	32.8	46.4	29.33	0.0
23	1964	40.2	45.6	30.67	1.0
24	1965	57	45.3	32.00	1.7
25	1966	56	44.7	33.33	3.7
26	1967	54.5	44.6	34.67	4.1
27	1968	27.7	44.1	36.00	6.3
28	1969	64.3	43.4	37.33	10.3
29	1970	37.3	43.2	38.67	11.7
30	1971	38.4	42.3	40.00	18.6
31	1972	38.2	41.1	41.33	30.4
32	1973	38	40.7	42.67	35.0
33	1974	37.8	40.6	44.00	36.2
34	1975	30.5	40.4	45.33	38.6
35	1976	49.1	40.2	46.67	41.2
36	1977	44.1	39.5	48.00	50.6
37	1978	56.5	38.8	49.33	61.1
38	1979	36.5	38.6	50.67	64.3
39	1980	38	38.4	52.00	67.5
40	1981	54.5	38.3	53.33	69.2
41	1982	70.5	38.2	54.67	70.8
42	1983	32.5	38	56.00	74.2
43	1984	32.8	38	57.33	74.2
44	1985	58.2	37.8	58.67	77.7
45	1986	25.7	37.6	60.00	81.3
46	1987	59.2	37.5	61.33	83.1
47	1988	35	37.3	62.67	86.8
48	1989	33.5	37.2	64.00	88.7
49	1990	28.2	36.5	65.33	102.3
50	1991	46.4	36.3	66.67	106.4
51	1992	29.9	36	68.00	112.7
52	1993	40.4	35.6	69.33	121.4
53	1994	40.6	35.3	70.67	128.1
54	1995	42.3	35.2	72.00	130.3
55	1996	40.7	35	73.33	134.9
56	1997	38.6	34.8	74.67	139.6
57	1998	43.2	33.5	76.00	172.0
58	1999	71.6	32.8	77.33	190.9
59	2000	19.5	32.8	78.67	190.9
60	2001	45.6	32.5	80.00	199.3
61	2002	35.3	30.6	81.33	256.5
62	2003	46.9	30.5	82.67	259.7
63	2004	44.6	30.5	84.00	259.7
64	2005	36.3	29.9	85.33	279.4
65	2006	37.6	29.1	86.67	306.8
66	2007	35.2	29.1	88.00	306.8
67	2008	37.5	28.2	89.33	339.2

68	2009	39.5	27.7	90.67	357.8
69	2010	56.2	26.5	92.00	404.7
70	2011	45.3	26.4	93.33	408.7
71	2012	47.6	26.4	94.67	408.7
72	2013	52.4	25.7	96.00	437.5
73	2014	95.6	19.5	97.33	735.3
74	2015	51.2	17.2	98.67	865.3
		Xsr	46.62		7118.4

Стандардна девијација	
σ_{n-1}	9.87
Коефицијент редукованог повратног периода	
Yt50	3.90
Yt100	4.60
Yt200	5.30
Редукована средина и стандардна девијација	
Yn	0.5558
σ_n	1.189
Фактор фреквенције	
K50	2.81
K100	3.40
K200	3.99
Максималне падавине одређене вероватноће појаве	
Xt50	74.41
Xt100	80.21
Xt200	85.99

Прилог 6. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Раља *LPT* III расподелом

Кишомерна станица			Раља			Број n	74
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] (Pi)↓	$X_i = \log P_i$	$(X_i - X_{sr})^2$	$(X_i - X_{sr})^3$	P [%]
1	1942	46.5	95.6	1.98	0.10417	0.0336221	1.33
2	1943	26.5	71.6	1.85	0.03889	0.0076700	2.67
3	1944	35.6	70.5	1.85	0.03629	0.0069119	4.00
4	1945	44.7	64.3	1.81	0.02265	0.0034095	5.33
5	1946	26.4	59.4	1.77	0.01348	0.0015643	6.67
6	1947	17.2	59.2	1.77	0.01314	0.0015059	8.00
7	1948	30.6	58.7	1.77	0.01231	0.0013653	9.33
8	1949	29.1	58.2	1.76	0.01150	0.0012327	10.67
9	1950	30.5	57	1.76	0.00964	0.0009462	12.00
10	1951	38.8	56.5	1.75	0.00890	0.0008398	13.33
11	1952	59.4	56.2	1.75	0.00847	0.0007796	14.67
12	1953	26.4	56	1.75	0.00819	0.0007409	16.00
13	1954	36	54.5	1.74	0.00619	0.0004873	17.33

