

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ  
Број:03-1022/3  
Датум:21.04.2017.

На основу члана 130. Статута Шумарског факултета а у вези члана 30. и члана 21. Правилника о докторским студијама, Декан Шумарског факултета доноси следећу

### О Д Л У К У

Израђена докторска дисертација дипл.инж. Тијане Вулевић под насловом:

“Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије”

са Извештајем Комисије ставља се на увид јавности у Библиотеци и интернет страници Факултета са роком од **30 дана**.

Одлуку доставити: Библиотеци Факултета, истаћи на огласну таблу и сајт факултета, писарници, Служби за наставу и студентска питања.

ДЕКАН  
Проф.др РАТКО РИСТИЋ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Број:  
Датум:

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ШУМАРСКОГ ФАКУЛТЕТА

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену израђене докторске дисертације дипл. инж. Тијане Вулевић, под насловом: Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије

### I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

**1. Орган који је именовано (изабрао) комисију и датум:**

Наставно-научно веће Шумарског факултета, одлуком бр. 01-2/29, од 29.03.2017. год., именовало је Комисију за оцену израђене докторске дисертације дипл. инж. Тијане Вулевић

**2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датум избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:**

1. др **Нада Драговић**, редовни професор Универзитета у Београду Шумарског факултета; ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода; датум избора: 14.12.2011. године
2. др **Ратко Ристић**, редовни професор Универзитета у Београду Шумарског факултета; ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода; датум избора: 26.12.2011. године
3. др **Миодраг Златић**, редовни професор Универзитета у Београду Шумарског факултета; ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода; датум избора: 29.06.2005. године
4. др **Мирјана Тодосијевић**, доцент Универзитета у Београду Шумарског факултета; ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода; датум избора: 06.12.2012. године
5. др **Милија Сукновић**, редовни професор Универзитета у Београду Факултета организационих наука; ужа научна област: Моделирање пословних система и пословно одлучивање; датум избора: 01.01.2012. године

### II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

**Тијана, Зоран, Вулевић**

2. Датум и место рођења, општина, држава:  
**30.08.1984., Краљево, Србија**

Датум одбране, место и назив магистарске тезе/мастер рада:  
Научна област из које је стечено академско звање магистра наука/мастера:

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторска дисертација дипл. инж. Тијане Вулевић, под насловом: „Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије” обухвата укупно 273 страна, од којих је 226 страна текста, 42 стране прилога и 5 страна на којима се налазе биографија кандидаткиње на српском језику, изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

Докторска дисертација садржи 187 табела, 29 слика и 5 прилога. Списак коришћене домаће и иностране литературе обухвата 206 библиографских јединица.

На почетку рада су дате кључне документационе информације, резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима.

Текст дисертације је подељен у 8 поглавља, која су структурирана у посебне логички повезане целине:

1. УВОД (Стр. 1-4)
  - 1.1. Предмет истраживања
  - 1.2. Подручје истраживања
  - 1.3. Циљ истраживања
  - 1.4. Полазне хипотезе
  - 1.5. Општи метод и структура рада
2. ОДЛУЧИВАЊЕ, ПРИСТУП ОДЛУЧИВАЊУ И МЕТОДЕ ОДЛУЧИВАЊА (Стр. 5-21)
  - 2.1. Појам и приступи одлучивању
  - 2.2. Поступак решавања проблема
  - 2.3. Увод у вишекритеријумско одлучивање
  - 2.4. Класификација и избор метода вишекритеријумског одлучивања
  - 2.5. Вишекритеријумско одлучивање и заштита земљишних и водних ресурса од деградације
    - 2.5.1. Ерозија земљишта и бујичне поплаве као видови деградације
    - 2.5.2. Вишекритеријумско одлучивање и заштита од ерозије и бујица
3. МЕТОД РАДА (Стр. 22-53)
  - 3.1 Методе корисности
    - 3.1.1. Метода аналитички хијерархијски процес
    - 3.1.2. Метода адитивних тежинских фактора
  - 3.2. Методе рангирања
    - 3.2.1. PROMETHEE метода
    - 3.2.2. ELECTRE метода

