УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Јелена Н. Ковачевић-Мајкић

ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА У СРБИЈИ

докторска дисертација

Београд, 2018

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF GEOGRAPHY

Jelena N. Kovačević-Majkić

TORRENTIAL FLOODS RISK ASSESSMENT IN SERBIA

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018

Ментори:

др Ненад Живковић, редовни професор

Географског факултета Универзитета у Београду

др Ратко Ристић, редовни професор

Шумарског факултета Универзитета у Београду

Чланови комисије:

Датум одбране докторске дисертације:

_____

Захвалност

Верујем да се израда ове дисертације није у многоме разликовала од израде других дисертација, у смислу подршке, помоћи, разумевања и стрпљења околине – колега, породице и пријатеља. Хвала.

Захваљујем се професору Ненаду Живковићу на спремности да ме подржи у истраживању изабране теме, пажљивом слушању и ненаметљивом подстицању да истрајем.

Професору Ратку Ристићу захваљујем за стручну подршку и охрабрење приликом избора теме, као и за сугестије које су допринеле да дисертација добије садашњу структуру.

Захваљујем се професорки Јасни Плавшић за помоћ у разрешавању бројних дилема на које сам наилазила, за помоћ у креирању контаката са колегама других струка који су били од значаја, као и за веома пријатну атмосферу која је владала приликом сваког сусрета.

Захваљујем се професорки Гордани Војковић за подршку и увек позитиван став током израде дисертације.

Велику захвалност осећам према Драгољубу Штрпцу, „именованом опоненту“, за разговоре који су ме инспирисали, за осећај „бити на коридору знања“, за решења која су се изродила захваљујући похађању његове „школе“, за стрпљење које иако је губио, овај пут то није показао, за све детаље које сам овом приликом научила, за помоћ у раду у ГИС окружењу, за смех и ситуације које ћемо још дуго препричавати.

Стална преиспитивања и проучавање заједничких тема не би постојали без сјајних колега и пријатеља Јелене Ћалић, Драгане Миљановић, Марка В. Милошевића, Милене Панић, Јоване Тодорић. Несебична помоћ и подршка приликом прикупљања података стигле су од Горице Станојевић, Власте Кококотовић Каназир, Марка Урошева, Александре Спалевић, Ане Милановић Пешић, Ане Петровић, Марије Дробњаковић, Милована Миливојевића, Дејана Дољака, Саве Симића. Због своје скромности свако моје хвала ће дочекати са негодовањем, ипак ... хвала.

Хвала и Владимиру Ђурђевићу са Института за метеорологију Физичког факултета за обраду података о падавинама према климатским сценаријима.

Велики задатак за мене је било одређивање плавне зоне применом хидролошко-хидрауличке методе. У тренуцима када се обим истраживања чинио бесконачно велик,

професор Марко Иветић је, чини се са лакоћом, давао смернице, окупио колеге грађевинске струке и омогућио да са њима сарађујем. Професору Марку, професорки Јелени Гучевић, Ранку Пудару и Синиши Половини захваљујем на помоћи, као и на надасве лепој и ефикасној сарадњи.

Сарадња са овако великим бројем колега различитих струка, потврдила је да је за бављење темом о природним непогодама потребан интердисциплинарни приступ. Још једном хвала свима.

Рад на дисертацији је омогућило и моје учешће на пројекту „Географија Србије“ (47007) финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Мој успех је и успех моје породице која ми је била велика подршка у сваком смислу.

Процена ризика од бујичних поплава у Србији

Сажетак

Велико интересовање за процене ризика од природних непогода се јавило услед све већих штета и броја жртава које се дешавају због дејства природних појава појачаног интензитета и учесталости, а на које локална друштвена заједница нема капацитете да самостално одговори. Појмови „ризик“ и „природне непогоде“ су настали као последица антропоцентризма, јер у противном би била реч само о природној појави која не оставља последице на човека. Стога су процене ризика део превентивних активности у циклусу управљања природним непогодама, али осим препорука и налога да их је потребно израдити, није тачно развијена методологија за њихову израду.

Како у Србији бујичне поплаве спадају у најчешће природне непогоде, предмет истраживања ове дисертације је развијање методологије и модела за процену ризика од бујичних поплава, при чему су као бујични окарактерисани они процеси који имају течну и чврсту фазу без обзира на тип чврсте фазе. Одлучено је да се процена ризика ради на нивоу природних целина (сливова). Развијен је модел за прорачун ризика од бујичних поплава на основу вредности различитих показатеља за основне (четири) компоненте ризика: хазард, изложеност, рањивост и (не)отпорност. Индекс хазарда се односи на природну компоненту, тачније на услове који доводе до појаве бујичне поплаве и трагове који сведоче о већ реализованим поплавама. Индекс изложености се односи на елементе у простору који су изложени бујичним поплавама, а индекс рањивости на особине тих елемената. Индекс отпорности се односи на активности и мере које се спроводе у циљу смањења ризка од бујичних непогода. Предложени модел је концептуални (структурни), те је за његов развој било неопходно поставити следеће циљеве: 1) одабир сливова и у оквиру њих по одређеним критеријумима одабир сливних површина за које ће се радити процена ризика (макро – национални ниво и мезо – регионални ниво), 2) одабир показатеља који најбоље описују ризик од бујичних поплава, 3) креирање израза (по аналогији на образац за рачунање укупне грешке) на основу којих су процењени индекс ризика и индекси компоненти које га чине, 4) додељивање тежинских коефицијената компонентама и показатељима који их чине, 5)

испитивање осетљивости модела мењањем вредности тежинских коефицијената и 6) прогнозирање вредности ризика мењањем улазних података.

Иако ризик од бујичних поплава постоји и у оним деловима слива који су изван плавне зоне, за процену ризика су одабрани само они делови слива који су му директно изложени, односно простори у којима се реализује бујична поплава. Стога је процена ризика рађена за пресеке плавних зона и издвојених сливних површина названих плављене сливне површине. С обзиром на чињеницу да на малим бујичним сливовима нема хидролошких и хидрауличких мерења у довољној мери, плавна зона је одређена на основу геоморфолошких показатеља, тачније на основу облика флувијалне акумулације (плавина и алувијалних равни) и названа је геоморфолошка плавна зона, при чему није квантитативно одређена граница између бујичне и поплаве у доњим деловима слива већих река. На једној деоници је одређена плавна зона на основу хидролошко-хидрауличких мерења и прорачуна у циљу показивања резултата које овај метод може да да и који се користи на деоницама на којима је процењено да је ризик од поплава велики. У овој дисертацији одабрани су показатељи који детерминишу појаву бујичне поплаве, а то су постојање ерозије интензитета I, II и III категорије, а на макро нивоу и учесталост дневних падавина ≥ 30 mm. Индекс хазарда није одређен само на основу геоморфолошке плавне зоне, већ и на основу других показатеља којим се описују услови у сливу који утичу на његову величину.

За анализу на макро нивоу су одабрана три слива (Скрапеж, Белица и Лужница), док је детаљнија анализа на мезо нивоу показана на примеру реке Скрапеж. Велика разнородност улазних података је, након њихове припреме и обраде, захтевала њихову нормализацију у циљу међусобног упоређивања и даље обраде (прорачуна индекса ризика). Након моделирања, резултати су верификовани према раније спроведеним анализама, а затим је урађена њихова просторна анализа. При обради и анализи података коришћени су методи дескриптивне и инференцијалне статистике, као и просторна анализа и упити које омогућава рад у ГИС окружењу.

Резултати су показали да су индекси хазарда највећи на просторима са највећом површином геоморфолошке плавне зоне и највећом ерозијом, те да је слив Скрапежа од три одабрана слива најугроженији од појаве бујица. Индекси изложености и рањивости су највећи у градским насељима, а како је слив Белице најнасељенији то су

ови индекси у њему највећи, а најмањи у Лужници. У складу са економском развијеношћу и постојањем превентивних мера за одбрану од поплава, индекс неотпорности је највећи у сливу Лужнице, а најмањи у сливу Белице. Индекс ризика је највећи у сливу Скрапежа, затим Белице, а најмањи у сливу Лужнице.

Утврђено је да ризик у највећој мери зависи од изложености и рањивости, затим хазарда, а најмање од неотпорности. Такође је потврђено да тачност концептуалних модела највише зависи од релативне величине улазних података, те да њихове промене доводе до мењања излазних података, док мењање тежинских коефицијената међу компонентама има секундарни значај. Мењање улазних података се односило на коришћење података о прогнозама падавина до 2040. године према сценаријима A1B и A2 емисије гасова стаклене баште и пројекције становништва до 2041. године према средњој варијанти фертилитета. Показано је да ће услед позитивних промена падавина доћи до повећања хазарда у сва три слива, а да ће негативне промене у броју становника у сливу Скрапежа и Лужнице довести до пада изложености и рањивости и тиме и до пада ризика, а у сливу Белице услед позитивних промена изложености и рањивости доћи и до повећања ризика.

У овој дисертацији су потврђене постављене хипотезе да: 1) бујичне поплаве директно или индиректно угрожавају плавну зону, као и делове слива изван плавне зоне, 2) ризик од бујичних поплава у највећој мери зависи од хазарда и рањивости простора (пре свега густине насељености), 3) на смањење ризика од бујичних поплава може се утицати променама у простору које се пре свега односе на рањивост и отпорност, 4) климатске промене утицаће на промене ризика од бујичних поплава, 5) демографске промене довешће до промене ризика од бујичних поплава.

Допринос ове дисертације се огледа у њеном друштвеном и научном значају. Наиме, на показан начин одређена граница бујичне поплаве која има малу вероватноћу појаве, а велики повратни период, је исправна са аспекта управљања простором и заштите и сигурности услед бујичних поплава највећих размера. С обзиром на то да је управаљње простором задатак органа управе, управо су они ти који адекватним управљањем могу исправно планирати намену простора и утицати на смањење изложености и рањивости, јер је утицај на хазард ограничен, док је показано да је (не)отпорност компонента која мање утиче на ризик, а изложеност и рањивост највише.

Научни значај дисератације се осим развијеног модела огледа и у препорукама за даља истраживања, која се односе на надограђивање креираног модела у смислу одабира показатеља, тачно одређивање њихових функционалних зависности, јер добијене вредности индекса ризика и компоненти одабраних просторних јединица на оба нивоа детљности имају тачан међусобни (релативни) однос, али не и апсолутан. Та врста истраживања значи укључивање интердисциплинарних тимова. Уједно овакве студије ризика на мезо нивоу имају за циљ и идентификацију простора са великим ризиком од бујичних поплава, унутар којих је потребно развијати моделе за процену ризика са додатним показатељима и са већом детаљношћу података.

Кључне речи: бујичне поплаве, процена ризика, хазард, геоморфолошка плавна зона, изложеност, рањивост, (не)отпорност, превенција, Србија

Научна област: Географија
Ужа научна област: Природне непогоде
УДК: 910:911.2:511.311.2(497.11)

Torrential floods risk assessment in Serbia

Summary

Great interest for the natural disasters risks assessment has occurred due to the growing number of victims and damages that happen due to the natural phenomena of increased intensity and frequency, and in which a man or a community do not have the capacity to respond. The terms of risks and natural disasters have arisen as a result of anthropocentrism, otherwise it would be just about natural phenomena, which does not have effect on people. Therefore, the risk assessment is part of prevention activities in the disaster risk management cycle, but above the recommendations and orders that it is necessary to create them, the methodology for their creation is not exactly developed.

As in Serbia, torrential floods are the most common natural disaster, the subject of this thesis is to develop methodologies and models for assessing the torrential flood risk, where as torrential are characterized all mass movement or slope processes which have liquid and solid phase regardless of the type of solid phase. It was decided that the assessment of risks should be done at the level of natural areas (watersheds). A model for the calculation of the torrential flood risk was created on the basis of the values of different indicators for four basic components of risk: hazard, exposure, vulnerability and (un)resilience. Hazard index refers to natural component, namely to the conditions that cause torrential floods and marks that testify to the floods which already have happened. Exposure index refers to the elements that are exposed to torrential floods, and vulnerability index on the characteristics of these elements. Resilience index refers to activities and measures to be implemented in order to reduce torrential flood risk. The proposed model is a conceptual (structural), and for its development it was necessary to set the following objectives: 1) selection of watershed and within them according to certain criteria selection of drainage areas for which risk assessment will be done (macro - national level and meso - regional level), 2) the selection of indicators which best describe the torrential flood risk, 3) creation of formulas (by analogy to the formula for calculating the total error) for risk index and belonging component indexes calculation 4) assigning the weights to the components and indicators that make them, 5) sensitivity analyses of the model by changing the weights and 6) forecasting risk values by changing the values of the input data.

Although the risk of torrential floods exists in parts of the watersheds outside the flood zone, for the risk assessment were selected only those parts of watershed that are directly exposed to it, meaning areas in which torrential floods realize. Therefore, the risk assessment is done for the intersections of flood zones and selected drainage areas which are called flooded drainage areas. Considering the fact that in the torrential watersheds there are no enough hydrological and hydraulic measurements flood zone is determined on the basis of geomorphological indicators, namely on the basis of a forms of fluvial accumulation (alluvial fans and alluvial plains) and is called geomorphological flood zone, but the boundary between torrential and lowland flooding is not quantitatively determined. On one river section flood zone was determined by hydrological-hydraulic measurements and calculations in order to demonstrate results this method can give and which can be used on those river sections (drainage areas) where the flood risk index is high. In this thesis, indicators that determine the occurrence of torrential floods were selected. These are the existence of erosion of I, II and III category of intensity, and at the macro level also frequency of daily precipitation ≥ 30 mm. Hazard index is not determined only on the basis of geomorphological flood zone, but also on other indicators used to describe conditions in the watershed that have influence on the size of hazard index.