14	1955	58.7	54.5	1.74	0.00619	0.0004873	18.67
15	1956	50.3	52.4	1.72	0.00380	0.0002341	20.00
16	1957	41.1	51.2	1.71	0.00266	0.0001371	21.33
17	1958	37.2	50.3	1.70	0.00192	0.0000844	22.67
18	1959	38.3	49.1	1.69	0.00111	0.0000372	24.00
19	1960	43.4	47.6	1.68	0.00040	0.0000079	25.33
20	1961	29.1	46.9	1.67	0.00018	0.0000024	26.67
21	1962	34.8	46.5	1.67	0.00010	0.0000009	28.00
22	1963	32.8	46.4	1.67	0.00008	0.0000007	29.33
23	1964	40.2	45.6	1.66	0.00000	0.0000000	30.67
24	1965	57	45.3	1.66	0.00000	0.0000000	32.00
25	1966	56	44.7	1.65	0.00005	-0.0000004	33.33
26	1967	54.5	44.6	1.65	0.00007	-0.0000006	34.67
27	1968	27.7	44.1	1.64	0.00018	-0.0000023	36.00
28	1969	64.3	43.4	1.64	0.00041	-0.0000083	37.33
29	1970	37.3	43.2	1.64	0.00049	-0.0000110	38.67
30	1971	38.4	42.3	1.63	0.00098	-0.0000308	40.00
31	1972	38.2	41.1	1.61	0.00192	-0.0000844	41.33
32	1973	38	40.7	1.61	0.00231	-0.0001113	42.67
33	1974	37.8	40.6	1.61	0.00242	-0.0001189	44.00
34	1975	30.5	40.4	1.61	0.00263	-0.0001352	45.33
35	1976	49.1	40.2	1.60	0.00286	-0.0001529	46.67
36	1977	44.1	39.5	1.60	0.00373	-0.0002281	48.00
37	1978	56.5	38.8	1.59	0.00474	-0.0003267	49.33
38	1979	36.5	38.6	1.59	0.00506	-0.0003596	50.67
39	1980	38	38.4	1.58	0.00538	-0.0003950	52.00
40	1981	54.5	38.3	1.58	0.00555	-0.0004135	53.33
41	1982	70.5	38.2	1.58	0.00572	-0.0004327	54.67
42	1983	32.5	38	1.58	0.00607	-0.0004731	56.00
43	1984	32.8	38	1.58	0.00607	-0.0004731	57.33
44	1985	58.2	37.8	1.58	0.00643	-0.0005160	58.67
45	1986	25.7	37.6	1.58	0.00681	-0.0005618	60.00
46	1987	59.2	37.5	1.57	0.00700	-0.0005858	61.33
47	1988	35	37.3	1.57	0.00739	-0.0006359	62.67
48	1989	33.5	37.2	1.57	0.00760	-0.0006621	64.00
49	1990	28.2	36.5	1.56	0.00910	-0.0008685	65.33
50	1991	46.4	36.3	1.56	0.00956	-0.0009353	66.67
51	1992	29.9	36	1.56	0.01028	-0.0010426	68.00
52	1993	40.4	35.6	1.55	0.01129	-0.0011995	69.33
53	1994	40.6	35.3	1.55	0.01208	-0.0013283	70.67
54	1995	42.3	35.2	1.55	0.01236	-0.0013735	72.00
55	1996	40.7	35	1.54	0.01291	-0.0014673	73.33
56	1997	38.6	34.8	1.54	0.01348	-0.0015658	74.67
57	1998	43.2	33.5	1.53	0.01760	-0.0023345	76.00
58	1999	71.6	32.8	1.52	0.02012	-0.0028529	77.33

