

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Тијана З. Вулевић

**ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ У
ФУНКЦИЈИ КОНЗЕРВАЦИЈЕ ЗЕМЉИШНИХ И
ВОДНИХ РЕСУРСА БРДСКО-ПЛАНИНСКИХ
ПОДРУЧЈА ЦЕНТРАЛНЕ СРБИЈЕ**

докторска дисертација

Београд, 2017.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF FORESTRY

Tijana Z. Vulević

**MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN A
FUNCTION OF SOIL AND WATER RESOURCES
CONSERVATION IN HILLY- MOUNTAINOUS
AREAS OF CENTRAL SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2017

Ментор:

др **Нада Драговић**, редовни професор

Универзитет у Београду Шумарски факултет

Чланови комисије:

др **Ратко Ристић**, редовни професор

Универзитет у Београду Шумарски факултет

др **Миодраг Златић**, редовни професор

Универзитет у Београду Шумарски факултет

др **Мирјана Тодосијевић**, доцент

Универзитет у Београду Шумарски факултет

др **Милија Сукновић**, редовни професор

Универзитет у Београду Факултет организационих наука

Датум одбране:

КЉУЧНЕ ДОКУМЕНТАЦИОНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

Редни број (РБ):	
Идентификациони број (ИБР):	
Тип документа (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани документ
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	Тијана Вулевић, дипл. инжењер заштите од ерозије и уређење бујица
Ментор (МН):	др Нада Драговић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет
Наслов рада (НР):	Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије
Језик публикације (ЈП):	Српски / ћирилица
Земља публикације (ЗП):	Република Србија
Географско подручје (УГП):	Србија
Година (ГО):	2017.
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11 030 Београд, Р. Србија, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада:	8 поглавља, 273 страница, 205 литературна навода, 29 илустрација, 187 табела
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Научна дисциплина (ДИС):	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Предметна одредница/кључне речи (ПО)	Вишекритеријумска анализа, ерозија земљишта, RUSLE, бујичне поплаве, морфометрија, преграда, оптимизација, начин коришћења земљишта, терасе
УДК:	
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема
Извод (ИЗ):	Значајан део Србије чине брдско-планинска подручја која представљају повољно тло за развој ерозионих процеса и појаву бујичних поплава. Заштита од наведених видова деградације се може постићи избором адекватних радова и мера које је потребно применити на најугроженијим подсливовима и деловима слива, што је у раду приказано за слив Топчидерске реке, слив реке Топлице и слив реке Расине. Методе вишекритеријумске анализе имају широку примену у овој области, нарочито методе WSM, АНР, ELECTRE II, PROMETHEE II, које су коришћене за одређивање тежина критеријума и рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом (RUSLE фактори) и бујичним поплавама (морфометријски критеријуми). Извршена је идентификација најугроженијих подсливова, као и избор најбоље комбинације преграда као грађевинско техничке мере која се планира у кориту бујичних водотокова. Методе вишекритеријумске оптимизације су примењене за оптимизацију начина коришћења земљишта и утврђивање површина за подизање тераса као конзервационе мере. Предложен је модел интегралног уређења слива дат у виду хијерархије АНР методе, који омогућује избор конзервационих радова и мера анализом више критеријума и укључењем свих заинтересованих страна (доносилаца одлука).
Датум прихватања теме (ДП):	Одлука Наставно-научног већа Шумарског факултета од 28.11.2012. год. Одлука Већа научних области биотехничких наука од 06.12.2012. год.
Датум одбране (ДО):	
Чланови комисије (КО):	др Нада Драговић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Ратко Ристић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Миодраг Златић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Мирјана Годосијевић, доцент Универзитет у Београду Шумарски факултет др Милија Сукновић, редовни професор Универзитет у Београду Факултет организационих наука

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number (ANO):	
Identification number (INO):	
Document type (DT):	Monograph documentation
Type of record (TR):	Textual printed document
Contains code (CC):	Doctoral dissertation
Author (AU):	BSc Tijana Vulević
Mentor (MN):	PhD Nada Dragović, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry
Title (TI):	Multi-criteria decision making in a function of soil and water resources conservation in hilly- mountainous areas of central Serbia
Language of text (LT):	Serbian / Cyrillic alphabet
Country of publication (CP):	The Republic of Serbia
Locality of publication (LP):	Serbia
Publication year (PY):	2017
Publisher (PU):	Author's reprint
Publication place (PP):	11 030 Belgrade, R. Serbia, Kneza Višeslava 1
Physical description (PD):	8 chapters, 273 pages, 205 citations, 29 illustrations, 187 tables
Scientific field (SF):	Biotechnological sciences
Scientific discipline (SD):	Erosion and soil and water conservation
Subject/Key words (CX)	Multi-criteria analysis, soil erosion, RUSLE, torrential floods, morphometry, check dams, optimization, land use, terraces
UC:	
Holding Data (HD):	Library of Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade, R. Serbia
None (N):	None
Abstract (AB):	A significant part of Serbia consists of hilly and mountainous areas that present a suitable ground for the development of erosion processes and the occurrence of torrential floods. The protection of the above forms of degradation can be achieved by selecting appropriate works and measures that should be applied to the most vulnerable sub-watersheds and their parts, which is performed for Topčiderska river, Toplica river and Rasina river Watershed. Multi-criteria analysis methods have widely been used in this field, especially WSM, AHP, ELECTRE II, PROMETHEE II, which have been used for determining the criteria weights, and ranking sub-watersheds by the threat to soil erosion (RUSLE factors) and torrential floods (morphometric criteria). The identification of the most vulnerable sub-watersheds has been done, as well as a selection of the best combination of check dams as construction-technical measures planned in the river bed of torrential streams. Multi-criteria optimization methods have been applied to optimize land use structure and to determine the areas for raising the terraces as a conservation measure. A model of integrated watershed planning has been proposed in the form of a hierarchy of AHP method, which enables the selection of conservation works and measures by analyzing of multiple criteria and involving all stakeholders (decision makers).
Accepted by Scientific Board on (ACB):	Decision of Academic-Scientific Council of Faculty of Forestry from 28.11.2012. Decision of Professional Board of Biotechnical Sciences, from 06.12.2012.
Defended on (DE):	
Thesis Defend Board (DB):	PhD Nada Dragović, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Ratko Ristić, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Miodrag Zlatić, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Mirjana Todosijević, assistant professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Milija Suknović, full professor University of Belgrade Faculty of Organisational Sciences

Захвалница

Велику захвалност за израду ове докторске дисертације дугујем својој менторки, професорки др Нади Драговић, која ми је пружила прилику да радим оно што волим. Хвала јој на указаном поверењу, стрпљењу, свим разговорима и помоћи у току израде ове дисертације.

Захваљујем члановима комисије, професорима др Ратко Ристићу, др Миодрагу Златићу и др Мирјани Тодосијевић на корисним сугестијама које су ми помогле током израде ове дисертације. Професору др Милији Сукновићу захваљујем на сарадњи и указаном поверењу.

Посебно захваљујем професору др Станимиру Костадинову на несебичној помоћи, на пренетом знању из области уређења бујичних токова изградњом преграда, и теренима које смо прошли.

Захваљујем колеги др Борису Радићу који ми је доста помогао око просторних анализа, који ме је увео у рад са ГИС-ом и охрабрио да не занемарим значај просторног аспекта у доношењу одлука. Такође, захваљујем професорки др Снежани Белановић Симић на консултацијама које су допринеле бољем квалитету рада.

Захваљујем колегама из водопривредних организација ДВП "Западна Морава" из Краљева, ВПД "Ерозија" из Ниша и "Ерозија" а.д. из Ваљева на достављеним пројектима који су коришћени у овој дисертацији, као и колегама из Института за земљиште и Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије на сарадњи.

Захваљујем колеги МsC Николи Живановићу на помоћи око прикупљања података на терену, као и колегама др Весни Николић, МsC Катарини Лазаревић, МsC Ивану Малушевићу, МsC Сениши Половини, МsC Наталији Момировић и дипл. инж. Вукашину Милчановићу на подршци и помоћи у прикупљању улаза за израду карата и исправкама текста дисертације.

Посебну захвалност дугујем својим родитељима, Вери и Зорану Андријанић, сестрама Наташи и Бранки, као и Славици и Бору Вулевић, за сву подршку и помоћ коју су ми пружили.

Највећу захвалност дугујем својој породици, Бојану и Софији.

Тијана

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ У ФУНКЦИЈИ КОНЗЕРВАЦИЈЕ ЗЕМЉИШНИХ И ВОДНИХ РЕСУРСА БРДСКО- ПЛАНИНСКИХ ПОДРУЧЈА ЦЕНТРАЛНЕ СРБИЈЕ

Сажетак

Примена метода вишекритеријумског одлучивања у области заштите од ерозије и бујица, са циљем конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије представља предмет ове дисертације.

Географско подручје истраживања представљају слив Топчидерске реке, слив реке Топлице и слив реке Расине, који су класификовани у систем подсливова. Вредности критеријума за процену ерозије земљишта: начина коришћења земљишта, еродибилности земљишта, кишног фактора и топографског фактора (RUSLE метода), као и вредности 10 морфометријских параметара коришћених за процену опасности од бујичних поплава (површина подслива, релативни пад тока, средњи пад подслива, коефицијент ерозионе енергије рељефа, геоморфолошко-ерозиони коефицијент итд.) су утврђени анализом одговарајућих подлога уз примену GIS-а.

У раду су примењене методе вишекритеријумске анализе: АНР, WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II. Помоћу ових метода су одређене тежине критеријума и рангирани подсливови према угрожености ерозијом и према угрожености од бујичних поплава. Издвојени су подсливови првог ранга, где је потребно применити конзервационе мере и радове.

Поменуте методе вишекритеријумске анализе су примењене и за: избор бујичних сливова где ће се градити преграде (као технички радови у кориту бујичних водотокова), избор најприхватљивије комбинације преграда, као и профила за њихову изградњу. На терену су регистрована оштећења преграда и предложена је формула за приоритизацију њиховог санирања.

Методе вишекритеријумске оптимизације (метода ограничења и метода тежинских коефицијената) су примењене за избор оптималне структуре начина коришћења земљишта, као и оптимизацију подизања тераса као конзервационе мере. Предложен је модел интегралног уређења слива, где би примена метода вишекритеријумске анализе омогућила избор најприхватљивије комбинације мера

и радова за редукацију/превенцију ерозије и бујица.

Кључне речи: вишекритеријумска анализа, ерозија земљишта, RUSLE, бујичне поплаве, морфометрија, преграде, оптимизација, начин коришћења земљишта, терасе

MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING IN A FUNCTION OF SOIL AND WATER RESOURCES CONSERVATION IN HILLY- MOUNTAINOUS AREAS OF CENTRAL SERBIA

Summary

Application of multi-criteria decision-making in the field of soil erosion protection and torrents control, with the aim of conservation of soil and water resources in hilly-mountainous areas of central Serbia, represents the subject of the thesis. The geographical area of research includes: Topciderska River, Toplica River and Rasina River Watershed, which are classified in the sub-watershed system. The values of criteria for estimating soil erosion are: land use, soil erodibility, rainfall erosivity factor and topographical factor (RUSLE method), as well as the value of 10 morphometric parameters used to estimate the risk of torrential floods (sub-watershed area, relative slope of the river bed, the mean sub-watershed slope, the coefficient of erosion energy of relief, geomorphological-erosion coefficient) are established by using relevant maps and GIS technique.

In the paper, there have been applied various methods of multi-criteria analysis, such as: AHP, WSM, ELECTRE II PROMETHEE II. Using these methods, criteria weights are determined, and sub-watershed ranking is performed according to the vulnerability to erosion and torrential flooding. The first order sub-watershed, represents the area where implementation of conservation measures should be urgently performed.

The above-mentioned multi-criteria analysis methods have been applied for: selection of watersheds for check dam construction (such a technical work in the bed of torrential streams), then, a selection of the most appropriate combination of check dams, as well as profiles for their construction. In the field are registered damage of check dam, and based on this, the formula for prioritizing the rehabilitation of check dams is proposed.

Multi-criteria optimization methods (Constrained method and Method of weight coefficients) have been used for the selection of the optimal structure of land use in the sub-watershed, as well as the optimization of terrace construction as a conservation measure. A model of integrated watershed management has been proposed, where the application of the multi-criteria analysis method, would provide a selection of the most appropriate combination of measures and works for the reduction / prevention of

erosion and torrents.

Keywords: multi-criteria analysis, soil erosion, RUSLE, torrential floods, morphometry, check dams, optimization, land use, terraces

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. Предмет истраживања	1
1.2. Подручје истраживања	3
1.3. Циљ истраживања	3
1.4. Полазне хипотезе.....	3
1.5. Општи метод и структура рада	4
2. ОДЛУЧИВАЊЕ, ПРИСТУП ОДЛУЧИВАЊУ И МЕТОДЕ ОДЛУЧИВАЊА.....	6
2.1. Појам и приступи одлучивању.....	6
2.2. Поступак решавања проблема	8
2.3. Увод у вишекритеријумско одлучивање.....	9
2.4. Класификација и избор метода вишекритеријумског одлучивања	10
2.5. Вишекритеријумско одлучивање и заштита земљишних и водних ресурса од деградације.....	15
2.5.1. Ерозија земљишта и бујичне поплаве као видови деградације	15
2.5.2. Вишекритеријумско одлучивање и заштита од ерозије и бујица	18
3. МЕТОД РАДА	22
3.1. Методе корисности	22
3.1.1. Метода аналитички хијерархијски процес.....	22
3.1.2. Метода адитивних тежинских фактора.....	24
3.2. Методе рангирања.....	25
3.2.1. PROMETHEE метода	25
3.2.2. ELECTRE метода	29
3.3. Методе за одређивање тежина критеријума	34
3.3.1. Објективне методе за одређивање тежине критеријума.....	35
3.3.2. Субјективне методе за одређивање тежине критеријума	36
3.3.3. Интегралне методе за одређивање тежина критеријума	39
3.4. Методе вишекритеријумске оптимизације	40
3.4.1. Метода компромиса	41
3.4.2. Метод тежинских коефицијената	41
3.5. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије и бујица	42
3.5.1. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије.....	43
3.5.2. Идентификација најугроженијих ("hot spot") површина	46
3.5.3. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од бујица.....	46
3.5.4. Поставка проблема оптимизације структуре начина коришћења земљишта....	53
3.5.5. Оптимизација примене конзервационих мера (тераса)	53

4. МАТЕРИЈАЛ ИСТРАЖИВАЊА.....	54
4.1. Карактеристике истраживаних подручја	54
4.1.1. Карактеристике слива Топчидерске реке.....	55
4.1.2. Карактеристике слива реке Топлице	60
4.1.3. Карактеристике слива реке Расине.....	65
5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	71
5.1. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од ерозије земљишта	71
5.1.1. Критеријуми за процену угрожености ерозијом земљишта.....	71
5.1.2. Тежине критеријума за процену угрожености ерозијом земљишта.....	75
5.1.3. Рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом земљишта	78
5.1.4. Идентификација најугроженијих подсливова и "hot spot" површина према степену угрожености од ерозије земљишта.....	97
5.2. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од бујичних поплава	102
5.2.1. Критеријуми за процену угрожености подсливова од бујичних поплава	102
5.2.2. Тежине критеријума за рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава.....	106
5.2.3. Рангирање подсливова према опасности од бујичних поплава	110
5.2.4. Идентификација подсливова који су најугроженији од бујичних поплава	142
5.2.5. Евидентирање стања преграда и дефинисање приоритета за примену мера превенције	145
5.2.6. Избор оптималног система заштите бујичног слива изградњом преграда.....	153
6. ДИСКУСИЈА	190
7. ЗАКЉУЧАК.....	202
8. ЛИТЕРАТУРА.....	206
ПРИЛОГ А.....	227
ПРИЛОГ Б.....	235
ПРИЛОГ В	243
ПРИЛОГ Г.....	252
ПРИЛОГ Д.....	256
БИОГРАФИЈА.....	269
Изјава о ауторству.....	270
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	271
Изјава о коришћењу	272

1. УВОД

1.1. Предмет истраживања

Значајан део Србије чине брдско-планинска подручја, која по конфигурацији терена, геолошкој подлози, климатским приликама и хидрографској мрежи представљају врло повољно тло за развој ерозионих процеса који разарају земљиште и ремете водни режим. Земљишни и водни ресурси представљају важан елемент животне средине којима се управља на нивоу слива, као природној хидрографској целини у циљу спречавања даље деградације земљишта и његовог одношења у речне токове (Kostadinov, 1996). Циљ управљања земљишним ресурсима брдско-планинских подручја Србије је смањење ерозије земљишта применом различитих мера и радова од којих треба изабрати оптималне.

Последњих неколико деценија при управљању природним ресурсима користе се методе вишекритеријумског одлучивања које представљају скуп формалних приступа који узимају у обзир више критеријума при одлучивању (Belton, Stewart, 2002). У овом раду су методе вишекритеријумског одлучивања примењене за доношење одлука које могу помоћи у решавању проблема најзаступљенијег вида деградације у нашој земљи - ерозије земљишта, као и најзаступљенијег хазарда - бујичних поплава.

Методе вишекритеријумске анализе, као посебна група метода вишекритеријумског одлучивања, омогућавају: идентификацију (у интеграцији са Географским информационом системом - GIS-ом) и рангирање подсливова који су угрожени ерозијом земљишта и бујичним поплавама, одлучивање о избору локације где ће се минимизирати негативни ефекти ових процеса, као и доношење одлука о систему радова и мера које је најбоље применити. Примена метода захтева располагање подацима који омогућавају процену ерозије превазилазећи препреке као што су велики број улазних података, немогућност елиминације нерасположивих података, ограниченост примене на одређено подручје, што су могућа ограничења емпиријских, физичких или концептуалних модела (Merritt et al., 2003). Ове методе притом не служе за квантификовање губитака, већ дефинисање "јаче", "средње", "слабије" угрожених површина или подсливова, за њихово рангирање према степену угрожености као и за дефинисање приоритета.

На тај начин се доступни људски и финансијски ресурси користе рационално, јер се могу усмерити на површине/подсливове који су највећег приоритета за заштиту.

Методe се могу применити и за избор најбољег система преграда у бујичним сливовима, као техничких радова чија изградња у кориту бујичних токова обезбеђује постизање више функција међу којима су задржавање наноса, смањење брзине отицања, ерозивне активности и пада канала (Hassanli, Beecham, 2010). Поред планирања изградње ових објеката, важно је редовно одржавање и санирање оштећења већ изграђених објеката, према приоритететима који се могу добити применом метода вишекритеријумског одличивања.

Поред техничких радова, начин коришћења земљишта у сливу представља значајан фактор интегралног управљања сливом, али је и често један од главних узрока процеса деградације (губитака) земљишта, као и све веће учесталости бујичних поплава. Поред наведеног овај фактор утиче на концентрацију наноса и хранљивих материја у токовима, квалитет површинских и подземних вода у сливу и социјални и економски развој подручја (Qi, Altinakar, 2011). Избор одговарајућег (оптималног) начина коришћења земљишта се може постићи прерасподелом (алокацијом) површина са различитим начином коришћења на одређеним површинама. Поред овога, применом конзервационих мера може се повећати отпорност на ерозију и заштитити земљиште успостављањем вегетације и/или изградњом објеката. Међу бројним мерама и радовима, изградња тераса је значајна техничка мера којом се регулишу проблеми карактеристични за пољопривредну производњу брдско-планинских подручја: ерозија земљишта, неконтролисано отицање воде, нерационално и некономично коришћење земљишта (Kadović, 1999). Оптимална структура начина коришћења земљишта, као и оптимална заступљеност тераса на пољопривредним површинама у сливу, може се добити применом оптимизационе методе линеарног програмирања. Међутим, ни овде није искључен значај и примена метода вишекритеријумског одлучивања, које обезбеђују да се утицај различитих фактора средине (близине пута, еродибилности, надморске висине итд.) укључи у процес доношења оптималних одлука.

1.2. Подручје истраживања

За примену метода вишекритеријумске анализе изабрани су сливови у централној Србији: слив Топчидерске реке, слив реке Расине и слив реке Топлице, узводно од бране „Селова“. Слив Топчидерске реке, десне притоке реке Саве, има површину од 148,14 km² и налази се на територији града Београда. У Расинском округу се налази слив реке Расине, десне притоке Западне Мораве, који се карактерише изузетно асиметричним обликом слива површине 982,48 km². Слив реке Топлице, највеће леве притоке Јужне Мораве, узводно од бране „Селова“, заузима површину од 348,2 km². Избор наведених сливова за анализу извршен је на основу обима претходних истраживања, обима изведених радова (грађевинско-техничких и биолошких), као и због даље потребе за редукцијом ерозије земљишта и опасности од бујичних поплава.

1.3. Циљ истраживања

Циљеви истраживања су да се применом метода вишекритеријумског одлучивања постигне:

- идентификација и приоритизација подсливова које су најугроженији ерозионим процесима;
- идентификација и приоритизација површина у подсливовима који представљају „hot spot“ површине са аспекта ерозије земљишта;
- избор оптималног начина коришћења земљишта;
- рангирање подсливова за изградњу преграда према морфометријским параметрима слива;
- избор оптималног система бујичарских преграда у кориту водотока и
- процена отпорности система бујичарских преграда на деструктивно дејство поплава и продукта ерозионих процеса (наноса).

1.4. Полазне хипотезе

1. Подсливови који се издвајају као хидрографске целине у оквиру једног сливног подручја, разликују се по степену угрожености ерозијом, услед чега немају исти приоритет у погледу примене конзервационих радова који се

предузимају у циљу заустављања или смањења ерозионих процеса и очувања земљишних и водних ресурса.

2. Рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом је неопходно ради усмеравања економских и људских ресурса на површине које имају већи приоритет по питању третирања конзервационим радовима.
3. Доношење оптималних одлука у области конзервације земљишних и водних ресурса може се постићи применом метода вишекритеријумског одлучивања.
4. Оптимизацијом начина коришћења земљишта и избором вегетационог покривача у сливу, губици земљишта се могу свести до толерантног нивоа.
5. Доношење одлука о избору система бујичарских преграда применом метода вишекритеријумске анализе представља функционално и економично решење проблема заустављања наноса (продукта ерозионих процеса) у речном току и/или заштите од поплава.
6. Применом метода вишекритеријумског одлучивања могуће је утврдити који од могућих сценарија конзервације, односно могућих комбинација радова у сливу и речном току представља рационално решење са аспекта минимизације ерозије и опасности од бујичних поплава.

1.5. Општи метод и структура рада

У раду су обједињени резултати различитих анализа које припадају области заштите од ерозије и уређења бујица, почев од процене опасности од оба вида деградације, па до одлучивања о примени радова на ублажавању или редукацији поменутих процеса. На тај начин, сагледавање и решавање проблема ерозије и бујица применом метода вишекритеријумског одлучивања представља мултидисциплинарни методолошки приступ.

У првом поглављу (1. Увод) су дати предмет и подручје истраживања, дефинисани су циљеви истраживања и полазне хипотезе. У другом поглављу (2. Одлучивање, приступ одлучивању и методе одлучивања) је дат осврт на појам одлучивања, приказани су различити приступи моделирања и решавања проблема одлучивања, као и увод у вишекритеријумско одлучивање са методама које се

могу корисити. У оквиру овог поглавља, указано је на проблем ерозије земљишта и бујичних поплава као најзаступљенијег хазарда у нашој земљи, као и на везу између заштите земљишних и водних ресурса од деградације и вишекритеријумског одлучивања. Приказан је део најзначајније литературе која указује на ову конекцију, применљивост метода у светској литератури и код нас, као и потреба за применом метода вишекритеријумског одлучивања.

У трећем поглављу (3. Метод рада), дате су методе вишекритеријумске анализе и оптимизације коришћене у овом раду, као и моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије и бујица. Хијерархијски модели коришћени за структурирање проблема имали су различите циљеве: рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом земљишта, рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава, заштита бујичног слива изградњом преграда у кориту водотока, односно подизањем тераса у сливу. У оквиру метода рада, приказан је и поступак идентификације ерозијом најугроженијих површина.

У четвртом поглављу (4. Материјал истраживања), дати су општи подаци о изабраним сливним подручјима за анализу – слив Топчидерске реке, слив реке Топлице и слив реке Расине, за чији опис је коришћена дескриптивна метода.

У поглављу пет (5. Резултати истраживања) су приказани резултати примене метода вишекритеријумске анализе и оптимизације. За поређење резултата рангирања коришћен је статистички параметар – Спирманов коефицијент корелације ранга. Наредна два поглавља се односе на дискусију резултата до којих се дошло (6. Дискусија) и најважније закључке (7. Закључци).

Анализе које се односе на просторну заступљеност ерозије земљишта и утврђивање вредности критеријума за процену ерозије земљишта, добијени су применом софтвера ArcMap 10.2.2. Издвајање подсливова и генерисање хидрографске мреже која је коришћена за прорачун морфометријских критеријума (коришћених за анализу опасности од бујичних поплава) вршено је помоћу модела ArcHydro 2.0. Од геостатистичких метода, коришћена је инверзна удаљеност – IDW (Inverse Distance Weighted) за приказ просторне варијабилности падавина.

За утврђивање потпуног поретка акција, као и резултата примене метода вишекритеријумске оптимизације коришћен је MatlabR2014a.

2. ОДЛУЧИВАЊЕ, ПРИСТУП ОДЛУЧИВАЊУ И МЕТОДЕ ОДЛУЧИВАЊА

2.1. Појам и приступи одлучивању

Иако су људи одувек доносили одлуке, процес одлучивања почео је да се изучава тек 30-их година XX века, а најинтензивнији развој достиже развојем метода познатих као методе операционих истраживања (ОИ) (Чупић, Сукновић, 2010). Назив операциона истраживања¹ потиче из 1940. године, када је током Другог светског рата тим научника у Британији применом научних техника истраживао стратегијске проблеме повезане са војним операцијама. Операциона истраживања представљају научни метод (грана математике, нарочито примењене математике) који применом различитих метода и техника омогућује проналажење „оптималних или најприхватљивијих решења за доношење управљачких одлука“ (Прашчевић, 1992). Може се рећи да операциона истраживања представљају приступ одлучивању који је (Tiwari, Shandilya, 2006):

- ✓ холистички (целокупан увид у окружење које проучава)
- ✓ методолошки (на јасан и систематски начин се формулише и решава проблем),
- ✓ објективистички (методе које се користе увек имају јасно дефинисан циљ) и
- ✓ интердисциплинарни (проблем се анализира са аспекта математичара, физичара, хемичара, статистичара, грађевинаца, економиста и других експерата).

Анализа одлучивања је техника операционих истраживања коју је први увео 1966. Ronald A. Howard (Pandey, 2014) која се користи за анализирање сложених одлука у случају више, најчешће конфликтних циљева и неизвесности (Parnel, 2009). Постоје четири општа приступа анализи одлучивања у зависности од своје методолошке поставке: нормативни, дескриптивни, прескриптивни и конструктивни приступ одлучивању (Bouyssou et al., 2006).

¹ Операциона истраживања су у литератури позната и под следећим називима (Murthy, 2007): Operational Research, Operational Analysis, System Analysis, System Evaluation, System Research, Quantitative methods, Optimisation Techniques, Management Science итд.

Операциона истраживања су се најпре заснивала на идеји „рационалног одлучивања“ и оптимизацији једне функције циља (Bouyssou et al., 2006). Пример рационалном приступу одлучивања је линеарно програмирање, где је проблем дефинисан математички као класичан оптимизациони проблем, са циљем изналажења рационалне², најбоље одлуке (оне која максимизира или минимизира постављену функцију циља). Овакав рационални приступ моделирања и решавања проблема одлучивања, познат је као нормативни приступ, који подразумева решавање проблема кроз један формализовани поступак помоћу прецизно дефинисаних правила, норми (Morrow, Hitt, 2000). Доносилац одлуке (ДО) је „рационалан“ јер полази од датих правила, аксиома, који су независни од њега и проблема са којим је суочен.

Следећи приступ је дескриптивно одлучивање, некада се назива и predictive јер предвиђа будућност, даје одговор на питање *Шта ће се догодити уколико?* Заснива се на емпиријским опсервацијама и експерименталним студијама и ретко је поновљиво или је непоновљиво (неструктурирано одлучивање). Дескриптивни приступ је квалитативно оријентисан и омогућава налажење задовољавајућих решења у датим околностима. Циљ овог приступа је да објасни како ДО на основу расположивих информација, доноси одлуку, при чему се не искључују грешке узроковане психолошким особинама, као што је случај са нормативним приступом (Sikavica et al., 2014).

У циљу повећања поузданости процеса одлучивања развијени су прескриптивни модели одлучивања који користе постојећа теоријска сазнања приликом избора најбољег решења, односно, дају одговор на питање *Које одлуке су најбоље?* (Sikavica et al., 2014; Makowski, 2001). Прескриптивни приступ уважава поставке нормативне теорије али и чињеницу да је ДО човек ограничених когнитивних способности (Ríos, 1994). Шире посматрано, може се рећи да је прескриптивни приступ, за разлику од нормативног (у домену филозофије) и дескриптивног (у домену психолошких наука) у домену инжењеринга (Baron, 2012).

² Peterson (2009) наводи да је рационална одлука одлука за коју постоји највише разлога за њено доношење, при чему она не мора да буде исправна одлука (последиче одлуке дефинишу њену исправност).

Конструктивни приступ карактерише дискусија ДО и аналитичара на основу које се формулише и гради модел, чему се придаје подједнаки значај колико и решавању проблема у овом приступу.

Критике нормативном приступу су да потпуна рационалност није својствена људском расуђивању, као ни избор оптималног решења, колико избор компромисног решења (задовољава све важне атрибуте³) (Simon, 1956). Потреба за природнијим приступом, који ће узети у обзир све мултидимензионалне аспекте одлучивања и сагледати проблем из више углова довела је до развоја вишекритеријумске анализе одлучивања (Figueira et al., 2005a). Када је реч о методама вишекритеријумског одлучивања (ВКО), историјски гледано, може се рећи да прве методе ВКО (које карактеришу математички добро структурирани проблеми, где је циљ пронаћи оптимум као код класичних метода ОИ) припадају америчкој школи (Вишеатрибутивна теорија вредности и Вишеатрибутивна теорија корисности) и да се држе нормативног приступа, за разлику од метода које припадају француској школи и које следе принципе конструктивног приступа (Lootsma, 1999). По неким ауторима (Seip, Wenstop, 2006) сама наука о одлучивању је једним делом прескриптивна – описује како би људи требало да доносе одлуке, а једним делом дескриптивна – посматра како људи доносе одлуке. По ауторима Hutchel, Molet (1986) ОИ су претежно прескриптивна и представљају „само филозофију свесног избора и свесно процењених акција“.

2.2. Поступак решавања проблема

Операциона истраживања омогућавају решавање проблема поступком који подразумева (Tiwari, Shandilya, 2006): 1) формулисање проблема, 2) изградњу модела, 3) изналагање решења, 4) проверу валидности модела, 5) успостављење контроле преко решења и 6) имплементацију резултата.

Модел је репрезентација или апстракција стварног објекта или ситуације, који може бити физички (мапа, фотографија), шематски (дијаграми) или математички (симболи, математичке једначине) (Shenoy et al., 1991). Модел може бити формалан, дефинисан математичким изразима (добро дефинисан), при чему има

³ атрибут или перформанса представља степен достизања задатог циља (Чупић, Сукновић, 2010)

своју структуру (приказану у виду једначина) и параметре (елементи једначина) које је потребно утврдити (Yevseyeva, 2007). Проблеми који се не могу решити коришћењем рационалног, логичког резонувања, као у претходном случају, већ је укључено просуђивање, интуиција и искуство ДО су лоше дефинисани проблеми (Karwowski, 2006).

2.3. Увод у вишекритеријумско одлучивање

Ситуације одлучивања када је потребно размотрити више критеријума, углавном конфликтне природе, чије вредности представљају полазне информације за избор најбоље акције (алтернативе) из датог скупа акција, називамо вишекритеријумским одлучивањем (ВКО) (енг. Multi criteria decision making - MCDM⁴) (Чупић, Сукновић, 2010). Проблеми ВКО се сматрају „лоше дефинисаним“ проблемима код којих не постоји „оптимално“ решење. Одлуку доноси један или група доносилаца одлука који представљају експерте из дате области (који исказују своја знања, идеје и преференције), уз помоћ аналитичара, одговорног за избор и примену методе (Yevseyeva, 2007). Методе ВКО доста су сложеније од метода које разматрају само један критеријум при одлучивању, али је репрезентација проблема доста реалнија (Чупић, Сукновић, 2010).

Основни кораци метода ВКО су: 1) идентификација проблема, 2) структуирање проблема, 3) изградња модела, 4) примена модела и 5) коначан избор, односно доношење одлуке на основу резултата модела (Linkov, Moberg, 2012; Belton, Stewart, 2002).

Идентификација проблема је први корак који подразумева јасан увид у расположиве информације (одговор на питање: *Колико знамо о проблему одлучивања?*) које ће послужити за дефинисање елемената одлучивања: циљева који се желе постићи, могућих алтернативних решења и критеријума одлучивања који описују перформансе алтернатива (Howard, 2007). Структуирање проблема одлучивања је један од најзначајних и најтежих корака који за циљ има да омогући превођење лоше дефинисаних проблема у „скуп добро дефинисаних елемената, релација, и операција“ (von Winterfeldt, 1980) користећи један

⁴ ВКО је у литератури познато и под називима Multi criteria decision aid, као и Multi criteria analysis (Vincke, 1986)

формалан и апстрактан језик (Tsoukiàs, 2008). Овај корак је назван и уметничка страна одлучивања, јер све везе и утицаје наведених елемената одлучивања аналитичар мора приказати на најпогоднији начин (von Winterfeldt, 1980). Наредни кораци су изградња и примена модела, и на крају коначна препорука ДО на основу резултата модела. Избор методе која ће се користити је такође јако значајан и зависи од карактеристика самог проблема одлучивања.

2.4. Класификација и избор метода вишекритеријумског одлучивања

У зависности од поступка избора најбоље акције, методе ВКО се могу класификовати у две групе (Malczewski, 1999; Чупић, Сукновић, 2010):

1) вишециљно одлучивање (ВЦО) (енг. Multiple Objective Decision Making – MODM) и

2) вишеатрибутивно одлучивање (ВАО) (енг. Multiple Attribute Decision Making - MADM) или вишекритеријумска анализа (ВКА) (енг. Multi-criteria Analysis- MCA) (назива се и Multi-criteria decision aiding - MCDA).

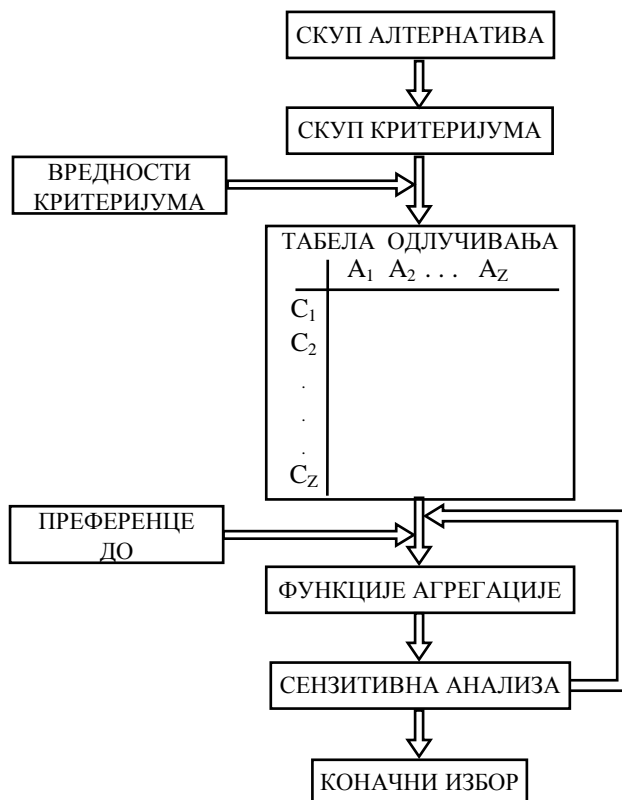
Проблеми ВЦО се класификују у континуалне проблеме одлучивања и карактерише их постојање бесконачног броја алтернатива које нису познате пре саме процедуре оптимизације (Dourmos, Zorounidis, 2004). ВЦО се заснива на оптимизацији више, најчешће конфликтних функција циља (бар две) које се преводе у једнокритеријумски проблем одлучивања, ради проналажења оптималног решења из широког скупа могућих решења, у условима ограничености ресурса (приказују се у виду једначина и/или неједначина).

Код ВАО карактеристично је формирање евалуационе табеле или матрице одлучивања која садржи податке о вредностима критеријума за дате алтернативе. Скуп алтернатива који се процењује је дискретан, коначан и углавном унапред познат, па је читава група метода ВКО, позната под називом дискретне методе. Ограничења нису активна као код ВЦО, већ су укључена у атрибуте, који се користе као критеријуми за вредновање алтернатива. Не трага се за оптималним решењем, јер постоји више конфликтних критеријума, већ за компромисним решењем.

Континуални (вишециљни) и дискретни (вишеатрибутивни) проблеми одлучивања разликују се по томе што се код првих атрибутима описују

алтернативе, док се код проблема ВАО атрибути користе као критеријуми (садрже информацију о преференцији ДО) за вредновање алтернатива (Douprios, Zorounidis, 2004).

Модел ВАО и ВЦО приказан је на Слици 2.1 и Слици 2.2 (Jankowski, 1995; Chakhar and Martel, 2006), док су све битне разлике између ВЦО и ВАО наведене у Табели 2.1.



Слика 2.1. Модел вишеатрибутивног одлучивања

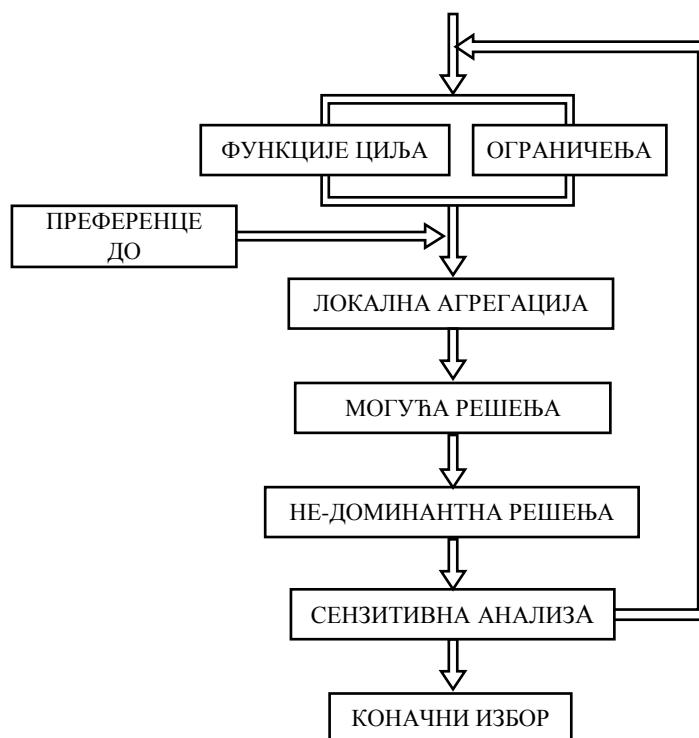
Извор: Jankowski (1995)

Према Deakin et al. (2007) све методе ВКО могуће је сврстати у неку од три група:

- 1) методе које припадају америчкој школи: метода вишеатрибутивне теорије корисности (Multiattribute Utility Theory- MAUT) и метода вишеатрибутивне теорије вредности (Multiattribute Value Theory -MAVT);
- 2) методе вишег ранга припадају француској школи (на пр. ELECTRE, PROMETHEE, NAIADE, REGIME) и заснивају се на поређењу алтернатива у паровима, и њиховом рангирању;

3) методе програмирања су методе вишециљног програмирања код којих се истовремено максимизира или минимизира неколико циљева исказаних функцијом која је непозната (за разлику од претходних метода), при одређеном скупу ограничења, а потребно је пронаћи ефикасно решење.

Методе се могу класификовати у зависности од правила одлучивања које користе, односно агрегационе процедуре на: а) компензационе, б) делимично-компензационе и ц) некомпензационе методе; или према врсти података коју користе на: а) квалитативне, б) квантитативне и ц) мешовите (Brandon, Lomardi, 2011).



Слика 2.2. Модел вишециљног одлучивања

Извор: Chakhar, Martel (2006)

Методе ВАО припадају америчкој или француској (европској) школи (Oberschmidth et al., 2010) од којих свака на посебан начин третира проблем одлучивања омогућавајући избор, рангирање или сортирање акција (Figueira et al., 2005a). Методологија коју примењују методе америчке школе заснива се на додели корисне вредности алтернативама, односно реалних бројева који

одражавају степен пожељности разматране алтернативе, независно од процена других алтернатива, док методе француске школе пореде алтернативе у паровима, како би се утврдило да ли је нека алтернатива више пожељна од друге, или су оне индиферентне или неупоредиве (Corrente et al., 2013).

Табела 2.1. Разлике између ВЦО и ВАО

	ВЦО	ВАО
Критеријуми су дефинисани помоћу	циљева	атрибута
Циљеви су дефинисани	експлицитно	имплицитно
Атрибути су дефинисани	имплицитно	експлицитно
Алтернативе су дефинисане	имплицитно	експлицитно
Број алтернатива	бесконачан број	коначан број
Ограничења	активна	неактивна (укључена у атрибуте)
Интеракција са ДО	углавном се спроводи	спроводи се у мањој мери
Примена	избор/евалуација	пројектовање

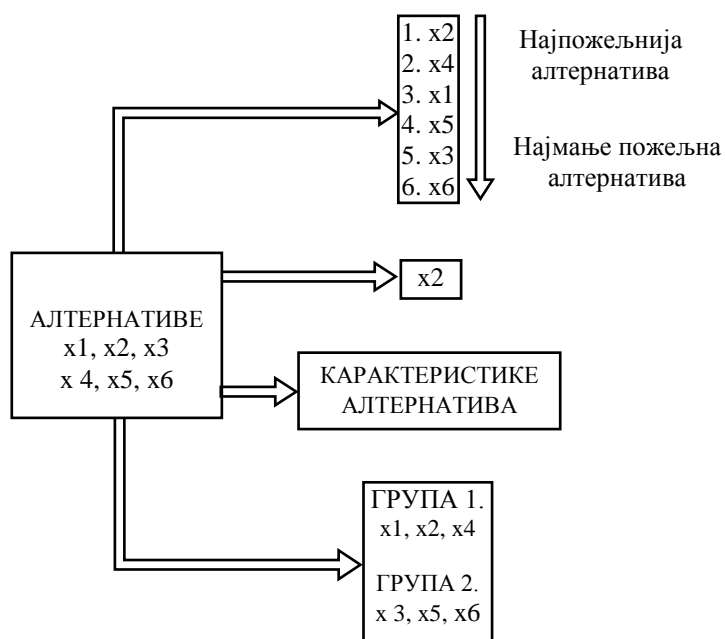
Извор: Чупић, Сукновић (2010); Hwang, Yoon (1981)

Методе америчке школе су: метода вишеатрибутивне теорије корисности (Multiattribute Utility Theory-MAUT) и метода вишеатрибутивне теорије вредности (Multiattribute Value Theory-MAVT); метода аналитички мрежни процес (Analytic Network Process), метода аналитички хијерархијски процес (Analytic Hierarchy Process). Ове методе од улазних параметара користе и квалитативне и квантитативне податке, и доста се користе у пракси због своје једноставности и применљивости (Oberschmidth et al., 2010). Један од недостатака ових метода су 1) омогућавају комплетну компензацију или балансирање између критеријума и 2) сматра да је ДО довољно недвосмислен и непристрасан у одређивању тежина критеријума, што су методе француске школе покушале да превазиђу (Oberschmidth et al., 2010; Götze et al., 2008; Gelderman, Rentz, 2007).

Методе ВАО (АНР, MAUT) претпостављају да једна алтернатива доминира над осталим алтернативама уколико је боља бар по питању једног критеријума, и није лошија од осталих алтернатива по питању других критеријума. Како методе омогућавају агрегацију резултата перформанси свих критеријума (због чега су

познате под називом „performance aggregation based approach“ (Cinelli et al., 2014), а тиме и комплетну компензацију, методе су познате и под називом компензационе методе. Слаба перформанса једног критеријума, може се надокнадити јаком перформансом неког другог критеријума, а на доносиоцу одлука је задатак да успостави тај баланс (Drechsler, 2010).

Компромис између метода корисности/вредности и Pareto анализе су методе вишег ранга које спадају у делимично компензационе методе (Vincke, 1999). Методе ВАО је погодно користити у следећим ситуацијама: а) када је потребно изабрати „најбољу“ алтернативу из скупа могућих алтернатива, б) када је потребно сортирати акције у различите категорије (на пример дефинитивно прихватљиве, могућа прихватљивост, дефинитивно неприхватљиве), в) за рангирање алтернатива, и г) за дескрипцију алтернатива утврђивањем карактеристика на основу којих се алтернативе суштински разликују (Слика 2.3).



Слика 2.3. Облици дескриптивних проблема одлучивања према циљу одлучивања

Извор: Doumpos, Zorounidis (2004)

Која ће се од метода ВАО користити зависи од наведених излаза који се желе добити, од квалитета и обима улазних податка, од броја алтернатива, расположивих софтвера, и чињенице да ли је у питању један или више доносилаца

одлука (ДО). Guitouni, Martel (1998) дају водич за избор метода ВКО, али је можда најреланија констатација Abrishamchi et al. (2005), који истичу да је избор одговарајуће методе вишекритеријумског одлучивања, по својој природи проблем који и сам захтева спровођење вишекритеријумске анализе.

2.5. Вишекритеријумско одлучивање и заштита земљишних и водних ресурса од деградације

Постоје различити облици деградације земљишних и водних ресурса међу којима значајно место према просторној заступљености, интензитету деловања и последицама, имају ерозија земљишта и бујичне поплаве. Заштита подручја угрожених овим процесима често захтева разматрање неколико алтернатива које треба да задовоље више критеријума, тако да се проблем може поставити и решавати као проблем вишекритеријумског одлучивања.

2.5.1. Ерозија земљишта и бујичне поплаве као видови деградације

Ерозија земљишта је један од најзаступљенијих видова деградације земљишта о чему говори и податак да је 1,3 милиона km^2 Европе у просеку угрожено ерозијом (узимајући у обзир земље чланице ЕУ), при чему се просечни губици земљишта процењују на $2,64 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$ (Jones et al., 2012; Panagos et al., 2015). Овај проблем глобалних размера, има низ негативних последица: смањење продуктивности земљишта, опадање квалитета вода, повећана опасност од бујичних поплава, огромни трошкови, који према наводима Европске Комисије (2006) износе 0,7-14 милијарди еура годишње. Ерозија је у нашој земљи присутна на 86,4% територије и препозната је као озбиљан проблем, који узрокује губитак од $37.249,975 \text{ m}^3 \cdot \text{god}^{-1}$ (Kostadinov et al., 2006; Ristić et al., 2011a).

Бујичне поплаве су један од природних феномена са најкастрофалнијим последицама по животну средину и човека. Под бујичним полавама (енг. torrential floods, flash floods) подразумева се изненадни надолазак поплавног таласа у кориту тока, који са собом носи огромну количину наноса - продукта ерозионих процеса. Предиспозицију за настанак бујичних токова имају подручја са учесталим кишним епизодама већег интензитета и краћег трајања, нарочито уколико су нагиби терена велики, стене еродибилне, вегетациони покривач

оскудан и земљиште малог инфилтрационог капацитета (Ristic, Malosevic, 1997). У Србији је до данас регистровано око 12.000 бујичних поплава, које су заступљене на читавој територији наше земље (Kostadinov et al., 2006).

Учесталост бујичних поплава у последњих 15 година као и деструктивност, указује на потребу за интензивном применом мера и радова који ће допринети редукцији поплава и ерозије земљишта (Ristić et al., 2012). Радови који се могу применити за редукцију ерозије и поплава су: изградња објеката (преграда, кинета, брана и др.), шумске и пољопривредне мелиорације, мелиорације пашњака, подизање воћњака, пошумљавање, затрављивање, али и предузимање различитих мера управљања (Kostadinov, 1996).

Процена опасности од ерозије земљишта и бујичних поплава и примена противерозионих мера и радова, као и мера превенције бујичних поплава захтева 1) дефинисање размере истраживања (домена истраживања), 2) избор модела за процену/критеријума за анализу, 3) примену модела и 4) идентификацију и извођење најприхватљивијих радова и мера/алтернатива одлучивања.

Под размером истраживаног подручја (размера у "еколошком" смислу) подразумева се величина подручја која се истражује и којом се управља, и која се може даље поделити на градивне елементе, тј. просторно мање јединице (*1). Процена ерозије земљишта се може вршити на просторним јединицама веће или мање детаљности, односно: нивоу поља (енг. field scale), нивоу слива (енг. catchment scale), нивоу предела (енг. landscape scale) (Favis-Mortlock, 1996). У ту сврху стоји на располагању велики број модела који, који се могу класификовати у емпиријске, концептуалне или физичке (Meritt et al., 2003), и разликују по својој комплексности и захтевима за улазним подацима (критеријумима), што може бити ограничавајући фактор приликом избора модела. Jetten et al. (1999) истичу да на избор модела може утицати и чињеница ко је корисник модела (истраживачи/научници/експерти или доносиоци одлука, консултанти) и који је циљ примене (симулација догађаја, предвиђање будућих догађаја, примена резултата у циљу управљања природним ресурсима). Једна од мање захтевних метода по питању улазних података је RUSLE (Férrandez, Vega, 2016), која за процену ерозије користи критеријуме (начин коришћења земљишта, падавине, топографија и еродибилност земљишта), често коришћене за

моделирање проблема ерозије (Zhang et al., 2013; Ganasri, Ramesh, 2016; Borrelli et al., 2014).

Након процене угрожености ерозијом на нивоу слива, да би се примениле мере и радови који ће допринети минимизирању губитака земљишта (промена начина коришћења, изградња техничких објеката, или извођење биолошких радова и др.), потребно је извршити идентификацију ерозијом најугроженијих површина, у литератури познатих под термином "hot spot" површине, што је предмет истраживања аутора Zhang et al. (2010), Pandey et al. (2007). Ова анализа је битна јер сагледавање само просечних губитака земљишта може да потисне чињеницу да постоје значајне просторне варијације губитака (Cerdan et al., 2010). Идентификација најугроженијих површина се може вршити применом неке од метода за процену ерозије (или фактора које те методе примењују) и GIS-а (Nigel, Rughooputh, 2010; Borrelli et al., 2014; Gelagay, Minale, 2016; Haregeweyn et al., 2017) али и применом метода вишекритеријумске анализе у интеграцији са GIS-ом (Wu, Wang, 2007; Rahman et al., 2009; Nekhay et al., 2009; Kroic, Schulte, 2014). Процена опасности од бујичних поплава се врши на нивоу слива, при чему се као критеријуми за процену опасности од бујичних поплава користе морфометријски параметри (термин коришћен у иностраној литератури), где спадају: површина слива, облик слива, густина хидрографске мреже и др. Код нас се ови критеријуми називају хидрографским и геоморфолошким карактеристикама, чије изучавање омогућава оцену могућности за наглу или једновремену концентрацију површинских вода у сливу (Kostadinov, 1996). Морфометријски параметри, заједно са начином коришћења земљишта, контролишу потенцијал планинских сливова за продукцију вученог наноса, поготово уколико се сливови одликују густом хидрографском мрежом, и где се земљиште користи претежно за оранице и воћњаке (Liébault et al., 2002). Применом морфометријских критеријума процену опасности од бујичних поплава и ерозије су анализирали Rahaman et al., 2015; Taylor, Kite, 2006; Al-Rowaily et al., 2012; Reddy et al., 2004; Abuzied et al., 2016).

Разликују се два приступа редукацији опасности од поплава: структурни - који подразумева изградњу објеката у кориту водотока, и неструктурни приступ - који

подразумева примену мера, као што су програм осигурања од поплава, коришћење земљишта изван плавне зоне, едукација, упозорење.

У циљу заштите од ерозије и бујица, у хидрографској мрежи бујичних токова често се граде бујичне преграде, под којима се подразумевају попречни објекти, чија је функција да спрече развој дубинске и бочне ерозије, акумулирају нанос у свом заплаву, смање пад корита, дубину и брзину воде (Kostadinov, 1996; Hassanli, Beecham, 2010). Радови који се односе на изградњу и заштиту сливног подручја овим објектима, као предмет истраживања имају одређивање потребног растојања између преграда (Nameghi et al., 2008; Heede, Mufich, 1973), избор локације, одређивање оптималне висине преграда (Hassanli, Beecham, 2010; Osti, Egashira, 2008), процену ефективности у погледу испуњавања неке од функција које се односе на редукцију наноса, пада канала и/или стабилизацију канала водотока (Kostadinov et al., 2008; Kostadinov et al., 2010; Kostadinov et al., 2011; Hassanli et al., 2009; Castillo et al., 2007), редукцију поплавног таласа (Roshani, 2003).

2.5.2. Вишекритеријумско одлучивање и заштита од ерозије и бујица

У светској литератури, последњих неколико деценија у области конзервације земљишних и водних ресурса, користе се методе вишекритеријумске анализе. Huang et al. (2011) наглашавају пораст интересовања за ове методе и дају преглед радова где су оне примењене у наукама о животној средини.

Методе вишекритеријумске анализе су нашле примену у процени ерозије земљишта, међу којим су доста коришћене АНР (Analytical Hierarchy Process), ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) и WSM (Weighted Sum Method).

Највише примењивана међу методама је АНР метода, која је коришћена за избор најпожељније стратегије управљања шумама (Kangas, 1994), за избор оптималне ширине појаса вегетације уз речну обалу (Qureshi, Harrison, 2001), за рангирање технологија пречишћавања отпадних вода (Bottero et al., 2011). У области утврђивања угрожености земљишта ерозијом АНР методом, значајни су радови: Wu, Wang (2007), Ni et al. (2008), Rahman et al. (2009), Vulevic et al. (2015).

Широку примену има и PROMETHEE метода (Behzadian et al., 2010), која је у области заштите од ерозије коришћена за рангирање подсливова према угрожености ерозијом (Vulevic, Dragovic, 2017), за избор најбоље алтернативе заштите слива угроженог ерозијом (Grau et al., 2010). ELECTRE метода је примењивана за планирање начина коришћења земљишта (Акpinar et al., 2004), процену ризика од ерозије земљишта на нивоу парцеле, (критеријуми: нагиб, конекција парцеле са путем или речном мрежом, постојање насипа, начин коришћења земљишта) (Macary et al., 2010).

Методe вишекритеријумске анализе су нашле већу примену у области управљања водним ресурсима (Најkowicz, Higgins, 2008). Методe, пре свега АHP, TOPSIS, WSM, ELECTRE, PROMETHEE и VIKOR су највише коришћене за рангирање алтернатива, али и за оцену хазарда (енг. hazard assessment), оцену повредљивости (енг. vulnerability assessment), што је приказано на Слици 2.4.



Слика 2.4. Радови који се односе на управљање ризиком од поплава публиковани у различитим областима у периоду од 1995–2015.

Извор: De Britto, Evers (2016)

У циљу редукције/ублажавања поплава алтернативе код метода вишекритеријумске анализе се могу односити на радове у речном току где се обале природног канала штите различитим врстама материјала (Chowdhury, Rahman, 2008; Markovic, 2012). Притом, критеријуми за евалуацију алтернатива могу бити: ризик од рушења, трошкови, проблем депозије наноса и др., што је предмет истраживања Chowdhury, Rahman (2008). Поред наведеног, попречни

објекти који се често граде у речном току су преграде које испуњавају више функција, и чија се ефективност заштите од бујичних поплава може одредити применом метода вишекритеријумске анализе (Carladous et al., 2016b; Carladous et al., 2016c). Поред разматрања структурних мера (објеката) могуће је разматрање и неструктурних мера као алтернатива (систем за рану најаву и упозорење, осигурање од поплава), које су у радовима анализирали Chitsaz, Banihabib (2015). Поред рангирања алтернатива значајан је и одабир локације за изградњу објеката. Singh et al. (2017) врше приоритизацију места за изградњу преграда као објеката за сакупљање атмосферских вода, применом АНР методе, на основу критеријума: падавине, нагиб, број криве отицаја, начин коришћења земљишта и текстурне карактеристике земљишта. Поред изградње објеката, контрола ерозије земљишта и бујичних поплава, постиже се оптимизацијом начина коришћења земљишта (Gao et al., 2010), што је предмет истраживања аутора Sadeghi et al. (2009).

Методe вишекритеријумског одлучивања и оптимизације, су код нас до сада примењене у сродним научним дисциплинама као што су грађевинарство (Прашчевић, 1995; Оприцовић, 1998; Ћировић, 2009; Prašćević, N., Prašćević, Ž., 2016), пољопривреда (Срђевић et al., 2002; Draginicic et al., 2015) и водопривреда (Срђевић, 2000; Srdjevic 2007; Srdjevic, Z., Srdjevic, B., 2014; Dragovic, Vulevic, 2015), шумарство (Lakicevic et al., 2014), заштита животне средине од тешких метала (Nikolic et al., 2009), управљање наносом (Crnkovic et al., 2016), оцена животног циклуса пројекта (Agarski et al., 2016). У области уређења бујичних токова у нашој земљи слабо су примењиване и методе једнокритеријумске оптимизације (Драговић, 2001), као и методе вишекритеријумске анализе (Андријанић, Драговић, 2012; Markovic, 2012; Markovic, 2013; Dragovic, Vulevic, 2015; Vulević, Dragović, 2017), што је додатан подстицај за примену ових метода. Неки од издвојених радова са применом метода вишекритеријумског одлучивања са називом аутора и публикације, као и области примене дати су у Табели 2.2.

Табела 2.2. Преглед значајних радова са применом метода вишекритеријумског одлучивања

Аутори	Метода	Област примене	Часопис
Manap, Voulvoulis (2014)	WSM	Рангирање алтернатива за управљање наносом	Science of the Total Environment
Alvarez-Guerra et al. (2009)	ESM, ELECTRE II, Regime, Evamix	Приоритизација површина за управљање наносом	Environmental International
Chowdhury, Rahman (2008)	WSM	Управљање водним ресурсима - регулисањем речног корита	International Journal of Environmental Science and Technology
Ahmadisharaf et al. (2015)	TOPSIS AHP	Управљање поплавама-избор ретензионих базена	Journal of Environmental Planning and Management
Chitsaz, Banihabib (2015)	ELECTRE I, ELECTRE III AHP, SAW, VIKOR, TOPSIS	Управљање поплавама-приоритизација алтернатива (структурне и неструктурне мере)	Water Resources Management
Srdjevic (2007)	AHP	Групно одлучивање у области управљања водним ресурсима	Decision Support Systems
Carlados et al. (2016a)	AHP, ELECTRE TRI	Избор најефективнијег система преграда	Proceedings of the 13th INTERPRAEVENT Conference
Wu, Wang (2007)	AHP	Процена ризика од ерозије земљишта	Journal of Hydrology
Vulevic, Dragovic (2017)	PROMETHEE II	Рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом	International Soil and Water Conservation Research
Macary et al., 2010).	ELECTRE III	Процена ризика од ерозије земљишта	International Journal of Multicriteria Decision Making

Извор: аутор

3. МЕТОД РАДА

3.1 Методе корисности

Од метода корисности у раду су приказане метода аналитички хијерархијски процес и метода адитивних тежинских фактора.

3.1.1. Метода аналитички хијерархијски процес

Метода аналитички хијерархијски процес (АНП), коју је развио Tomas Saaty 1970-их (Saaty, 1978) представља дескриптивни приступ одлучивању (Saaty, Vargas, 2012)⁵ који карактерише: аналитичност (математичко-логичко резонување), хијерархичност (структурирање проблема одлучивања у нивое), поређење елемената хијерархије у паровима, употреба скале оцене, алокација тежина критеријума и избор најбоље алтернативе (Franek, Kresta, 2014).

Користи се као подршка одлучивању у ситуацијама када постоји већи број критеријума (могу бити квантитативни и/или квалитативни) различите важности за ДО, и најмање две алтернативе од којих је потребно изабрати најбољу.

Основни кораци АНП методе су (Sikavica et al., 2014):

- 1) структурирање хијерархије,
- 2) утврђивање релативног значаја елемената хијерархије,
- 3) синтеза приоритета, и
- 4) сензитивна анализа.

1) Структурирање хијерархије.

Визуализација проблема одлучивања у виду хијерархије одозго на доле или одоздо на горе, при чему је на првом нивоу циљ, на следећем нивоу су критеријуми, на наредном подкритеријуми и на последњем нивоу су алтернативе које се разматрају. Овај корак је од значаја јер различите структуре могу довести до различитих резултата (рангова) (Franek, Kresta, 2014);

2) Утврђивање релативног значаја (приоритета) елемената хијерархије.

⁵ По неким ауторима метода је и дескриптивна и прескриптивна (Forman, 1990; Forman, Gass, 2001).

Пре утврђивања приоритета, потребно је извршити квантификацију квалитативних критеријума, применом различитих скала превођења⁶ при чему је често у употреби скала са интервалима од 1-9 (Табела 3.3).

Следећи корак је рачунање локалних приоритета (тежина) које се добијају као резултат компаративне процене, односно, поређењем елемената истог нивоа хијерархије (у паровима) у односу на надређени елемент. Прорачун се врши применом Методе поређења у паровима која је описана у оквиру Поглавља 3.3.2.

3) Синтеза приоритета.

У овом кораку се врши агрегација локалних приоритета у глобалан, укупан приоритет. АНР метода има два начина синтезе локалних приоритета за алтернативе (Millet, Saaty, 2000):

- а) Дистрибутивни начин (енг. Distributive или dominance). Овај начин синтезе омогућава промену ранга алтернатива и примењује се када је важно имати информацију о томе колико је нека алтернатива боља по питању одређеног критеријума у односу на све остале алтернативе. Поступак нормализације се постиже тако што се вредност алтернативе дели сумом вредности свих алтернатива по питању посматраног критеријума. Овај начин синтезе се назива и затворен систем, јер се укупан приоритет алтернативе по питању критеријума не мења, док је сума преференци свих алтернатива једнака 1. Преференција неке алтернативе ће порасти, уколико се смањи преференција неке друге алтернативе или уколико се елиминише нека друга алтернатива, и
- б) Идеални начин (енг. Ideal или performance). Препоручује се у случају постојања сличних алтернатива и даје одговор на питање како се понаша нека алтернатива по питању одређеног критеријума у односу на алтернативу која има најбоље вредности по питању посматраног критеријума. Нормализација се постиже тако што се вредност алтернативе дели са вредношћу алтернативе која се показала као најбоља за дати критеријум. Назива се и отворени систем јер се не врши подједнака дистрибуција

⁶ Неке од често коришћених скала превођења квалитативних атрибута у квантитативне су номинална, редна (ординална) скала, интервал скала и скала односа (Saaty, 2004).

приоритета критеријума на алтернативе, већ максималну вредност 1 добија алтернатива која се преферира.

4) Сензитивна анализа.

Провера осетљивости резултата на промену значаја неког од критеријума.

3.1.2. Метода адитивних тежинских фактора

Метода адитивних тежинских фактора (Simple Additive Weightings, Weighted Sum Model-WSM) спада у групу метода корисности, и једна од најједноставнијих и широко коришћених метода вишекритеријумске анализе која се математички формулише (Hwang, Yoon, 1981; Herath, Prato, 2006):

$$u_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \times w_j, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

где је:

u_i – свеукупна корист (енг. utility), тј. свеукупни резултат перформанси алтернативе

m – број алтернатива;

n – број критеријума;

w_{ij} – тежина критеријума, где важи $0 \leq w_{ij} \leq 1$, $\sum_{j=1}^n w_{ij} \neq 1$;

v_{ij} – нормализована вредност критеријума, која се може добити применом max - min нормализације:

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{за критеријуме типа корист}$$

$$v_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{за критеријуме типа трошак}$$

где је:

x_{ij} – елемент скупа;

x_{\max} – вредност скупа са максималном вредношћу и

x_{\min} – вредност са минималном вредношћу.

Нормализоване вредности су у интервалу $[0,1]$, при чему су највеће вредности једнаке 1, а најмање 0.

3.2. Методе рангирања

Методе рангирања коришћене у овом раду су PROMETHEE II и ELECTRE II методе које обезбеђују потпун поредак акција.

3.2.1 PROMETHEE метода

Метода PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) је једна од често коришћених метода вишег ранга коју је развио J.P. Brans 1982. године. Метода је прилично једноставна и ефикасна за решавање проблема ВКО, а први пут је представљена на конференцији у Канади 1982. године.

Постоји више варијанти методе (Brans, Mareschal, 2005):

- PROMETHEE I - за делимично рангирање алтернатива (Brans, 1982)
- PROMETHEE II - за потпуно рангирање алтернатива (Brans, 1982)
- PROMETHEE III - рангирање је засновано на интервалима (Brans, Marchal, 1985)
- PROMETHEE IV - када постоји непрекидан низ решења (Brans и Mareschal, 1984),
- PROMETHEE V - када постоје сегментне граничне вредности, (Brans, Marchal, 1992)
- PROMETHEE VI репрезентација људског мозга (Brans, Mareschal, 1994)

PROMETHEE метода служи за решавање проблема где је из коначног скупа алтернатива описаних са више атрибута потребно изабрати најприхватљивију алтернативу.