For analysis at the macro level three watersheds are selected (Skrapež, Belica and Lužnica) while more detailed analysis at the meso level is shown on the case of the Skrapež River. Great diversity of input data required, after their preparation and processing, its normalization (standardization) in order to their mutual comparison and further processing (risk index calculation). After passing the data through the model, the results were verified in accordance with earlier analyzes, and then their spatial analysis was made. In the data processing and analysis, the methods of descriptive and inferential statistics, as well spatial analysis and queries enabled by work in the GIS environment were used.

The results showed that the hazard index is biggest in the areas with the largest area of geomorphological flood zone and the highest erosion, and that, among three selected watersheds, the most hazardous is the Skrapež River watershed. Exposure and vulnerability indexes are greatest in urban areas, and because the the Belica River watershed is the most populated, these indexes are the largest in it and the smallest in the Lužnica River watershed. In accordance with the economic development level and the existence of preventive measures

for flood protection, the unresilience index is the largest in the Lužnica River watershed and the lowest in the Belica River watershed. The risk index is the largest in the Skrapež River watershed, then Belica River watershed and the lowest in the Lužnica River watershed.

It was found that the risk mostly depends on exposure and vulnerability, then the hazard, and at least unresilience. It was also confirmed that the accuracy of the conceptual model mostly depends on the relative size of the input data, and that their changes lead to changing output data while changing the weight coefficients between the components has a secondary character. Changing the input data is related to the use of data on precipitation up to 2040 according to scenarios A1B and A2 of greenhouse gases emissions and projections of the population by 2041 according to the medium variant of fertility. It is shown that due to positive changes in precipitation, the hazard may increase in all three watersheds, and that the negative changes in the number of inhabitants in the Skrapež and Lužnica River watersheds will lead to the decrease of exposure and vulnerability and subsequently to the decrease of risk. In the Belica River watershed positive changes of exposure and vulnerability lead to increased risk.

In this thesis, hypotheses set at the beginning are confirmed: 1) torrential floods directly or indirectly threaten flood zone, as well as parts of the watershed outside of flood zone, 2) the risk of torrential floods mostly depends on the hazard and demographic characteristics of the area (primarily population density), 3) torrential flood risk can be reduced by changes in the area that are primarily related to vulnerability and resilience, 4) climate changes will affect the changes in the torrential flood risk, 5) demographic changes will lead to changes in the torrential flood risk.

The contribution of this thesis is reflected in its social and scientific importance. Namely, shown way of determination of torrential flood zone that has a small probability of occurrence and large return period, is correct in terms of spatial management and protection and security caused by torrential floods of the largest scale. Considering the fact that spatial management is assignment of administrative authorities, they are the ones that by adequate management can properly plan the zoning and have an impact on reducing exposure and vulnerability, because the impact on the hazard is limited, while it is shown that (un)resilience is component which has less influence on the risk and exposure and vulnerability the most.

Scientific importance of this thesis, apart from the created model, is in the recommendations for further researches concerning the upgrading of the model in terms of the selection of indicators, accurate determination of their functional dependence, because the resulting values of risk index and belonging components for selected spatial units on both levels (macro and meso level) have the correct mutual (relative) relation, but not absolute. This type of research means the inclusion of interdisciplinary teams. At the same time these risk studies at the meso level are aimed to identify the areas with high torrential flood risk, within which it is necessary to develop models to assess risk with additional indicators and with more detailed data.

Keywords: torrential floods, risk assessment, hazard, geomorphological flood zone, exposure, vulnerability, (un) resilience, prevention, Serbia

Scientific field: Geography
Specific scientific field: Natural hazards
UDC: 910:911.2:511.311.2(497.11)

САДРЖАЈ

САДРЖАЈ 1

1. УВОД 4

1.1. ДЕФИНИЦИЈА БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА 5

1.2. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СВЕТУ И СРБИЈИ (РАСПРОСТИРАЊЕ И ПРИМЕРИ) 6

1.3. ГЕОГРАФИЈА – ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНА НАУКА КОЈА СЕ БАВИ ПРОУЧАВАЊЕМ ПРИРОДНИХ НЕПОГОДА 9

1.4. ЗНАЧАЈ ПРЕВЕНЦИЈЕ (НАУЧНЕ СТУДИЈЕ КАО ДЕО ПРЕВЕНЦИЈЕ) 10

1.5. О МОДЕЛУ, ЦИЉЕВИМА, ЗАДАЦИМА И ХИПОТЕЗАМА 11

1.6. ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА 13

2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР 15

2.1. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ – ДЕФИНИЦИЈЕ, ТЕРМИНОЛОГИЈА И ОДЛИКЕ 15

2.2. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СИСТЕМУ КЛАСИФИКАЦИЈЕ ПАДИНСКИХ ПРОЦЕСА 20

2.3. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СИСТЕМУ КЛАСИФИКАЦИЈЕ ПОПЛАВА 22

2.3.1. Генетска класификација 22

2.3.2. Просторна и временска класификација 22

2.4. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ КАО ПРИРОДНА НЕПОГОДА 24

2.4.1. Дефиниције основних појмова 24

2.5. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СИСТЕМУ ПРИРОДА-ДРУШТВО 35

2.6. ЗНАЧАЈ ПРЕВЕНЦИЈЕ ОД БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА 37

2.7. УТИЦАЈ ПРОМЕНА КОМПОНЕНТИ РИЗИКА НА ПРОМЕНЕ РИЗИКА 39

2.8. ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА 41

3. МЕТОДОЛОГИЈА 45

3.1. ФАЗА ПРЕ МОДЕЛИРАЊА 45

3.1.1. Упознавање са литературом 45

3.1.2. Избор резолуције и нивоа детаљности 47

3.1.2.1. Избор резолуције – I ниво детаљности 48

3.1.2.2. Избор бујичних сливова 49

3.1.2.2.1. Изабрани бујични сливови 49

3.1.2.2.1.1. Географске детерминанте изабраних сливова 53

3.1.2.3. Избор резолуције – II ниво детаљности 62

3.1.2.3.1. Сливне површине у оквиру мезо сливова 67

3.2. ФАЗА ФОРМИРАЊА МОДЕЛА 69

3.2.1. Креирање модела за рачунање индекса ризика 71

3.2.2. Структура модела 73

3.2.2.1. Избор показатеља ризика у оквиру компоненти ризика и њихових сегмената 75

3.2.2.1.1. Избор показатеља у складу са Директивом о поплавама и Законом о водама РС 77

3.2.2.1.2. Избор показатеља на основу научних и стручних истраживања и локалних одлика ... 79
3.2.2.1.3. Избор показатеља на основу доступности података ... 79
3.2.2.2. Изабрани показатељи ... 81
3.2.2.2.1. Показатељи хазарда ... 81
3.2.2.2.1.1. Сегмент вода ... 83
3.2.2.2.1.2. Сегмент ерозија ... 86
3.2.2.2.1.3. Сегмент морфометрија ... 87
3.2.2.2.2. Показатељи изложености ... 88
3.2.2.2.2.1. Демографски сегмент ... 89
3.2.2.2.2.2. Економски сегмент ... 90
3.2.2.2.2.3. Природни сегмент ... 92
3.2.2.2.3. Показатељи рањивости ... 94
3.2.2.2.3.1. Демографски сегмент ... 95
3.2.2.2.3.2. Економски сегмент ... 95
3.2.2.2.4. Показатељи неотпорности ... 98
3.2.2.2.4.1. Сегмент неотпорност у ужем смислу ... 99
3.2.2.2.4.2. Сегмент неотпорност у ширем смислу ... 101
3.2.2.2.5. Показатељи који су изостављени (одбачени) ... 102
3.2.3. Издвајање условних компоненти, сегмената и показатеља ... 107
3.2.3.1. Издвојене условне компоненте, сегменати и показатељи ... 107
3.2.4. Одређивање тежинских коефицијената ... 112
3.2.4.1. Тежински коефицијенти ... 113

3.3. ФАЗА ПРИКУПЉАЊА И ОБРАДЕ ПОДАТАКА ... 115
3.3.1. Подаци ... 116
3.3.2. Припрема и обрада података ... 118
3.3.2.1. Припрема података ... 119
3.3.2.2. Обрада података ... 119
3.3.3. Нормализација показатеља ... 120

3.4. ФАЗА ТЕСТИРАЊА МОДЕЛА ... 121
3.4.1. Анализа резултата ... 121
3.4.2. Верификација резултата ... 122
3.4.3. Класификација резултата ... 122
3.4.4. Испитивање осетљивости модела ... 123
3.4.5. Примена модела за прогнозирање ризика ... 124

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА ... 125

4.1. ПРОЦЕНА РИЗИКА ... 125
4.1.1. Мезо ниво детаљности – слив реке Скрапеж ... 125
4.1.2. Макро ниво детаљности – сливови река Скрапеж, Белице и Лужнице ... 143

4.2. ОСЕТЉИВОСТ МОДЕЛА ... 147

4.3. ПРОГНОЗА РИЗИКА ... 150

4.4. ПРИМЕНА МОДЕЛА ... 156
4.4.1. Основа за управљање ризицима ... 156
4.4.2. Основа за даља истраживања ... 158

4.4.2.1. Пример одређивања плавне зоне на микронивоу детаљности....160
5. ЗАКЉУЧЦИ....171
ЛИТЕРАТУРА....178
П Р И Л О З И 195
СПИСАК ТАБЕЛА....196
СПИСАК СЛИКА....198
ПРИЛОГ А 201
ПРИЛОГ Б....204
ПРИЛОГ В....212
ПРИЛОГ В....212
ПРИЛОГ Г 213
ПРИЛОГ Д....215
ПРИЛОГ Ђ 218
БИОГРАФИЈА 220

1. УВОД

Велики број студија које се баве природним непогодама започињу поражавајућом статистиком која говори да њихов интензитет и учесталост расту, те да су последице све веће како по питању штета, тако и по броју жртава (http://www.emdat.be/). Разлог томе, са једне стране, лежи у природним процесима који имају своју динамику и трендове интензитета и учесталости. Иако се споре око узрока који доводе до промена у временском распореду хидрометеоролошких процеса и појава, смера у коме се одвијају и значаја тих промена, ипак већина научника се слаже да су промене на глобалном нивоу евидентне и то пре свега у атмосфери и хидросфери (Arnell, 2002; Shiklomanov & Rodda, 2006; National Research Council, 2011; Hartmann et al., 2013; Gosling & Arnell, 2013). Са друге стране, просторни распоред и особине елемената који су изложени природним непогодама (превасходно становништво и њихова материјална добра) подједнако као и природни процес утичу да тај природни процес добије особине непогоде. Раст популације и њихово мигрирање ка просторима где су природни услови мање погодни за живот и привредне делатности, доводе до учесталијих догађаја које називамо природним непогодама, тачније до догађаја због којих је онима који су њима захваћени неопходна помоћ других заједница. Такође повећана густина насељености на одређеним локацијама и концентрација привредних делатности са пратећом инфраструктуром довела је до тога да такви простори (градови) постану најосетљивији за разне врсте непогода настале и услед природних и других врста опасности (Sanderson, 2000; Cross, 2001; Gencer 2013).

У таквој атмосфери и окружењу почело је одржавање светских конференција (Јокохама, 1994; Кобе, 2005; Сендаи, 2015) на тему „борбе“ са природним непогодама из којих је проистекао низ пратећих докумената, оквира, стратегија, предложених мера, које су се временом преточиле у законска акта широм планете у мањој или већој мери. Тај процес није завршен, већ напротив, још увек траје и у последње време долази до преокрета у схватању природних непогода, то јест

преовладава мишљење да се оне не могу „победити“ већ је потребно „живети са“ њима и наћи начине да се буде што мање осетљив на њихово деловање. У том смислу су развијени системи за управљање ризицима од непогода у оквиру којих је израда студија процена ризика једна од превентивних мера у том управљању (Wisner et al, 2004) и законом је обавезујућа за многе државне и локалне заједнице (Directive 2007/60/EC). Оно што још увек није дефинисано до краја је методологија за процену ризика. Све је на нивоу препорука са тежњом да се стандардизује како методологија у најширем смислу тако и прикупљање података за одређене нивое детаљности.

Ове чињенице остављају простор за бројна истраживања у циљу што реалније процене ризика. У том смислу циљ ове дисертације је избор показатеља на одређеном нивоу детаљности за локалне услове на основу којих ће се проценити ризик од бујичних поплава у Србији, које спадају у најчешће непогоде у Србији правећи највеће штете (Службени гласник РС 86, 2011; UNICEF & UNISDR, 2011; Dragićević et al, 2011; Gavrilović et al, 2012). Стога је у циљу што безбеднијег живота на таквим просторима, потребно издвојити оне са највећим ризиком и у складу са тим резултатима што рационалније се понашати и управљати простором. Ова дисертација даје ту врсту резултата, односно на основу одабраних показатеља даје процену ризика од појаве бујичних поплава на одабраним сливовима и идентификацију простора у којима је ризик највећи.

1.1. ДЕФИНИЦИЈА БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА

Бујична поплава је природни процес појачаног интензитета који представља изливање воде са великом концентрацијом наноса из корита водотока. За разлику од такозваних речних поплава које су карактеристичне за велике равничарске реке и које се реализују у доњим деловима слива, бујичне поплаве се везују за мање повремене, периодичне и сталне водотоке чији су сливови захваћени ерозионим процесима. Такође, у односу на речне поплаве, јављају се изненада после интензивних киша и наглог топљења снега и краће трају. С обзиром на то да

угрожавају све елементе простора (становништво, његове активности, материјална добара и природу), могу да имају одлике природне непогоде. Из тих разлога њихово истраживање и процена ризика захтевају интердисциплинаран приступ, односно заснивају се на проучавању природних и друштвених компоненти простора (UNISDR, 2004; Wisner et al, 2004; Dilley et al, 2005; Smith & Petley, 2009).

Кључни фактор и истовремено окидач за појаву бујичних поплава су интензивне падавине кратког трајања (обично мање од 24 сата), при чему у том временском периоду њихова укупна сума може да достигне и више десетина, па и до неколико стотина mm. За појаву наглих поплава такође је од значаја висока претходна влажност тла, настала услед претходних падавина или топљења снега, због које тло не може да прими нове количине воде (Jakob & Hungr, 2005a; Ристић & Малошевић, 2011).