- 3.3. Методе за одређивање тежина критеријума
  - 3.3.1. Објективне методе за одређивање тежине критеријума
  - 3.3.2. Субјективне методе за одређивање тежине критеријума
  - 3.3.3. Интегралне методе за одређивање тежина критеријума
- 3.4. Методе вишекритеријумске оптимизације
  - 3.4.1. Метода компромиса
  - 3.4.2. Метод тежинских коефицијената
  - 3.5. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије и бујица
    - 3.5.1. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије
    - 3.5.2. Идентификација најугроженијих ("hot spot") површина
    - 3.5.3. Моделирање проблема одлучивања у области заштите од бујица
    - 3.5.4. Поставка проблема оптимизације структуре начина коришћења земљишта
    - 3.5.5. Оптимизација примене конзервационих мера (тераса)
- 4. МАТЕРИЈАЛ ИСТРАЖИВАЊА (Стр. 54-70)
  - 4.1. Карактеристике истраживаних подручја
    - 4.1.1. Карактеристике слива Топчидерске реке
    - 4.1.2. Карактеристике слива реке Топлице
    - 4.1.3. Карактеристике слива реке Расине
- 5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА (Стр. 71-189)
  - 5.1. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од ерозије земљишта
    - 5.1.1. Критеријуми за процену угрожености ерозијом земљишта
    - 5.1.2. Тежина критеријума за процену угрожености ерозијом земљишта
    - 5.1.3. Рангирање подсливова према степену угрожености ерозијом земљишта
    - 5.1.4. Идентификација најугроженијих подсливова и "hot spot" површина према степену угрожености од ерозије земљишта
  - 5.2. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од бујичних поплава
    - 5.2.1. Критеријуми за процену угрожености подсливова од бујичних поплава
    - 5.2.2. Тежине критеријума за рангирање подсливова према степену угрожености од бујичних поплава
    - 5.2.3. Рангирање подсливова према опасности од бујичних поплава
    - 5.2.4. Идентификација подсливова који су најугроженији од бујичних поплава
    - 5.2.5. Евидентирање стања преграда и дефинисање приоритета за примену мера превенције
    - 5.2.6. Избор оптималног система заштите бујичног слива изградњом преграда
- 6. ДИСКУСИЈА (Стр. 190-201)
- 7. ЗАКЉУЧАК (Стр. 202-205)
- 8. ЛИТЕРАТУРА (Стр. 206-226)
- ПРИЛОГ А (Стр. 227 -234)
- ПРИЛОГ Б (Стр. 235-242)
- ПРИЛОГ В (Стр. 243-251)
- ПРИЛОГ Г (Стр. 252-255)
- ПРИЛОГ Д (Стр. 256-268)

На крају је дата биографија као и следеће изјаве: Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и Изјава о коришћењу.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Поглавље **1. Увод** се састоји од пет потпоглавља. У потпоглављу **1.1. Предмет истраживања** кандидаткиња наводи да су брдско-планинска подручја Србије према конфигурацији терена, геолошкој подлози, климатским приликама и хидрографској мрежи врло повољно тло за развој ерозионих процеса који разарају земљиште и ремете водни режим. Указано је на потребу и значај примене метода вишекритеријумског одлучивања (вишекритеријумске анализе и оптимизације) у области заштите подручја од деструктивног дејства ерозије и бујичних поплава. Посебно је истакнут значај примене наведених метода за: идентификацију (у интеграцији са Географским информационом системом - ГИС) и рангирање подсливова који су угрожени ерозијом земљишта и бујичним поплавама, одлучивање о избору ефикасног система преграда (као попречних објеката у кориту бујичних водотока) и локације за изградњу ових објеката, оптимизацију начина коришћења земљишта и оптимизација изградње тераса као конзервационе мере.

У потпоглављу **1.2. Подручје истраживања**, кандидаткиња наводи сливове у централној Србији изабране за истраживања, и то: слив Топчидерске реке, слив реке Топлице и слив реке Расине. Избор сливова извршен је на основу обима претходних истраживања, као и потребе за даљом редукацијом ерозије земљишта и опасности од бујичних поплава.

У потпоглављу **1.3. Циљеви истраживања**, кандидаткиња је дефинисала следеће циљеве:

- 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).

У потпоглављу **1.4. Полазне хипотезе**, кандидаткиња дефинише следеће 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 по 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.

У потпоглављу **1.5. Општи метод и структура рада**, кандидаткиња приказује структуру рада и основни методолошки приступ коришћен у раду са посебним освртом на софтверске апликације које је користила у раду.