Поступак избора најприхватљивије алтернативе, заснива се на поређењу алтернатива у паровима, при чему алтернатива којом ни једна друга не доминира представља ефикасно решење (Ehrgott et al., 2005).

Вредности алтернатива по питању задатих критеријума представљају улазне податке за вредновање алтернатива.

Често се дешава да је алтернатива a боља од алтернативе b по питању једног критеријума, док је алтернатива b боља од a по питању неког другог критеријума. Да би се проблем решио, потребно је увести додатне информације (Ehrgott et al., 2005) односно:

1. одредити тежине критеријума (тј. „information between the criteria“) и
 2. направити избор функције преференције (тј. „information within each criterion“)
- Метода PROMETHEE од улазних података користи вредности критеријума за дате алтернативе и захтева да се сваком критеријуму додели преференција или тежина (при чему је сума свих тежина једнака 1).

Један од недостатака ове методе је непостојање водича за добијање тежина критеријума, за шта се може користити АНР метода.

Поред одређивања тежина критеријума приступа се одређивању релације преференције, односно доминације (енг. outranking relation), коју је 1968. године развио В. Роу за рангирање алтернатива (Brans, Vincke, 1985). Релација преференције $P(a,b)$ је функција разлике између вредности алтернатива a и b и говори о томе у којој мери нека алтернатива доминира над другом алтернативом по питању одређеног критеријума (Brans, Mareshal, 2005):

$$P_j(a,b) = F_j[d_j(a,b)] \quad \forall a,b \in A,$$

где је: $d_j(a,b)$ разлика вредности алтернативе a и b која се процењује за сваки критеријум посебно, односно:

$$d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b).$$

$$0 \leq P_j(a,b) \leq 1$$

Наведено важи за критеријуме који се максимизирају, у супротном важи следећа функција преференције: $P_j(a,b) = F_j[-d_j(a,b)] \quad \forall a,b \in A,$

Вредност $P_j(a,b)$ је у интервалу $[0,1]$, при чему су могућа следећа четири случаја:

$P_j(a,b) = 0$	Нема преференције (индиференција)
$P_j(a,b) \sim 0$	Слаба преференција
$P_j(a,b) \sim 1$	Јака преференција
$P_j(a,b) = 1$	Стриктна преференција

Постоје различите функције преференције дефинисане за шест типова општег критеријума, који се могу користити за решавање реалних проблема (Brans, Vincke, 1985): обична или основна, U - облика, V – облика, ниво, линеарна и Гаус функција преференције (Табела 3.1).

Након избора одговарајуће функције за сваки критеријум, потребно је одредити до два параметра од три могућа:

1. праг индиферентности (q) - највећа разлика вредности две алтернативе коју ДО сматра занемарљивом,
2. праг строге преференције (p) – најмања разлика вредности две алтернативе коју ДО сматра довољном за доделу потпуне преференције, и
3. праг са вредности између претходна два прага (s) – „тачка превоја“ функције преференције.

Ови параметри имају економски значај за разлику од неких параметара ELECTRE методе који имају технички карактер (прагови сагласности, несагласности) (Brans, Vincke, 1985; Oberschmidth et al., 2010).

Табела 3.1. Избор врсте критеријума и функција преференције

Врста општег критеријума	Функција преференције P(d)	Треба дефинисати
Тип I: Обичан критеријум	$P_{(d)} = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$	-
Тип II: Квази критеријум	$P_{(d)} = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases}$	q
Тип III: Критеријум са линеарном преференцијом	$P_{(d)} = \begin{cases} 0, & d < 0 \\ d / p, & 0 \leq x \leq n \\ 0, & x > n \end{cases}$	p
Тип IV: Ниво критеријум	$P_{(d)} = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1/2, & q < d < p \\ 1, & p \geq p \end{cases}$	p, q
Тип V: Критеријум линеарне преференције са подручјем индиферентности	$P_{(d)} = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d - q}{p - q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Тип VI: Критеријум квази-линеарне преференције	$P_{(d)} = 1 - e^{-d^2/2\sigma^2}$	σ

Извор: Brans, Vincke (1985)

Суштина општих критеријума је дата код Brans, Vincke (1985). Следећи корак је рачунање индекса преференције, који представља суму тежина критеријума и функција преференције добијену на следећи начин:

$$\begin{cases} \pi(a,b) = \sum w_j \times P_j(a,b) \\ \pi(b,a) = \sum w_j \times P_j(b,a) \end{cases}$$

Где је:

$\pi(a,b)$ – укупан индекс преференције алтернативе a у односу на алтернативу b ,

$\pi(b,a)$ – укупан индекс преференције алтернативе b у односу на алтернативу a

w_j – тежина критеријума j ,

$P_j(a,b)$ – вредност преференције алтернативе a у односу на алтернативу b ,

$P_j(b,a)$ – вредност преференције алтернативе b у односу на алтернативу a

Следећи корак је рачунање позитивног тока вишег реда: $\phi^+(a)$ и негативног тока вишег реда $\phi^-(a)$:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a)$$

Позитивни ток говори о моћи алтернативе, јер исказује колико је она боља од осталих, док негативни ток исказује слабост алтернативе, односно колико су остале алтернативе боље од посматране.

Метода PROMETHEE I на основу информације о позитвном и негативном току, омогућује утврђивање делимичних поредака алтернатива, на основу следећег:

$$\left\{ \begin{array}{l} aP^I b \text{ уколико је } \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ или} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ или} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases} \\ aI^I b \text{ уколико је } \{ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ aR^I b \text{ уколико је } \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ или} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{cases} \end{array} \right.$$

где су P^I, I^I и R^I редом: преференција, индиференција и неупордивост алтернатива.

PROMETHEE II метода рангира алтернативе на основу разлике позитивног и негативног тока, који се назива чисти ток:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Сматра се да се исправна одлука може донети уколико се поред коришћења PROMETHEE II методе, не искључи информација о неупоредивости акција коју пружа PROMETHEE I метода (Oberschmidt et al., 2010).

3.2.2. ELECTRE метода

ELECTRE методу чији акроним потиче од *ELimination Et Choix Traduisant la Realite* (енг. Elimination and Choice Expressing REality) што значи Елиминација и изборно представљање стварности, развио је 1965. год. Bernard Roy, емеритус професор на Université Paris-Dauphine и оснивач EURO⁷ групе и LAMSADE. Потреба за развојем ове методе, данас познате као ELECTRE уследила је услед недостатака постојеће методе одлучивања - MARSAN (Méthode d'Analyse, de Recherche, et de S'election d'Activités Nouvelles). Еволуирањем методе ELECTRE I настале су наредне верзије (Figueira et al., 2005): ELECTRE IV (electre one vee) која узима у обзир забрањени праг; ELECTRE IS (electre one esse), ELECTRE II, ELECTRE III код које је новина употреба псеудо-критеријума и фази бинарних релација; ELECTRE IV као једина ELECTRE метода која омогућава рангирање алтернатива без узимања у обзир коефицијената релативне важности критеријума, и ELECTRE TRI (енг. electre tree) као једноставнија метода од претходних која се користи за класификацију алтернатива у различите категорије.

Ове методе се могу користити за избор, рангирање или сортирање акција, у разним областима, као што су шумарство и пољопривреда, енергетика, заштита животне средине и управљање водним ресурсима, банкарство, управљање пројектима, војна индустрија, транспорт итд.

За методу ELECTRE је карактеристично (Figueira et al., 2005):

1. неопходно је одредити тежине критеријума којих мора бити најмање три,
2. подразумева агрегацију резултата свих критеријума (preference based aggregation method),

⁷Асоцијација европских друштава операционих истраживања (енг. Association of European Operational Research Societies) основана 1975. године у Бриселу

3. недостатак једног критеријума се не може надокнадити јаком перформансом другог критеријума (некомпензациона метода),
4. потребно је успоставити бинарне релације вишег ранга (енг. outranking relation), што подразумева упоређивање акција у паровима, и
5. потребно је дефинисати прагове који ће омогућити узимање у обзир свих оних незнатних разлика вредности критеријума за дат пар акција, што може утицати на коначан резултат.

Приликом поређења две акције у паровима могућа су четири случаја преференција:

- а) индиферентност када су две акције једнаке,
- б) строга преференција када постоје јасни разлози за фаворизовањем једне од две акције,
- ц) слаба преференца када две акције које се пореде, нису еквивалентне по значају, али се не може ни дати апсолутна преференција једној од разматране две акције,
- д) неупоредивост када не постоје јасни разлози за тврдњом да су две акције једнаке, или да постоји јака или слаба преференција једне од две посматране акције.

Метода ELECTRE I представља основу свих наредних верзија методе ELECTRE.

Користи се за избор најпожељније акције (алтернативе). Основни кораци методе су:

1. Дат је скуп акција $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ и критеријума $C = \{1, 2, \dots, j, \dots, m\}$, где су тежине критеријума j обележене са w_j . Евалуација акције a_i у односу на критеријум j (квантитативан и/или квантитативан) - $g_j(a_i)$ представља елемент почетне матрице одлучивања, димензије $n \times m$.

2. Почетна матрица одлучивања се квантификује уколико је неки од критеријума квалитативан. Поступак подразумева трансформацију квалитативног критеријума (дат на пример као "просечан", "висок", "врло висок") у нумеричке вредности.

3. Нормализација почетне, односно, квантификоване матрице одлучивања, врши се рачунањем норме: $\sqrt{\sum_{j=1}^m g_j(a_i)^2}$.

Елементи нормализоване матрице би се добили као: $n_{ij} = \frac{gj(ai)}{\sqrt{\sum_{j=1}^m gj(ai)^2}}$.

4. Рачунање тежинске нормализоване матрице врши се на основу преференција доносиоца одлуке у погледу разматраних критеријума w_j при чему је $\sum_{j=1}^n w_j$, и претходне, нормализоване матрице одлучивања.

5. Спроводи се тест сагласности и тест несагласности. У циљу провере тачности констатације "акција a_i је бар подједнако добра колико акција a_k ", под чиме се подразумева "акција a_i није лошија од акције a_k ", врши се провера теста сагласности и несагласности. Најпре се одређују скупови сагласности, поређењем парова акција из почетне матрице одлучивања, које се овде обележавају са ai и ak .

За критеријум типа максимизације важи: скуп сагласности $S_{ik} = \{j | x_{ij} \geq x_{kj}\}$.

Уколико је критеријум типа минимизације, скуп сагласности би био: $S_{ik} = \{j | x_{ij} \leq x_{kj}\}$.

Затим се одређују скупови несагласности, где за критеријуме типа максимизације важи $NS_{ik} = \{j | x_{ij} < x_{kj}\}$, односно за критеријуме типа минимизације важи

$NS_{ik} = \{j | x_{ij} > x_{kj}\}$.

6. Утврђују се елементи матрице сагласности и матрице несагласности. Индекси сагласности су елементи матрице сагласности, а индекси несагласности су елементи матрице несагласности, на основу којих се утврђује прихватљив праг индекса сагласности p и несагласности q .

Алтернатива ai се преферира у односу на алтернативу ak само уколико важи да је $c(ai, ak) \geq p$ и $d(ai, ak) \leq q$.

На основу скупова сагласности и несагласности за пар акција a_i и a_k , одређују се индекси сагласности $c(i,k)$, и индекси несагласности $d(i,k)$. Индекс сагласности се добија као сума тежина критеријума за које је вредност акције a_i већа или једнака вредности акције a_k , односно:

$$c(i,k) = \frac{W^+(a_i, a_k) + W^-(a_i, a_k)}{W^+(a_i, a_k) + W^-(a_i, a_k) + W^-(a_i, a_k)}$$

где је:

$W^+(a_i, a_k)$ – сума тежина свих критеријума за које важи $g_i(a_i) > g_i(a_k)$

$W^=(a_i, a_k)$ – сума тежина свих критеријума за које важи $g_i(a_i) = g_i(a_k)$

$W^-(a_i, a_k)$ – сума тежина свих критеријума за које важи $g_i(a_i) < g_i(a_k)$

$$W^+(a_i, a_k) + W^=(a_i, a_k) + W^-(a_i, a_k) = \sum w_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Као минимални прихватљиви ниво сагласности обично се усваја вредност 0,5, док је максимални ниво сагласности нижи од 1, односно: $0,5 < c(i, k) < 1$ (Duckstein, Gershon, 1983). Већа вредност индекса сагласности, тј. вредност ближа 1 указује на већу сагласност.

Индекс несагласности $d(a_i, a_k)$ који се добија на следећи начин:

$$d(i, k) = \frac{\max_j (g_j(a_i) - g_j(a_k))}{\delta}$$

где је:

$g_j(a_i)$ – вредност алтернативе ai за критеријум c_j

$g_j(a_k)$ – вредност алтернативе ak за критеријум c_j

$\delta = \max |g_j(b) - g_j(a)|$ је максимална разлика вредности алтернатива ai и ak које се пореде по критеријумима.

7. Утврђивање елемената матрице сагласне и несагласне доминације.

Елементи матрице сагласне доминације $C(i, k)$ могу имати вредност 0 или 1, која зависи од вредности индекса сагласности $c(i, k)$ и прихватљивог индекса сагласности који се добија као аритметичка средина елемената матрице

$$\text{сагласности, тј. } ПИС = c^+ = \sum_{\substack{ai=1 \\ ai \neq ak}}^n \sum_{\substack{al=1 \\ al \neq ak}}^n \frac{c(i, k)}{n(n-1)}.$$

Уколико је $c(i, k) \geq c^-$ тада је $C(i, k) = 1$, односно када је $c(i, k) < c^-$ тада је $C(i, k) = 0$.

Елементи матрице несагласне доминације $D(i, k)$ могу имати вредност 0 или 1, која зависи од вредности индекса несагласности $d(i, k)$ и прихватљивог индекса несагласности који се добија као аритметичка средина елемената матрице

$$\text{несагласности, тј. } ПИНС = d^+ = \sum_{\substack{ai=1 \\ ai \neq ak}}^n \sum_{\substack{al=1 \\ al \neq ak}}^n \frac{d(i, k)}{n(n-1)}.$$

Уколико је $d(i,k) \leq d^+$ тада је $D(i,k)=1$, односно када је $d(i,k) > d^+$ тада је $D(i,k)=0$.

8. Одређују се елементи матрице агрегатне доминације као производ елемената матрице сагласне и матрице несагласне доминације, тј. $C(i,k) \times D(i,k)$. Уколико су $C(i,k)$ и $D(i,k)$ једнаки 1, значи да акција ai доминира над акцијом ak .

9. Издвајање акције која доминира над осталим акцијама елиминисањем мање пожељних акција је последњи корак. Акција која има највећи број 1 (као резултат израза $C(i,k) \times D(i,k)=1$, је акција која доминира.

Roy и Bertier су 1973. године предложили ELECTRE II методу која омогућава потпуно рангирање алтернатива (Tzeng, Huang, 2011). Код ELECTRE II методе постоје три прага слагања и два прага неслагања која се користе за дефинисање "јаке" и "слабе" релације вишег ранга која се користи за рангирање алтернатива (Чупић, Сукновић, 2010).

Потребно је дефинисати три нивоа слагања: висок, просечан и низак које се обележавају c^+ , c^0 и c^- , при чему важи $0,5 \leq c^- \leq c^0 \leq c^+ \leq 1$. Акције могу припадати неком од три скупа сагласности, где разликујемо:

а) високу сагласност: $c(i,k) \geq c^+$

б) просечну сагласност: $c(i,k) \geq c^0$,

ц) ниску сагласност : $c(i,k) \geq c^-$.

Поред три нивоа слагања, постоје и два нивоа неслагања: d^+ и d^- . Сваки пар акција припада неком од скупова несагласности, где је: а) ниска несагласност: $d(i,k) \leq d^+$ и б) висока несагласност: $d(i,k) \leq d^-$.

За "јаку" релацију вишег ранга користе се два прага слагања и један праг неслагања, где мора бити задовољен један од услова:

а) тест слагања је строго задовољен уколико је $c(i,k) \geq c^+$, а тест неслагања прилично задовољен, односно где је $d(i,k) \leq d^+$, при чему је задовољен и услов $W^+(i,k) \geq W^-(i,k)$ или

б) тест слагања је прилично задвољен када је $c(i,k) \geq c^0$ и: $d(i,k) \leq d^-$ тест неслагања строго задовољен, где такође важи $W^+(i,k) \geq W^-(i,k)$.

За "слабу" релацију вишег ранга, користи се један праг слагања и један праг неслагања. Ова релација важи уколико је тест слагања слабо задовољен, а тест неслагања прилично задовољен, тј. где је: $c(i,k) \geq c^-$, $d(i,k) \leq d^+$ и $W^-(i,k) \geq W^-(i,k)$.

На основу ове две релације утврђује се директан и индиректан (инверзан) редослед акција (Duckstein, Gershon, 1983; Raj, Kumar, 1996). Процес је итеративан и састоји из три корака:

- 1) поступак одређивања директног ранга акција y' , који се заснива на елиминацији акција којима не доминира ни једна друга акција,
- 2) поступак одређивања индиректног ранга акција y'' , који се заснива на елиминацији акција које не доминирају ни једном другом акцијом
- 3) одређивање коначног ранга акција y , на основу директног и индиректног ранга, применом формуле $y=y'+y''$.

За директни и индиректни поступак одређивања ранга акција важи следеће: а) итерација у којој се акција елиминише, одређује приоритет акције, б) поступак се итеративно понавља док се не утврде приоритети и осталих акција и ц) максимални број итерација одговара укупном разматраном броју акција.

3.3. Методе за одређивање тежина критеријума

Различити приступи се могу користити за одређивање тежина (значаја) критеријума, међу којима су а) објективни приступ (Метода најмањих квадрата, енг. Least Mean Square - LMS; Техника рангирања на основу сличности идеалном решењу, енг. Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS; Entropy, стандардна девијација, Метода за одређивање тежина на основу корелације између датих критеријума, енг. Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation - CRITIC), субјективни приступ (Метод директног вредновања, енг. Direct Rating Method, Метода поређења у паровима, енг. Pairwise Comparison, Техника која поједностављује приступ рангирању, енг. Simple Multi-Attribute Rating Technique - SMART, Delphi метода) или комбинација претходно наведених приступа (Zardari et al., 2015). У овом раду су од објективних приступа коришћене стандардна девијација и метода ENTROPY, од субјективних је примењено

поређење у паровима, а комбиноване тежине су одређене по Jahan, Edwards (2013).

3.3.1. Објективне методе за одређивање тежине критеријума

3.3.1.1. ENTROPY метода

ENTROPY метода користи теорију вероватноће да искаже степен неизвесности коју информација садржи. Тежине критеријума (w_j) се одређују на основу информације ENTROPY методе (E_j), за чије одређивање је потребно најпре нормализовати вредности улазних података (p_{ij}):

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{i=1}^n (1 - E_k)} \quad j = 1, \dots, n$$

$$E_j = - \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right) / \ln(m) \quad j = 1, \dots, n$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$$

где су:

w_j – тежина која се добија применом ENTROPY методе

E_j – информација ENTROPY методе (вредност ентропије)

p_{ij} – нормализована вредност улазних података

x_{ij} – улазни податак

m – број алтернатива

n – број критеријума

3.3.1.2. Метод стандардне девијације

Стандардна девијација је субјективни приступ одређивању тежина критеријума, сличан ENTROPY методи, где распон вредности алтернатива за дати критеријум j , одређује његову тежину. То значи да ће тежина критеријума имати вредност ближу 0 уколико све алтернативе имају сличне вредности по питању тог критеријума, и обрнуто, тежина ће бити ближа 1 када се вредности алтернатива по питању одређеног критеријума значајно разликују.

Формуле за прорачун тежине критеријума w_j и стандардне девијације σ_j су:

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}} \quad j = 1, \dots, n$$

где је:

w_j – тежина критеријума

σ_j – стандардна девијација

x_{ij} – вредност улазних података (вредност алтернативе за критеријум j)

\bar{x}_j – средња вредност алтернатива за критеријум j

3.3.2. Субјективне методе за одређивање тежине критеријума

3.3.2.1. Метода поређења у паровима

Метода поређења у паровима (енг. Pairwise comparisons) је саставни део АНР методе. Метода поређења у паровима се састоји из неколико корака, и први подразумева квантификацију квалитативних критеријума (уколико се такви критеријуми разматрају), применом различитих скала превођења, за шта се може користити скала са интервалима од 1-9 (Табела 3.3). Следећи корак је формирање матрице поређења $A[a_{ij}]$ где се унесе вредности које се добијају као резултат компаративне процене, односно, поређења критеријума у паровима:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Критеријуми се пореде применом скале релативног значаја коју је дао Saaty (Табела 3.2), где се важност једног критеријума наспрам другог, може вербално исказати као: исти значај, слаба доминантност, јака доминантност итд., што се квантификује користећи одговарајуће вредности.

Сви елементи матрице A имају позитивне вредности, веће од 0. Елементи матрице испод дијагонале a_{ji} имају реципрочне вредности елемената изнад главне дијагонале a_{ij} док елементи на главној дијагонали имају вредности једнаке 1, односно: $a_{ij} > 0$, $a_{ji} = 1/a_{ij}$, $a_{ii} = 1$ за свако $i, j = 1, 2, \dots, n$. Број матрица зависи од броја елемената матрице n и одређује се преко израза: $n \times (n-1) / 2$.

Следећи корак је одређивање тежина, тј. релативног значаја критеријума, чије су вредности у интервалу $[0,1]$, применом неке од метода: методе адитивне нормализације (енг. Additive Normalization Method – AN), метода сопствених вредности (енг. Eigenvector Method – EV), логаритамског метода најмањих квадрата (енг. The Logarithmic Least Squares Method – LLS) (Srdjevic, 2005):

А) Метода адитивне нормализације.

Да би се добио вектор приоритета w , потребно је поделити елементе колоне матрице A сумом елемената те колоне (нормализовати колону), затим сабрати елементе и суму додати у сваку резултујућу врсту и коначно, поделити ову суму бројем елемената те колоне. Ова процедура је описана релацијама:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a'_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Б) Метод сопствених вредности.

Као тражени вектор приоритета w може се усвојити вектор сопствених вредности матрице A (Saaty, 1980). Да би се одредио овај вектор, линеарни систем:

$$Aw = \lambda w, \quad e^T w = 1,$$

решава се тако да се добије као максимална сопствена вредност матрице A . Ако је ДО конзистентан, тада је $\lambda = n$, у супротном $\lambda > n$. Максимална сопствена вредност за неконзистентну матрицу може се оценити узастопним квадрирањем матрице, нормализујући суму врста сваки пут и прекидањем процедуре када је разлика између нормализованих сума у два узастопна рачунања мања од очекиване вредности.

Да би се проверила конзистентност поређења у паровима и квалитет добијеног резултата, прво се израчунава индекс конзистентности CI (енг. consistency index),

помоћу обрасца:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

где је:

λ_{\max} – максимална сопствена вредност матрице, n – број елемената матрице поређења.

Степен конзистентности CR (енг. consistency ratio) је однос индекса конзистентности CI и тзв. случајног индекса RI (енг. random index): $CR=CI/RI$.

Вредност RI за разне редове матрица одређена је статистичким путем на бази узорка од 500 и 1000 случајно генерисаних матрица поређења (Saaty, 1980). На пример, за матрицу реда 4, случајни индекс је 0,90. Толерантна вредност степена конзистентности CR је 0,10.

Ц) Логаритамски метод најмањих квадрата.

Овај проблем је варијација директног метода најмањих квадрата (енг. The Direct Least Squares Methods - DLS) и метода отежаних најмањих квадрата (енг. The Weighted Least Squares - WLS) тако да се решава проблем једнокритеријумске оптимизације:

$$\min D_L(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j>1}^n [\ln a_{ij} - (\ln w_i - \ln w_j)]^2$$

под условом да је:

$$\prod_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Табела 3.2. Saaty-јева скала релативног значаја

Значај	Дефиниција	Објашњење
1	Истог значаја	Два елемента су идентичног значаја у односу на циљ
3	Слаба доминантност	Искуство или расуђивање незнатно фаворизују један елемент у односу на други
5	Јака доминантност	Искуство или расуђивање знатно фаворизују један елемент у односу на други
7	Демонстрирајућа доминантност	Доминантност једног елемента потврђена у пракси
9	Апсолутна доминантност	Доминантност највишег степена
2,4,6,8	Међувредности	Потребан компромис или даља подела

Извор: Saaty (1980)

Табела 3.3. Квантификација квалитативних критеријума у квантитативне

Квалитативна оцена	лош	добар	просечан	врло добар	одличан	Тип критеријума
Квантитативна оцена	1	3	5	7	9	максимизација
	9	7	5	3	1	минимизација

Извор: Чупић, Сукновић (2010)

Табела 3.4. Вредности случајног индекса RI

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Извор: Saaty (1980)

3.3.3. Интегралне методе за одређивање тежина критеријума

3.3.3.1. Комбиновање субјективних, објективних и корелационих тежина

Тежине критеријума се могу одредити поступком који подразумева комбинацију тежина које су добијене као резултат: субјективне процене доносиоца одлука, објективног одређивања тежина критеријума и корелације између разматраних критеријума (Jahan, Edwards, 2013):

$$w_j = w_j^s \lambda + w_j^o \frac{(1-\lambda)}{2} + w_j^c \frac{(1-\lambda)}{2}$$

где је:

w_j – коначна тежина критеријума

w_j^s – субјективна тежина критеријума j

w_j^o – објективна тежина критеријума j

w_j^c – корелациона тежина критеријума j

λ – коефицијент чија се вредност одређује субјективно,

при чему важи: $0 \leq \lambda \leq 1$ и $\lambda + \frac{(1-\lambda)}{2} + \frac{(1-\lambda)}{2} = 1$.

Одређивање значаја субјективних, објективних и корелационих тежина критеријума могуће је преко одређивања вредности параметра λ . Уколико се доносилац одлуке може поуздати у своје искуство, параметар λ може имати веће вредности, а тиме и субјективна тежина одлучујућу улогу у дефинисању коначне тежине критеријума (Jahan, Edwards, 2013).

3.4. Методе вишекритеријумске оптимизације

Методe вишекритеријумске, односно вишециљне оптимизације (енг. Multi-objective optimization – MOO) користе се за решавање проблема одлучивања где се проблем математички формулише помоћу две или више функција циља које се истовремено оптимизију (максимизују или минимизују). Функције циља су критеријуми, који узимајући у обзир ограничења постизања циља, достижу глобални екстремум за оптимално решење (најбољу алтернатива). Тако добијена алтернатива представља најбољи компромис између постављених критеријумских функција, које су често конфликтне природе.

Кораци у спровођењу поступка оптимизације су:

- 1) дефинисање циљева који се желе постићи,
- 2) формални (математички) опис проблема, дефинисањем функција циља (критеријумских функција) и ограничења,
- 3) примена оптимизационе методе и
- 4) проналажење решења и доношење одлуке (усвајање или одбацивање решења).

Проблеми вишециљне оптимизације се могу решавати применом два приступа:

- 1) вишекритеријумско одлучивање које користи технике математичког програмирања и 2) еволуцијски алгоритми.

Више циљна оптимизација применом метода математичког програмирања се математички формулише:

$$\min_{x \in S} [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$$

при чему је $n > 1$, а S представља скуп ограничења.

Вектор $x^* \in S$ је ефикасно, доминантно или недоминирано решење, тј. Парето оптимум за вишециљни проблем уколико сви други вектори $x \in S$ имају веће вредности по питању бар једне функције циља f_i ($i = 1, \dots, n$), или имају исте вредности функције циља, односно разликује се:

- слабо ефикасно решење или слаби Парето оптимум постоји само ако и

само ако не постоји $x \in S$ при чему је $f_i(x) < f_i(x^*)$ за свако $i \in \{1, \dots, n\}$, и

- јако ефикасно решење или јак Парето оптимум постоји само ако и само ако не постоји $x \in S$ при чему је $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ за свако $i \in \{1, \dots, n\}$ са бар једном неједнакости.

Скуп свих ефикасних решења се назива Парето крива или површ (енг. Pareto curve, Pareto surface).

У класичне методе вишециљне оптимизације спадају: метода тежинских коефицијената (Weighted Sum Method), метода компромиса (Trade-off Method), метод глобалног критеријума (Global Criterion Method) и др.

3.4.1. Метода компромиса

Метода компромиса (Trade-off method) која се назива и метода ε -ограничења (енг. ε -Constraint Method) подразумева оптимизацију једне, примарне функције циља $f_r(x)$, док се друга функција циља $f_i(x)$, где је $i = 1, \dots, k$ и где је $i \neq r$ назива секундарном функцијом која се третира као ограничење.

Тражи се оптимално решење x^* r -те функције циља која гласи:

$$f_r(x^*) = \text{opt } f_r(x)$$

уз ограничења:

$$f_i(x) \leq \varepsilon_i \text{ за } i = 1, 2, \dots, k \text{ и } k \neq r \text{ проблем минимизације}$$

$$f_i(x) \geq \varepsilon_i \text{ за } i = 1, 2, \dots, k \text{ и } k \neq r \text{ проблем максимизације}$$

Вектор ε_i је вредност која се претпоставља, а најбоље ју је утврдити оптимизацијом појединачне функције циља.

3.4.2. Метод тежинских коефицијената

Метод тежинских коефицијената (Weighted sum method) подразумева да се код вишециљног проблема оптимизације, вектор $f(x)$ конвертује у тежинску суму свих заданих циљева:

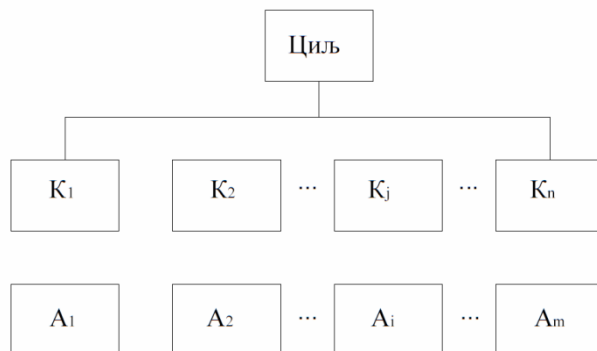
$$f(x) = \sum_{i=1}^k w_i \cdot f_i(x)$$

где је:

w_i – тежина која одражава релативни значај циља, при чему је $\sum_{i=1}^k w_i = 1$,
 $w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, k$.

3.5. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије и бујица

Примена методе АНР омогућава структурирање проблема одлучивања у виду хијерархије, која је овом раду дефинисана са три нивоа. На првом нивоу је циљ, на другом су критеријуми (K_1, K_2, \dots, K_n) и на трећем су алтернативе (A_1, A_2, \dots, A_m).



Слика 3.1. Хијерархија проблема одлучивања

Извор: аутор

У области заштите од ерозије и бујица, приликом одлучивања о подручју које се штити, као основни циљ се може поставити избор најугроженијих површина чија је заштита приоритетна, при чему су саме површине (парцеле, поља полигони, подсливови, сливови) алтернативе између којих се одлучује, док су критеријуми углавном везани за сам процес ерозије и узрочнике настанка ерозије, односно бујичних поплава.

Код моделирања проблема одлучивања у области заштите од ерозије и бујица, алтернативе представљају подсливови генерисани применом Arc Hydro алгорита у ArcMap-у 10.2.2., применом процедуре објашњене у Youssef et al. (2011) и Радић (2014). Број издвојених подсливова у три изучавана слива варира, у зависности од

дефинисаног прага (минимална узводна површина неопходна да се дефинише ток), и износи 9 (у сливу Топчидерске реке), 11 (у сливу реке Топлице) и 19 (у сливу реке Расине).

Уколико се одлуке тичу избора мера за заштиту угроженог подручја, основни циљ је најефективнија заштита подручја, где сами радови или мере представљају алтернативе одлучивања, а критеријуми се разликују у зависности од ближе дефинисаног циља.

3.5.1. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије

3.5.1.1. Поставка проблема

Хијерархијска структура проблема одлучивања у области заштите од ерозије применом критеријума RUSLE методе се може представити применом АНР методе, као на Слици 3.1. Циљ проблема одлучивања се односи на утврђивање редоследа угрожености површина, који се може одредити применом наведених метода корисности или методе вишег ранга. Пре спровођења метода, потребно је утврдити вредности критеријума који се користе за евалуацију алтернатива (подсливови). Као критеријуми се могу користити параметри неке од метода за процену ерозије земљишта, а најчешће примењивана је Универзална једначина губитака земљишта (Universal Soil Loss Equation – USLE) као и њене модификације и ревизије.

3.5.1.2. Одређивање критеријума

USLE је широко прихваћена и коришћена методологија, чији се почeci везују за 1940. годину, када се само два фактора користе за процену ерозије земљишта: нагиб (%) и дужина нагиба (Lafren, Flanagan, 2013). Wischmeier и Smith 1954. године у САД развијају USLE (Wischmeier, Smith, 1978), која омогућава предвиђање средње годишњих губитака земљишта на нивоу парцеле или већих просторних јединица (слива) на основу шест параметара. Ревизијом R, K, C и P фактора од стране Renard et al. 1989. године, настаје њена ревизија - Revised Universal Soil Erosion Equation (RUSLE) (Nikkami, 1999), која се добија применом формуле:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad [t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}]$$

где је:

A – губитак земљишта по јединици површине [$t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$]

R – фактор ерозионе снаге кише [$MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot god^{-1}$]

K – фактор еродибилности земљишта [$t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$]

LS – фактор дужине и нагиба падине

C – фактор биљног покривача

P – фактор противерозионих мера

1) Одређивање R фактора.

Вредности R фактора (кишни фактор) могу се одредити према Grimm et al. (2003) и van der Knijff et al. (1999, 2000) у $MJ \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot god^{-1}$, који су за подручје Тоскане предложили примену следеће формуле:

$$R = a \cdot P_j \quad [MJ \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot god^{-1}]$$

где је:

P_j – средње годишње количине падавина у mm,

a – емпиријски коефицијент, који има вредност од 1,1-1,5 за који је на основу 25 локација у Тоскани усвојена вредност 1,3.

Просторна дистрибуција падавина може се извршити користећи традиционалне методе као што су Thiessen–ови полигони, карта изохијета, као и применом напреднијих метода попут: Inverse Distance Weighted Average (IDW), Kriging, Proximal, B-Spline, Fourier Series итд.

2) Одређивање K фактора.

Фактор еродибилности земљишта (K фактор) се дефинише као просечна годишња вредност губитака земљишта по јединици индекса ерозивности мерених на парцели нагиба 9% и дужине 22,13 m. Директна мерења K фактора захтевају оснивање и одржавање парцела са природним протицајем и дугорочна осматрања на бројним локацијама, што изискује велике трошкове и навело је многе истраживаче да потраже једноставнији начин одређивања K фактора, користећи расположиве податке. Пример су прорачун еродибилности по једначини Wischmeier и Smith из 1965. године, номограм који су дали Wischmeier и Smith из 1971. године или номограм (Foster et al., 1981) (који дају везу између текстуре

земљишта, садржаја органске материје, структуре земљишта и водопропустљивости), једначина коју су дали Römken et al. (1997) која се базира на средњем пречнику честица земљишта и др.

Бројни аутори су подложност земљишта ерозији одређивали на основу садржаја песка, праха, глине и органске материје у земљишту, тј. параметара које користи Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) модел⁸ (Wawer et al., 2005; Zhang et al., 2008; Wang et al., 2016).

Прорачун К фактора по EPIC моделу подразумева примену формуле коју су развили Williams et al. (1984):

$$K = \left(0,2 + 0,3 \exp \left(-0,0256 \times SAN \times \left(1 - \frac{SIL}{100} \right) \right) \right) \times \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0,3} \\ \times \left(1 - \frac{0,25 \times C}{C + \exp(3,72 - 2,95 \times C)} \right) \times \left(1 - \frac{0,7 \times SN_1}{SN_1 + \exp(-5,51 + 22,9 \times SN_1)} \right) [t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}]$$

где је:

SAN, SIL, CLAY, C – садржај песка, праха, глине и угљеника у земљишту [%]

$$SN_1 = 1 - \frac{SAN}{100}$$

3) Одређивање С фактора.

Овај фактор одражава ефекат вегетације и начина коришћења на губитке земљишта. Према дефиницији, С фактор представља однос губитака земљишта са обрадиве површине која се налази под одређеним усевом или биљним покривачем, према губицима са контролне парцеле под угаром (Kadović, 1999). Постоји више приступа одређивању С фактора, који захтевају теренска истраживања, или подразумевају примену технике даљинске детекције, међу којима је трансформација NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), или се заснивају на додели вредности С фактора регистрованим начинима коришћења на основу прегледа литературе (Tanuș et al., 2015). Један од најпримењиванијих начина за одређивање С фактора, коришћен и у овом раду, заснива се на дефинисању бројчане вредности из интервала [0-1], на основу прегледа

⁸ Познат касније као Environment Policy Integrated Climate Model, који се користи за симулацију ефеката ерозије земљишта на производњу усева

литературе, и додели те вредности регистрованим начинима коришћења земљишта.

4) Одређивање LS фактора.

Од свих шест фактора који су неопходни за прорачун губитака земљишта применом USLE/RUSLE метода, највећи утицај на промену губитака земљишта Европе има фактор који одражава утицај топографије терена, односно LS фактор (Panagos et al., 2015). Постоји више начина за одређивање LS фактора, а један од њих који је коришћен у овом раду је преко једначине Desmet- а Govers-а (1996), уз коришћење 25 m DEM-а и ArcGIS софтвера.

5) Одређивање P фактора.

Фактор противерозионих мера или P фактор, представља однос губитака земљишта на падинама где су примењене противерозионе мере према губицима земљишта на падинама које су узоране низ нагиб (Kadović, 1999). За све подсливове, у сва три изучавана подручја, због недостатка података о примени конзервационих мера и радова, усвојена је вредност P фактора једнака 1. Ова вредност се усваја и у случају не предузимања конзервационих мера.

3.5.2. Идентификација најугроженијих ("hot spot") површина

Идентификовање површина најугроженијих ерозијом земљишта се може извршити у ArcMap-у, класификовањем вредности губитака земљишта у категорије угрожености, које се приказују просторно и указују на локацију која захтева примену одређених мера и/или радова. Постоји више метода класификације података у ArcMap-у, као што су једнаки интервали, геометријски интервали, класификација заснована на Јенксовој методи оптимизације, слободно подешавање интервала и др. (Lin, 2013).

3.5.3. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од бујица

Хијерархијски модел АНР методе дат за поставку проблема одлучивања у области заштите од ерозије (Слика 3.1), важи и за доношење одлука у области заштите од штетног деловања бујичних поплава. Општи циљ је борба против штетног

деловања бујичних поплава, који се може ближе одредити у зависности од тога да ли утврђују локације које се штите или се врши избор мера и радова.

3.5.3.1. Моделирање проблема одлучивања на основу природних карактеристика бујичних сливова

У циљу избора најефикаснијих радова и мера за уређење бујичних сливова, потребно је спровести анализу хидрографских и геоморфолошких параметара који одражавају потенцијал слива за појаву бујичних поплава. Поред могућности појаве поплава, анализа ових параметара се сматра значајном анализом јер указује на режим отицања, на ретенцију воде и наноса и интензитет ерозије (Al-Rowaily et al., 2012). Ова анализа подразумева издвајање мреже водотокова за дати слив, односно подсливова (који представљају алтернативе одлучивања), на основу које се утврђују параметри: површина подслива, коефицијент облика подслива, густина хидрографске мреже, редни број токова, стопа бифуркације, учесталост тока, релативни пад тока, коефицијент ерозионе енергије као и бројни други. Ови параметри су у светској литератури познати као морфометријски параметри слива, како ће бити означени и у овом раду, где су за анализу одабрани:

1. Површина (под)слива (K1). Од површине слива зависи време концентracије вода и овај параметар директно утиче на запремину воде која долази до излазног профила. Мањи подсливови су осетљивији на падавине већег интензитета и кратког трајања.

$$A \quad [km^{-2}, ha]$$

2. Густина хидрографске мреже (K2). Један је од најважнијих параметара за процену отицаја. Гушћа хидрографска мрежа утиче на то да је врх поплавног таласа већи, и да до њега долази раније. Зависи од односа дужине токова и површине слива:

$$D = \frac{\sum L}{A} \quad [km \cdot km^{-2}]$$

где је:

$\sum L$ – збир дужине главног тока водотока и свих протока I, II, и III реда [km],

A – површина слива [km²]

3. Коефицијент облика (под)слива (К3). Уколико су сливови издужени, дужина главног тока је већа, и у том случају је и дуже време концентрације вода, односно мања је вероватноћа да ће вода са више локација у сливу доћи у истом тренутку до излазног профила. Насупрот томе, сливови кружног облика, имају краћу дистанцу од коте врха и коте ушћа слива, а тиме и брже време концентрације. Коефицијент облика слива зависи од обима слива и дужине слива по главном току (Gavrilović, 1972):

$$S = 0,195 \times \frac{P}{L}$$

где је:

P – обим слива по вододелници [km],

L – дужина слива по главном току [km].

4. Релативни пад тока (К4). Овај параметар зависи од разлике у надморској висини коте врха и коте ушћа слива, и дужине слива по главном току:

$$J_t = \frac{K_v - K_u}{L} [m/m] * 100 [\%]$$

где је:

K_v – кота врха слива

K_u – кота ушћа

L – дужина слива по главном току [m].

Релативни пад тока указује на време концентрације вода. Уколико је пад већи, мања количина воде се инфилтрира у земљиште, а ка излазном профилиу тече већа количина воде, при чему је време концентрације краће него у случају малих падова.

5. Средњи пад (под)слива (К5). Овај параметар зависи од дужине изохипси и еквилистанце, односно рељефа и површине слива. Уколико је рељеф блажи, и средњи пад слива ће имати мање вредности, и обрнуто. Рачуна се преко формуле:

$$J_{sr} = \frac{1}{A} \left[h_o \times \frac{L_1}{2} + (L_2 + L_3 + \dots + L_n) \times h + h_n \times \frac{L_n}{2} \right] \quad [m \cdot km^{-1} или \%]$$

где је:

A – површина слива [km^2]

$L_1, L_2, \dots, L_{n-1}, L_n$ – дужина појединих изохипси [km]

h – еквидистанца („ход“ изохипси) [m]

h_0 – висинска разлика између најниже тачке слива (тачке профила за коју се рачуна средњи пад) и изохипсе L_1 [m]

h_n – висинска разлика између највише коте слива и изохипсе L_n [m]

6. Стопа бифуркације (К6). Бифуркација означава рачвање речног тока. Да би се одредила, потребно је токове, било да су привремени или стални, класификовати на одређени начин (Rahaman et al, 2015). У раду је усвојена класификација по Strahler-у (1957), према којој су најмањи токови дефинисани као токови 1. реда, при чему спајањем два тока 1. реда, настају токови 2. реда, спајањем два тока 2. реда настају токови 3. реда, и на тај начин настају токови вишег реда. Главни ток је сегмент тока у који се улива сва вода и нанос који дотичу из притока нижег реда.

Бифуркација се може добити као однос броја токова одређеног реда и броја токова наредног већег реда:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

где је:

Rb – стопа бифуркације

Nu – број токова n реда

$Nu+1$ – број токова $n+1$ реда

За цео слив бифуркациона стопа се добија као аритметичка средина бифуркационих стопа свих редова.

7. Текстурна стопа (К7). Текстурна стопа представља однос броја токова првог реда и обима слива (Biswas, 1999):

$$T = \frac{\sum NI}{P}$$

где је:

T – текстурна стопа

$\sum NI$ – укупан број токова 1. реда

P – обим слива

8. Учесталост тока (K8). Овај параметар представља однос укупног броја токова и површине слива:

$$F_s = \frac{Nu}{A}$$

где је:

F_s – учесталост токова

Nu – укупан број токова у сливу

A – површина слива у km^2

9. Коефицијент ерозионе енергије рељефа (K9). Утицај рељефа и конфигурације терена на развој ерозионих процеса, се може исказати коефицијентом који се рачуна по Silverstrov-у:

$$E_r = \frac{H}{3,14 \times \sqrt[4]{A}} \quad [m \cdot km^{-1/2}]$$

где је:

H – локални базис ерозије, који зависи од разлике коте врха и коте ушћа:

$$H = K_v - K_u \quad [m]$$

A – површина слива [km^2]

10. Геоморфолошко-ерозиони коефицијент (K10). Зависи од густине хидрографске мреже и коефицијента ерозионе енергије, и што су они већи, већи је и геоморфолошко-ерозиони коефицијент:

$$M = D \times E_r \quad [m \cdot km^{-2/3}]$$

где је:

M – морфолошко-ерозиони коефицијент

D – густина хидрографске мреже

E_r – коефицијент ерозионе енергије рељефа

3.5.3.2. Моделирање проблема одлучивања са аспекта заштите бујичног слива изградњом преграда

3.5.3.2.1. Дефинисање циља и могућих опција изградње преграда

Поставка проблема може бити извршена у виду хијерархије (Слика 3.1), при чему циљеви могу бити избор најбоље локације или најефективније комбинације преграда. У складу са тим, алтернативе могу представљати локације на макро плану – токови водотока одређеног сливног подручја или микро локације – профили за изградњу преграда, као и комбинације преграда које се разликују по корисној висини, броју објеката и току где се граде.

3.5.3.2.2. Дефинисање критеријума

Критеријуми који се могу корисити за рангирање преграда или профила на којима се граде су:

1) Цена изградње објекта (K1)

Цена изградње преграда зависи од материјала који се користи за изградњу преграда и морфологије тока (ширине корита водотока на профили на којем се преграда планира, висине обала).

Цена изградње преграда од бетона је утврђена на основу предмера и предрачуна радова (Табеле из Прилога Д, од Д.1 до Д.24). Предмер је урађен за преграду корисне висине hk , утврђене на основу хидрауличких прорачуна и статичких прорачуна датих у Табелама Г.1, Г.2, Г.3 и Г.4 у Прилогу Г. Јединична цена коришћена за процену радова добијена је из ВДП "Ерозија" из Ваљева. Цена изградње представља критеријум који се минимизира.

2) Количина задржаног наноса (K2)

Једна од главних функција преграде, поред стабилизације обала речног корита, ублажавања нагиба и брзине тока, је и депонијска улога тј. задржавање вученог наноса и спречавање његовог даљег одношења. Овај критеријум је типа максимизације, јер је већа ефективност уколико је количина задржаног наноса већа.

Запремина задржаног наноса у заплаву преграде рачуна се на основу корисне висине преграде hk , средње ширине заплава m , природног пада корита водотока It и пада заплава Iz .

$$W = \frac{m \times hk^2}{2 \times (Jt - Jz)}$$

где је:

W – запремина задржаног наноса у m^3

m – средња ширина заплава у m

hk – корисна висина преграде у m

Jt – природни пад корита водотока у децималном облику

Jz – пад заплава у децималном облику

3) Цена $1m^3$ задржаног наноса (K3)

Економична изградња објекта подразумева нижу цену улагања у изградњу објекта, али економичност изградње зависи и од цене $1m^3$ задржаног наноса. Ова цена представља однос цене изградње објекта и количине задржаног наноса. Овај критеријум се минимизира.

4) Дужина заплава (K4)

Таложењем наноса у заправу преграда редукује се природни пад корита, а тиме се редукује и брзина тока, продужава се време концентрације вода, и редукује поплавни талас.

Дужина заплава L зависи од корисне висине преграде hk , вредности релативног пада тока It и пада заплава Iz : $L = hk / (Jt - Jz)$. Већа вредност дужине заплава, указује на већу дужину заштићене деонице, па се овај критеријум максимизира. Уколико се преграде планирају у више токова, укупна дужина заштићене узводне деонице добија се сумирањем дужина заплава изнад свих преграда.

5) Утицај локације изражен односом припремних и главних радова (K5).

Алтернативе које подразумевају мањи број објеката на приступачнијим локацијама имаће повољнији однос припремних и главних радова, односно припремни радови би били мањег обима и економски прихватљивији.

Утицај локације се може квалитативно оценити као: 1 -повољан, 2 - просечан и 3-неповољан. За преграде у главном току усвојен је повољан утицај, за преграде у притокама које су на најнижој коти (преграде означене као пр.1) просечан утицај, а за остале преграде у притокама усвојена је категорија 3 која указује на неповољан утицај односа припремних и главних радова. Овај критеријум се минимизира.

Критеријуми који се могу користити за рангирање токова за извођење радова су: цена радова (техничких, биолошких, биотехничких), број преграда као објеката који утичу на животну средину, специфична продукција наноса у сливу, количина задржаног наноса, цена 1m^3 задржаног наноса, као и угроженост саобраћајница.

3.5.4. Поставка проблема оптимизације структуре начина коришћења земљишта

Оптимална структура начина коришћења земљишта се може постићи дефинисањем различитих циљева, тј. циљева различитих интересних група, и може се поставити као проблем вишециљног линеарног програмирања. Интеграција са GIS-ом је неходна да би се поред структуре у квантитативном смислу (површина у ha) располагало и са просторним информацијама.

Критеријуми који се могу користити за доношење одлуке о пренамени површина (примени конзервационих мера) су вредност губитака земљишта под одређеним начином коришћења, нагиб и близина саобраћајница. На пример, ораничне површине се могу конвертовати у травњаке уколико су на нагибима изнад 6° , или у површине под шумским покривачем уколико се налазе уз саобраћајнице, а представљају непродуктивне површине.

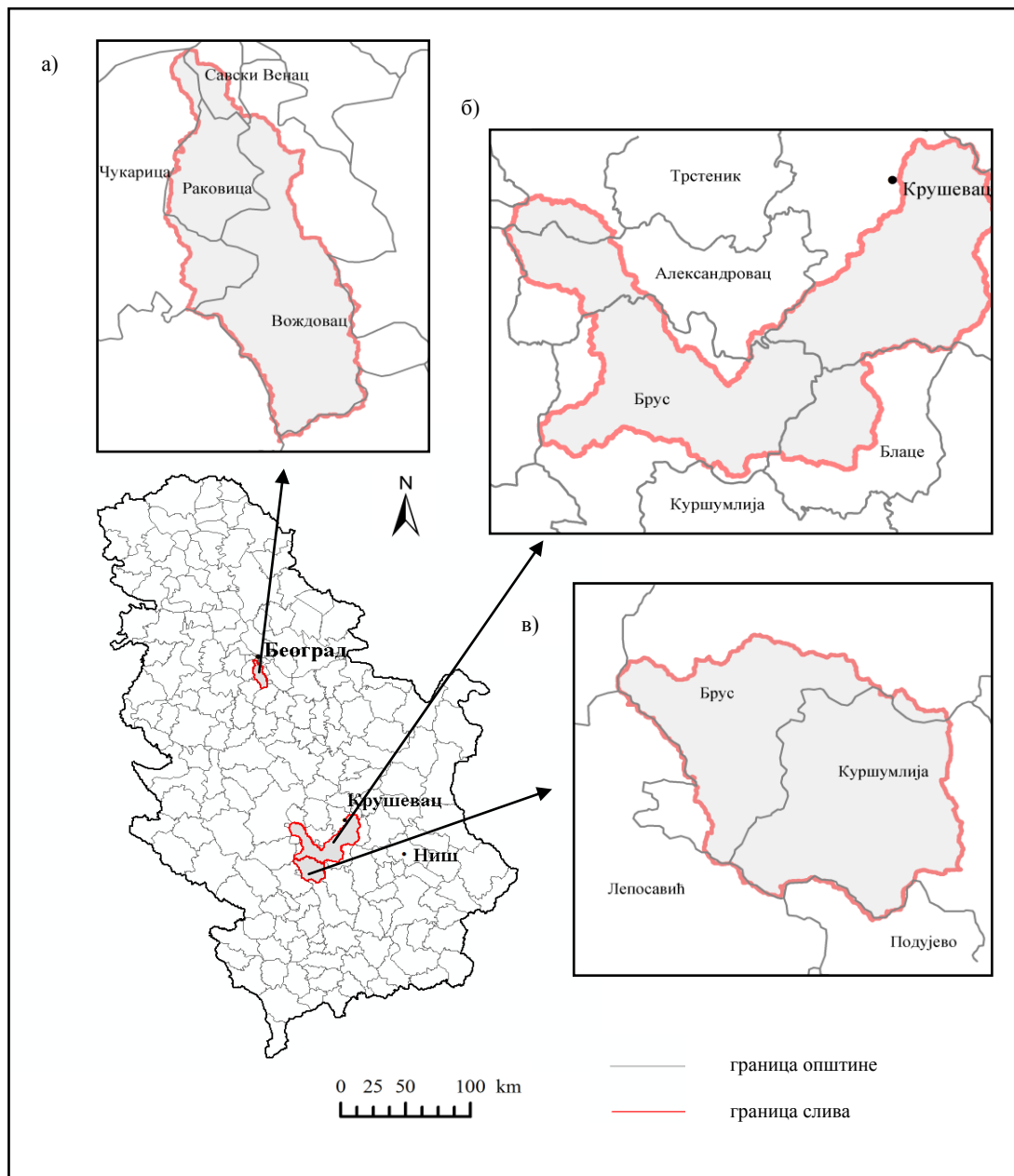
3.5.5. Оптимизација примене конзервационих мера (тераса)

Уколико су пољопривредне површине угрожене ерозијом земљишта, могуће их је заштити подизањем тераса које ће редуковати пад, ерозију, отицање воде и повећати продуктивност (Alnárez et al., 2015). Важни критеријуми при оптимизацији примене конзервационих мера – тераса су губици земљишта, нагиб, трошкови, али се у разматрање може узети и близина саобраћајница, надморска висина и др. Проблем се може поставити као проблем вишециљног линеарног програмирања са дефинисаним функцијама циља и ограничењима које се односе на локацију и трошкове.

4. МАТЕРИЈАЛ ИСТРАЖИВАЊА

4.1. Карактеристике истраживаних подручја

За анализу су изабрана три слива чији је географски положај приказан на Слици 4.1.

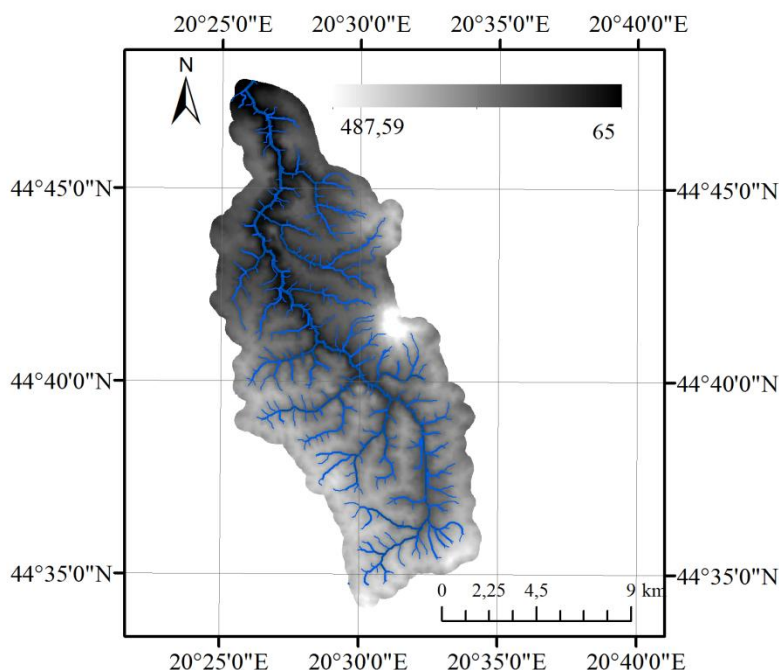


Слика 4.1. Географски положај истраживаних сливова: а) слива Топчидерске реке, б) слива реке Расине и в) слива реке Топлице
Извор: аутор

4.1.1. Карактеристике слива Топчидерске реке

4.1.1.1. Опште карактеристике слива Топчидерске реке

Топчидерска река је десна притока реке Саве, и заузима сливну површину од 148,14 km² (Слика 4.2). Настаје спајањем три потока: Дубоки, Ковионски и Шутиловац. Представља највећи слив на административном подручју града Београда, који се простире на четири београдске општине Савски венац, Вождовац, Чукарица и Раковица.



Слика 4.2. Положај и висинска представа слива Топчидерске реке
Извор: аутор

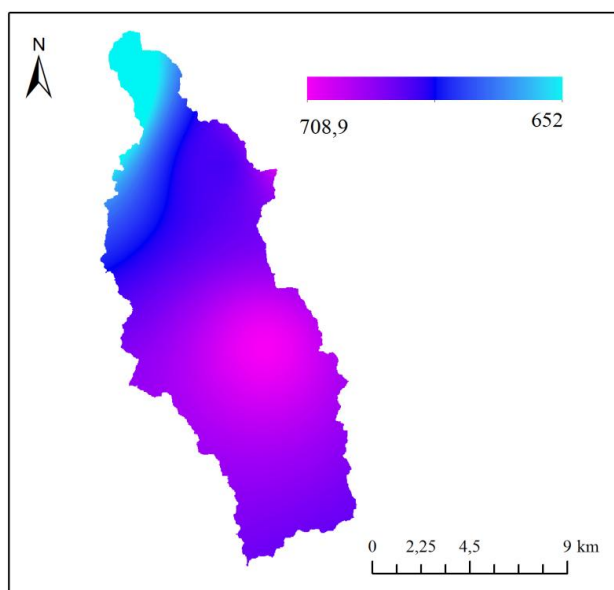
Доњи део слива, који се завршава на обали Саве, у потпуности је урбанизован и изложен последицама интензивне индустријализације у прошлости. Насупрот томе, горњи део слива карактерише мала густина насељености, пољопривредна производња и изражен бујични карактер водотока. Читав слив се одликује развијеном хидрографском мрежом и броји преко 35 водотока. Кроз сливно подручје Топчидерске реке пролазе најзначајнији правци у железничком саобраћају коју повезују северни са јужним делом Србије: железничка пруга Београд-Ниш, Београд-Ужице-Бар и железничка пруга Батајница-Н. Београд-Пожаревац. Кроз ово подручје пролазе и два регионална пута, један магистрални пут и ауто пут. У сливу су изграђене две акумулације: „Бела Река“ на истоименој реци и „Ресник“ на потоку Паригуз.

4.1.1.2. Климатске карактеристике слива Топчидерске реке

Подручје Београда, а самим тим и слива Топчидерске реке припада зони континенталне климе. Последњих година су ређе оштре зиме, али се зато продужава топли период са летњим температурама ваздуха. У Табели 4.1 су дате средње годишње количине падавина на територији Београда и околине, усвојене из студије "Интегралног уређења слива Топчидерске реке" из 2008. године (*2) чија је просторна дистрибуција приказана на Слици 4.3.

Табела 4.1. Средње годишње количине падавина за подручје Београда и околине

Станица	Ср. годишње падавине [mm]
Београд-Макиш	644,5
Бождаревац	693,6
Вранић	726,5
Авала-Шумска Управа	708,9
Радмиловац	650,1
Јајинци	693,5
Велики Мокри Луг	725,9
Сопот	689,8



Слика 4.3. Просторна дистрибуција ср. годишње количине падавина у сливу Топчидерске реке

Избор: аутор

4.1.1.3. Геолошке карактеристике слива Топчидерске реке

Геолошка грађа терена у сливу Топчидерске реке је веома комплексна и чине је седименти различитих литогенетских и геотехничких својстава.

У изворишном делу Топчидерске реке, почев од левих притока Шутиловца и Паланке до Сикијевца, површински део терена чине квартарне наслагае, средишњи део плувијални и алувијални седименти ширине и до 50 m и дебљине 2-6 m, испод којих се налазе шљунковите глине „шарене серије“. Подину овим седиментима чини лапоровита серија, која са повећањем дубине прелази у чврсте лапорце.

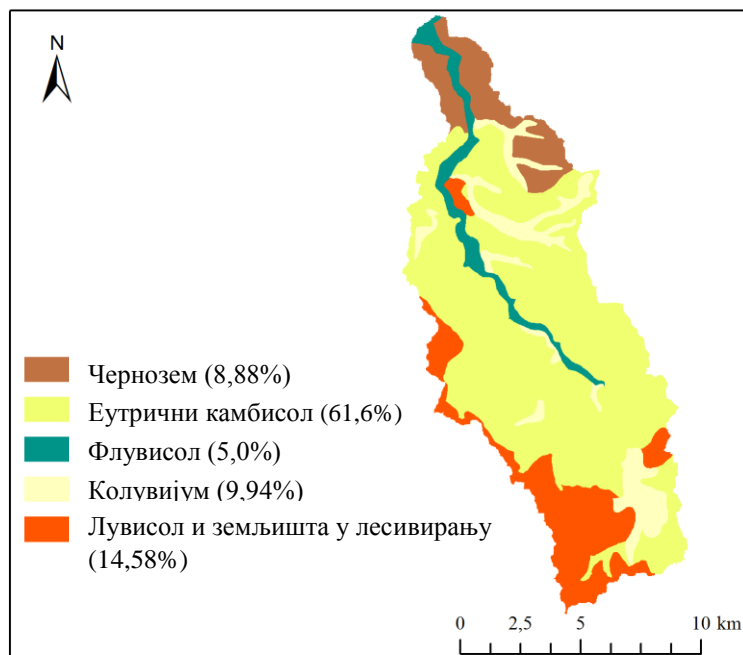
Геолошку грађу слива Беле реке, која се налази у средишњем делу слива, чине претежно јурски флишолики седименти изграђени од лапораца, глинаца и пешчара.

У низводном делу слива, према реци Сави, присутни су рецентни седименти и антропогени седименти (насипи). Квартарни седименти који се налазе на површини терена или испод насипа представљени су делувијао-плувијалним седиментима као и алувијалним песковито-муљевитим шљунковима. Чврсту подлогу овим седиментима чине флишолики кредни кречњаци, који избијају на падинама Топчидера и Кошутњака.

4.1.1.4. Педолошке карактеристике слива Топчидерске реке

У сливу Топчидерске реке заступљено је више типова земљишта: еутрично смеђе земљиште (еутрични камбисол), колувијум, лувисол и земљишта у лесивирању, чернозем, алувијално земљиште (флувисол) (Слика 4.4).

Еутрично смеђе земљиште (гајњача) се образује на свим супстратима и свим елементима рељефа изузев планинских подручја и стрмих терена. Најдоминантнији је тип земљишта у сливу Топчидерске реке, и јавља се као обична гајњача, гајњача у лесивирању и лесивирана гајњача. Деструктивни процеси ерозије се на овом типу земљишта често јављају након превођења шумског земљишта у пољопривредно, а посебно код гајњаче у лесивирању и лесивиране гајњаче.

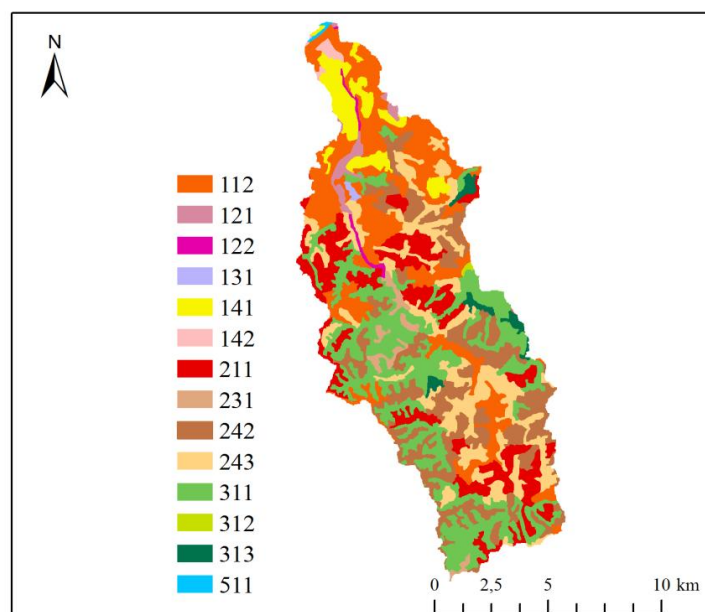


Слика 4.4. Заступљеност педолошких творевина у сливу Топчидерске реке
Извор: аутор

Чернозем се у сливу Топчидерске реке јавља у низводном делу слива, јужно од реке Саве. Алувијални нанос (флувисол) се јавља уз главни ток. Исталожени нанос имао особине ритске и ливадске црнице, а на појединим местима услед уништавања шума и појачане ерозије услед затрпавања хидрогених земљишта наносом, формирана су двослојна земљишта. Колувијум (делувијани нанос) се сврстава у класу неразвијених аутоморфних земљишта. На развијеним рељефним облицима, девастацијом, створени су повољни услови за ерозионе процесе који стварају и проширију површине под колувијаним наносом. На површинама које нису захваћене вегетацијом јављају се интензивни процеси водне ерозије. Илимеризовано (лесивирано) земљиште или лувисол је слабо до умерено кисело земљиште, заступљено претежно у изворишном делу слива Топчидерске реке.

4.1.1.5. Структура коришћења земљишта у сливу Топчидерске реке

У сливу Топчидерске реке регистровано је 14 начина коришћења земљишта: урбане површине, пољопривредне површине, хетерогена пољопривредна подручја, шуме и водене површине (Табела 4.2), за које је одређена CLC класа и припадајући код (Слика 4.5).