Други кључни фактор за појаву бујичних поплава је велика заступљеност ерозије у сливу и велики пронос наноса за време трајања бујичне поплаве који достиже и више од десет пута веће вредности од просечног проноса наноса (Costa,1988; Shimizu et al, 2002). Управо је велика количина и концентрација наноса различите гранулације, при чему поједини блокови достижу тежину и до више стотина тона (Јевтић, 1978), оно што даје разорну моћ овој врсти поплава.

1.2. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СВЕТУ И СРБИЈИ (РАСПРОСТИРАЊЕ И ПРИМЕРИ)

Бујичне поплаве су окарактерисане као једне од најзначајнијих природних непогода у свету (Dowling & Santi, 2014; Jakob & Hungr, 2005a; Skermer & VanDine, 2005) и у Европи (Gaume et al, 2009; Marchi et al, 2010) које представљају озбиљне ризике по људске животе, објекте и инфраструктуру. С обзиром на то да се бујичне поплаве често дешавају у мањим сливовима на којима нема мерења водостаја и протицаја, у Европи је започет пројекат (*Hydrate*) њиховог

евидентирања (550 документованих бујичних поплава) и анализирана је просторна и временска законитост њиховог појављивања. Утврђено је да имају већу магнитуду у медитеранским земљама, као и да постоји јасно изражена сезоналност у њиховом појављивању у сваком региону (Gaume et al, 2009).

Велике бујичне поплаве са значајним бројем жртава су се догодиле 1952. године у Великој Британији (34 жртве), 1962. године у Шпанији (више од 400 жртава), 1968. године у Италији (72 жртве), 1994. године у Италији (69 жртава), 1999. године у Француској (35 жртава) (Dobbie & Wolf, 1953; Lopez Bustos, 1964; Ferro, 2005; Guzzeti et al., 2005, Gaume et al, 2004 цитирани у Gaume et al, 2009).

Бујичне поплаве су најчешћа елементарна непогода у Србији с обзиром на чињеницу да је 86.4% територије Србије (брдско-планински простори углавном јужно од Саве и Дунава) изложено ерозионим процесима (Ristić et al, 2012). Ristić & Nikić (2007) такође потврђују да су бујичне поплаве једна од најчешћих природних појава у Србији и да спадају међу најзначајније природне непогоде с обзиром на материјалне штете и губитке људских живота. До недавно није постојао инвентар бујичних поплава у Србији. Многе су регистроване, али су подаци о њима били некомплетни, често дескриптивни и недовољно квантитативни. Као најразорније се памте поплаве у сливу Власине 1988. године када је дошло до пуцања бране, поплава у сливу Корбевачке реке 1975. године када је због искакања воза из шина погинуло 13 људи, као и бујичне поплаве у Крупњу и Текији 2014. године. Како би се надоместио недостатак сређених података о бујичним поплавама направљен је њихов инвентар у Србији (Petrović et al, 2014) који садржи податке о сливу, превентивним радовима у сливу, хидрометеоролошке податке о догађају и податке о последицама догађаја. У периоду од 1915-2013 регистровано је 848 бујичних поплава у којима је живот изгубило 133 људи. Највећи број бујичних поплава се догодио у сливу Јужне Мораве, а временски се најчешће дешавају у мају и јуну.

Табела 1. Преглед најзначајнијих бујичних поплава у Србији[1]

Датум	Водотоци	Штете	Жртве
19.-20.05.1915.	Бели Тимок, Црни Тимок, Велики Тимок, Злотска р., Брестовачка р.	велике	30-ак
13.07.1926.	Пећка Бистрица и притоке	велике	да
28.07.1938.	Пусти и Светоилијски п. у селу Суботинац	више десетина кућа	11
06.1948.	Јужна Морава, Предејанска р., Цепска р., Аишки п., Бунавејске лавине, Нишава, Јерма, Јабланица, Ветерница	велике (10мил. дин.); општина Лесковац (200 мил. дин.)	не
10.1955.	Бели Дрим, Пећка Бистрица, Сушица, Дечанска Бистрица		
08.1972.	Борска река	у руднику	
05.-06.1975.	Притоке Ј. и З. Мораве, Краљевачка котлина, горњи ток Скрапежа, Ветерница, водотоци у општинама Крушевац, Бујановац	Скрапеж (30 мил. дин.); Лесковац (204 мил. дин.)	
15.05.1975.	Корбевачка р., Железничка р.		13 погинулих, 169 повређених
26.06.1988.	Власина и притоке	велике (1 милијарда $) – 30 мостова, десетине km путева, хиљаде стамбених јединица, трафостанице, усеви	4
13.06.1996.	Река Манастирица у селу Брежђе у подножју Дивчибара		
28.07.1999.	Дрлупска р.	Шест бетонских мостова, сто кућа одсечено од саобраћајница	1
26.11.2007.	Лужница; водотови у општинама Гаџин Хан, Бела Паланка, Власотинце, Лесковац и Врање	велике (мост у селу Љуберађа, угрожен водозахват за снабдевање Ниша и околине Бабушнице)	
15.05.2014.	Чађавица, Кржава у општини Крупањ	333 поплављена објекта, 40 тешко оштећено, 120 km путева, 14 мостова срушено, 8 мостова уништено, 900 ha пољопривредносг земљишта, неколико стотина људи евакуисано, штета 20мил €	2
15.09.2014.	Водотоци на падинама брда Фаца Рар у општини Текија	Половина објеката у насељу, уништена или прекинута саобраћајна инфраструктура, 320 људи евакуисано	

[1] Извор података су радови који се налазе у списку литературе.

1.3. ГЕОГРАФИЈА – ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНА НАУКА КОЈА СЕ БАВИ ПРОУЧАВАЊЕМ ПРИРОДНИХ НЕПОГОДА

Комплексне појаве као што су природне непогоде омогућавају да се њима баве научници разних профила. Бројне су специјалистичке студије које се односе на генезу и механизме деловања природног процеса, њихове прогнозе, као и оне студије које се односе на елементе који су изложени појачаним природним процесима, перцепцију становништва, могућности опоравка и друге. Географија као наука која се бави геосферама у најширем смислу и њиховим међусобним односима, може да представља и представља оквир за проучавање ризика од непогода. Mitchell (2009) препознаје географију као „природну академску кућу“ за предавање о природним непогодама захваљујући њеној дуалности која подразумева физичку и социјалну сферу. Слично томе, Zhou, Wang, Wan & Jia, (2010) наводе да су непогоде захваљујући својојој природи суштински географске теме (Cutter 1996, цитирана у Zhou, Wang, Wan & Jia, 2010). Gritzner (2004) истиче да се географско знање често означава као знање „за живот“, јер има свакодневну и практичну примену, од којих је једна свакако улога у превенцији природних непогода. Географија је, како је види Hualou (2011), дисциплина која би најпре могла да одговори на захтеве превенције и управљања ризицима од непогода, односно темама које се баве простором, временом, животном средином и развојем. Golledge (2002) тврди да смањивање ризика подразумева сагледавање односа човек-окружење (животна средина), те да је у том процесу неопходан интегративни приступ који пружа географија као наука. Сагледавајући теоријско-методолошке проблеме географије Грчић (2001) истиче да географија (у Србији) треба све више да се окреће интердисциплинарним темама, проблемској обради сложених тема које захтевају шири спектар знања, као што су глобални процеси, проблеми животне средине, природне непогоде, демографске промене, неравномерни регионални развој и друго. Да је за учење о непогодама значајна географија истакли су и Kovačević-Majkić et al (2014a), Panić et al (2013), Ćalić et al (2015a), Ćalić et al (2015b).

Такође је значајно истаћи и да се у проучавању непогода фокус истраживања са физичких процеса временом померао ка препознавању значаја интеракција које постоје између физичких (природних) и социјалних (друштвених) компоненти простора (Montz & Tobin, 2011), односно да се концептуализација променила од перспективе углавном усмерене на физички или природни догађај ка интеграцији друштвеног система (Alcántara-Ayala, 2002).

1.4. ЗНАЧАЈ ПРЕВЕНЦИЈЕ (НАУЧНЕ СТУДИЈЕ КАО ДЕО ПРЕВЕНЦИЈЕ)

Смањење ризика од непогода је циљ који је постављен на већ споменутим светским конференцијама у Јокохами, Кобеу и Сендаију. Оне су посвећене смањењу ризика од непогода, а из њих су проистекла следећа документа: Хјого оквир 2005-2015 (UNISDR, 2005) и Сендаи оквир 2015-2025 (UN, 2015). Постављени приоритети, који су наглашени у последњем наведенем документу, се односе на разумевање ризика од непогода; јачање организационог система за управљање ризицима од непогода (превенцију, ублажавање, припремљеност, одговор, опоравак и др.) у функцији управљања ризицима од непогода; инвестирање у смањење ризика од непогода у циљу повећања/јачања отпорности; унапређивање припремљености за ефикасан одговор у случају напогода и за "Build Back Better" („изгради поново боље") у фазама опоравка, санације и реконструкције након непогоде. Студије процене ризика се односе на превентивни део у оквиру циклуса управљања ризицима од непогода, тачније односе се на део активности који се обавља пре него што се непогода догоди и имају за циљ да укажу на просторе које одликује повећани ризик од непогода. Осим што су студије ризика препознате као значајне у области управљања ризицима од непогода, оне су препознате као важне и у управљању у ванредним (кризним) ситуацијама које се односе на период у току и након непогоде. Задаци постављени у европским документима као што су Директива о водама (Directive 2000/60/EC) и Директива о процени и управљању ризицима од поплава (Directive

2007/60/EC)[2] које су обавезујуће за земље чланице Европске уније, инкорпорирани су и у законе у Србији, те се налазе како у Закону о водама (Службени гласник РС 30/10, 93/12б, 101/16), тако и у Закону о Ванредним ситуацијама (Службени гласник РС 93/12а) у којима се наводи да су процене ризика и угрожености од поплава део управљања ризицима од штетног дејства вода и заштите од њих (Службени гласник РС 30/10, 101/16), односно да су део превентивних мера заштите и спасавања (Службени гласник РС 93/12а).

1.5. О МОДЕЛУ, ЦИЉЕВИМА, ЗАДАЦИМА И ХИПОТЕЗАМА

У последњих неколико деценија су се развијали модели процене ризика и угрожености од природних непогода. Они су засновани на различитим приступима и методама, од оних заснованих на хазард анализама (одликама и процесима везаним за природне процесе) до оних заснованих на логици fuzzy скупова, при чему се у основи свих садржи статистичка анализа. Сви они у зависности од хетерогености података и недостатка знања (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002), односно недостатка података и знања (Симоновић, 2015) имају одређени степен неизвесности. Ови модели су предмет истраживања не само научника и стручњака из одређених области, већ и просторних планера и доносилаца одлука на различитим нивоима.

Циљ овде приказаног истраживања је развијање модела за процену ризика, који је структурни, тачније задатак је избор показатеља на одређеном просторном нивоу (нивоу слива величине неколико стотина квадратних километара) који ће на том нивоу детаљности адекватно описати ризик од бујичних поплава. Модел није прогностички у смислу времена, односно не предвиђа када ће се непогода догодити. Временски прогностички модели би се темељили само на неким од ових показатеља и за њих су неопходни актуелни (тренутни) подаци. Овде развијен модел се може окарактерисати као прогностички само у просторном смислу, јер се њиме процењује где је већа, а где мања могућност да ће се непогода догодити.

[2] У даљем тексту Директива о поплавама

До основног циља (развијање модела за процену ризика) се долази остваривањем неколико задатака, а то су 1) избор показатеља који на најбољи начин описују ризик од појаве бујичних поплава, 2) вредновање показатеља и 3) избор оператора који их повезују.

У свету су рађене студије процене ризика углавном на глобалном (међудржавном нивоу) или на нивоу NUTS3 (Nomenclature des unités territoriales statistiques - Номенклатура просторних јединица за статистику), односно за веће регије и сливове, где су били доступни подаци на том нивоу детаљности. Притом је увек наглашавана потреба да је за већи ниво детаљности и мање површине потребно прикупити податке и изабрати друге показатеље у односу на поменуте мање детаљне нивое, као и да је потребно стандардизовати прикупљање података на већим нивоима детаљности како би се они лакше употребили за глобалне процене ризика. Тако су за потребе ове тезе одабрани показатељи на основу препорука датих у постојећим директивама и стручним студијама, али и нови који су предложени и употребљени у складу са темом истраживања и доступношћу података.

С обзиром на то да ризик од појаве бујичних поплава представља комплексну особину простора за његово утврђивање било је неопходно дефинисати задатке који ће то омогућити. Они подразумевају низ конкретних активности које су у складу су са поменутим циљевима. Последњи у низу задатака је верификација добијених резултата.

Након добијених резултата очекује се остваривање следећих циљева:

- Утврђивање закономерности распореда директно и индиректно угрожених области од бујичних поплава у оквиру једног слива
- Утврђивање закономерности просторног распореда индекса ризика од бујичних поплава у оквиру једног слива
- Идентификација (детерминисање) простора са високим ризиком од бујичних поплава

- Утврђивање међурегионалних разлика просторног распореда индекса ризика компарацијом одабраних сливова (са различитим географским положајем, природним и друштвено-географским одликама), као и
- Утврђивање закономерности просторног распореда ризика од бујичних поплава насталог услед климатских и демографских промена.