59	2000	19.5	32.8	1.52	0.02012	-0.0028529	78.67
60	2001	45.6	32.5	1.51	0.02126	-0.0031005	80.00
61	2002	35.3	30.6	1.49	0.02958	-0.0050867	81.33
62	2003	46.9	30.5	1.48	0.03007	-0.0052139	82.67
63	2004	44.6	30.5	1.48	0.03007	-0.0052139	84.00
64	2005	36.3	29.9	1.48	0.03314	-0.0060316	85.33
65	2006	37.6	29.1	1.46	0.03756	-0.0072798	86.67
66	2007	35.2	29.1	1.46	0.03756	-0.0072798	88.00
67	2008	37.5	28.2	1.45	0.04304	-0.0089280	89.33
68	2009	39.5	27.7	1.44	0.04632	-0.0099692	90.67
69	2010	56.2	26.5	1.42	0.05497	-0.0128879	92.00
70	2011	45.3	26.4	1.42	0.05574	-0.0131606	93.33
71	2012	47.6	26.4	1.42	0.05574	-0.0131606	94.67
72	2013	52.4	25.7	1.41	0.06139	-0.0152103	96.00
73	2014	95.6	19.5	1.29	0.13518	-0.0497009	97.33
74	2015	51.2	17.2	1.24	0.17823	-0.0752440	98.67
		Σ	2563.9	91.17	0.48	0.05	

Стандардна девијација	
σ	0.0811
Коефицијент асиметрије Cs	
Cs	1.2456
Фактор фреквенције	
K50	2.644
K100	3.177
K5200	3.699
Средња вредност Xi	
Xi _{sr}	1.66
Логаритамска вредност максималних падавина	
logH ₅₀	1.872
logH ₁₀₀	1.915
logH ₂₀₀	1.958
Максималне падавине одређене вероватноће [mm]	
P _{50max}	74.48
P _{100max}	82.28
P _{200max}	90.70

Прилог 7. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Мали Пожаревац *Gumbel* расподелом

Кишомерна станица		Мали Пожаревац		Број n	58
РБ	Година	HD max [mm]	HD max [mm] ↓	P %	(Xi - X _{sr}) ²
1	1958	40	116.9	1.69	5655.9
2	1959	26.6	95.1	3.39	2852.1
3	1960	31	72.4	5.08	942.8

4	1961	35	64.8	6.78	533.9
5	1962	24.9	62	8.47	412.3
6	1963	24.2	62	10.17	412.3
7	1964	39.5	61	11.86	372.7
8	1965	62	57.1	13.56	237.3
9	1966	27.2	56.1	15.25	207.5
10	1967	56.1	50	16.95	69.0
11	1968	37.3	49	18.64	53.4
12	1969	57.1	49	20.34	53.4
13	1970	38.1	48	22.03	39.8
14	1971	95.1	47.9	23.73	38.5
15	1972	30	46.5	25.42	23.1
16	1973	29.3	46.4	27.12	22.1
17	1974	46.4	44.5	28.81	7.9
18	1975	32	44.3	30.51	6.8
19	1976	30	43.5	32.20	3.3
20	1977	40	40.5	33.90	1.4
21	1978	31	40	35.59	2.9
22	1979	26.5	40	37.29	2.9
23	1980	21.5	39.5	38.98	4.8
24	1981	44.3	38.1	40.68	12.9
25	1982	62	37.3	42.37	19.3
26	1983	26.2	37	44.07	22.0
27	1984	26.5	36.5	45.76	27.0
28	1985	61	36.1	47.46	31.3
29	1986	44.5	35.5	49.15	38.4
30	1987	64.8	35	50.85	44.8
31	1988	49	34	52.54	59.2
32	1989	50	34	54.24	59.2
33	1990	31.4	34	55.93	59.2
34	1991	46.5	33	57.63	75.6
35	1992	32	32.8	59.32	79.1
36	1993	27	32.5	61.02	84.5
37	1994	48	32	62.71	94.0
38	1995	37	32	64.41	94.0
39	1996	34	32	66.10	94.0
40	1997	49	32	67.80	94.0
41	1998	36.5	31.4	69.49	106.0
42	1999	72.4	31	71.19	114.4
43	2000	33	31	72.88	114.4
44	2001	34	30.5	74.58	125.3
45	2002	35.5	30	76.27	136.8
46	2003	30	30	77.97	136.8
47	2004	40.5	30	79.66	136.8
48	2005	30.5	29.7	81.36	143.9
49	2006	32.5	29.3	83.05	153.6