Слика 4.5. Просторна заступљеност CLC класа у сливу Топчидерске реке
Извор: аутор

Табела 4.2. Структура коришћења земљишта у сливу Топчидерске реке

Група којој припада начин коришћења земљишта	CLC класа	Опис класе	Вредност С фактора
Вештачке површине	112	Индустријске некомерцијалне јединице	0
	121	Индустријске или комерцијалне јединице	0
	122	Путна и железничка мрежа	0
Урбане површине	131	Места експлоатације минералних сировина	0
	141	Зелене градске површине	0,005
	142	Спортско-рекреативне површине	
Пољопривредне површине	211	Ненаводњаване оранице	0,30
	231	Пашњаци, претежно коришћени за испашу	0,090
Хетерогена пољопривредна подручја	242	Комплекс култивисаних парцела	0,138
	243	Пољопривредне површине са уделом природног биљног покривача	0,123
Шуме и полу-шумска подручја	311	Листопадне шуме	0,0013
	312	Четинарске шуме	0,0011
	313	Мешовите шуме	0,0011
Водена тела	511	Водни токови	0

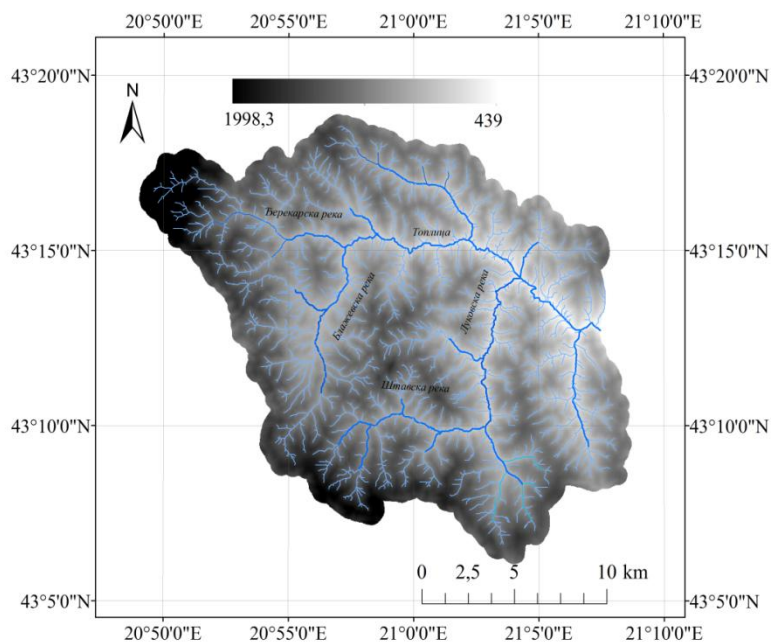
Извор: аутор

4.1.2. Карактеристике слива реке Топлице

4.1.2.1. Опште карактеристике слива реке Топлице

Река Топлица је лева притока Јужне Мораве у коју се улива у близини Бољевца. Укупна површина слива износи 2180 km². У овом раду је анализиран слив реке Топлице који се налази узводно од профила на којем је изграђена акумулација "Селова", и укупна површина овог слива износи 348,2 km².

Слив је брдско-планинског карактера, у облику ромба. У оквиру слива налази се неколико већих насеља: Мерџез, Магово, Луковска Бања, Блажево, Ђерекаре, Боранце, Ковизле итд. Положај и висинска представа слива реке Топлице је приказана на Слици 4.6.



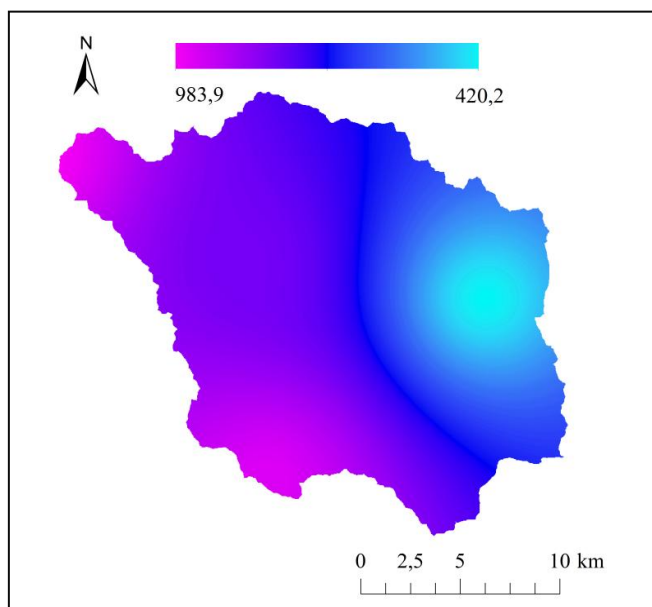
Слика 4.6. Положај и висинска представа слива реке Топлице
Извор: аутор

4.1.2.2. Климатске карактеристике слива реке Топлице

Клима је најважнији физичко-географски чинилац који утиче на хидролошке одлике слива. Слив реке Топлице се налази у подручју умерено-континенталне климе, чије су одлике жарка лета, мразне зиме док су пролећа и јесени без изразитих промена. У деловима слива, ближим планини Копаоник, континенталност слива је израженија.

Од свих метеоролошких елемената за појаву и развој ерозионих процеса најпресуднији утицај имају режим падавина и температуре ваздуха и земљишта.

Јануар је најхладнији и једини месец у години са негативном средње месечној температуrom од $-0,49^{\circ}\text{C}$, а најтоплији месец је јул са $19,78^{\circ}\text{C}$. Сем падавина и температура на режим вода и наноса у сливу утиче и ветар. Нарочито велики утицај има пролећни ветар "југовина", који највећим делом отапа снег, јер се и у априлу снег задржава у вишим деловима слива (изнад 1200 m н.м.). Снег се тада нагло отапа и доводи до наглог пораста водостаја, а у ток уноси велику количину наноса. На Слици 4.7 је приказана просторна дистрибуција средње годишње количине падавина која је добијена на основу вредности падавина за падавинске станице у сливу реке Топлице за период од 1990. до 2014. године (Табели 4.3).



Слика 4.7. Просторна дистрибуција средње годишње количине падавина у сливу реке Топлице
Извор: аутор

Табела 4.3. Средње годишње количине падавина за подручје слива реке Топлице

Станица	Ср. годишње падавине [mm]
Куршумлија	651,6
Блажево	803,1
Блаце	642,8
Брус	626,4
Копаоник	995,3
Пачарађа	420,2
Штава	950,7

Извор: аутор

4.1.2.3. Геолошке карактеристике слива реке Топлице

Слив Топлице, изузев изворишног дела, усечен је у веома еродибилним флишоликим стенама (састављене од пешчара, алевролита и лапораца) које се налазе на око 70% површине слива. Ове стене су хетерогеног састава, крупнозрнијег у нижим партијама, а ситнозрније у вишим. Одликују се веома израженом нестабилношћу на падинама и изузетно великом продукцијом наноса претежно средњег и ситног зрна.

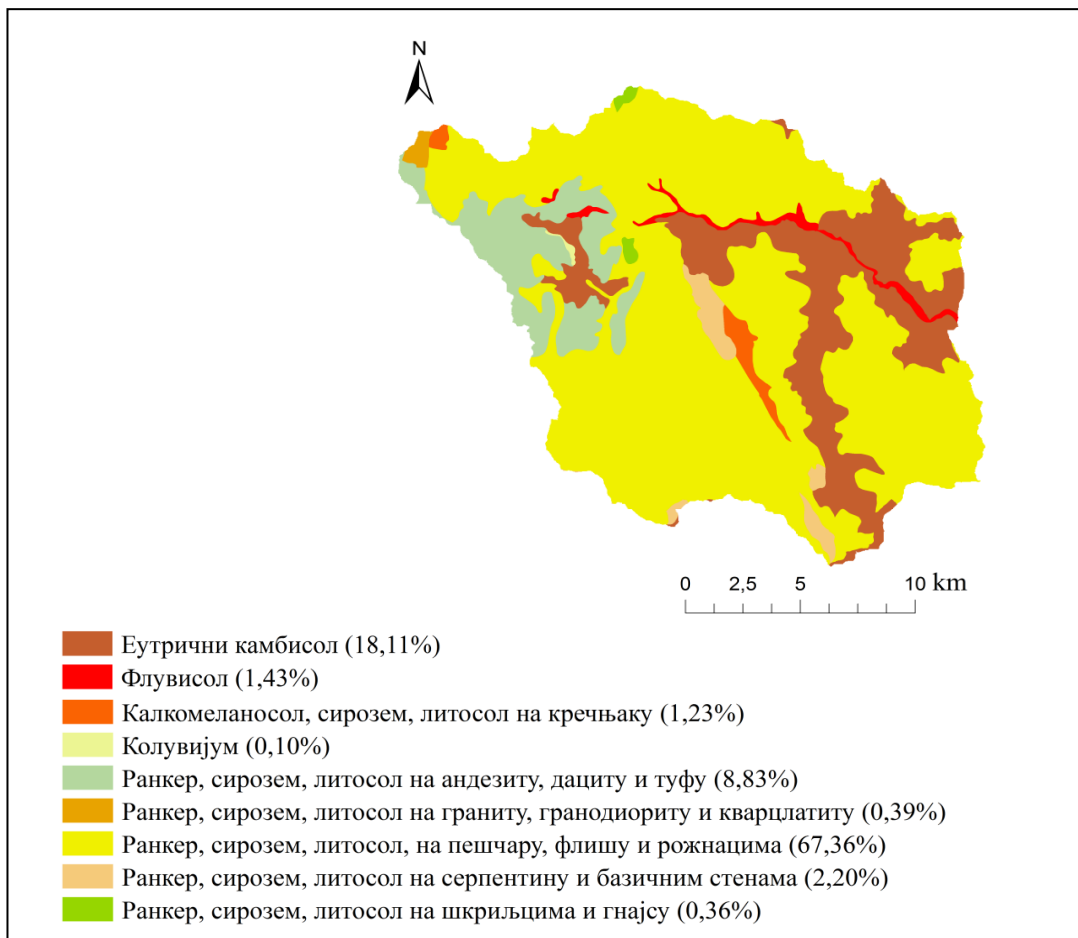
Следећој групи стена према еродибилности припадају кристаласти шкриљци, доломити, кречњаци и серпентини. Ове стене су нешто отпорније од претходних, и код њих се са дужином повећава чврстина. Површински делови ових стена углавном дају дробину крупног и средњег зрна. Средње отпорне стенохарцбургити, одликују се нешто већом чврстоћом и мањом продукцијом крупнозрне дробине по површини, у поређењу са стенама претходне групе. Отпорним стенама у сливу припадају све заступљене остале магматске стене: кварцлатити, гранодиорити, базалти, габро, дијабази.

4.1.2.4. Педолошке карактеристике слива реке Топлице

У сливу реке Топлице, до профила бране "Селова", заступљено је више типова, подтипова и варијетета земљишта (Слика 4.8). Разноврсност педолошког покривча је резултат првенствено разноликог матичног супстрата. На педогенезу у великој мери утиче и планински рељеф са просечним нагибом од 30-45%.

Земљишта целог подручја су махом плитка (око 75% површине) и плитка (око 20%). Средње дубока су земљишта типа: еутрично смеђе, алувијално и колувијално земљиште. Сва земљишта су слабо и средње скелетна са 10–30% скелета и лакшег механичког састава (песковито-иловаста и иловаста), спорадично глиновита иловача.

У сливу реке Топлице, регистровани су неразвијена земљишта: камењар (литосол) на флишу, пешчару, дацити-андезиту, граниту и серпентиниту) и колувијум (колувијано земљиште), на малој површини слива. Црница на једром кречњаку (калкомеланосол) јавља се на партији једрог кречњака у сливу Луковске реке. Хумусно-силикатно земљиште (ранкер) је најзаступљенији тип земљишта који се јавља на скоро 80% површине слива.



Слика 4.8. Заступљеност педолошких творевина у сливу реке Топлице
Извор: аутор

Еутрично смеђе земљиште (еутрични камбисол) се простире на 18,11% површине слива (јавља се на флишу и на неутралним базичним стенама). Дистрично смеђе земљиште (дистрични камбисол) захвата веома малу површину, тј. јавља се само у сливу Паваштичког потока, где је матички супстрат флиш. Алувијални нанос (флувисол) је неразвијено земљиште, настало на речном наносу Топлице а затим и Бораначке, Ђерекарске и Блажевске реке и захвата мање од 2% слива.

4.1.2.5. Вегетација слива реке Топлице

У Табели 4.4 је дата структура начина коришћења земљишта у сливу реке Топлице. Највећи део површине слива чине шуме (40,19%), где су заступљене следеће шумске асоцијације: 1) шума храста сладуна и цера (*Quercetum farnetto cerris*) која се јавља на најјужнијим деловима слива и јужним експозицијама, 2) шуме храста китњака (*Quercetum petraeae*) јавља се у виду посебног појаса изнад

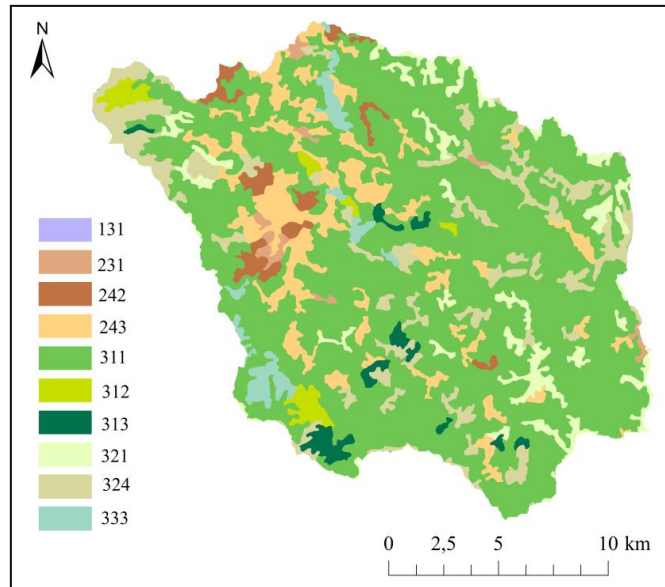
појаса сладуна и цера, и често су проређене и деградиране, 3) брдска букова шума (*Fagetum montanum*), јавља се изнад појаса храстових шума, као и нижим теренима на северним експозицијама и у долинама. Од пољопривредних површина заступљене су оранице (7,42%), пашњаци (13,75%), воћњаци (1,26%) и ливаде (2,76%). Пашњаци се јављају на већим надморским висинама, често су деградирани и слабог квалитета, тако да их је у циљу повећања њихове производности и заштите од ерозије потребно мелиорисати. Оранице се налазе само у долинама водотока на падинама са великим нагибима, и представљају стални извор наноса. На већим нагибима ове површине је потребно затравити или применити контурно-појасну обраду.

Ливаде су у нижим регионима не представљају опасност од ерозије. Голети, заступљене углавном у изворишном делу Мале реке, Ђерекарске реке, Блажевске реке и Луковске реке, представљају јака изворишта наноса које је потребно пошумити. Просторна заступљеност свих начина коришћења дата у виду CLC класа се може видети на Слици 4.9.

Табела 4.4. Структура коришћења земљишта у сливу реке Топлице и вредност С фактора

Група којој припада начин коришћења земљишта	CLC класа	Опис класе	Вредност С фактора
Урбане површине	131	Места експлоатације минералних сировина	0
Пољопривредне површине	231	Пашњаци, претежно коришћени за испашу	0,090
Хетерогена пољопривредна подручја	242	Комплекс култивисаних парцела	0,138
	243	Пољопривредне површине са уделом природног биљног покривача	0,123
Шуме и полу-шумска подручја	311	Листопадне шуме	0,0013
	312	Четинарске шуме	0,0011
	313	Мешовите шуме	0,0011
	321	Природни травњаци	0,045
	324	Прелазно подручје шуме и макије	0,025
	333	Поручје са оскудном вегетацијом	0,36

Извор: аутор



Слика 4.9. Просторна заступљеност CLC класа у сливу реке Топлице
Извор: аутор

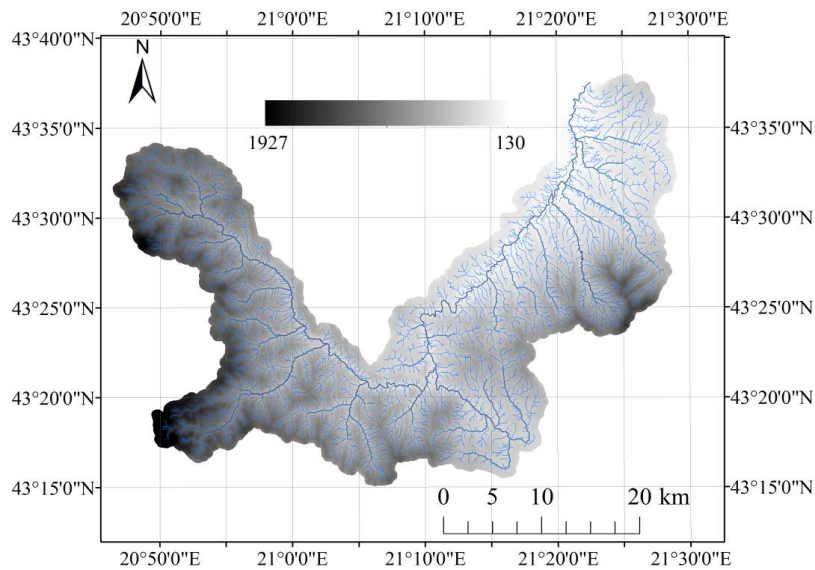
4.1.3. Карактеристике слива реке Расине

4.1.3.1. Опште карактеристике слива реке Расине

Река Расина дренира обронке планине Јастребац и Копаоник које досежу надморске висине око 1500 m н.м. односно 1900 m н.м.. Најнижа кота Расине, на ушћу у Западну Мораву износи око 200 m н.м., док у профилу бране „Ћелије“ која се налази на реци Расини на око 33 km од ушћа у реку Западну Мораву, кота Расине износи око 239 m н.м.

Положај слива реке Расине и висинска представа су дати на Слици 4.10. Слив је издужен, са развијеном хидрографском мрежом, са укупном површином слива од 982,48 km², односно површином слива до профила бране од 349,2 km². Акумулација "Ћелије" је стратешки део Расинско-поморавског регионалног система водоснабдевања који обухвата низводни део тока Западне Мораве и узводни део тока Велике Мораве.

Слив реке Расине има двојаки карактер, горњи део слива карактерише се планинским и брдским рељефом, док је доњи део слива, углавном, равничарски. На сливном подручју постоје различити типови рељефа, тако да терен слива можемо поделити на Копаонички блок, Флишни појас, Моравски ров и подручје Јастребца.



Слика 4.10. Положај и висинска представа слива реке Расине
Извор: аутор

4.1.3.2. Климатске карактеристике слива реке Расине

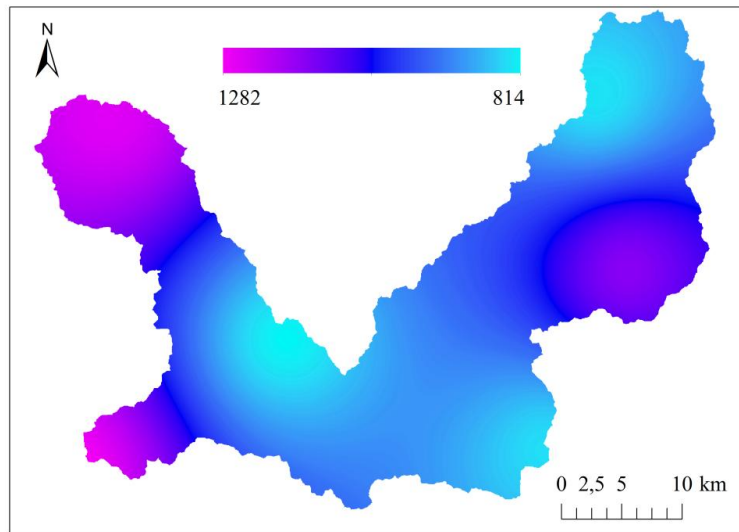
Низијски део терена слива реке Расине се одликује умерено-континенталном климом, док брдовито-планинско подручје слива има неуједначену надморску висину под утицајем континенталне климе.

У сливу има више кишомernih станица и једна метеоролошка станица, Крушевац, које раде дужи низ година. Средња температура ваздуха износи 11°C, при чему је најхладнији месец јануар (-0,6°C), а најтоплији јули (21,2°C). Брдовито-планински део терена (метеоролошка станица "Брус" 440 m н.в.), под утицајем је континенталне климе. Средња температура ваздуха износи 10,6°C, најхладнији месец је јануар (-0,8°C), а најтоплији јул (20,9°C). Распоред падавина у сливу Расине (Слика 4.11), добијен је на основу средње годишњих вредности падавина (1990 – 2014) (Табела 4.5).

Табела 4.5. Средње годишње количине падавина за подручје слива реке Расине

Станица	Ср. годишње падавине [mm]
Копаоник	1294
Брус	814
Блаце	836
Јастребац	1152
Гоч	1256
Крушевац	829

Извор: аутор



Слика 4.11. Просторна дистрибуција средње годишње количине падавина у сливу реке Расине
Извор: аутор

4.1.3.3. Геолошке карактеристике слива реке Расине

У геолошкој грађи проучаване области највише су заступљене следеће геолошке творевине: палеозојски стенски комплекс (кристални шкриљци), мезозојски стенски комплекс (флиш), палеогени стенски комплекс, неогени стенски комплекс и кварталне наслаге.

Најстарије (палеозојске) стене на овом подручју су кристални шкриљци високог степена метаморфизма од којих су изграђени западни и источни делови Великог и Малог Јастребца, а мање масе заступљене су међу стенама Копаоничког блока. У састав овог стенског комплекса улазе гнајсеви, микашисти, амфиболити, амфиболитски и други шкриљци.

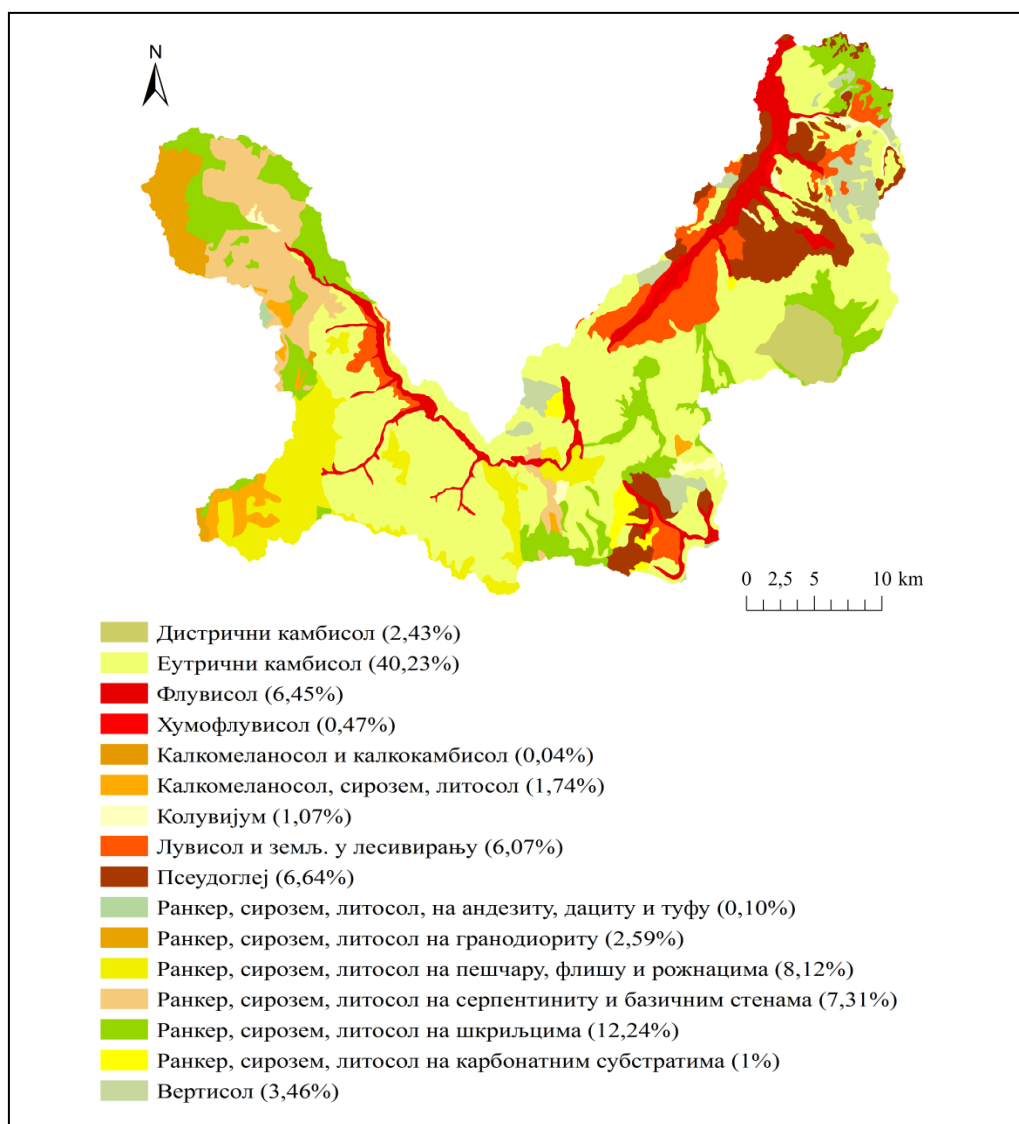
Мезозојски стенски комплекс чине јурске и кредине творевине, флишне формације представљене кречњацима, пешчарима, конгломератима, лапорцима и глинцима. Ове стене заступљене су на највећем делу територије слива реке Расине. У сливу је присутна и дијабаз-рожна формација, као и дијабаз-спилитско-албска формација, пре свега у изворишним деловима.

Палеогени стенски комплекс представљен је грандодiorитима, гранитима, кварцодiorитима и диоритима. Од ових стена изграђене су западне и југозападне падине планине Гоч.

У оквиру сложене тектонске депресије моравског рова јавља се неогени стенски комплекс (на подручју Телијског језера наслаге хелвета изграђене од конгломерата, пешчара и ређе песковитих лапораца). Најмлађе творевине на сливном подручју су кварталне наслаге које припадају плеистоцену и холоцену. Најзначајније су холоцене, алувијалне наслаге развијене дуж тока Расине, који изграђују њену плодну долину.

4.1.3.4. Педолошке карактеристике слива реке Расине

Заступљеност педолошких творевина у сливу реке Расине је дата на Слици 4.12.



Слика 4.12. Заступљеност педолошких творевина у сливу реке Расине
Избор: аутор

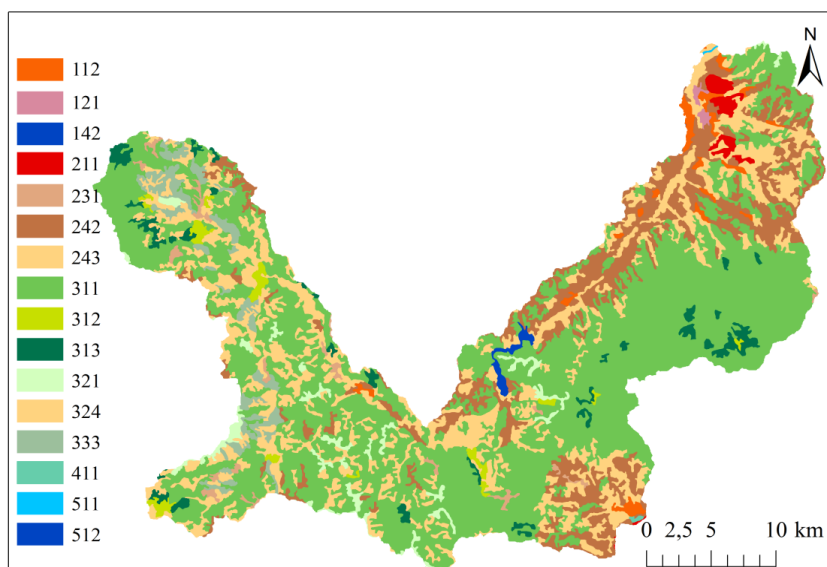
Долина Расине испуњена је алувијалним материјалом чији је саставни део непропустљив глиновити материјал (75%), значајан за формирање корита, а посебно за дно акумулације.

Десно приобаље језера развијено је на кристаластим шкриљцима и представљено је хумусним силикантним ранкерима, односно еутеричним посмеђеним подзолима иловасте структуре, који су у великој мери (до 50%) скелетизовани захваљујући антропогеној ерозији. Изнад десне обале Златарског и великог дела Васићког басена ранкери су деградацијом сведени на плитко, црвеносмеђе, скелетоидно силикатно земљиште, богато гвожђем, без развијене глинене компоненте.

Земљиште леве стране језерског приобаља развијено је на кластитима и највећим делом представља смеђе земљиште односно подзол, који је на стрмим експозицијама, девастацијом, у знатној мери скелетизован (20-50 %). На слабије дренираној геолошкој подлози прелазе у смоницу.

4.1.3.6. Заступљеност вегетације у сливу реке Расине

На основу CORINE 2000, идентификовано је 15 начина коришћења земљишта у сливу реке Расине (Табела 4.6), за које је одређена CLC класа (Слика 4.13).



Слика 4.13. Просторна заступљеност CLC класа у сливу Расине
Извор: аутор

Највећи удео у структури начина коришћења земљишта заузима листопадна шума (код 311), која заузима око 50% слива (Табела 4.6). Поред шума, регистроване су урбане површине, пољопривредне површине, хетерогена пољопривредна подручја, влажна подручја и водене површине, за које је усвојена вредност С фактора дата у Табели 4.6.

Табела 4.6. Структура коришћења земљишта у сливу Расине и вредност С фактора

Група којој припада начин коришћења земљишта	CLC класа	Опис класе	Вредност С фактора
Урбане површине	112	Нецеловита градска подручја	0
	121	Индустријске или комерцијалне јед.	0
Пољопривредне површине	211	Ненаводњавано обрадиво земљиште	0,30
	231	Пашњаци, претежно коришћени за испашу	0,090
Хетерогена пољопривредна подручја	242	Комплекс култивисаних парцела	0,138
	243	Пољопривредне површине са уделом природног биљног покривача	0,123
Шуме и полу-шумска подручја	311	Листопадне шуме	0,0013
	312	Четинарске шуме	0,0011
	313	Мешовите шуме	0,0011
	321	Природни травњаци	0,045
	324	Прелазно подручје шуме и макије	0,025
	333	Подручје са оскудном вегетацијом	0,27
Влажна подручја	411	Копнене мочваре	0
Водене површине	511	Водотоци	0
	512	Водене површине	0

Извор: аутор

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

5.1. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од ерозије земљишта

Да би се успоставио редослед подсливова (алтернатива у процесу одлучивања) према степену угрожености од ерозије земљишта, потребно је дефинисати критеријуме за процену угрожености, а затим и рангирати подсливова, издвојене у сва три истраживана подручја, применом метода вишекритеријумске анализе.

5.1.1. Критеријуми за процену угрожености ерозијом земљишта

Критеријуми за процену угрожености подсливова ерозијом земљишта коришћени у раду су фактори RUSLE методологије. Процена ерозије земљишта на микро плану (нивоу поља) није била могућа због нерасположивости података, тако је процена ерозија вршена на нивоу слива. Применом RUSLE и GIS-а, добијене су просечне вредности фактора K, C, R и LS, за сва три истраживана подручја.

Фактор еродибилности земљишта (K фактор) је одређен по Williams-у, на основу текстурних карактеристика земљишта и садржаја органске материје, добијених испитивањем узорака земљишта. Добијене вредности еродибилности земљишта, додељене су у виду атрибута дигитализованој педолошкој карти добијене из Института за земљиште Р. Србије. Конвертовањем карте у растерски формат, добијене су просечне вредности еродибилности за подсливова (Табеле 5.1, 5.2 и 5.3).

Фактор ерозивности (R фактор) одређен је на основу годишњих вредности падавина добијених из РХМЗС-а за период од 25 година, за станице најближе истраживаним подручјима по формули коју су предложили Grimm et al. (2003) и van der Knijff et al. (2002).

Табела 5.1. Вредности коефицијента еродибилности земљишта у сливу Топчидерске реке

Тип земљишта	K фактор
Лувисол и земљишта у лесивирању	0,045
Делувијум	0,042
Еутрични камбисол	0,031
Чернозем	0,029
Флувисол	0,021

Извор: аутор

Табела 5.2. Вредности коефицијента еродибилности земљишта у сливу реке
Топлице

Тип земљишта	К фактор
Еутрични камбисол	0,030
Флувисол	0,025
Калкомеланосол, сирозем, литосол на кречњаку	0,025
Колувијум	0,031
Ранкер, сирозем, литосол на андезиту, дациту и туфу	0,018
Ранкер, сирозем, литосол на граниту, гранодиориту, кварцлатиту	0,025
Ранкер, сирозем, литосол на пешчару, флишу и рожнацима	0,027
Ранкер, сирозем, литосол на серпентиниту и базичним стенама	0,023
Ранкер, сирозем, литосол на шкриљцима и гнајсу	0,022

Извор: аутор

Табела 5.3. Вредности коефицијента еродибилности земљишта у сливу реке
Расине

Тип земљишта	К фактор
Хумофлувисол	0,030
Флувисол	0,030
Колувијум	0,026
Вертисол	0,018
Дистрични камбисол и местимично ранкер	0,024
Еутрични камбисол	0,027
Псеудоглеј	0,034
Лувисол и земљишта у лесивирању	0,030
Ранкер, сирозем, литосол на шкриљцима и гнајсу	0,023
Ранкер, сирозем, литосол на андезиту, дациту и туфу	0,022
Калкомеланосол, сирозем, литосол на кречњаку	0,027
Ранкер, сирозем, литосол на серпентиниту и базичним стенама	0,023
Ранкер, сирозем, литосол на пешчару, флишу и рожнацима	0,025
Ранкер, сирозем, литосол на карбонатним супстратима	0,025
Калкокамбисол и калкомеланосол	0,027
Ранкер, сирозем, литосол на граниту, гранодиориту и кварцлатиту	0,023

Извор: аутор

Структура начина коришћења земљишта у истраживаним сливовима утврђена је преко Coordinate Information on the Environment- CORINE 2000. Фактор начина коришћења земљишта (С фактор) је добијен усвајањем вредности на основу литературних извора (Panagos et al., 2015; Belanovic et al., 2013 and Diodato et al., 2011), који су додељени у виду атрибута карти начина коришћења, која је потом конвертована у растер.

Фактор нагиба и дужине падине (LS фактор) добијен је на основу DEM-а, по формули Desmet and Govers (1996).

5.1.1.1. Критеријуми за процену угрожености ерозијом земљишта подсливова у сливу Топчидерске реке

Просечне вредности RUSLE фактора за подсливова издвојене у Топчидерској реци дате у Табели 5.4, представљају резултате истраживања Vulević, Dragović (2017). Просечна вредност К фактора за подсливова у Топчидерској реци се креће у интервалу од 0,0265-0,0384 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹, и добијена је на основу просторне заступљености педолошких творевина у сливу (Слика 4.4) и срачунатих вредности К фактора (по формули у поглављу 3.5.1.2) које су дате у Табели 5.1. Начини коришћења земљишта у подсливовима Топчидерске реке имају припадајући код – CLC класу којој је додељена вредност која се креће у интервалу од 0 (путна и железничка мрежа, реке) до 0,30 (за ненаводњаване оранице) што је приказано у Табели 4.2.

Табела 5.4. Вредности RUSLE фактора за подсливова у сливу Топчидерске реке

Подслив	К [10 ⁻²]	С [10 ⁻²]	Р	LS
T1	2,65	0,22	868,49	2,03
T2	2,85	0,43	888,97	2,20
T3	3,20	3,28	900,52	1,55
T4	3,49	8,94	902,77	1,75
T5	3,17	10,12	904,09	1,85
T6	3,28	6,35	914,25	2,32
T7	3,04	4,76	918,36	2,61
T8	3,84	11,78	910,10	1,92
T9	3,45	10,68	914,63	2,08

Извор: Vulević, Dragović (2017)

Вредности средње годишње количине падавина у сливу Топчидерске реке се крећу од 652 до 708,9 mm, а вредности R фактора од 847,61 до 921,57 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹. Вредности LS фактора за слив Топчидерске реке се крећу од 0,03 до 14,43, док су просечне вредности топографског фактора за подсливова ниже, тј. од 1,55 до 2,67 (Табела 5.4).

5.1.1.2. Критеријуми за процену степена угрожености ерозијом земљишта подсливова у сливу реке Топлице

Вредности RUSLE фактора коришћених за евалуацију подсливова издвојених у сливу реке Топлице дате су у Табели 5.5.

Табела 5.5. Вредности RUSLE фактора за подсливова у сливу реке Топлице

Подслив	K [10^{-2}]	C [10^{-2}]	R	LS
C1	2,68	2,51	925	6,56
C2	2,35	3	1112,90	6,59
C3	2,74	5,2	972,5	6,37
C4	2,49	6,54	1072,9	5,45
C5	2,88	1	730,2	6,54
C6	2,76	1,67	807,0	6,72
C7	2,85	1,86	588,1	6,48
C8	2,86	2,09	624,1	6,22
C9	2,74	1,09	734,3	6,64
C10	2,69	1,07	1114,5	7,14
C11	2,75	1,76	976,6	6,09

Извор: аутор

Вредности средње годишњих падавина у сливу Топчидерске реке се крећу од 652 до 708,9 mm, а вредности R фактора од 847,61 до 921,57 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹.

Вредност K фактора за подсливова у Топчидерској реци се креће у интервалу од 0,018-0,031 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹, са просечним вредностима од 0,0266 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹, које су добијене на основу вредности из Табеле 5.2. Начини коришћења земљишта у подсливовима реке Топлице имају C фактор чије се вредности крећу у интервалу од 0 (путна и железничка мрежа, реке) до 0,36 (за подручје са оскудном вегетацијом) што је приказано у Табели 4.4. Вредности средње годишње количине падавина у сливу реке Топлице се крећу од 420,2 до 983,9 mm, а вредности R фактора од 546,26 до 1279,07 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹. Просечне вредности топографског фактора LS су за слив Топлице у интервалу од 0,03 до 45,04.

5.1.1.3. Критеријуми за процену степена угрожености ерозијом земљишта подсливова у сливу реке Расине

Просечне вредности критеријума за процену угрожености ерозијом земљишта подсливова издвојених у сливу реке Расине дате су у Табели 5.6.

Табела 5.6. Вредности RUSLE фактора за подсливове у сливу реке Расине

Подслив	K [10^{-2}]	C [10^{-2}]	R	LS
P1	2,72	9,68	857,11	1,56
P2	2,66	7,69	840,97	2,04
P3	3,26	4,76	829,41	0,32
P4	3,04	10,16	851,69	0,78
P5	2,55	10,95	851,16	1,79
P6	2,78	12,97	884,07	0,87
P7	2,82	3,53	979,46	4,67
P8	2,74	4,63	978,72	3,60
P9	2,64	1,84	1090,75	4,98
P10	2,3	6,37	1236,62	4,25
P11	2,3	4,35	1214,92	5,43
P12	2,5	5,54	1038,52	5,27
P13	2,56	5,71	939,43	5,68
P14	2,81	5,31	822,15	4,53
P15	2,6	4,52	1031,22	6,41
P16	2,74	3,79	835,24	5,54
P17	2,68	2,51	906,78	6,44
P18	2,55	2,74	903,28	5,48
P19	2,7	5,74	888,14	3,20

Извор: аутор

Вредност К фактора за слив реке Расине је у интервалу од 0,018-0,034 $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$, са просечним вредностима од 0,0264 $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$, које су одређене на основу прорачутих вредности еродибилности типова земишта у сливу реке Расине (Табела 5.3). Начини коришћења земљишта у подсливовима реке Расине имају С фактор са вредностима од 0 до 0,30 (Табела 4.6).

Вредности годишњих падавина у сливу реке Расине се крећу од 814 до 1282 mm, а вредности R фактора од 1058,2 до 1667 $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot god^{-1}$. Вредности топографског фактора LS су за слив Топлице у интервалу од 0,03 до 101,94, са просечном вредности од 4,37.

5.1.2. Тежине критеријума за процену степена угрожености ерозијом земљишта

Тежине критеријума су основни параметар које потребно дефинисати пре спровођења процедуре рангирања применом метода вишекритеријумске анализе.

- Субјективне тежине критеријума К, С, R и LS, одређене применом методе поређења у паровима су подједнаке, како је предвиђено и самом RUSLE методом, и износе 0,25 (значај сваког критеријума је по 25%).
- Тежине критеријума одређене су на основу субјективних (метода поређења у паровима), објективних (стандардна девијација) и корелационих тежина (Pearson-ov коефицијент корелације), и њихове вредности зависе од вредности параметра λ . Усвојен је значај субјективних тежина 30% тј. $\lambda = 1/3$, при чему је значај објективних и корелационих тежина укупно 70%, односно по $(1 - 1/3)/2$.

Док је вредност субјективних тежина иста, вредност стандардне девијације и коефицијента корелације се разликује за проучаване сливове (Топчидерска, Топлица и Расина), па се тако разликује и вредност комбинованих тежина:

- а) Комбиноване тежине RUSLE фактора за слив Топчидерске реке дате су у Табели 5.8. Израчунате су применом формуле (Поглавље 3.3.3.1) и тежина из Табеле 5.7.

Табела 5.7. Вредности објективних, субјективних и корелационих тежина RUSLE фактора за слив Топчидерске реке

	К	С	R	LS
w_j^o	0,2317	0,2940	0,2422	0,2321
w_j^s	0,25	0,25	0,25	0,25
w_j^c	0,2182	0,2062	0,1726	0,4030

Табела 5.8. Комбиноване тежине RUSLE фактора за подсливове у сливу Топчидерске реке

Критеријум	w_k
	$\lambda=1/3$
К	0,2333
С	0,2501
R	0,2216
LS	0,2950

б) Комбиноване тежине RUSLE фактора за слив реке Топлице дате су у Табели 5.10, а вредности тежина на основу којих су израчунате су дате у Табели 5.9.

Табела 5.9. Вредности објективних, субјективних и корелационих тежина RUSLE фактора за слив реке Топлице

	К	С	Р	LS
w_j^o	0,2435	0,2602	0,2931	0,2032
w_j^s	0,25	0,25	0,25	0,25
w_j^c	0,2757	0,2553	0,2285	0,2405

Табела 5.10. Комбиноване тежине RUSLE фактора за подсливове у сливу реке Топлице

Критеријум	w_k
	$\lambda=1/3$
К	0,2564
С	0,2552
Р	0,2572
LS	0,2312

ц) Комбиноване тежине RUSLE фактора коришћене приликом рангирања подсливова у сливу реке Расине према степену угрожености ерозијом дате су у Табели 5.12. Срачунате су на основу вредности објективних, субјективних и корелационих тежина из Табеле 5.11.

Табела 5.11. Вредности објективних, субјективних и корелационих тежина за слив реке Расине

	К	С	Р	LS
w_j^o	0,2044	0,2403	0,2661	0,2892
w_j^s	0,25	0,25	0,25	0,25
w_j^c	0,2668	0,2549	0,2293	0,2490

Табела 5.12. Комбиноване тежине RUSLE фактора за подсливове у сливу реке Расине

Критеријум	w_k
	$\lambda=1/3$
К	0,2404
С	0,2484
Р	0,2485
LS	0,2627

5.1.3. Рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом земљишта

Рангирање подсливова је извршено применом WSM, као најпростије од три коришћене методе, где су елементи почетне матрица одлучивања (матрица са RUSLE факторима) нормализоване применом макс-мин нормализације (Поглавље 3.1.2).

Ранг је добијен и применом ELECTRE II где је процедура рангирања сложенија, и где је најпре утврђена норма за сваки критеријум, а потом је израчуната нормализована матрица одлучивања, где су вредности свих подсливова преведене у вредности које су у интервалу 0-1. У следећем кораку, уведен је утицај тежина на коначну одлуку, прорачуном тежинске нормализоване матрице, након чега су утврђени индекси сагласности и несагласности. Упоређивањем ових индекса и дефинисаних просечних индекса сагласности (ПИС1) и просечних индекса несагласности (ПИНС1) добијене су матрице сагласне и несагласне доминације. На основу ове две матрице, добијена је матрица агрегатне доминације, на основу које је, као и два нова прага сагласности $ПИС2 = ПИС1 + 0,10$ и $ПИС3 = ПИС1 + 0,20$, и једног прага несагласности $ПИНС2 = ПИНС1 - 0,20$, одређена а) јака I релација вишег ранга, б) јака II релација вишег ранга, и 3) слаба релација вишег ранга. На основу ових релација одређени су директни, индиректни, а потом и коначан ранг акција (подсливова).

У раду су због лакшег праћења резултата ELECTRE II методе, на примеру Топчидерске реке, приказани најзначајнији кораци, који су код преостала два истраживана подручја (Топлици и Расини) сведени на тежинску нормализовану матрицу, матрицу агрегатне доминације и резултате рангирања.

За утврђивање ранга применом PROMETHEE II било је потребно одредити прагове p и q . Уколико је f разлика максималне и минималне вредност критеријума, праг q је одређен као $1/8f$, а праг p као $3/8f$.

5.1.3.1. Рангирање подсливова у Топчидерској реци према степену угрожености ерозијом земљишта

5.1.3.1.1. Рангирање подсливова у Топчидерској реци према степену угрожености ерозијом земљишта применом WSM.

Стандардизација елемената почетне матрице је дата у Табели 5.13. Разлике субјективних и комбинованих тежина критеријума RUSLE су незнатне, тако да се добија идентичан ранг према степену угрожености ерозијом земљишта у свим разматраним случајевима (Табела 5.14), при чему је најугроженији подслив Т8.

Табела 5.13. Стандардизација елемената почетне матрице применом макс-мин нормализације, при тежинама w_i

Подслив	K	C	R	LS
T1	0	0	0	0,4528
T2	0,1681	0,0182	0,4107	0,6132
T3	0,4622	0,2647	0,6423	0
T4	0,7059	0,7543	0,6874	0,1887
T5	0,4370	0,8564	0,7139	0,2830
T6	0,5294	0,5303	0,9176	0,7264
T7	0,3277	0,3927	1	1
T8	1	1	0,8344	0,3491
T9	0,6723	0,9048	0,9252	0,5000

Табела 5.14. Ранг подсливова у сливу Топчидерске реке према степену угрожености ерозијом земљишта применом WSM

Подслив	$\frac{u_i}{w_i}$	Ранг	$\frac{u_i}{wk}$	Ранг
T1	0,1132	9	0,1336	9
T2	0,3025	8	0,3157	8
T3	0,3423	7	0,3164	7
T4	0,5841	5	0,5613	5
T5	0,5726	6	0,5578	6
T6	0,6759	4	0,6738	4
T7	0,6801	3	0,6913	3
T8	0,7959	1	0,7713	1
T9	0,7506	2	0,7357	2

T8>T9>T7>T6>T4>T5>T3>T2>T1

5.1.3.1.2. Рангирање подсливова у Топчидерској реци према степену угрожености ерозијом земљишта применом PROMETHEE II

Тип критеријума и вредности прагова су дате у Табели 5.15. Ранг подсливова у Топчидерској реци добијен применом PROMETHEE II методе је дат у Табели 5.16 и 5.17, у зависности од избора типа критеријума (тип V или тип III).

Табела 5.15. Тип критеријума и прагова p и q за подсливове издвојене у сливу Топчидерске реке

Прагови	K	C	R	LS
	max	max	max	max
q	0,15	1,45	6,23	0,13
p	0,45	4,34	18,70	0,40

Табела 5.16. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке у случају тежина RUSLE фактора w_i и избора критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,6725	0,0544	0,7269	9
T2	-0,4325	0,1464	0,5789	8
T3	-0,3571	0,13	0,4871	7
T4	0,0948	0,3262	0,2314	5
T5	0,0614	0,2722	0,2109	6
T6	0,2541	0,412	0,1579	3
T7	0,2448	0,4695	0,2248	4
T8	0,4245	0,5129	0,0884	1
T9	0,3825	0,4515	0,069	2

Табела 5.17. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке у случају тежина RUSLE фактора w_i и избора критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,6848	0,0758	0,7605	9
T2	-0,4434	0,181	0,6245	8
T3	-0,3968	0,1617	0,5585	7
T4	0,0619	0,3697	0,3078	5
T5	0,0246	0,3191	0,2945	6
T6	0,2954	0,4914	0,196	3
T7	0,2609	0,524	0,2631	4
T8	0,4501	0,5839	0,1338	1
T9	0,4321	0,5354	0,1034	2

У случају тежина w_i добија се ранг који се не мења у случају промене функције преференција, а након примене комбинованих тежина w_k , долази до незнатне промене ранга, када подслив Т9 (при избору општег критеријума тип V) постаје подслив 2. приоритета (Табела 5.18). У Прилогу А, у Табелама А.1 и А.2 је приказ резултата PROMETHEE II методе у случају примене комбинованих тежина w_k .

Табела 5.18. Ранг подсливова у сливу Топчидерске реке применом PROMETHEE II методе при тежинама RUSLE фактора w_i и w_k и различитом типу општег критеријума

Подслив	Функција преференције тип III		Функција преференције тип V	
	w_i	w_k	w_i	w_k
T1	9	9	9	9
T2	8	7	8	7
T3	7	8	7	8
T4	5	5	5	5
T5	6	6	6	6
T6	3	4	3	3
T7	4	3	4	4
T8	1	1	1	2
T9	2	2	2	1

5.1.3.1.3. Рангирање подсливова у Топчидерској реци према степену угрожености ерозијом земљишта применом ELECTRE II

Кораци спровођења ELECTRE II методе дати су у Табелама од 5.19 до 5.24.

Табела 5.19. Нормализована матрица одлучивања за подсливова у сливу Топчидерске реке, при избору тежина w_i

	K	C	R	LS
Норма Подслив	9,7089	22,5641	2707,7517	6,1689
T1	0,2729	0,0109	0,3207	0,3291
T2	0,2935	0,0213	0,3283	0,3566
T3	0,3296	0,1620	0,3326	0,2513
T4	0,3595	0,4429	0,3334	0,2837
T5	0,3265	0,1442	0,3339	0,2999
T6	0,3378	0,3156	0,3376	0,3761
T7	0,3131	0,2363	0,3392	0,4231
T8	0,3955	0,5836	0,3361	0,3112
T9	0,3553	0,5102	0,3378	0,3372

Табела 5.20. Тежинска нормализована матрица одлучивања за подсливове у сливу Топчидерске реке, при избору тежина w_i

Подслив	К	С	Р	LS
T1	0,0682	0,0027	0,0802	0,0823
T2	0,0734	0,0053	0,0821	0,0892
T3	0,0824	0,0405	0,0831	0,0628
T4	0,0899	0,1107	0,0833	0,0709
T5	0,0816	0,0360	0,0835	0,0750
T6	0,0845	0,0789	0,0844	0,0940
T7	0,0783	0,0591	0,0848	0,1058
T8	0,0989	0,1459	0,0840	0,0778
T9	0,0888	0,1276	0,0844	0,0843

Табела 5.21. Матрица сагласности за подсливове у сливу Топчидерске реке, при избору тежина w_i

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1	0	0	0,25	0,25	0,25	0	0	0,25	0
T2	1	0	0,25	0,25	0,25	0	0	0,25	0,25
T3	0,75	0,75	0	0	0,25	0	0,25	0	0
T4	0,75	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0	0,25
T5	0,75	0,75	0,75	0,75	0	0,25	0,5	0	0
T6	1	1	1	0,5	0,75	0	0,5	0,5	0,25
T7	1	1	0,75	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5
T8	0,75	0,75	1	1	1	0,5	0,5	0	0,5
T9	1	0,75	1	0,75	1	0,75	0,5	0,5	0

Табела 5.22. Матрица несагласности за подсливове у сливу Топчидерске реке, при избору тежина w_i

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
T2	0	0	1	1	1	1	1	1	1
T3	0,5738	0,8342	0	1	1	1	1	1	1
T4	0,1174	0,1934	0	0	1	0,805	0,7525	1	1
T5	0,0665	0,1321	0,0102	0,6303	0	0,456	0,5186	1	1
T6	0	0	0	1	1	0	0,6671	1	1
T7	0	0	0,0959	1	1	1	0	1	1
T8	0,0348	0,0902	0	0	0	0,2694	0,3595	0	0,532
T9	0	0,0428	0	0,0534	0	0,2027	0,3275	1	0

Табела 5.23. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу Топчидерске реке, при избору тежина w_i

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T5	1	1	1	0	0	0	1	0	0
T6	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T7	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T8	1	1	1	1	1	1	1	0	1
T9	1	1	1	1	1	1	1	0	0

ПИС1=0,50; ПИС2=0,60; ПИС3=0,70; ПИНС1=0,6079; ПИНС2=0,4079

Табела 5.24. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу Топчидерске реке, при избору тежина w_i

Подслив	y'	y''	y	Кориг. ранг
T1	6	6	6	9
T2	5	5	5	7,5
T3	5	5	5	7,5
T4	3	4	3,5	4,5
T5	3	3	3	3
T6	3	4	3,5	4,5
T7	4	4	4	6
T8	1	1	1	1
T9	2	2	2	2

$T8 > T9 > T5 > T4 = T6 > T7 > T2 = T3 > T1$

Када су сви критеријуми подједнаког значаја, у случају примене субјективних тежина, подсливови најугроженији ерозијом земишта, применом ELECTRE II методе су T8, па T9 и даље редоследом као у Табели 5.24. Резултати примене ELECTRE II у случају комбинованих тежина w_k су дати у прилогу А, у Табелама А.3, А.4 и А.5.

Резултати поређења метода ВКО су дати у Табели 5.25. Највећа вредност Спирмановог коефицијента корелације ранга добија се поређењем WSM и PROMETHEE II (Табела 5.26).

Табела 5.25. Поређење рангова подсливова у Топчидерској реци према степену угрожености ерозијом

WSM	T8>T9>T7>T6>T4>T5>T3>T2>T1
PROMETHEE II (тип критеријума III и V)	T8>T9>T6>T7>T4>T5>T3>T2>T1
ELECTRE II	T8>T9>T5>T4=T6>T7>T2=T3>T1

Табела 5.26. Вредности Спирманов коефицијента корелације ранга

WSM и PROMETHEE II општи критеријум тип V, тип III	0,98
WSM и ELECTRE II	0,84

5.1.3.2. Рангирање подсливова у реци Топлици према степену угрожености ерозијом земљишта

5.1.3.2.1. Рангирање подсливова у реци Топлици према степену угрожености ерозијом земљишта применом WSM.

Након стандардизације елемената почетне матрице (Табела 5.27), добијен је ранг подсливова (Табела 5.28).

Табела 5.27. Стандардизација елемената почетне матрице применом макс-мин нормализације, при тежинама w_i

Подслив	K	C	R	LS
C1	0,6226	0,2726	0,6400	0,6568
C2	0	0,3610	0,9968	0,6746
C3	0,7358	0,7581	0,7302	0,5444
C4	0,2642	1	0,9209	0
C5	1	0	0,2700	0,6450
C6	0,7736	0,1209	0,4159	0,7515
C7	0,9434	0,1552	0	0,6095
C8	0,9623	0,1968	0,0684	0,4556
C9	0,7358	0,0162	0,2777	0,7041
C10	0,6415	0,0126	1	1
C11	0,7547	0,1372	0,7380	0,3787

Табела 5.28. Ранг подсливова у сливу реке Топлице, применом субјективних и комбинованих тежина wk

Подслив	$u_i(wi)$	Ранг	$u_i(wk)$	Ранг
C1	0,5480	3	0,5457	4
C2	0,5081	6	0,5045	7
C3	0,6921	1	0,6958	1
C4	0,5463	4	0,5598	3
C5	0,4787	8	0,4749	8
C6	0,5155	5	0,5099	5
C7	0,4270	10	0,4224	10
C8	0,4208	11	0,4199	11
C9	0,4335	9	0,4270	9
C10	0,6635	2	0,6561	2
C11	0,5021	7	0,5059	6

Резултати рангирања (Табела 5.28), без обзира на тежине критеријума, указују на највећу угроженост ерозијом земљишта подслива C3, а потом и подсливова C10 (као подслива 2. приоритета), подслива C4, односно C1 као подслива 3 приоритета.

5.1.3.2.2. Рангирање подсливова у реци Топлици према степену угрожености ерозијом земљишта применом PROMETHEE II

Ранг акција, одређен на основу прагова (Табела 5.29) дат је у Табелама 5.30 и 5.31. У Прилогу А у Табелама А.6 и А.7 су резултати рангирања подсливова у случају примене комбинованих тежина wk , а поређење свих рангова дато је у Табели 5.32.

Табела 5.29. Тип критеријума и прагови p и q за подсливове издвојене у сливу реке Топлице

Прагови	К	С	Р	LS
	max	max	max	max
q	0,07	0,69	66	0,21
p	0,20	2,08	198	0,63

Табела 5.30. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина RUSLE фактора w_i и избора критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	0,048	0,2493	0,2013	3
C2	0,0204	0,3291	0,3087	4
C3	0,3116	0,4230	0,1114	1
C4	-0,0702	0,4029	0,4731	8
C5	-0,0605	0,2140	0,2745	7
C6	-0,0353	0,1839	0,2193	5
C7	-0,1330	0,1565	0,2895	9
C8	-0,1449	0,1668	0,3117	10
C9	-0,1944	0,1075	0,3019	11
C10	0,3012	0,4544	0,1531	2
C11	-0,0430	0,1959	0,2389	6

Табела 5.31. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке у случају тежина RUSLE фактора w_i и избора критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	0,0512	0,3202	0,269	4
C2	0,0824	0,4021	0,3197	3
C3	0,2737	0,4577	0,184	1
C4	-0,0569	0,4271	0,4841	6
C5	-0,057	0,2712	0,3283	7
C6	0,0151	0,2872	0,2721	5
C7	-0,1079	0,2318	0,3397	9
C8	-0,1445	0,2351	0,3796	10
C9	-0,2386	0,1484	0,387	11
C10	0,2554	0,4771	0,2218	2
C11	-0,0728	0,2488	0,3216	8

Табела 5.32. Ранг подсливова у сливу Топчидерске реке применом PROMETHEE II методе при тежинама RUSLE фактора w_i и w_k и различитим функцијама преференције

Подслив	Критеријум тип III		Критеријум тип V	
	w_i	w_k	w_i	w_k
C1	4	4	3	3
C2	3	3	4	4
C3	1	1	1	1
C4	6	6	8	7
C5	7	8	7	8
C6	5	5	5	6
C7	9	9	9	9
C8	10	10	10	10
C9	11	11	11	11
C10	2	2	2	2
C11	8	7	6	5

На основу резултата рангирања подсливова у сливу реке Топлице, применом методе PROMETHEE II, подслив најугроженији ерозијом земљишта је C3, другог ранга је подслив C10, без обзира на то да ли се користе тежине које даје доносилац одлука w_i , или комбиноване тежине w_k (Табела 5.32).

Промена избора функције преференције (тј. тип општег критеријума) не утиче битно на промену ранга. Ранг подсливова је сличан без обзира на избор тежина критеријума, и промене које се јављају, односе се на замену места појединих подсливова. Тако је подслив C11 при избору линеарне функције преференције са оба прага (критеријум тип V) нижег ранга, односно већег приоритета него при избору линеарне функције са једним прагом (критеријум тип III). Спирманов коефицијент корелације ранга између тежина w_i (критеријум тип III) и w_k (критеријум тип V) износи 0,9818.

5.1.3.2.3. Рангирање подсливова у реци Селови према степену угрожености ерозијом земљишта применом ELECTRE II

Матрице које представљају резултате примене ELECTRE II су дате табеларно од Табеле 5.33. до 5.35. У прилогу А, у Табели А.8, А.9 и А.10 су дате тежинска нормализована матрица, матрица агрегатне доминације и ранг акција у случају примене комбинованих тежина w_k .

Табела 5.33. Тежинска нормализована матрица одлучивања за подсливове у сливу реке Топлице, при избору тежина w_i

Подслив	K	C	R	LS
C1	0,0745	0,0621	0,0778	0,0767
C2	0,0653	0,0742	0,0935	0,0770
C3	0,0761	0,1286	0,0817	0,0745
C4	0,0692	0,1618	0,0902	0,0637
C5	0,0800	0,0247	0,0614	0,0764
C6	0,0767	0,0413	0,0678	0,0785
C7	0,0792	0,0460	0,0494	0,0757
C8	0,0795	0,0517	0,0525	0,0727
C9	0,0761	0,0270	0,0617	0,0776
C10	0,0748	0,0265	0,0937	0,0835
C11	0,0764	0,0435	0,0821	0,0712

Табела 5.34. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу реке Топлице, при избору тежина w_i

Подслив	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
C2	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
C3	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

ПИС1=0,5023; ПИС2=0,6023; ПИС3=0,7023; ПИНС1=0,6284; ПИНС2=0,4284

Табела 5.35. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Топлице, при тежинама критеријума w_i

Подслив	y'	y''	y	Кориг. ранг
C1	2	2	2	4
C2	1	1	1	1,5
C3	1	1	1	1,5
C4	1	4	2,5	6,5
C5	3	4	3,5	9,5
C6	1	3	2	4
C7	4	4	4	11
C8	3	3	3	8
C9	3	4	3,5	9,5
C10	1	3	2	4
C11	2	3	2,5	6,5

$$C2=C3>C1=C6=C10>C4=C11>C8>C5=C9>C7$$

При истим тежинама критеријума, најугроженији подсливови су C2 и C3 (Табела 5.35).

Резултати рангирања подсливова у сливу реке Топлице применом WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II, у случају истих тежина RUSLE фактора дати су у Табели 5.36, а коефицијент корелације ранга је дат у Табели 5.37.

Табела 5.36. Поређење рангова подсливова у реци Топлици према степену угрожености ерозијом

WSM	$C3>C10>C1>C4>C6>C2>C11>C5>C9>C7>C8$
PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	$C3>C10>C1>C2>C6>C11>C5>C4>C7>C8>C9$
PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	$C3>C10>C2>C1>C6>C4>C5>C11>C7>C8>C9$
ELECTRE II	$C2=C3>C1=C6>C10>C4=C11>C8>C5=C9>C7$

Табела 5.37. Спирманов коефицијент корелације ранга

WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,87
WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,90
WSM и ELECTRE II	0,80
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,85
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,88

Највећи степен корелације ранга имају методе WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III).

5.1.3.3. Рангирање подсливова у реци Расини према степену угрожености ерозијом земљишта

5.1.3.3.1. Рангирање подсливова у реци Расини према степену угрожености ерозијом земљишта применом WSM.

На основу стандардизоване матрице из Табеле 5.38 одређен је ранг подсливова у Расини (Табела 5.39).

Табела 5.38. Стандардизација елемената матрице применом макс-мин нормализације, при тежинама w_i

Подслив	K	C	R	LS
P1	0,4375	0,7044	0,0843	0,2026
P2	0,3750	0,5256	0,0454	0,2810
P3	1	0,2624	0,0175	0
P4	0,7708	0,7475	0,0713	0,0752
P5	0,2604	0,8185	0,0700	0,2402
P6	0,5000	1	0,1494	0,0899
P7	0,5417	0,1518	0,3795	0,7108
P8	0,4583	0,2507	0,3778	0,5359
P9	0,3542	0	0,6481	0,7614
P10	0	0,4070	1	0,6422
P11	0	0,2255	0,9476	0,8350
P12	0,2083	0,3324	0,5220	0,8088
P13	0,2708	0,3477	0,2830	0,8758
P14	0,5313	0,3118	0	0,6879
P15	0,3125	0,2408	0,5044	0,9951
P16	0,4583	0,1752	0,0316	0,8529
P17	0,3958	0,0602	0,2042	1
P18	0,2604	0,0809	0,1957	0,8431
P19	0,4167	0,3504	0,1592	0,4706

Табела 5.39. Ранг подсливова у сливу реке Расине, применом субјективних и комбинованих тежина

Подслив	$u_i(w_i)$	ранг	$u_i(w_k)$	ранг
P1	0,3572	14	0,3543	14
P2	0,3068	19	0,3058	19
P3	0,3200	18	0,3099	18
P4	0,4162	9	0,4085	10
P5	0,3473	16	0,3464	17
P6	0,4348	8	0,4293	8
P7	0,4460	5	0,4490	6
P8	0,4057	11	0,4071	11

Табела 5.39. Ранг подсливова у сливу реке Расине, применом субјективних и комбинованих тежина (Наставак)

P9	0,4409	7	0,4462	7
P10	0,5123	2	0,5183	2
P11	0,5020	3	0,5109	3
P12	0,4679	4	0,4749	4
P13	0,4443	6	0,4519	5
P14	0,3827	12	0,3859	12
P15	0,5132	1	0,5217	1
P16	0,3795	13	0,3856	13
P17	0,4151	10	0,4236	9
P18	0,3450	17	0,3528	15
P19	0,3492	15	0,3504	16

Прменом WSM методе, добијен је ранг подсливова који указује на највећу угроженост подслива P15, а затим подсливова P10 и P11 (Табела 5.39). Резултати рангирања су слични при тежинама w_i и w_k .