Постављени циљеви су постигнути постављањем следећих хипотеза:
- Бујичне поплаве директно или индиректно угрожавају плавну зону, као и делове слива изван плавне зоне
- Ризик од бујичних поплава у највећој мери зависи од хазарда и рањивости простора
- На смањење ризика од бујичних поплава може се утицати променама у простору које се пре свега односе на рањивост и отпорност (способност опоравка)
- Климатске промене ће утицати на промене ризика од бујичних поплава
- Демографске промене ће довести до промене ризика од бујичних поплава

1.6. ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА

Осим научног значаја који се пре свега огледа у проналажењу адекватних показатеља за процену ризика од поплава и који је већ апострофиран, значај ове студије је и друштвени. Огледа се у томе што ове студије припадају скупу превентивних мера у ширем смислу и са тог становишта су важне за ефикасније управљање водним ресурсима и ризицима од природних непогода *(Disaster Risk Management Cycle)* (Smith & Petley, 2009; UNDP, 2004), те су неопходне за бројне кориснике, одговорне и заинтересоване стране, почевши од одговарајућих управних органа (надлежних Министарстава) преко стручњака из разних области (за просторно планирање, образовање и слично), до осигуравајућих кућа и свих оних у чијем је интересу заштита од природних непогода. Јачањем превентивних активности ће се смањити обим активности на отклањању штета и последица бујичних поплава, а концепт у коме се предност даје превентивним неинвестиционим мерама у односу на инвестиционе је заступљен у европском законодавству о водама (Varga & Babić Mladenović, 2001). Директивом о

поплавама и Законом о водама је предвиђена и израда планова управљања ризицима од поплава, који се раде на основу процена ризика, тако да је и у томе значај овог истраживања. Поменути документи представљају елементе интегралног управљања речним сливовима.

Процене ризика у овој студији су рађене на нивоу сливова као природних просторних јединица. Управљање водама на нивоу слива се препоручује Директивом о поплавама и Законом о водама. Такво управљање је једино исправно јер сагледава све факторе који утичу на појаву бујичних поплава, а процене ризика тако урађене дају добру основу да се управљање исправно спроводи.

2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР

2.1. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ – ДЕФИНИЦИЈЕ, ТЕРМИНОЛОГИЈА И ОДЛИКЕ

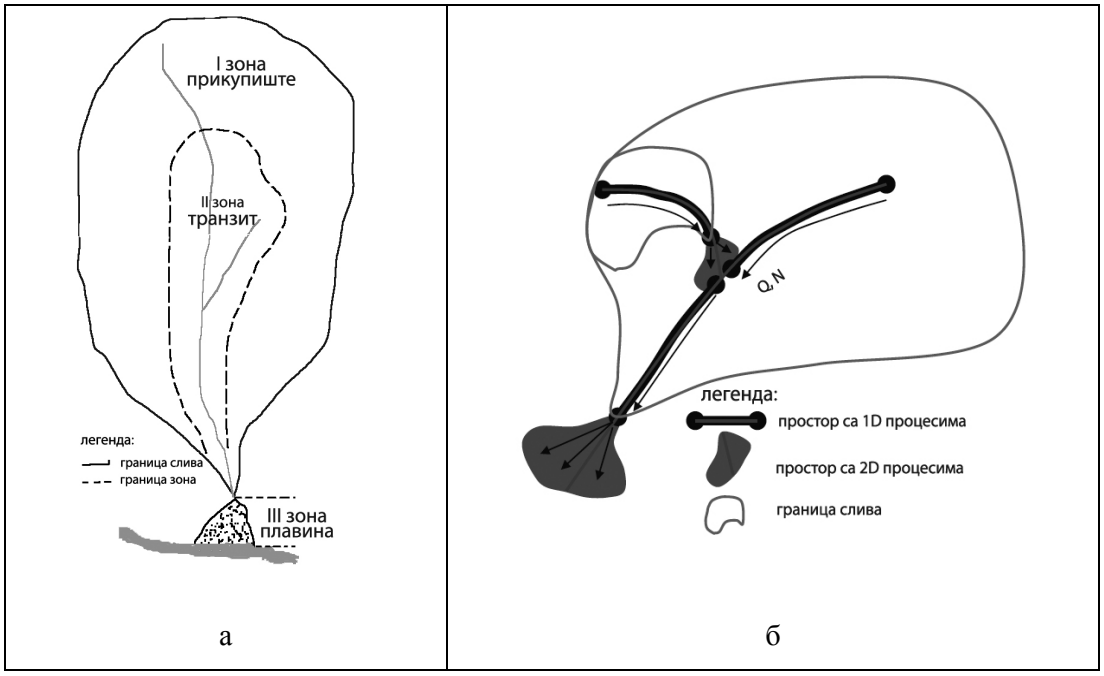
Бујичне поплаве представљају процес изливања воде са повећаном концентрацијом наноса из корита водотока. Одликују се наглим појављивањем, које настаје као последица брзог одговора слива (брзог формирања поплавног таласа) на кише јаког интензитета и кратког трајања или наглог топљења снега. Услед тога бујичне поплаве одликује и велика брзина поплавног таласа. Такође неопходан услов за појаву бујичне поплаве јесте појачана ерозија у сливу. Ristić et al (2012) истичу да су, захваљујући чињеници да је 86.4% територије Србије захваћено ерозионим процесима, бујичне поплаве најчешћа природна непогода у Србији. Чињеницу да се бујичне поплаве генеришу углавном у брдско-планинским просторима потврђују Dowling & Santi (2014), Kotarba (2007) и многи други научници који су се бавили овим феноменом. Такав просторни обухват отежава њихов мониторинг (Borga et al, 2010) и релативно слабију проученост у односу на друге типове поплава. Временски распоред појаве бујица везан је сезоналност падавина и то нарочито екстремних падавина (Anquetin et al, 2010; Zoccatelli et al, 2010; Петровић, 2014; Ристић, 1999).

Развој истраживања бујица и бујичних поплава пратиле су бројне терминолошке неусаглашености, тачније широк спектар термина који се користе да означе комплексну природну појаву каква је бујична поплава, како у свету, тако и код нас. У складу са одликама двофазног флуида (максимални протицај и висока концентрација наноса) како их описују Coussot & Meunier (1996), у литератури се користе термини „debris flows“, „torrent flows“, „mudflows“, „debris floods“, „torrent floods“, „flash floods“, „lave torrentielle“ и врло је тешко међусобно разликовати те феномене. У српском језику такође појављују се термини као што су „бујица“, „бујични ток“, „бујични слив“, „бујична поплава“, „блатна бујица“, који

означавају различите појаве везане за простор и флувијалне и падинске процесе који се односе на формирање, транспорт и таложење материјала, као и ерозионе и акумулационе облике настале тим процесима. Они су блиско повезани, али међу њима постоје разлике које се најлакше уочавају издвајањем зона у бујичним сливовима (слика 1а) (Вучићевић, 1995).

Прва зона („прикупиште“) захвата горње делове слива и у њој се одвијају процеси разарања земљишта односно ерозије у већем или мањем обиму у зависности од физичко-географских и антропогеографских услова у сливу.

Друга зона („транзит“ или „грло бујице“) је представљена речним коритима у којима се превасходно одвија транспорт бујичног материјала или како објашњавају Mazzorana et al (2013) ту се одвијају једнодимензионални (1D) процеси течења (слика 1б). Она су у великом броју случајева клисураста са израженом вертикалном ерозијом. Постоје и случајеви са израженом бочном ерозијом, у којима долази до таложења наносног материјала са обе стране речног корита и тај материјал представља нови ерозиони материјал у случају следеће бујице. Трећа зона („плавина“) представља део слива где долази до таложења наносног материјала и најчешће има облик лепезе, која је последица разливања након напуштања клисурастог дела речног корита. Најчешће се налази на ушћу у пријемни водоток. То је простор где се дешава дводимензионално (2D) течење (Mazzorana et al, 2013). Ова зона је важна као морфолошки показатељ плављења или „траг“ (Milošević et al, 2015a) који сведочи о случајевима изливања великих вода које је по карактеру бујично. У случајевима где је пријемни водоток удаљен од клисурастог дела притоке, постоји и четврта зона („одводно корито“) које је усечено у наносни материјал.



Слика 1. Зоне у бујичним сливовима (модификовано према Вучићевић, 1995) (а) и типови течења (према Mazzorana et al, 2013) (б)

Од бројних дефиниција бујица и бујичних поплава издваја се она да „бујични ток представља геоморфолошко-хидролошку јединицу, која има своје сливно подручје, своје корито и хидрографску мрежу и бујични режим протицања воде, без обзира на величину сливног подручја“ (Гавриловић, 1975). Лазаревић (2000) дефинише бујицу као „карактеристику режима сталних и повремених водотока различитих димензија, која се манифестује у чешћој, наглој и изузетно великој концентрацији наноса, после чега је корито суво или се брзо враћа на претходни протицај“.[3] Ристић (1999) бујичном поплавом назива „наглу појаву велике воде у речном кориту са високом концентрацијом чврсте фазе“ при чему у „екстремним случајевима долази до изливања двофазног флуида из корита, уз испољавање изузетног рушилачког дејства“ (Ристић et al, 2009).

Из наведених дефиниција се намеће закључак да су за појаву бујичних поплава неопходна два основна фактора. **Први фактор** и уједно окидач за појаву бујица су

[3] Многе дефиниције бујица проистичу из њихове позиције у класификацијама падинских процеса, а њихов преглед је дат у следећем поглављу (2.2).

интензивне кише кратког трајања (од неколико сати до 24 сата). Критичну количину кише која изазива бујичну поплаву дао је Гинестус утврдивши да је то киша већа од 30 mm (Вучићевић, 1995), мада у зависности од претходних падавина и њима условљене влажности земљишта, критична количина кише може бити и мања. Такође, у том временском периоду њихова укупна сума може да достигне неколико стотина mm, а интензитет до 100 mm/h (42 mm/h (Radović & Todorović, 1989), 80 mm/h (Shimizu et al, 2002), 35-40 mm/30 min (Brajković & Gavrilović, 1989)) или (320 mm/24h (Kompare & Rismal, 1989)). **Други фактор** за појаву бујица јесте појачана ерозија у сливу и то она која се категорише као I, II и III (Лазаревић, 2000) према класификацији коју су дали Гавриловић (1975) и Институт за шумарство и дрвну индустрију (1983 b), док у условима слабије ерозије (IV и V категорије) евентуална појава бујица се манифестује само у речном кориту (Лазаревић, 2000). На захваћеност слива ерозионим процесима указују и односи између малих, средњих и великих вода, који у условима нормалне ерозије за мале сливове износе 1:4:20, а за велике 1:3:6 (Вучићевић, 1995). Уколико су ови односи већи, то је јасан показатељ да је дошло до развијања ерозионих процеса, те поремећеног речног режима. Резултат појачаних ерозионих процеса у сливу јесте и повећани пронос наноса у речним коритима који за време бујичних поплава достиже и 12 пута веће вредности од просечног проноса наноса (Shimizu et al, 2002). Costa (1988) указује да концентрација седимената за време бујичних поплава износи од 0.2 до 0.77 g/l, док Јевтић (1978) износи податак да проценат наноса може да буде 60%, са појединим блоковима чији је пречник 5 m, а тежина и до 200 t.

Осим два поменута основна фактора који су уједно и услови за појаву бујица, постоји и низ других који утичу на појаву ерозије и бујичност слива. Они се могу поделити на 1) физичко-географске и то климатске (у које осим падавина спада и температура ваздуха), геолошке (тип подлоге), педолошке (тип подлоге), морфометријске везане за слив (нагиб и облик слива) и за речно корито (нагиб речног корита), вегетационе (тип, структура и старост вегетације) и 2) антропогеографске (намена површина). О њиховом утицају писали су Jakob & Hungr (2005a), Ристић & Малошевић (2011).

Многи аутори наводе да су бујичне поплаве углавном последица конвективних падавина које се појављују локално (Borga et al, 2010) и везују их за мале токове који дренирају сливове до 100 km^2 (Wang et al, 1996). Међутим има и оних који величину слива не виде као фактор за разликовање бујичних поплава од осталих типова поплава, докле год постоје кључни фактори за њихово појављивање, а то су интензивне падавине и појачана ерозија у сливу, односно одређено стање физичко-географских и антропогеографских услова у сливу (Лазаревић, 2000). Ристић (1999) на основу величине слива класификује бујичне сливове на мале, средње и велике. Gaume et al (2009) под бујичним поплавама подразумевају оне које су изазване кратким олујама које трају мање од 24 h и захватају просторе мање од 500 km^2.

Све наведене одлике могу се узети као критеријуми за различите класификације бујица. Тако Лазаревић (2000) износи да се категоризације бујица могу вршити по начину уређења, по величини топографске површине, по пореклу вученог наноса, по пореклу подлоге, по врсти штета и по величини штета. Вучићевић (1995) даје систематизацију различитих класификација бујица правећи разлику између квалитативних које нису стекле већу примену у пракси (према развијености хидрографске мреже – реке, потоци, вододерине, јаруге; према врсти ерозионих процеса – подривњаче, спирњаче, мешовите; према типу наноса – блатне, блатно-камене, водно-камене) и квантитативних код којих постоји покушај да се уради квантитативна анализа бујичног слива (према интензитету и распрострањености ерозионих процеса). Једна од таквих је класификација С. Гавриловића (1975) који разликује пет категорија ерозионих процеса према њиховој јачини (ексцесивна, јака, осредња, слаба и врло слаба) и шест типова бујичних токова према хидрографским класама (бујичне реке, бујичне речице, бујични потоци, суводолине, урвински токови, као и јаруге и вододерине).