У оквиру поглавља **2. Одлучивање, приступ одлучивању и методе одлучивања**, кандидаткиња указује на постојеће приступе одлучивања који омогућавају пронажење оптималних или најефикаснијих решења проблема одлучивања (потпоглавље **2.1. Појам и пристипи одлучивању**), наводи основне кораке решавања проблема (потпоглавље **2.2. Поступак решавања проблема**) и карактеристике метода вишекритеријумског одлучивања које су у ту сврху примењене (потпоглавље **2.3. Увод у вишекритеријумско одлучивање**). У потпоглављу **2.4. Класификација и избор метода вишекритеријумског одлучивања**, наводи бројне класификације метода вишекритеријумског одлучивања, где се као основна може усвојити подела метода према природи проблема одлучивања на: методе вишециљног одлучивања и методе вишеатрибутивног одлучивања или вишекритеријумске анализе. Проблеми вишециљног одлучивања се класификују у континуалне проблеме одлучивања, од којих се поступак одређивања оптималног решења заснива се на оптимизацији више, најчешће конфликтних функција циља, у условима ограничености ресурса. Код вишекритеријумске анализе карактеристично је формирање евалуационе табеле или матрице одлучивања која садржи податке о вредностима критеријума за дате алтернативе и не трага се за оптималним већ компромисним решењем. Кандидаткиња указује на разлике између наведених метода и истиче да избор методе зависи од бројних фактора: 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. У потпоглављу **2.5. Вишекритеријумско одлучивање и заштита земљишних и водних ресурса од деградације**, кандидаткиња указује на значај проучавања ерозије земљишта и бујичних поплава у Србији, с обзиром на заступљеност и деструктивност процеса, као и на вишекритеријумску природу проблема заштите подручја угроженог ерозијом земљишта и бујичним поплавама. Између осталог, истиче потребу за дефинисањем размере истраживања (домена истраживања) у примени вишекритеријумског одлучивања, а потом и избор модела и критеријума који ће се користити у зависности од задатог циља, који се може односити на: приоритизацију површина по угрожености ерозијом земљишта, односно бујичним поплавама, и избор оптималних или најприхватљивијих мера и радова заштите од ових процеса. Такође, приказан је преглед светске литературе која се односи на примену метода вишекритеријумске анализе у области конзервације земљишних и водних ресурса, посебно АНР методе 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). Указано је и на широку примену PROMETHEE и ELECTRE метода, које су у области заштите од ерозије коришћене за: рангирање подсливова по угрожености ерозијом (Vulevic, Dragovic,

2017), избор најбоље алтернативе заштите слива угроженог ерозијом (Grau et al., 2010), планирање начина коришћења земљишта (Акрингетал., 2004), процену ризика од ерозије земљишта на нивоу парцеле (Macaryetal., 2010). Указано је на још већу примену ових метода у области управљања водним ресурсима и дат је преглед најзначајније литературе. Кандидаткиња наглашава да су методе вишекритеријумског одлучивања и оптимизације, код нас 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), 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 (Сrnkovic et al., 2016) и 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 (Markovic, 2012; Markovic, 2013; Dragovic, Vulevic, 2015; Vulević, Dragović, 2017), што је додатан подстицај за примену ових метода.

У поглављу **3. Метод рада**, као део потпоглавља **3.1. Методе корисности** и **3.2. Методе рангирања**, приказане су методе коришћене у раду, подељене на: методе корисности (метода аналитички хијерархијски процес – АНР, метода адитивних тежинских фактора-WSM) и методе рангирања (PROMETHEE и ELECTRE). Заједничко за све методе је да као излаз дају редослед рангирања акција (алтернатива), а као улаз захтевају дефинисање алтернатива одлучивања, критеријума за евалуацију алтернатива, одређивање тежина (значаја) критеријума и формирање евалуационе табеле, односно матрице одлучивања. Поред описа наведених метода, у потпоглављу **3.3. Методе за одређивање тежине критеријума**, дате су и методе коришћене за одређивање тежина критеријума и то: објективне методе (ENTROPY метода и метод стандардне девијације), субјективне методе (метода поређења у паровима) и методе које подразумевају интеграцију два наведена приступа (комбиноване тежине по Jahan, Edwards, 2013). Потпоглавље **3.4. Методе вишекритеријумске оптимизације**, обухвата опис метода где се проблем одлучивања решава формулисањем две или више функције циља које се истовремено оптимизирају (максимизирају или минимизирају). Описане су две методе вишециљне оптимизације коришћене у раду: метода компромиса и метод тежинских коефицијената. **Моделирање проблема одлучивања у области заштите од ерозије и бујица** је приказано у потпоглављу **3.5**, где је помоћу АНР методе, у виду хијерархије приказана структура проблема одлучивања, где је на првом нивоу дефинисан циљ, на другом критеријуми, а на трећем нивоу алтернативе. Кандидаткиња наводи да се у области заштите од ерозије и бујица, приликом одлучивања о подручју које се штити, као основни циљ 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 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 који су у раду генерисани применом ArcHydro алгоритма у ArcMap-у 10.2.2., применом процедуре објашњене у радовима Youssefetal (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, површине), 11 (у сливу Топлице, површине) и 19 (у сливу Расине, површине).