5.1.3.3.2. Рангирање подсливова у реци Расини према степену угрожености ерозијом земљишта применом PROMETHEE II

Улазни подаци за рангирање подсливова у сливу реке Расине према степену угрожености ерозијом су дати у Табели 5.40. У Табели 5.41 и 5.42 су дати резултати рангирања у зависности од избора функције преференције.

Табела 5.40. Тип критеријума и прагова p и q за подсливове издвојене у сливу реке Расине

Прагови	K	C	R	LS
	max	max	max	max
q	0,12	1,39	51,81	0,77
p	0,36	4,17	155,43	2,30

Табела 5.41. Ранг подсливова у сливу реке Расине при тежинама RUSLE фактора w_i и избора општег критеријума типа III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,0549	0,291	0,3458	13
P2	-0,1644	0,2248	0,3892	19
P3	-0,1535	0,2791	0,4326	18
P4	0,0916	0,4278	0,3362	4
P5	-0,1341	0,2622	0,3963	16
P6	0,0416	0,3603	0,3186	9
P7	0,1115	0,3488	0,2373	3
P8	0,0277	0,302	0,2742	10
P9	0,0452	0,3507	0,3055	8
P10	0,0793	0,4218	0,3425	5
P11	0,0628	0,3863	0,3235	7
P12	0,1182	0,3637	0,2455	2
P13	0,0734	0,3062	0,2327	6
P14	-0,0365	0,2582	0,2947	12
P15	0,2071	0,4061	0,199	1
P16	-0,0605	0,2264	0,287	14
P17	-0,0018	0,2865	0,2883	11
P18	-0,1462	0,1979	0,3442	17
P19	-0,1065	0,2233	0,3298	15

Табела 5.42. Ранг подсливова у сливу реке Расине при тежинама RUSLE фактора w_i и и избора општег критеријума типа V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,0626	0,2369	0,2995	14
P2	-0,1642	0,164	0,3282	19
P3	-0,1183	0,257	0,3753	17
P4	0,1071	0,4022	0,2951	3
P5	-0,102	0,2287	0,3307	15
P6	0,0022	0,29	0,2878	10
P7	0,1034	0,27	0,1666	4
P8	0,0125	0,2276	0,215	9
P9	0,0769	0,3079	0,231	6
P10	0,0793	0,3788	0,2995	5
P11	0,0757	0,352	0,2762	7
P12	0,1161	0,301	0,1849	2
P13	0,0469	0,2168	0,1699	8
P14	-0,0385	0,1887	0,2272	12
P15	0,1959	0,336	0,1401	1
P16	-0,0487	0,1657	0,2144	13
P17	-0,0217	0,2039	0,2257	11
P18	-0,1164	0,1387	0,2551	16
P19	-0,1435	0,1356	0,2791	18

Табела 5.43. Ранг подсливова у сливу реке Расине применом PROMETHEE II методе при тежинама RUSLE фактора w_i и w_k , и различитом типу општег критеријума

Подслив	Функција преференције тип III		Функција преференције тип V	
	w_i	w_k	w_i	w_k
P1	13	14	14	14
P2	19	18	19	19
P3	18	19	17	17
P4	4	7	3	4
P5	16	17	15	16
P6	9	9	10	10
P7	3	3	4	3
P8	10	10	9	9
P9	8	8	6	7
P10	5	4	5	6
P11	7	6	7	5
P12	2	2	2	2
P13	6	5	8	8
P14	12	12	12	12
P15	1	1	1	1
P16	14	13	13	13
P17	11	11	11	11
P18	17	16	16	15
P19	15	15	18	18

Применом PROMETHEE II методе добија се да је најугроженији подслив P15, затим следе P12, P7 итд. Ови резултату су приказани у Табели 5.43, где је извршено поређење ранга подсливова у зависности од избора типа општег критеријума. Вредности позитивног тока, негативног тока и чистог тока акција, при тежинама w_k су дати у Прилогу А, у Табели А.11 и А.12.

5.1.3.3.3. Рангирање подсливова у реци Расини према степену угрожености ерозијом земљишта применом ELECTRE II.

Резултати примене ELECTRE II методе су дати у Табелама 5.44, 5.45 и 5.46. У прилогу А, у Табелама А.13. А.14 и А.15 су дате матрице - резултати примене ове методе у случају комбинованих тежина критеријума w_k .

Табела 5.44. Тежинска нормализована матрица одлучивања

	K	C	R	LS
P1	0,058	0,0837	0,0515	0,0208
P2	0,0567	0,0665	0,0505	0,0272
P3	0,0695	0,0411	0,0499	0,0043
P4	0,0648	0,0878	0,0512	0,0104
P5	0,0544	0,0946	0,0512	0,0238
P6	0,0593	0,1121	0,0531	0,0116
P7	0,0601	0,0305	0,0589	0,0622
P8	0,0584	0,04	0,0588	0,0479
P9	0,0563	0,0159	0,0656	0,0663
P10	0,049	0,0551	0,0743	0,0566
P11	0,049	0,0376	0,073	0,0723
P12	0,0533	0,0479	0,0624	0,0702
P13	0,0546	0,0494	0,0565	0,0756
P14	0,0599	0,0459	0,0494	0,0603
P15	0,0554	0,0391	0,062	0,0854
P16	0,0584	0,0328	0,0502	0,0738
P17	0,0571	0,0217	0,0545	0,0858
P18	0,0544	0,0237	0,0543	0,073
P19	0,0576	0,0496	0,0534	0,0426

Табела 5.45. Матрица агрегатне доминације

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
P1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P17	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ПИС1=0,5022; ПИС2=0,6022; ПИС3=0,7022; ПИНС1=0,7844; ПИНС2=0,5844

Табела 5.46. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Расине при тежинама RUSLE фактора w_i

	y'	y''	y	Кориг. ранг
P1	2	2	2	8
P2	3	3	3	15,5
P3	4	4	4	19
P4	2	3	2,5	11,5
P5	2	3	2,5	11,5
P6	1	1	1	1
P7	2	3	2,5	11,5
P8	3	4	3,5	17,5
P9	2	4	3	15,5
P10	1	2	1,5	4,5
P11	1	2	1,5	4,5
P12	1	2	1,5	4,5
P13	1	2	1,5	4,5
P14	2	3	2,5	11,5
P15	1	2	1,5	4,5
P16	2	3	2,5	11,5
P17	1	2	1,5	4,5
P18	3	4	3,5	17,5
P19	2	3	2,5	11,5

$P_6 > P_{10} = P_{11} = P_{12} = P_{13} = P_{15} = 17 > P_1 > P_4 = P_5 = P_7 = P_{14} = P_{16} = P_{19} > P_2 = P_9 > P_8 = P_{18} > P_3$

Према резултатима добијеним применом ELECTRE II методе, за подсливова у сливу реке Расине, подслив који је најугроженији ерозијом је P6 (Табела 5.46). Овом акцијом не доминира ни једна друга, при чему ова акција доминира над највећим бројем акција. Другог приоритета су подсливови P10, P11, P12, P13, P15 и P17, који су 1. приоритета када се посматра директни ранг (не постоји акција, тј. подслив који доминира овим подсливовима), али су 2. приоритета по индиректном рангу.

Резултати рангирања подсливова у сливу реке Расине применом WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II, у случају истих тежина RUSLE фактора дати су у Табели 5.47.

Табела 5.47. Поређење рангова подсливова у реци Расини према степену угрожености ерозијом земљишта

WSM	R15>R10>R11>R12>R7>R13>R9>R6>R4>R17> R8>R14>R16>R1>R19>R5>R18>R3>R2
PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	P15>P12>P7>P4>P10>P13>P11>P9>P6>P8>P17>P14> P1>P16>P19>P5>P18>P3>P2
PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	P15>P12>P4>P7>P10>P9>P11>P13>P8>P6>P17>P14> P16>P1>P5>P18>P3>P19>P2
ELECTRE II	P6>P10=P11=P12=P13=P15=17>P1>P4=P5=P7=P14=P 16=P19>P2 =P9>R8=P18>P3

Различит ранг подсливова се добија применом метода WSM, PROMETHEE II и ELECTRE II (Табела 5.47). Број рангова код WSM и PROMETHEE II је 19, а код ELECTRE II су добијена само 4 ранга акција.

Повезаност рангова се може сматрати статистички значајном, на шта указују вредности Спирмановог коефицијента корелације ранга (Табела 5.48). Највећа корелација рангова остварена је применом WSM и PROMETHEE II.

Табела 5.48. Спирманов коефицијент корелације ранга

WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,92
WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,94
WSM и ELECTRE II	0,68
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,49
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,59

5.1.4. Идентификација најугроженијих подсливова и "hot spot" површина према степену угрожености од ерозије земљишта

Највећа осетљивост од ерозије земљишта је у подсливовима који су применом метода вишекритеријумске анализе оцењени као подсливови првог ранга, а то су подслив Т8 у сливу Топчидерске реке, подслив С3 у сливу реке Топлице и подслив Р15 у сливу реке Расине.

Поред просечних вредности губитака земљишта, идентификација ерозијом најугроженијих површина, односно локација где су губици земљишта са

максималним вредностима ("hot spot" површина) је значајна због примене мера и радова који ће допринети редукцији ерозије.

Издавање "hot spot" површина је вршено класификовањем губитака земљишта у GIS-у у категорије на основу дефинисаних интервала датих у Табели 5.49.

Табела 5.49. Категорије угрожености ерозијом земљишта

Категорија угрожености	Губици [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]
интензивна	>40
јака	20,01-40
умерена до јака	10,01-20
умерена	5,01-10
слаба	<5,00

На картама (Слика 5.1, 5.2 и 5.3) губици земљишта су представљени бојама, где наранџаста и црвена указују на најугроженије локације.

5.1.4.1. Идентификација најугроженијег подслива и издавање "hot spot" површина према степену угрожености ерозијом земљишта у сливу Топчидерске реке

За приказ "hot spot" површина у сливу Топчидерске реке изабран је подслив Т8, који је применом све три методе вишекритеријумске анализе рангиран као најугроженији ерозијом земљишта. Овај подслив заузима површину од 33,65 km² и налази се у горњем делу слива. Стандардизоване вредности фактора еродибилности, начина коришћења земљишта и ерозивности кише, односно фактора К, С и R, за овај подслив износе 1, 1 и 0,8344 (Табела 5.13). Уколико се пође од тога да 0 означава најмању угроженост ерозијом, а 1 означава највећу угроженост, овај подслив је јако угрожен са аспекта ова три RUSLE фактора.

У подсливу Т8, 40,92% слива чине земљишта са највећом вредношћу К фактора – лувисол и земљишта у лесивирању. Око 60% површине слива заузимају начини коришћења земљишта који су повољни за развој ерозионих процеса: ненаводњаване оранице (20%), комплекс култивисаних парцела (24,31%) и пољопривредне површине са уделом природног биљног покривача (18,75%). Средња годишња количина падавина у овом сливу је 700,08 mm, а вредност R фактора износи 910,10 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹. Средња вредност LS фактора износи 1,92. LS фактор средње вредности испод 3,6 заузима 88,22% слива, LS фактор

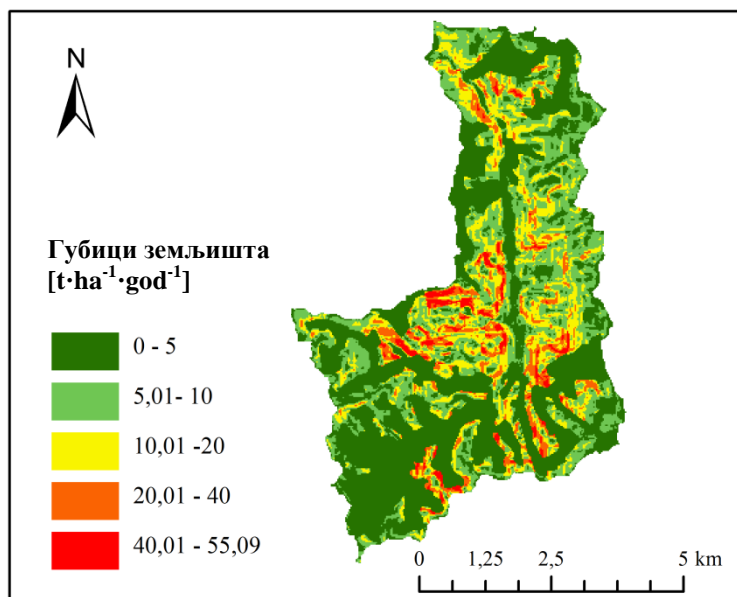
вредности од 3,6-7,2 заузима 11,82%, а LS фактор изнад 7,2 је забележен на површини која чини 0,46% површине подслива.

Вредности губитака земљишта у подсливу Т8 дати су у Табели 5.50, где се види да је слабом ерозијом угрожено 62,55% слива, док су јака и интензивна ерозија заступљене на око 5% површине подслива.

Табела 5.50. Губици земљишта у подсливу Т8

Губици земљишта [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]	Површина [ha]	Површина [%]
0-5	2104,50	62,55
5-10	675,05	20,06
10-20	447,44	13,30
20-40	133,56	3,97
≥ 40	4,06	0,12
Укупно	3364,62	100

Извор: аутор



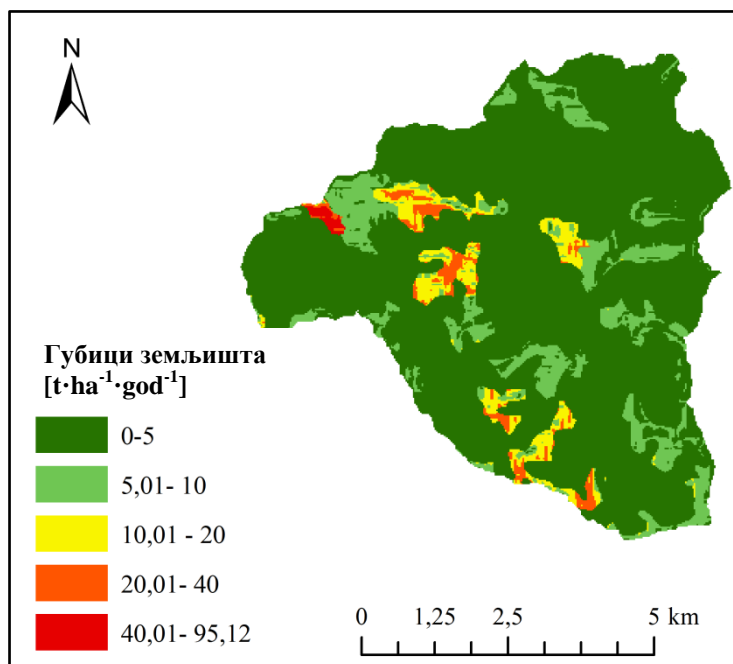
Слика 5.1. Губици земљишта у подсливу Т8

Извор: аутор

5.1.4.2. Издвајање "hot spot" површина према степену угрожености ерозијом земљишта у сливу реке Топлице

Подслив С3 је применом метода вишекритеријумске анализе рангиран као најугроженији ерозионим процесима, али је за издвајање "hot spot" површина изабран подслив С6 који је коришћен и за избор техничких радова (преграда) јер су за тај подслив били доступни профили за њихову изградњу. У Табели 5.27 су дате стандардизоване вредности RUSLE фактора за подсливове у Топлици. Према тим вредностима, подслив С3 је јако угрожен ерозијом земљишта према вредности три критеријума, тј. К, С и R, за које има стандардизоване вредности преко 0,70, односно преко 0,50 за LS фактор.

Подслив С6 је у поређењу са најугроженијим подсливом С3, више угрожен са аспекта еродибилности земљишта (К износи 0,7736) и нагиба терена (LS фактор има вредности 0,7515). Просечне вредности падавина у подсливу износе 477,5 mm, односно просечне вредности R фактора имају вредност од 620,8 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹. Вредности губитака земљишта у подсливу С6 су дате у Табели 5.51, а просторни приказ ерозије по категоријама угрожености дат је на Слици 5.2, где се види да је више од 90% слива угрожено најслабијом категоријом ерозије.



Слика 5.2. Губици земљишта у подсливу С6
Извор: аутор

Табела 5.51. Губици земљишта у подсливу С6

Губици земљишта [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]	Површина [ha]	Површина [%]
0-5	3767,18	89,98
5-10	154,07	3,68
10-20	176,26	4,21
20-40	74,10	1,77
40-95,12	15,07	0,36
Укупно	4186,69	100

Извор: аутор

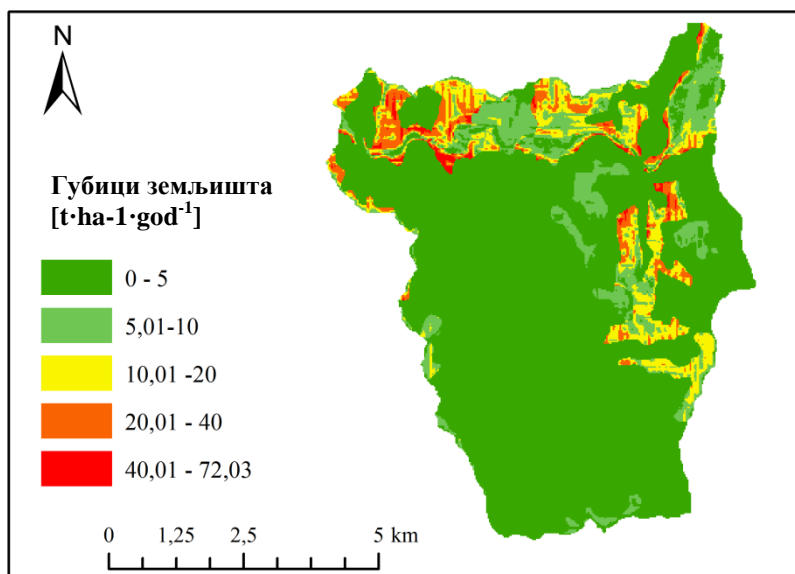
5.1.4.3. Издвајање "hot spot" површина према степену угрожености ерозијом земљишта у сливу реке Расине

У сливу реке Расине, заступљеност "hot spot" површина је приказана у подсливу Р18 у Табели 5.52, иако је као најугроженији по свим методама вишекритеријумске анализе подслив Р15. Оба подслива су најугроженија по питању топографије терена, при чему су стандардизоване вредности LS фактора код подсливова Р15 и Р18 редом 0,9951 и 0,8431 (Табела 5.35). Просечне вредности коефицијента еродибилности земљишта у подсливу Р15 и Р18 су 0,026 и 0,0255 t·h·MJ⁻¹·mm⁻¹. Просечне вредности фактора ерозионе снаге кише (R фактора) су веће за подслив Р15 (1031,22 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹) него подслив Р18 (903,28 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·god⁻¹). Заступљеност ерозије по категоријама у подсливу Р18 приказана је на Слици 5.3, где се види да је највећи део површине подслива (око 85%) са губицима земљишта до 5 t·ha⁻¹·god⁻¹, док јаке и интензивне ерозије готово да нема.

Табела 5.52. Губици земљишта у подсливу Р18

Губици земљишта [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]	Површина [ha]	Површина [%]
0-5	4090,94	85,78
5-10	322,13	6,75
10-20	313,06	6,56
20-40	41,75	0,88
≥ 40	1,00	0,02
Укупно	4768,88	100

Извор: аутор



Слика 5.3. Интензитет ерозије земљишта у подсливу P18
Извор: аутор

5.2. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од бујичних поплава

5.2.1. Критеријуми за процену угрожености подсливова од бујичних поплава

За утврђивање редоследа подсливова према степену угрожености од бујичних поплава, односно од опасности њиховог настанка, најпре је извршена процена угрожености израчунавањем 10 морфометријских параметра према формулама у поглављу 3.5.3.1, који ће овде бити само наведени:

К1 – површина слива	К6 – бифуркациона стопа
К2 – густина хидрографске мреже	К7 – текстурна стопа
К3 – коефицијент облика слива	К8 – учесталост тока
К4 – релативни пад тока	К9 – коеф. ерозионе енергије рељефа
К5 – средњи пад слива	К10 – геоморфолошко-ерозиони коеф.

Вредности наведених критеријума су одређене на основу DEM-а и хидрографске мреже, која је по Strahler-у класификована у токове $1, \dots, n$ реда, при чему n_{max} представља главни ток. Број токова n -тог реда је одређен за сваки подслив у сва три изучавана подручја и дат је у Табелама 5.53, 5.54 и 5.55. Из табела се види да

су токови највишег реда и то 6. реда, издвојени у сливу реке Расине и сливу реке Топлице, док је у сливу Топчидерске реке издвојено 5 реда токова.

Највећи број токова најнижег реда (1. реда) издвојен је у подсливовима реке Расине, као и Топлице, јер је и површина ових подсливова највећа. Број токова одређеног реда је параметар који је битан за многе анализе, попут одређивања локације за изградњу преграда, а у овом раду је коришћен за одређивање стопе бифуркације (морфометријски параметар обележен као K6 у Табелама 5.56, 5.57 и 5.58).

Табела 5.53. Систем класификације токова у сливу Топчидерске реке

Подслив	Број токова				
	1. реда	2. реда	3. реда	4. реда	5. реда
T1	22	4	/	/	1
T2	11	1	/	/	1
T3	27	5	2	1	/
T4	32	3	1	/	/
T5	99	21	4	1	1
T6	35	6	2	1	/
T7	18	3	1	/	1
T8	70	21	5	1	/
T9	29	9	3	1	/

Извор: аутор

Табела 5.54. Систем класификације токова у сливу реке Топлице

Подслив	Број токова					
	1. реда	2. реда	3. реда	4. реда	5. реда	6. реда
C1	88	19	4	1	/	/
C2	162	37	7	2	1	/
C3	150	30	7	2	/	1
C4	196	53	11	2	1	/
C5	63	15	3	1	/	1
C6	156	36	6	1	1	/
C7	44	8	1	/	/	1
C8	12	3	/	/	/	1
C9	107	32	7	7	/	/
C10	164	40	11	4	1	/
C11	92	17	4	1	/	/

Извор: аутор

Табела 5.55. Систем класификације токова у сливу реке Расине

Подслив	Број токова					
	1. реда	2. реда	3. реда	4. реда	5. реда	6. реда
P1	92	16	5	/	/	1
P2	122	28	5	1	/	/
P3	10	3	/	/	/	1
P4	34	10	1	/	/	1
P5	168	31	8	3	1	/
P6	25	5	/	/	/	1
P7	218	40	7	2	1	/
P8	650	152	31	7	/	1
P9	140	36	8	2	1	/
P10	122	26	7	2	1	/
P11	171	41	13	3	1	/
P12	328	71	12	3	2	1
P13	114	25	4	1	/	/
P14	26	6	/	/	/	1
P15	330	67	14	4	1	/
P16	79	17	3	1	/	1
P17	216	50	11	3	1	/
P18	165	33	7	2	1	1
P19	346	73	18	3	1	1

Извор: аутор

5.2.1.1. Критеријуми за процену угрожености подсливова од бујичних поплава у сливу Топчидерске реке

Вредности морфометријских критеријума за подсливова у Топчидерској реци су дати у Табели 5.56.

Табела 5.56. Вредности морфометријских критеријума за подсливова издвојене у сливу Топчидерске реке

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
T1	8,85	1,83	0,53	3,59	11,96	4,75	1,32	3,05	28,59	52,32
T2	3,92	1,22	0,57	3,24	12,99	6,00	1,01	3,32	30,49	37,20
T3	11,08	1,86	0,63	2,96	9,73	3,30	1,21	3,16	38,82	72,21
T4	13,52	1,80	0,57	2,96	10,82	6,83	1,11	2,66	48,18	86,72
T5	41,64	1,86	0,63	2,77	11,31	3,74	2,27	3,00	50,37	93,68
T6	12,89	1,82	0,63	5,45	13,94	3,61	1,56	3,41	32,27	58,73
T7	8,05	1,82	0,47	1,96	15,18	3,33	1,13	2,86	67,77	123,33
T8	33,65	1,82	0,65	3,24	11,94	4,18	1,63	2,88	33,26	60,53
T9	14,54	1,62	0,62	2,96	12,70	3,07	1,33	2,89	35,85	58,07

5.2.1.2. Критеријуми за процену угрожености подсливова од бујичних поплава у сливу реке Топлице

Вредности морфометријских критеријума за подсливова у сливу реке Топлице су дати у Табели 5.57.

Табела 5.57. Вредности морфометријских критеријума за подсливова издвојене у сливу реке Топлице

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
C1	24,72	2,02	0,56	6,64	35,21	4,46	2,57	4,53	112,59	227,43
C2	42,32	2,08	0,58	9,27	35,11	3,79	3,83	4,94	163,24	339,53
C3	41,54	2,1	0,61	5,57	34,19	3,70	3,48	4,57	96,02	201,63
C4	57,89	2,18	0,64	5,64	29,56	4,00	3,94	4,54	99,20	216,25
C5	18,33	2,09	0,84	9,62	35,69	3,30	2,09	4,53	103,34	215,99
C6	41,87	2,17	0,55	6,24	36,08	4,33	3,89	4,78	110,46	239,69
C7	13,19	2,25	0,67	9,60	35,53	4,83	2,03	4,09	100,90	227,03
C8	4,64	2,11	0,54	15,38	33,88	3,50	0,99	3,45	147,11	310,40
C9	32,11	2,07	0,63	8,09	35,57	4,97	3,47	4,76	103,86	214,99
C10	45,67	2,10	0,57	7,57	38,28	3,62	4,18	4,82	123,93	260,26
C11	25,92	2,11	0,61	9,89	32,25	4,55	3,55	4,40	114,86	242,36

5.2.1.3. Критеријуми за процену угрожености подсливова од бујичних поплава у сливу реке Расине

Вредности морфометријских критеријума за подсливова у сливу реке Расине су дати у Табели 5.58.

Табела 5.58. Вредности морфометријских критеријума за подсливова издвојене у сливу реке Расине

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
P1	26,44	2,41	0,49	2,55	9,44	3,76	2,82	4,31	46,17	111,26
P2	39,50	2,04	0,59	2,04	12,34	4,99	2,44	3,95	42,68	87,07
P3	1,91	2,75	0,67	0,91	2,54	3,17	1,26	7,35	5,69	15,65
P4	9,80	2,84	0,64	2,06	5,13	4,80	1,39	4,69	27,71	78,70
P5	43,62	2,10	0,51	2,22	11,06	3,74	3,68	4,84	48,12	101,06
P6	4,51	3,41	0,62	2,90	5,75	5,00	1,69	6,87	29,22	99,65
P7	62,73	2,21	0,45	5,47	25,62	4,17	4,30	4,27	135,28	298,98
P8	199,09	2,28	0,50	2,47	20,08	5,15	6,58	4,22	79,97	182,33
P9	43,04	2,59	0,49	6,10	26,79	3,60	2,79	4,34	152,26	394,36
P10	36,24	2,10	0,59	4,98	23,40	3,48	2,76	4,36	94,65	198,76
P11	46,56	2,29	0,66	9,81	28,85	3,66	4,52	4,92	134,61	308,26

Табела 5.58. Вредности морфометријских критеријума за подсливове издвојене у сливу реке Расине (Наставак)

P12	87,28	2,24	0,57	4,12	28,42	3,60	5,15	4,78	93,10	208,54
P13	33,50	2,17	0,60	7,81	30,21	4,94	2,96	4,30	129,30	280,58
P14	6,73	2,34	0,67	8,45	24,65	5,17	1,60	4,90	78,67	184,09
P15	92,26	2,12	0,50	5,91	34,18	4,30	5,00	4,51	155,76	330,22
P16	20,19	2,29	0,60	6,52	30,17	3,58	2,72	5,00	91,94	210,53
P17	70,34	1,95	0,82	6,03	34,53	3,88	3,86	3,99	88,75	173,06
P18	47,69	2,21	0,67	7,03	29,64	3,24	3,90	4,38	104,95	231,94
P19	111,05	1,12	0,42	2,64	18,13	3,76	5,48	3,98	75,78	84,87

5.2.2. Тежине критеријума за рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава

5.2.2.1. Одређивање субјективних тежина критеријума за рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава

За одређивање субјективних тежина морфометријских критеријума, коришћена је АНР метода, тј. метода поређење у паровима. Три приоритизациона метода су коришћена за одређивање тежина, и то: метод сопствене вредности (eigenvector – EV), метод адитивне нормализације (additive normalization – AN) и метод најмањих квадрата (The Logarithmic Least Squares – LLS). Тежине добијене применом све три метода имају сличне вредности (Табела 5.59), а за даље анализе су коришћени резултати EV метода. Проверена је конзистентност матрице, при чему је добијено следеће $\lambda_{\max}=10,1723$, $CI=0,0191$, $RI=1,49$ и $CR=0,0127$.

Табела 5.59. Поређење морфометријских критеријума у паровима и добијене тежине w_i

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	Тежине w_i		
											EV	AN	LLS
K1	1	3	3	1/2	1/2	3	2	2	1/2	1/2	0,1085	0,1081	0,1054
K2	1/3	1	2	1/3	1/3	2	1/2	1/2	1/3	1/3	0,0511	0,0519	0,0503
K3	1/3	1/2	1	1/4	1/4	1	1/3	1/2	1/4	1/4	0,0348	0,0351	0,0350
K4	2	3	4	1	1	3	2	2	1	1	0,1525	0,1519	0,1534
K5	2	3	4	1	1	3	2	2	1	1	0,1525	0,1519	0,1534
K6	1/3	1/2	1	1/3	1/3	1	1/2	1/2	1/3	1/3	0,0411	0,0416	0,0408
K7	1/2	2	3	1/2	1/2	2	1	1	1/2	1/2	0,0789	0,0796	0,0790
K8	1/2	2	2	1/2	2	2	1	1	1/2	1/2	0,0755	0,0760	0,0758
K9	2	3	4	1	1	3	2	2	1	1	0,1525	0,1519	0,1534
K10	2	3	4	1	1	3	2	2	1	1	0,1525	0,1519	0,1534

5.2.2.2. Одређивање комбинованих тежина критеријума за рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава

Вредности комбинованих тежина w_k су одређене по формули из поглавља 3.3.3.1, тј. на основу објективних тежина w_j^o , субјективних тежина w_j^s и корелационих тежина w_j^c . Комбиноване тежине имају вредности у зависности од усвојене вредности параметра λ који износи 1/3. Комбиноване тежине морфометријских критеријума за подсливова у сливу Топчидерске реке дате су у Табели 5.60.

Табела 5.60. Комбиноване тежине морфометријских критеријума w_k за подсливова у сливу Топчидерске реке

Критеријум	w_k	Критеријум	w_k
	$\lambda=1/3$		$\lambda=1/3$
К1	0,1008	К6	0,0944
К2	0,0758	К7	0,0928
К3	0,0705	К8	0,0908
К4	0,1175	К9	0,1248
К5	0,1160	К10	0,1165

Комбиноване тежине w_k су добијене на основу објективних, субјективних и корелационих тежина које су дате у Табели 5.61.

Табела 5.61. Објективне, субјективне и корелационе тежине морфометријских критеријума за подсливова Топчидерске реке w_k

Критеријум	w_j^o	w_j^s	w_j^c
К1	0,0817	0,1085	0,1123
К2	0,0876	0,0511	0,0887
К3	0,0806	0,0348	0,0961
К4	0,1025	0,1525	0,0976
К5	0,0901	0,1525	0,1054
К6	0,1222	0,0411	0,1200
К7	0,1199	0,0789	0,0796
К8	0,0908	0,0755	0,1061
К9	0,1226	0,1525	0,0992
К10	0,1019	0,1525	0,0950

2) Комбиноване тежине морфометријских критеријума w_k за подсливове у сливу реке Топлице (Табела 5.62) добије су на основу тежина из Табеле 5.63.

Табела 5.62. Комбиноване тежине морфометријских критеријума w_k за подсливове у сливу реке Топлице

Критеријум	w_k	Критеријум	w_k
	$\lambda=1/3$		$\lambda=1/3$
К1	0,0989	К6	0,0823
К2	0,0796	К7	0,0925
К3	0,0857	К8	0,0900
К4	0,1228	К9	0,1197
К5	0,1104	К10	0,1180

Табела 5.63. Објективне, субјективне и корелационе тежине морфометријских критеријума за подсливове реке Топлице

Критеријум	w_j^o	w_j^s	w_j^c
К1	0,0885	0,1085	0,0998
К2	0,0835	0,0511	0,1043
К3	0,1099	0,0348	0,1125
К4	0,1040	0,1525	0,1120
К5	0,0819	0,1525	0,0969
К6	0,1000	0,0411	0,1057
К7	0,1080	0,0789	0,0907
К8	0,1047	0,0755	0,0899
К9	0,1118	0,1525	0,0947
К10	0,1078	0,1525	0,0937

3) Комбиноване тежине морфометријских критеријума за подсливове у сливу реке Расине (Табела 5.64) добије су на основу тежина из Табеле 6.65.

Табела 5.64. Комбиноване тежине морфометријских критеријума w_k за подсливове у сливу реке Расине

Критеријум	w_k	Критеријум	w_k
	$\lambda=1/3$		$\lambda=1/3$
К1	0,0932	К6	0,0876
К2	0,0820	К7	0,0963
К3	0,0837	К8	0,1170
К4	0,1137	К9	0,1082
К5	0,1078	К10	0,1104

Табела 5.65. Објективне, субјективне и корелационе тежине морфометријских критеријума за подсливове реке Расине

Критеријум	w_i^o	w_i^s	w_i^c
K1	0,0589	0,1085	0,1121
K2	0,0772	0,0511	0,1178
K3	0,1059	0,0348	0,1104
K4	0,1073	0,1525	0,0814
K5	0,0908	0,1525	0,0801
K6	0,1108	0,0411	0,1108
K7	0,1114	0,0789	0,0987
K8	0,1469	0,0755	0,1285
K9	0,0913	0,1525	0,0808
K10	0,0994	0,1525	0,0794

5.2.2.3. Одређивање објективних тежина применом ENTROPY методе

Примена методе ENTROPY омогућава елиминисање критеријума чији је значај најмањи, односно критеријума за које алтернативе имају јако сличне вредности атрибута (критеријума). Код подсливова у Топчидерској реци и подсливова у сливу реке Топлице најмањи значај имају морфометријски критеријуми K2, K5 и K8, а у сливу реке Расине, најмањи значај имају критеријуми K3, K6 и K8 (Табела 5.66). Уколико се 1) елиминишу критеријуми K2, K5 и K8, или 2) критеријуми K3, K6 и K8, применом АНР методе, добијају се тежине означене као w_{el} које су приказане у Табели 5.67.

Табела 5.66. Тежине морфометријских критеријума добијене применом ENTROPY методе

	w_{k1}	w_{k2}	w_{k3}	w_{k4}	w_{k5}	w_{k6}	w_{k7}	w_{k8}	w_{k9}	w_{k10}
1	0,4611	0,0014	0,0277	0,1601	0,0069	0,0301	0,2012	0,0144	0,0505	0,0466
2	0,3764	0,0011	0,0226	0,1307	0,0056	0,0246	0,1642	0,0118	0,225	0,038
3	0,3131	0,0167	0,0119	0,1618	0,1241	0,0117	0,0832	0,014	0,1299	0,1335

1-слив Топчидерске реке, 2-слив реке Топлице (узводно од бране „Селова“), 3-слив реке Расине

Табела 5.67. Тежине критеријума услед елиминације појединих критеријума w_{el}

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
1) w_{el}^*	0,1416	-	0,0497	0,2137	-	0,0597	0,1081	-	0,2137	0,2137
2) w_{el}^{**}	0,1165	0,0542	-	0,1853	0,1853	-	0,0882	-	0,1853	0,1853

* w_{el} – тежине добијене након елиминације критеријума (слив Топчидерске и Топлице),

** w_{el} – тежине добијене након елиминације критеријума (слив Расине)

У оба случаја постигнута је конзистентност одлучивања, и то у случају 1) $CI=0,0176$, $R=1,32$ и $CR=0,0134$, односно у случају 2) $CI=0,0148$, $R=1,32$ и $CR=0,0112$.

5.2.3. Рангирање подсливова према опасности од бујичних поплава

5.2.3.1. Рангирање подсливова у сливу Топчидерске реке према опасности од бујичних поплава

5.2.3.1.1. Рангирање подсливова у сливу Топчидерске реке према опасности од бујичних поплава применом WSM

У Табелама 5.68 и 5.69 дате су стандардизоване вредности и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке према степену угрожености од бујичних поплава.

Табела 5.68. Стандардизација елемената почетне матрице

T1	0,8693	0,9531	0,3333	0,4670	0,4092	0,4468	0,2460	0,5200	0,0000	0,1755
T2	1,0000	0,0000	0,5556	0,3668	0,5982	0,7793	0,0000	0,8800	0,0485	0,0000
T3	0,8102	1,0000	0,8889	0,2865	0,0000	0,0612	0,1587	0,6667	0,2611	0,4065
T4	0,7455	0,9063	0,5556	0,2865	0,2000	1,0000	0,0794	0,0000	0,5000	0,5749
T5	0,0000	1,0000	0,8889	0,2321	0,2899	0,1782	1,0000	0,4533	0,5559	0,6558
T6	0,7622	0,9375	0,8889	1,0000	0,7725	0,1436	0,4365	1,0000	0,0939	0,2500
T7	0,8905	0,9375	0,0000	0,0000	1,0000	0,0691	0,0952	0,2667	1,0000	1,0000
T8	0,2118	0,9375	1,0000	0,3668	0,4055	0,2952	0,4921	0,2933	0,1192	0,2709
T9	0,7185	0,6250	0,8333	0,2865	0,5450	0,0000	0,2540	0,3067	0,1853	0,2423

Табела 5.69. Ранг подсливова у сливу Топчидерске реке према опасности од бујичних поплава применом WSM

Подслив	$ii(w_i)$	Ранг	$ii(w_k)$	Ранг
T1	0,3921	5	0,4184	5
T2	0,3808	6	0,4120	7
T3	0,3808	7	0,4148	6
T4	0,4320	4	0,4710	4
T5	0,4669	3	0,4959	3
T6	0,6001	2	0,6034	1
T7	0,6325	1	0,5577	2
T8	0,3560	9	0,3996	8
T9	0,3741	8	0,3782	9

У сливу Топчидерске реке подслив најугоженији од бујичних поплава, применом WSM методе, при субјективним тежинама критеријума w_i је подслив са највећом вредности корисности $ui(w_i)$, односно подслив Т7. Применом комбинованих тежина w_k , овај подслив је 2. ранга, а првог ранга је подслив Т6 (Табела 5.69).

5.2.3.1.2. Рангирање подсливова у сливу Топчидерске реке према опасности од бујичних поплава применом PROMETHEE II

У Табели 5.70 су дате вредности прагова коришћених за рангирање подсливова у Топчидерској реци према опасности од бујичних поплава.

Табела 5.70. Тип критеријума и вредности прагова p и q за подсливове издвојене у сливу Топчидерске реке

Прагови	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
q	4,72	0,08	0,02	0,44	0,68	0,47	0,16	0,09	4,90	10,77
p	14,15	0,24	0,07	1,31	2,04	1,41	0,47	0,28	14,69	32,30

Вредности чистог тока, позитивног и негативног тока акција у случају избора критеријума типа III или критеријума типа V, при тежинама w_i , дате су у Табелама 5.71 и 5.72. Ови параметри PROMETHEE методе су израчунати и за случајеве када се разматрају комбиноване тежине w_k (Табела 5.60), и ти резултати су дати у Прилогу Б, у Табелама Б.1 и Б.2.

Табела 5.71. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина w_i и избора функције преференције тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,1064	0,1646	0,271	6
T2	-0,0929	0,2347	0,3276	5
T3	-0,1196	0,1657	0,2853	7
T4	0,0131	0,2851	0,272	4
T5	0,0945	0,3563	0,2618	3
T6	0,2704	0,425	0,1547	1
T7	0,2540	0,4916	0,2376	2
T8	-0,1719	0,1515	0,3234	9
T9	-0,141	0,1372	0,2782	8

Табела 5.72. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина w_i и избора функције преференције тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,1043	0,2213	0,3256	6
T2	-0,1232	0,2582	0,3814	7
T3	-0,0811	0,24	0,3211	5
T4	-0,0603	0,2778	0,3381	4
T5	0,0903	0,3921	0,3019	3
T6	0,2808	0,4636	0,1828	1
T7	0,2697	0,5208	0,2511	2
T8	-0,1465	0,209	0,3555	9
T9	-0,1253	0,1975	0,3228	8

Ранг подсливова у сливу Топчидерске реке при различитим тежинама и избору типа критеријума (тј. облика функције преференције), дат је у Табели 5.73. Резултати указују да су промене ранга незнатне и да до њих може доћи било променом тежине критеријума, или променом типа критеријума.

Табела 5.73. Ранг подсливова у сливу Топчидерске реке применом PROMETHEE II методе при тежинама критеријума w_i и w_k и различитим функцијама преференције

Подслив	Тип III		Тип V	
	w_i	w_k	w_i	w_k
T1	6	6	6	6
T2	7	5	5	5
T3	5	7	7	7
T4	4	4	4	4
T5	3	3	3	3
T6	1	1	1	1
T7	2	2	2	2
T8	9	8	9	8
T9	8	9	8	9

Применом методе PROMETHEE II, анализиран је ранг подсливова у Топчидерској реци, услед промене вредности тежина критеријума и избора функције преференције. Било применом субјективних тежина w_i , или комбинованих тежина w_k , добија се да је најугроженији подслив Т6, и после њега су по угрожености посливови Т7 и Т5.

Избор критеријума типа III, односно типа V, може довести до промене ранга, али се те промене односе само на замену места појединих подсливова, што је најизраженије за подсливове T2 и T3.

5.2.3.1.3. Рангирање подсливова у сливу Топчидерске реке према опасности од бујичних поплава применом ELECTRE II

На основу почетне матрице одлучивања (Табела 5.56) и тежина морфометријских критеријума w_i (Табела 5.59), добијена је тежинска нормализована матрица дата у Табели 5.74.

Табела 5.74. Тежинска нормализована матрица за подсливове у Топчидерској реци

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
T1	0,0158	0,0178	0,0104	0,0557	0,0491	0,0145	0,0241	0,0253	0,0343	0,0352
T2	0,0070	0,0119	0,0112	0,0503	0,0533	0,0183	0,0184	0,0275	0,0366	0,0250
T3	0,0197	0,0181	0,0124	0,046	0,0399	0,0101	0,022	0,0262	0,0466	0,0486
T4	0,0241	0,0175	0,0112	0,046	0,0444	0,0209	0,0202	0,0221	0,0578	0,0584
T5	0,0742	0,0181	0,0124	0,043	0,0464	0,0114	0,0414	0,0249	0,0605	0,0631
T6	0,0230	0,0177	0,0124	0,0846	0,0572	0,011	0,0284	0,0283	0,0387	0,0395
T7	0,0143	0,0177	0,0092	0,0304	0,0623	0,0102	0,0206	0,0237	0,0814	0,0830
T8	0,0600	0,0177	0,0127	0,0503	0,049	0,0128	0,0297	0,0239	0,0399	0,0407
T9	0,0259	0,0158	0,0122	0,0304	0,0521	0,0094	0,0242	0,024	0,043	0,0391
T1	0,0158	0,0178	0,0104	0,0557	0,0491	0,0145	0,0241	0,0253	0,0343	0,0352
T2	0,0070	0,0119	0,0112	0,0503	0,0533	0,0183	0,0184	0,0275	0,0366	0,0250
T3	0,0197	0,0181	0,0124	0,046	0,0399	0,0101	0,022	0,0262	0,0466	0,0486

У Табели 5.75 је дата матрица агрегатне доминације, где се види да највећим бројем акција доминирају подсливови T6 и T7, али се не може закључити о доминацији неке од ове две акције, нити се може закључити о доминацији акција које у редовима матрице имају све нуле (акције T5, T8, и T9). На основу матрице агрегатне доминације, применом ELECTRE II, добија се потпуни редослед рангирања акција дат у Табели 5.76, на основу чега се може закључити да су акције првог приоритета T6 и T7.

Табела 5.75. Матрица агрегатне доминације за подсливове у Топчидерској реци

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
T2	0	0	0	0	1	0	0	1	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
T4	0	0	1	0	0	0	0	0	1
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	1	1	1	1	1	0	0	1	1
T7	1	1	1	1	1	0	0	1	1
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Табела 5.76. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу Топчидерске реке применом ELECTRE II методе

Подслив	y'	y''	y	Кориг. ранг
T1	2	3	2,5	4,5
T2	2	3	2,5	4,5
T3	3	3	3	6
T4	2	2	2	3
T5	3	4	3,5	7,5
T6	1	1	1	1,5
T7	1	1	1	1,5
T8	4	4	4	9
T9	3	4	3,5	7,5

$$T6=T7>T4>T1=T2>T3>T5=T9>T8$$

Резултати одабраних корака ELECTRE II методе, у случају примене комбинованих тежина критеријума w_k (Табела 5.60), дати су у Прилогу Б у Табелама Б.4, Б.4 и Б.5. У Табели 5.77 је дато поређење рангова подсливова, у случају примене тежина w_i и комбинованих тежина w_k . Резултат указује на највећу угроженост подсливова Т6 и Т7.

Табела 5.77. Поређење рангова подсливова у сливу Топчидерске реке применом ELECTRE II

Подслив	Ранг(w_i)	Ранг (w_k)
T1	2,5	2
T2	2,5	2
T3	3	2,5
T4	2	1
T5	3,5	3
T6	1	1
T7	1	1
T8	4	3
T9	3,5	3

Поређење резултата (рангова) добијених применом WSM, PROMETHEE II и ELECTRE II методе је дато у Табели 5.78. Анализа конфликта ранга је извршена применом Спирмановог коефицијента корелације ранга, и указује на највећи степен слагања резултата добијених применом WSM и PROMETHEE II и то избором општег критеријума тип V (Табела 5.79).

Табела 5.78. Поређење рангова подсливова у реци Расини према степену угрожености ерозијом

WSM	T7>T6>T5>T4>T1>T2>T3>T9>T8
PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	T6>T7>T5>T4>T3>T1>T2>T9>T8
PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	T6>T7>T5>T4>T2>T1>T3>T9>T8
ELECTRE II	T6=T7>T4>T1=T2>T3>T5=T9>T8

Табела 5.79. Спирманов коефицијент корелације ранга

WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,97
WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,93
WSM и ELECTRE II	0,78
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,78
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,73

5.2.3.2. Рангирање подсливова у сливу реке Топлице према опасности од бујичних поплава

5.2.3.2.1. Рангирање подсливова у сливу реке Топлице према опасности од бујичних поплава применом WSM

Стандардизација података улазне матрице из Табеле 5.57, и ранг подсливова у реци Топлици, дат је у Табелама 5.80 и 5.81.

Табела 5.80. Стандардизација елемената почетне матрице применом макс-мин нормализације

C1	0,6229	0,0000	0,0667	0,1091	0,6479	0,6946	0,4953	0,7248	0,2465	0,1871
C2	0,2924	0,2609	0,1333	0,3772	0,6365	0,2934	0,8903	1,0000	1,0000	1,0000
C3	0,3070	0,3478	0,2333	0,0000	0,5310	0,2395	0,7806	0,7517	0,0000	0,0000
C4	0,0000	0,6957	0,3333	0,0071	0,0000	0,4192	0,9248	0,7315	0,0473	0,1060
C5	0,7429	0,3043	1,0000	0,4128	0,7030	0,0000	0,3448	0,7248	0,1089	0,1041
C6	0,3008	0,6522	0,0333	0,0683	0,7477	0,6168	0,9091	0,8926	0,2148	0,2760
C7	0,8394	1,0000	0,4333	0,4108	0,6846	0,9162	0,3260	0,4295	0,0726	0,1842
C8	1,0000	0,3913	0,0000	1,0000	0,4954	0,1198	0,0000	0,0000	0,7600	0,7888
C9	0,4841	0,2174	0,3000	0,2569	0,6892	1,0000	0,7774	0,8792	0,1166	0,0969
C10	0,2295	0,3478	0,1000	0,2039	1,0000	0,1916	1,0000	0,9195	0,4152	0,4252
C11	0,6004	0,3913	0,2333	0,4404	0,3085	0,7485	0,8025	0,6376	0,2803	0,2954

Табела 5.81. Ранг подсливова у сливу реке Топлице применом WSM

Подслив	$u_i (w_i)$	Ранг	$u_i(w_k)$	Ранг
C1	0,3738	9	0,3720	9
C2	0,6671	1	0,6119	1
C3	0,2684	10	0,2962	10
C4	0,2170	11	0,2889	11
C5	0,4155	8	0,4342	8
C6	0,4309	6	0,4489	7
C7	0,4593	4	0,5004	3
C8	0,5977	2	0,5014	2
C9	0,4197	7	0,4573	6
C10	0,5141	3	0,4853	4
C11	0,4375	5	0,4603	5

Према вредности корисности u_i , независно од вредности тежина критеријума, првог ранга је подслив C2. Из Табеле 5.81 се види да услед промене тежине критеријума може доћи до промене ранга акција.

5.2.3.2.2. Рангирање подсливова у сливу реке Топлице према опасности од бујичних поплава применом PROMETHEE II

У Табели 5.82 су дати улази за примену PROMETHEE II методе, а у Табели 5.83 и 5.84 су дати резултати примене методе. Вредности позитивног тока, негативног тока, чистог тока акција и ранг акција, у случају примене комбинованих тежина w_k су дати у Прилогу Б, у Табели Б.6 и Б.7.

Табела 5.82. Тип критеријума и вредности прагова p и q за подсливова издвојене у сливу реке Топлице

Прагови	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
q	6,66	0,029	0,038	1,23	1,09	0,21	0,4	0,19	8,40	17,24
p	19,97	0,086	0,113	3,68	3,27	0,63	1,20	0,56	25,21	51,71

Табела 5.83. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Топлице, у случају тежина w_i и избора функције преференције тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	-0,167	0,1251	0,292	9
C2	0,3542	0,4628	0,1086	1
C3	-0,236	0,1005	0,3365	10
C4	-0,3254	0,1076	0,4329	11
C5	0,0396	0,245	0,2054	4
C6	-0,0642	0,1733	0,2375	7
C7	-0,0123	0,2504	0,2628	5
C8	0,3381	0,568	0,2298	2
C9	-0,08	0,1342	0,2142	8
C10	0,1976	0,3743	0,1767	3
C11	-0,0447	0,2219	0,2667	6

Табела 5.84. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Топлице, у случају тежина w_i и избора функције преференције тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	-0,1641	0,1935	0,3576	9
C2	0,372	0,52	0,148	1
C3	-0,3305	0,1241	0,4546	10
C4	-0,3614	0,1402	0,5016	11
C5	0,0431	0,3023	0,2592	4
C6	-0,0172	0,2666	0,2837	7
C7	-0,002	0,3068	0,3088	5
C8	0,3182	0,5865	0,2683	2
C9	-0,0955	0,2052	0,3006	8
C10	0,2525	0,4635	0,211	3
C11	-0,015	0,3018	0,3169	6

Промена ранга подсливова у сливу реке Топлице, услед промене тежине критеријума или типа критеријума, може се видети у Табели 5.85. При тежинама w_i , ранг је исти независно од тога да ли је изабрана линеарна функција преференције са једним прагом (критеријум типа III) или линеарна функција преференције са оба прага (критеријум типа V). Међутим, применом комбинованих тежина w_k (Табела 5.62), ранг се мења, што се дешава и променом избора типа општег критеријума.

Табела 5.85. Ранг подсливова у сливу реке Топлице применом PROMETHEE II методе при тежинама критеријума w_i и w_k и различитим функцијама преференције

Подслив	Тип III		Тип V	
	w_i	w_k	w_i	w_k
C1	9	9	9	11
C2	1	1	1	1
C3	10	11	10	9
C4	11	10	11	10
C5	4	4	4	4
C6	7	6	7	7
C7	5	5	5	5
C8	2	3	2	2
C9	8	8	8	8
C10	3	2	3	3
C11	6	7	6	6

Резултати PROMETHEE II у сливу реке Топлице, указују на највећу угроженост подслива С2, а затим и подсливова С8, С10, С5 итд., као што је приказано у Табели 5.85. Избор функције преференције код тежина w_i не доводи до промене ранга. Код комбинованих тежина w_k , променом функције преференције, поједини подсливови постају угроженији или мање угрожени, што одговара вредности разлике два ранга. На пример, подслив С11 је при избору линеарне функције преференције са оба прага 6. приоритета, а подслив С6 је 7. приоритета. Уколико се разматра само праг преференције, подслив С11 је 7. приоритета, а С6 је 6. приоритета. Слично је и са подсливовима С8 и С10, који су 2. или 3. приоритета у зависности од избора функције преференције. Оно што је важно је да значајаних промена ранга нема.

5.2.3.2.3. Рангирање подсливова у сливу реке Топлице према опасности од бујичних поплава применом ELECTRE II

Почетна матрица одлучивања, са вредностима морфометријских параметара за подсливове у сливу реке Топлице (узводно од бране „Селова“) дата је у Табели 5.57. На основу ове матрице, добијене су матрице осталих корака, од којих су тежинска нормализована и матрица агрегатне доминације дате у Табелама 5.86 и 5.87.

Табела 5.86. Тежинска нормализована матрица за подсливове у сливу реке Топлице

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
C1	0,0210	0,0229	0,0232	0,0276	0,0337	0,0268	0,0221	0,0273	0,0345	0,0326
C2	0,0360	0,0236	0,0240	0,0385	0,0336	0,0228	0,0329	0,0297	0,0500	0,0486
C3	0,0353	0,0238	0,0253	0,0231	0,0328	0,0222	0,0299	0,0275	0,0294	0,0289
C4	0,0492	0,0247	0,0265	0,0234	0,0283	0,0240	0,0339	0,0273	0,0304	0,0310
C5	0,0156	0,0237	0,0348	0,0400	0,0342	0,0198	0,018	0,0273	0,0317	0,0309
C6	0,0356	0,0246	0,0228	0,0259	0,0346	0,0260	0,0335	0,0288	0,0339	0,0343
C7	0,0112	0,0255	0,0278	0,0399	0,034	0,0290	0,0175	0,0246	0,0309	0,0325
C8	0,0039	0,0239	0,0224	0,0639	0,0325	0,0210	0,0085	0,0208	0,0451	0,0444
C9	0,0273	0,0235	0,0261	0,0336	0,0341	0,0299	0,0299	0,0286	0,0318	0,0308
C10	0,0388	0,0238	0,0236	0,0315	0,0367	0,0217	0,0360	0,0290	0,0380	0,0373
C11	0,0220	0,0239	0,0253	0,0411	0,0309	0,0273	0,0305	0,0265	0,0352	0,0347

Табела 5.87. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу реке Топлице

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C7	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C8	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
C9	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
C11	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0

Из матрице агрегатне доминације, дате у Табели 5.87, не може се закључити о доминацији појединих акција, јер на пример акције C5 и C10 доминару над истим бројем акција (три), и овим акцијама домира исти број акција (две), док је код појединих акција присутна само нула (акције C3 и C4). Спровођењем ELECTRE II, добија се потпуни поредак акција, који омогућава закључивање о доминацији свих акција (Табела 5.88)

Табела 5.88. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Топлице при тежинама w_i

Подслив	y'	y''	y	Кориг. ранг
C1	4	4	4	9
C2	1	2	1,5	2
C3	5	5	5	10,5
C4	5	5	5	10,5
C5	3	3	3	6
S6	3	4	3,5	7,5
C7	2	3	2,5	4,5
C8	1	1	1	1
C9	3	4	3,5	7,5
C10	2	3	2,5	4,5
C11	2	2	2	3

C8>C2>C11>C7=C10>C5>C6=C9>C1>C3=C4

У Табели 5.89 дато је поређење ранга акција при тежинама w_i и тежинама w_k . Резултати ELECTRE II методе, указују на то да је при тежинама w_i , најугроженији подслив С8, затим С11, С2, С7 итд. Поређење рангова подсливова у сливу реке Топлице по угрожености ерозијом применом изабраних метода вишекритеријумске анализе, као и сагласност резултата метода дати су у Табелама 5.90 и 5.91. Резултати примене ELECTRE II, у случају примене комбинованих тежина w_k из Табеле 5.62, дати су у прилогу Б, у Табелама Б.8, Б.9 и Б.10.

Табела 5.89. Поређење рангова подсливова у сливу реке Топлице применом ELECTRE II

Подслив	Ранг (w_i)	Ранг (w_k)
С1	4	3
С2	1,5	1,5
С3	5	4
С4	5	4
С5	3	2
С6	3,5	2,5
С7	2,5	1,5
С8	1	1
С9	3,5	2,5
С10	2,5	2,5
С11	2	1

Табела 5.90. Поређење рангова подсливова у сливу реке Топлице према степену угрожености ерозијом

WSM	C2>C8>C10>C7>C11>C6>C9>C5>C1>C3>C4
PROMETHEE II (критеријум тип III, тип V)	C2>C8>C10>C5>C7>C11>C6>C9>C1>C3
ELECTRE II	C8>C2>C11>C7=C10>C5>C6=C9>C1>C3=C4

Табела 5.91. Спирманов коефицијент корелације ранга

WSM и PROMETHEE II (критеријум тип V, тип III)	0,91
WSM и ELECTRE II	0,93
ELECTRE II и PROMETHEE II (критеријум тип V, тип III)	0,92

5.2.3.3. Рангирање подсливова у сливу реке Расине према опасности од бујичних поплава

Рангирање подсливова у сливу реке Расине према опасности од бујичних поплава је извршено применом WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II, и то у случају:

- 1) различитих тежина критеријума и броја критеријума:
 - а) субјективних тежина 10 морфометријских критеријума (w_i),
 - б) комбинованих тежина 10 морфометријских критеријума (w_k),
 - ц) субјективних тежина 7 морфометријских критеријума преосталих након елиминације најмање значајних критеријума (w_{el}) и
- 2) елиминације алтернатива (подсливова низводно од акумулације "Ђелије") и примене субјективних тежина критеријума (w_i).

У оба случаја, тј. било пре или после елиминације подсливова, субјективне тежине w_i су тежине дате у Табели 5.59, а комбиноване тежине су приказане у Табели 5.64. Најмање значајни критеријуми, применом ENTROPY методе за Расину су критеријуми К3 (коэффициент облика слива), К6 (бифуркациона стопа) и К8 (текстурна стопа), након чије се елиминације алтернативе вреднују по преосталих 7 критеријума чије су тежине дате у Табели 5.67.

5.2.3.3.1. Рангирање подсливова у сливу реке Расине према опасности од бујичних поплава применом WSM

1а) Стандардизација елемената почетне матрице из Табеле 5.58 дата је у Табели 5.92. Ранг подсливова у сливу реке Расине, према угрожености од поплава, применом WSM, дат је у Табели 5.93. Из поменуте табеле се види да промена тежина критеријума утиче на промену ранга, али као најугроженији подслив на основу u_i вредности се може издвојити P11.

1б) Ранг подсливова у сливу реке Расине који се добија применом комбинованих тежина морфометријских критеријума w_k , зависи од вредности корисности $u_i(w_k)$ и дат је у Табели 5.93. Првог ранга је и даље подслив P11, док се ранг појединих подсливова незнатно мења.

1ц) Када се подсливови у Расини рангирају према вредности 7 морфометријских критеријума, стандардизација вредности почетне матрице је иста као у Табели

5.92, само што се вредности за критеријуме K3, K6 и K8 занемарују. Ранг акција (подсливова) је дат у Табели 5.93 и није идентичан рангу који се добија анализом свих 10 морфометриских критеријума, али је сличан, где је првог приоритета и даље подслив P11.

Табела 5.92. Стандардизација елемената почетне матрице одлучивања за 19 подсливова у Расини

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
P1	0,8756	0,5633	0,1750	0,1843	0,2157	0,2950	0,2932	0,1059	0,2697	0,2525
P2	0,8094	0,4017	0,4250	0,1270	0,3063	0,9100	0,2218	0,0000	0,2465	0,1886
P3	1,0000	0,7118	0,6250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
P4	0,9600	0,7511	0,5500	0,1292	0,0810	0,8150	0,0244	0,2176	0,1467	0,1665
P5	0,7885	0,4279	0,2250	0,1472	0,2663	0,2850	0,4549	0,2618	0,2827	0,2255
P6	0,9868	1,0000	0,5000	0,2236	0,1003	0,9150	0,0808	0,8588	0,1568	0,2218
P7	0,6916	0,4760	0,0750	0,5124	0,7215	0,5000	0,5714	0,0941	0,8635	0,7481
P8	0,0000	0,5066	0,2000	0,1753	0,5483	0,9900	1,0000	0,0794	0,4950	0,4401
P9	0,7914	0,6419	0,1750	0,5831	0,7580	0,2150	0,2876	0,1147	0,9767	1,0000
P10	0,8259	0,4279	0,4250	0,4573	0,6521	0,1550	0,2820	0,1206	0,5928	0,4835
P11	0,7736	0,5109	0,6000	1,0000	0,8224	0,2450	0,6128	0,2853	0,8591	0,7726
P12	0,5670	0,4891	0,3750	0,3607	0,8090	0,2150	0,7312	0,2441	0,5825	0,5093
P13	0,8398	0,4585	0,4500	0,7753	0,8650	0,8850	0,3195	0,1029	0,8237	0,6996
P14	0,9756	0,5328	0,6250	0,8472	0,6912	1,0000	0,0639	0,2794	0,4863	0,4448
P15	0,5418	0,4367	0,2000	0,5618	0,9891	0,5650	0,7030	0,1647	1,0000	0,8306
P16	0,9073	0,5109	0,4500	0,6303	0,8637	0,2050	0,2744	0,3088	0,5747	0,5146
P17	0,6530	0,3624	1,0000	0,5753	1,0000	0,3550	0,4887	0,0118	0,5535	0,4156
P18	0,7678	0,4760	0,6250	0,6876	0,8471	0,0350	0,4962	0,1265	0,6614	0,5711
P19	0,4465	0,0000	0,0000	0,1944	0,4873	0,2950	0,7932	0,0088	0,4670	0,1828

2) Елиминацијом подсливова који се налазе низводно од акумулације "Ћелије", у анализи остају подсливови од P10-P19. Стандардизација елемената вредности почетне матрице је дата у Табели 5.94. Ове вредности су сада убедљиво најниже за подслив P19 тј. имају вредност 0, што значи и најмања угроженост овог подслива. Вредности корисности w_i при тежинама w_i , дате су у Табели 5.95 и указују на највећу угроженост подслива P11.

Табела 5.93. Ранг 19 подсливова у сливу реке Расине применом WSM

Подслив	Анализа 10 критеријума				Анализа 7 критеријума	
	$ui(wi)$	Ранг	$ui(wk)$	Ранг	$ui(wi)$	Ранг
P1	0,3138	16	0,3102	18	0,2876	14
P2	0,3105	17	0,3399	15	0,2583	17
P3	0,2421	19	0,3208	17	0,1449	19
P4	0,2934	18	0,3539	14	0,2243	18
P5	0,3232	15	0,3277	16	0,2839	15
P6	0,3915	13	0,4819	11	0,2717	16
P7	0,6086	5	0,5317	8	0,5784	5
P8	0,4114	12	0,4318	13	0,3577	12
P9	0,6709	4	0,5652	5	0,6473	3
P10	0,4973	11	0,4423	12	0,4670	11
P11	0,7376	1	0,6588	1	0,6851	1
P12	0,5294	10	0,4897	10	0,4891	10
P13	0,6820	3	0,6217	2	0,6222	4
P14	0,5986	7	0,5859	4	0,5147	9
P15	0,6949	2	0,6100	3	0,6522	2
P16	0,5876	8	0,5285	9	0,5402	7
P17	0,5662	9	0,5328	6	0,5159	8
P18	0,6015	6	0,5328	7	0,5688	6
P19	0,3269	14	0,2902	19	0,3141	13

Табела 5.94. Стандардизација елемената почетне матрице одлучивања за 10 подсливова у сливу реке Расине

P10	0,7171	0,8033	0,4250	0,3264	0,3213	0,1244	0,2990	0,3725	0,2359	0,4642
P11	0,6182	0,9590	0,6000	1,0000	0,6537	0,2176	0,7526	0,9216	0,7356	0,9105
P12	0,2279	0,9180	0,3750	0,2064	0,6274	0,1865	0,9149	0,7843	0,2166	0,5041
P13	0,7434	0,8607	0,4500	0,7211	0,7366	0,8808	0,3505	0,3137	0,6692	0,7977
P14	1,0000	1,0000	0,6250	0,8103	0,3976	1,0000	0,0000	0,9020	0,0361	0,4044
P15	0,1801	0,8197	0,2000	0,4561	0,9787	0,5492	0,8763	0,5196	1,0000	1,0000
P16	0,8710	0,9590	0,4500	0,5411	0,7341	0,1762	0,2887	1,0000	0,2021	0,5122
P17	0,3902	0,6803	1,0000	0,4728	1,0000	0,3316	0,5825	0,0098	0,1622	0,3594
P18	0,6074	0,8934	0,6250	0,6123	0,7018	0,0000	0,5928	0,3922	0,3647	0,5994
P19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2694	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Табела 5.95. Ранг 10 подсливова у сливу реке Расине према опасности од бујичних поплава применом WSM при тежинама w_i

Подслив	$ui(w_i)$	Ранг
P10	0,3960	9
P11	0,7781	1
P12	0,4608	8
P13	0,6738	3
P14	0,5419	6
P15	0,7231	2
P16	0,5681	4
P17	0,4764	7
P18	0,5571	5
P19	0,0900	10

5.2.3.3.2. Рангирање подсливова у сливу реке Расине према опасности од бујичних поплава применом PROMETHEE II

1а) Тип критеријума (max, min) и усвојене вредности прагова су дати у Табели 5.96, а ранг подсливова у случају примене тежина w_i и општег критеријума типа V или тип III, дати су у Табелама 5.97 и 5.98.