Велика брзина кретања, снага удара, а притом мала могућност за благовремено најављивање (прогнозирање) су карактеристике бујичних поплава које изазивају велика разарања, те за последицу имају велике материјалне штете и често људске

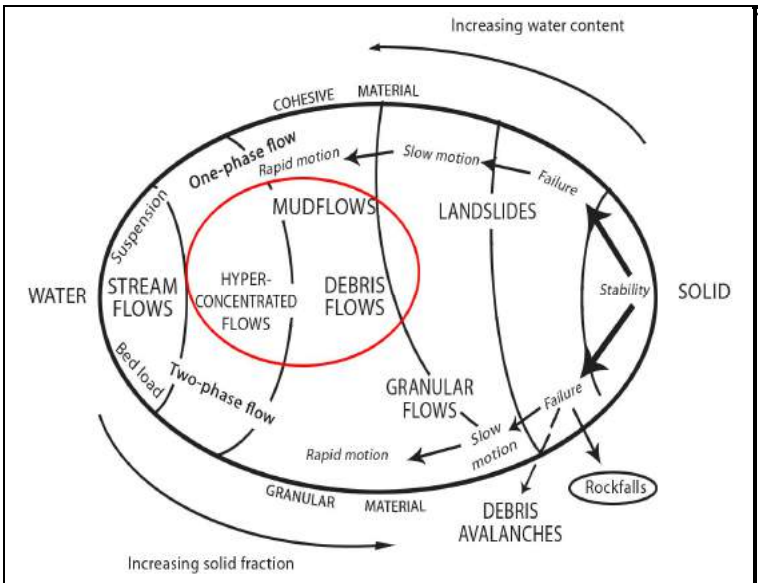
жртве (Dowling & Santi, 2014; Jakob & Hungr, 2005a). Често се бујичне поплаве јављају са другим природним непогодама најчешће ураганима, тајфунима и њиховим комбинацијама са земљотресима и вулканским ерупцијама, и у тим случајевима се оне дешавају као секундарне непогоде (Jakob & Hungr, 2005б), односно последица су мултихазарда (Zhou et al, 2015; Varazanashvili et al, 2012). Такође могу да се јављају заједно са другим падинским процесима, најчешће са клизиштима и Jakob & Hungr (2005б) наводе да се бујичне поплаве јављају као покретачи великих клизишта.

У овој дисертацији су третиране све категорије бујичних токава како по типу речног корита (хидрографској класи), тако и по врсти наноса. Тачније као потенцијална бујична корита третирани су и стални водотоци, као и јаруге и вододерине које су суве, али су предиспониране тако да у њима може да се одвија течење. Како је као основни циљ ове дисертације постављен избор одговарајућих показатеља бујичних поплава, то су на основу наведених одлика бујичних сливова издвојене плавине као несумњив траг да је постојало бујично изливање, учесталост падавина већих од 30 mm и присуство ерозије I, II и III категорије.

2.2. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СИСТЕМУ КЛАСИФИКАЦИЈЕ ПАДИНСКИХ ПРОЦЕСА

У класификацији падинских процеса бујице припадају делувијално-пролувијалним процесима за које су карактеристична дифузна, односно линијска спирања (Марковић et al, 2003). Важно је напоменути да ти падински процеси представљају услов за појаву бујица и бујичних поплава, као и то да такав услов може да буде и присуство осталих падинских процеса (елувијалних и колувијалних), за чију појаву није карактеристично површинско спирање. Као последица делувијално-пролувијалних процеса настају ерозиони и акумулативни облици рељефа, који указузују да такав простор има бујични карактер. Ерозиони облици који се јављају у таквим сливовима су јаруге, вододерине и рђаве земље (bad lands), а акумулативни плавине, плавинске лепезе и делувијално-пролувијални застори. Њихов просторни распоред у оквиру слива је последица

сложених закономерности и то такав да се ерозиони облици налазе у узводном и централном делу слива, а акумулативни у низводном, тачније на ушћу у други водоток, односно слив (слика 1а).



а

Врста материјала / Тип кретања	Стене	Крупан нанос	Ситан нанос
Одрони	Rockfall	Debrisfall	N/A
Клизишта	Rockslide	Debris slide	Mudslide
Лавине	Rock avalanche	Debris avalanche	N/A
Течење	Камене бујице	Бујице	Блатне бујице

б

Слика 2. Класификација падинских процеса са означеним местом бујичних поплава (према Coussot & Meunier (1996) (а) и табела са модификованом и поједностављеном, иновираном Варнесовом класификацијом према Hungr et al (2014) (б))

С обзиром на то да имају изражену одлику двофазног флуида (максимални протицај и висока концентрација наносног материјала), бујичне поплаве заузимају одређено место у класификационом систему падинских процеса (Coussot & Meunier, 1996). Та двофазност је одлика бујица, блатних бујица и водотока са великом концентрацијом наноса (означени део на слици 2а). У оквиру падинских процеса Dowling & Santi (2014) дефинишу бујице као јединствен падински процес у коме се материјал понаша као флуид велике брзине који прелази велике удаљености. Iverson (2005) их описује као процес транспорта између сувих камених лавина и седиментима засићених поплава са изузетно јаком везом између воде и наноса. Hungr et al (2001) додају услов да бујица мора бити ограничена на корито, да има екстремно велику брзину и услове засићеног водотока. У Варнесовој класификацији и модификованој Варнесовој класификацији (Hungr et

al, 2014) бујице су сврстане у тип клизишта на основу врсте материјала и типа кретања које одговара течењу (слика 2б).

У дисертацији су третиране све врсте падинских процеса које садрже течну компоненту, без обзира на одлике (крупноћу материјала) чврсте компоненте.

2.3. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СИСТЕМУ КЛАСИФИКАЦИЈЕ ПОПЛАВА

На основу различитих критеријума издвајају се различите врсте поплава. Бујичне поплаве у свакој од класификација заузимају одређено место.

2.3.1. Генетска класификација

Падавине су најчешћи фактор настанка поплава. Осим падавина појави поплава доприносе и други чиниоци и на основу њих Гавриловић, (1981) и Гавриловић & Дукић (2014) издвајају неколико генетских типова поплава. Уколико захватају шири простор може доћи до коинциденције великих вода на више водотока и настанка поплава ширих размера. Уколико су се падавине излучивале у виду снега, поплаве могу наступити касније са његовим отапањем. Ледене поплаве настају нагомилавањем леда у кориту реке. Уколико су падавине у облику кише интензивне и излуче се на простору изложеном ерозији велика је вероватноћа да ће доћи до појаве бујичних токова и настанка бујичних поплава. Услед рушења брана, такође долази до поплава, али се оне ретко јављају.

2.3.2. Просторна и временска класификација

У оквиру Директиве о поплавама (Directive 2007/60/EC) дата је просторна класификација поплава. Иако је тешко и готово немогуће одредити тачну границу где се дешавају једне, а где друге врсте поплава, нити има потребе за тачним повлачењем такве границе, врсте поплава на основу простора где се јављају су

изливање река из корита, или такозване речне поплаве, бујичне поплаве које се условно јављају у просторима са већом надморском висином, урбане поплаве и морске поплаве у приобалним подручјима.

Према просторном обухвату Brazdil et al (2006) издвајају поплаве, регионалне поплаве, супра-регионалне поплаве и супра-регионалне поплаве са катастрофалним исходом на основу последица као примарних показатеља и дужине трајања поплава као секундарних показатеља. Barredo (2007) истиче да захваћеност простора поплавама дефинише њихову просторну димензију, а да трајање падавина које се јављају као окидач за појаву поплава дефинише њихову временску димензију. Ови критеријуми су довољни за издвајање три основна типа поплава, а то су: поплаве на великим рекама које дуже трају, бујичне поплаве које имају локални значај у смислу простора и времена које захватају и олујне поплаве које се дешавају на обалама океана, мора и језера. Поплаве услед пуцања брана и насипа, ледене поплаве као и подтипове бујичних поплава такође издваја, али им придаје локални значај.

Бујичне поплаве се условно јављају на теренима са већом надморском висином, тачније на падинама и косинама као појаве нестабилности и геолошки хазарди како их дефинишу Stojkov et al (1998). Слично их просторно дефинишу Dowling & Santi (2014), Kotarba (2007) и други.

Временска дистрибуција и учесталост поплава је такође предмет истраживања бројних научника с обзиром на значај њиховог појављивања за људску заједницу. Утврђивање вероватноће појављивања поплава као екстремних догађаја припада статистичкој хидрологији и таква врста прорачуна неизоставан је део хидролошких студија и студија које се баве проценама ризика. Тако се на основу вероватноће појављивања поплаве означавају као оне са вероватноћом 10%, 5%, 2%, 1%, 0.1%, односно са одређеним повратним периодом као 10-годишње, 20-годишње, 50-годишње, 100-годишње, 1000-годишње поплаве и тако редом. Анализом вероватноће појава великих вода на нивоу Србије бавили су се многи аутори, нпр. Prohaska et al (2009), Gavrilović et al (2012), док су се многи бавили

том врстом анализе на нивоу појединачних сливова. Бујичне поплаве које имају велику разорну моћ, често у таквој класификацији нађу место као оне које имају малу вероватноћу појаве, односно велики повратни период, мада је због малог броја података о њима тешко са сигурношћу говорити о поузданости таквих прорачуна. Ако је реч о унутаргодишњој расподели бујичних поплава оне прате сезоналност падавина.

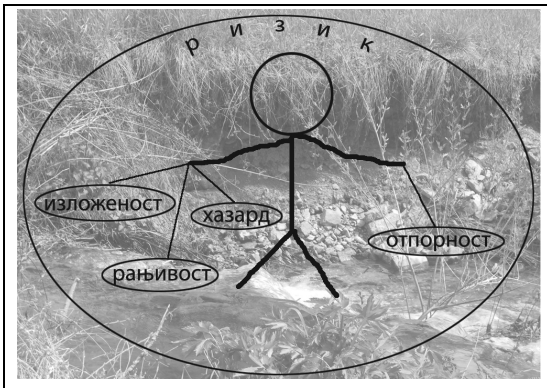
2.4. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ КАО ПРИРОДНА НЕПОГОДА

2.4.1. Дефиниције основних појмова

Природне непогоде представљају непогоде које су изазване природним процесом повећаног интензитета који утиче на редовне људске активности и чије последице могу бити жртве и материјалне штете, а које локална заједница не може сама да превазиђе. Сличне дефиниције се користе у бројној релевантној научној и стручној литератури (UNISDR, 2004; Wisner et al, 2004; Đarmati & Aleksić, 2004). Осим природних непогода постоје и техничко-технолошке непогоде изазване дејством човека, и које заједно са природним непогодама чине елементарне непогоде. Непогода је резултат природног процеса (хазарда), рањивости и недовољних капацитета или мера које би смањиле њене негативне последице. Тако хазард представља потенцијал, а непогода реалност (Tobin & Montz, 1997). Хазард може да доведе до непогоде, а непогода је утицај хазарда на заједницу или простор. Непогода се често дефинише као догађај који превазилази капацитете друштва да се изборе са њом (Europ. Spatial Planning Observ. Netw., 2003).

У Глобалном извештају о смањењу утицаја непогода (UNISDR, 2004), Хјого оквиром (UNISDR, 2005), Сендаи оквиром (UN, 2015), другим међународним документима који су из њих проистекли и научним радовима (Wisner et al, 2004; Thywissen, 2006; Dilley et al, 2005; Turner et al, 2003; Birkmann and Bogardi, 2004) већ неколико деценија уназад дефинисани су појмови **природних непогода**, **ризика** од природних непогода и компоненти ризика: **хазарда (природне појаве)**, **изложености** (угрожени елементи простора), **рањивости** (одлике угрожених

елемената простора) и **отпорности (способности опоравка)** (слика 3а) и њиховом међусобном односу. Компоненте које повећавају ризик су хазард, изложеност и рањивост (директно су пропорционалне ризику), док је отпорност заједнице та која га умањује (индиректно је пропорционална ризику). Овакав присуп је антропоцентрични, јер ставља човека у улогу онога ко детерминише да ли је неки простор у ризику од природних непогода или није. Уколико нема човека, његових материјалних добара и делатности, тада је о природним процесима ма каквог интензитета исправно говорити само као о природним процесима (слика 3б). Из овога се закључује да се процене ризика раде за простор, а да су елементи простора (људи, материјална и природна добра које је човек окарактерисао као таква) изложени тим природним процесима и у одређеној мери рањиви. Према препорукама Директиве о водама, основна просторна јединица за управљање водним ресурсима је слив (Directive 2000/60/EC), а према Директиви о поплавама мере за смањење ризика од штетних последица поплава треба да буду усклађене у оквиру слива (Directive 2007/60/EC). Стога је за процену ризика од бујичних поплава у овој студији као основна јединица такође изабран слив без обзира на то на ком нивоу детаљности се ради.



а

б

Слика 3. Компоненте ризика и њихови међусобни односи (а)
и хазард као природни процес (б)

Предмет истаживања у овој студији су бујичне поплаве, које према генези спадају у природне непогоде. У складу са тим, бујичне поплаве такође представљају природне процесе повећаног интензитета, а уколико за последицу имају жртве и

материјалне штете и заједница не може сама да их превазиђе, добијају карактер природних непогода.

Постоје бројна истраживања која се односе на бујице као природни процес. Предмет њиховог истраживања су генеза (Jakob & Hungr, 2005a), одлике транспорта наноса укључујући брзину (Han, 2014), одлике ерозионих и акумулативних облика рељефа насталих у том процесу (Santo et al, 2015; Abanco & Hürlimann, 2014; Chevalier et al, 2013; Calvache et al, 1997; Ршумовић, 1986; Милић, 1984), регионалне анализе њиховог режима (Parajka et al, 2010; Gaume et al, 2010; Ристић, 1999; Петровић, 2014) и његове просторно временске варијабилности (Anquetin et al, 2010; Zoccatelli et al, 2010), мониторинг (Anagnostou et al, 2010; Bouilloud et al, 2010; Gourley et al, 2010; Viglione et al, 2010) и развијање прогностичких модела њиховог појављивања (Rossa et al, 2010; Rozalis et al, 2010; Javele et al, 2010). Ипак у последње време све више је радова који се односе на њихову инвентаризацију у смислу последица које су оставиле, као и оних који се односе на сагледавање ризика од бујичних поплава (Zhou et al, 2015; Petrović et al, 2014; Varazanashvili et al, 2012; Karmakar et al, 2010; Kobler et al, 2004).