50	2007	32	27.2	84.75	210.1
51	2008	32	27	86.44	215.9
52	2009	32.8	26.6	88.14	227.8
53	2010	47.9	26.5	89.83	230.9
54	2011	29.7	26.5	91.53	230.9
55	2012	36.1	26.2	93.22	240.1
56	2013	34	24.9	94.92	282.1
57	2014	116.9	24.2	96.61	306.1
58	2015	43.5	21.5	98.31	407.8
		X _{sr}	41.69		15468.0

Стандардна девијација	
σ_{n-1}	16.47
Коефицијент редукованог повратног периода	
Yt50	3.90
Yt100	4.60
Yt200	5.30
Редукована средина и стандардна девијација	
Y_n	0.552
σ_n	1.172
Фактор фреквенције	
K50	2.86
K100	3.45
K200	4.05
Максималне падавине одређене вероватноће појаве	
Xt50	88.79
Xt100	98.61
Xt200	108.39

Прилог 8. Прорачун максималних падавина одређене вероватноће појаве на падавинској станици Мали Пожаревац *LPT III* расподелом

Кишомерна станица			Мали Пожаревац			Број n	58
RB	Година	HD max [mm]	HD max [mm] (P _i)↓	X _i = log P _i	(X _i -X _{sr}) ²	(X _i -X _{sr}) ³	P [%]
1	1958	40	116.9	2.07	0.22405	0.1060516	1.69
2	1959	26.6	95.1	1.98	0.14723	0.0564928	3.39
3	1960	31	72.4	1.86	0.07036	0.0186651	5.08
4	1961	35	64.8	1.81	0.04713	0.0102324	6.78
5	1962	24.9	62	1.79	0.03917	0.0077526	8.47
6	1963	24.2	62	1.79	0.03917	0.0077526	10.17
7	1964	39.5	61	1.79	0.03643	0.0069520	11.86
8	1965	62	57.1	1.76	0.02630	0.0042642	13.56
9	1966	27.2	56.1	1.75	0.02387	0.0036871	15.25
10	1967	56.1	50	1.70	0.01092	0.0011410	16.95
11	1968	37.3	49	1.69	0.00916	0.0008770	18.64