Табела 5.96. Тип критеријума и вредности прагова p и q за подсливове издвојене у сливу реке Расине

Прагови	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
q	24,65	0,29	0,05	1,11	4,0	0,25	0,67	0,42	18,76	47,39
p	73,94	0,86	0,15	3,34	12	0,75	2,0	1,28	56,28	142,02

Табела 5.97. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине у случају тежина w_i и избора функције преференције тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,3586	0,0563	0,4149	18
P2	-0,3497	0,0812	0,4309	17
P3	-0,404	0,1559	0,5599	19
P4	-0,3483	0,1134	0,4617	16
P5	-0,3351	0,0743	0,4094	14
P6	-0,2067	0,2115	0,4183	13
P7	0,2522	0,3721	0,1199	5
P8	-0,1401	0,2143	0,3544	12

Табела 5.97. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине у случају тежина w_i и избора функције преференције тип V (Наставак)

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P9	0,3126	0,4186	0,106	4
P10	0,0364	0,2231	0,1867	11
P11	0,4374	0,4901	0,0527	1
P12	0,0505	0,2506	0,2002	10
P13	0,3509	0,4122	0,0613	2
P14	0,1755	0,3338	0,1583	7
P15	0,3482	0,4721	0,1239	3
P16	0,1704	0,3029	0,1325	8
P17	0,1336	0,3108	0,1772	9
P18	0,2118	0,3226	0,1107	6
P19	-0,337	0,1342	0,4712	15

Табела 5.98. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине, у случају тежина w_i и избора функције преференције тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,3539	0,1166	0,4706	16
P2	-0,3876	0,1152	0,5029	18
P3	-0,4303	0,1836	0,6140	19
P4	-0,3507	0,1608	0,5115	15
P5	-0,3384	0,1284	0,4669	14
P6	-0,208	0,2536	0,4615	13
P7	0,2303	0,4226	0,1923	5
P8	-0,1552	0,2528	0,4079	12
P9	0,3207	0,4759	0,1552	4
P10	0,0145	0,2795	0,2650	11
P11	0,4672	0,5563	0,0891	1
P12	0,0653	0,3231	0,2578	10
P13	0,3671	0,4813	0,1142	3
P14	0,1995	0,4062	0,2067	8
P15	0,3692	0,5317	0,1625	2
P16	0,2093	0,384	0,1747	7
P17	0,1203	0,3681	0,2478	9
P18	0,2302	0,4002	0,1699	6
P19	-0,3695	0,1641	0,5336	17

16) У Прилогу Б, у Табели Б.11 и Б.12 је дат приказ резултата у случају примене комбинованих тежина морфометријских критеријума w_k , чије је поређење са w_i извршено у Табели 5.99. Поређењем се може видети да се једна од највећих одступања у редоследу рангирања јављају код подслива Р19, при избору општег критеријума Тип V. Применом тежина w_k , и избором општег критеријума тип V, подслив Р19 постаје 19. ранга, што је за 5 ниже него при тежинама w_i (Табела 5.99). Та разлика је нешто нижа избором општег критеријума типа III, који је коришћен за приказ корака који претходе прорачуну позитивног и негативног тока акција, а то су прорачун девијација, функција преференција и индекса преференција. Ови кораци, дати у Табелама 5.100 и 5.101 су због обимности прорачуна приказани само за ову анализу и то за подслив Р19. Када се сума вредности индекса преференције $\Sigma\pi_{(19,b)}$ подели са бројем осталих подсливова у Расини (где је $b=1,2,\dots,18$) добија се вредност позитивног тока акције Р19 која износи 0,1641 (Табела 5.98).

Табела 5.99. Ранг подсливова у сливу реке Расине применом PROMETHEE II методе при тежинама критеријума w_i и w_k и различитим функцијама преференције

Подслив	Тип III		Тип V	
	w_i	w_k	w_i	w_k
P1	16	18	18	18
P2	18	17	17	15
P3	19	15	19	16
P4	15	14	16	14
P5	14	16	14	17
P6	13	11	13	11
P7	5	8	5	6
P8	12	13	12	13
P9	4	5	4	5
P10	11	12	11	12
P11	1	1	1	1
P12	10	10	10	10
P13	3	2	2	2
P14	8	4	7	4
P15	2	3	3	3
P16	7	7	8	9
P17	9	9	9	8
P18	6	6	6	7
P19	17	19	15	19

Табела 5.100. Девијација поређењем акције P19 и осталих акција

P19 и	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
P1	84,61	-1,29	-0,07	0,09	8,69	0	2,66	-0,33	29,61	-26,39
P2	71,55	-0,92	-0,17	0,6	5,79	-1,23	3,04	0,03	33,1	-2,2
P3	109,14	-1,63	-0,25	1,73	15,59	0,59	4,22	-3,37	70,09	69,22
P4	101,25	-1,72	-0,22	0,58	13	-1,04	4,09	-0,71	48,07	6,17
P5	67,43	-0,98	-0,09	0,42	7,07	0,02	1,8	-0,86	27,66	-16,19
P6	106,54	-2,29	-0,2	-0,26	12,38	-1,24	3,79	-2,89	46,56	-14,78
P7	48,32	-1,09	-0,03	-2,83	-7,49	-0,41	1,18	-0,29	-59,5	-214,11
P8	-88,04	-1,16	-0,08	0,17	-1,95	-1,39	-1,1	-0,24	-4,19	-97,46
P9	68,01	-1,47	-0,07	-3,46	-8,66	0,16	2,69	-0,36	-76,48	-309,49
P10	74,81	-0,98	-0,17	-2,34	-5,27	0,28	2,72	-0,38	-18,87	-113,89
P11	64,49	-1,17	-0,24	-7,17	-10,72	0,1	0,96	-0,94	-58,83	-223,39
P12	23,77	-1,12	-0,15	-1,48	-10,29	0,16	0,33	-0,8	-17,32	-123,67
P13	77,55	-1,05	-0,18	-5,17	-12,08	-1,18	2,52	-0,32	-53,52	-195,71
P14	104,32	-1,22	-0,25	-5,81	-6,52	-1,41	3,88	-0,92	-2,89	-99,22
P15	18,79	-1	-0,08	-3,27	-16,05	-0,54	0,48	-0,53	-79,98	-245,35
P16	90,86	-1,17	-0,18	-3,88	-12,04	0,18	2,76	-1,02	-16,16	-125,66
P17	40,71	-0,83	-0,4	-3,39	-16,4	-0,12	1,62	-0,01	-12,97	-88,19
P18	63,36	-1,09	-0,25	-4,39	-11,51	0,52	1,58	-0,4	-29,17	-147,07
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Табела 5.101. Функција преференције $P_{j(19,b)}$ и индекс преференције $\pi_{(19,b)}$ при тежинама w_i

P19 и	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	$\pi_{(19,b)}$
P1	0	0	0	0,0269	0,7242	0	1	0	0,5261	0	0,2737
P2	0	0	0	0,1796	0,4825	0	1	0,0234	0,5881	0	0,2713
P3	0	0	0	0,5180	1	0,7867	1	0	1	0,4874	0,5695
P4	0	0	0	0,1737	1	0	1	0	0,8541	0,0434	0,3948
P5	0	0	0	0,1257	0,5892	0,0267	0,9000	0	0,4915	0	0,2561
P6	0	0	0	0	1	0	1	0	0,8273	0	0,3576
P7	0	0	0	0	0	0	0,5900	0	0	0	0,0466
P8	1	0	0	0,0509	0	0	0	0	0	0	0,1163
P9	0	0	0	0	0	0,2133	1	0	0	0	0,0877
P10	0	0	0	0	0	0,3733	1	0	0	0	0,0942
P11	0	0	0	0	0	0,1333	0,4800	0	0	0	0,0434
P12	0	0	0	0	0	0,2133	0,1650	0	0	0	0,0218
P13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0789
P14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0789
P15	0	0	0	0	0	0	0,2400	0	0	0	0,0189
P16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0888
P17	0	0	0	0	0	0	0,8100	0	0	0	0,0639
P18	0	0	0	0	0	0,6933	0,7900	0	0	0	0,0908
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Резултати рангирања подсливова у сливу реке Расине применом PROMETHEE II методе (Табела 5.99), указују на највећи приоритет подсливова P11, а затим P13, P15 итд.

1ц) Ранг подсливова у Расини применом PROMETHEE II методе (општи критеријум тип III), након елиминације критеријума K3 (коэф. облика слива), K6 (стопа бифуркације) и K8 (учесталост тока), дат је у Табели 5.102, што је упоређено са рангом пре елиминације ова три критеријума (Табела 5.103).

Табела 5.102. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине у случају тежина w_{el} и избора критеријума типа III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,3774	0,1194	0,4969	14
P2	-0,4618	0,0862	0,5480	17
P3	-0,6008	0,0972	0,6980	19
P4	-0,4844	0,1080	0,5924	18
P5	-0,3947	0,1119	0,5066	15
P6	-0,3949	0,1518	0,5467	16
P7	0,3287	0,4801	0,1514	5
P8	-0,1728	0,2541	0,4268	12
P9	0,4496	0,5597	0,1101	3
P10	0,0587	0,3136	0,2549	11
P11	0,5405	0,6077	0,0672	1
P12	0,0937	0,3475	0,2538	10
P13	0,4261	0,5241	0,0981	4
P14	0,1579	0,3895	0,2316	9
P15	0,4692	0,5980	0,1288	2
P16	0,2401	0,4045	0,1644	7
P17	0,1589	0,3875	0,2285	8
P18	0,3085	0,4479	0,1394	6
P19	-0,3451	0,1850	0,5301	13

Табела 5.103. Поређење рангова подсливова у сливу реке Расине добијених применом PROMETHEE II методе при тежинама критеријума w_i и w_{el}

Подслив	Ранг (w_i)	Ранг (w_{el})
P1	16	14
P2	18	17
P3	19	19
P4	15	18
P5	14	15
P6	13	16
P7	5	5
P8	12	12
P9	4	3
P10	11	11
P11	1	1
P12	10	10
P13	3	4
P14	8	9
P15	2	2
P16	7	7
P17	9	8
P18	6	6
P19	17	13

Елиминација одређених критеријума, није утицала на промену ранга појединих подсливова, као што су P3, P7, P8, P10, P11, P12, P15, P16 и P18. Међутим, код осталих подсливова уочљива је промена ранга, што је највише изражено код подслива P19. Вредност функције преференције $P_j(19,b)$ алтернативе 19, у односу на остале алтернативе b ($b=1, \dots, 18$) која се добија након елиминације критеријума K3, K6 и K8 дата је у Табели 5.104. На основу њене вредности и тежина w_{el} , добија се вредност индекса преференције $\pi(19,b)$ (Табела 5.104) и вредност позитивног тока акције P19 која износи 0,1850 (Табела 5.102).

Табела 5.104. Функција преференције $P_j(19,b)$ и индекс преференције $\pi_{(19,b)}$ при тежинама w_{el}

P19 и	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	$\pi(19,b)$
P1	0	0	0,0269	0,7242	1	0,5261	0	0,3249
P2	0	0	0,1796	0,4825	1	0,5881	0	0,3199
P3	0	0	0,518	1	1	1	0,4874	0,6451
P4	0	0	0,1737	1	1	0,8541	0,0434	0,4721
P5	0	0	0,1257	0,5892	0,9	0,4915	0	0,303
P6	0	0	0	1	1	0,8273	0	0,4268

Табеле 5.104. Функција преференције $P_j(19,b)$ и индекс преференције $\pi_{(19,b)}$ при тежинама wel (Наставак)

P19 и	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10	$\pi(19,b)$
P7	0	0	0	0	0,59	0	0	0,052
P8	1	0	0,0509	0	0	0	0	0,1259
P9	0	0	0	0	1	0	0	0,0882
P10	0	0	0	0	1	0	0	0,0882
P11	0	0	0	0	0,48	0	0	0,0423
P12	0	0	0	0	0,165	0	0	0,0146
P13	0	0	0	0	1	0	0	0,0882
P14	0	0	0	0	1	0	0	0,0882
P15	0	0	0	0	0,24	0	0	0,0212
P16	0	0	0	0	1	0	0	0,0882
P17	0	0	0	0	0,81	0	0	0,0714
P18	0	0	0	0	0,79	0	0	0,0697
P19	0	0	0	0	0	0	0	0

2) Ранг подсливова у реци Расини према угрожености од бујичних поплава услед елиминације појединих алтернатива, тј. подсливова P1-P10 је дата у Табели 5.105.

Табела 5.105. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине, услед тежина w_i и елиминације подсливова P1-P10

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P10	-0,2247	0,1197	0,3443	9
P11	0,4052	0,4786	0,0733	1
P12	-0,1367	0,1625	0,2991	8
P13	0,2555	0,379	0,1235	3
P14	0,0159	0,2873	0,2714	6
P15	0,2903	0,4529	0,1626	2
P16	0,0268	0,2315	0,2047	5
P17	-0,0617	0,2208	0,2825	7
P18	0,0603	0,2436	0,1833	4
P19	-0,631	0,0644	0,6954	10

5.2.3.3.3. Рангирање подсливова у сливу реке Расине према опасности од бујичних поплава применом ELECTRE II

1а) При тежина w_i и спровођењем корака ELECTRE II добијају се тежинска нормализована матрица, матрица агрегатне доминације и директни ранг дати у Табелама 5.106, 5.107 и 5.108.

Табела 5.106. Тежинска нормализована матрица за подсливове у сливу реке Расине при тежинама w_i

Подслив	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
P1	0,0095	0,0121	0,0066	0,0167	0,0141	0,0085	0,0138	0,0155	0,017	0,0183
P2	0,0143	0,0103	0,008	0,0134	0,0185	0,0113	0,0119	0,0142	0,0157	0,0143
P3	0,0007	0,0138	0,0091	0,006	0,0038	0,0072	0,0061	0,0264	0,0021	0,0026
P4	0,0035	0,0143	0,0087	0,0135	0,0077	0,0109	0,0068	0,0169	0,0102	0,0129
P5	0,0157	0,0106	0,0069	0,0145	0,0165	0,0085	0,0179	0,0174	0,0177	0,0166
P6	0,0016	0,0172	0,0084	0,019	0,0086	0,0113	0,0082	0,0247	0,0108	0,0164
P7	0,0226	0,0111	0,0061	0,0358	0,0383	0,0095	0,021	0,0154	0,0498	0,0492
P8	0,0718	0,0115	0,0068	0,0162	0,03	0,0117	0,0321	0,0152	0,0294	0,03
P9	0,0155	0,013	0,0066	0,0399	0,0401	0,0082	0,0136	0,0156	0,056	0,0649
P10	0,0131	0,0106	0,008	0,0326	0,035	0,0079	0,0135	0,0157	0,0348	0,0327
P11	0,0168	0,0115	0,0089	0,0642	0,0432	0,0083	0,022	0,0177	0,0495	0,0507
P12	0,0315	0,0113	0,0077	0,027	0,0425	0,0082	0,0251	0,0172	0,0343	0,0343
P13	0,0121	0,0109	0,0081	0,0511	0,0452	0,0112	0,0144	0,0155	0,0476	0,0461
P14	0,0024	0,0118	0,0091	0,0553	0,0369	0,0117	0,0078	0,0176	0,0289	0,0303
P15	0,0333	0,0107	0,0068	0,0387	0,0511	0,0097	0,0244	0,0162	0,0573	0,0543
P16	0,0073	0,0115	0,0081	0,0427	0,0451	0,0081	0,0133	0,018	0,0338	0,0346
P17	0,0254	0,0098	0,0111	0,0395	0,0517	0,0088	0,0188	0,0144	0,0327	0,0285
P18	0,0172	0,0111	0,0091	0,046	0,0443	0,0073	0,019	0,0158	0,0386	0,0381
P19	0,0401	0,0056	0,0057	0,0173	0,0271	0,0085	0,0267	0,0143	0,0279	0,014

Табела 5.107. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу реке Расине при тежинама w_i

Подслив	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
P1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P7	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
P10	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
P12	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P13	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
P14	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P15	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P16	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P17	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P18	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Табела 5.108. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Расине при тежинама w_i

Подслив	y'	y''	y	Кориг. ранг
P1	5	5	5	12
P2	7	7	7	19
P3	6	7	6,5	17
P4	6	7	6,5	17
P5	6	6	6	14,5
P6	5	6	5,5	13
P7	3	3	3	6,5
P8	5	7	6	14,5
P9	2	2	2	3
P10	4	4	4	9,5
P11	1	1	1	1
P12	4	5	4,5	11
P13	2	2	2	3
P14	3	3	3	6,5
P15	1	3	2	3
P16	3	3	3	6,5
P17	4	4	4	9,5
P18	3	3	3	6,5
P19	6	7	6,5	17

$P_{11} > P_9 = P_{13} = P_{15} > P_7 = P_{14} = P_{16} = P_{18} > P_{10} = P_{17} > P_{12} > P_1 > P_6 > P_5 = P_8 > P_3 = P_4 = P_{19} > P_2$

1б) Резултати рангирања подсливова у Расини услед примене комбинованих тежина w_k су дати у Прилогу Б (Табеле Б.13, Б.14 и Б.15). Резултати поређења рангирања при тежинама w_i и w_k су дати у Табели 5.109.

1ц) Резултати рангирања подсливова услед елиминације најмање значајних критеријума су дати у Табелама 5.110, 5.111 и 5.112, а резултати поређења рангирања пре елиминације критеријума К3, К6 и К8 и после њихове елиминације су приказани у Табели 5.113.

Табела 5.109. Поређење рангова подсливова у сливу реке Расине применом ELECTRE II

Подслив	Ранг (w_i)	Ранг (w_k)
P1	5	6
P2	7	6,5
P3	6,5	6,5
P4	6,5	7
P5	6	6
P6	5,5	5

Наставак Табеле 5.109. Поређење рангова подсливова у сливу реке Расине применом ELECTRE II (Наставак)

Подслив	Ранг (w_i)	Ранг (w_k)
P7	3	3
P8	6	6
P9	2	2
P10	4	4
P11	1	1
P12	4,5	5
P13	2	2
P14	3	3
P15	2	2
P16	3	3
P17	4	4
P18	3	3
P19	6,5	7

Табела 5.110. Тежинска нормализована матрица за подсливове у сливу Расине при тежинама w_{el}

	K1	K2	K4	K5	K7	K9	K10
P1	-0,0102	0,0129	0,0203	0,0172	0,0154	0,0206	0,0222
P2	-0,0153	0,0109	0,0162	0,0224	0,0133	0,0191	0,0174
P3	-0,0007	0,0147	0,0072	0,0046	0,0069	0,0025	0,0031
P4	-0,0038	0,0152	0,0164	0,0093	0,0076	0,0124	0,0157
P5	-0,0169	0,0112	0,0177	0,0201	0,0201	0,0215	0,0202
P6	-0,0017	0,0182	0,0231	0,0105	0,0092	0,0131	0,0199
P7	-0,0243	0,0118	0,0435	0,0466	0,0234	0,0605	0,0598
P8	-0,0771	0,0122	0,0196	0,0365	0,0359	0,0358	0,0364
P9	-0,0167	0,0138	0,0485	0,0487	0,0152	0,0681	0,0788
P10	-0,0140	0,0112	0,0396	0,0425	0,015	0,0423	0,0397
P11	-0,0180	0,0122	0,078	0,0524	0,0246	0,0602	0,0616
P12	-0,0338	0,012	0,0328	0,0517	0,0281	0,0416	0,0417
P13	-0,013	0,0116	0,0621	0,0549	0,0161	0,0578	0,0561
P14	-0,0026	0,0125	0,0672	0,0448	0,0087	0,0352	0,0368
P15	-0,0357	0,0113	0,047	0,0621	0,0273	0,0696	0,066
P16	-0,0078	0,0122	0,0519	0,0548	0,0148	0,0411	0,0421
P17	-0,0272	0,0104	0,048	0,0628	0,0210	0,0397	0,0346
P18	-0,0185	0,0118	0,0559	0,0539	0,0213	0,0469	0,0464
P19	-0,043	0,006	0,0210	0,033	0,0299	0,0339	0,017

Табела 5.111. Матрица агрегатне доминације при тежинама *wel*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
P1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P7	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
P10	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
P12	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P13	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
P14	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P15	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P16	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P17	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P18	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ПИС1=0,5005; ПИС2=0,6005; ПИС3=0,7005; ПИНС1=0,6908; ПИНС2=0,4908

Табела 5.112. Директни (y'), индиректни ранг (y'') и коначни ранг (y) подсливава у сливу реке Расине при тежинама wel

Подслив	y'	y''	y
P1	5	6	5,5
P2	6	7	6,5
P3	7	7	7
P4	6	6	6
P5	5	6	5,5
P6	5	5	5
P7	2	3	2,5
P8	5	7	6
P9	1	2	1,5
P10	4	4	4
P11	1	1	1
P12	4	5	4,5
P13	2	2	2
P14	3	3	3
P15	1	3	2
P16	3	3	3
P17	4	4	4
P18	3	3	3
P19	6	7	6,5

P11>P9>P13=P15>P7>P14=P16=P18>P10=P17>P12>P6>P1=P5>P4=P8>P2=P19>P3

Табела 5.113. Поређење рангова подсливава у Расини, при тежинама wi и wel

Подслив	Ранг (wi)	Кориг. ранг	Ранг (wel)	Кориг. ранг
P1	5	6	5,5	9
P2	7	10	6,5	11
P3	6,5	9	7	12
P4	6,5	9	6	10
P5	6	8	5,5	9
P6	5,5	7	5	8
P7	3	3	2,5	4
P8	6	8	6	10
P9	2	2	1,5	2
P10	4	4	4	6
P11	1	1	1	1
P12	4,5	5	4,5	7
P13	2	2	2	3
P14	3	3	3	5
P15	2	2	2	3
P16	3	3	3	5
P17	4	4	4	6
P18	3	3	3	5
P19	6,5	9	6,5	11

Услед елиминације критеријума К3 (коэф. облика слива), К6 (бифуркациона стопа) и К8 (учесталост тока), вредност директног и индиректног ранга акција, тј. подсливова у Расини је слична (у пре и у после елиминације), али се укупан број рангова разликује. Првог приоритета је подслив Р11. Спирманов коефицијент корелације ранга износи 0,9838, и указује на јаку позитивну корелацију вредности рангова.

2) Резултати рангирања подсливова у сливу реке Расине након елиминације алтернатива, тј. подсливова Р1-Р10 који се налазе низводно од акумулације "Ћелије" су приказани у Табелама 5.114, 5.115 и 5.116.

Табела 5.114. Тежинска нормализована матрица за подсливова Р10-Р19 у сливу Расине, при тежинама w_i

	К1	К2	К4	К5	К7	К9	К10
Р10	0,0195	0,0161	0,0105	0,0362	0,0394	0,0113	0,0173
Р11	0,025	0,0175	0,0117	0,0713	0,0486	0,0119	0,0283
Р12	0,0469	0,0172	0,0101	0,0299	0,0479	0,0117	0,0323
Р13	0,0180	0,0166	0,0107	0,0567	0,0509	0,016	0,0186
Р14	0,0036	0,0179	0,0119	0,0614	0,0415	0,0168	0,01
Р15	0,0496	0,0162	0,0089	0,0429	0,0576	0,0139	0,0313
Р16	0,0109	0,0175	0,0107	0,0474	0,0509	0,0116	0,0171
Р17	0,0378	0,0149	0,0146	0,0438	0,0582	0,0126	0,0242
Р18	0,0256	0,0169	0,0119	0,0511	0,05	0,0105	0,0244
Р19	0,0597	0,0086	0,0075	0,0192	0,0306	0,0122	0,0344

Табела 5.115. Матрица агрегатне доминације за подсливова Р10-Р19 у сливу Расине, при тежинама w_i

	Р10	Р11	Р12	Р13	Р14	Р15	Р16	Р17	Р18	Р19
Р10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Р11	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
Р12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Р13	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
Р14	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Р15	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
Р16	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
Р17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Р18	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
Р19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ПИС1=0,5013; ПИС2=0,6013; ПИС3=0,7013; ПИНС1=0,7166; ПИНС2=0,5166

Табела 5.116. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг (y) подсливава од P10 до P19 у сливу Расине, при тежинама w_i

Подслив	y'	y''	y	Кориг. ранг
P10	4	4	4	8
P11	1	1	1	1
P12	4	4	4	8
P13	2	2	2	2,5
P14	3	3	3	5
P15	1	3	2	2,5
P16	3	3	3	5
P17	4	4	4	8
P18	3	3	3	5
P19	5	5	5	10

$$P11 > P13 = P15 > P14 = P16 = P18 > P10 = P12 = P17 > P19$$

Елиминација критеријума K3 (коэф. облика слива), K6 (бифуркациона стопа) и K8 (учесталост тока), није имала велики утицај на промену ранга подсливава у сливу реке Расине. Једина промена постоји код подслива P12 који је сада по угрожености изјадначен са подсливовима P10 и P17, а пре елиминације је био после ова два слива по угрожености (Табела 5.108).

Резултати указују да значајних промена ранга нема услед промене тежине критеријума или услед елиминације критеријума, као и алтернатива. Поређења резултата рангирања са анализом конфликта ранга су дата у Табелама од 5.117 до 5.122.

Табела 5.117. Поређење рангова подсливава у реци Расини према степену угрожености од бујичних поплава, при тежинама w_i

WSM	P11 > P15 > P13 > P9 > P7 > P18 > P14 > P16 > P17 > P12 > P10 > P8 > P6 > P19 > P5 > P1 > P2 > P4 > P3
PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	P11 > P13 > P15 > P9 > P7 > P18 > P14 > P16 > P17 > P12 > P10 > P8 > P6 > P5 > P19 > P4 > P2 > P1 > P3
PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	P11 > P15 > P13 > P9 > P7 > P18 > P16 > P14 > P17 > P12 > P10 > P8 > P6 > P5 > P4 > P1 > P19 > P2 > P3
ELECTRE II	P11 > P9 = P13 = P15 > P7 = P14 = P16 = P18 > P10 = P17 > P12 > P1 > P6 > P5 = P8 > P3 = P4 = P19 > P2

Табела 5.118. Вредности Спирмановог коефицијента корелације ранга при тежинама w_i

WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,99
WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,98
WSM и ELECTRE II	0,95
ELECTRE II PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,94
ELECTRE II PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,96

Табела 5.119. Поређење рангова подсливова у реци Расини према степену угрожености од бујичних поплава, при тежина w_{el}

WSM	P11>P15>P9>P13>P7>P18>P16>P17>P14>P12>P10>P8 >P19>P1>P5>P6>P2>P4>P3
PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	
ELECTRE II	P11>P9>P13=P15>P7>P14=P16=P18>P10=P17>P12>P6 >P1=P5>P4=P8>P2=P19>P3

Применом метода WSM и PROMETHEE II (тип критеријума III) добија се идентичан редослед рангирања подсливова, након елиминације три критеријума.

Табела 5.120. Вредности Спирмановог коефицијента корелације ранга при тежинама w_{el}

WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	1
WSM и ELECTRE II	0,94
ELECTRE II и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,94

Табела 5.121. Поређење рангова подсливова у реци Расини према степену угрожености од бујичних поплава, при тежина w_i , услед елиминације алтернатива P1-P10

WSM	P11>P15>P13>P18>P16>P17>P12>P14>P10>P19
PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	P11>P15>P13>P18>P16>P14>P17>P12>P10>P19
ELECTRE II	P11>P13=P15>P14=P16=P18>P10=P12=P17>P19

Табела 5.122. Вредности Спирмановог коефицијента корелације ранга при тежинама w_i

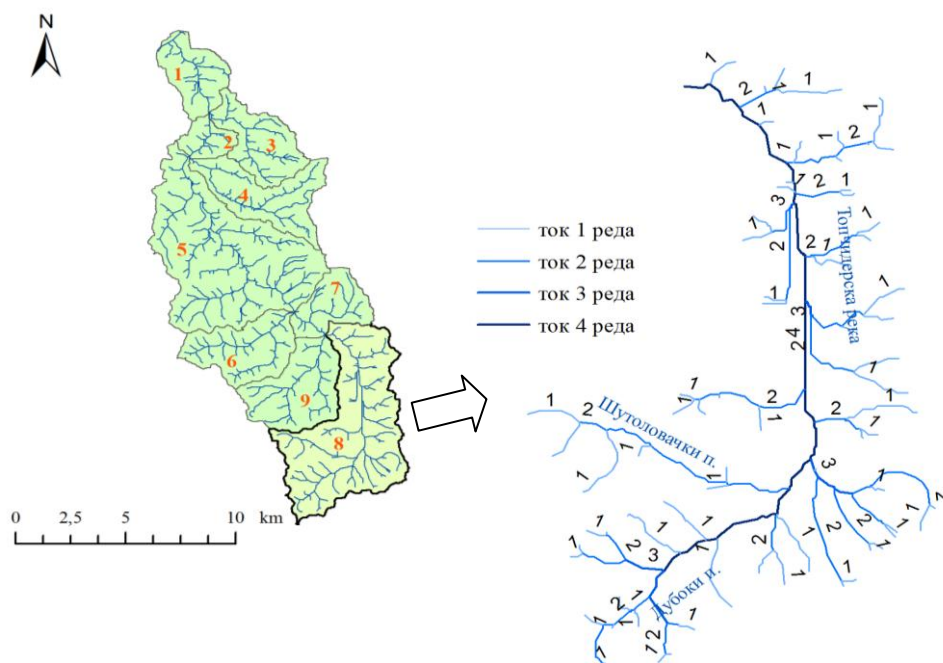
WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,96
WSM и PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,97
WSM и ELECTRE II	0,98
ELECTRE II PROMETHEE II (општи критеријум тип V)	0,94
ELECTRE II PROMETHEE II (општи критеријум тип III)	0,96

5.2.4. Идентификација подсливова који су најугроженији од бујичних поплава

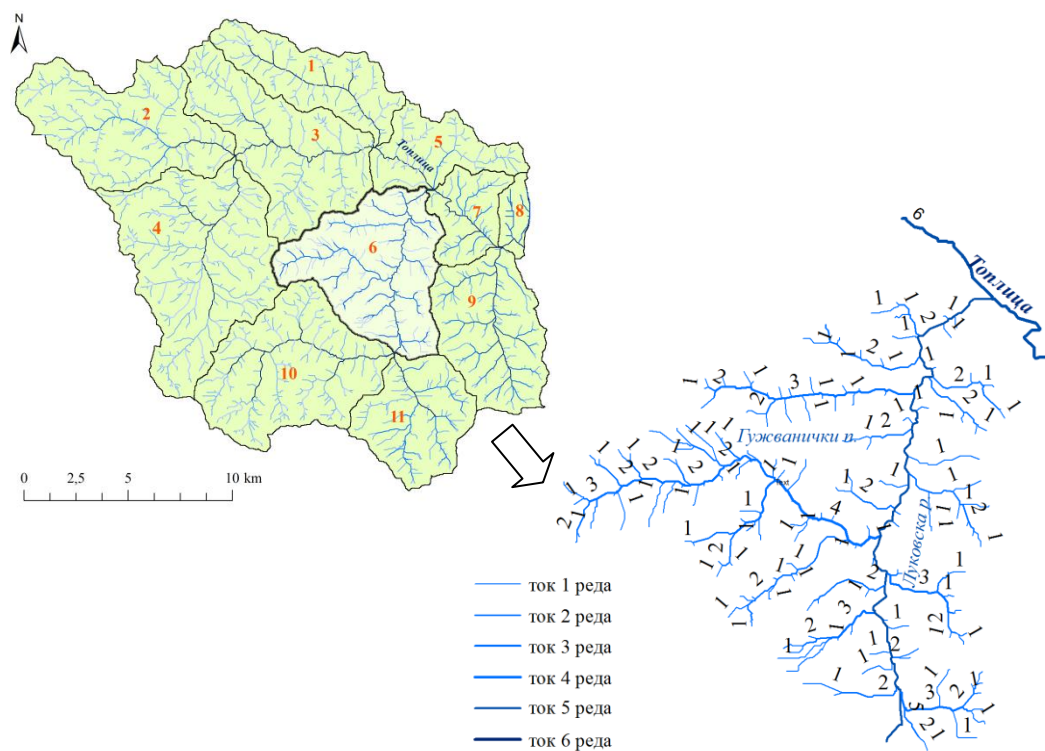
На основу резултата метода вишекритеријумске анализе може се закључити да је тенденција настанка бујичних поплава највећа у подсливовима првог ранга, а то су подслив Т7 у сливу Топчидерске реке, подслив С2 у сливу реке Селове и подслив Р11 у сливу реке Расине.

Подслив Т7 је сливно подручје реке Пречице, који је издвојен као подслив 1 приоритета јер има највећи средњи пад слива (15,18%), највећи коефицијент ерозионе енергије ($67,77 \text{ km} \cdot \text{km}^{-1/2}$) и геоморфолошко - ерозиони коефицијент ($123,33 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2/3}$). Поред тога, овај подслив се одликује малом сливном површином ($8,05 \text{ km}^2$) и има развијену хидрографску мрежу ($1,82 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$), а самим тим има и највећу могућност за истовремени надолазак поплавних вода. После подслива Т7, према степену угрожености долази подслив Т6 који има највећи релативни пад тока (5,45), од подслива Т7 већи коефицијент облика слива (0,63) и нешто нижу вредност средњег пада слива (13,94%), а одликује се и највећим бројем токова по јединици површине слива (3,41). Радове би према резултатима најпре требало спровести у подсливу Т7 и Т6, а затим и у осталим подсливовима, редоследом којим су ранжирани. Приказ хидрографске мреже је дат за подслив Т8 који је најугроженији ерозијом земљишта и који је коришћен за рангирање 4 тока према приоритетима за изградњу преграда, од којих три припада подсливу Т8 (Шутиловац, Дубоки и Ковиона).

Према резултатима, у сливу реке Топлице првог приоритета је подслив С2, који се одликује највећим вредностима критеријума: учесталост тока (4,94), коефицијент ерозионе угрожености ($163,24 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1/2}$) и геоморфолошко-ерозиони коефицијент ($339,53 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2/3}$). Подслив С8 има највећи релативни пад тока (15,38) и велики средњи пад слива (35,53%) као и вредност геоморфолошко-ерозионог коефицијента ($310,40 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2/3}$). Подслив С6 има веће вредности критеријума: средњи пад слива (36,08%), текстурна стопа (3,89), учесталост тока (4,78) и геоморфолошки-ерозиони коефицијент ($239,69 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2/3}$). Сва три слива се одликују развијеном хидрографском мрежом, и према дефинисаним приоритетима представљају сливне површине које имају предност за примену радова који ће допринети редукцији негативног дејства бујичних поплава.



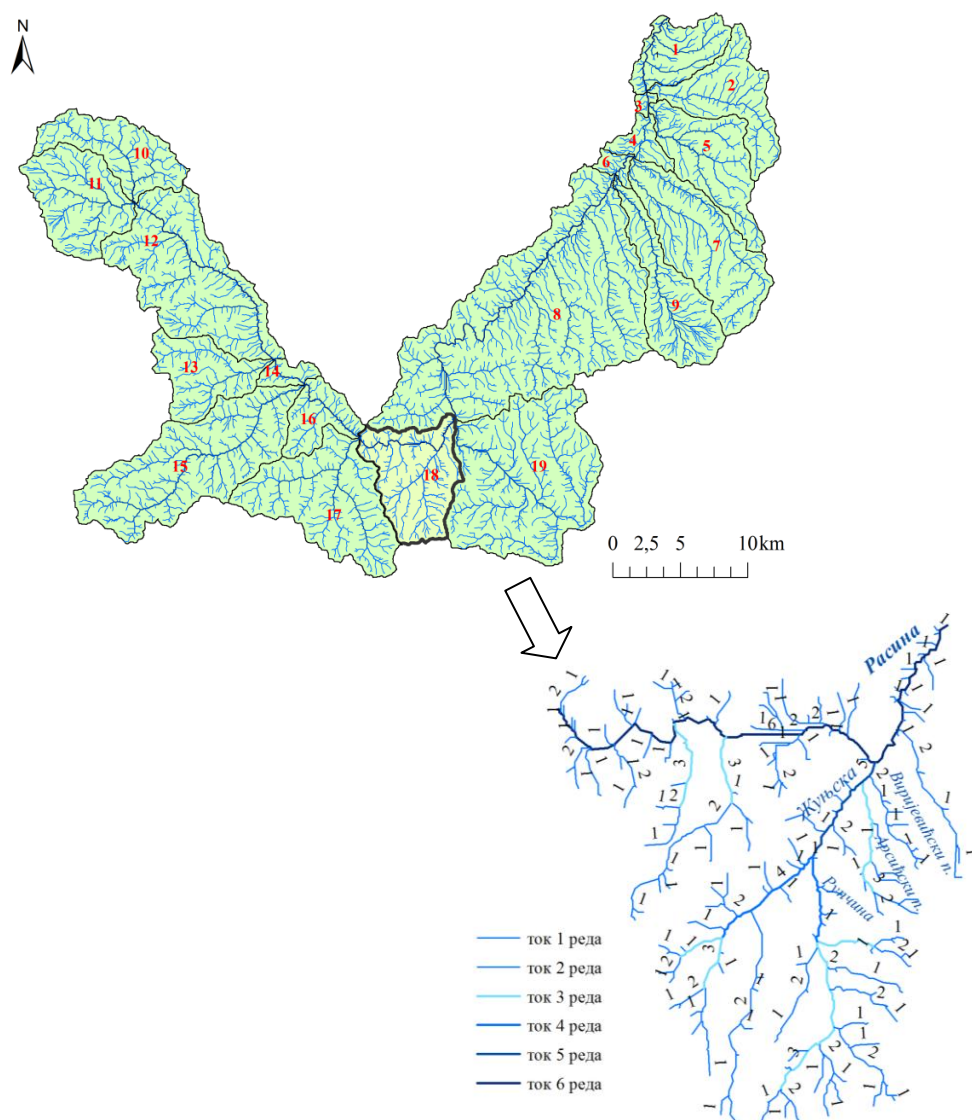
Слика 5.4. Приказ разматраних подсливова у сливу Топчидерске реке и подслива Т8
Извор: аутор



Слика 5.5. Приказ разматраних подсливова у сливу реке Топлице и подслива С6
Извор: аутор

За приказ хидрографске мреже је изабран подслив С6 у којем се налази и Гужванички поток, за који постоје доступни профили за планирање изградње преграда.

Подслив Р11 се налази у горњем току реке Расине, у најузводнијем делу слива где је лоциран и суседан подслив Р10. У поређењу са већином осталих подсливова, подслив Р11 има већу вредност параметара: релативног пада тока (9,81%), средњег пада слива (28,85%), коефицијента ерозионе енергије рељефа ($134,61 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2}$) и геоморфолошко-ерозионог коефицијента ($308,26 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2/3}$).



Слика 5.6. Приказ разматраних подсливова у сливу реке Расине и подслива Р18
Извор: аутор

Подслив P11 има веома развијену хидрографску мрежу ($2,29 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$), и облик слива лепезастог облика. По анализираним морфометријским критеријумима и добијеном рангу применом ELECTRE II методе, подслив P11 је најосетљивији на појаву бујичних поплава.

За планирање изградње преграда, изабран је подслив P18 који је издвојен у сливу Жуњске реке, због расположивости података о профилима на којима је могућа изградња преграда. Подслив P18 спада у сливове 2. приоритета, и код овог слива је значајна локација, а то је положај непосредно узводно од бране акумулације „Ћелије“. Избор овог подслива је значајан узимајући у обзир и чињеницу да су водне акумулације од свих водопривредних објеката најугроженије од ерозије земљишта и наноса (Kostadinov et al., 2008), а о значају акумулације "Ћелије" говоре и истраживања која су спроводили Kostadinov et al. (2014), Belanovic et al. (2012), Kadovic et al. (2012), Mustafic et al. (2013).

Подслив P18 има развијену хидрографску мрежу ($2,21 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$), коефицијент облика слива (0,67) и средњи пад слива (29,64%) сличан подсливу првог приоритета. Одликује се и великим вредностима коефицијента ерозионе енергије рељефа ($104,95 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2}$) и геоморфолошко-ерозионог коефицијента ($231,94 \text{ m} \cdot \text{km}^{-2/3}$).

5.2.5. Евидентирање стања преграда и дефинисање приоритета за примену мера превенције

5.2.5.1. Анализа стања преграда

У току свог животног циклуса преграде могу подлећи оштећењима, која су већа или мања у зависности од избора врсте материјала за изградњу и његовог квалитета, хидрауличких и статичких прорачуна неопходних за димензионисање објеката, продукције наноса и разорности бујичног тока. Уколико је преграда оштећена, уместо објекта који ублажава негативан ефекат бујичних поплава, она услед опасности од рушења постаје додатан ризик по животну средину. Редовним одржавањем објеката овај ризик се може ублажити, при чему је потребно одредити који објекти имају приоритет за санацију, на основу физичких оштећења регистрованих на деловима преграде (труп, крилима, преливу, слапишту) као и обраслости објекта вегетацијом.

Важни критеријуми за стабилност преграда су постојање слапишта и оштећења овог дела преграде. Уколико подлога није чврста стена, а слапишта нема, или уколико га има, а оштећено је, може доћи до поткопавања преграде, што би угрозило стабилност читавог објекта. Поред овога, важно је да су крила преграде стабилна, да нема процеса поткопавања обала, што би угрозило стабилност објеката. Уколико је објекат неодржан, односно заплав обрастао вегетацијом, ризик од претурања објекта, услед усмеравања воде на неко од крила преграде уместо на прелив и потковање које би уследило је повећан.

Обиласком локација где су изведене преграде у сливу Топчидерске реке, сливу Топлице и сливу Расине, регистроване су географске координате објекта као и стање преграда (физичка оштећења преграда и степен обраслости вегетацијом).

Оштећења свих делова преграде, као и ниво обраслости заплава вегетацијом су означени у Табели са (-) нема оштећења, нема вегетације; (+) слаба оштећења (слаба обраслост вегетацијом); (++) умерена оштећења попут мало спраног бетона, умерена обраслост вегетацијом; (+++) значајна оштећења попут пукотина, заплав потпуно обрастао вегетацијом, недостатак изградње слапишта на нестеновитој подлози.

5.2.5.1.1. Анализа стања преграда у сливу Топчидерске реке

У Белој реци, притоци Топчидерске реке, регистроване су две преграде од бетона, од којих су обе претрпеле значајна оштећења у виду пукотина присутних на трупу и преливу преграде што се може видети из Фототаблице 1 у Прилогу В.

5.2.5.1.2. Анализа стања преграда у сливу реке Топлице

У сливу реке Топлице, узводно од бране "Селова", утврђена је локација 10 преграда, грађених од камена у цементном малтеру, чије је стање по питању физичких оштећења и обраслости вегетацијом дато у Фототаблици 2 (Прилог В). За ове преграде је дефинисан приоритет за санацијом, дат у Табели 5.125.

5.2.5.1.3. Анализа стања преграда у сливу реке Расине

У сливу реке Расине, лоцирано је 19 објеката, за које је утврђено тренутно стање објеката, односно оштећења и одржаност (Фототаблица 3, Прилог В). Анализа

стања преграда у сливу реке Расине, тј. степен оштећења и обраслости вегетацијом, као и приоритет за санацијом дат је у Табели 5.126.

5.2.5.2. Дефинисање приоритета за санацију преграда

Приоритет за санацијом (PS) зависи од физичких оштећења преграде (FO) и обраслости вегетацијом (OV) и предложена формула за његов прорачун је:

$$PS = 0,7 \times FO + 0,3 \times OV$$

Тежине, тј. релативни значај појединих делова преграде које су претрпела оштећења или степен обраслости вегетацијом, означене са w , утврђене су тако што су дефинисане категорије угрожености, које одговарају затеченом стању објекта.

Тежине категорија w_{ij} су одређене применом линеарне нормализације, тако што је сваки елемент односно ознака категорије (0,1,2,3) подељена сумом вредности категорија: $w_{ij} = x_{ij} / \sum x_{ij}$, $\sum w_{ij} = 1$, $0 < w_{ij} < 1$ (Табела 5.123).

Табела 5.123. Тежине према степену оштећења и обраслости преграда

Категорије угрожености	Стање преграде	Објашњење	Тежине w_{ij}
0	-	нема оштећења, нема вегетације	0
1	+	слаба оштећења слаба обраслост вегетацијом	1/6=0,1667
2	++	умерена оштећења попут мало спраног бетона умерена обраслост вегетацијом	2/6=0,3333
3	+++	значајна оштећења попут пукотина, заплав потпуно обрастао вегетацијом, и када не постоји слапиште а корито није стеновито	3/6= 0,5000

Извор: аутор

Степен у којем сваки део преграде доприноси свеукупној функционалности објекта може се приказати тежином w_i ($i=1,2,3,4$) која је усвојена као подједнака $w_i=0,25$, тако да се формула:

$$FO = w_1 \times O_{\text{слапиште}} + w_2 \times O_{\text{труп}} + w_3 \times O_{\text{крила}} + w_4 \times O_{\text{прелив}}$$

може приказати као:

$$FO1=O_{\text{слапиште}}+O_{\text{труп}}+O_{\text{крила}}+O_{\text{прелив}}$$

где $O_{\text{}}$, односно w_{ij} , указује на степен оштећења неког од четири издвојена дела преграде (труп, прелив, крила, слапиште).

Уколико би се узео у обзир различит утицај делова преграде на стабилност објекта (10, 9, 8 и 7) применом просте линеарне нормализације где важи: $w_i = x_i / \max x_i$, $0 < w_i < 1$, $\max w_i = 1$, добиле би се тежине као у Табели 5.124.

Табела 5.124. Тежине елемената преграда

	Оцена утицаја	Тежина 2
Прелив	10	1
Крила	9	0,9
Слапиште	8	0,8
Труп	7	0,7

Тада би формула за FS била:

$$FS_2=0,80 \times O_{\text{слапиште}}+0,70 \times O_{\text{труп}}+0,90 \times O_{\text{крила}}+1,0 \times O_{\text{прелив}}$$

Формула за PS је: $PS = FO_2 + 0,5 \times OV_2$.

5.2.5.2.1. Приорити за санацију преграда у сливу реке Топлице

Стање преграда у сливу реке Топлице са приоритетом за санацију PS₁ и PS₂ је дато у Табели 5.125.

Табела 5.125. Стање преграда у сливу реке Топлице са приоритетом за санацију (PS)

Назив тока	Ред. бр. преграда	Материјал	Корисна висина (m)	Стање и оштећења				Обраслост вегетацијом	PS ₁	Ранг (PS ₁)	PS ₂	Ранг (PS ₂)
				Слапшге	Крила преграда	Труп преграда	Прелив					
Безимени поток	1	КЦМ	4	-	-	-	-	+++	0,15	6	0,25	6
Паваштички поток	1	камен у суво, у зони преливаод КЦМ	3	++	++	-		++	0,566	2	0,733	2
Паваштичка поток	2	камен у суво, у зони преливаод КЦМ	3,5	-	-	++	-	++	0,333	4	0,40	5
Паваштички поток	3	камен у суво, у зони преливаод КЦМ	3		+	+		++	0,332	5	0,432	4
Паваштички поток	4	камен у суво	3,5		-	-	-	++	0,100	7	0,167	7
Паваштичка река	1	КЦМ	4					+++	0,15	6	0,25	6
Мала река	1	камен у суво	4	++	-	-	-	+++	0,383	3	0,516	3
Качаруша	1	КЦМ	4,5		-	-	-	+++	0,15	6	0,25	6
Качаруша	2	КЦМ	3,5		-	-	-	+	0,050	8	0,083	8
Вратнички поток	1		5	++	+++	-	-	+++	0,733	1	0,966	1

Извор: аутор

5.2.5.2.2. Приоритети за санацију преграда у сливу реке Расине

Стање преграда у сливу реке Расине, са приоритетом за санацију PS₁ и PS₂ је дато у Табели 5.126.

Табела 5.126. Стање преграда у сливу Жуњске реке са приоритетом за санацију (PS)

Назив тока	Ред. бр. преграде	Материјал	Корисна висина (m)	Стање и оштећења				Обраслост вегетацијом	PS ₁	Ранг (PS ₁)	PS ₂	Ранг (PS ₂)
				Слапште	Крила преграде	Труп преграде	Прелив					
Кривача	1	бетон	3		+	-		+	0,170	7	0,232	8
Загржа	1	КЦМ	4					-	0	12	0	12
Загржа	2	бетон	3,5		++	-		+++	0,383	4	0,555	4
Расина (Бзенице)	1	КЦМ	1,2	+++	-	-		-	0,350	5	0,40	5
Расина (Рогавчина)	2	бетон	0,70	-	-	-		-	0	12	0	12
Расина (Плеш)	3	праг од бетона	1,0	-	-	-		+++	0,150	8	0,25	7
Расина (Козница)	4	КЦМ	4,0	-	+	-		-	0,116	9	0,149	10
Козничка река	2	КЦМ	5,5		-	-		+++	0,150	8	0,25	7
Козничка река	1	КЦМ	3,0		-	-		+++	0,150	8	0,25	7
Грабовничка река	1	бетон	2		-	-		+	0,050	11	0,083	11
Брзећка река	1	3 прага од КЦМ	0,5-0,7		-	-		++	0,100	10	0,167	9
Жуњска река	1	бетон	2	++	-	-		+	0,283	6	0,349	6
Жуњска река	2	бетон	2	-	-	-		+++	0,150	8	0,25	7
Жуњска река	3	бетон	3	-	-	+++	++	+++	0,7331	2	0,933	1
Блаташница	1	бетон	2,5	++	++	++		+	0,749	1	0,882	2
Блаташница	2	бетон	2,5		-	-	-	++	0,100	10	0,167	9
Блаташница	3	бетон	3,5		-	+	+	++	0,449	3	0,566	3

Извор: аутор

Директним рангирањем преграда у сливу Топлице, на основу вредности PS (било PS₁ или PS₂), добило би се да су најугроженије: преграда у Вратничком потоку, преграда бр. 1 у Паваштичком потоку и преграда бр. 1 у Малој реци (Табела 5.125).

Уколико су сви делови преграде истог значаја, ранг преграда је готово идентичан претходном случају. Једина разлика је у вредности PS за преграде у Паваштичком потоку под редним бројем 2 и 3, која је незнатна. На Слици 5.7 је дата преграда која је рангирана као најугроженија и при вредности PS₁ и PS₂.



Слика 5.7. Преграда у Вратничком потоку (Топлица)

Извор: Костадинов, С. (2016)

Према резултатима, највећи приоритет за санацију у сливу Расине, од анализираних преграда имају оне са највећим вредностима коефицијента PS₁, и то две преграде у Блаташници и једна у Жуњској реци, све три од бетона: 1) преграда у реци Блаташница, висине 2,5 m, која није обрасла вегетацијом али има значајна физичка оштећења (поткопана преграда са пукотинама на контакту прелива и крила), 2) преграда у Жуњској реци, корисне висине 3 m, која је јако обрасла вегетацијом и има оштећени труп (већа хоризонтална пукотина и испран

део бетона око барбоконе) и 3) преграда у Блаташници од 3,5 m, којој су оштећени труп и прелив.

Уколико се усвоје различите тежине за делове преграде (Табела 5.121), на основу вредности PS_2 , може се констатовати да је преграда бр. 3 у Жуњској реци, грађена од бетона, корисне висине 3 m, угроженија од преграде бр. 1 у Блаташници, висине 2,5 m, која је по PS_1 била 1 ранга. У сваком случају, према спроведеној анализи, ове две преграде (Слика 5.8 и 5.9) представљају најугроженије преграде у сливу реке Расине.



Слика 5.8. Преграда бр. 3 у Жуњској реци (Расина)

Извор: аутор



Слика 5.9. Преграда бр. 1 у реци Блаташници (Расина)

Извор: аутор

5.2.6. Избор оптималног система заштите бујичног слива изградњом преграда

5.2.6.1. Рангирање бујичних сливова по приоритетима за изградњу преграда

Уколико су средства за уређење сливног подручја ограничена, применом метода вишекритеријумске анализе је могуће донети одлуку о делу слива чија је заштита приоритетна. Претходно је потребно дефинисати критеријуме и одредити њихове тежине.

5.2.6.1.1. Критеријуми за рангирање

Рангирање бујичних сливова према приоритетима за изградњу преграда је извршено на примеру Топчидерске реке, где је према "Идејном пројекту антиерозионе заштите у сливу Топчидерске реке - Ковиона, Шутиловац, Пречица, Сикијевац" из 2007. године планирана изградња преграда корисне висине 3 и 4 метара у више бујичних токова (*3). Ове преграде до данас нису изграђене, а за дефинисање редоследа изградње могу се користити параметри као што су: цена изградње преграда, број преграда, специфична продукција наноса у сливу, угроженост пруга и саобраћајница, цена 1 m³ задржаног наноса, потреба за улагањем у биолошке и биотехничке радове (Табела 5.127).

Табела 5.127. Критеријуми за рангирање бујичних сливова и вредности разматраних алтернатива

Слив	*K1	*K2	*K3	*K4	*K5	*K6	*K7
	min	max	min	max	max	min	min
Ковиона	94,61	2	25,02	473,28	3781,07	15,40	3 hk=3m
Пречица	32, 82	4	17,24	447,44	1903,85	12,99	1 hk=3m
Сикијевац	83, 31	4	25,82	307,78	3227,28	10,70	2 hk1=3m hk2=4m
Шутиловац	42, 32	2	28,10	544,44	1506,28	28,13	1 hk=3m

*K1 – цена [10³ евра], *K2 – угроженост пруга и саобраћајница, *K3 – цена 1m³ задржаног наноса [EUR], *K4 – специфична продукција наноса [m³/km²/god], *K5 – количина задржаног наноса [m³], *K6 – потреба за другим радовима* [10³ EUR], *K7 – број објеката корисне висине *hk*

5.2.6.1.2. Тежине критеријума за рангирање бујичних сливова према приоритетима за изградњу преграда

Одређивање тежина критеријума, са провером конзистентности је урађено применом методе поређења у паровима и резултати су дати у Табели 5.128.

Табела 5.128. Тежине критеријума за рангирање токова по приоритетима за изградњу преграда

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	w
K1	1	2	2	3	3	4	5	0,2944
K2		1	2	3	3	4	5	0,2408
K3			1	2	3	3	4	0,1716
K4				1	2	3	3	0,1147
K5					1	2	3	0,0836
K6						1	2	0,0559
K7							1	0,0391

$$CI=0,0411, RI=1,32 CI/RI=0,0312$$

5.2.6.1.3. Рангирање бујичних сливова према приоритетима за изградњу преграда

5.2.6.1.3.1. Рангирање бујичних сливова по приоритетима за изградњу преграда

применом WSM

Стандардизација елемената почетне матрице из Табеле 5.127, применом макс-мин нормализације и ранг сливова (Ковионе, Пречице, Сикијевац, Шутиловац) у Топчидерској реци применом WSM методе су дати у Табелама 5.129 и 5.130.

Табела 5.129. Стандардизација применом макс -мин нормализације

Слив	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Ковиона	0	0	0,1382	0,6993	1	0,7304	0
Пречица	1	1	0,4874	0,5901	0,1748	0,8686	1
Сикијевац	0,1829	1	1	0	0,7566	1	0,5
Шутиловац	0,8463	0	0	1	0	0	1

Табела 5.130. Ранг бујичних сливова у Топчидерској реци применом WSM

Слив	u_i	Ранг
Ковиона	0,1875	4
Пречица	0,7402	1
Сикијевац	0,5490	2
Шутиловац	0,4029	3

Пречица>Сикијевац>Шутиловац>Ковиона

5.2.6.1.3.2. Рангирање бујичних сливова по приоритетима за изградњу преграда применом PROMETHEE II

За рангирање бујичних сливова према приоритетима за изградњу преграда, дефинисан је тип критеријума (максимизација, минимизација) и изабран је општи критеријум тип III (функција преференције облика V), где је потребно дефинисати само праг преференције (Табела 5.131). Ранг сливова је дат у Табели 5.132.

Табела 5.131. Тип критеријума и прагова р и q за бујичне сливове планиране за изградњу преграда у сливу Топчидерске реке

Прагови	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	min	max	min	max	max	min	min
q	-	-	-	-	-	-	-
p	23	1	4	89	853	7	1

Табела 5.132. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг бујичних сливова у сливу Топчидерске реке према приоритету за изградњу преграда

Слив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
Ковиона	-0,3535	0,1973	0,5508	4
Пречица	0,5601	0,6712	0,1112	1
Сикијевац	-0,0764	0,3473	0,4237	2
Шутиловац	-0,1301	0,3294	0,4595	3

Пречица>Сикијевац>Шутиловац>Ковиона

5.2.6.1.3.3. Рангирање бујичних сливова по приоритетима за изградњу преграда применом ELECTRE II

Тежинска нормализована матрица и матрица агрегатне доминације су дате у Табелама 5.133 и 5.134. Ранг акција је дат у Табели 5.135.

Табела 5.133. Тежинска нормализована матрица одлучивања за сливове у сливу Топчидерске реке

Слив	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Ковиона	0,2034	0,0761	0,0880	0,0601	0,0571	0,0238	0,0303
Пречица	0,0705	0,1523	0,0606	0,0568	0,0288	0,0200	0,0101
Сикијевац	0,1791	0,1523	0,0908	0,0391	0,0488	0,0165	0,0202
Шутиловац	0,0910	0,0761	0,0989	0,0692	0,0228	0,0434	0,0101

Табела 5.134. Матрица агрегатне доминације за бујичне сливове у сливу Топчидерске реке

Слив	Ковиона	Пречица	Сикијевац	Шутиловац
Ковиона	0	0	0	0
Пречица	1	0	1	1
Сикијевац	1	0	0	0
Шутиловац	1	0	0	0

ПИС1=0,5434; ПИС2=0,6434; ПИС3=0,7434; ПИНС1=0,6672; ПИНС2=0,4672

Табела 5.135. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг (y) бујичних сливова у сливу Топчидерске реке

Слив	y'	y''	y	Кориг. ранг
Ковиона	3	3	3	3
Пречица	1	1	1	1
Сикијевац	2	2	2	2.5
Шутиловац	2	2	2	2.5

Пречица>Сикијевац=Шутиловац>Ковиона

Уколико се упореде резултати рангирања бујичних сливова у Топчидерској реци, исти ранг се добија применом WSM и PROMETHEE II, док метода ELECTRE II изједначава акције Сикијевац и Шутиловац. Применом све три методе се добија да је најугроженији бујични слив Пречица.

5.2.6.2. Рангирање локација и избор профила за изградњу преграда

Избор локације, односно профила за изградњу преграде, при чему је потребно задовољити више критеријума (на пример минимална цена изградње, максимална количина задржаног наноса и др.) представља проблем вишекритеријумског одлучивања. Што је број опција (профила) које се разматрају већи, проблем одлучивања је комплекснији, тј. доносиоцу одлука је теже да међусобно упореди све опције и донесе одлуку о најприхватљивијем решењу.

5.2.6.2.1. Критеријуми за рангирање локација и избор профила за изградњу преграда

Рангирање локација и избор најбољег профила за изградњу преграда, извршен је за профиле у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке у сливу реке Топлице. Карактеристике доступних профила на којима је планирана изградња преграда од бетона су дате у Табели 5.136. Критеријуми на основу којих су ове опције рангиране су: К1 – цена изградње објекта предвиђене корисне висине на датом профилу, К2 – количина задржаног наноса, К3 – цена 1m^3 задржаног наноса и К4 – дужина заплава (Табела 5.137).

Табела 5.136. Профили на којима је планирана изградња преграда од бетона у Гужваничком потоку (слив реке Топлице)

Алтернатива	Корисна висина преграде	Пад корита [%]	Пад заплава [%]
A1: Профил 1 (ст. 0+141,00)	hk=3m	6,44	3,10
A2: Профил 2 (ст.0+268,30)	hk=4m	8,47	4,15
A3: Профил 3 (ст. 0+587,60)	hk=5m	8,02	4,96
A4: Профил 4 (ст. 0+727,80)	hk=5m	7,92	4

Табела 5.137. Разматране алтернативе и вредности по датим критеријумима

Алтернатива	К1 [EUR]	К2 [m^3]	К3 [EUR/ m^3]	К4 [m]
	min	max	min	max
A1	35.229,23	943,11	37,75	127,2
A2	30.383,52	370,37	82,04	104,9
A3	41.198,11	702,74	58,62	96
A4	49.219,34	548,47	89,74	156,5

5.2.6.2.2. Тежине критеријума за рангирање локација и избор профила за изградњу преграда

Тежине критеријума К1– цена изградње преграде на датом профилу , К2 – количина задржаног наноса, К3 – цена 1m^3 задржаног наноса и К4 – дужина заплава, коришћених за рангирање и избор локације за изградњу преграда су одређене применом методе поређења у паровима (Табела 5.138).

Табела 5.138. Поређење критеријума у паровима и тежине критеријума

	K1	K2	K3	K4	w
K1	1	2	3	4	0,4673
K2		1	2	3	0,1601
K3			1	2	0,2772
K4				1	0,0954

$$CI=0,0103, RI=0,90, CI/RI=0,0115$$

5.2.6.2.3. Рангирање локација за изградњу преграда

5.2.6.2.3.1. Рангирање локација за изградњу преграда применом WSM

За дефинисање редоследа локација за изградњу преграда по приоритетима, најпре је извршена стандардизација елемената почетне матрице из Табеле 5.134, а потом је добијен и ранг применом WSM методе (Табела 5.139 и 5.140).

Табела 5.139. Стандардизација елемената почетне матрице применом макс -мин нормализације

	K1	K2	K3	K4
A1	0,7427	1	1	0,5157
A2	1	0	0,1481	0,1471
A3	0,4258	0,5803	0,5986	0
A4	0	0,3110	0	1

Табела 5.140. Ранг локација применом WSM

Алтернатива	<i>u_i</i>	Ранг
A1	0,8336	1
A2	0,5224	2
A3	0,4578	3
A4	0,1452	4

$$A1 > A2 > A3 > A4$$

Првог ранга је алтернатива, тј. профил за изградњу преграде који има највеће вредности корисности *u_i* по питању свих разматраних критеријума, а то је према резултатима профил 1 (A1).

5.2.6.2.3.2. Рангирање локација за изградњу преграда применом PROMETHEE II
 На основу вредности улазних података (Табела 5.137) и прага преференције p (Табела 5.141), применом PROMETHEE II добијен је ранг алтернатива (Табела 5.142).

Табела 5.141. Тип критеријума и прагова p и q за профиле у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

Прагови	K1	K2	K3	K4
	min	max	min	max
q	-	-	-	-
p	7063	215	19	23

Табела 5.142. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг профила у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

Алтернатива	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
A1	0,6487	0,7873	0,1387	1
A2	0,0698	0,4682	0,3984	2
A3	-0,0768	0,4322	0,5091	3
A4	-0,6416	0,1396	0,7812	4

$$A1 > A2 > A3 > A4$$

Резултат рангирања добијен применом PROMETHEE II методе је идентичан резултату добијеном применом WSM методе.

5.2.6.2.3.3. Рангирање локација за изградњу преграда применом ELECTRE II
 Према формулама из поглавља 3.2.2 добијене су матрице (Табела 5.143, 5.144 и 5.145) потребне за одређивање потпуног поретка акција (локација) приказаних у Табели.

Табела 5.143. Тежинска нормализована матрица одлучивања за профиле у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

	K1	K2	K3	K4
A1	-0,2077	0,1119	-0,0747	0,0492
A2	-0,1791	0,0439	-0,1623	0,0406
A3	-0,2429	0,0834	-0,1159	0,0371
A4	-0,2901	0,0651	-0,1775	0,0605

Табела 5.144. Матрица агрегатне доминације за профиле у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

	K1	K2	K3	K4
A1	0	1	1	1
A2	0	0	0	1
A3	0	0	0	1
A4	0	0	0	0

ПИС1=0,50; ПИС2=0,60; ПИС3=0,70; ПИНС1=0,6444; ПИНС2=0,4444

Табела 5.145. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг (y) профила у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

Алтернатива	y'	y''	y
A1	1	1	1
A2	2	2	2
A3	2	2	2
A4	3	3	3

$A1 > A2 = A3 > A4$

Према резултатима ELECTRE II методе, најбоља алтернатива је профил A1, док су рангови алтернативе A2 и A3 изједначени.

Идентичан ранг се добија применом WSM и PROMETHEE II методе, док ELECTRE II изједначава ранг акција које код WSM имају сличне вредности корисности (ui) а код PROMETHEE II методе сличне вредности чистог тока (Ph).