Свака компонента ризика се састоји од сегмената који представљају процесе, елементе простора и њихове особине. Ипак, у свету, а и у Србији, још увек долази до њихове погрешне интерпретације и међусобног мешања, те до њихове неадекватне употребе. Најчешће долази до погрешне употребе термина непогода и хазард, односно користи се термин хазард, а да се притом не мисли само на природни процес већ и социо-економску компоненту (рањивост и способност за опоравак). Тако се на пример говори о картирању хазарда, а користе се променљиве као што су густина становништва, густина путне мреже и доступност пијаће воде (на пример Sanyal & Lu, 2006). Стога укратко следи преглед основних дефиниција појмова који се односе на природне непогоде, ризик од непогода и његове компоненте. Коришћење наведених термина у овој дисертацији се односи на тако дефинисана значења.

Природна непогода (Natural hazard)

У складу са дефиницијом природне непогоде од стране УН (UNISDR, 2004), природна непогода представља озбиљно нарушавање функционисања заједнице или друштва услед дејства физичког догађаја, процеса или феномена проузрокујући знатне људске, материјалне, економске или еколошке губитке који превазилазе могућност погођене заједнице или друштва да их превазиђе сопственим ресурсима.

Овом приликом потребно је нагласити да се често сусрећемо и са термином **природна катастрофа.** Он се односи на велике природне непогоде које за последицу имају велики број жртава и велике материјалне штете. У међународној бази података о непогодама (EM-DAT – Emergency Events Database) непогода се региструје и има одлике катастрофе када испуни барем једну од следећих критеријума, а то су 10 или више погинулих, 100 људи погођених непогодом, ако је било проглашно ванредно стање и/или ако је постојао позив за међународну помоћ. Tobin & Montz (1997) наводе да катастрофа настаје када има или 500 жртава или 10 милиона долара штете, али и наглашавају да за мање заједнице и далеко мање жртве и штете значе катастрофу. Стога је јасно да је овај појам релативан, те да треба бити опрезан са његовом употребом. За Србију нису карактеристичне непогоде са оволиким бројем жртава иако штете могу бити знатне.[4] Објективности ради, термин „катастрофално“ треба пажљиво користити како у научним студијама, тако и у образовном систему, јер се и на тај начин доприноси смањивању ризика и ублажавању последица (пре свега психолошких, јер је ширење страха и панике једна од значајних негативних последица непогода). Стога је адекватна терминологија и информисаност једна од мера и препорука за повећање отпорности и смањење ризика. Важан задатак у том смислу је и утицај на медије да се придржавају адекватне терминологије.

[4] Поплаве у Србији 2014. године биле су великих размера. Током поплаве је 51 особа је изгубила живот од чега су се 23 особе удавиле. Материјална штета је процењена на 1.7 милијарди евра (УН, ЕУ & Светска банка, 2014)

Хазард - природан процес (hazard)

Хазард се дефинише као физички догађај, процес или феномен који може да изазове штете. Према генези може да буде геолошки, хидрометеоролошки или биолошки, а може да се разликује по магнитуди или интензитету, учесталости, трајању, простору који обухвата, брзини настанка, распростирању и повратном периоду (UNISDR, 2004).

Бујичне поплаве, према класификацији УН (UNISDR, 2004), спадају у групу како геолошких тако и хидрометеоролошких хазарда који представљају природни процес или феномен који се дешава на површини земље, а може да изазове жртве или повређене, штете, социјалне и економске последице или нарушавање животне средине.

Изложеност (Exposure)

Изложеност представља елементе који су изложени ризику, људе и објекте који су под дејством хазарда (UNDP, 2004). Изложеност представља људе, њихова материјална добра, системе и функције који су изложени дејству хазарда и тиме ризику од губитака (Multihazard Mitigation Council, 2002).

Рањивост (Vulnerability)

Рањивост представљају услови одређени физичким, социјалним, економским и еколошким факторима и процесима, који повећавају осетљивост заједнице на утицаје хазарда (UNISDR, 2004). Рањивост се такође дефинише као смањена способност да се апсорбује утицај непогоде и да се од ње опорави (UNDP, 2004). Може бити физичка, социјална, економска, као и рањивост животне средине Концепт рањивости се временом мењао и ширио (Birkmann, 2005) у зависности од аспекта истраживања, која се некада односе на само поједине факторе (на пример полна или старосна структура), а некада на комбинацију неколико фактора. Класификацију концепата рањивости дао је McEntire (2011), која се може свести на две категорије, рањивост у ширем и рањивост у ужем смислу (Kovačević-Majkić et al, 2014б). Шири концепт рањивости укључује способност опоравка и способност адаптирања. У таквом концепту рањивост се посматра као динамички процес (Cutter & Finch, 2008). Слично томе, Holand et al (2011) износе схватање да је рањивост целина, кога чине људи *(human system),* независна од потенцијалних

догађаја какви су природни процеси. Дуалност схватања концепта рањивости доводи до потребе да се нагласи на коју врсту рањивости се мисли. Како природне непогоде могу да имају глобално простирање, оне могу да се догоде у било ком делу земље без обзира на степен економског и социјалног развоја. Материјална добра сиромашних заједница имају мању вредност и тиме су оне мање рањиве, говорећи у апсолутним, не релативним бројевима. Са друге стране, богате заједнице имају веће капацитете за опоравак, па ако се рањивост посматра у ширем смислу, оне су мање рањиве, то јест у таквом концепту последице су оно што прави разлику између неразвијених и развијених земаља.

Отпорност/ способност опоравка (Resilience)

Отпорност или способност опоравка представља капацитет система, заједнице или друштва који су потенцијално изложени хазарду да се прилагоде како би достигли и одржали прихватљив ниво функционисања. Величина отпорности је одређена степеном могућности заједнице да се организује како би ојачала своје капацитете да учи на основу прошлости у циљу будуће заштите и како би унапредила мере за смањење ризика (UNISDR, 2004).

Капацитети за опоравак (Coping capacity)

Капацитети за опоравак представљају све расположиве снаге и ресурсе које људи односно заједница користе како би смањили ризике од непогода и ублажили њихове негативне последице. Они укључују физичке, институционалне, социјалне и економске ресурсе како у редовним околностима (управљање ресурсима), тако и и за време ванредних ситуација (UNISDR, 2004).

Ризик (Risk)

Постоје многе дефиниције ризика настале као последица различитих приступа и различитих области у којима се овај термин користи. Према Међународној организацији за стандарде ИСО 31000:2009[5]), ризик се дефинише као „ефекат несигурности на објекте“, при чему несигурности представљају догађаје који могу и не морају да се догоде, али могу да буду и последица двосмислености и

[5] https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-1:v1:en

недостатка информација. Несигурности подразумевају и позитивне и негативне утицаје на објекте. Ова дефиниција ризика се односи на многе области, што значи да процене ризика и управљање ризицима у разним областима имају исте принципе и концепте. И остале дефиниције ризика садрже појмове као што су потенцијал, последице, вероватноћа, несигурност. У области непогода ризик се дефинише као вероватноћа штетних последица или очекиваних губитака (жртве, повређене, оштећене објекте, ометање економских активности или нарушавање животне средине) које настају као последица интеракције између природних или техничко-технолошких хазарда и рањивости (UNISDR, 2004). Ризик према Директиви о поплавама представља „комбинацију вероватноће појаве поплаве и могућих штетних последица поплаве на људско здравље, животну средину, културно наслеђе и привредну активност“.

За дефинисање ризика такође је неопходно одабрати концепт на основу кога се дефинишу показатељи и прикупљају подаци за његову процену. Развијено је неколико концепата на основу којих се процењује ризик (Kolarov & Babić Mladenović, 2010; Jovanović & Cvetković, 2015). Најједноставнији је концепт физичке изложености који одговара броју оних становника који се налазе у областима изложеним природним процесима одређене јачине и учесталости, као и рањивости оних који су изложени дејству тог процеса (UNDP, 2004). Што је зона ближа водотоку, то су угроженост и ризик већи. Тај концепт је примењиван у бројним студијама (Nadim et al, 2006; Jovanović et al, 2009). Други концепт је заснован на новчаном дефинисању штета. Такав концепт је доста поуздан јер се заснива на функцијама зависности штета за разне области (насеља, инфраструктуре, свих грана привреде појединачно) у зависности од дубине воде. Развијен је и примењује се, на пример, у Немачкој (Pasche et al, 2005 цитиран у Jovanović et al, 2009), а у Србији су Јовановић и сарадници применили такав концепт (Jovanović et al, 2009), али се он не користи у широј мери јер захтева добро познавање функција зависности штета од дубине воде. Трећи концепт се заснива на неновчаном дефинисању штета, тачније на пребројавању угрожених елемената, такозваних „модула“ (Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2012). Овај концепт је доста једноставнији од претходног јер не подразумева

утврђивање математичких зависности између штета које би настале плављењем угрожених елемената водом одређене дубине. Четврти концепт се дефинише висином премије осигурања и реосигурања које се одређује на основу карата ризика. Овај концепт је најновији и представља једну од неинвестиционих мера заштите од поплава јер ће се висином премије штитити зоне велике угрожености од поплава (Jovanović & Cvetković, 2015).

Процена ризика (Risk assessment)

Процена ризика према дефиницији УН (UNISDR, 2004) представља методологију за одређивање одлика и распростирања ризика анализом потенцијалних хазарда и евалуацијом постојеће рањивости која може да представља потенцијалну претњу и штету људима, њиховим материјалним добрима, имању и животној средини од којих зависе.

Природне непогоде, па тако и бујичне поплаве, као случајни процеси имају вероватноћу појављивања одређеног интензитета. Студије процене ризика према дефиницији садрже анализу потенцијалних хазарда то јест оцену вероватноће њиховог појављивања, које у комбинацији са стањем елемената који су изложени и рањиви дају информације о просторном распореду ризика.

С обзиром на чињеницу да захватају мање просторне јединице, бујичне поплаве имају већи утицај у појединачним земљама него на глобалном нивоу, тако да се и студије ризика од бујичних поплава не раде на глобалном, већ чешће на регионалном и локалном нивоу. Ипак, удео бујичних поплава у укупном ризику од непогода је значајан, јер он, акумулирајући се на локалном нивоу, утиче на пораст ризика на националном и глобалном нивоу (UNDP, 2004).

Бројни показатељи који се користе у студијама процена ризика се такође користе и у другим студијама, на пример студијама развоја и студијама регионалних неједнакости какву је дао Winkler (2012). То не указује да је избор показатеља погрешан, већ да се на основу истих показатеља могу разматрати различити проблеми.

У овој дисертацији све компоненте ризика су третиране посебно, јер је у математичким прорачунима њихово рашчлањивање бољи избор. Стога се не говори о физичкој изложености већ о хазарду и изложености, а под рањивошћу се подразумева рањивост у ужем смислу, док се отпорност и способност опоравка посебно третирају. Компоненте и њихови делови су изражени преко показатеља који најбоље описују бујичне поплаве као природну непогоду.

***Хазард**, који се изражава као „вероватноћа појаве поплаве“ (Directive 2007/60/EC) и као „природни процес одређене јачине и учесталости“ (UNDP, 2004), тешко је одредити код појава као што су бујичне поплаве, јер по својој природи ове поплаве кратко трају, интензивне су и дешавају се на сливовима где нема уопште или нема у довољној мери хидролошких и метеоролошких станица које би такве појаве забележиле. Последица тога је недостатак хидролошких и метеоролошких података, а тиме и довољно дугачких низова на основу којих би прорачуни вероватноће појаве бујица били поуздани. Тамо где постоји хидолошка станица са довољно дугачким низом осматрања, могуће је проценити протицаје одређене вероватноће појаве и на основу њих одредити хоризонтално простирање плавне зоне и дубине воде на том профилу. У случају да подаци осматрања протицаја нису расположиви за анализу вероватноће, протицаји одређене вероватноће појаве се процењују на основу рачунских киша разматране вероватноће појаве применом хидролошких модела (Jovanović et al, 2014). Одређивањем плавне зоне одређује се зона угрожености (Directive 2007/60/EC). Граница плавне зоне дуж водотока, дубине, нивои и брзине воде могу се одредити хидрауличким прорачунима уз што је могуће детаљнији дигитални модел терена, познавање карактеристичних речних профила и познавање рачунских протицаја на свим карактеристичним профилима. Овакви прорачуни дају резултат који носи одређену неизвесност (Jovanović et al, 2014) везану за оцену вероватноће појаве екстремних протицаја у разматраним профилима и друге процене. У многим израђеним студијама ризика на овај начин се утврђује плавна зона одређене вероватноће појаве или више плавних зона са одређеним вероватноћама појаве (најчешће 1%, 2%, 5%, 10%), чиме се завршава анализа хазарда. Плавна зона представља резултат свих фактора који утичу на њено стварање*

(падавина као узрока појаве, али и осталих фактора као што су густина речне мреже, облик слива, геолошки и педолошки састав, нагиб корита и други). У анализи хазарда сви побројани фактори који утичу на величину протицаја и простирање поплаве су инкорпорирани у величину плавне зоне и не третирају се посебно као показатељи хазарда и ризика. Оно што одређује величину ризика су елементи који су изложени том ризику.

У овој дисертацији се одступа од таквог приступа и то из ових разлога:
а) на нивоу целог слива непостојање података о протицајама и других података за хидролошко-хидрауличке прорачуне доводи до напуштања одређивања плавне зоне на горе наведени начин и окретање ка морфолошким индикаторима за њено одређивање. Алувијалне равни и плавине су морфолошки показатељи који сведоче о процесима флувијалне акумулације и то при поплавама мале вероватноће појаве (то јест великог повратног периода). Недостатак таквог приступа је непостојање унутарзоналности у оквиру плавне зоне, односно граница плавних зона за поплаве веће учесталости. Међутим, то није циљ ове дисертације. Овде се разлике у величини ризика не праве у односу на близину водотока, већ међу подсливовима у оквиру већег слива.

Пример одређивања плавне зоне на основу хидролошко-хидрауличких прорачуна показан је на једној деоници слива за неколико карактеристичних протицаја одређене вероватноће појављивања које препоручује Директива о поплавама (0.1% - пример поплаве мале вероватноће појављивања, односно сценарио екстремног догађаја, 1% -пример поплаве средње вероватноће појављивања, 2% - пример поплаве веће вероватноће појављивања, уколико је потребно) (Directive 2007/60/EC).