12	1969	57.1	49	1.69	0.00916	0.0008770	20.34
13	1970	38.1	48	1.68	0.00753	0.0006532	22.03
14	1971	95.1	47.9	1.68	0.00737	0.0006330	23.73
15	1972	30	46.5	1.67	0.00533	0.0003887	25.42
16	1973	29.3	46.4	1.67	0.00519	0.0003739	27.12
17	1974	46.4	44.5	1.65	0.00290	0.0001565	28.81
18	1975	32	44.3	1.65	0.00270	0.0001400	30.51
19	1976	30	43.5	1.64	0.00194	0.0000853	32.20
20	1977	40	40.5	1.61	0.00017	0.0000022	33.90
21	1978	31	40	1.60	0.00006	0.0000004	35.59
22	1979	26.5	40	1.60	0.00006	0.0000004	37.29
23	1980	21.5	39.5	1.60	0.00000	0.0000000	38.98
24	1981	44.3	38.1	1.58	0.00018	-0.0000025	40.68
25	1982	62	37.3	1.57	0.00052	-0.0000118	42.37
26	1983	26.2	37	1.57	0.00069	-0.0000181	44.07
27	1984	26.5	36.5	1.56	0.00104	-0.0000333	45.76
28	1985	61	36.1	1.56	0.00137	-0.0000505	47.46
29	1986	44.5	35.5	1.55	0.00196	-0.0000866	49.15
30	1987	64.8	35	1.54	0.00254	-0.0001281	50.85
31	1988	49	34	1.53	0.00397	-0.0002500	52.54
32	1989	50	34	1.53	0.00397	-0.0002500	54.24
33	1990	31.4	34	1.53	0.00397	-0.0002500	55.93
34	1991	46.5	33	1.52	0.00577	-0.0004383	57.63
35	1992	32	32.8	1.52	0.00618	-0.0004856	59.32
36	1993	27	32.5	1.51	0.00682	-0.0005634	61.02
37	1994	48	32	1.51	0.00798	-0.0007127	62.71
38	1995	37	32	1.51	0.00798	-0.0007127	64.41
39	1996	34	32	1.51	0.00798	-0.0007127	66.10
40	1997	49	32	1.51	0.00798	-0.0007127	67.80
41	1998	36.5	31.4	1.50	0.00952	-0.0009282	69.49
42	1999	72.4	31	1.49	0.01063	-0.0010963	71.19
43	2000	33	31	1.49	0.01063	-0.0010963	72.88
44	2001	34	30.5	1.48	0.01214	-0.0013374	74.58
45	2002	35.5	30	1.48	0.01377	-0.0016162	76.27
46	2003	30	30	1.48	0.01377	-0.0016162	77.97
47	2004	40.5	30	1.48	0.01377	-0.0016162	79.66
48	2005	30.5	29.7	1.47	0.01482	-0.0018033	81.36
49	2006	32.5	29.3	1.47	0.01628	-0.0020779	83.05
50	2007	32	27.2	1.43	0.02557	-0.0040888	84.75
51	2008	32	27	1.43	0.02661	-0.0043396	86.44
52	2009	32.8	26.6	1.42	0.02876	-0.0048779	88.14
53	2010	47.9	26.5	1.42	0.02932	-0.0050204	89.83
54	2011	29.7	26.5	1.42	0.02932	-0.0050204	91.53
55	2012	36.1	26.2	1.42	0.03104	-0.0054680	93.22
56	2013	34	24.9	1.40	0.03931	-0.0077949	94.92

57	2014	116.9	24.2	1.38	0.04438	-0.0093486	96.61
58	2015	43.5	21.5	1.33	0.06866	-0.0179923	98.31
		Σ	2293.2	87.70	1.07	0.18	

Стандардна девијација	
σ	0.1372
Коефицијент асиметрије Cs	
Cs	1.2646
Фактор фреквенције	
K50	2.652
K100	3.189
K5200	3.715
Средња вредност Xi	
Xi_{sr}	1.59
Логаритамска вредност максималних падавина	
$\log H_{50}$	1.958
$\log H_{100}$	2.032
$\log H_{200}$	2.104
Максималне падавине одређене вероватноће [mm]	
P_{50max}	90.85
P_{100max}	107.65
P_{200max}	127.12

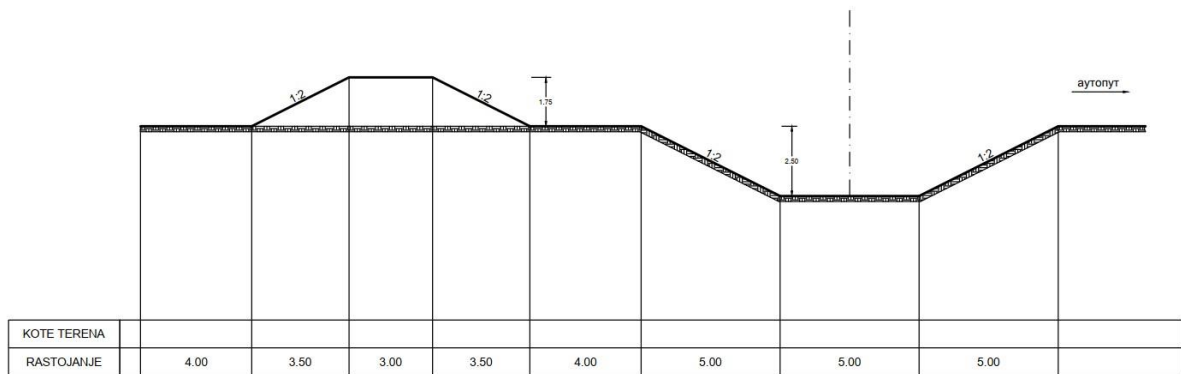
Прилог 9. Прорачун максималног протицаја применом поступка оптимизације (надпросечни услови влажности)