5.2.6.3. Одлучивање о изградњи преграда у случају ограничења финансијских средстава

Расположивост финансијским средствима је често један од ограничавајућих фактора приликом планирања изградње преграда. Уколико се овај фактор узме у обзир, могуће је планити заштиту подручја изградњом преграда, која ће у најбољој мери задовољити дефинисане критеријуме, али и ово ограничење.

5.2.6.3.1. Критеријуми за одлучивање о изградњи преграда у случају ограничења финансијских средстава

Применљивост метода вишекритеријумске анализе је показана на примеру изградње преграда у Гужваничком потоку, у сливу реке Топлице, у случају ограничења финансијских средстава на 100.000,00 евра. Алтернативе које представљају различите комбинације преграда, њихова локација и цена су дате у Табели 5.146. Критеријуми по којима су алтернативе (Ai) вредноване су цена изградње, количина задржаног наноса, цена 1m³ задржаног наноса и дужина заплава (Табела 5.147).

Табела 5.146. Преграде у Гужваничком потоку у случају ограничења финансијских средстава

Алтернатива		Цена (EUR)
A1:	преграда 1 (0+141,10), hk=3m преграда 2 (0+268,30), hk =4m преграда 3 (0+587,60), hk =3m	91.830,39
A2:	преграда 3 (0+587,60), hk =5m преграда 4 (0+727,80), hk =5m	91.830,39
A3:	преграда 2 (0+268,30), hk =4m преграда 3 (0+587,60), hk =5m преграда 4 (0+727,80), hk =2,5 m	98.993,07
A4:	преграда 1 (0+141,10), hk =3m преграда 3 (0+587,60), hk =5m	76.427,34
A5:	преграда 2 (0+268,30), hk =4m преграда 3 (0+587,60), hk =5m	71.581,63

Табела 5.147. Разматране алтернативе и вредности по датим критеријумима

	*K1 [10 ⁴ EUR]	*K2 [10 ² m ³]	*K3 [EUR/m ³]	*K4 [m]
	min	max	min	max
A1	91.830,39	1.611,99	56,97	325,1
A2	90.417,45	1.251,21	72,26	252,5
A3	98.993,07	1.231,59	80,38	279,15
A4	76.427,34	1.645,85	46,36	223
A5	71.581,63	1.073,11	66,7	200,9

*K1 – цена изградње, *K2 – количина задржаног наноса, *K3 – цена 1m³ задржаног наноса, *K4 – дужина заплава

5.2.6.3.2. Тежине критеријума за комбинације преграда у случају ограничења финансијских средстава

Тежине критеријума су исте као код избора најбоље локације и дате су у Табели 5.138.

5.2.6.3.3. Рангирање комбинације преграда у случају ограничења финансијских средстава

5.2.6.3.3.1. Рангирање комбинације преграда у случају ограничења финансијских средстава применом WSM

Нормализована матрица одлучивања за комбинације преграда је дата у Табели 5.148, а добијен коначан ранг акција применом WSM методе указује на највећи приоритет акције A4 (Табела 5.149).

Табела 5.148. Стандардизација применом макс-мин нормализације

	K1	K2	K3	K4
A1	0,2613	0,9409	0,6881	1
A2	0,3128	0,3110	0,2387	0,4155
A3	0	0,2767	0	0,6300
A4	0,8232	1	1	0,1779
A5	1	0	0,4021	0

Табела 5.149. Ранг комбинација преграда применом WSM

Алтернатива	u_i	Ранг
A1	0,5589	3
A2	0,3018	4
A3	0,1044	5
A4	0,8390	1
A5	0,5788	2

$$A4 > A5 > A1 > A2 > A3$$

5.2.6.3.3.2. Рангирање комбинације преграда у случају ограничења финансијских средстава применом PROMETHEE II

Ранг преграда у Гужваничком потоку, при заданом ограничењу финансијских средстава, и заданим вредностима прага p (Табела 5.150) је дат у Табели 5.151.

Табела 5.150. Тип критеријума и прагова p и q за преграде у Гужваничком потоку

Прагови	K1	K2	K3	K4
	min	max	min	max
q	-	-	-	-
p	10279	215	13	47

Табела 5.151. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг преграда у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
A1	0,1742	0,4868	0,3126	2
A2	-0,2869	0,2324	0,5193	4
A3	-0,68	0,0907	0,7707	5
A4	0,6325	0,7525	0,12	1
A5	0,1601	0,5068	0,3466	3

$$A4 > A1 > A5 > A2 > A3$$

Према резултатима PROMETHEE II методе првог ранга је алтернатива A4.

5.2.6.3.3.3. Рангирање комбинације преграда у случају ограничења финансијских средстава применом ELECTRE II

Кораци (нормализација почетне матрице одлучивања и матрица агрегатне доминације) који претходе прорачуну ранга преграда дати су у Табелама 5.152 и 5.153.

Табела 5.152. Тежинска нормализована матрица одлучивања за комбинације преграда у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

	K1	K2	K3	K4
A1	-0,222	0,0836	-0,1076	0,0534
A2	-0,2186	0,0649	-0,1365	0,0415
A3	-0,2393	0,0638	-0,1519	0,0458
A4	-0,1847	0,0853	-0,0876	0,0366
A5	-0,173	0,0556	-0,126	0,033

Табела 5.153. Матрица агрегатне доминације за комбинације преграда у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	0	1	1	0	0
A2	0	0	1	0	0
A3	0	0	0	0	0
A4	1	1	1	0	1
A5	0	1	1	0	0

ПИС1=0,50; ПИС2=0,60; ПИС3=0,70; ПИНС1=0,6147; ПИНС2=0,4147

Конечан ранг акција (комбинација преграда) добијен применом ELLECTRE II је дат у Табели 5.154.

Табела 5.154. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг (y) комбинација преграда у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке

Алтернатива	y'	y''	y
A1	2	2	2
A2	3	3	3
A3	4	4	4
A4	1	1	1
A5	2	2	2

$A4 > A1 = A5 > A2 > A3$

Применом методе ELLECTRE II такође се добија да је најбољи избор алтернатива A4.

5.2.6.4. Одлучивање о броју и висини преграда

Преграде које се граде у кориту бујичних токова могу бити грађене као већи број објеката ниже корисне висине, или као мањи број објеката веће корисне висине, на шта утичу карактеристике профила и деоница на којима је изградња објеката могућа. Потребан број преграда зависи од угрожености подручја, али се због трошкова њихове изградње обично пројектује само најнеопходнији број.

5.2.6.4.1. Критеријуми за одлучивање о броју и висини преграда

Примена метода вишекритеријумске анализе је извршена на примеру Жуњске реке, притоке реке Расине, у циљу доношења одлуке о најповољнијем односу

броја и висине преграда узимајући у обзир и место изградње, тј. профиле у главном току и притокама који су део пројекта уређења корита ове бујице (*4).

Алтернативе од којих је потребно издвојити најприхватљивију, узимајући у обзир критеријуме: К1– цена изградње преграда, К2 – количина задржаног наноса, К3 – цена 1m³ задржаног наноса, К4 – дужина заплава и К5 – утицај локације изражен односом припремних и главних радова, дате су у Табели 5.155.

Табела 5.155. Преграде у Жуњској реци према броју, висини и месту изградње

Алтернативе	
А изградња преграда у главном току	А1: 1 преграда висине 4 m (пр.1) на стационажи 3+36,00 m
	А2: 2 преграде висине 2,5 m (пр. 2 и пр. 3) на стационажи 9+56,00 и 25+17,00
	А3: повећање висине преграде из варијанте А2 (пр.3 hк=3 m)
Б изградња преграда у притокама	Б1: 2 преграде од 4 m (Арсифски поток пр. 1, Виријевишки поток пр. 1)
	Б2: 6 преграда висине 2,5 m (Рупчина пр.: 1, 2 и 5; Виријевишки, пр. 2, 3, и 4)
	Б3: повећање висина преграда из варијанте Б2 (пр. 1 и 5 из Рупчине и пр. 2 из Виријевишког потока су корисне висине 3 m)
Ц изградња преграда у главном току и притокама	Ц1: три преграде висине 4m (пр. 1 и пр. 4 у Жуњској и пр. 1 у Виријевишком потоку)
	Ц2: 8 преграда висине 2,5 m (пр. 2 и 3 у Жуњској реци, пр. 1, 2 и 5 у потоку Рупчина, пр. 2, 3 и 4 у Виријевишком потоку)
	Ц3: повећање корисне висине преграда из варијанте Ц2 (пр. 3 из Жуњске, пр. 1 и 5 из Рупчине и пр. 2 из Виријевишког потока)

Табела 5.156. Разматране алтернативе у Жуњској реци и вредности по датим критеријумима

	К1	К2	К3	К4	К5
w	0,4185	0,2625	0,1599	0,0973	0,0618
	min	max	min	max	min
А1	85.553,43	5.087,56	16,82	184,33	1
А2	106.323,9	4.736,29	22,45	207,12	1
А3	115.684	4.952,24	23,36	248,54	1
Б1	45.648,72	788,01	57,93	127,61	2
Б2	76.089,18	763,98	99,6	150,69	3
Б3	87.820,18	889,11	98,77	165,15	3
Ц1	167.722,9	8.912,95	18,82	416,32	2
Ц2	182.413,1	5.500,27	33,16	353,14	3
Ц3	203.504,2	5.826,05	34,93	386,15	3

5.2.6.4.2. Тежине критеријума приликом одлучивања о изградњи преграда у случају ограничења финансијских средстава

Тежине критеријума су одређене применом методе поређење у паровима и дате су у Табели 5.157. Највећи значај је дат критеријуму цена изградње (К1), који је око 1,5 пут важнији од критеријума који је други по значају, односно од количине задржаног наноса.

Табела 5.157. Поређење критеријума у паровима и вредности тежина w

	К1	К2	К3	К4	К5	w
К1 – цена изградње	1	2	3	4	5	0,4185
К2 – количина задржаног наноса		1	2	3	4	0,2625
К3 – цена 1m^3 задржаног наноса			1	2	3	0,1599
К4 – дужина заплава				1	2	0,0973
К5 – утицај локације					1	0,0618

$$CI=0,0171, RI=1,12, CI/RI=0,0153$$

5.2.6.4.3. Рангирање алтернатива (преграда различитог броја и висине)

5.2.6.4.3.1. Рангирање алтернатива (преграда различитог броја и висине)

применом WSM

Нормализоване вредности критеријума су дате у Табели 5.158, а ранг акција у Табели 5.159.

Табела 5.158. Стандардизација вредности матрице одлучивања применом макс-мин нормализације

Алтернатива	К1	К2	К3	К4	К5
А1	0,7472	0,5306	1	0,1965	1
А2	0,6156	0,4875	0,9320	0,2754	1
А3	0,5563	0,5140	0,9210	0,4189	1
Б1	1	0,0029	0,5034	0	0,5000
Б2	0,8072	0	0	0,0799	0
Б3	0,7328	0,0154	0,0100	0,1300	0
Ц1	0,2267	1	0,9758	1	0,5000
Ц2	0,1336	0,5812	0,8026	0,7812	0
Ц3	0	0,6212	0,7812	0,8955	0

Табела 5.159. Ранг преграда у Жуњској реци применом WSM

Алтернатива	u_i	Ранг
A1	0,6928	1
A2	0,6232	3
A3	0,6176	4
B1	0,5307	5
B2	0,3456	8
B3	0,3250	9
Ц1	0,6416	2
Ц2	0,4128	6
Ц3	0,3751	7

5.2.6.4.3.2. Рангирање алтернатива (преграда различитог броја и висине)

применом PROMETHEE II

У Табелама 5.160 и 5.161 су дати прагови, типови критеријума и ранг преграда који се добија применом PROMETHEE II методе.

Табела 5.160. Тип критеријума и прагова p и q за варијанте преграда у Жуњској реци и притокама

Прагови	K1	K2	K3	K4	K5
	min	max	min	max	min
q	-	-	-	-	-
p	59196	3056	31	108	1

Табела 5.161. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг варијанти преграда у Жуњској реци и притокама

Алтернатива	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
A1	0,3225	0,4576	0,1351	1
A2	0,1884	0,4081	0,2197	2
A3	0,1757	0,4159	0,2402	3
B1	0,0294	0,4321	0,4027	5
B2	-0,2238	0,24	0,4637	8
B3	-0,2711	0,2067	0,4778	9
Ц1	0,1743	0,5064	0,332	4
Ц2	-0,1804	0,2653	0,4456	6
Ц3	-0,2152	0,2624	0,4777	7

$$A1 > A2 > A3 > Ц1 > B1 > Ц2 > Ц3 > B2 > B3$$

5.2.6.4.3.3. Рангирање алтернатива (преграда различитог броја и висине)

применом ELECTRE II

У Табелама 5.162 и 5.163 дати су прорачуни потребни за добијање ранга алтернатива (преграда) у Жуњској реци (Табела 5.164).

Табела 5.162. Нормализована матрица за комбинације преграда у Жуњској реци и притокама

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	0,0923	0,0904	0,0164	0,0222	0,0090
A2	0,1147	0,0841	0,0218	0,0250	0,0090
A3	0,1248	0,0879	0,0227	0,0299	0,0090
B1	0,0493	0,0140	0,0563	0,0154	0,0180
B2	0,0821	0,0136	0,0969	0,0182	0,0270
B3	0,0948	0,0158	0,0960	0,0199	0,0270
Ц1	0,1810	0,1583	0,0183	0,0502	0,0180
Ц2	0,1968	0,0977	0,0322	0,0426	0,0270
Ц3	0,2196	0,1035	0,0340	0,0465	0,0270

Табела 5.163. Матрица агрегатне доминације за комбинације преграда у Жуњској реци и притокама

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Ц1	Ц2	Ц3
A1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
A2	0	0	1	0	1	1	0	1	1
A3	0	0	0	0	1	1	0	1	1
B1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ц1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
Ц2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ц3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ПИС1=0,5086; ПИС2=0,6086; ПИС3=0,7086; ПИНС1=0,7159; ПИНС2=0,5159

Табела 5.164. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг (y) комбинација преграда у Жуњској реци и притокама

Алтернатива	y'	y''	y
A1	1	1	1
A2	2	2	2
A3	3	3	3
B1	2	4	3
B2	4	5	4,5
B3	4	5	4,5
Ц1	1	3	2
Ц2	4	4	4
Ц3	5	5	5

$$A1 > A2 = Ц1 > A3 = B1 > Ц2 > B2 = B3 > Ц3$$

Према резултатима рангирања комбинација преграда у сливу реке Расине, применом методе ELECTRE II добија се да је 1. ранга алтернатива А1.

5.2.6.5. Оптимизација начина коришћења земљишта

Оптимизација начина коришћења земљишта је извршена у подсливу Т8, најугроженијем подсливу ерозијом земљишта у сливу Топчидерске реке, у складу са моделом одрживог управљања (Zlatić, 1994; Zlatić et al., 2010). Структура начина коришћења земљишта у подсливу Т8 је дата у Табели 5.165.

Табела 5.165. Структура начина коришћења земљишта у подсливу Т8

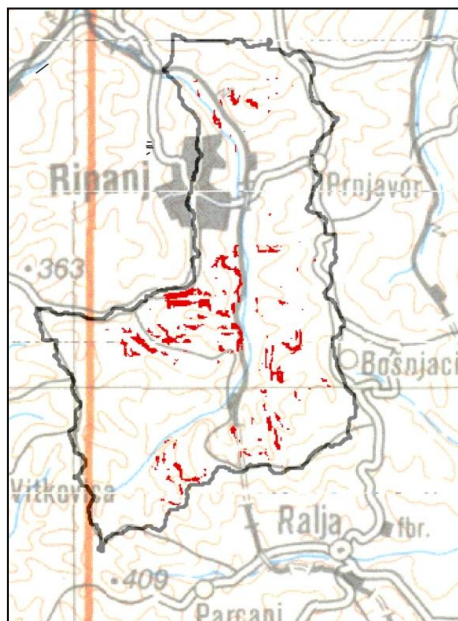
Начин коришћења земљишта	CLC класа	Површина [ha]	Површина [%]	Просечни губици земљишта [$t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$]
Фабрике	122	244,34	7,26	0,21
Ненаводњаване оранице	211	672,90	20,00	12,60
Пашњаци	231	29,74	0,88	3,80
Комплекс култивисаних парцела	242	817,75	24,30	5,23
Земљиште коришћено преваходно за пољопривредну производњу	243	630,67	18,74	6,47
Лишћарске шуме	311	962,37	28,60	0,31
Мешовите шуме	313	6,87	0,20	0,22
Укупно		3364,64	100,00	

Извор: аутор

У подсливу Т8, земљиште се користи претежно за пољопривредну производњу (63,94%), али један део површине чине и шуме (28,80%) и фабрике (7,26%), које су у различитој мери угрожене ерозионим процесима (Табела 5.165).

Губици земљишта се могу класификовати у категорије угрожености (Слика 5.1), чија је заступљеност у ha и % дата у Табели 5.47.

Највеће вредности губитака су на ораницама (код 211) и пољопривредном земљишту (код 243). Губици земљишта преко $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ су присутни претежно на ораницама и на једном делу површина која се користи претежно за пољопривредну производњу. Све површине које је потребно заштити конзервационим мерама и радовима или конвертовати у другачији начин коришћења у односу на постојећи, обележене су црвеном бојом на Слици 5.10.



Слика 5.10. Површине које захтевају примену мера конзервације
Извор: аутор

Оранице заузимају 672,9 ha територије подслива Т8, и просечни губици на овим површинама износе $12,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. Површине које су најпогодније за оранице су на нагибима до 6° . На нагибима испод 6° има 351,45 ha ораница, а на нагибима изнад ове вредности 321,45 ha (Табела 5.166).

На површинама које по нагибу одговарају ораницама, али где су губици већи од $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$, што одговара површини од 231,63 ha, потребно је предузети одговарајуће конзервационе мере, као што је контурна обрада и др. Што су

губици већи (Табела 5.167), то је примена мера конзервације неопходнија. Површине које нису погодне за оранице су оне на нагибима преко 6°, односно на 321,45 ha. Примену конзервационих мера треба извршити почев од површина које најмање погодују ораницама, а то су највећи нагиби (Табела 5.166), односно нагиби преко 18° (0,06%), затим нагиби у интервалу 12,01°-18° (5,38%) и потом нагиби од 6,01°-12° (42,32%), нарочито тамо где су губици земљишта највећи (>20 t·ha⁻¹·god⁻¹). Губици по категоријама на ораницама су дати у Табели 5.167, а предлог ораничних површина за пренемну, односно примену мера конзервације је дат у Табели 5.168. Планирано је да се оранице конвертују у трајне травњаке на нагибима изнад 6°, уколико су губици већи од 20 t·ha⁻¹·god⁻¹, што одговара површини од 22,95 ha. Од тога, 1,25 ha је на 25 m удаљености од саобраћајнице, који се може пошумити, тако да се травњаци планирају на 21,7 ha. Конвертовање травњака у шуму је планирано на површини од 5,38 ha који се налазе непосредно уз саобраћајнице, на нагибима преко 6°, где су губици земљишта преко 20 t·ha⁻¹·god⁻¹.

Табела 5.166. Категорије нагиба на ораницама

Нагиби на ораницама	Површина [ha]	Површина [%]
≤6°	351,45	52,23
6,01°-12°	284,80	42,32
12,01°-18°	36,21	5,38
18,01°-25°	0,43	0,06
Укупно:	672,90	100,00

Извор: аутор

Табела 5.167. Губици по категоријама на ораницама

Губици на ораницама [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]	Површина [ha]	Површина [%]
≤5	126,72	18,83
5-10	187,78	27,91
10-20	230,26	34,22
20-40	124,36	18,48
40-100	3,79	0,56
Укупно:	672,90	100,00

Извор: аутор

Табела 5.168. Предлог ораничних површина за пренамену/примену мера

Начин коришћења	Пренамена/примена мера	Услови	Површина [ha]	Површина [%]
Оранице	Оранице	нагиби <6° губици <5	119,82	17,81
	Оранице уз примену конзервационих мера	нагиби <6° губици >5	231,63	34,42
	Могућа пренамена у:	нагиби >6°	321,45	47,77
	травњак	нагиби >6° губици >20	21,7	3,22
	шуму	нагиби >6° губици >20 уз саобраћајнице	5,38	0,80
Укупно:			672,9	100,00

Извор: аутор

Земљиште које се претежно користи за пољопривредну производњу, заузима 630,67ha површине подслива Т8, где су просечни губици $6,47 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$. Површина где су губици $\geq 20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$ заузима 1,09%, односно 6,87ha површине. Пољопривредно земљиште се може конвертовати у шумско на нагибима преко 25° , што заузима површину од 2,5 ha која се налази у доњем делу слива, у близини пруге (Београд-Младеновац-Ниш). Уколико се предвиди појас од шумске вегетације са десне стране пруге у дужини 1,7 km и леве стране пруге у дужини 1km, ширине око 9 m, добила се површина од 2,43ha.

Узимајући у обзир наведено (тренутну заступљеност начина коришћења, нагибе, ерозију, предлог за променом начина коришћења), могуће је добити оптималан начин коришћења земљишта, применом методе математичког програмирања. При томе, коначна одлука зависиће од задатог циља тј. да ли тај начин коришћења треба да минимизира ерозију, да задовољи потребе становништва, да максимизира економске ефекте итд., као и задатих ограничења. Ограничења представљају опсег начина коришћења који зависи од тренда начина коришћења земљишта, односно потреба корисника, законских прописа итд.

Оптимална структура начина коришћења је она која задовољава неке од циљева:

1) смањење ерозије земљишта, 2) задовољење потреба становништва које се бави пољопривредом и 3) минимизирање ерозије и настојање да се задржи

пољопривредна производња у што већој мери. Анализа је спроведена у Matlabu 2014.

1. Циљ – минимизација ерозије земљишта

Функција циља је облика:

$$\min F_1 = 6,47 \times x_1 + 5,23 \times x_2 + 12,60 \times x_3 + 3,80 \times x_4 + 0,31 \times x_5 + 0,21 \times x_6$$

Уз ограничења:

$$x_1 \geq 630,67 \quad (1)$$

$$817,75 \geq x_2 \geq 550,59 \quad (2)$$

$$471 \geq x_3 \geq 244,34 \quad (3)$$

$$80 \geq x_4 \geq 29,74 \quad (4)$$

$$x_5 \geq 977,12 \quad (5)$$

$$x_6 \geq 244,34 \quad (6)$$

$$2143,18 \geq x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \geq 1682 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^6 x_i = 3364,64 \quad (8)$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (9)$$

Где је: x_1 – земљиште које се користи претежно за пољопривредну производњу [ha]; x_2 – комплекс култивисаних парцела [ha]; x_3 – ненаводњаване оранице [ha]; x_4 – пашњаци [ha]; x_5 – шума [ha]; и x_6 – фабрике [ha].

Да би се ипратио тренд начина коришћења земљишта у подсливу Т8 Топчидерске реке, дат у Табели 5.169 (на основу промене наћина коришћења током 2000., 2006. и 2012. године), задато је да површине које се користе претежно за пољопривредну производњу (x_1), површине под шумама (x_5) и урбане површине (x_6), морају заузимају површину која је једнака или већа од постојеће (\geq) (ограничења 1, 5 и 6). Површине под осталим начинима коришћења, где постоји негативни тренд, тј. смањење њихове % заступљености (од 2000. до 2012.) имају два ограничења. Максимална површина под тим начинима коришћења одговара површини коју тренутно заузимају, а минимална је најмања површина која би омогућила пољопривредну производњу у подсливу Т8 која мора чинити 50% од тренутног начина коришћења (≥ 1682 ha). При томе, услов је да та површина под пољопривредним коришћењем не буде никако већа од оне површине која је под шумама и фабрикама и која је значајно угрожена ерозионим процесима па се те површине преводе у шуме, односно од 2143,18 ha. Наведено се односи на

ограничења 2, 3, 4, и 7. Ограничење 8 обезбеђује да површина под начинима коришћења x_i , $i=1,2,\dots,6$, одговара укупној површини подслива Т8. Последње ограничење (9), настоји задовољавању услова да вредности променљивих које се траже морају бити позитивне. Резултати оптимизације дати су у Табели 5.170.

Табела 5.169. Тренд начина коришћења земљишта у подсливу Т8

Начин коришћења	Линија тренда
Фабрике	$5,603 \cdot x - 11041$
Ненаводњаване оранице	$3,225 \cdot x - 7169$
Пашњаци	$0,496 \cdot x - 970,5$
Комплекс култивисаних парцела	$-7,085 \cdot x - 15087$
Земљиште коришћено преваходно за пољопривреду	$1,42 \cdot x - 2232$
Шуме	$2,789 \cdot x - 4648$

Табела 5.170. Структура начина коришћења земљишта у подсливу Т8

	Површина [ha]	Површина [%]
x_1	630,67	18,74
x_2	726,6	21,60
x_3	244,73	7,27
x_4	80,00	2,38
x_5	1432,64	42,58
x_6	250,00	7,43

Након спроведене оптимизације добија се структура начина коришћења као у Табели 5.170, при чему функција циља има вредност $1176,48 \text{ t} \cdot \text{god}^{-1}$. Пре спровођења оптимизације, када структура начина коришћења одговара тренутном стању, вредност функције циља износи $1730,60 \text{ t} \cdot \text{god}^{-1}$, што значи да би се након спроведене оптимизације губици земљишта редуковали за 32%.

2. Као циљ оптимизације се може поставити постизање структуре начина коришћења земљишта која задовољава потребе фармера (тако што се прати тренд промене начина коришћења пољопривредних површина у подсливу Т8 Топчидерске реке). Тренд је да се површине под ораницама и комплексом култивисаних парцела смањују, док се површине које се претежно користе за пољопривредну производњу повећавају (Табела 5.170). На основу CORINE из

2000., 2006. и 2012. године утврђена је промена структуре начина коришћења земљишта, а линија тренда одређена избором линеарне линије тренда у MS Excel-у. У складу са наведеним, утврђене су тежине начина коришћења земљишта w дате у Табели 5.171.

Табела 5.171. Одређивање тежина за начине коришћења земљишта

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	w
x_1	1	2	3	4	4	4	0,3681
x_2		1	2	3	3	3	0,2346
x_3			1	3	3	3	0,1765
x_4				1	1	1	0,0736
x_5					1	1	0,0736
x_6						1	0,0736
CI=0,0226 RI=1,24 CR=0,0182							

У интересу фармера је коришћење земљишта за пољопривредну производњу па је тим начинима коришћења (x_1, x_2, x_3), дата предност у односу на остале начине коришћења тј. шуме (x_5) и урбане површине (x_6), али и предност у односу на пашњаке (x_4). Највећи значај има начин коришћења у пољопривредне сврхе који има највећи тренд пораста (x_1), а најмањи начин коришћења који има негативни тренд (x_3 -оранице).

Функција циља је облика:

$$\max F_2 = 0,3681 \times x_1 + 0,2346 \times x_2 + 0,1765 \times x_3 + 0,0736 \times (x_4 + x_5 + x_6) \text{ тј.}$$

$$\min F_2 = -(0,3681 \times x_1 + 0,2346 \times x_2 + 0,1765 \times x_3 + 0,0736 \times (x_4 + x_5 + x_6))$$

Уз ограничења која су иста као у претходном случају добијају се резултати дати у Табели 5.172.

Табела 5.172. Структура начина коришћења земљишта у подсливу Т8

	Површина [ha]	Површина [%]
x_1	1318,12	39,18
x_2	550,59	16,36
x_3	244,73	7,27
x_4	29,74	0,88
x_5	977,12	29,04
x_6	244,34	7,26

Након спроведене оптимизације која задовољава потребе становништва којима је у интересу развој пољопривредне производње, добија се структура начина коришћења као у Табели 5.172, и вредност функције циља која износи -749,65. Уколико се ова вредност упореди са резултатом функције циља пре спровођења оптимизације, добила би се вредност -634,27, а када се узме у обзир оптимална структура начина коришћења која задовољава циљ минимизација ерозије, вредност од -570,48. Добијена структура начина коришћења за 15,39% више задовољава потребе фармера него пре оптимизације, а за 23,90% више него када се посматра циљ минимизација ерозије.

3. Уколико је циљ истовремено задовољити оба циља, тј. минимизацију ерозије (F_1) и потребе фармера (F_2), при чему је значај првог циља 60% а другог циља 40%, функција циља би била облика:

$$\min F_3 = 0,6 \times F_1 + (-0,4 \times F_2)$$

Када се изврши стандардизација вредности уз променљиве у функцији циља F_1 и F_2 , применом процедуре која је примењена и код АНР методе, добила би се функција циља облика:

$$\min F_3 = 0,6 \times (0,2261 \times x_1 + 0,1827 \times x_2 + 0,4402 \times x_3 + 0,1328 \times x_4 + 0,0108 \times x_5 + 0,0073 \times x_6) - 0,4 \times (0,3681 \times x_1 + 0,2346 \times x_2 + 0,1765 \times x_3 + 0,0736 \times x_4 + 0,0736 \times x_5 + 0,0736 \times x_6)$$

односно,

$$\min F_3 = 0,071 \times x_1 - 0,0259 \times x_2 + 0,1319 \times x_3 + 0,0296 \times x_4 - 0,0314 \times x_5 - 0,0331 \times x_6$$

Резултати оптимизације када је значај заштите од ерозије 60% а значај интензивирања пољопривредне производње 40% су дати у Табели 5.173.

Табела 5.173. Структура начина коришћења земљишта у подсливу Т8

	Површина [ha]	Површина [%]
x_1	856,94	25,47
x_2	550,59	16,36
x_3	244,73	7,27
x_4	29,74	0,88
x_5	1432,64	42,58
x_6	250	7,43

Уколико је циљ задовољити потребе локалног становништа које се бави пољопривредном, површина под шумом се повећава на 29,04%, а површина под пољопривредном производњом се смањује за непун 1%, тј. са 63,94% на 63,7% (због планирања пошумљавања уз деоницу пута). У случају решавања само проблема ерозије земљишта, у односу на тренутно стање коришћења земљишта (подаци из 2012. године), површина под шумом се повећава са 28,81% на 42,58%, док се површина под пољопривредним начином коришћења смањује са 63,93% на 49,98%.

Уколико се води рачуна о постизању оба циља истовремено (60% циљ ерозија и 40% циљ пољопривреда), долази се до решења које предвиђа заступљеност шума од 42,58% и пољопривредних површина од 50,01%, док остатак од 7,43% одлази на урбане површине.

5.2.6.6. Изградња тераса

Планирање изградње тераса као конзервационе мере је могуће уколико се испуни низ услова, почев од њихове потребе у смислу повећања продукције пољопривредне производње, редукције брзине отицања воде и количине наноса који доспева у хидрографску мрежу и до саобраћајница. Поред тога, потребно је оценити повољност терена (енг. susceptibility) за изградњу тераса, а након тога, може се одлучивати о њиховој изградњи.

У раду је акценат стављен на планирање изградње тераса и утврђивање оптималне површине на којој ће се ова техничка мера применити, при чему је потребно задовољити постављене циљеве. Циљеви се могу односити на минимизацију ерозије или минимизацију трошкова изградње тераса. Подаци о губицима земљишта су израчунати применом RUSLE (Поглавље 3.5.1.2), а трошкови подизања тераса према Sheng (1989). Поступак оптимизације изградње тераса је извршен у Matlab R2014a на примеру два истраживана подручја, Топлици и Расини, применом две методе математичког програмирања:

1. Метода компромиса, где је примењен следећи поступак оптимизације:

- 1) Дефинисање примарне функција циља А и секундарне функције циља Б;
- 2) Спровођење процедуре оптимизације са функцијом циља Б, при чему се усваја да је оптимално решење једнако вредности вектора ε_i ;

3) Поставка проблема одлучивања са функцијом циља А, док је функција циља Б конвертована у ограничење, и

4) Спровођење оптимизације и усвајање решење.

2. Методе тежинских коефицијената, где су тежине добијене применом АНР методе. Поступак оптимизације подразумева следеће кораке:

1) Дефинисање критеријума;

2) Поређење критеријума у паровима и одређивање тежина (АНР приступ);

3) Уградња тежина у оптимизациони модел – метод тежинских коефицијената и

4) Спровођење оптимизације и усвајање решења.

5.2.6.6.1. Изградња тераса у сливу Топлице

Најпре су дати резултати примене методе компромиса спровођењем корака 1, 2 и 3.

Корак 1) Примарна функција циља је минимизација ерозије изградњом тераса где су губици земљишта прорачунати по RUSLE вредности уз променљиве у функцији циља:

$$\max f(x) = 13,78 \times P_1 + 15,72 \times P_2 + 16,28 \times P_3 + 13,04 \times P_4 + 15,15 \times P_5$$

Секундарна функција циља се односи на минимизацију трошкова изградње тераса и гласи:

$$\min f(x) = 433,21 \times P_1 + 469,69 \times P_2 + 495,49 \times P_3 + 486,13 \times P_4 + 466,69 \times P_5$$

Корак 2) Поставка проблема оптимизације се састоји у дефинисању следеће функције циља:

$$\min f(x) = 433,21 \times P_1 + 469,69 \times P_2 + 495,49 \times P_3 + 486,13 \times P_4 + 466,69 \times P_5$$

Уз ограничења:

$$P_1 \leq 30,81 \quad (1)$$

$$P_2 \leq 44,07 \quad (2)$$

$$P_3 \leq 63,31 \quad (3)$$

$$P_4 \leq 35,54 \quad (4)$$

$$P_5 \leq 71,52 \quad (5)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \geq 73,58 \quad (6a)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \geq 122,76 \quad (6b)$$

$$P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 \geq 0 \quad (7)$$

Ограничавајући фактор су површине погодне за терасирање ($P_i, i=1,2,\dots,5$), тј. оне на нагибима између 12% и 47% (ограничења 1-5). Као услов се може поставити и минимална површина на којој ће се применити конзервационе мере. Ограничење (6) указује да је та минимална површина 30% од укупне површине P , док се ненегативне вредности површина омогућују увођењем ограничења (7).

Применом функције `linprog` у `Matlabu R2014a`, добија се да је оптимално површину P_1 целу истерасирати (30,81 ha) и део површине P_5 (42,77 ha). При томе би се утрошило $33.308,00 \cdot 10^3$ динара. Уколико је циљ заштити 50% површина (122,76 ha), када се мења само ограничење (6): $P_1+P_2+ P_3+P_4+P_5 \geq 122,76$, оптимално решење је истерасирати целе површине P_1 и P_5 , тј. 30,81ha и 71,52 ha, и део површине P_2 од 20,43 ha. Минимални трошкови би у том случају износили $56.321,00 \cdot 10^3$ динара.

Корак 3) Тражи се оптимално решење функције циља:

$$\max f(x) = 13,78 \times P_1 + 15,72 \times P_2 + 16,28 \times P_3 + 13,04 \times P_4 + 15,15 \times P_5$$

Уз ограничења:

$$P_1 \leq 30,81 \quad (1)$$

$$P_2 \leq 44,07 \quad (2)$$

$$P_3 \leq 63,31 \quad (3)$$

$$P_4 \leq 35,54 \quad (4)$$

$$P_5 \leq 71,52 \quad (5)$$

$$433,21 \times P_1 + 469,69 \times P_2 + 495,49 \times P_3 + 486,13 \times P_4 + 466,69 \times P_5 \leq 33308 \quad (6a)$$

$$433,21 \times P_1 + 469,69 \times P_2 + 495,49 \times P_3 + 486,13 \times P_4 + 466,69 \times P_5 \leq 56321 \quad (6b)$$

$$P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 \geq 0 \quad (7)$$

Функција циља се максимизира, јер се подизањем тераса где су губици највећи, највише доприноси редукцији ерозије. Резултати оптималне заступљености тераса на одабраним површинама у сливу реке Топлице у зависности од дефинсаних ограничења дате су у Табели 5.174.

У случају ограничења 6a, функција циља износи: 1.052,06. У случају ограничења 6b функција циља има вредност 1.840,76. Резултати оптимизације и у случају 6a и у случају 6b казују на то да је да је потребно приоритет дати површинама P_4 и P_5 .

Табела 5.174. Резултати оптимизације

Ознака површине	Површина под терасама [ha]	
	а)	б)
P ₁	0	0
P ₂	0	0
P ₃	63,31	63,31
P ₄	0	0
P ₅	4, 15	53,47

У наредним корацима су приказани резултати примене методе тежинских коефицијената.

Корак 1) Као циљ оптимизације се може поставити избор најоптималнијих површина за изградњу тераса узимајући у обзир интегрални утицај више критеријума као што су: вредности губитака земљишта, надморска висине места где се изводе радове, близина пута због употребе механизације, и величина површине која доприноси да се продукти ерозионих процеса транспортују сливом и доспевају до хидрографске мреже или саобраћајница. Вредности и тип ових критеријума дати су у Табели 5.175.

Табела 5.175. Вредности разматраних критеријума

Критеријуми	Тип критеријума	Површине				
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Губици земљишта [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]	max	10,6	11,63	12,53	10,03	11,66
Близина саобраћајница [m]	min	3	2	2	1	1
Величина површине [ha]	max	30,87	44,07	63,31	35,54	71,52
Надморска висина [m н.м.]	min	968,99	909,21	837,81	841,13	936,8

Корак 2) Свеобухватан утицај разматраних критеријума се може одредити применом АНР методе (поступком из потпоглавља 3.3.2.1). Вредновање површина за изградњу тераса према разматраним критеријумима и добијене тежине дате су у Табелама од 5.176 до 5.180.

Табела 5.176. Поређење критеријума и тежине критеријума

	K1	K2	K3	K4	Тежине
K1	1	2	3	4	0,4547
K2		1	3	4	0,3205
K3			1	2	0,1394
K4				1	0,0855

$$CI=0,0271, RI=0,90 CI/RI=0,0301$$

Табела 5.177. Поређење површина за терасирање по губицима земљишта

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Тежине
P ₁	1	1	1	1	1	0,2
P ₂		1	1	1	1	0,2
P ₃			1	1	1	0,2
P ₄				1	1	0,2
P ₅					1	0,2

Табела 5.178. Поређење површина за терасирање по близини саобраћајница

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Тежине
P ₁	1	1/3	1/3	1/5	1/5	0,0551
P ₂		1	1	1/3	1/3	0,1290
P ₃			1	1/3	1/3	0,1290
P ₄				1	1	0,3435
P ₅					1	0,3435

$$CI=0,014; RI=0,90; CI/RI=0,0165$$

Табела 5.179. Поређење површина за терасирање по величини површина

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Тежине
P ₁	1	1/3	1/5	1/2	1/6	0,0528
P ₂		1	1/3	2	1/4	0,1291
P ₃			1	4	1/2	0,2923
P ₄				1	1/5	0,0810
P ₅					1	0,4448

$$CI=0,0246; RI=1,12; CI/RI=0,021$$

Табела 5.180. Поређење површина за терасирање према надморској висини

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Тежине
P ₁	1	1/2	1/3	1/3	1	0,1035
P ₂		1	1/2	1/2	1	0,1597
P ₃			1	1	2	0,2988
P ₄				1	2	0,2988
P ₅					1	0,1391

$$CI=0,0099; RI=1,12; CI/RI=0,0088$$

Множењем тежина критеријума (Табела 5.176) и тежина површина (Табеле од 5.177 до 5.180), добиле би се коначне тежине површина P , које ће одређивати и њихов приоритет за терасирањем, и јавити се уз променљиве у функцији циља. Циљ је изградња тераса на површинама које највише погодују изградњи тераса, тј. где су највеће вредности доступне површине за терасирање, као и вредности губитака земљишта, где је надморска висина најнижа, а растојање од путева најкраће.

Корак 3) Уградњом тежина добијених применом АНР методе у функцију циља, добија се функција циља облика:

$$\max f(x) = 0,125 \times P_1 + 0,164 \times P_2 + 0,199 \times P_3 + 0,238 \times P_4 + 0,275 \times P_5$$

Уз ограничења:

$$P_1 \leq 30,81 \quad (1)$$

$$P_2 \leq 44,07 \quad (2)$$

$$P_3 \leq 63,31 \quad (3)$$

$$P_4 \leq 35,54 \quad (4)$$

$$P_5 \leq 71,52 \quad (5)$$

$$433,21 \times P_1 + 469,69 \times P_2 + 495,49 \times P_3 + 486,13 \times P_4 + 466,69 \times P_5 \leq 33308 \quad (6a)$$

$$433,21 \times P_1 + 469,69 \times P_2 + 495,49 \times P_3 + 486,13 \times P_4 + 466,69 \times P_5 \leq 56321 \quad (6b)$$

$$P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 \geq 0 \quad (7)$$

Ограничења се односе на погодност површина P_i ($i=1,2,3,4,5$) за изградњу тераса (ограничења 1-5), као и на потребна улагања која одговарају: 1) минималним улагањима када се терасира 30% подручја (ограничење 6a) или 2) минималним улагањима када се терасира 50% подручја (ограничење 6b).

Корак 4) Спровођењем оптимизације, долази се до решења проблема: у првом случају, када се штити мањи део подручја, парцела P_5 је једина на чијој ће се површини (71,37 ha) подизати терасе. Уколико се 50% третира терасама, површине P_4 и P_5 се целе терасирају, тј. на свих 35,54 ha и 71,52 ha, а површина P_3 само једним делом (11,44 ha).

Резултати указују на то да су најмања улагања у подизање тераса на површини P_1 . Нешто су већа на површинама P_5 , P_2 , P_4 и највећа су на површини P_3 , која је највише угрожена ерозијом земљишта.

Приоритет површина на основу интегралног утицаја више фактора (ерозија, близина саобраћајнице, надморска висина, величина површине) је: P_5 , P_4 , P_3 , P_2 и P_1 . Највише је угрожена површина P_5 , а најмање површина P_1 – где су и улагања најмања у конзервационе мере.

5.2.6.6.2. Изградња тераса у Расини

Најпре су дати резултати примене Методе компромиса.

Корак 1) Примарна функција циља је максимизација губитака земљишта, где су губици земљишта прорачунати по RUSLE вредности уз променљиве у функцији циља:

$$\max f(x) = 13,15 \times P_1 + 12,21 \times P_2 + 13,34 \times P_3 + 16,53 \times P_4$$

Секундарна функција циља се односи на минимизацију трошкова изградње тераса и гласи:

$$\min f(x) = 447,73 \times P_1 + 406,65 \times P_2 + 461,89 \times P_3 + 512,05 \times P_4$$

Корак 2) Поставка проблема оптимизације се састоји у дефинисању следеће функције циља:

$$\min f(x) = 447,73 \times P_1 + 406,65 \times P_2 + 461,89 \times P_3 + 512,05 \times P_4$$

Уз ограничења:

$$P_1 \leq 26,20 \quad (1)$$

$$P_2 \leq 22,76 \quad (2)$$

$$P_3 \leq 27,38 \quad (3)$$

$$P_4 \leq 31,56 \quad (4)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \geq 32,37 \quad (5a)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \geq 53,95 \quad (5b)$$

$$P_1, P_2, P_3, P_4 \geq 0 \quad (6)$$

Ограничавајући фактор су укупне површине доступне за терасирање P_i ($i=1,2,3,4$), тј. оне на нагибима између 12% и 47% (ограничења 1-4). Као услов се може поставити и минимална површина на којој ће се применити конзервационе мере. Ограничење (5a) указује да је та минимална површина 30%, односно 50% (ограничење 5b), док се ненегативне вредности површина омогућују увођењем ограничења (6).

Резултат оптимизације је подизање тераса на 9,61 ha површине P_1 и на целој површини P_2 (22,76 ha). При томе би се утрошило $13.552,53 \cdot 10^3$ динара.

Уколико је циљ заштити 50% површина (53,95 ha), оптимално решење је истерасирати целе површине P_1 и P_2 , тј, 26,20 ha и 22,76 ha, и део површине P_3 од 4,99 ha. Минимални трошкови би у том случају износили $23.286,16 \cdot 10^3$ динара.

Корак 3) Тражи се оптимално решење функције циља:

$$\max f(x) = 13,15 \times P_1 + 12,21 \times P_2 + 13,34 \times P_3 + 16,53 \times P_4$$

Уз ограничења:

$$P_1 \leq 26,20 \quad (1)$$

$$P_2 \leq 22,76 \quad (2)$$

$$P_3 \leq 27,38 \quad (3)$$

$$P_4 \leq 31,56 \quad (4)$$

$$447,73 \times P_1 + 406,45 \times P_2 + 461,89 \times P_3 + 512,05 \times P_4 \leq 13552,53 \quad (5a)$$

$$447,73 \times P_1 + 406,45 \times P_2 + 461,89 \times P_3 + 512,05 \times P_4 \leq 23286,16 \quad (5b)$$

$$P_1, P_2, P_4, P_5, P_6 \geq 0 \quad (6)$$

Табела 5.181. Резултати оптимизације

Ознака површине	Површина под терасама [ha]	
	а)	б)
P_1	0	0
P_2	0	17,53
P_3	0	0
P_4	26,47	31,56

Резултати оптимизације су дати у Табели 5.181. У случају ограничења 5а, вредност функције циља износи: 437,55, и терасе је потребно подићи на површини P_4 . Када се примене ограничења 5б, поред терасирања површине P_4 , терасе је потребно подизати и на површини P_2 , када функција циља има вредност 735,73.

Кроз наредне кораке су приказани резултати примене методе тежинских коефицијената.

Корак 1) Критеријуми коришћени за оптимизацију изградње тераса у сливу реке Расине, применом методе тежинских коефицијената, исти су као у Топлици: губици земљишта, надморска висине места где се изводе радови, близина саобраћајнице и величина површине (Табела 5.182).

Табела 5.182. Вредности критеријума за разматране алтернативе (површине за терасирање)

Критеријуми	Тип критеријума	Површине			
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Губици земљишта [t·ha ⁻¹ ·god ⁻¹]	max	13,15	12,21	13,34	16,53
Близина саобраћајница [m]	min	2	3	1	2
Величина површине [ha]	max	14,77	14,14	21,15	15,45
Надморска висина [m н.м.]	min	478,49	617,11	423,29	500,19

Корак 2) Свеукупан утицај свих разматраних критеријума чије су вредности дате у Табели 5.177, одређен је применом АНР методе и представљен је у виду тежина *w*. Тежине површина *P*, према разматраним факторима дате су у Табелама од 5.183 до 5.186.

Табела 5.183. Поређење површина за терасирање по критеријуму губици земљишта

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Тежине
P ₁	1	1	1	1/2	0,1948
P ₂	1	1	1	1/3	0,1768
P ₃	1	1	1	1/2	0,1948
P ₄	2	3	2	1	0,4336

$$CI=0,0069; RI=0,90; CI/RI=0,0076$$

Табела 5.184. Поређење површина за терасирање по критеријуму близина саобраћајница

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Тежине
P ₁	1	3	1/3	1	0,1998
P ₂	1/3	1	1/5	1/3	0,0781
P ₃	3	5	1	3	0,5222
P ₄	1	3	1/3	1	0,1998

$$CI=0,0145; RI=0,90; CI/RI=0,0161$$

Табела 5.185. Поређење површина за терасирање по критеријуму величина површине

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Тежине
P ₁	1	1	1/2	1	0,2000
P ₂	1	1	1/2	1	0,2000
P ₃	2	2	1	2	0,4000
P ₄	1	1	1/2	1	0,2000

$$CI=0,0; RI=0,90; CI/RI=0,0$$

Табела 5.186. Поређење површина за терасирање по критеријуму надморска висина

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Тежине
P ₁	1	3	1/2	1	0,2389
P ₂	1/3	1	1/4	1/3	0,0886
P ₃	2	4	1	2	0,4337
P ₄	1	3	1/2	1	0,2389

$$CI=0,0069; RI=0,90; CI/RI=0,0076$$

Множењем тежина критеријума (Табела 5.176) и тежина површина (Табеле од 5.183 до 5.186), добиле би се коначне тежине површина, које ће се јавити се уз променљиве у функцији циља.

Корак 3) Уградњом тежина добијених применом АНР методе у функцију циља, добија се функција циља облика:

$$\max f(x) = 0,201 \times P_1 + 0,141 \times P_2 + 0,349 \times P_3 + 0,309 \times P_4 \quad (Б)$$

Уз ограничења:

$$P_1 \leq 26,20 \quad (1)$$

$$P_2 \leq 22,76 \quad (2)$$

$$P_3 \leq 27,38 \quad (3)$$

$$P_4 \leq 31,56 \quad (4)$$

$$447,73 \times P_1 + 406,45 \times P_2 + 461,89 \times P_3 + 512,05 \times P_4 \leq 13552,53 \quad (5a)$$

$$447,73 \times P_1 + 406,45 \times P_2 + 461,89 \times P_3 + 512,05 \times P_4 \leq 23286,16 \quad (5b)$$

$$P_1, P_2, P_4, P_5, P_6 \geq 0 \quad (6)$$

Ограничења (1–4) су иста као у претходном случају, а ограничења (5a) и (5b) одговарају минималним улагањима када се терасира 30% подручја, односно 50% подручја.

Табела 5.187. Резултати оптимизације

Ознака површине	Површина под терасама [ha]	
	а)	б)
P ₁	0	0
P ₂	0	0
P ₃	27,38	27,38
P ₄	1,77	20,78

Спровођењем оптимизације (корак 4), добија се да је у случају заштите мањег дела подручја (30%) оптимално решење подизање тераса на 27,38 ha површине P₃ и 1,77 ha површине P₄, при чему је вредност функције циља 10,10. Уколико се 50% третира терасама, функција циља износи 15,98, и добија се да је 27,38 ha површине P₃ и 20,78 ha површине P₄ предвиђено за ову конзервациону меру (Табела 5.187).

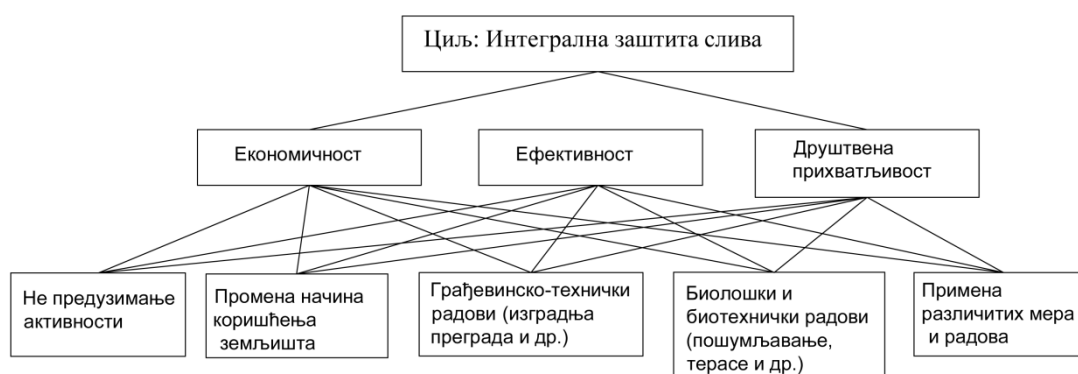
Резултати примене обе методе математичког програмирања, односно резултати различито постављених проблема оптимизације указују на то да су најмања улагања од $406,45 \cdot 10^3$ динара потребна за подизање тераса на површини P₂, односно највећа улагања од $512,05 \cdot 10^3$ динара потребна у подизање тераса на површини P₄. Уколико се приликом одлучивања о терасама као конзервационој мери, узме у обзир само цена њиховог подизања, приоритет би имале површине где је њихова изградња најекономичнија, и то редом површине: P₂, P₁, P₃ и P₄.

Уколико се посматра интегрални утицај више фактора (ерозије, близине пута, надморске висине, и величине третиране површине), редослед изградње тераса на површинама P је следећи: P₄, P₃, P₁ и P₂. Површина P₄ (где је изградња тераса најскупља) има највећи приоритет јер је јако угрожена ерозијом и близу је саобраћајнице (пута Дупци-Лепенац).

Уколико се посматра само вредност губитака земљишта, приоритет површина за изградњу тераса је исти, као у претходном случају. Површина P_4 је најугроженија ерозијом, и њу је потребно најпре заштити, а потом и P_3 , P_2 и на крају P_1 која је најмање угрожена.

5.2.6.7. Предлог модела за интегралну заштиту подручја

Технички радови – преграде, промена начина коришћења земљишта и терасе као конзервациона мера су разматране као посебни проблеми одлучивања. Међутим, концепт интегралног уређења и управљања сливним подручјем подразумева примену свих мера и радова који ће допринети решавању проблема ерозије и бујица. У том случају, моделирање проблема интегралне заштите и уређења слива, као елементе има циљ, критеријуме и алтернативе који се могу приказати у виду хијерархије АНР методе, са три нивоа (Слика 5.11) или више нивоа.



Слика 5.11. Хијерархија интегралног уређења слива
Извор: аутор

Хијерархија је направљена у складу са општом концепцијом интегралног уређења бујичног слива (Kostadinov, 2008) као и на основу мера и радова предвиђених за уређење изабраних сливова у оквиру ове дисертације.

Алтернативе које се могу разматрати као опције интегралног уређења слива су:

1. Не предузимање акција/мера/радова: алтернатива која не решава проблем и не захтева финансијска улагања;
2. Промена начина коришћења земљишта: решава проблем ерозије земљишта и бујичних поплава у сливу, захтева финансијска улагања;

3. Извођење грађевинско-техничких радова у кориту водотока (преграда и др.)– решава проблем локално (стабилизује профил, спречава транспорт наноса у акумулацију, саобраћајницу) и захтева финансијска улагања;

4. Извођење биолошких и биотехничких радова (пошумљавање, терасе и др.)– примењује се као мера у сливу, захтева улагање финансијских средстава. Када је реч о терасама, њиховом изградњом се поспешује пољопривредна производња, смањује се брзина отицања воде, и количина наноса која доспева у хидрографску мрежу и саобраћајнице. Негативна страна ове мере су велики трошкови, и

5. Примена различитих мера и радова – подразумева комбинацију неке од наведених варијанти.

Критеријуми на основу којих се може вршити евалуација наведених алтернатива су:

1. Економичност, тј. цена примене мера/извођења радова;
2. Ефективност (количина задржаног наноса/ редукација опасности од поплава) и
3. Друштвена прихватљивост, односно спремност заједнице/доносиоца одлука за спровођење мера и радова.

Пре избора самих мера, потребно је извршити процену опасности од ерозије и бујица и идентификацију најугроженијих површина. У раду је анализа опасности од ерозије извршена на нивоу слива применом RUSLE, али може бити анализирана узимајући у обзир и густину насељености и неке друге параметре који би утицали на повредљивост као компоненту ризика од поплава.

6. ДИСКУСИЈА

У раду је приказана примена метода вишекритеријумског одлучивања у области заштите површина (подсливова) угрожених ерозијом земљишта и бујицама, на примеру слива Топчидерске реке, слива реке Топлице и слива реке Расине.

Структурирање проблема одлучивања је извешено применом АНР методе. Структура је дата у виду хијерархије, где су после циља који је на првом нивоу дефинисане алтернативе, односно подсливови које се штите и радови који се примењују, а потом и критеријуми.

Одабир критеријума који се користе је значајан корак који утиче на резултате анализа, и зависи од бројних фактора, пре свега од расположивости података али и од расуђивања доносиоца одлука који утиче на моделирање проблема одлучивања. Значај ових критеријума за доносиоце одлука у области заштите од ерозије и бујица се може разликовати, па је потребно одредити њихове тежине, што је у раду извршено применом АНР методе, тј. методе поређења у паровима. Поред примене ове субјективне методе, коришћене су и комбиноване тежине, које субјективност у одређеној мери редукују применом објективних тежина (добитених на основу стандардне девијације и коефицијента корелације), као и објективна метода ENTROPY, коришћена за анализу ранга услед елиминације најмање значајних критеријума и одабраних алтернатива.

За рангирање најугроженијих подсливова ерозијом или бујичним поплавама, као и за рангирање одабраних радова, коришћене су две методе вишег ранга: PROMETHEE II и ELECTRE II, и метода корисности – WSM.

Приоритизација површина према степену угрожености од ерозије земљишта и опасности од бујичних поплава, у циљу идентификације површина које имају приоритет за примену мера и радова (превенције или санације) је проблем који је широко изучаван од стране бројних аутора (Nigel, Rughooputh, 2010; Zhang et al., 2010).

Параметри USLE/RUSLE методологије, где спадају коефицијент еродибилности земљишта (K), кишни фактор (R), фактор начина коришћења земљишта (C) и топографски фактор (LS) су често коришћени критеријуми за процену ерозије у смислу квантификације губитака, али и за утврђивање просторне варијабилности

овог процеса деградације, на нивоу поља, слива, региона или државе. Чињеница је да у одређеним подручјима неки од ових фактора могу представљати доминантан чинилац ерозије земљишта, и да значај (тежина) сви фактора није исти (Sadeghi et al., 2012; Naregeweyn et al., 2017). Међутим, према USLE/RUSLE методама, прорачун губитака земљишта се заснива на мултипликацији критеријума, без давања преференција неком од њих, што је послужило као основа за усвајање подједнаких тежина критеријума и у овом раду. Да би се испитала сензитивност резултата, коришћене су комбиноване тежине по формули коју предлажу Јахан и Edwards. Појединачне вредности алтернатива (подсливова) за задане критеријуме, тј. К, С, R и LS фактор, имају различит степен варијабилности у односу на просечну вредност скупа (аритметичку средину), тако да се утврђивањем вредности стандардне девијације као објективне методе за одређивање тежина критеријума, може утврдити ова варијабилност, а тиме и значај критеријума. У подсливовима Топчидерске реке, највећу варијабилност има фактор начина коришћења земљишта (С фактор), у подсливовима реке Топлице фактор ерозионе снаге кише (R фактор), у подсливовима реке Расине топографски фактор (LS фактор).

У раду је анализиран интегрални утицај објективних тежина, субјективних (исте за све критеријуме) и корелационих тежина (које су у Топчидерској реци највеће за топографски фактор, а у Топлици и Расини за фактор еродибилности земљишта), чији је значај дефинисан преко параметра λ (усвојена вредност за $\lambda=1/3$).

Апсолутно исти поредак акција подсливова се не може очекивати применом метода, је су другачије методолошки постављене, WSM и PROMETHEE су адитивне и компензационе методе, док је ELECTREE II делимично компензациона (јача угроженост по једном критеријуму се не може надокнадити слабом угрожености слива/површине по другом критеријуму). Резултати примене све три методе за рангирање издвојених подсливова у сва три истраживана сливна подручја, указују на висок степен корелације ранга, а највеће слагање резултата је добијено применом метода WSM и PROMETHEE II. Као најугроженији ерозионим процесима се издвајају подслив Т8 у сливу Топчидерске реке, подслив С3 у сливу реке Топлице и подслив Р15 у сливу реке Расине.

Идентификација „hot spot“ површина је значајна због ближег одређивања подручја где ће се предузети одређене мере и радови у циљу заштите од ерозије. У раду су губици за најугроженије подсливове класификовани у категорије, и применом GIS-а добијена је просторна заступљеност различитих категорија угрожености земљишта. Оваква класификација је потребна за све подсливове, без обзира на њихов ранг, јер на одређеним локацијама, губици могу бити далеко изнад просечних вредности губитака које су коришћене за процену ерозије на новоу слива. Овом проблематиком су се бавили и Chicas et al. (2016), који су од критеријума користили RUSLE параметре, а за класификацију угрожености су издвојили три класе: ниска (до $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$), висока ($51\text{-}200 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$) и јака угроженост (преко $201 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{god}^{-1}$). Њихови резултати указују на угроженост локација у горњем делу слива, нарочито оних где се земљиште користи у пољопривредне сврхе, што се поклапа са резултатима добијених за истраживана подручја која су предмет ове дисертације.

Анализа осетљивости слива на опасност од бујичних поплава је такође доста анализирана област, која се у иностраној литератури спроводи преко параметара који се називају морфометријским параметрима слива, (код нас – анализа хидрографских и геоморфолошких параметара слива). На основу истраживања литературних извора (Biswas, 1999; Kostadinov, 2008; Kar et al., 2009; Parveen et al., 2012; Aher et al., 2014; Jaswail et al., 2015), за анализу је изабрано 10 морфометријских критеријума: површина слива (K1), густина хидрографске мреже (K2), коефицијент облика слива (K3), релативни пад тока (K4), средњи пад слива (K5), стопа бифуркације (K6), текстурна стопа (K7), учесталост токова (K8), коефицијент ерозионе енергије (K9) и геоморфолошко-ерозиони коефицијент (K10), који су описани у Поглављу 3.5.3.1. За њихов прорачун, генерисана је мрежа вотокова у GIS-у⁹. Сви токови су класификовани у токове одређеног реда за шта је на располагању већи број метода, а изабрана је класификација по Strahler-у, где су повремени токови најнижег реда, а главни ток представља ток највећег реда.

⁹ Добијена хидрографска мрежа представља улаз извесне непрецизности у смислу генерисања токова који у природи не постоје, односно који су системом цевовода и колектора обухваћени и усмерени у матични реципијент (као што је случај са токовима у доњем делу слива Топчидерске реке).

Субјективне тежине морфометријских критеријума се међусобно разликују и утврђене су на основу консултације са експертом из области заштите од ерозије и уређења бујичних сливова, методом поређења у паровима. Већи значај је додељен параметрима: површина подслива (0,1085), релативни пад тока (0,1525), средњи пад подслива (0,1525), коеф. ерозионе енергије рељефа (0,1525) и геоморфолошко-ерозиони коефицијент (0,1525).

Када је реч о објективним тежинама, у сливу Топчидерке реке и сливу реке Топлице, највеће вредности стандардне девијације су за критеријуме К9 (геоморфолошко-ерозиони коефицијент) и К6 (стопа бифуркације), а корелационе за К6. У сливу реке Расине, подсливови имају највеће вредности објективних тежина (стандардне девијације) као и корелационих тежина за критеријум К8 (учесталост тока).

Комбиноване тежине морфометријских критеријума, се код свих истраживаних подручја незнатно разликују од субјективних, и то по опадању значаја оних критеријума којима је дата највећа преференција код субјективних тежина (пре свега се мисли на критеријуме К4 – релативни пад тока, К5 – средњи пад слива, К9 – коеф. ерозионе енергије рељефа и К10 – геоморфолошко-ерозиони коефицијент), и порасту значаја критеријума чије су тежине биле нижих вредности код субјективних тежина (нарочито се ово односи на критеријуме К3 – коеф. облика слива и К6 – стопа бифуркације). Спирманов коефицијент корелације ранга има највеће вредности када се упореде резултати WSM и PROMETHEE II методе, посматрано за сва три истраживана подручја.

Термин познат као “rank reversal“ или промена ранга доста је проучаван, и до њега може доћи како елиминацијом критеријума, тако и елиминацијом алтернатива, или увођењем нове алтернативе. У раду је утицај елиминације критеријума и елиминације алтернатива разматран на примеру подсливова у сливу реке Расине. За елиминацију критеријума је коришћена метода ENTROPY, којом је добијено да су најмање значајни критеријуми К3, К6 и К8.

Применом методе PROMETHEE II, услед елиминације три морфометријска критеријума дошло је до промене ранга, али је разлика незнатна на шта указује и добијени Спирманов коефицијент корелације ранга који износи 0,9614. До промене ранга је дошло због промене вредности функције преференције, услед

измене девијације тј. разлике вредности алтернатива према задатим критеријумима (Табела 5.100). Највеће разлике се примећују код подслива Р19. У случају почетних тежина, код овог подслива, вредности функције преференције и индекса преференције би биле као у Табели 5.101. На основу ових вредности добија се вредност чистог тока (Ph^+) подслива Р19, која пре елиминације критеријума (К3, К6 и К8) износи 0,1641 (Табела 5.98). Након елиминације три критеријума, на основу прорачунате функције преференције одређени су индекси преференције подслива Р19 (Табела 5.104), а на основу њих вредност чистог тока (Ph^+) подслива Р19 који се повећава и износи 0,1850 (Табела 5.102). То је разлог зашто овај подслив постаје већег приоритета, након разматрања мањег броја критеријума. Међутим, уколико се упореде резултати PROMETHEE II и WSM, уочљив је идентичан редослед акција (подсливова).

Анализа стабилности рангова је спроведена и елиминацијом одређених алтернатива, тј. подсливова издвојених у сливу реке Расине који се налазе низводно од акумулације „Ђелије“ (подсливови Р1-Р10). Алтернативе су вредноване према свих 10 морфометријских критеријума, а добијени ранг подсливова се битно не мења у односу на ранг пре елиминације алтернатива Р1-Р10. Када се упореде резултати све три методе вишекритеријумске анализе, Спирманов коефицијент корелације ранга указује на високу повезаност резултата (коэф. корелације ранга има вредност $> 0,94$).

Подсливови који су идентификовани као првог ранга су Т7 у сливу Топчидерске реке, С2 у сливу Топлице, и Р11 у сливу Расине, као најосетљивији на опасност од бујичних поплава. То су подсливови који се налазе у горњем делу слива, и који по вредностима морфометријских параметара, пре свега рељефу, односно средњем паду слива, коефицијенту ерозионе енергије и геоморфолошко-ерозионом коефицијенту, представљају најугроженије подсливова. Aher et al. (2014) анализом морфометријских параметара издвајају најугроженији подслив и дефинишу пет приоритета заштите слива, при чему 31,54% слива представља јако осетљиву зону. У ту зону спада и подслив 5, који је првог приоритета и представља угрожен подслив по свим анализираним критеријумима, а нарочито према вредностима критеријумима облик слива и стопа бифуркације. У овој дисертацији критеријуму стопа бифуркације, који до сада код нас није ни

коришћен у анализама, дат је мањи значај због мале варијабилности овог критеријума када се пореде вредности за разматране подсливове.