б) Из управо наведеног следи да су сви фактори који доводе до појаве поплава битни како би се изразиле разлике међу подсливовима. Стога ће се ти фактори користити као показатељи величине хазарда, а не само граница плавне зоне као њихов резултат. Величина плавне зоне ће се користити као један од показатеља, уз све остале показатеље који утичу на величину хазарда, односно ризика.

в) У малом броју студија се проучавао ризик од бујичних поплава у Србији. Теоријски се зна да интензитет ерозије утиче на интензитет бујичне поплаве, али се готово нигде то није показало кроз показатеље у проценама ризика. Алувијалне равни и плавине свакако сведоче о догођеним бујичним поплавама, али интензитет ерозије, као и остали фактори који утичу на појаву било које врсте поплава ближе одређују величину ризика од њих.

Ако се вратимо томе да је хазард одређен интензитетом појаве и њеном учесталошћу, то јест вероватноћом, у овој дисертацији закључци би били следећи: величина протицаја се неће узимати за одређивање плавне зоне јер ће се користити морфолошки показатељ који одређује највећу могућу потенцијалну „морфолошку плавну зону“; о вероватноћи појаве се може говорити само код основних узрочника (окидача) појаве бујичних поплава, а то су интензивне падавине кратког трајања (неће се третирати нагло топљење снега и дуготрајне претходне падавине које изазивају засићеност земљишта влагом) и то оне једнаке или веће од 30 mm/дан, као и ерозије I, II и III категорије. У том смислу се о величинама узрочника или окидачима појаве бујица може говорити као о граничним. Наиме, можемо претпоставити и усвојити да свака киша једнака или већа од 30 mm/дан на терену на коме постоји ерозија I, II и III категорије може довести до појаве бујица. То значи да су интензитети и прагови за окидаче већ утврђени и да ће се величина хазарда и ризика процењивати на основу њихове учесталости кад су у питању падавине односно просторне заступљености кад је реч о интензитету ерозије.

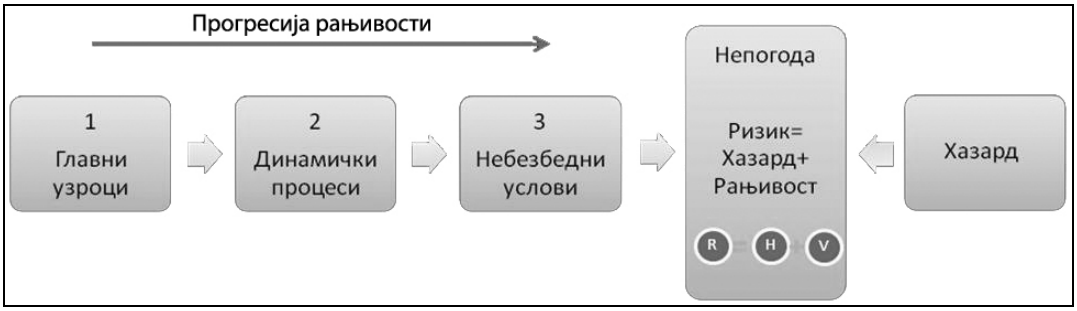
Осим хазарда на основу којег се дефинишу зоне угрожености, у овој дисертацији концепт за процену ризика је најприближнији трећем концепту који се односи на неновчано дефинисање штета. Наиме, посебно су одабрани показатељи изложених елемената, њихових особина, као и оних који указују на степен отпорности, односно капацитете и способност за опоравак. Неки од њих су изражени у апсолутним вредностима, неки у релативним, док су некима на основу квалитативних особина додељене номиналне вредности.

У овој дисертацији разлика између отпорности и капацитета за опоравак је направљена тако што се под отпорношћу подразува отпорност као скуп мера у ужем смислу (активне и пасивне техничке мере), док су капацитети за опоравак представљени као отпорност у ширем смислу.

Ова дисертација, у складу са дефиницијом процене ризика и у складу са њеним основним циљем (проналажење најбољих показатеља ризика), није прогностичка, већ концептуална (структурна) и као резултат треба да издвоји просторе у којима је ризик повећан.

2.5. БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ У СИСТЕМУ ПРИРОДА-ДРУШТВО

Феномен природних непогода је настао као резултат колизије између природних и социоекономских процеса (Wisner et al, 2004) који су вишеструки. Са једне стране природни процеси одређене јачине погађају људске заједнице, док са друге стране, људи својим активностима (пре свега урбанизацијом, различитом густином насељености, степеном заштите природих ресурса и слично) утичу на своје окружење на начин да могу да повећају учесталост појаве природних процеса и тиме повећају степен своје рањивости с обзиром на ефекте које су изазвали. Истовремено са експанзијом истраживања на тему природних непогода развијен је PAR (*Pressure and Release*) модел, који је замишљен као кључни концепт одрживог развоја људске заједнице (Wisner et al, 2004). Он дефинише постојеће односе између ефеката природних непогода на људске заједнице и велики број социјалних фактора и процеса који утичу на њихову рањивост. Разликује три групе поменутих фактора и процеса „кључне факторе“, „динамичке притиске“ и „несигурне услове“ приказане на слици 4.



Слика 4. PAR (Pressure and Release) модел – поједностављено према Wisner et al (2004)

У представљеном PAR моделу ради се о утицају човека на повећање сопствене рањивости и ризика од природних непогода. У односу на то на које компоненте природне непогоде и у којој мери човек може да утиче у циљу смањења ризика од непогода постоји одређена градација утицаја. Хазард је компонента природне непогоде која условно представља случајан процес, те је дејство човека на њега у великој мери ограничено (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014), док су компоненте које у већој мери зависе од човека рањивост и отпорност. Човек насељавањем на просторима који су изложени интензивнијим и учесталијим природним процесима повећава своју рањивост и тиме и ризик од непогода. Ако је реч о поплавама, човек насељавањем и привредним активностима у плавној зони смањује простор за природно задржавање воде (Directive 2007/60/EC). Стога је важно одредити до које мере човек сме да врши притисак (насељава, мења, интервенише) у плавној зони, а да притом не поремети природни динамички еквилибријум река (Das et al, 2014). Одлуке о насељавању и планирању простора (односно о распростирању елемената рањивости – људи, њихових добара и заштићена добра) доносе локалне заједнице или се оне доносе на вишим (државним) нивоима. Пример у којем се даје предност концепту „Живети са поплавама“ је пројекат „Простор за реку“ („Room for the River“) који има за циљ да се рекама да више простора у условима великих вода, а реализованон је у Холандији применом великог броја мера које подразумевају од продубљивања корита до релоцирања насипа и инфраструктурних објеката (https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/). Компонента која такође зависи од човека је отпорност како кад је реч о активностима које обавља заједница, тако и појединац. Gačić, Bošković & Raković (2013) такође истичу да се на рањивост и способност за опоравак може утицати

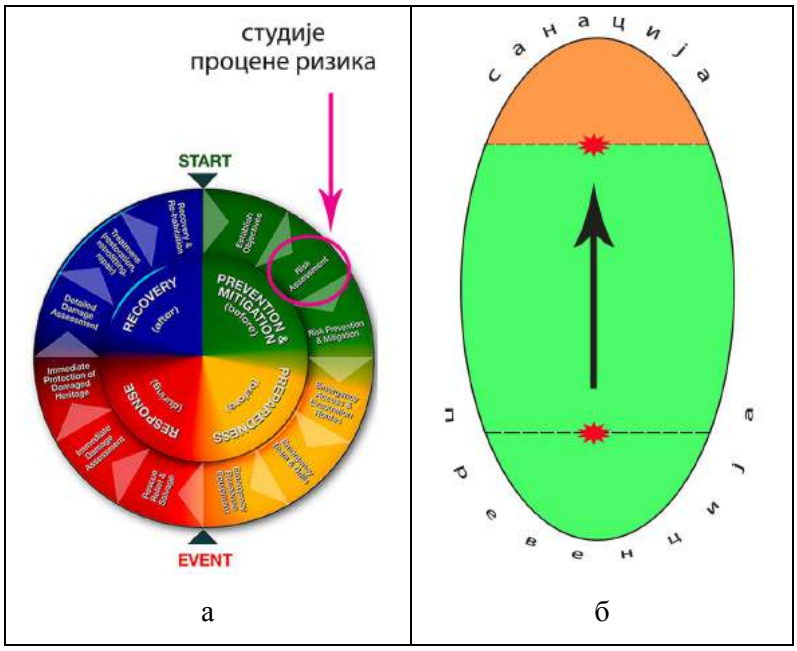
адекватним управљањем у оквиру заједнице. Милошевић и сарадници разликују три типа знања (научно, колективно и индивидуално) и показујући да човек, с обзиром на тип знања које поседује, може да утиче на компоненте природне непогоде, тврде да једино научним знањем човек може да утиче и на, у поменутом смислу, најмање осетљиву компоненту природних непогода какав је хазард (Milošević et al, 2015b). Слично томе, Ковачевић-Мајкић и Урошев сматрају да се истраживачким радом утиче на смањење ризика (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014).

У овој дисертацији се у контексту утицаја човека на природну непогоду може говорити о избору индикатора морфолошке плавне зоне. Наиме, пошто се њоме одређује граница плављења за велике повратне периоде, студије процене ризика које се раде на основу тако одређене плавне зоне имају значај за планирање простора. То даље значи да уколико би се такве процене ризика користиле за планирање простора, тиме би се несумњиво утицало на смањење рањивости, а тиме и ризика од бујичних поплава.

2.6. ЗНАЧАЈ ПРЕВЕНЦИЈЕ ОД БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА

Постоји генералан став да је у оквиру управљања ризицима од природних непогода (Disaster risk management cycle – DRM) (Wisner et al, 2004) и шире (у управљању ризицима уопште) важно наглашавати и истицати улогу превенције у односу на санацију. Ризици представљају процес, тачније непогода ће се свакако догодити пре или касније и увек ће постојати фаза пре догађаја и фаза након њега. С обзиром на чињеницу да је циљ да последице непогода буду што мање и да је утврђена законитост да рад на превенцији смањује последице, онда је важно обављати активности у овиру превенције, при чему су тачно дефинисане активности пре, за време и након догађаја. У области вода и заштите од штетног дејства вода, истицање значаја превентивних у односу на санационе мере је последица мењања става у управљању ризицима – од „борити се са поплавама“ ка „живети са поплавама“. Takeuchi (2002) наводи да се коегзистенција са поплавама заснива на холистичком приступу у реалном времену и да је однос између поплава и друштва један еволутивни процес који се никада не завршава. Слично

томе, говорећи о системском приступу у управљању ризицима од поплава Simonovic (2011) наглашава улогу повратних спрега у систему природа – друштво, а Engle (2011) генерално говорећи о управљању водним ресурсима наводи да је прихватљив онај коцепт који обухвата интегрално и адаптивно управљање. Varga & Babić Mladenović (2001) наглашавају да ће се јачањем превентивних активности смањити активности на отклањању штета и последица поплава, а концепт у коме се предност даје превентивним неинвестиционим мерама у односу на инвестиционе је заступљен у европском законодавству о водама. Kovačević-Majkić et al (2013) наглашавају значај превентивних мера у управљању водама како у ужем, тако и у ширем смислу, што значи да савремено управљање водама подразумева проактивни приступ који значи превенцију насупрот реактивном приступу који је подразумевао санацију проблема везаних за воде. Студије процена ризика у циклусу управљања ризицима од природних непогода припадају превентивним мерама и њихово место је означено на слици 5а, док је значај превентивних у односу на мере санације приказан на слици 5б.



Слика 5. Циклус управљања ризицима од природних непогода
(5а према: *fp7-sector.eu;* 5б према: Kovačević-Majkić et al, 2012)

Petrović (2015) наводи да је у управљању ризиком од бујичних поплава неопходно придржавати се мера дефинисаних у Директиви о поплавама, што потврђују и Stefanović et al (2014). Свакако, у управљању ризиком од бујичних поплава у циљу ефикасног и рационалног управљања неопходно је усмерити активности на оно што чини разлику између бујичних поплава и поплава великих река (речних поплава), а то су интензивне падавине кратког трајања које за последицу имају нагли надолазак поплавног таласа и заступљеност појачане ерозије у сливу. У том смислу је са аспекта превенције потребно успоставити системе мониторинга и брзе дојаве, као и радити на мерама за заштиту од ерозије. Тога је наука свесна, али у пракси у Србији увек постоје ограничавајуће околности за спровођење тих мера.

Значај ове дисертације је у томе што се у њој предлаже методологија за процену ризика од бујичних поплав, а процене ризика представљају део превентивних мера у циклусу управљања розицима од природних непогода.

2.7. УТИЦАЈ ПРОМЕНА КОМПОНЕНТИ РИЗИКА НА ПРОМЕНЕ РИЗИКА

Различите вредности показатеља компоненти ризика утичу на различите вредности ризика. С обзиром на то да се ризици процењују за различите просторе и односе се на различите временске периоде, логична последица су различите вредности индекса ризика који представља меру ризика. Просторне разлике у вредностима индекса ризика проистичу из различитих одлика простора за које се процењује ризик. Временска променљивост вредности компоненти ризика настаје услед промена одлика простора у времену и манифестује се променама вредности ризика. Те промене могу настати у било којој компоненти ризика, а оне које се најчешће истичу су климатске промене у оквиру компоненте хазарда, демографске промене и промене намене површина у оквиру компоненте рањивости и примене предложених мера за заштиту у оквиру компоменте отпорности.