Tk	Tk	tp	Tp	K	Tr	Tb	Pbr	d	Pe	qmax	Qmax
h	min	h	h		h	h	mm		mm	$\frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{l}/\text{mm}^2}$	m^3/s^{-1}
0.2	12	14.054	14.154	1.9	26.892	41.046	36.087	28.22	15.80	3.989	63.021
0.3	18	14.054	14.204	1.9	26.987	41.191	41.289	28.22	19.89	3.975	79.083
0.4	24	14.054	14.254	1.9	27.082	41.336	44.928	28.22	22.86	3.961	90.556
0.5	30	14.054	14.304	1.9	27.177	41.481	47.726	28.22	25.19	3.947	99.431
0.6	36	14.054	14.354	1.9	27.272	41.626	50.003	28.22	27.11	3.934	106.642
0.7	42	14.054	14.404	1.9	27.367	41.771	51.926	28.22	28.75	3.920	112.699
0.8	48	14.054	14.454	1.9	27.462	41.916	53.593	28.22	30.18	3.906	117.909
0.9	54	14.054	14.504	1.9	27.557	42.061	55.067	28.22	31.46	3.893	122.469
1	60	14.054	14.554	1.9	27.652	42.206	56.391	28.22	32.61	3.880	126.516
1.2	72	14.054	14.654	1.9	27.842	42.496	58.694	28.22	34.63	3.853	133.428
1.4	84	14.054	14.754	1.9	28.032	42.786	60.660	28.22	36.36	3.827	139.161
1.6	96	14.054	14.854	1.9	28.222	43.076	62.380	28.22	37.89	3.801	144.026
1.8	108	14.054	14.954	1.9	28.412	43.366	63.912	28.22	39.25	3.776	148.221
2	120	14.054	15.054	1.9	28.602	43.656	65.296	28.22	40.49	3.751	151.883
2.2	132	14.054	15.154	1.9	28.792	43.946	66.560	28.22	41.63	3.726	155.112
2.4	144	14.054	15.254	1.9	28.982	44.236	67.725	28.22	42.68	3.702	157.979
2.6	156	14.054	15.354	1.9	29.172	44.526	68.806	28.22	43.66	3.677	160.542
2.8	168	14.054	15.454	1.9	29.362	44.816	69.816	28.22	44.57	3.654	162.844
3	180	14.054	15.554	1.9	29.552	45.106	70.763	28.22	45.43	3.630	164.920
3.5	210	14.054	15.804	1.9	30.027	45.831	72.910	28.22	47.38	3.573	169.294
4	240	14.054	16.054	1.9	30.502	46.556	74.803	28.22	49.12	3.517	172.747
5	300	14.054	16.554	1.9	31.452	48.006	78.044	28.22	52.09	3.411	177.685
6	360	14.054	17.054	1.9	32.402	49.456	80.769	28.22	54.61	3.311	180.807
7	420	14.054	17.554	1.9	33.352	50.906	83.131	28.22	56.80	3.217	182.700
8	480	14.054	18.054	1.9	34.302	52.356	85.222	28.22	58.74	3.128	183.723
9	540	14.054	18.554	1.9	35.252	53.806	87.103	28.22	60.50	3.043	184.110
10	600	14.054	19.054	1.9	36.202	55.256	88.815	28.22	62.10	2.963	184.022
11	660	14.054	19.554	1.9	37.152	56.706	90.390	28.22	63.57	2.888	183.574
12	720	14.054	20.054	1.9	38.102	58.156	91.848	28.22	64.94	2.816	182.851
13	780	14.054	20.554	1.9	39.052	59.606	93.208	28.22	66.22	2.747	181.914
14	840	14.054	21.054	1.9	40.002	61.056	94.483	28.22	67.42	2.682	180.813
15	900	14.054	21.554	1.9	40.952	62.506	95.684	28.22	68.55	2.620	179.584
16	960	14.054	22.054	1.9	41.902	63.956	96.821	28.22	69.63	2.560	178.258
17	1020	14.054	22.554	1.9	42.852	65.406	97.899	28.22	70.64	2.503	176.857
18	1080	14.054	23.054	1.9	43.802	66.856	98.927	28.22	71.62	2.449	175.400
19	1140	14.054	23.554	1.9	44.752	68.306	99.907	28.22	72.54	2.397	173.902
20	1200	14.054	24.054	1.9	45.702	69.756	100.846	28.22	73.43	2.347	172.375
21	1260	14.054	24.554	1.9	46.652	71.206	101.747	28.22	74.29	2.300	170.828
22	1320	14.054	25.054	1.9	47.602	72.656	102.612	28.22	75.11	2.254	169.270