За постизање циља који се односи на утврђивање редоследа угрожености површина (подсливова) како би се постигла ефикасна заштита од ерозије земљишта, као критеријуми су коришћени параметру RUSLE методе (ревизије Универзалне једначине губитака земљишта): фактор ерозионе снаге кише, фактор еродибилности земљишта, фактор дужине и нагиба падине и фактор биљног покривача. Усвојена вредност фактора примене конзервационих мера у раду износи 1, због недостатка података о примени конзервационих мера и радова. У раду је, поред рангирања површина по угрожености ерозијом, предвиђа и идентификација најугроженијих површина ерозијом земљишта ("hot spot" површина), класификовањем вредности губитака земљишта у категорије угрожености, које се приказују просторно и указују на локацију која захтева примену одређених мера и/или радова.

Код циља који је дефинисан као утврђивање редоследа подсливова према угрожености од бујичних поплава, као критеријуми су коришћени морфометријски параметри који одражавају потенцијал слива за појаву бујичних поплава (познати у домаћој литератури као хидрографски и геоморфолошких параметари). Кандидаткиња је на основу прегледа домаће и стране литературе изабрала десет критеријума који су коришћени у раду: површина (под)слива (K1), густина хидрографске мреже (K2), коефицијент облика (под)слива (K3), релативни пад тока (K4), средњи пад (под)слива (K5), стопа бифуркације (K6), текстурна стопа (K7), учесталост тока (K8), коефицијент ерозионе енергије рељефа (K9) и геоморфолошко-ерозиони коефицијент (K10).

У раду је предвиђено и моделирање проблема одлучивања са аспекта заштите бујичног слива изградњом преграда, где су предвиђене следеће анализе:

- рангирање преграда или профила на којима се граде, применом критеријума: цена изградње објекта, количина задржаног наноса, цена  $1\text{m}^3$  задржаног наноса, дужина заплава и утицај локације изражен односом припремних и главних радова, и
- рангирање токова (сливова) за извођење радова, применом критеријума: цена радова (техничких, биолошких, биотехничких), број преграда као објеката који утичу на животну средину, специфична продукција наноса у сливу, количина задржаног наноса, цена  $1\text{m}^3$  задржаног наноса и угроженост саобраћајница.

У оквиру овог поглавља дата је и поставка проблема оптимизације структуре начина коришћења земљишта као и критеријуми који се могу користити за доношење одлуке о пренамени површина (вредност губитака земљишта под одређеним начином коришћења, нагиб и близина саобраћајница).

У поглављу **4. Материјал истраживања**, кандидаткиња приказује карактеристике истраживаних подручја: слива Топчидерске реке (десне притоке реке Саве, сливне површине  $148,14\text{ km}^2$ ) слива реке Топлице (леве притоке Јужне Мораве, сливне површине  $348,2\text{ km}^2$ , узводно од бране „Селова“) и слива реке Расине (десне притоке Западне Мораве, сливне површине  $982,48\text{ km}^2$ ). Поред општих карактеристика слива, дате су климатске, геолошке и педолошке карактеристике, као и типови вегетационог покривача.



У поглављу 5. Резултати истраживања, потпоглављу 5.1. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености ерозијом земљишта, кандидаткиња приказује вредности критеријума RUSLE методе за подсливове издвојене у сливовима Топчидерске реке, реке Топлице и реке Расине. У наредном потпоглављу, наводи да су тежине критеријума основни параметар који је потребно дефинисати пре спровођења процедуре рангирања применом метода вишекритеријумске анализе, где су:

- за субјективне тежине критеријума RUSLE методе усвојене подједнаке тежине, како је предвиђено и самом RUSLE методом, односно вредност 0,25 (значај сваког критеријума је по 25%).
- субјективне тежине критеријума одређене су применом методе поређења у паровима; објективне тежине применом стандардне девијације; и корелационе тежине помоћу Pearsonov-ог коефицијента корелације), и њихове вредности зависе од вредности параметра  $\lambda$ . Усвојен је значај субјективних тежина 30% тј.  $\lambda=1/3$ , при чему је значај објективних и корелационих тежина укупно 70%, односно по  $(1-1/3)/2$ .