Анализа физичких оштећења и подложности преграда оштећењима је неопходни елемент процене ризика од поплава у планинским пределима (dell' Agnese et al., 2013). Превентивне мере, где спада редовно одржавање свих изграђених објеката у кориту водотока, су најбољи вид заштите подручја које је угрожено ерозијом и бујицама. Мере санације и одржавања објеката се могу усмерити на објекте према приоритетима, тако да се обезбеди санирање најугроженијих објеката, који и сами постају опасност по животну средину и човека услед опасности од њиховог рушења. У раду dell'Agnes et al. (2013) анализирају физичка оштећења 362 преграде у Јужном Тиролу и додељују тежине елементима преграде. У овом раду су додељене тежине крилу, трупу, преливу и слапишту, у консултацији са експертом. Предложена је формула која се може користити за дефинисање приоритета, и која захтева да се дефинише степен обраслости заплава вегетацијом и степен физичких оштећења преграда (Поглавље 5.2.5.2).

Поред рангирања подсливова према степену угрожености ерозијом и бујичним поплавама и идентификације најугроженијих подсливова, потребно је донети одлуку о мерама које ће се примењивати.

Једна од најпримењиванијих мера је изградња попречних објеката у кориту бујичног тока, односно преграда. Osti, Egashira (2008) истичу значај и потребу за планирањем и пројектовањем преграда као система заштите од поплава у планинским сливовима. Аутори наводе значај избора локације за изградњу преграде, потребног растојања између ових објеката, висину и број преграда који варира у зависности од висине преграде и нагиба.

Примена метода вишекритеријумске анализе омогућава: избор бујичног слива где ће се преграде градити али и предузимати и други радови (биолошки и биотехнички); избор најбољег профила где ће се преграде градити; избор најбоље комбинације преграде у зависности од висине и броја објеката, као и чињенице да ли се граде у главом току и/или притокама.

Резултати рангирања бујичних сливова у сливу Топчидерске реке (Ковиона, Пречица, Сикијевац и Шутиловац), указују на највећу угроженост Пречице. Бујични слив Пречица је 1. приоритета применом све три методе

вишекритеријумске анализе, јер има најнижу цену изградње преграда, највећи степен угрожености пруга и саобраћајница од бујичних поплава, и најмањи предвиђени број преграда чија би изградња у најмањој мери утицала на животну средину.

Када је у питању изградња преграда на једној деоници тока (у ради је то деоница Гужваничког потока, притоке Луковске реке, слив Топлица), на основу расположивих профила, направљено је 5 различитих алтернатива (комбинација преграда). Ове алтернативе се разликују по висини објекта, избору профила, цени изградње, цени задржавања 1m^3 наноса и дужини заштићене деонице (дужини заплава). Као најприхватљивије решење је изабрана алтернатива која због карактеристика локације (ширине корита и пада корита) задржава највећу количину наноса при чему има најнижу цену 1m^3 задржаног наноса (Профил 1).

На примеру преграда у Гужваничком потоку, показано је да се приликом дефинисања алтернатива (комбинација преграда) у алтернативе могу укључити ограничења, а једно од најреалнијих су ограничења финансијских средстава. Према резултатима рангирања, алтернатива А4 је 1. приоритета јер омогућава задржавање највеће количине наноса ($1.645,85\text{ m}^3$), а притом је по цени одмах после најевтиније алтернативе А5. Алтернатива А5, иако је најевтинија није најповољнија јер задржава најмању количину наноса, штити најкраћу узводну деоницу и притом је цена 1 m^3 задржаног наноса већа него у случају алтернатива А1 и А4.

Примена метода вишекритеријумске анализе је извршена и на примеру Жуњске реке, притоке реке Расине, у циљу избора најбоље комбинације преграда (планираних у главном току и/или притокама Жуњске реке, различитог броја и корисне висине). Приликом одлучивања о избору локације за изградњу преграда значајан критеријум представља и приступачност места инспекцији и одржавању (Osti, Egashira, 2008). Овак критеријум је разматран код рангирања варијанти преграда у Жуњској реци и њеним притокама, где је означен као фактор утицаја локације, којем је у зависности од тога да ли је у питању главни ток или нека од притока, додељена квантитативна оцена 1, 2 или 3. Ова оцена представља меру погодности локације за изградњу, одржавање објекта, а тиме и однос трошкова припремних и претходних радова на изградњи преграда. Поред овог критеријума,

коришћени су и цена изградње преграде (као критеријум којем је дат највећи значај у спроведеним анализама), количина задржаног наноса, цена 1 m³ задржаног наноса, дужина заплава, који су одабрани због значаја који имају као и расположивости профила из пројеката рађених у организацијама које се баве заштитом од ерозије и бујица (ДВП "Западна Морава" Краљево и ДВ "Ерозија" Ниш).

Моделирање проблема одлучивања о најбољој комбинацији преграда је вршено са циљем одговара на питања: *Да ли преграде градити у главном току, само у притокама, или и у главном току и притокама?; Да ли бирати већи број нижих објеката, или обрнуто, мањи број објеката веће корисне висине?* Добијени резултати потврђују одлуке из праксе, а то је градња мањег броја преграда веће корисне висине. Наравно, ово решење је најприхватљивије, уколико је функција преграде депонијска, тј. задржавање што веће количине наноса. Проблем се може поставити и као рангирање свих потенцијаних профила за изградњу преграда, који би се бирали и са аспекта задржавања наноса, али и стабилизације речног корита. Профили који су бирани у раду, део су расположивих пројеката и сви представљају стабилне локације, па овај критеријум у раду није ни разматран.

Доказана је применљивост метода вишекритеријумске анализе коришћењем малог броја критеријума и алтернатива. Оправданост примене метода је још већа уколико се у обзир узима већи број алтернатива (већи број сливова или већи број профила за изградњу преграда), а нарочито уколико се штити значајно подручје где је потребно укључити више стејкхолдера, који имају различите циљеве и који другачије вреднују критеријуме.

Једна од мера која у великој мери редукује ерозију, па и опасност од бујичних поплава је промена структуре начина коришћења земљишта у сливу (Sadeghi et al., 2009; García-Ruiz et al., 2008; Ristić et al., 2011b; Ristić et al., 2013). Оптимизација начина коришћења земљишта применом математичког програмирања је анализана од стране бројних аутора (Nikkami, 1999, Wang, et al., 2004; Sadeghi et al., 2009; Gao et al., 2010). У раду Sadeghi et al. (2009) врше оптимизацију начина коришћења земљишта где дефинишу две функције циља, од којих се једна односи на ерозију земљишта, а једна на корист у економском смислу. Аутори показују како промена начина коришћења земљишта утиче на

вредност функције циља – минимизацију ерозије. Nikkami (1999) као функцију циља дефинише минимизацију проноса наноса где трошкови које узрокује ерозија на различитим начинима коришћења представљају један од ограничавајућих фактора. Поред радова где аутори примењују вишециљно линеарно програмирање за оптимизацију начина коришћења земљишта, све више се примењују еволуционе методе (посебно генетски алгоритам, енг. Genetic Algorithm – GA).

У ово раду, процењени су средњи годишњи губици земљишта на различитим начинима коришћења у сливу Топчидерске реке, и на основу овога као и погодности земљишта за успостављање одређеног начина коришћења према нагибу и вредностима губитака земљишта, дефинисане су алтернативе – предузимање конзервационих мера. Дат је предлог пренамене коришћења ораничних површина, које су према улазним подацима, пре свега карти начина коришћења добијене применом CORINE, предвиђене за пренамену у травњак (нагиби преко 6°, губици преко 20 t·ha⁻¹·god⁻¹) или шуму (нагиби преко 6°, губици преко 20 t·ha⁻¹·god⁻¹, локација уз саобраћајнице).

Оптимизација начина коришћења је извршена применом метода математичког програмирања, при чему је као циљ дефинисана а) минимизација ерозије, б) фаворизовање тренда начина коришћења земљишта који подржава пољопривредну производњу, и ц) да се задовоље оба наведена циља. У случају решавања само проблема ерозије земљишта, у односу на тренутно стање коришћења земљишта (подаци из 2012. године), површина под шумом се повећава са 28,81% на 42,58%, док се површина под пољопривредним начином коришћења смањује са 63,93% на 49,98%. Уколико је циљ задовољити потребе локалног становништва које се бави пољопривредом, површина под пољопривредним површинама се смањује за непун 1%, тј. на 63,96% (због конвертовања у шуму непосредно уз саобраћајницу).

За постизање оба циља истовремено, као оптимално решење се добија заступљеност шума од 42,58% и пољопривредних површина од 50,01%, док остатак од 7,43% одлази на урбане површине. Уколико се узме у обир чињеница да су ерозиони процеси најзаступљенији на пољопривредним површинама, редукција ових површина или примена мера, довела би до смањења губитака земљишта. Shi et al. (2012) показују да се оптимизацијом начина коришћења

земљишта, као кључног фактора за редукцију ерозије, нарочито на већим нагибима, просечни губици земљишта смањују за 21,1% . У овом раду, показано је да се губици земљишта у подсливу Т8 у Топчидерској реци могу смањити за 32%. Уколико се поред промене начина коришћења земљишта примене и адекватне додатне конзервационе мере, могло би се очекивати много значајније смањење губитака земљишта. Kostadinov, Stanojević (2000) указују на значај примене конзервационих мера на већим нагибима, које редукцијом нагиба (поделом у сегменте), редукују и протицај воде и губитке земљишта. Todosijević et al. (2014) показују да се на подручју које се налази у планинском региону Србије применом контурне садње губици земљишта редукују и до 20 пута.

У случају располагања са детаљнијим подлогама, које као начин коришћења препознају и деградирани шуме, могуће је на таквим локалитетима предвидети ревитализацију шума подизањем нових шума што би обезбедило адекватну заштиту од ерозије, дало одговарајући прираст и др.

На примеру слива река Топлице и Расине је показано како се може доћи до оптималних решења заштите подручја угроженог ерозијом применом конзервационе мере – изградњом тераса. Примењена је метода компромиса, где је минимизација ерозије земљишта изградњом тераса дефинисана као примарна функција циља, односно, минимизација трошкова као секундарна функција циља. Применом методе тежинских коефицијената анализиран је резултат услед оптимизације више различитих циљева, односно сагледавањем интегралног утицаја надморске висине, губитака земљишта, близине саобраћајница и величине површина погодних за подизање тераса. Ограничења се у оба случаја односе на: површине погодне за терасирање и минималну површину која се жели заштитити. У ограничења могу бити укључени и трошкови (уколико се не разматрају у функцији циља). За спровођење оптимизације потребно је дефинисати погодне локације за примену мера, а као резултат се добија оптимална површина (у ha или %) за подизање тераса. Kaini et al. (2012) врше минимизацију трошкова изградње тераса као и других конзервационих радова у сливу који треба да задовоље дефинисани ниво редукције наноса и нутријената, применом еволуцијске оптимизационе методе – генетског алгорита.

Пре спровођења анализе која има за циљ утврђивање оптималне заступљености тераса, могуће је применом метода вишекритеријумске анализе идентификовати најпогодније локације за њихову изградњу. Krois, Schulte (2014) утврђују потенцијална места за изградњу тераса користећи као критеријуме нагиб, начин коришћења земљишта, текстурне карактеристике земљишта, дубину земљишта и падавине. У овом раду није вршена ова анализа, али је приоритет површина према подобности за изградњу тераса представљен у виду тежина које су одређене применом АНР методе¹⁰. На тај начин је и у један нормативан приступ одлучивању интегрисан дескриптивни приступ, који са собом носи одређен степен субјективности.

У раду је показана примена метода АНР, WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II, које имају своје предности и недостатке. Оно што је предност АНР методе, а уједно ограничење осталих примењених метода је могућност структурирања проблема одлучивања као и расположивост једног од најтранспарентнијих и најпоузданијих научних метода за одређивање тежина критеријума (поређење у паровима) која захтева од доносиоца одлука да разматра све елементе проблема одлучивања (Најкowiсz et al., 2000). Поред тога, предности АНР методе су њена једноставност и применљивост за решавање великог броја реалних проблема, могућност коришћења и квантитативних и квалитативних критеријума (типа максимизације и/или минимизације), логички и структурни приступ одлучивању који не занемарује интуицију и људска осећања, флексибилност по питању проширења елемената хијерархије, могућност измене расуђивања ДО, анализа осетљивости резултата и др. (Forman, 1993; Saaty, 2012).

Један од недостатака ове методе је велики број поређења у паровима $(n \cdot (n-1)/2)$, нарочито код проблема одлучивања са великим бројем критеријума и алтернатива, због чега у овом раду АНР није коришћена за рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом земљишта и опасности од бујичних поплава, већ је примењена само код планирања изградње тераса.

Предности WSM методе су једноставност, могућност конзистенције, добре перформансе у поређењу и са компликованијим методама, увид у разлике између

¹⁰ где је при планирању изградње тераса на стварним локалитетима, потребно сагледати поред нагиба и додатне параметре попут дубине земљишта, која такође може бити ограничавајући фактор изградње тераса, или је може значајно поскупети.

алтернатива (за разлику од ELECTRE). На резултате до којих се долази спровођењем ове методе утицај може имати нормализација почетне матрице одлучивања. У овом раду је изабрана макс-мин нормализација, али је на располагању већи број различитих приступа нормализацији улазних параметара.

Предности методе PROMETHEE су: могућности компензације, једноставност (у поређењу са на пример ELECTRE која је доста компликованија), могућност укључења ограничења у процес одлучивања, могућност промене параметара и сензитивне анализе, стабилност резултата, расположивост софтвера, могућност групног одлучивања; док су недостаци: непостојање водича за одређивање тежина, потешкоће у одређивању функције преференција (Gervasio, da Silva, 2012; Moradpour et al., 2011). Промена ранга је такође могућа код примене ове методе.

ELECTRE метода, једина од коришћених метода није компензациона и заснива се на анализи сагласности. Предност ове методе је узимање у обзир неизвесности, могућност коришћења квалитативних и квантитативних критеријума, већа поузданост у односу на друге методе које зависе од преференција доносиоца одлука. Недостаци су сложеност примене због великог броја корака, недостатак софтвера за ELECTRE II. Осим тога, ранг алтернатива може бити изједначен, не постоје информације о разлици вредности алтернатива, може доћи и до промене ранга (Velasquez, Hester, 2013).

7. ЗАКЉУЧАК

Методе вишекритеријумског одлучивања су нашле своју примену у дисциплинама блиским заштити животне средине, али у области заштите од деградације земљишта ерозијом и бујичних поплава код нас готово да нису ни примењиване. У свету се ове методе примењују неколико деценија за идентификацију најугроженијих површина и примену радова и мера заштите, како у области управљања водама тако и у области заштите од ерозије.

Једне од најчешће коришћених метода вишекритеријумске анализе су АНП, WSM, PROMETHEE и ELECTRE, које су примењене и у овом раду. На основу анализе литературе, може се закључити да су до сада у области заштите од ерозије и бујица у светској литератури, од метода вишекритеријумске анализе, највише примењиване АНП (један од разлога је и интеграција са GIS-ом) и PROMETHEE метода. Најмање је примењивана ELECTRE метода, због своје сложености.

Оправданост примене ових метода је у чињеници да су проблеми са којима се суочава наука и пракса заштите од бујица и ерозије изазов који често нема једно решење већ више алтернатива од којих треба изабрати најприхватљивију, разматрајући више критеријума, који могу бити економске природе, технички и социјални (друштвени). Што су проблеми сложенији (више критеријума, више алтернатива, више циљева и/или више заинтересованих страна), потреба за применом метода вишекритеријумског одлучивања је већа.

Најважнији закључци до којих се дошло у раду су:

- Сви подсливови који су издвојени у оквиру једног сливног подручја нису у подједнакој мери угрожени ерозијом земљишта, на основу критеријума RUSLE методе, и стога немају исти приоритет заштите, који се може утврдити применом метода вишекритеријумске анализе.
- У оквиру издвојених подсливова одређене су локације које представљају жаришта ерозије, тзв. „hot spot“ површине које се карактеришу максималним губицима земљишта и чија је идентификација неопходна у циљу предузимања неопходних мера и радова.
- Подсливови одређеног сливног подручја су у различитом степену осетљиви на опасност од бујичних поплава, која се процењује анализом

морфометријских параметара, од којих су неки по први пут код нас разматрани (текстурна стопа, бифуркациона стопа). Рангирање подсливова помоћу наведених критеријума, применом метода вишекритеријумске анализе, омогућава доношење одлуке о избору подслива чија је заштита од бујичних поплава приоритетна.

- Анализа осетљивости резултата рангирања је неопходна да би се проверила робусност метода, што се може постићи применом различитих приступа одређивања тежина критеријума (субјективни, објективни или комбиновани), као и елиминацијом критеријума или алтернатива.
- Методе вишекритеријумске анализе, примењене за рангирање подсливова према степену угрожености од ерозије или опасности од бујичних поплава, имају висок коефицијент корелације ранга, а највеће сличности резултата су показале WSM и PROMETHEE II.
- Оптимизација начина коришћења земљишта у сливу врши се у зависности од циља који се жели постићи: 1) заштита од ерозије (минимизација губитака), 2) задовољење потреба становништва које се бави пољопривредном производњом, 3) истовремено постизање оба наведена циља. При оптимизацији потребно је дефинисати све релевантне доносиоце одлука, који условљавају број циљева као и тип циља. Анализа спроведена на овај начин није до сада вршена код нас, а може да има практичну примену у процесу планирања и одлучивања о промени структуре начина коришћења земљишта,
- Подизање тераса у сливу, је конзервациона мера која у зависности од постављеног циља и ограничења (погодне површине за терасирање, економичност и др.) може представљати оптимално решење заштите подручја. Ова анализа такође може наћи практичну примену, уз одређене допуне ограничења, и уколико је неопходно и допуну дефинисаних циљева.
- Применом предложених модела одлучивања за изградњу преграда као техничких објеката у кориту бујичних водотока омогућава се економично и ефикасно планирање изградње ових објеката. По први пут

код нас, вишекритеријумска анализа је коришћена као алат за: доношење одлуке о најпогоднијем профилу за изградњу бујичних преграда, избор подслива за изградњу преграда, и избор комбинације преграда која у највећем степену задовољава задате критеријуме (количина задржаног наноса, трошкови изградње и др). Од посебног значаја би у пракси било спровођење ове анализе у случају постојања великог броја погодних профила за изградњу преграда, од којих је потребно изабрати најприхватљивије.

- Примена методе вишекритеријумске анализе је значајна не само за планирање изградње нових објеката, већ и за дефинисање приоритета санације већ изграђених преграда. Предложена формула за приоритизацију санације преграда, може допринети ефикаснијој превенцији од бујичних поплава.
- Избор најприхватљивије комбинације мера и радова за редукцију/превенцију ерозије и бујица је могућ применом метода вишекритеријумске анализе које се заснивају на моделу интегралног уређења слива. Ова анализа подразумева евалуацију свих опција заштите које би могле бити примењене, разматрајући техничке, економске и друштвене критеријуме.
- У раду су први пут примењене методе вишекритеријумског одлучивања у области заштите од ерозије и бујичних поплава за: рангирање подсливова према степену угрожености од ерозије, рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава, доношење одлука о изградњи преграда за заштиту од бујичних поплава, избор оптималне структуре начина коришћења земљишта и оптималне заступљености конзервационих мера (тераса). Истраживањима у оквиру овог рада потврђена је оправданост примене метода вишекритеријумског одлучивања у овој области.
- На доносиоцу одлука је да се определи коју ће методу вишекритеријумске анализе применити, с обзиром на обим података са којим располаже, доступност софтвера, као и личне преференције,

пошто овај приступ не прати строга правила и норме и не елиминише субјективност.

Узимајући у обзир наведено, може се закључити да су постигнути дефинисани циљеви истраживања, да је разматрана проблематика актуелна, и применљива на решавање реалних проблема у области заштите од ерозије и бујица. Научни допринос представља моделирање проблема одлучивања о избору површина које се штите, односно моделирање проблема одлучивања о радовима који се примењују, што подразумева истовремену евалуацију свих могућих решења заштите слива или локација у сливу (алтернативе) по питању различитих критеријума. Наведени модели могу наћи своју примену у пракси заштите од ерозије и бујичних поплава, као подршка доносиоцима одлука за рационално и економично усмерење људских и финансијских ресурса на површине које се штите, односно избор најприхватљивијих мера и радова које ће задовољити све критеријуме, односно циљеве заинтересованих страна.

Будућа истраживања ће се односити на разраду интегралног приступа заштите подручја, као и на даљу проверу сензитивности резултата добијених применом метода вишекритеријумске анализе, где се пре свега мисли на коришћење метода нормализације, метода за одређивање тежина критеријума, као и метода рангирања које овде нису примењене, а могу се користити за доношење одлука у области заштите од ерозије и бујица. Један од циљева је и примена метода вишекритеријумске анализе у интеграцији са GIS-ом, који омогућава просторни приказ информација и визуализацију проблема одлучивања.

8. ЛИТЕРАТУРА

(*1) http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter2_scale.pdf

(*2) Студија интегралног уређења слива Топчидерске реке у функцији одрживог управљања природним ресурсима - Прва фаза: Документациона основа, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд (2008).

(*3) Идејни пројекат антиерозионе заштите у сливу Топчидерске реке-Ковионски, Шутиловачки, Пречица, Сикијевац-, Јавно водопривредно предузеће "Србијаводе", Водопривредни центар "Сава Дунав", Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд (2007).

(*4) Главни пројекат уређивања корита бујица "Жуњска река". Здружено опште Водопривредно предузеће "Морава" - Београд, Водопривредна Организација "Ерозија" - Краљево (1969).

1. Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M., Marino, M.A. (2005): Case study: Application of Multicriteria Decision Making to Urban Water Supply. *Journal of Water Resources Planning and Management* 131 (14), 326–335.

2. Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., Saleem, T. (2016): Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments* 133, 54–72.

3. Agarski, B., Budak, I., Vukelic, Dj., Hodolic, J. (2016): Fuzzy multi-criteria based impact category weighting in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 112 (4), 3256–3266.

4. Aher, P.D., Adinarayana, J., Gorantiwar, S.D. (2014): Quantification of morphometric characteristics and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology* 511, 850–860.

5. Ahmadisharaf, E., Tajrishi, M., Alamdari, N. (2015): Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. *Journal of Environmental Planning and Management* 59 (8), 1397–1417.

6. Akpınar, N., Talay, I., Gun, S. (2004): Priority setting in agricultural land-use types for sustainable development. *Renewable Agriculture and Food Systems* 20

(3), 136–147.

7. Alnález, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, Castroviejo, J. (2015): Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena* 128, 122–134.

8. Al-Rowaily, S.L., El-Bana, M.I., Al-Dujain, F.A. (2012): Changes in vegetation composition and diversity in relation to morphometry, soil and grazing on a hyper-arid watershed in the central Saudi Arabia. *Catena* 97, 41–49.

9. Alvarez-Guerra, M., Viguri, J.R., Voulvoulis, N. (2009): A-multi criteria-based methodology for site prioritization in sediment management. *Environment International* 35 (6), 920–930.

10. Baron, J. (2012): The point of normative models in judgment and decision making. *Frontiers in Psychology* 3, 1–3.

11. Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M. (2010): PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research* 200 (1), 198-215.

12. Belanović, S., Beloica, J., Perovic, V., Alnaass, N., Knežević, M., Kadovic, R. (2012): Current state and treats of the soil resources in the catchment of the Rasina above the "Celije" water reservoir. International Conference on Land conservation - LANDCONE 1209: Sustainable Land management and Climate Changes, September 17–21, 2012, Danube region, Republic of Serbia, 28–28.

13. Belanović, S., Perović, V., Vidojevic, D., Kostadinov, S., Knežević, M., Kadović, R., Košanin, O. (2013): Assessment of soil erosion intensity in Kolubara district, Serbia. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22 (5a), 1556–1563.

14. Belton, V., Stewart, T.J. (2002): *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.

15. Biswas, S., Sudhakar, S., Desai, V.R. (1999): Prioritization of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: A Remote Sensing and GIS approach. *Journal of Indian Society of Remote Sensing* 27 (3), 155–166.

16. Borrelli, P., Märker, M., Panagos, P., Schütt, B. (2014): Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Appenines, Italy. *Catena* 114, 45–58.

17. Bottero M., Comino E., Riggio V. (2011): Application of Analytic Hierarchy

Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environmental Modelling and Software* 26, 1211–1224.

18. Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukiàs, A., Vincke, P. (2006): *Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria: Stepping stones for the analysis*. International Series in Operations Research and Management Science 86, Springer, Boston.

19. Brandon, P., Lombardi, P. (2011): *Evaluating sustainable development in the Built Environment*, 2nd ed., Wiley-Blackwell.

20. Brans, J.P., Mareschal, B. (2005): *PROMETHEE Methods*. In: J.R. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Survey* Springer, Boston, p. 163–196.

21. Brans, J.P., Vincke, Ph. (1985): *A Preference Ranking Organisation: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)*. *Management Science* 31 (6), 647–656.

22. Carladous, S., Tacnet, J.-M., Batton-Hubert, M. (2016a): *Protection structure against natural hazards from failure analysis to effectiveness assessment*. In: *Proceedings of the 13th INTERPRAEVENT Conference*, 735–743. Lucerne (Switzerland): Federal Office for the Environment FOEN.

23. Carladous, S., Tacnet, J.-M., Dezert, J., Han, D., Batton-Hubert, M. (2016b): *Evaluation of Efficiency of Torrential Protective Structures with New BF-TOPSIS Methods*. 19th International Conference on Fusion (Fusion 2016), Jul 2016, Heidelberg, Germany, IEEE, 2016, pp. 2267–2274.

24. Carladous, S., Tacnet, J.-M., Dezert, J., Han, D., Batton-Hubert, M. (2016c): *Applying ER-MCDA and BF-TOPSIS to Decide on Effectiveness of Torrent Protection*. 4th International Conference, BELIEF 2016, Sep 2016, Prague, Czech Republic. Springer International Publishing, *Belief Functions: Theory and Applications*, Volume 9861, pp 56-65, 2016, Lecture Notes in Computer Science.

25. Castillo, V.M., Mosch, W.M., García, C.C., Barberá, G.G., Cano, J.A.N., López-Bermúdez, F. (2007): *Effectiveness and geomorphological impacts of check dam for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain)*. *Catena* 70, 416–427.

26. Cerdan, O., Govers, G., Bissonais, L., Oost, K.V., Poesen, J. et al. (2010): Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology* 122 (1-2), 167–177.
27. Chakhar, S., Martel, J.M. (2006): Towards a Spatial Decision Support System: Multi-Criteria Evaluation Functions Inside Geographical Information Systems. *Annales du Lamsade* 2, 97–123.
28. Chicas, S.D., Omine, K., Ford, J.B. (2016): Identifying erosion hotspots and assessing communities' perspectives on the drivers, underlying causes and impacts of soil erosion in Toledo's Rio Grande Watershed: Belize. *Applied Geography* 68, 57–67.
29. Chitsaz, N., Banihabib M.E. (2015): Comparison of Different Multi Criteria Decision-Making Models in Prioritizing Flood Management Alternatives. *Water Resources Management* 29 (8), 2503–2525.
30. Chowdhury, R.K., Rahman, R. (2008): Multi criteria decision analysis in water resource management: the *malnichara* channel improvement. *International Journal of Environmental Science and Technology* 5 (2), 195–204.
31. Cinelli, M., Coles, S.R., Kirwan, K. (2014): Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators* 46, 138–148.
32. Corrente, S., Greco, S., Slowiński, R. (2013): Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE. *Omega* 41 (5), 820–846.
33. Crnković, D.M., Antanasijević, Pocajt, V., Perić-Grujić, A.A., Antonović, D., Ristić, M.Đ. (2016): Unsupervised classification and multi-criteria decision analysis as chemometric tool for the assessment of the sediment quality: A case study of the Danube and Sava River. *Catena* 144, 11–22.
34. De Britto, M.M, Evers, M. (2016): Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16, 1019–1033.
35. Deakin, M, Mitchell, G., Nijkamp, P., Vreeker, R. (2007): Sustainable urban development: Volume 2: The Environmental Assessment Methods, Routledge, Taylor and Francis.
36. Dell'Agnes, A., Mazzorana, B., Comiti, F., Von Maravic, P., D'Agostino, V.

- (2013): Assessing the physical vulnerability of check dams through an empirical damage index. *Journal of Agricultural Engineering* 44 (1), 9–16.
37. Desmet, P.J.J., Govers, G. (1996): A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (5), 427– 433.
38. Diodato, N., Fagnano, M., Alberico, I. (2011): Geospatial and visual modeling for exploring sediment source areas across the Sele river landscape, Italy. *Italian Journal of Agronomy* 6, 85–92.
39. Doumpos, M., Zopounidis, C. (2002): *Muticriteria Decision Aid Classification Methods*, Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
40. Doumpos, M., Zopounidis, C. (2004): A multicriteria classification approach based on pairwise pomaparisons. *European Journal of Operational Research* 158 (2), 378–389.
41. Draginicic, J., Korac, N., Blagojevic, B. (2015): Group multi-criteria decision making (GMCDM) approach for selecting the most suitable grape variety intended for organic viticulture. *Computers and Electronics Agriculture* 111, 194–202.
42. Dragovic, N., Vulevic T. (2015): Wahl des besten Angebots zur projektplanung im bereich der wasserwirtschaft mittels der AHP-Methode, *Bauingenieur* 90 (09), 420–426.
43. Drechsler, M. (2010): *Multi-Criteria Analysis for Policy Evaluation*, In: K. Bizer, S. Lechner., M. Führ (Eds.), *The European Impact assessment and the Environment*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-11670-4.
44. Duckstein, L., Gershon, M. (1983): Multi criterion analysis of a vegetation management problem using ELECTRE II. *Applied Mathematical Modelling* 7 (4), 254–261.
45. Ehrgott, M., Figueira, J.R., Greco, S. (2005): *Multiple criteria decision analysis: State of the Art Surveys*, Springer, Boston.
46. Ehrgott, M., Figueira, J.R., Greco, S. (2010): *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. *International Series in Operations Research and Management Science*, Springer, New York.
47. EURO. *The Association of European Operatioanl Research Societies*.

Thirtieth Anniversary 1975-2005. Available at: http://www.euro-online.org/media_site/branding_or/Abstract_12.pdf

48. European Commission (2006): Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection. Technical Report. Commission of the European Communities.

49. Favis-Martolock, D.T. (1996): The GCTE validation of soil erosion models for global change studies. *Journal of Soil and Water Conservation* 51 (5), 397–403.

50. Fernández, C., Vega, J.A. (2016): Evaluation of RUSLE and PESERA models for predicting soil erosion losses in the first year after wildfire in NW Spain. *Geoderma* 273, 64–72.

51. Figueira, J.R., Mousseau, V., Roy, B. (2005): ELECTRE Methods. In: Figueira, J.R., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Survey*, Springer, Boston.

52. Forman, E.H. (1990): Multi Criteria Decision Making and the Analytic Hierarchy Process. In: Bana e Costa, A. Carlos (Eds.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer, Berlin, p. 295–318. Available at: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-75935-2_13#page-1

53. Forman, E.H. (1993): Facts and fictions about the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling* 17 (4/5), 19–26.

54. Forman, H.E., Gass, S.I. (2001): The Analytic Hierarchy Process – An Exposition, *Operations Research* 49 (4), 469-486.

55. Foster, G.R., McCool, D.K., Renard, K.G., Moldenhauer, W.C. (1981): Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation* 36 (6), 355–359.

56. Franek, J., Kresta, A. (2014): Judgement scale and consistency measure in AHP. *Procedia Economics and Finance* 12, 164–173.

57. Ganasri, B.P., Ramesh, H. (2016): Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers* 7, 953–961.

58. Gao, Q., Kang, M., Hu, H., Jiang, Y., Yang, J. (2010): Optimization of land use structure and spatial pattern for the semi-arid loess hilly-gully region in China. *Catena* 81 (3), 196–202.
59. García-Ruiz, J.M., Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., Nadal-Romero, E., Navas, A., Latron, J., Martí-Bono, C., Arnáez, J. (2008): Flood generation and sediment transport in experimental catchment affected by land use changes in the central Pyrenees. *Journal of Hydrology* 356, 245–260.
60. Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Časopis Izgradnja, Specijalno izdanje, Beograd.
61. Gelagay, H.S., Minale, A.S. (2016): Soil loss estimation using GIS and Remote Sensing techniques: A case study of Koga watershed, Northwestern Ethiopia, *International Soil and Water Conservation Research* 4, 126–136.
62. Gelderman, J., Rentz, O. (2007): Multi criteria Decision Support for Integrated Techniques Assessment, In: J. Kropp, J. Scheffran (Eds.), *Advanced methods for decision making and risk management in sustainability science*, Nova New York, p.257–273.
63. Götze, U., Northcott, D., Schuster, P. (2008): *Investment Appraisal: Methods and Models*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-540-39969-8.
64. Grau, J.B., Anton, J., Cisneros, J.M., Cantero, A. (2010): Territorial planning in a river basin with high erosion level using multicriteria decision methods in Cordoba Province (Argentina). *Proceedings of Conference World Automation Congress (WAC)*, p. 1–6, 19-23 September 2010, Kobe, Japan.
65. Grimm, M., Jones, R.J.A., Rusco, E., Montanarella, L. (2003): Soil erosion risk in Italy: a revised USLE approach. *European Soil Bureau Research Report No. 11*, EUR 20677 EN, (2002), 28pp. Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburg.
66. Guitouni, A., Martel, J.M. (1998): Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research* 109, 501–521.

67. Hajkowicz S., Higgins A.J. (2008): A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research* 184 (1), 255-265
68. Hajkowicz, S., A., McDonald, G.T., Smith, P., N. (2000): An Evaluation of Multiple Objective Decision Support Weighting Techniques in Natural Resource Management, *Journal of Environmental Planning and Management* 43 (3), 505–518.
69. Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Poesen, J., Tsubo, M., Mashasha, D.T., Fenta, A.A., Nyssen, J., Adgo, E. (2017): Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: A case study of the Upper Blue Nile River. *Science of the Total Environment* 574, 95–108.
70. Hassanli, A.M., Nameghi, A.E., Beecham, S. (2009): Evaluation of the effect of porous check dam location on fine sediment retention (a case study). *Environmental Monitoring and Assessment* 152 (1–4), 319–326.
71. Heede, B.H., Mufich, J.G. (1973): Functional relationships and a computer program for structural gully control. *Journal of Environmental Management* 1, 321–344.
72. Herath, G., Prato, T. (2006): Role of Multi-Criteria Decision Making in Natural Resource Management. In: G. Herath, and T. Prato (Eds.), *Using Multi-Criteria Decision Analysis in Natural Resource Management*, Ashgate Publishing, Hampshire, p. 1–10.
73. Howard, R. A. (2007): The Foundation of the Decision Analysis Revisited, In: W. Edwards, R.F. Miles, Jr., D. von Winterfeldt, (Eds.), *Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications*, Cambridge, UK, Cambridge University Press, p.32–57.
74. Huang, I.B., Keisler, J., Linkov J. (2011): Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of application and trends. *Science of the Total Environment* 409 (19), 3578–3594.
75. Hutchel, A., Molet, H. (1986): Rational modelling in understanding and aiding human decision-making: About two case studies. *European Journal of Operational Research* 24 (1), 178-186.
76. Hwang, C.L., Yoon, K. (1981): *Multiple Attribute Decision Making Methods and Application*, Springer-Verlag, New York.

77. Hassanli, A.M., Beecham S. (2010): Criteria for Optimizing Check Dam Location and Maintenance Requirements, In: C.C. Garcia, M.A. Lenzi (Eds.), Check Dams Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams, Nova Science Publishers, Inc. New York, p.11–32.
78. Jahan, A., Edwards, K.L. (2013): Weighting of depended and target – based criteria for optimal decision-making in materials selection process: biomedical applications. *Materials and Design* 49, 1000–1008.
79. Jankowski, P. (1995): Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems* 9 (3), 251–273.
80. Jaswail, R.K., Ghosh, N.C., Galkate, R.V., Thomas, T. (2015): Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) for watershed Prioritization. *Aquatic Procedia* 4, 1553–1560.
81. Jetten, V., de Roo, A., Favis-Martlock, D. (1999): Evaluation of fieldscale and catchment scale soil erosion models. *Catena* 37, 521–541.
82. Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Ehrhard, M., Hervás, J., Hiederer, R., Jefferey, S., Lükewille, A., Marmo, L., Montarella, L., Olazábal, C., Petersn, J., Penizek, V., Strassburger, T., Tóth, G., van den Eeckhaut, M., van Liedekerke, M., Verheijen, F., Viestova, E., Yiginy, Y. (2012): The state of soil in Europe. JRC Reference Reports. Technical Report. European Commission. Available at: http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_2012_02_soil.pdf
83. Kadović, R. (1999): Protiverozioni agroekosistemi, Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
84. Kadovic, R., Belanovic, S., Kostadinov, S., Beloica, J., Todosijevic, M. (2012): The influence of soil organic carbon on soil erodibility of forest soils in the Catchment of the Rasina. International Conference on Land conservation - LANDCONE 1209: Sustainable Land management and Climate Changes, September 17–21, 2012, Danube region, Republic of Serbia, p. 48–48.
85. Kaini, P., Artita. K., Nicklow, J.W. (2012): Optimizing structural Best Management Practices Using SWAT and Genetic Algorithm to Improve Water Quality Goals. *Water Resources Management* 26 (7), 1827–1845.

86. Kangas, J. (1994): An approach to public participation in strategic forest management planning. *Forest Ecology and Management* 70, 75–88.
87. Kar, G. Kumar, A., Singh, R. (2009): Spatial distribution of soil hydro-physical properties and morphometric analysis of a rained watershed as a tool for sustainable land use planning. *Agricultural Water Management* 96, 1449–1459.
88. Karwowski, W. (2006): *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, Volume 3, Second Edition, Taylor & Francis Group.
89. Kostadinov, S. (1996): *Bujični tokovi i erozija*, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
90. Kostadinov, S. (2010): Traditional Uses of Check Dams along History: From Classical to Functional Check Dams. In: *Global Change- Challenges for soil management*. *Advances in Geology* 41, Catena, Verlag.
91. Kostadinov, S., Dragović, N., Zlatić, M., Todosijević, M. (2008): Uticaj protiverozionih radova u slivu reke Toplice uzvodno od brane “Selova” na intenzitet erozije zemljišta. *Vodoprivreda* 40, 115-126.
92. Kostadinov, S., Dragović, N., Zlatić, M., Todosijević, M. (2011): Natural effects of classical check dams in the torrents of the river Toplica drainage basin. *Fresenius Environmental Bulletin* 20 (5), 1102-1108.
93. Kostadinov, S., Milčanović, V., Dragičević, S., Milovanović, I., Novković, I. (2010): Effects of erosion control works on the state of erosion and sediment transport in the Žunjska Reka Catchment upstream of the Storage “Ćelije”. *First Serbian Forestry Congress Future with Forests* -, 11-13 November 2010, Belgrade, Republic of Serbia, 190–190.
94. Kostadinov, S., Stanojević, G. (2000): Design of technical erosion control measures for the reconstruction of degraded steep lands. In: M.J. Haigh (Ed.), *Reclaimed Land: Erosion Control, Soils and Ecology*. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
95. Kostadinov, S., Zlatić, M., Dragičević, S., Novković, I., Košanin, O., Borisavljević, A., Lakićević, M., Mlađan, D. (2014): Antropogenic Influence on Erosion Intensity Changes in Rasina River Watershed Area upstream of “Ćelije” Water Reservoir – Central Serbia. *Frasenius Environmental Bulletin* 23 (1a), 254–263.

96. Kostadinov, S., Zlatić, M., Dragović, N., Gavrilović, Z. (2006): Soil erosion in Serbia and Montenegro. In: J. Boardman, J. Poesen, (Eds.), *Soil Erosion in Europe*, John Wiley & Sons, Ltd., London, p. 271–279.
97. Krois, J., Schulte, A. (2014): GIS-based multi criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Applied Geography* 51, 131–142.
98. Laflen, J.M., Flanagan, D.C. (2013): The development of U.S. soil erosion prediction and modeling. *International Soil and Water Conservation Research* 1 (2), 1–11.
99. Lakicevic, M., Srdjevic, Z., Srdjevic, B., Zlatic, M. (2014): Decision making in urban forestry by using approval voting and multicriteria approval method (case study: Zvezdarska forest, Belgrade, Serbia). *Urban Forestry & Urban Greening* 13, 114–120.
100. Liébault, F., Clément, P., Piégay, H., Rogers, C.F., Kondolf, G.M., Landon, N. (2002): Contemporary channel changes in the Eygues basin, southern French Prealps: the relationship of subbasins variability to watershed characteristics, *Geomorphology* 45, 53–66.
101. Lin, Y. (2013): A comparison study on Natural and Head/tail Breaks Involving Digital Elevation Models. Faculty of Engineering and Sustainable Development, Bachelor Thesis. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:658963/FULLTEXT02.pdf>
102. Linkov, I., Moberg, E. (2012): *Multi-criteria decision analysis: Environmental Applications and Case Studies*, CRC Press, Boca Raton.
103. Lootsma, F.A. (1999): *Multi-Criteria Decision Analysis Via Ratio and Difference Judgement*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
104. Macary, F., Ombredane, D., Uny, D. (2010): A multicriteria spatial analysis of erosion risk into small watersheds in the low Normandy bocage (France) by ELECTRE III method coupled with a GIS. *International Journal of Multicriteria Decision Making* 1 (1), 25–48.
105. Makowski, M. (2001): *Multi-objective Decision Support Including Sensitivity Analysis*. Available at: http://www.iiasa.ac.at/~marek/ftppub/MM/eolss_mcma.pdf

106. Malczewski, J. (1999): GIS and Multi-Criteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York
107. Manap, N., Voulvoulis, N. (2014): Risk based decision making framework for the selection of sediment dredging option. *Science of the Total Environment* 496, 607–623.
108. Markovic, M. (2012): Multi criteria Analysis of Hydraulic Structures for River Training Work. *Water Resource Management* 26 (13), 3893–3906.
109. Marković, M. (2013): Utvrđivanje kriterijuma za izbor rešenja regulisanja rečnih tokova. Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-ArHITEKTONSKI fakultet, Niš.
110. Mendoza, G.A., Martins, H. (2006): Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230, 1–22.
111. Merritt, W.S., Letcher, R.A., Jakeman, A.J. (2003): A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software* 18 (8-9), 761–799.
112. Meshram, S.G., Sharma, S.K. (2015): Prioritization of watershed through morphometric parameters a PCA-based approach. *Applied Water Science* 5 (1), 89–96.
113. Millet, I., Saaty, T.L. (2000): On the relativity of relative measures – accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP. *European Journal of Operational Research* 121, 205–212.
114. Moradpour, S., Ebrahimnejad, S., Mehdizadeh, E., Mohamadi, A. (2011): Using Hybrid Fuzzy PROMETHEE II and Fuzzy Binary Goal Programming for Risk Ranking: A case study of Highway Construction Projects. *Journal of Optimization in Industrial Engineering* 4 (9), 47–55.
115. Morrow, J., Hitt, M. (2000): Rational and Political Models of Strategic Decision Making. In: J. Rabin, G.J. Miller, and W.B. Hildreth (Eds.), *Handbook of Strategic Management*, CRC Press, US., p.165–181.
116. Murthy, P.R. (2007): *Operations Research*, 2nd ed., New Age International (P) Limited, New Delhi.

117. Mustafić, S., Manojlovic, P., Kostić, P. (2013): Dynamics of suspended sediment load in the upper part of the Rasina river basin in 2010. *Bulletin of the Serbian Geographical Society XCIII - N°4*, 23–40.
118. Nameghi, A. E., Hassanli, A.M., Soufi, M. (2008): A study of the influential factors affecting the slopes of deposited sediments behind the porous check dams and model development for prediction. *Desert* 12, 113–119.
119. Nekhay, O., Arriaza, M., Boerboom, L. (2009): Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS: A case study from Spanish mountain olive plantations. *Journal of Environmental Management* 90 (10), 3091–3104.
120. Ni, J.R., Li, X.X., Borthiwich, A.G.L. (2008): Soil erosion assessment based on minimum polygons in the Yellow River basin, China. *Geomorphology* 93 (3-4), 233–252.
121. Nigel, R., Rughooputh, S.D.D.V. (2010): Soil erosion risk mapping with new datasets: An improved identification and prioritization of high erosion risk areas. *Catena* 82, 191–205.
122. Nikkami, D. (1999): Optimizing the management of soil erosion using GIS. Doctoral Thesis. Concordia University Montreal, Quebec, Canada.
123. Nikolić, Đ., Jovanović, I., Mihajlović, I., Živković, Ž. (2009): Multi-criteria ranking of copper concentration according to their quality – An element of environmental management in the vicinity of copper – Smelting complex in Bor, Serbia. *Journal of Environmental Management* 91, 509–515.
124. Oberschmidt, J., Geldermann, J., Ludwig, J., Schmehl, M. (2010): Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies, *International Journal of Energy Sector Management* 4 (2), 183–212.
125. Osti, R., Egashira, S. (2008): Method to improve the mitigative effectiveness of a series of check dams against debris flow. *Hydrological Processes* 22, 4986–4996.
126. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K. (2015): A new European Slope Length and Steepness Factor (LS - factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences* 5 (2), 117–126.

127. Pandey, A., Chowdary, V.M., Mal, B.C. (2007): Identification of critical prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resource Management* 21 (4), 729–749.
128. Pandey, V. (2014): Engineering Design, In: *Decision Based Design*, Boca Raton, CRC Press – Taylor and Francis Group.
129. Parnel, G.S. (2009): Decision analysis in one chart. *Decision Line* 40 (3), 20–24.
130. Parveen, R. Kumar, U., Singh, V.K. (2012): Geomorphometric Characteristics of Upper South Koel Basin, Jharkhand: A Remote Sensing & GIS Approach. *Journal of Water Resource and Protection* 4, 1042–1050.
131. Peterson, M. (2009): *An Introduction to Decision Theory*, Cambridge University Press, Cambridge.
132. Prašćević, N., Prašćević, Ž. (2016): Application of Fuzzy AHP method based on eigenvalues for decision making in construction industry. *Tehnički Vjesnik* 23 (1), 57–64.
133. Prato, T. (2006): Multiple Attribute Evaluation of Management Alternatives for the Missouri River System. In: G. Herath, and T. Prato (Eds.), *Using Multi-Criteria Decision Analysis in Natural Resource Management*. Ashgate Publishing, Hampshire, p. 75–93.
134. Qi, H., Altinakar M.S. (2011): A conceptual framework of agricultural land use planning with BMP for integrated watershed management. *Journal of Environmental Management* 92, 149–155.
135. Qureshi, M.E., Harrison, S.R. (2001): A decision support process to compare Riparian revegetation options in Scheu Creek catchment in North Queensland. *Journal of Environmental Management* 62, 101–112.
136. Qureshi, M.E., Harrison, S.R. (2003): Application of the Analytic Hierarchy Process to Riparian Revegetation Policy Options. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy* 2 (3), 441–458.
137. Rahaman, S.A., Ajeez, S.A., Jegankumar, A., R. (2015): Prioritization of Sub watershed based on Morphometric Characteristics using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Geographical Information System – A study of Kallar

Watershed, Tamil Nadu, *Acuatic Procedia* 4, 1322-1330. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015).

138. Rahman, M.R., Shi, Z.H., Chongfa, C. (2009): Soil erosion hazard evaluation – An integrated use of remote sensing, GIS and statistical approach with biophysical parameters towards management strategies. *Ecological Modelling* 220 (13-14), 1724–1734.

139. Raj, P.A., Kumar, D.N. (1996): Ranking of river basin alternatives using ELECTRE. *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques* 41 (5), 697 –712.

140. Reddy, G.P.O., Maji, A.K., Gajbhiye, K.S. (2004): Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6, 1–16.

141. Ríos, S. (1994): *Decision Theory and Decision Analysis: Trends and Challenges*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.

142. Ristić, R., Kostadinov, S., Radić, B., Trivan, G., Nikić, Z. (2012): Torrential floods in Serbia - man made and natural hazard. 12th Congress Interpraevent 2012 Grenoble/France. *Conference Proceedings*, 771–779.

143. Ristić, R., Ljujić, M., Despotovic, J., Aleksic, V., Radic, B., Nikic, Z., Milcanovic, V., Malusevic, I., Radonjic, J. (2013): Reservoir Sedimentation and Hydrological Effects of Land Use Changes-Case Study of the Experimental Dicina River Watershed, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 8 (1), 91–98.

144. Ristic, R., Malosevic, D. (1997): Torrential floods–Natural and man-made hazard. In: P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (Eds.), *Engineering Geology and the Environment*, Rotterdam, p. 993–997.

145. Ristić, R., Radić, B., Nikić, Z., Trivan, G., Vasiljević, N., Dragičević, S., Živković, N., Radosavljević, Z. (2011a): Erosion control and protection from torrential floods in Serbia- Spatial aspects. *SPATIUM International Review* 25, 1–6.

146. Ristić, R., Radić, B., Vasiljević, N., Nikić, Z. (2011b): Land use change for flood protection – a prospective study for the restoration of the River Jelašnica Watershed. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 103, 115–130.

147. Römken, M.J.M., Young, R.A., Poesen, J.W.A., McCool, D.K., El-Swaify, Bradford, J.M. (1997): Soil erodibility factor (K). In: K.G. Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, D.C Yoder (Eds.), Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, p.65–101.
148. Roshani, R. (2003): Evaluating the effect of check dams on flood peak to optimize the flood control measures (Kan case study in Iran). International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Watershed and Environmental Management. Available at: http://www.itc.eu/library/Papers_2003/msc/wrem/roshani.pdf
149. Saaty, T. L. (1978): Modelling Unstructured Decision problems – The theory of Analytical Hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulations* 20 (3), 147–158.
150. Saaty, T.L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. Mc-Graw-Hill, New York.
151. Saaty, T.L. (2004): Scales for Measurement Not Measurement from Scales! MCDM 2004 Whistler, B.C., Canada, August 6-11. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Saaty/publication/266091866_Scales_from_Measurement_Not_Measurement_from_Scales/links/54c26ee80cf256ed5a8d7205.pdf?origin=publication_detail
152. Saaty, T.L. (2012): *Decision Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World, Third Edition*, Pittsburgh, USA.
153. Saaty, T.L., Vargas, L.G. (2012): *Models, Methods, Concepts & Applications of Analytic Hierarchy Process (2nd Ed.)* New York/Heidelberg/Dordrecht/London: Springer.
154. Sadeghi, S.H., Moosavi, V., Karami, A., Behnia, N. (2012): Soil erosion assessment and prioritization of affecting factor at plot scale using the Taguchi method. *Journal of Hydrology* 448, 174–180.
155. Sadeghi, S.H.R., Jalili, Kh., Nikkami, D. (2009): Land use optimization in watershed scale. *Land Use Policy* 26, 186–193.

156. Seip, K.L., Wenstop, F. (2006): Decision making concepts. Introduction of basic concepts in environmental decision making. In: *A Primer on Environmental Decision-Making: An Integrative Quantitative Approach*, Dordrecht, Springer, p. 7–21.
157. Sheng, T.C. (1989): Soil conservation for small farmers in the humid tropics. *FAO Soil Bulletin 60*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
158. Shenoy, G.V., Srivastava, U.K., Sharma, S.C. (1991): *Operations Research for Management*, New Age International (P) Limited, New Delhi, second edition.
159. Shi, Z., H., Ai, L., Fang, N.F., Zhu, H.D. (2012): Modelling the impacts of integrated management on soil erosion and sediment delivery: A case study in the Three Gorges Area, China. *Journal of Hydrology* 438–439, 156–167.
160. Sikavica, P., Hunjak, T., Begičević Ređep, N., HERNÁUS, T. (2014): *Poslovno odlučivanje, Školska knjiga, d.d., Zagreb*.
161. Simon, H.A. (1956): Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review* 63 (2), 129–138.
162. Singh, L.K., Jha, M.K., Chowdary, V.M. (2017): Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for the sustainable water supply. *Journal of Cleaner production* 142, 1436–1456.
163. Srdjevic, B. (2005): Combining different prioritization method in AHP synthesis. *Computers and Operation Research* 32 (7), 1897–1919.
164. Srdjevic, B. (2007): Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. *Decision Support Systems* 42 (4), 2261–2273.
165. Srdjevic, Z, Srdjevic, B. (2014): Modelling Multicriteria Decision Making Process for Sharing Benefits from the Reservoir at Serbia-Romania Border. *Water Resource Management* 28 (12), 4001–4018.
166. Strahler, A.N. (1957): Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union* 38 (6), 913–920.

167. Tanyaş, H., Kolat, C., Süzen, M.L. (2015): A new approach to estimate cover-management factor of RUSLE and validation of RUSLE model in the watershed of Kartalkaya Dam. *Journal of Hydrology* 528, 584–598.
168. Taylor, S.B., Kite, J.S. (2006): Comparative geomorphic analysis of surficial deposits at three central Appalachian watersheds: Implications for controls on sediment-transport efficiency. *Geomorphology* 78, 22–43.
169. Tiwari, N.K., Shandilya, S.K. (2006): *Operations Research*, Prentice-Hall of India, Pvt. Ltd., New Delhi.
170. Todosijević M., Zlatić M., Dragović N., Milčanović V., Andrijanić T., Vukelić G. (2014): Sustainable management of Soil Resources in Mountainous Areas of Western Serbia using Conservation Measurec. In: Zlatić M. and Kostadinov S. (Eds.), *Challenges: Sustainable Land Management – Climate Change*. *Advances in Geocology* 43, Catena Verlag GMBH.
171. Tsoukiàs, A. (2008): From decision theory to decision aiding methodology. *European Journal of Operational Research* 187 (1), 138–161.
172. Tzeng, G-H., Huang, J.-J. (2011): *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
173. Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (2002): Soil Erosion Risk Assessment in Italy. In: J.L. Rubio, R.P.C Morgan, S. Asins and V. Andreu (Eds), *Proceedings of the third International Congress Man and Soil at the Third Millennium*. Geoforma Ediciones, Logrono.
174. Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (1999): Soil erosion risk assessment in Italy. *European Soil Bureau, EUR 19022 EN*, 52pp. Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburg.
175. Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (2000): Soil erosion risk assessment in Europe, *EUR 19044 EN*, 34pp. Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburg.
176. Velasquez, M., Hester, P.T. (2013): An analysis of Multi-criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research* 10 (2), 56–66.
177. Vincke, P. (1986): Analysis of multi criteria decision aid in Europe. *European Journal of Operational Research* 25 (2), 160-168.

178. Vincke, P. (1999): Outranking approach, In: T. Gal., T. J. Stewart, T. Hanne (Eds.), *Multi criteria decision making: Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory and Applications*, Boston, MA: Kluwer, p. 11-1–11-29.
179. Von Winterfeldt, D. (1980). Structuring decision problems for decision analysis. *Acta Psychologica* 45 (1-3), 71–93.
180. Vulević, T., Dragović, N. (2017): Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. *International Soil and Water Conservation Research* 5 (1), 50–55.
181. Vulevic, T., Dragovic, N., Kostadinov, S., Belanovic Simic, S. Milovanovic, I. (2015): Prioritization of Soil Erosion Vulnerable Areas Using Multi-Criteria Decision Analysis Methods. *Polish Journal of Environmental Studies* 24 (1), 317–323.
182. Wang, B., Zheng, F., Guan, Y. (2016): Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. *International Soil and Water Conservation Research* 4 (3), 168–176.
183. Wang, X., Yu, S., Huang, G.H. (2004): Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape and Urban Planning* 66, 61–74.
184. Wawer, R., Nowocień, E., Podolski, B. (2005): Real and Calculated K_{usle} Erodibility Factor for Selected Polish Soils. *Polish Journal of Environmental Studies* 14 (5), 655–658.
185. Williams, J.R., Jones, C.A., Dyke, P.T. (1984): A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions of the ASAE* 27 (1), 129–144.
186. Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
187. Wu, Q., Wang, M. (2007): A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach. *Journal of Hydrology* 337 (1-2), 11–21.
188. Yevseyeva, I. (2007): Solving Classification Problems with Multicriteria Decision Aiding Approaches, Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä.

189. Youssuf, A.M., Pradhan, B., Hassan, A.M. (2011): Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Science* 62 (3), 611–623.
190. Zardari, N.H., Ahmed, K., Shirazi, S.M., Yusop, Z.B. (2015): *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management*. Springer, Dordrecht.
191. Zhang, K.L., Shu, A.P., Xu, X.L., Yang, Q.K., Yu, B. (2008): Soil erodibility and its estimation for agricultural soil in China. *Journal of Arid Environments* 72 (6), 1002–1011.
192. Zhang, R., Liu, X., Heathman, G.C., Yao, X., Hu, X., Zhang, G. (2013): Assessment of soil erosion sensitivity and analysis of sensitivity factors in the Tongbai–Dabie mountainous area of China. *Catena* 101, 92–98.
193. Zhang, X., Wu, B., Ling, F., Zeng, Y., Yan, N., Yuan, C. (2010): Identification of priority areas for controlling soil erosion. *CATENA* 83 (1), 76–86.
194. Zlatić, M. (1994): *Vrednovanje protiverozionih radova sa aspekta tehničke i ekonomske opravdanosti na ugroženom području grada Beograda*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
195. Zlatić, M., Andrijanić, T., Todosijević, M., Kostadinov, S., Šušnjević, V. (2010): Natural and economic effects and assessment of risk and uncertainty of sustainable soil management in the Pariguz watershed. First Serbian Forestry Congress Future with Forests -, 11-13 November 2010, Belgrade, Republic of Serbia, 201–201.
196. Zlatić, M., Todosijević, M., Lazarević, K., Dragović, N., Vukelić, G. (2016): Demographic trends, climate changes and issues of sustainable land management. 3rd Conference of the World Association of the Soil and Water Conservation, Belgrade, August 22-26, 2016, 22–22.
197. Андријанић, Т., Драговић, Н. (2012): Вишекритеријумска анализа избора извођача радова на уређењу ерозионих подручја. *Ерозија* 38, 27–43.
198. Драговић, Н. (2001): *Оптимизација реализације пројекта за уређење бујичних водотока*. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Шумарски факултет.

199. Оприцовић, С. (1998): Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству, Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Београд.
200. Прашчевић, Ж. (1992): Операциона истраживања у грађевинарству, детерминистичке методе, Београд, Грађевински факултет, Београд.
201. Прашчевић, Н. (1995): Примена вишекритеријумске оптимизације приликом избора извођача за изградњу објеката, SYM-OP-IS '95, Kotor.
202. Радић, Б. (2014): Ерозија као фактор деградације предела у скијашким центрима Србије. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Шумарски факултет.
203. Срђевић, Б. (2000): Вредновање алтернатива коришћења акумулације помоћу аналитичког хијерархијског процеса, Југословенски часопис „Водопривреда“ 32 (183-185), 237–242.
204. Ћировић, Г. (2009): Оптимизација димензија потпорног зида, XXXVI Симпозијум о операционим истраживањима, SYM-OP-IS '09.
205. Чупић, М., Сукновић, М. (2010): Одлучивање, Београд, Факултет организационих наука, Београд.