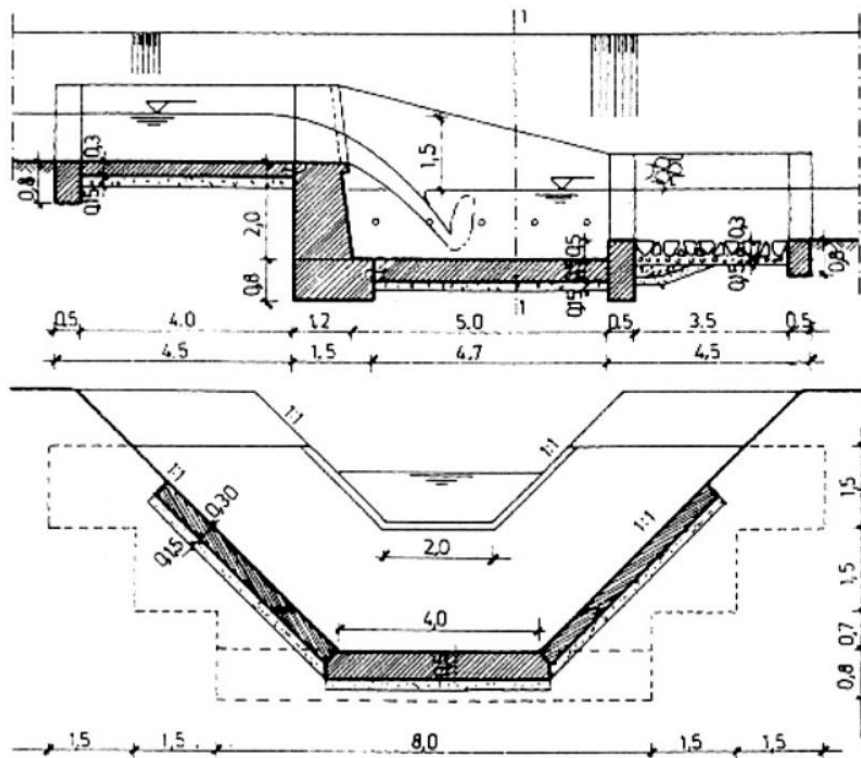
23	1380	14.054	25.554	1.9	48.552	74.106	103.446	28.22	75.90	2.210	167.707
24	1440	14.054	26.054	1.9	49.502	75.556	104.250	28.22	76.66	2.167	166.144
25	1500	14.054	26.554	1.9	50.452	77.006	105.027	28.22	77.40	2.126	164.586