Дате су вредности комбинованих тежина критеријума за три истраживана слива, а потом су приказани резултати рангирања подсливова применом метода WSM, PROMETHEE II и ELECTRE II. Код WSM методе, приказане су матрице са стандардизованим вредностима елемената почетне матрице (вредности RUSLE критеријума за подсливове) и резултати рангирања. Код примене PROMETHEE II методе, одређени су прагови индиференције и преференције, и приказане су вредности позитивног, негативног и чистог тока акција, тј. подсливова), као и и ранг акција у случају избора линеарне функције преференције тип III и тип V. Резултати примене ELECTRE II методе су код Топчидерске реке приказани кроз следеће матрице табеларно: нормализована матрица одлучивања, тежинска нормализована матрица, матрица сагласности, матрица несагласности, матрица агрегатне доминације, и директни, индиректни и коначан ранг подсливова. Код наредна два слива (слив река Топлице и Расине), приказани су само основни кораци методе: тежинска нормализована матрица, матрица агрегатне доминације и резултати рангирања. Приказани су и резултати поређења ранга добијени применом све три методе вишекритеријумске анализе, где је степен корелације ранга утврђен применом Спирмановог коефицијента корелације. Највећи степен корелације ранга имају WSM и PROMETHEE II метода, који износи преко 0,85 у сва три сливна подручја. Исти поступак рангирања и приказ резултата је извршен и у случају примене комбинованих тежина критеријума (Прилог А).

Након рангирања подсливова, извршена је идентификација најугроженијих подсливова и "hot spot" површина по угрожености ерозијом земљишта. Према добијеним резултатима као најугроженији подсливови се могу идентификовати подслив Т8 у сливу Топчидерске реке, подслив С3 у сливу реке Топлице, и подслив Р15 у сливу реке Расине. Идентификација "hot spot" површина је извршена класификовањем губитака земљишта у категорије угрожености на основу дефинисаних интервала (слаба угроженост – губици  $< 5 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{l}\cdot\text{god}^{-1}$ , умерена –  $5\text{-}10 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{l}\cdot\text{god}^{-1}$ , ..., до интензивне угрожености, за губитке  $>40 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{l}\cdot\text{god}^{-1}$ ).

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, док је у сливу реке Топлице изабран подслив С6, а у сливу реке Расине подслив Р18. Подсливови С6 и Р18 нису ранжирани као најугроженији, али су изабрани за анализу јер су коришћени за избор техничких радова (преграда) због доступности профила за њихову изградњу.

У потпоглављу **5.2. Резултати рангирања подсливова према степену угрожености од бујичних поплава**, прво је одређена вредност 10 морфометријских критеријума на основу DEM-а и хидрографске мреже, која је по Strahler-у класификована у токове  $1, \dots, n$  реда. 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  $K_6$ ). У виду евалуационих табела приказане су вредности морфометријских критеријума за истраживана подручја, а потом и резултати рангирања применом WSM, ELECTE II и PROMETHEE II методе, који су приказани на исти начин као резултати потпоглавља 5.1.

Код рангирања подсливова према степену угрожености од бујичних поплава, субјективним тежинама критеријума није додељен исти значај, већ су тежине одређене у консултацији са експертом применом АНР методе (метод поређење у паровима). Највећи значај је дат критеријумима: релативни пад тока, средњи пад слива, коефицијент ерозионе енергије и геоморфолошко-ерозиони коефицијент чије су тежине по 0,1525. Најмањи значај имају коефицијент облика слива (0,0511), густина хидрографске мреже (0,0348), стопа бифуркације (0,0411). Сви критеријуми су типа максимизације, изузев површине слива. Резултати рангирања у случају примене комбинованих тежина критеријума дати су у Прилогу Б. Промена тежина критеријума није битно утицала на промену ранга.

Сензитивност резултата истраживања је поред примене комбинованих тежина, испитана на примеру слива реке Расине и у случају: а) елиминације најмање значајних критеријума и б) елиминације алтернатива (подсливова низводно од акумулације "Ћелије"). Кандидаткиња је елиминацију најмање значајних критеријума извршила применом ENTROPY методе, према којој је потребно из анализе искључити критеријуме: коефицијент облика слива, стопа бифуркације и учесталост тока. Извршено је поређење резултата рангирања пре и после елиминације три критеријума, и добијено је да је првог приоритета и даље подслив P11, уз идентичан редослед рангирања подсливова који се добија применом WSM и PROMETHEE II методе. Након елиминације алтернатива P1-P10, такође је остварен висок степен корелације ранга (вредност преко 0,90).