ПРИЛОГ А

Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од ерозије
земљишта применом метода вишекритеријумске анализе

Табела А.1. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина wk и избора критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,6403	0,0894	0,7298	9
T2	-0,397	0,2007	0,5977	7
T3	-0,431	0,1514	0,5824	8
T4	0,0293	0,3557	0,3264	5
T5	0,0092	0,3132	0,3041	6
T6	0,307	0,5024	0,1954	3
T7	0,2909	0,5455	0,2546	4
T8	0,4156	0,5652	0,1495	2
T9	0,4163	0,5277	0,1114	1

Табела А.2. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина wk и избора критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,6296	0,0642	0,6938	9
T2	-0,3908	0,1623	0,5531	7
T3	-0,3915	0,1214	0,5129	8
T4	0,0643	0,3132	0,2489	5
T5	0,0455	0,2665	0,221	6
T6	0,265	0,4236	0,1586	4
T7	0,2762	0,4944	0,2182	3
T8	0,3921	0,4949	0,1028	1
T9	0,3689	0,4442	0,0752	2

Табела А.3. Тежинска нормализована матрица одлучивања за подсливова у сливу Топчидерске реке при тежинама wk

Подслив	K	C	R	LS
T1	0,0637	0,0024	0,0711	0,0971
T2	0,0685	0,0048	0,0728	0,1052
T3	0,0769	0,0364	0,0737	0,0741
T4	0,0839	0,0991	0,0739	0,0837
T5	0,0762	0,1122	0,074	0,0885
T6	0,0788	0,0704	0,0748	0,1109
T7	0,073	0,0528	0,0752	0,1248
T8	0,0923	0,1306	0,0745	0,0918
T9	0,0829	0,1184	0,0749	0,0995

Табела А.4. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу Топчидерске реке при тежинама w_k

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T5	1	1	1	1	0	0	0	0	0
T6	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T7	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T8	1	1	1	1	1	0	0	0	0
T9	1	1	1	1	1	1	0	0	0

ПИС1=0,50; ПИС2=0,60; ПИС3=0,70; ПИНС1=0,6243; ПИНС2=0,4243

Табела А.5. Директни ранг (y'), индиректни ранг (y'') и коначни ранг (y) подсливова у сливу Топчидерске реке при тежинама w_k

Подслив	y'	y''	y
T1	5	5	5
T2	4	4	4
T3	4	5	4,5
T4	3	3	3
T5	2	2	2
T6	2	3	2,5
T7	1	3	2
T8	1	1	1
T9	1	1	1

$T8=T9>T5=T7>T6>T4>T2>T3>T1$

Табела А.6. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Топлице, у случају тежина w_k и избора критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	0,0482	0,321	0,2728	4
C2	0,0792	0,4041	0,3249	3
C3	0,2827	0,4645	0,1818	1
C4	-0,0338	0,4374	0,4713	6
C5	-0,0618	0,2714	0,3331	8
C6	0,0049	0,2823	0,2774	5
C7	-0,1123	0,2319	0,3442	9
C8	-0,1406	0,2379	0,3785	10
C9	-0,2443	0,1472	0,3915	11
C10	0,2394	0,4662	0,2268	2
C11	-0,0614	0,2529	0,3143	7

Табела А.7. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Топлице, у случају тежина w_k и избора критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	0,0467	0,2509	0,2042	3
C2	0,018	0,3324	0,3143	4
C3	0,3193	0,4302	0,1109	1
C4	-0,0474	0,4126	0,46	7
C5	-0,0642	0,2149	0,2792	8
C6	-0,0431	0,1806	0,2237	6
C7	-0,138	0,1566	0,2946	9
C8	-0,1446	0,1684	0,313	10
C9	-0,1998	0,1069	0,3067	11
C10	0,287	0,4436	0,1566	2
C11	-0,0339	0,1988	0,2327	5

Табела А.8. Тежинска нормализована матрица одлучивања за подсливова у сливу реке Топлице при тежинама w_k

Подслив	K	C	R	LS
C1	0,0764	0,0634	0,08	0,0709
C2	0,067	0,0757	0,0962	0,0712
C3	0,0781	0,1313	0,0841	0,0689
C4	0,071	0,1651	0,0928	0,0589
C5	0,0821	0,0252	0,0631	0,0707
C6	0,0787	0,0422	0,0698	0,0726
C7	0,0812	0,047	0,0509	0,07
C8	0,0815	0,0528	0,054	0,0672
C9	0,0781	0,0275	0,0635	0,0718
C10	0,0767	0,027	0,0964	0,0772
C11	0,0784	0,0444	0,0845	0,0658

Табела А.9. Матрица агрегатне доминације за подсливова у сливу реке Топлице при тежинама w_k

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
C2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
C3	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
C4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
C11	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0

ПИС1=0,5023; ПИС2=0,6023; ПИС3=0,7023; ПИНС1=0,6255; ПИНС2=0,4255

Табела А.10. Директни ранг (y'), индиректни ранг (y'') и коначни ранг (y) подсливова у сливу реке Топлице при тежинама w_k

Подслив	y'	y''	y
C1	4	4	4
C2	3	3	3
C3	2	2	2
C4	1	1	1
C5	6	6	6
C6	5	5	5
C7	6	6	6
C8	5	5	5
C9	6	6	6
C10	3	5	4
C11	4	4	4

$$C4 > C3 > C2 > C1 = C10 = C11 > C6 = C8 > C5 = C7 = C9$$

Табела А.11. Ранг подсливова у сливу реке Расине у случају тежина RUSLE критеријума w_k и избора општег критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,0649	0,2879	0,3527	14
P2	-0,1712	0,2235	0,3946	18
P3	-0,1726	0,2695	0,4421	19
P4	0,0731	0,4183	0,3453	7
P5	-0,1395	0,2611	0,4005	17
P6	0,0281	0,3552	0,3271	9
P7	0,111	0,3488	0,2378	3
P8	0,0244	0,3021	0,2777	10
P9	0,0501	0,3536	0,3035	8
P10	0,0869	0,4245	0,3376	4
P11	0,0759	0,3913	0,3154	6
P12	0,1268	0,3679	0,2411	2
P13	0,0828	0,3116	0,2288	5
P14	-0,0366	0,2587	0,2953	12
P15	0,2177	0,413	0,1952	1
P16	-0,0546	0,2302	0,2848	13
P17	0,0085	0,2935	0,285	11
P18	-0,1361	0,2035	0,3396	16
P19	-0,1101	0,2237	0,3339	15

Табела А.12. Ранг подсливова у сливу реке Расине у случају тежина *RUSLE* критеријума *wk* и избора општег критеријума тип *V*

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,0724	0,2343	0,3067	14
P2	-0,1715	0,1629	0,3345	19
P3	-0,1368	0,2476	0,3844	17
P4	0,0893	0,3931	0,3038	4
P5	-0,1088	0,2273	0,3362	16
P6	-0,0097	0,2862	0,2959	10
P7	0,1051	0,2711	0,166	3
P8	0,0107	0,2286	0,2179	9
P9	0,0816	0,3108	0,2291	7
P10	0,0877	0,3813	0,2937	6
P11	0,088	0,3562	0,2682	5
P12	0,1237	0,3049	0,1812	2
P13	0,0549	0,2218	0,1669	8
P14	-0,0365	0,1903	0,2268	12
P15	0,2044	0,3422	0,1378	1
P16	-0,0427	0,1697	0,2124	13
P17	-0,0127	0,2106	0,2233	11
P18	-0,1079	0,1438	0,2516	15
P19	-0,1463	0,1369	0,2832	18

Табела А.13. Тежинска нормализована матрица одлучивања за подсливова у сливу реке Расине при тежинама *RUSLE* критеријума *wk*

	K	C	R	LS
P1	0,0558	0,0831	0,0512	0,0218
P2	0,0545	0,066	0,0502	0,0285
P3	0,0668	0,0409	0,0496	0,0045
P4	0,0623	0,0873	0,0509	0,0109
P5	0,0523	0,094	0,0509	0,025
P6	0,057	0,1114	0,0528	0,0122
P7	0,0578	0,0303	0,0585	0,0653
P8	0,0562	0,0398	0,0585	0,0504
P9	0,0541	0,0158	0,0652	0,0697
P10	0,0471	0,0547	0,0739	0,0595
P11	0,0471	0,0374	0,0726	0,076
P12	0,0512	0,0476	0,062	0,0737
P13	0,0525	0,049	0,0561	0,0795
P14	0,0576	0,0456	0,0491	0,0634
P15	0,0533	0,0388	0,0616	0,0897
P16	0,0562	0,0325	0,0499	0,0775
P17	0,0549	0,0216	0,0542	0,0901
P18	0,0523	0,0235	0,054	0,0767
P19	0,0553	0,0493	0,0531	0,0448

Табела А.14. Матрица агрегатне доминације за поделивове у сливу реке Расине при тежинама RUSLE критеријума *wk*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
P1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P11	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
P12	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
P13	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
P14	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P15	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
P16	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
P17	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
P18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ПИС1=0,5021; ПИС2=0,6021; ПИС3=0,7021; ПИНС1=0,7819; ПИНС2=0,5819

Табела А.15. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Расине при тежинама RUSLE критеријума wk

Подслив	y'	y''	y
P1	3	3	3
P2	4	4	4
P3	5	5	5
P4	4	4	4
P5	2	2	2
P6	1	1	1
P7	3	3	3
P8	4	4	4
P9	3	4	3,5
P10	2	2	2
P11	1	2	1,5
P12	2	2	2
P13	1	1	1
P14	3	3	3
P15	1	1	1
P16	2	2	2
P17	1	3	2
P18	3	4	3,5
P19	4	4	4

$P6=P13=P15>P11>P5=P10=P12=P16=P17>P1=P7=P14>P9=P18>P2=P4=P8=P19>P3$

ПРИЛОГ Б

Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од бујичних поплава,
применом метода вишекритеријумске анализе

Табела Б.1. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина морфометријских критеријума wk и избора општег критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,0823	0,1905	0,2728	6
T2	-0,0569	0,2755	0,3324	5
T3	-0,0824	0,1801	0,2625	7
T4	0,0267	0,3011	0,2744	4
T5	0,1000	0,3476	0,2476	3
T6	0,2537	0,4024	0,1487	1
T7	0,1187	0,3989	0,2802	2
T8	-0,1187	0,1827	0,3014	8
T9	-0,1589	0,1381	0,2970	9

Табела Б.2. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу Топчидерске реке, у случају тежина морфометријских критеријума wk и избора општег критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
T1	-0,0623	0,2677	0,33	6
T2	-0,0619	0,3238	0,3857	5
T3	-0,0675	0,2509	0,3184	7
T4	-0,0093	0,3281	0,3374	4
T5	0,1016	0,3961	0,2945	3
T6	0,2559	0,4479	0,192	1
T7	0,1057	0,4262	0,3205	2
T8	-0,0831	0,2568	0,34	8
T9	-0,179	0,191	0,3701	9

Табела Б.3. Тежинска нормализована матрица за подсливова у сливу Топчидерске реке применом тежина морфометријских критеријума wk

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
T1	0,0147	0,0264	0,0211	0,0429	0,0373	0,0333	0,0283	0,0304	0,0281	0,0269
T2	0,0065	0,0176	0,0226	0,0388	0,0406	0,0421	0,0216	0,0331	0,03	0,0191
T3	0,0183	0,0269	0,025	0,0354	0,0304	0,0231	0,0259	0,0315	0,0381	0,0371
T4	0,0224	0,026	0,0226	0,0354	0,0338	0,0479	0,0238	0,0265	0,0473	0,0446
T5	0,0689	0,0269	0,025	0,0331	0,0353	0,0262	0,0487	0,0299	0,0495	0,0482
T6	0,0213	0,0263	0,025	0,0652	0,0435	0,0253	0,0334	0,034	0,0317	0,0302
T7	0,0133	0,0263	0,0187	0,0234	0,0474	0,0234	0,0242	0,0285	0,0666	0,0634
T8	0,0557	0,0263	0,0258	0,0388	0,0373	0,0293	0,0349	0,0287	0,0327	0,0311
T9	0,0241	0,0234	0,0246	0,0234	0,0397	0,0215	0,0285	0,0288	0,0352	0,0299

Табела Б.4. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу Топчидерске реке применом тежина морфометријских критеријума w_k

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
T2	0	0	0	0	1	0	0	1	1
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	1	1	0	0	0	0	0	1
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	1	1	1	0	0	0	0	0	1
T7	0	1	1	0	0	0	0	1	1
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{ПИС1}=0,5130, \text{ПИС2}=0,6130, \text{ПИС3}=0,7130, \text{ПИНС1}=0,7378, \text{ПИНС2}=0,5378$$

Табела Б.5. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу Топчидерске реке применом тежина морфометријских критеријума w_k

Подслив	y'	y''	y
T1	2	2	2
T2	2	2	2
T3	2	3	2,5
T4	1	1	1
T5	3	3	3
T6	1	1	1
T7	1	1	1
T8	3	3	3
T9	3	3	3

$$T4=T6=T7>T1=T2>T3>T5=T8=T9$$

Табела Б.6. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Топлице, у случају тежина морфометријских критеријума w_k и избора општег критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
C1	-0,2163	0,1169	0,3332	11
C2	0,2961	0,4162	0,1201	1
C3	-0,1634	0,1302	0,2936	9
C4	-0,2008	0,1657	0,3665	10
C5	0,1071	0,3048	0,1977	4
C6	-0,0552	0,1897	0,2449	7
C7	-0,0137	0,278	0,2916	5
C8	0,2194	0,4924	0,2729	2
C9	-0,093	0,14	0,2329	8
C10	0,1694	0,3428	0,1735	3
C11	-0,0499	0,2091	0,2589	6

Табела Б.7. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Топлице, у случају тежина морфометријских критеријума wk и избора општег критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг*
C1	-0,2226	0,1773	0,3999	9
C2	0,3082	0,4762	0,168	1
C3	-0,2375	0,1636	0,4011	11
C4	-0,2239	0,2075	0,4314	10
C5	0,1104	0,3576	0,2472	4
C6	-0,0184	0,2749	0,2933	6
C7	-0,002	0,3316	0,3336	5
C8	0,2032	0,5159	0,3127	3
C9	-0,1081	0,2098	0,3179	8
C10	0,2169	0,43	0,2131	2

Табела Б.8. Тежинска нормализована матрица за подсливова у сливу реке Топлице применом тежина морфометријских критеријума wk

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
C1	0,021	0,0229	0,0232	0,0276	0,0337	0,0268	0,0221	0,0273	0,0345	0,0326
C2	0,036	0,0236	0,024	0,0385	0,0336	0,0228	0,0329	0,0297	0,05	0,0486
C3	0,0353	0,0238	0,0253	0,0231	0,0328	0,0222	0,0299	0,0275	0,0294	0,0289
C4	0,0492	0,0247	0,0265	0,0234	0,0283	0,024	0,0339	0,0273	0,0304	0,031
C5	0,0156	0,0237	0,0348	0,04	0,0342	0,0198	0,018	0,0273	0,0317	0,0309
C6	0,0356	0,0246	0,0228	0,0259	0,0346	0,026	0,0335	0,0288	0,0339	0,0343
C7	0,0112	0,0255	0,0278	0,0399	0,034	0,029	0,0175	0,0246	0,0309	0,0325
C8	0,0039	0,0239	0,0224	0,0639	0,0325	0,021	0,0085	0,0208	0,0451	0,0444
C9	0,0273	0,0235	0,0261	0,0336	0,0341	0,0299	0,0299	0,0286	0,0318	0,0308
C10	0,0388	0,0238	0,0236	0,0315	0,0367	0,0217	0,036	0,029	0,038	0,0373
C11	0,0220	0,0239	0,0253	0,0411	0,0309	0,0273	0,0305	0,0265	0,0352	0,0347

Табела Б.9. Матрица агрегатне доминације за подсливова у сливу реке Топлице применом тежина морфометријских критеријума wk

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C7	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C8	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
C9	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C11	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0

ПИС1=0,5030; ПИС2=0,6030; ПИС3=0,7030; ПИНС1=0,7666; ПИНС2=0,5666

Табела Б.10. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Топлице применом тежина морфометријских критеријума wk

Подслив	y'	y''	y
C1	3	3	3
C2	1	2	1,5
C3	4	4	4
C4	4	4	4
C5	2	2	2
C6	2	3	2,5
C7	1	2	1,5
C8	1	1	1
C9	2	3	2,5
C10	2	3	2,5
C11	1	1	1

$$C8=C11>C2=C7>C5>C6=C9=C10>C1>C3=C4$$

Табела Б.11. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине, у случају тежина морфометријских критеријума wk и избора општег критеријума тип V

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,3213	0,057	0,3782	18
P2	-0,2421	0,1198	0,3619	15
P3	-0,2519	0,2246	0,4765	16
P4	-0,1952	0,1766	0,3718	14
P5	-0,2815	0,0834	0,3649	17
P6	-0,0075	0,3203	0,3278	11
P7	0,1444	0,3101	0,1658	6
P8	-0,0801	0,2361	0,3162	13
P9	0,1625	0,3203	0,1578	5
P10	-0,0151	0,1836	0,1988	12
P11	0,3402	0,42	0,0799	1
P12	0,0258	0,226	0,2002	10
P13	0,2861	0,3647	0,0786	2
P14	0,1802	0,3323	0,1521	4
P15	0,2403	0,3977	0,1575	3
P16	0,1096	0,2611	0,1515	9
P17	0,1195	0,3064	0,1868	8
P18	0,1385	0,2789	0,1404	7
P19	-0,3523	0,1291	0,4814	19

Табела Б.12. Вредности чистог тока, позитивног тока, негативног тока и ранг подсливова у сливу реке Расине, у случају тежина морфометријских критеријума wk и избора општег критеријума тип III

Подслив	Phi	Phi+	Phi-	Ранг
P1	-0,3147	0,1211	0,4357	18
P2	-0,2905	0,1527	0,4432	17
P3	-0,2636	0,2604	0,524	15
P4	-0,1852	0,2348	0,42	14
P5	-0,2784	0,1447	0,4231	16
P6	-0,0085	0,3607	0,3691	11
P7	0,1218	0,3608	0,2389	8
P8	-0,0926	0,2762	0,3687	13
P9	0,1689	0,3812	0,2122	5
P10	-0,0443	0,2379	0,2822	12
P11	0,3786	0,4942	0,1156	1
P12	0,0426	0,3013	0,2587	10
P13	0,289	0,4275	0,1385	2
P14	0,2198	0,412	0,1922	4
P15	0,253	0,4563	0,2033	3
P16	0,147	0,3433	0,1963	7
P17	0,0948	0,3582	0,2633	9
P18	0,1492	0,3517	0,2026	6
P19	-0,3869	0,1577	0,5446	19

Табела Б.13. Тежинска нормализована матрица за подсливова у сливу реке Расине применом тежина морфометријских критеријума wk

P1	0,0082	0,0195	0,016	0,0124	0,01	0,0182	0,0168	0,024	0,0121	0,0132
P2	0,0122	0,0165	0,0192	0,01	0,013	0,0241	0,0145	0,022	0,0111	0,0104
P3	0,0006	0,0222	0,0218	0,0044	0,0027	0,0153	0,0075	0,041	0,0015	0,0019
P4	0,003	0,023	0,0208	0,0101	0,0054	0,0232	0,0083	0,0261	0,0072	0,0094
P5	0,0135	0,017	0,0166	0,0108	0,0117	0,0181	0,0219	0,027	0,0126	0,012
P6	0,0014	0,0276	0,0202	0,0142	0,0061	0,0242	0,0101	0,0383	0,0076	0,0119
P7	0,0194	0,0179	0,0147	0,0267	0,0271	0,0202	0,0256	0,0238	0,0353	0,0356
P8	-0,0617	0,0184	0,0163	0,0121	0,0212	0,0249	0,0392	0,0235	0,0209	0,0217
P9	-0,0133	0,0209	0,016	0,0298	0,0283	0,0174	0,0166	0,0242	0,0397	0,047
P10	0,0112	0,017	0,0192	0,0243	0,0247	0,0168	0,0164	0,0243	0,0247	0,0237
P11	0,0144	0,0185	0,0215	0,0479	0,0305	0,0177	0,0269	0,0274	0,0351	0,0367
P12	0,027	0,0181	0,0186	0,0201	0,0301	0,0174	0,0306	0,0266	0,0243	0,0248
P3	0,0104	0,0175	0,0195	0,0381	0,0319	0,0239	0,0176	0,024	0,0338	0,0334
P14	0,0021	0,0189	0,0218	0,0412	0,0261	0,025	0,0095	0,0273	0,0205	0,0219
P15	0,0286	0,0171	0,0163	0,0288	0,0361	0,0208	0,0298	0,0251	0,0407	0,0393
P16	0,0063	0,0185	0,0195	0,0318	0,0319	0,0173	0,0162	0,0279	0,024	0,0251
P17	0,0218	0,0158	0,0267	0,0294	0,0365	0,0188	0,023	0,0222	0,0232	0,0206
P18	0,0148	0,0179	0,0218	0,0343	0,0313	0,0157	0,0232	0,0244	0,0274	0,0276
P19	0,0344	0,0091	0,0137	0,0129	0,0192	0,0182	0,0326	0,0222	0,0198	0,0101

Табела Б.14. Матрица агрегатне доминације за подсливове у сливу реке Расине применом тежина морфометријских критеријума *wk*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
P1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P7	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
P10	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
P12	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
P14	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P15	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P16	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P17	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P18	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ПИС1=0,5029; ПИС2=0,6029; ПИС3=0,7029; ПИНС1=0,7532; ПИНС2=0,5532

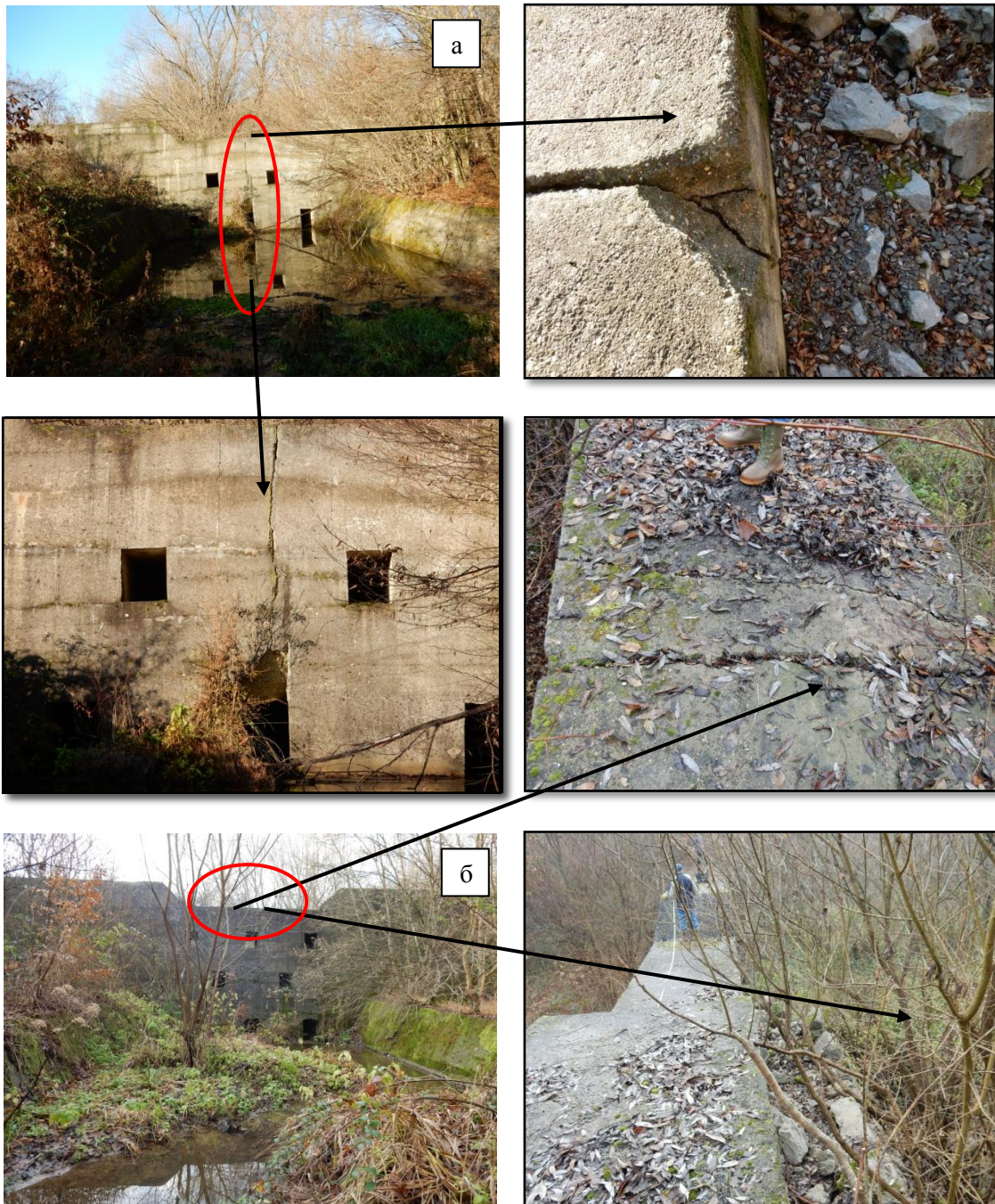
Табела Б.15. Директни (y'), индиректни (y'') и коначни ранг подсливова (y) у сливу реке Расине применом тежина морфометријских критеријума wk

Подслив	y'	y''	y
P1	6	6	6
P2	6	7	6,5
P3	6	7	6,5
P4	7	7	7
P5	5	7	6
P6	5	5	5
P7	3	3	3
P8	5	7	6
P9	2	2	2
P10	4	4	4
P11	1	1	1
P12	4	6	5
P13	2	2	2
P14	3	3	3
P15	1	3	2
P16	3	3	3
P17	4	4	4
P18	3	3	3
P19	7	7	7

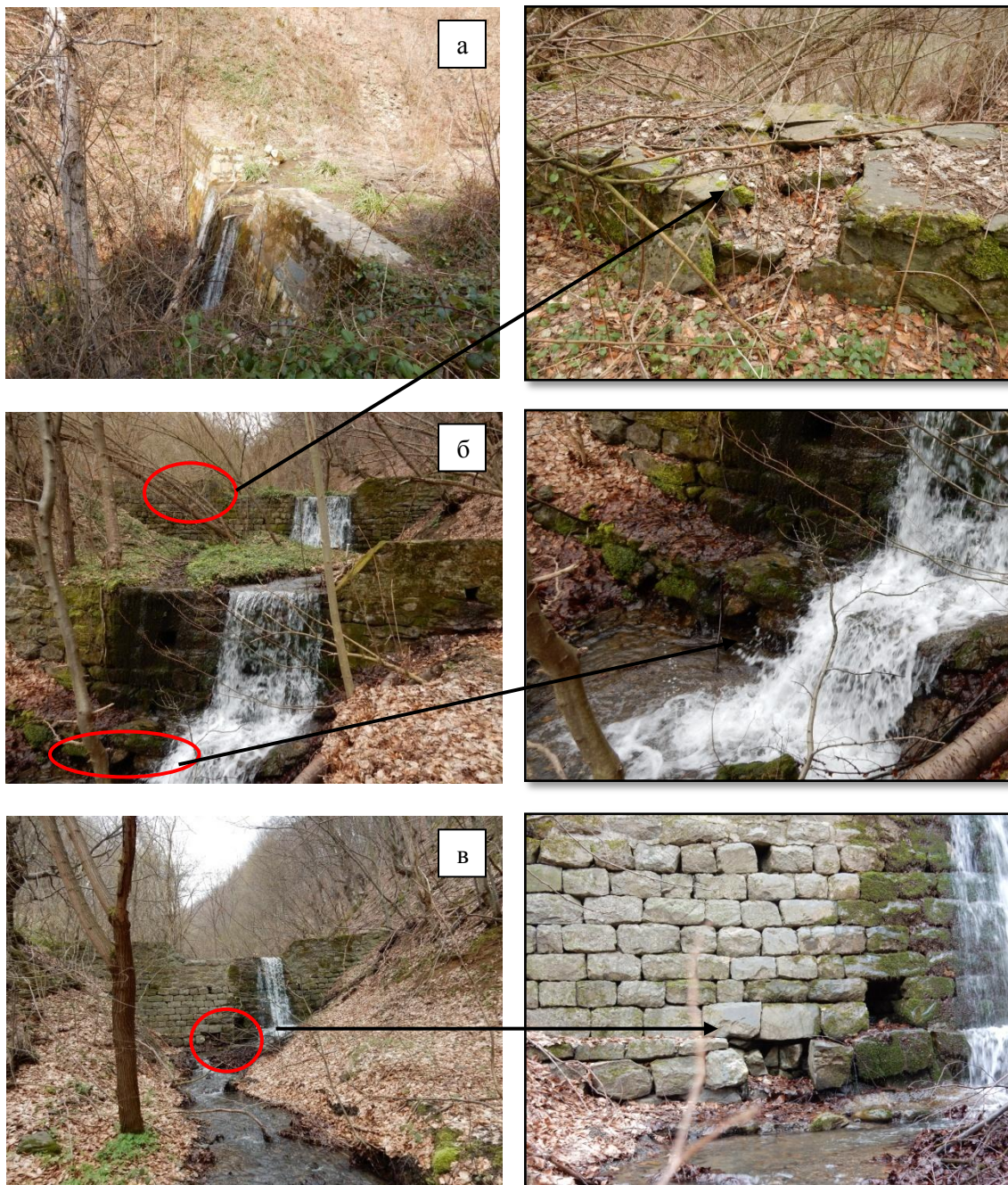
$P11 > P9 = P13 = P15 = P7 = P14 = P16 = P18 > P10 = P17 > P6 = P12 > P1 = P5 = P8 > P2 = P3 > P4 = P19$

ПРИЛОГ В

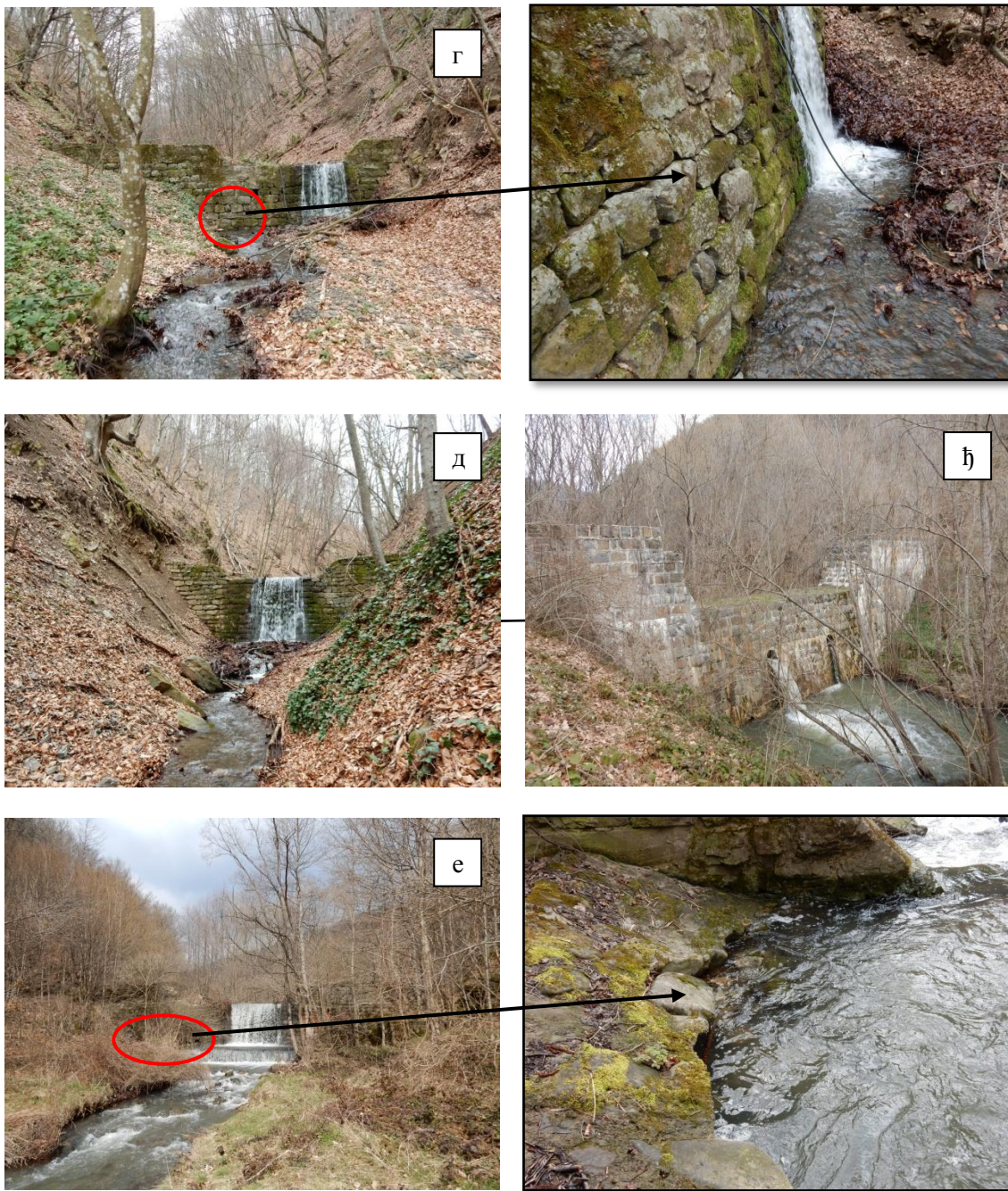
Фотографије преграда у сливу Топчидерске реке, реке Топлице и реке Расине



Фототаблица 1: а) преграда бр. 1 у Белој реци са оштећењима, б) преграда бр. 2 у Белој реци са оштећењима



Фототаблица 2: а) преграда у Безименом потоку са детаљем оштећења, б) преграда бр. 1 у Паваштичкој реци са поткопаним плочником, в) преграда бр. 2 у Паваштичкој реци са оштећењем трупа



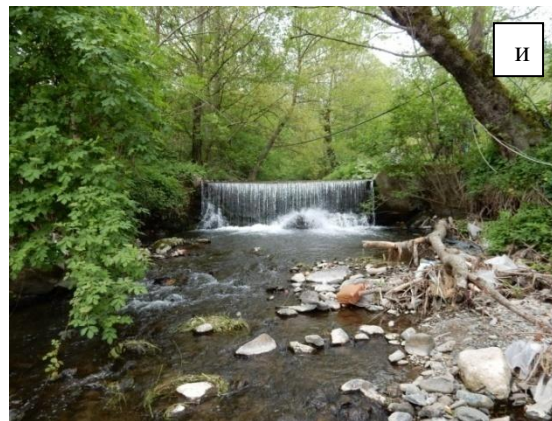
Фототаблица 2: г) преграда бр. 3 у Паваштичком потоку са детаљем оштећења, д) преграда бр. 4 у Паваштичком потоку, е) преграда у Паваштичкој реци, ж) преграда бр. 1 у Малој реци са детаљем оштећења (Наставак)



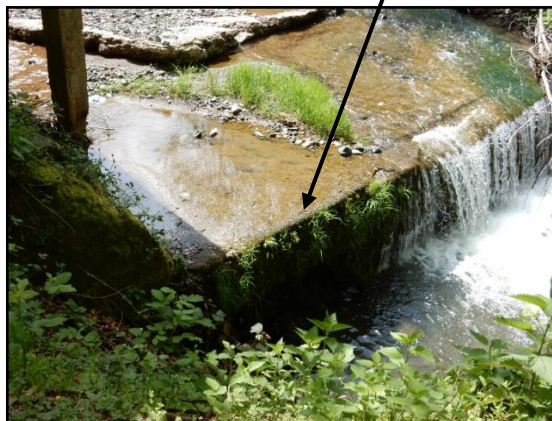
Фототаблица 2: ж) преграда бр. 1 у реци Качаруши, з) преграда бр. 2 у реци Качаруши, и) преграда у Вратничком потоку са одваљеним крилом (Наставак)



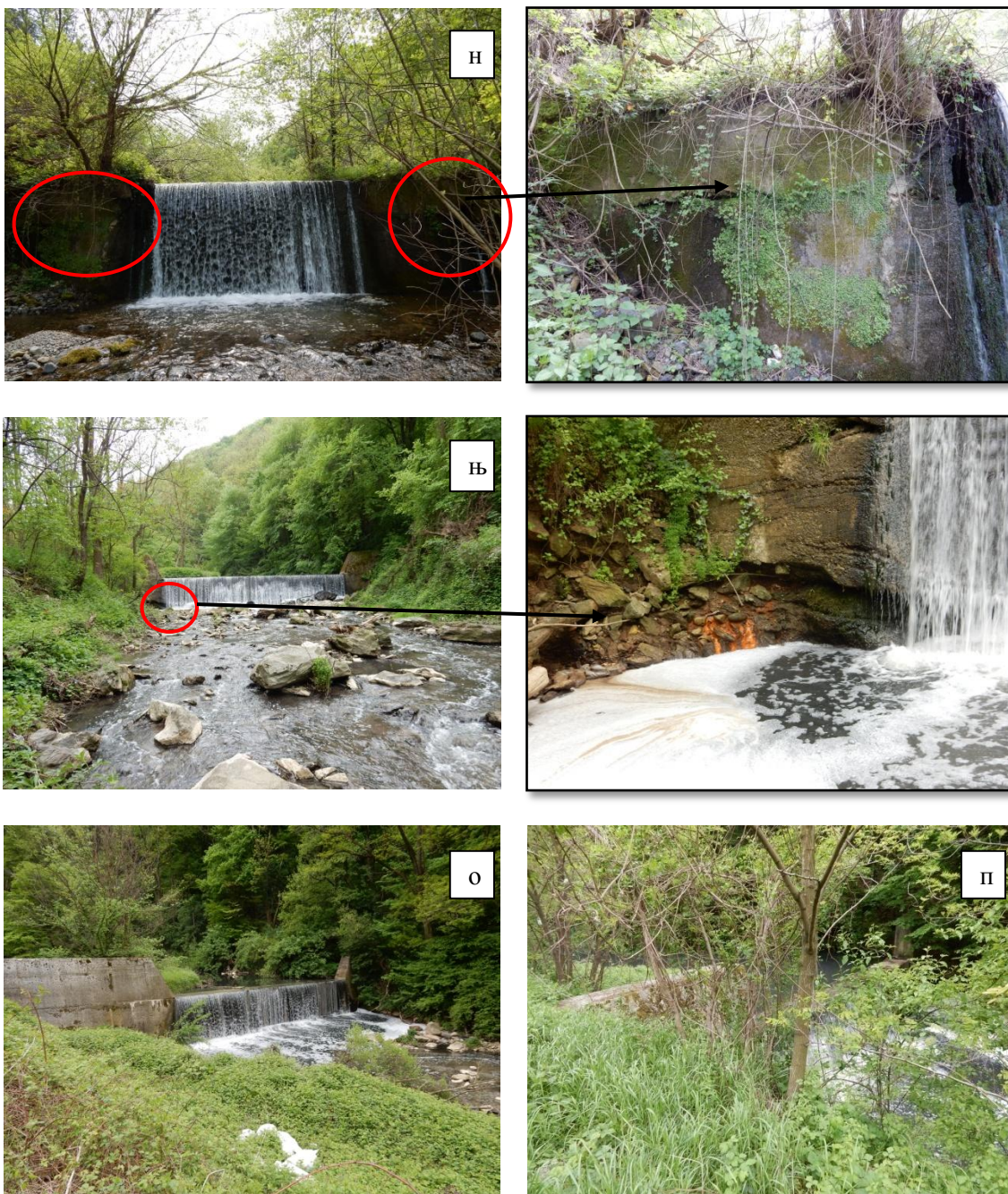
Фототаблица 3: а) преграда бр. 2 у Загржи са детаљем оштећења, б) преграда у потоку Кривача, са детаљем оштећења, в) преграда бр. 1 у Загржи, г) преграда у Расини (Бзенице)



Фототаблица 3: д) праг у Расини (Рогавчина), ђ) преграда у Расини (Плеш), е) преграда у Расини (низводно од улива у Козницу), ж) преграда бр. 2 у Козничкој реци, з) преграда бр. 1 у Козничкој реци, и) преграда у Грабовничкој реци (Наставак)



Фототаблица 3: j) праг бр. 1. у Брзећкој реци, к) праг бр. 2 у Брзећкој реци, л) праг бр. 3. у Брзећкој реци, љ) преграда бр. 1 у Жуњској реци са поткопаним фиксационим појасем, м) преграда бр. 2 у Жуњској реци (Наставак)



Фототаблица 3: н) преграда бр. 3 у Жуњској реци са детаљем оштећења трупа, њ) преграда бр. 1 у Блаташници са детаљем оштећења, о) преграда бр. 2 у реци Блаташници, п) преграда бр. 3 у реци Блаташници (Наставак)

ПРИЛОГ Г

Приказ формула примењених за димензионисање преграда

Табела Г.1. Хидраулички прорачун за преграде

Параметар	Ознака	Формула	Ред. бр.
Капацитет прелива по Weissbach-у	Q	$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2g} * [(h + k^{3/2} - k^{3/2})]$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]	[1]
Капацитет прелива по Du Buat-у када је $V \leq 0,4 m \cdot s^{-1}$ ($k=0$)	Q	$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * h * \sqrt{2gh}$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]	[2]
Долазна брзина воде	V	$V = \frac{Q_{max}}{A}$ [$m \cdot s^{-1}$]	[3]
Брзинска висина	k	$k = \frac{V^2}{2g}$	[4]
Површина попречног пресека тока са узводне стране	A	$A = S * (h1 + h)$ [m^2]	[5]
Укупна висина прелива	Ho	$Ho = h + k$ [m]	[6]
Капацитет прелива (Weissbach) када је $V > 0,4 m \cdot s^{-1}$	Q	$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2g} * [(h + k^{3/2} - k^{3/2})]$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]	[7]
Грађевинска ширина прелива (Frensis)	bgr	$bgr = b + 0,1 * n * \xi * Ho$	[8]
Ширина прелива при дну	b	$b = bgr - m * h$	[9]
Ширина прелива при врху	B	$B = bgr + m * h$	[10]
Средња ширина отвора прелива	bsr	$bsr = \frac{bd + Bv}{2}$ [m]	[11]
Брзина воде преливног млаза када је $V > 0$	V'	$V' = \sqrt{2g(h + k)}$ [$m \cdot s^{-1}$]	[12]
Прорачун дужине слапишта	L	$L = (V + V') * \sqrt{\frac{2(hk + 0,5Ho)}{g}} + Ho + 1,0$	[13]
Прорачун дебљине плочника слапишта	d	$d = 0,3 * \sqrt{hk + Ho} + 0,006hk^2 + 0,05Ho$	[14]

Табела Г.2. Параметри за хидраулички прорачун

Ознака	Опис параметра	Једначина где се користи
μ	коэф. преливања, за преграде 0.60-0.70	[1], [2], [7]
b	средња ширина корита код трапезастих профила [m]	[2]
g	убрзање земљине теже, $g=9,81$ [$m \cdot s^{-1}$]	[1], [2], [4], [7], [12], [13]
h	висина преливања [m]	[1], [2], [6], [7]
Q_{max}	протицај велике воде, вероватноће појаве 1%	[3]
S	средња ширина корита [m]	[5]
$h1$	висина преграде [m]	[5]
Ho	укупна висина прелива [m]	[6]
bgr	грађевинска ширина прелива [m]	[8]
b	ширина прелива по Weissbach - у [m]	[8]
n	број бочних сужења	[8]
ξ	коэф. отицаја, усвојено, $\xi = 1,0$	[8]
m	нагиб косина прелива	[9]
bd	ширина прелива при дну [m]	[11]
Bv	ширина прелива при врху [m]	[11]
hk	корисна висина преграде [m]	[13], [14]

Табела Г.3. Формуле за статички прорачун код преграда

Параметар	Озна- ка	Формула	Ред. бр.
Специфична тежина зида	γz	$\gamma z = \rho z * g$ [kN/m ³]	[1]
Сила хидростатичког притиска бујичне воде	P	$P = 0,5 * \rho b v * g * h k^2 * 1,0$	[2]
Крак силе	y	$y = h k / 3$ [m]	[3]
Дебљина круне зида	k	$k = -0,5 * h k + \sqrt{(0,25 * h k - 0,0334 * h k^2 + 4 * \frac{P * y}{\gamma z * h k}}$ [m]	[4]
Дебљина зида у спојници I-I	b	$b = k + 0,2 * h k$ [m]	[5]
Контрола напона у спојници I-I	G1	$G1 = k * h k * \gamma z$ [kN/m]	[6]
	G2	$G2 = \frac{(b-k)*hk}{2} * \gamma z$ [kN/m] 2-7	[7]
	V1	$V1 = G1 + G2$	[8]
	$\delta_{0 I-I}$	$\delta_{0 I-I} = \frac{V1}{b * 1}$	[9]
	$\delta_{max I-I}$	$\delta_{max I-I} = 2,5 * \delta_{0 I-I}$	[10]
	$\delta_{min I-I}$	$\delta_{min I-I} = -0,5 \delta_{0 I-I}$	[11]
Дебљина зида у темељној спојници II-II	A	$A = \frac{2 * h k}{t} * (k + b)$	[12]
	B	$B = 2,259 * \frac{b * h k}{t} * (k + b)$	[13]
	C	$C = 6,024 * \frac{P}{\gamma z}$	[14]
	S	$S = -0,5 * A + \sqrt{0,25 * A^2 + B + C}$	[15]
Контрола напона у пресеку II-II	G3	$G3 = t * S * \gamma z$	[16]
Укупна вертикална сила у пресеку II-II	V2	$V2 = V1 + G3$ [kN/m]	[17]
Напон у основи пресека II-II	$\tau_{o II-II}$	$\tau_{o II-II} = \frac{V2}{S * 1,0}$	[18]
	$\tau_{max II-II}$	$\tau_{max II-II} = 2 * \tau_{o II-II}$	[19]
Контрола напона у пресеку III-III	s	$s = S - b$	[20]
Напон у пресеку III-III од тежине	δ'_0	$\delta'_0 = t * \gamma z$	[21]
Напон под темељном стопом	$\delta_{max III}$	$\delta_{max III-III} = \tau_{max II-II}$	[22]
Напон у пресеку III - III	$\delta_{III-III}$	$\delta_{III-III} = \delta_{max III-III} * \frac{b}{s}$	[23]
Моменат савијања у пресеку III -III	MIII - III	$MIII - III = (\delta_{III-III} - \delta'_0) * \frac{s^2}{2} + [(\delta_{III-III} - \delta'_0)] * \frac{s^2}{3}$	[24]
Отпорни моменат пресека III-III	WIII-III	$WIII-III = \frac{t^2}{6}$	[25]

Табела Г.3. Формуле за статички прорачун код преграда (Наставак)

Параметар	Ознака	Формула	Ред. бр.
Напон у пресеку III-III	δ_{\min}^{\max}	$\delta_{\min}^{\max} = \frac{+M_{III-III}}{-W_{III-III}} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	[26]
Контрола хоризонталног померања зида преграде у темељној стопи	N_2	$N_2 = V_2 = \dots$	[27]
	T_2	$T_2 = P = \dots \text{ kN/m}$	[28]
Коеф. сигурности против клизања	K_S	$K_S = \frac{N_2 * f}{T_2}$	[29]
Редукована нормална сила на косој равни	N'	$N' = N_2 * \cos w + T_2 * \sin w$	[30]
Редукована смичућа сила	T'	$T' = T_2 * \cos w - N_2 * \sin w$	[31]
Прорачун новог коеф. сигурности против смицања при закошеној стопи	K_s	$K_s = \frac{N' * f}{T'}$	[32]

Табела Г.4. Параметри за статички прорачун

Ознака	Опис параметра	Једначина где се користи
ρ_z	средња запреминска маса зида преграде, $\rho_z = 2400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 2,40 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$	[1]
g	убрзање земљине теже, $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	[1], [2]
h_k	корисна висина преграде [m]	[2-7], [12], [13]
ρ_{bv}	средња запреминска маса бујичне воде $\rho_{bv} = 1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1,10 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$	[2]
t	дубина темељне стопе [m]	[12],[13],[16], [21]
Δt	закошење $\Delta t = 0,30 \text{ m}$	[30], [31]
f	$f = 1,00$	[32]

ПРИЛОГ Д

Предмер и предрачун радова за изградњу преграда

Табела Д.1. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=3$ m, на ст. 0+141,10 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	107,52	121,55	13069,056
2	Израда преграде од бетона	m ³	150,03	16.800,00	2520504
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	3,04	15800	48032
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	30,55	394	12036,7
5	Израда фиксационог појаса	m ³	28,99	8.900,00	258011
6	Ископ за слапиште	m ³	81,34	394	32047,96
7	Израда слапишта	m ³	69,95	17.200,00	1203140
8	Израда постељице од шљунка	m ³	17,22	2.830,00	48732,6
9	Израда насипа	m ³	24,92	390	9718,8
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	27,76	121,55	3374,228
11	Израда ризберне од габиона	m ³	21,40	3.187,00	68201,8
12	Израда каменог набачаја	m ³	51,04	2.500,00	127600
			Укупна цена (дин)		4.344.468,14
			Укупна цена (EUR)		35.229,23

Табела Д.2. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=4$ m, на ст. 0+268,30 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	118,80	121,55	14440.14
2	Израда преграде од бетона	m ³	128,61	16.800,00	2160648
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,52	15800	24016
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	19,72	394	7769.68
5	Израда фиксационог појаса	m ³	12,24	8.900,00	108936
6	Ископ за слапиште	m ³	147,44	394	58091.36
7	Израда слапишта	m ³	66,72	17.200,00	1147584
8	Израда постељице од шљунка	m ³	11,12	2.830,00	31469.6
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	21,64	121,55	2630.342
11	Израда ризберне од габиона	m ³	15,08	3.187,00	48059.96
12	Израда каменог набачаја	m ³	57,30	2.500,00	143250
			Укупна цена (дин)		3.746.895.08
			Укупна цена (EUR)		30.383,52

Табела Д.3. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=5$ m, на ст. 0+587,60 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	173.74	121,55	21118.097
2	Израда преграде од бетона	m ³	211.12	16.800,00	3546816
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	2.49	15800	39342
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	17.99	394	7088.06
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10.49	8.900,00	93361
6	Ископ за слапиште	m ³	161.37	394	63579.78
7	Израда слапишта	m ³	51.21	17.200,00	880812
8	Израда постелице од шљунка	m ³	14.85	2.830,00	42025.5
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	33.44	121,55	4064.632
11	Израда ризберне од габиона	m ³	16.44	3.187,00	52394.28
12	Израда каменог набачаја	m ³	131.98	2.500,00	329950
			Укупна цена (дин)		5.080.551.35
			Укупна цена (EUR)		41.198,11

Табела Д.4. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+587,60 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	109,00	121,55	13248,95
2	Израда преграде од бетона	m ³	111,72	16.800,00	1876896
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	0,95	15800	15010
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	17.99	394	7088,06
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10.49	8.900,00	93361
6	Ископ за слапиште	m ³	152,41	394	60049,54
7	Израда слапишта	m ³	48,37	17.200,00	831964
8	Израда постелице од шљунка	m ³	9,45	2.830,00	26743,5
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	33,44	121,55	4064,632
11	Израда ризберне од габиона	m ³	16,44	3.187,00	52394,28
12	Израда каменог набачаја	m ³	21,16	2.500,00	52900
			Укупна цена (дин)		3.033.719,96
			Укупна цена (EUR)		24.600,39

Табела Д.5. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=3$ m, на ст. 0+587,60 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	112,85	121,55	13716,9175
2	Израда преграде од бетона	m ³	121,76	16.800,00	2045568
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	0,95	15800	15010
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	17,99	394	7088,06
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10,49	8.900,00	93361
6	Ископ за слапиште	m ³	152,41	394	60049,54
7	Израда слапишта	m ³	48,37	17.200,00	831964
8	Израда постелице од шљунка	m ³	9,45	2.830,00	26743,5
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	33,44	121,55	4064,632
11	Израда ризберне од габиона	m ³	16,44	3.187,00	52394,28
12	Израда каменог набачаја	m ³	33,28	2.500,00	83200
			Укупна цена (дин)		3.233.159,93
			Укупна цена (EUR)		26.217,64

Табела Д.6. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=5$ m, на ст. 0+718,8 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³		121,55	23699,819
2	Израда преграде од бетона	m ³	235,77	16.800,00	3960936
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	3,6	15800	56880
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	23,89	394	9412,66
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10,85	8.900,00	96565
6	Ископ за слапиште	m ³	257,58	394	101486,52
7	Израда слапишта	m ³	87,48	17.200,00	1504656
8	Израда постелице од шљунка	m ³	10,80	2.830,00	30564
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	49,16	121,55	5975,398
11	Израда ризберне од габиона	m ³	16,60	3.187,00	52904,2
12	Израда каменог набачаја	m ³	90,66	2.500,00	226650
			Укупна цена (дин)		6.069.729,60
			Укупна цена (EUR)		49.219,34

Табела Д.7. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+718,8 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	110,25	121,55	13400,8875
2	Израда преграде од бетона	m ³	100,49	16.800,00	1688232
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	0,97	15800	15326
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	21,50	394	8471
5	Израда фиксационог појаса	m ³	9,77	8.900,00	86953
6	Ископ за слапиште	m ³	170,90	394	67334,6
7	Израда слапишта	m ³	80,64	17.200,00	1387008
8	Израда постелице од шљунка	m ³	9,45	2.830,00	26743,5
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	37,08	121,55	4507,074
11	Израда ризберне од габиона	m ³	14,56	3.187,00	46402,72
12	Израда каменог набачаја	m ³	14,40	2.500,00	36000
			Укупна цена (дин)		3.380.378,78
			Укупна цена (EUR)		27.411,44

Табела Д.8. Преграда у Гужваничком потоку, $h_k=3$ m, на ст. 0+718,8 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	115,09	121,55	13989,1895
2	Израда преграде од бетона	m ³	108,98	16.800,00	1830864
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	0,97	15800	15326
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	21,50	394	8471
5	Израда фиксационог појаса	m ³	9,77	8.900,00	86953
6	Ископ за слапиште	m ³	170,90	394	67334,6
7	Израда слапишта	m ³	80,64	17.200,00	1387008
8	Израда постелице од шљунка	m ³	9,45	2.830,00	26743,5
9	Израда насипа	m ³	0,00	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	37,08	121,55	4507,074
11	Израда ризберне од габиона	m ³	14,56	3.187,00	46402,72
12	Израда каменог набачаја	m ³	23,21	2.500,00	58025
			Укупна цена (дин)		3.545.624,08
			Укупна цена (EUR)		28.751,41

Табела Д.9. Преграда бр .1 у јарузи Рупчина, $h_k=3$ m, на ст. 0+166,90 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	51,85	121,55	6302,3675
2	Израда преграде од бетона	m ³	105,11	16.800	1765848
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,12	15800	17696
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	13,61	394	5362,34
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10,39	8.900	92471
6	Ископ за слапиште	m ³	27,90	394	10992,6
7	Израда слапишта	m ³	17,90	17.200	307880
8	Израда постељице од шљунка	m ³	2,18	2.830	6169,4
9	Израда насипа	m ³	6,85	390	2671,5
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	16,88	121,55	2051,764
11	Израда ризберне од габиона	m ³	9,80	3.187	31232,6
12	Израда каменог набачаја	m ³	55,30	2.500	138250
			Укупна цена (дин)		2.386.927,57
			Укупна цена (EUR)		19.355,56

Табела Д.10. Преграда бр. 1 у јарузи Рупчина, $kh=2,5$ m, на ст. 0+166,90 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	44,17	121,55	5368,8635
2	Израда преграде од бетона	m ³	62,22	16.800	1045296
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,12	15800	17696
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	13,61	394	5362,34
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10,39	8.900	92471
6	Ископ за слапиште	m ³	27,90	394	10992,6
7	Израда слапишта	m ³	17,90	17.200	307880
8	Израда постељице од шљунка	m ³	2,18	2.830	6169,4
9	Израда насипа	m ³	6,85	390	2671,5
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	16,88	121,55	2051,764
11	Израда ризберне од габиона	m ³	9,80	3.187	31232,6
12	Израда каменог набачаја	m ³	42,20	2.500	105500
			Укупна цена (дин)		1.632.692,07
			Укупна цена (EUR)		13.329,48

Табела Д.11. Преграда бр. 2 у јарузи Рупчина, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+201,20 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	51,48	121,55	6257,394
2	Израда преграде од бетона	m ³	52,79	16.800,00	886872
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,05	15800	16590
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	12,58	394	4956,52
5	Израда фиксационог појаса	m ³	6,05	8.900,00	53845
6	Ископ за слапиште	m ³	63,70	394	25097,8
7	Израда слапишта	m ³	18,35	17.200,00	315620
8	Израда постељице од шљунка	m ³	2,55	2.830,00	7216,5
9	Израда насипа	m ³	0	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	39,36	121,55	4784,208
11	Израда ризберне од габиона	m ³	11,44	3.187,00	36459,28
12	Израда каменог набачаја	m ³	25,5	2.500,00	63750
Укупна цена (дин)					1.421.448,70
Укупна цена (EUR)					11.526,51

Табела Д.12. Преграда бр. 5 у јарузи Рупчина, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+326,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	37,13	121,55	4513,1515
2	Израда преграде од бетона	m ³	41,36	16.800,00	694848
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,10	15800	17380
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	9,69	394	3817,86
5	Израда фиксационог појаса	m ³	6,18	8.900,00	55002
6	Ископ за слапиште	m ³	37,55	394	14794,7
7	Израда слапишта	m ³	25,60	17.200,00	440320
8	Израда постељице од шљунка	m ³	2,25	2.830,00	6367,5
9	Израда насипа	m ³	1,85	390	721,5
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	21,40	121,55	2601,17
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,24	3.187,00	32634,88
12	Израда каменог набачаја	m ³	22,36	2.500,00	55900
Укупна цена (дин)					1.328.900,76
Укупна цена (EUR)					17.636,74

Табела Д.13. Преграда бр. 5 у јарузи Рупчина, $h_k=3$ m, на ст. 0+326,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	46,67	121,55	5672,7385
2	Израда преграде од бетона	m ³	55,05	16.800,00	924840
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,10	15800	17380
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	9,69	394	3817,86
5	Израда фиксационог појаса	m ³	6,18	8.900,00	55002
6	Ископ за слапиште	m ³	39,8	394	15681,2
7	Израда слапишта	m ³	19,15	17.200,00	329380
8	Израда постелице од сљунка	m ³	2,25	2.830,00	6367,5
9	Израда насипа	m ³	1,5	390	585
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	21,40	121,55	2601,17
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,24	3.187,00	32634,88
12	Израда каменог набачаја	m ³	24,36	2.500,00	60900
			Укупна цена (дин)		1.454.862,35
			Укупна цена (EUR)		11.797,46

Табела Д.14. Преграда бр. 1 у Виривијевића потоку, $h_k=4$ m на ст. 0+090,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна јед. цена
1	Ископ земље III и IV за темељ преграде	m ³	66,04	121,55	8027,162
2	Израда преграде од бетона	m ³	73,33	16.800,00	1231944
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,56	15800	24648
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	11,35	394,00	4471,9
5	Израда фиксационог појаса	m ³	8,04	8.900,00	71556
6	Ископ за слапиште	m ³	92,88	394,00	36594,72
7	Израда слапишта	m ³	46,88	17.200,00	806336
8	Израда постелице од сљунка	m ³	4,08	2.830,00	11546,4
9	Израда насипа	m ³	0	390,00	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	20,00	121,55	2431
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,28	3.187,50	32762,36
12	Израда каменог набачаја	m ³	43,26	2.500,00	108150
			Укупна цена (дин)		2.338.467,54
			Укупна цена (EUR)		18.962,60

Табела Д.15. Преграда бр. 2 у Виривијевића потоку, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+276,50 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна јед. цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	36,68	121.55	4458,454
2	Израда преграде од бетона	m ³	46,20	16.800,00	776160
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,46	15800	23068
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	11,40	394,00	4491,6
5	Израда фиксационог појаса	m ³	8,19	8.900,00	72891
6	Ископ за слапиште	m ³	44,94	394,00	17706,36
7	Израда слапишта	m ³	33,81	17.200,00	581532
8	Израда постељице од шљунка	m ³	3,57	2.830,00	10103,1
9	Израда насипа	m ³	4,48	390,00	1747,2
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	15,20	121,55	1847,56
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,20	3.187,50	32507,4
12	Израда каменог набачаја	m ³	28,27	2.500,00	70675
			Укупна цена (дин)		1.597.187,67
			Укупна цена (EUR)		12.951,57

Табела Д.16. Преграда бр. 2 у Виривијевића потоку, $h_k= 3$ m, на ст.0+276,50 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна јед. цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	44,17	121.55	5368,8635
2	Израда преграде од бетона	m ³	72,68	16.800,00	1221024
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,46	15800	23068
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	11,40	394,00	4491,6
5	Израда фиксационог појаса	m ³	8,19	8.900,00	72891
6	Ископ за слапиште	m ³	52,08	394,00	20519,52
7	Израда слапишта	m ³	40,72	17.200,00	700384
8	Израда постељице од шљунка	m ³	4,08	2.830,00	11546,4
9	Израда насипа	m ³	4,98	390,00	1942,2
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	15,16	121,55	1842,698
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,20	3.187,50	32507,4
12	Израда каменог набачаја	m ³	31,69	2.500,00	79225
			Укупна цена (дин)		2.174.810,68
			Укупна цена (EUR)		17.635,07

Табела Д.17. Преграда бр. 3 у Виривијевића потоку, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+358,00 m

Позиција	Опис ктивности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна јед. цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	53,53	121.55	6506,5715
2	Израда преграде од бетона	m ³	42,78	16.800	718704
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,43	15800	22594
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	10,74	394	4231,56
5	Израда фиксационог појаса	m ³	7,12	8.900	63368
6	Ископ за слапиште	m ³	57,05	394	22477,7
7	Израда слапишта	m ³	33,32	17.200	573104
8	Израда постељице од шљунка	m ³	3,64	2.830	10301,2
9	Израда насипа	m ³	0	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	17,56	121,55	2134,418
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,00	3.187,50	31870
12	Израда каменог набачаја	m ³	20,25	2.500	50625
			Укупна цена (дин)		1.505.916,45
			Укупна цена (EUR)		12.211,45

Табела Д.18. Преграда бр. 4 у Виривијевића потоку, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+420,00 m

Позиција	Опис ктивности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна јед. цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	44,94	121.55	5462,457
2	Израда преграде од бетона	m ³	62,77	16.800,00	1054536
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,54	15800	24332
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	14,78	394,00	5823,32
5	Израда фиксационог појаса	m ³	10,23	8.900,00	91047
6	Ископ за слапиште	m ³	54,18	394,00	21346,92
7	Израда слапишта	m ³	33,32	17.200,00	573104
8	Израда постељице од шљунка	m ³	3,62	2.830,00	10244,6
9	Израда насипа	m ³	35,32	390,00	13774,8
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	17,72	121,55	2153,866
11	Израда ризберне од габиона	m ³	10,04	3.187,50	31997,48
12	Израда каменог набачаја	m ³	20,90	2.500,00	52250
			Укупна цена (дин)		1.886.072,44
			Укупна цена (EUR)		15.294,13

Табела Д.19. Преграда бр. 1 у Арскичком потоку, $h_k=4$ m, на ст. 0+245,50 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	65,50	121,55	7961,525
2	Израда преграде од бетона	m ³	105,67	16.800	1775256
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	1,99	15800	31442
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	9,06	394	3569,64
5	Израда фиксационог појаса	m ³	8,89	8.900	79121
6	Ископ за слапиште	m ³	76,32	394	30070,08
7	Израда слапишта	m ³	63,98	17.200	1100456
8	Израда постељице од шљунка	m ³	5,60	2.830	15848
9	Израда насипа	m ³	0	390	0
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	17,76	121,55	2158,728
11	Израда ризберне од габиона	m ³	15,32	3.187	48824,84
12	Израда каменог набачаја	m ³	78,49	2.500	196225
			Укупна цена (дин)		3.290.932,81
			Укупна цена (EUR)		26.686,12

Табела Д.20. Преграда бр. 4 у Жуњској реци, $h_k=4$ m на ст. 0+336,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	242,32	121,55	29453,996
2	Израда преграде од бетона	m ³	345,59	16.800	5805912
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	5,88	15800	92904
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	45,38	394	17879,72
5	Израда фиксационог појаса	m ³	24,87	8.900,00	221343
6	Ископ за слапиште	m ³	456,84	394	179994,96
7	Израда слапишта	m ³	218,43	17.200	3756996
8	Израда постељице од шљунка	m ³	21,78	2.830	61637,4
9	Израда насипа	m ³	16,20	390	6318
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	125,88	121,55	15300,714
11	Израда ризберне од габиона	m ³	48,34	3.187	154059,58
12	Израда каменог набачаја	m ³	83,46	2.500	208650
			Укупна цена (дин)		10.550.449,37
			Укупна цена (EUR)		85.553,43

Табела Д.21. Преграда бр. 5 у Жуњској реци, $h_k=2,5$ m, на ст. 0+956,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	70,84	121,55	8610,602
2	Израда преграде од бетона	m ³	103,47	16.800,00	1738296
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	4,00	15800	63200
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	19,03	394	7497,82
5	Израда фиксационог појаса	m ³	21,24	8.900,00	189036
6	Ископ за слапиште	m ³	151,74	394	59785,56
7	Израда слапишта	m ³	135,54	17.200,00	2331288
8	Израда постељице од шљунка	m ³	14,94	2.830,00	42280,2
9	Израда насипа	m ³	67,5	390	26325
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	19,80	121,55	2406,69
11	Израда ризберне од габиона	m ³	33,48	3.187,00	106700,76
12	Израда каменог набачаја	m ³	65,13	2.500,00	162825
			Укупна цена (дин)		4.738.251,63
			Укупна цена (EUR)		38.422,41

Табела Д.22. Преграда бр. 7 у Жуњској реци, $h_k=3$ m, на ст. 2+517,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	189,77	121,55	23066,5435
2	Израда преграде од бетона	m ³	349,75	16.800	5875800
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	6,00	15800	94800
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	39,74	394	15657,56
5	Израда фиксационог појаса	m ³	45,46	8.900	404594
6	Ископ за слапиште	m ³	177,52	394	69942,88
7	Израда слапишта	m ³	134,75	17.200	2317700
8	Израда постељице од шљунка	m ³	16,10	2.830	45563
9	Израда насипа	m ³	57,61	390	22467,9
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	51,96	121,55	6315,738
11	Израда ризберне од габиона	m ³	46,24	3.187	147366,88
12	Израда каменог набачаја	m ³	201,85	2.500	504625
			Укупна цена (дин)		9.527.899,50
			Укупна цена (EUR)		77.261,59

Табела Д.23. Преграда бр.7 у Жуњској реци, $h_k=2,5$ m, на ст. 2+517,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	154,19	121,55	18741,7945
2	Израда преграде од бетона	m ³	287,87	16.800,00	4836216
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	6,00	15800	94800
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	39,74	394	15657,56
5	Израда фиксационог појаса	m ³	45,46	8.900,00	404594
6	Ископ за слапиште	m ³	177,52	394	69942,88
7	Израда слапишта	m ³	134,75	17.200,00	2317700
8	Израда постељице од шљунка	m ³	16,10	2.830,00	45563
9	Израда насипа	m ³	57,61	390	22467,9
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	51,96	121,55	6315,738
11	Израда ризберне од габиона	m ³	46,24	3.187,00	147366,88
12	Израда каменог набачаја	m ³	157,70	2.500,00	394250
			Укупна цена (дин)		8.373.615,75
			Укупна цена (EUR)		67.901,52

Табела Д.24. Преграда бр.8 у Жуњској реци, $h_k=4$ m, на ст. 3+3580,00 m

Позиција	Опис активности	Јед. мере	Количина	Јед. цена	Укупна цена
1	Ископ земље за темељ преграде	m ³	145,21	121,55	17650,2755
2	Израда преграде од бетона	m ³	270,74	16.800,00	4548432
3	Израда венца на преливу од КЦМ	m ³	3,79	15800	59882
4	Ископ за фиксациони појас	m ³	21,98	394	8660,12
5	Израда фиксационог појаса	m ³	24,74	8.900,00	220186
6	Ископ за слапиште	m ³	118,56	394	46712,64
7	Израда слапишта	m ³	124,48	17.200,00	2141056
8	Израда постељице од шљунка	m ³	12,56	2.830,00	35544,8
9	Израда насипа	m ³	148,56	390	57938,4
10	Ископ за ризберну од габиона	m ³	16,88	121,55	2051,764
11	Израда ризберне од габиона	m ³	32,72	3.187,00	104278,64
12	Израда каменог набачаја	m ³	220,91	2.500,00	552275
			Укупна цена (дин)		7.794.667,64
			Укупна цена (EUR)		63.206,84

БИОГРАФИЈА

Тијана Вулевић је рођена 30. августа 1984. године у Краљеву, где је завршила основну школу и Гимназију. Основне студије на Шумарском факултету у Београду је уписала 2003. године, Одсек за заштиту од ерозије и уређење бујица. Дипломирала је 2009. године са просечном оценом 9,43. Исте године је уписала докторске студије, Одсек за еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса.

На Шумарском факултету у Београду је запослена од 2011. године на пројекту "Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину - праћење утицаја, адаптација и ублажавање" као стипендиста Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије у звању истраживач-приправник, а од 2012. године као истраживач-сарадник.

У звање асистента изабрана је 2013. године за ужу научну област Ерозија и конзервација земљишта и вода, за наставне предмете на основним студијама: Механизација у противерозионим радовима, Организација противерозионих радова и Управљање пројектима у пејзажној архитектури. Поред наведених, асистент је и на предметима мастер академских студија: Системи за подршку одлучивању у управљању земљишним и водним ресурсима, Управљање квалитетом у заштити земљишних и водних ресурса и Управљање пројектима за заштиту природних ресурса.

Учествовала је на више домаћих и међународних конференција и објавила је укупно 13 радова, штампаних у домаћим и међународним часописима и зборницима радова, од чега су три рада у часописима са SCI листе. За рад излаган на међународној конференцији "The 3rd World Conference of World Association of Soil and Water Conservation", одржане у августу 2016. године у Београду, добитник је награде "Outstanding Youth Paper Award 2016".

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Тијана Вулевић

Број индекса: 2009/20

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије

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

У Београду, _____

Потпис аутора

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Тијана Вулевић**

Број индекса: **2009/20**

Студијски програм: Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса

Наслов рада: ***Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије***

Ментор: **проф. др Нада Драговић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарски факултет**

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

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

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

У Београду, _____

Потпис аутора

Изјава о коришћењу

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

Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије

која је моје ауторско дело.

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

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

1. Ауторство (CC BY)
 2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
 3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)**
 4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
 5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
 6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)
- (Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, _____

Потпис аутора

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.