Прилог 10. Прилог 9: Типски попречни профил регулисаног дела реке Раље

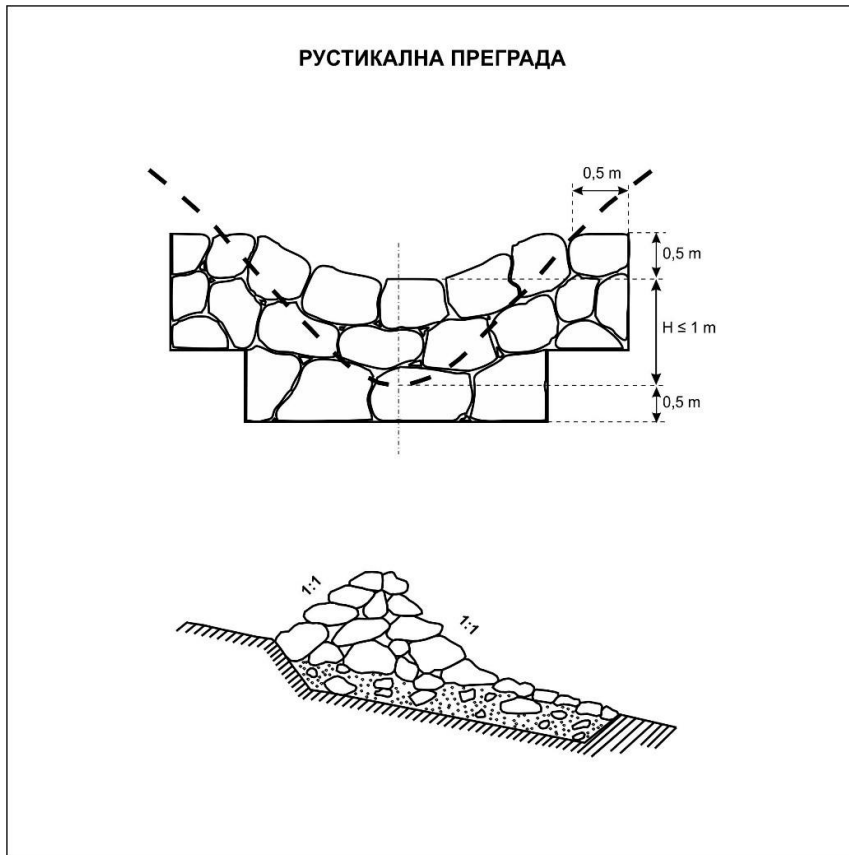
Карактеристичан попречни профил регулисаног корита Раље
R = 1:150



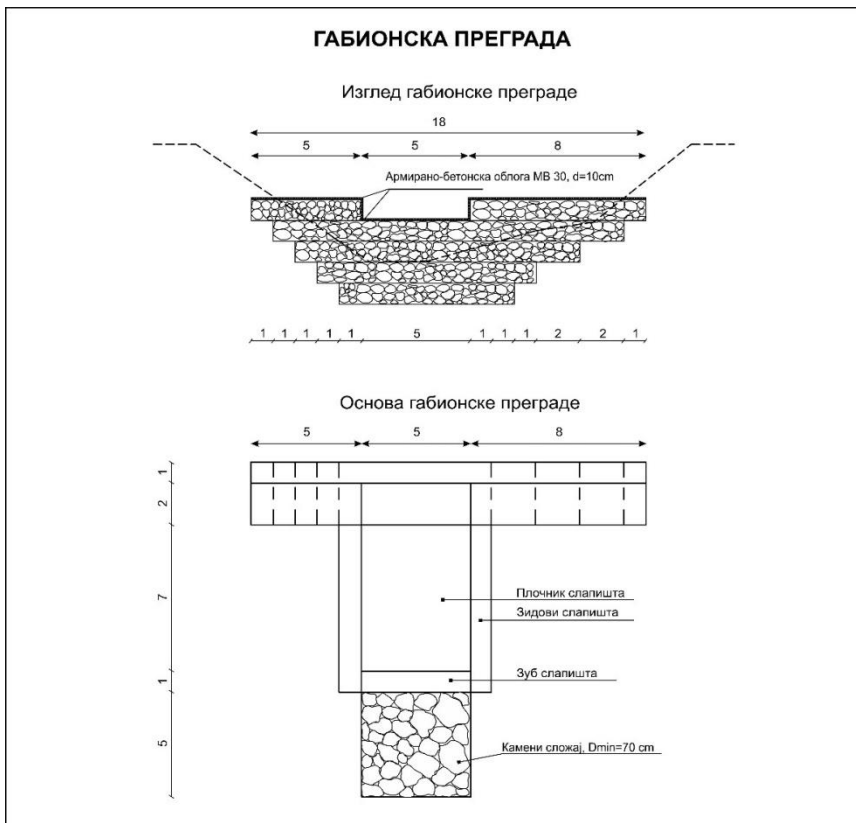
Прилог 11. Типска каскада



Прилог 12. Типска рустикална преграда



Прилог 13. Типска преграда од габиона



Прилог 14. Типска преграда од бетона