Резултати метода, без обзира на тежине критеријума и број разматраних критеријума и алтернатива, указују да су према степену опасности од бујичних поплава најугроженији подсливови T6 и T7 у сливу Топчидерске реке, подсливови C2 и C8 у сливу реке Топлице, подслив P11 у сливу реке Расине. За планирање изградње преграда је потребно размотрити најпре ове подсливове који су првог приоритета. У раду су за планирање изградње преграда изабрани подсливови: T8 у сливу Топчидерске реке, C6 у сливу реке Топлице и P18, због расположивости података о профилима на којима је изградња преграда могућа.

У наредном потпоглављу, кандидаткиња истиче значај анализе оштећења, којима преграде у току свог животног циклуса могу подлећи, и 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. Обиласком локација где су изведене преграде у сливу Топчидерске реке, сливу Топлице и сливу Расине, регистровано је стање преграда (физичка оштећења преграда и степен обраслости вегетацијом) што је приказано у Прилогу В. Значајан резултат ове анализе је предложена формула за дефинисање приоритета за санацију преграда, на основу параметра који је означен као степен у којем сваки део преграде (крило, труп, прелив, слапиште) доприноси свеукупној функционалности објекта, као и

степен оштећења делова преграда. Применом поменуте формуле, одређени су приоритети за санацијом 10 преграда у сливу реке Топлице, и 19 преграда у сливу реке Расине. Ова анализа није вршена за преграде у сливу Топчидерске реке, јер су лоцирана само две преграде од бетона у сливу Беле реке.

У наредном потпоглављу, извршен је избор оптималног система заштите бујичног слива изградњом преграда. Најпре је извршено рангирање сливова према приоритетима за изградњом преграда, 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. Критеријуми који су коришћени за рангирање и тежине ових критеријума износе редом: цена изградње преграда (0,2944), угроженост пруга и саобраћајница (0,2408), цена  $1\text{m}^3$  задржаног наноса (0,1716), специфична продукција наноса у сливу (0,1147), количина задржаног наноса (0,0836), потреба за улагањем у биолошке и биотехничке радове (0,0559), и број преграда (0,0391). Рангирање је извршено применом WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II, где је добијено да приоритет има слив Пречица, нарочито са аспекта нижих трошкова изградње, значајне угрожености саобраћајница и најмањег броја преграда које се изграђују.

Наредна анализа се односи на рангирање локација и избор профила за изградњу преграда, која је извршена за профиле у Гужваничком потоку, притоци Луковске реке (слив реке Топлице). Као алтернативе одлучивања дефинисана су четири профила, који су рангирани применом критеријума: цена изградње објекта предвиђене корисне висине на датом профилу, количина задржаног наноса, цена  $1\text{m}^3$  задржаног наноса и дужина заплава. И у овој анализи цени изградње преграде је дат највећи значај, која је одређена на основу предмера и предрачуна радова (Прилог Д). Резултат указује на то да је Профил 1, где је планирана изградња преграде корисне висине 3m, најбољи избор у овом случају, због карактеристика саме локације за изградњу преграде (ширина корита и висина обала корита). Применљивост метода вишекритеријумске анализе је показана на примеру изградње преграда у Гужваничком потоку, у сливу реке Топлице, у случају ограничених финансијских средстава (100.000,00 евра). Алтернативе које представљају различите комбинације преграда, њихова локација и цена су рангиране применом WSM, ELECTRE II и PROMETHEE II. Ова анализа је значајна јер су финансијска средства често ограничавајући фактор приликом планирања изградње објеката у циљу заштите од бујица и ерозије.

Даље у раду, кандидаткиња, примењује методе вишекритеријумске анализе у циљу доношења одлуке о најповољнијем односу броја и висине преграда узимајући у обзир и место изградње, тј. профиле у главном току и притокама, на примеру Жуњске реке, притоке реке Расине. Критеријуми који су коришћени у анализи су: цена изградње преграда (Прилог Д), количина задржаног наноса, цена  $1\text{m}^3$  задржаног наноса, дужина заплава и утицај локације изражен односом припремних и главних радова. Алтернативе су дефинисане као: а) мањи број објеката веће корисне висине, б) већи број објеката ниже корисне висине, и ц) повећање корисне висине одређеним објектима из друге варијанте. Све алтернативе су даље груписане према томе да ли се налазе у главном току, у притокама, или главном току и притокама, чије је димензионисање извршено применом формула из Прилога Г. Као најприхватљивије решење, применом WSM, ELECTRE II и

PROMETHEE II, добија се изградња мањег броја објеката ниже корисне висине, у главном току.

У следећем потпоглављу, извршена је оптимизација начина коришћења земљишта у подсливу Т8 (слив Топчидерске реке) као најугроженијем подсливу ерозијом земљишта. Применом CORINE утврђена је структура начина коришћења земљишта, а у GIS окружењу издвојене су све површине које је потребно заштити конзервационим мерама и радовима или конвертовати у другачији начин коришћења у односу на постојећи. Критеријуми за доношење одлуке о промени начина коришћења земљишта су нагиб терена и вредности губитака земљишта (одређени применом RUSLE методе). На пример, планирано је да се оранице конвертују у трајне травњаке на нагибима изнад  $6^\circ$ , уколико су губици већи од  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{god}^{-1}$ , односно у шуму, уколико се поред наведених услова, оранице налазе непосредно уз саобраћајнице. Применом метода математичког програмирања и Matlab-а R2014а извршена је оптимизација структуре начина коришћења, постављањем следећих 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. Променљиве у функцији циља представљају површине под одређеним начином коришћења у ha, док су ограничења минималне, односно максималне и минималне површине под одређеним начином коришћења. При дефинисању ограничења, праћен је тренд промене структуре коришћења земљишта, на основу начина коришћења из 2000., 2006. и 2012. године.

Резултати указују на то да су након оптимизације, где је циљ минимизација ерозије земљишта, површине под шумом повећане са 28,81% на 42,58%, а губици земљишта редуковали за 32%. Приликом оптимизирања друге функције циља, добијена је структура начина коришћења која подразумева заступљеност пољопривредних површина од 63,7%, која за 15,39% више задовољава потребе фармера него пре оптимизације, а за 23,90% више него у случају првог циља (минимизација ерозије). Уколико је циљ истовремено задовољити оба наведена циља, тј. минимизација ерозије и потребе фармера, при чему је значај првог циља 60% а другог циља 40%, добија се готово идентичан удео шума и пољопривредних површина (шума 42,58% и пољопривредних површина 49,99%).

Кандидаткиња је у следећем потпоглављу анализирала планирање изградње тераса и утврђивање оптималне површине на којој ће се ова техничка мера применити, при чему је потребно задовољити постављене циљеве (минимизацију ерозије или минимизацију трошкова изградње тераса). Поступак оптимизације изградње тераса је извршен у Matlab-у R2014а на примеру два истраживана подручја, у сливовима река Топлице и Расине, применом две методе математичког програмирања (методе компромиса и методе тежинских коефицијената). Спроведена је анализа у случају: 1) минимизације ерозије изградњом тераса (као примарне функције циља) и минимизације трошкова изградње тераса (као секундарне функција циља) и 2) одређивања 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. У другом случају, утицај разматраних критеријума је одређен применом АНР методе.

У првом случају, ограничавајући фактор подизања тераса су површине погодне за терасирање (нагиби између 12% и 47%) и минимална површина на којој ће се применити конзервационе мере, односно у другом случају, погодност површина за терасирање и минимална улагања у подизање тераса.

Резултати указују на то да: 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; уколико се посматра интегрални утицај више фактора (ерозије, близине пута, надморске висине и величине третиране површине), приоритет има површина са највећим вредностима критеријума који се максимизирају (губици земљишта, величина површине) и најнижим вредностима критеријума који се минимизирају (близина саобраћајнице, надморска висина); уколико се посматра само вредност губитака земљишта, приоритет имају ерозијом најугроженије површине.

У наредном потпоглављу је дат предлог модела за интегралну заштиту подручја у виду хијерархије која 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. Дефинисан модел као саставне елементе има циљ (интегрална заштита слива), критеријуме и алтернативе. Алтернативе које се могу разматрати као опције интегралног уређења слива су: не предузимање акција/мера/радова, промена начина коришћења земљишта, извођење грађевинско-техничких радова у кориту водотока (преграда и др.), извођење биолошких и биотехничких радова (пошумљавање, терасе и др.) и примена различитих мера и радова – подразумева комбинацију неке од наведених варијанти. Критеријуми који су одабрани за евалуација наведених алтернатива су: економичност, тј. цена примене мера/извођења радова, ефективност (количина задржаног наноса/ редуција опасности од поплава) и друштвена прихватљивост, односно спремност заједнице/доносиоца одлука за спровођењем мера и радова.

У поглављу **6. Дискусија**, кандидаткиња упоређује резултате до којих је дошла са резултатима сличних истраживања, и указује на нове могућности анализа рангирања подсливова према степену угрожености од ерозије земљишта и бујичних поплава.

У поглављу **7. Закључци**, кандидаткиња систематизовано износи најважније закључке до којих се у раду дошло, на основу чега Комисија констатује да су постигнути дефинисани циљеви истраживања, да је разматрана проблематика актуелна, и применљива на решавање реалних проблема у области заштите од ерозије и бујица.

У оквиру Закључка, наведени су и правци будућих истраживања.

У поглављу **8. Литература** наведена су 206 литературна извора, која представљају релевантне и актуелне референце из области и проблематике која је предмет овог рада.

## VI ЗАКЉУЧЦИ

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 од 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.

На основу анализе резултата истраживања, пратећи њихову логичку структуру, могу се извести следећи закључци:

- 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 ерозијом 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 релеватне 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.
- 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.

## VII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Комисија сматра да је кандидаткиња резултате базирала на добро утемељеној теоријској основи, до њих је дошла квалитетном применом одговарајућих метода, доказујући дефинисане хипотезе и успешно реализујући постављене циљеве истраживања. Резултати до којих је дошла у току свог рада су приказани логичним редом, прегледно и систематично, коришћењем 187 табела и 29 слика. Поред тога, Комисија констатује да су добијени резултати правилно протумачени и упоређени са резултатима досадашњих истраживања.

## VIII КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија констатује да су истраживања у складу са пријављеном темом и садржајем, за коју је Веће Научних области Биотехничких наука, Универзитета у Београду дало сагласност (Одлука 02, Број 06-21038/25-12 од 06.12.2012. године).

Дисертација садржи све битне елементе: насловну страну на српском и енглеском језику, информације о ментору и члановима комисије, резиме на српском и енглеском језику, садржај, текст рада по поглављима, литературу, биографију и библиографију аутора, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Научни допринос докторске дисертације дипл. инж. Тијане Вулевић под насловом „Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије" представља моделирање проблема одлучивања о избору површина које се штите од ерозије земљишта, односно моделирање проблема одлучивања о радовима који се примењују за заштиту од бујичних поплава. Ово 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.

Докторска дисертација нема значајних недостатака који би утицали на резултате истраживања.

Имајући у виду да се као услов за одбрану докторске дисертације поставља објављен рад у часопису међународног значаја, Комисија констатује да је кандидаткиња овај услов испунила, као аутор рада у часопису М23 категорије:

Vulević, T., Dragović, N., Kostadinov, S., Belanović-Simić, S., Milovanović, I. (2015): *Prioritization of Soil Erosion Vulnerable Areas Using Multi-Criteria Analysis Methods*, Polish Journal of Environmental Studies 24 (1), 317–323.

Део резултата истраживања, који се односи на рангирање подсливова по угрожености ерозијом земљишта у сливу Топчидерске реке је објављен у часопису категорије М24: 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.

Поред тога, кандидаткиња је и коатор у још два рада категорије М23: Dragovic, N. Vulevic T. (2015): *Wahl des besten Angebots zur Projektplanung im Bereich der Wasserwirtschaft mittels der ANP-Methode*, Bauingenieur 90 (09), 420–426; и рада Dragović, N., Vulević, T., Todosijević, M., Kostadinov, S, Zlatić, M. (2017): *Minimization od direct cost in the construction of torrent control structures*, Technical Gazzete 24 (4) (in print).

## IX ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене докторске дисертације кандидаткиње дипл. инж. Тијане Вулевић, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом "Вишекритеријумско одлучивање у функцији конзервације земљишних и водних ресурса брдско-планинских подручја централне Србије" **прихвати** и кандидаткињи омогући даља процедура која предстоји јавној одбрани.

### ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

др **Нада Драговић**, редовни професор  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

---

др **Ратко Ристић**, редовни професор  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

---

др **Миодраг Златић**, редовни професор  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

---

др **Мирјана Годосијевић**, доцент  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

---

др **Милија Сукновић**, редовни професор  
Универзитета у Београду Факултета организационих наука



НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге бог којих не жели да потпише извештај.