На основу резултата *Међувладиног панела о климатским променама (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) о осмотреним и пројектованим

климатским променама, већина научника сматра да оне доводе до промена водних ресурса (Gosling & Arnell, 2013; Shiklomanov & Rodda, 2003; Arnell, 2002), промена речних режима (Stahl et al, 2010), те да је логична последица загревања планете и интензивирања хидролошких циклуса могућност да ће доћи до пораста учесталости бујичних поплава (Huntigton, 2006). Међутим, постоји и део стручне јавности који је обазрив и скептичан према оваквим ставовима (Pielke, 1999; Cluis and Laberge, 2001; Dery and Wood, 2005 цитирани у Бурић et al, 2012). Такође се и у извештају IPCC (Hartmann et al, 2013) наводи да тренд смањења протицаја река у 20. веку има низак степен поверења. Предмет полемика су, осим просторног обухвата промена, и временски ниво на коме се промене дешавају. Утврђено је да се промене дешавају углавном на унутаргодишњем нивоу (Stahl et al, 2010) и да се повећан интензитет и учесталост појаве великих вода помера са пролећа на зиму. До истих резултата су дошли научници у Србији (Dimkić & Despotović, 2012; Kovačević-Majkić & Urošev, 2014). Такође постоје разлике у схватањима да ли су климатске промене последица природних процеса или дејства човека, пре свега емисије угљен диоксида.

Са аспекта густине насељености, свакако су гушће насељени простори више рањиви, тако да је на њима и ризик већи. То показују и резултати анализе рањивости у Србији (Kovačević-Majkić et al, 2014б), према којој су се као најрањивије општине у Србији издвојиле централне београдске општине и још неколико већих градова (Нови Сад, Суботица, Ниш, Чачак, Јагодина и Крушевац). Демографске промене које се огледају у просторно временској промени густине насељености свако ће утицати и на промене вредности индекса ризика.

Трећа сегмент, сегмент отпорности, такође може имати промене у зависности од јачања капацитета простора за који се процењује ризик. Са аспекта заштите од природних непогода, па тиме и бујичних поплава, неопходно је створити услове који укључују техничке радове у речном кориту и биолошке и техничке радове у сливу. Они се још у литератури и бујичарској пракси означавају као инвестиционе или структурне мере, а Kovačević-Majkić et al (2013) их означавају као мере у ужем смислу. За разлику од њих под мерама у ширем смислу подразумева се широк

спектар мера које се означавају као неинвестиционе или неструктурне мере, а у које спадају социо-економске, па и психолошке мере, као што су образованост становништва, постојање географских информационих система о простору, постојање система за мониторинг природних процеса и система за рано упозоравање, потребна инфраструктура и људски капацитети у случају непогоде и слично. Значај образовања о природним непогодама истицали су Kovačević-Majkić et al (2014a), Panić et al (2013), Ćalić et al (2015a), Ćalić et al (2015b), Milošević et al (2015b) наглашавајући да га је у циљу ефикасности потребно спроводити системски кроз формално образовање.

С обзиром на то да су промене које се дешавају у простору комплексан процес, на који утичу тесно повезани и међусобно условљени фактори, није лако утврдити који од тих фактора и у којој мери утичу на промене водних ресурса. Ипак, ова дисертација је, између осталог, покушај да се квантитативно покаже да ће пораст учесталости интензивних падавина као окидача за појаву бујичних поплава довести и до повећања ризика од бујичних поплава, да ће демографске промене утицати на промене вредности ризика и до његовог другачијег распореда, те да ће у складу са тиме моћи да се дугорочно планира управљање ризицима.

2.8. ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА

Како у свим сегментима друштва тако је и у области управљања ризицима, неопходно постојање законске регулативе. Једна од препорука UNDP (2004) је да се закони у области управљања ризицима од природних непогода измене, али се такође истиче да њихово постојање није једини неопходан услов, већ се наглашава значај примене закона и мониторинга. Ипак постоји свест о томе да је њихова примена ограничена услед недостатка финансија и људства.

За истраживање бујичних поплава и процену ризика од њих постоји и правни оквир. Основу за заштиту од штетног дејства вода у Србији представљају два закона: Закон о водама (Службени гласник РС 30/10, 93/12б, 101/16) и Закон о ванредним ситуацијама (Службени гласник РС 93/12а). Законом о водама даје се

правни оквир за управљање ризицима од поплава (који обухвата активности пре, за време и након поплаве), док се Законом о ванредним ситуацијама даје правни оквир за управљање ванредним ситуацијама (који обухвата активности за време и након поплаве).

У циљу ефикасне превенције и смањења ризика од поплава Закон о водама Републике Србије је у одређеној мери усклађен са препорукама Директива Европске Уније. У њега су уграђене препоруке Оквирне директиве о водама, као и Директиве о поплавама које су обавезујуће за чланице ЕУ. Док Директива о водама успоставља оквир за смањење ефеката поплава, директива о поплавама се детаљније бави прелиминарним проценама ризика од поплава, картама угрожености од поплава и ризика од поплава, као и плановима управљања ризицима од поплава.

Према Закону о водама РС водна делатност између осталог обухвата Заштиту од штетног дејства вода и управљање ризицима (члан 45 и 47), у оквиру кога је дефинисано да оно подразумева израду прелиминарне процене ризика од поплава, што је и према Директиви о поплавама требало да уради свака држава чланица. У Европској Унији рок за израду је био крај 2011. године, у Србији је Процена ризика урађена 2012. године[6] и односи се на ниво републике. Она је урађена на основу правилника о утврђивању методологије за израду прелиминарне процене ризика од поплава (Службени гласник РС 1/12).

Карте угрожености од поплава и карте ризика од поплава и њихов оквирни садржај дају како Директива о водама, тако и Закон о водама РС (члан 48). Рок за израду ових карата чланицама Европске уније је био крај 2013. године, док је у Србији метологија за израду поменутих карата на нивоу препорука и општег је карактера (Jovanović et al, 2014).

На основу процена ризика од поплава раде се планови управљања ризицима од поплава, а рок за њихово доношење је био крај 2015. године (Directive

[6] http://www.rdvode.gov.rs/lat/uredjenje-vodotoka-pp-rizika-poplava.php

2007/60/EC), а у Србији 2017. година[7], те овде приказано истраживање представља допринос у домену израде општих и оперативних планова одбране од поплава и заштите од ерозије и бујица који су такође предвиђени законом о водама (Службени гласник РС 30/10, 101/16). Стручна јавност и пракса указују на потребе да се Закон о водама и даље унапређује како би се омогућило ефикасније управљање водама (Ristić et al, 2012; Ristić et al, 2015). Велики проблем представљају водотоци II реда који су дати на управљање локалним заједницама, које не располажу људством, стручним кадром нити финансијама да то спроведу (Stefanović et al, 2014). Такође стратешка документа као што је Нацрт Стратегије управљања водама на територији Републике Србије (Министарство пољопривреде и заштите животне средине, 2016) дефинише оперативне циљеве за заштиту од ерозије и бујица, као и мере за њихово спровођење. Они се односе на успостављање правног оквира, побољшање услова заштите и праћења стања и одржавање објеката и радова у циљу заштите од ерозије и бујица. Ristić et al (2015) истичу да је у том циљу у што краћем року неопходна израда следећих докумената: Национална стратегија за контролу ерозије земљишта и одбрану од бујичних поплава, Карта ерозије Србије, Катастар бујичних токова Србије и Катастар изведених противерозионих радова.

Осим ових закона донете су и глобалне и међународне конвенције, споразуми и уговори којима се регулишу активности везане за управљање ризицима од поплава и заштиту од штетног дејства вода на нивоу међународних сливова (ICPDR - International Commission for the Protection of the Danube River и Савска комисија - International Sava River basin commission). Та документа се међусобно усклађују, при чему је основни документ на основу којег се управља водама Водопривредна основа Републике Србије.

Паралелно са поменутим Законом о водама и документима који из њега произилазе, Законом о ванредним ситуацијама се такође уређује садржај и начин израде планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама у које спадају природне непогоде, односно поплаве. Министарство унутрашњих послова је

[7] http://www.rdvode.gov.rs/lat/uredjenje-vodotoka-planovi-upravljanja-rizicima.php

издало упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама и то на нивоу Републике Србије, аутономних покрајина, јединица локалне самоуправе, органа државне управе, привредних друштава, других правних лица и других организација (Службени гласник РС 96/12), односно препознало их је као део превентивних мера заштите и спасавања.

Резултати ове дисертације би могли да олакшају израду процена ризика од поплава што је законска обавеза сваке локалне заједнице у Србији.

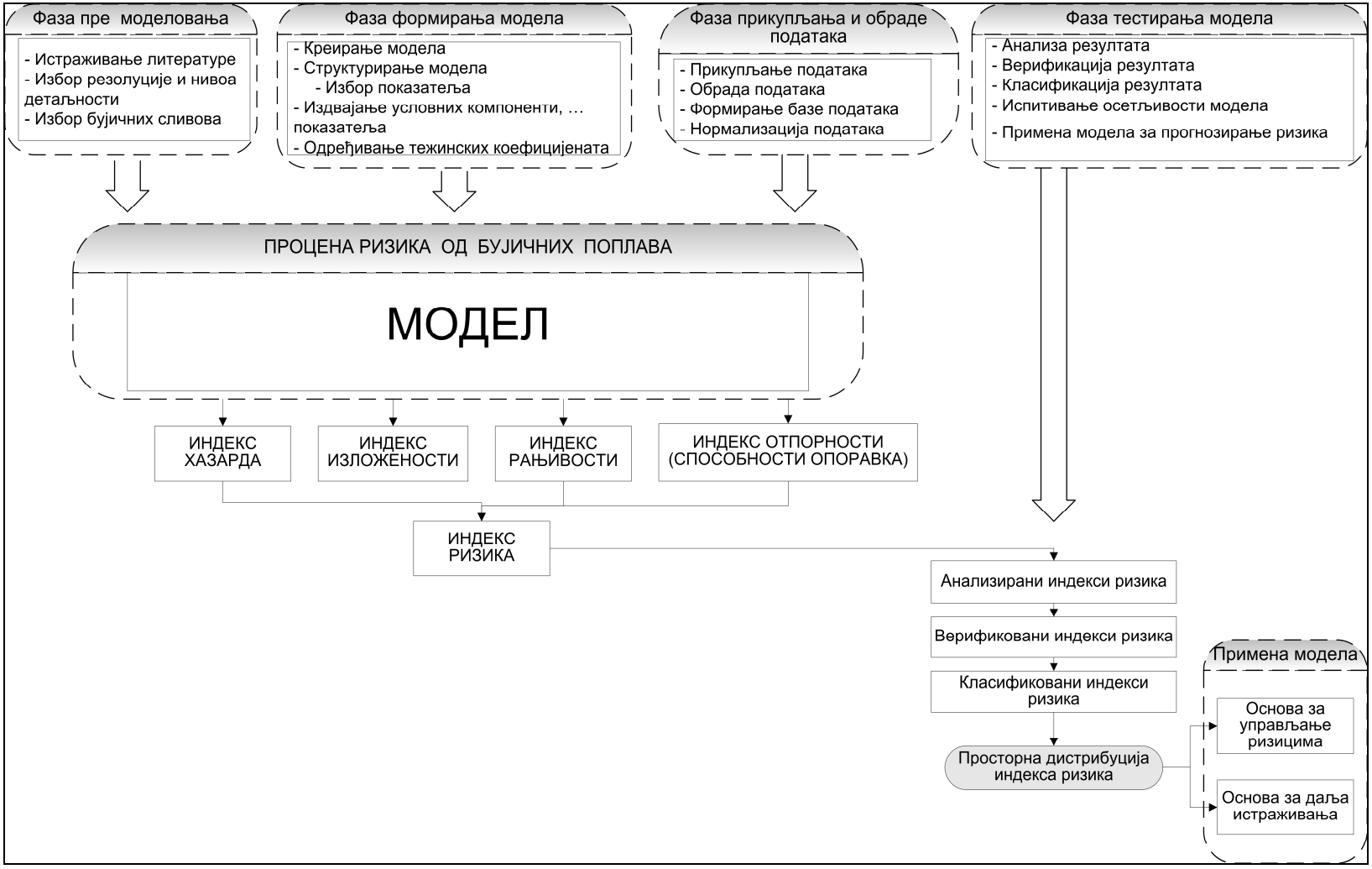
3. МЕТОДОЛОГИЈА

У овој дисертацији примењен је низ научно-истраживачких метода, кабинетских и теренских, у одређеним фазама рада. Методи су бројни с обзиром на комплексност предмета истраживања и одабрани су у складу са предметом, постављеним задацима и циљевима истраживања. С обзиром на то да ризик од бујичних поплава представља комплексну особину простора, за његово утврђивање је било неопходно дефинисати задатке, који ће то омогућити. Коришћени методи за остваривање постављених задатака су представљени по фазама рада (фаза пре моделирања, фаза формирања модела, фаза прикупљања и обраде података, фаза тестирања модела и фаза верификације модела) и у складу су са концептуалним моделом приказаним на слици 6.

3.1. ФАЗА ПРЕ МОДЕЛИРАЊА

3.1.1. Упознавање са литературом

Прва фаза истраживања подразумевала је упознавање са бројном релевантном (научном, стручном, законодавном) литературом и документацијом која се односила на природне непогоде, бујичне поплаве као једном од њих, управљање ризицима од природних непогода, као и методологијама за процену ризика од њих. Такође је у тој фази прикупљена документација о бујичним поплавама које су се догодиле, њиховим узроцима и последицама. Из тог истраживања је проистекло *уводно поглавље и поглавље о теоријском оквиру истраживања.*



Слика 6. Поступак при процени ризика од бујичних поплава

3.1.2. Избор резолуције и нивоа детаљности

Већ је претходно наведено да је слив изабран као територија за коју се врши процена ризика и да је препорука да се управљање водним ресурсима врши у оквиру слива. Ипак, претходно је потребно поставити теоријско-методолошки оквир за одређивање нивоа детаљности с обзиром на дуалност појаве какве су природне непогоде. Подаци о хазарду могу бити изворно у нумеричком или графичком (векторском и растерском) облику и релативно их је лако одредити и превести у нумерички облик на нивоу одабраних природних целина (сливова) и административних јединица (држава, општина, насеља). Са друге стране, подаци о изложености, рањивости и отпорности су нумерички и често се односе на административне јединице, јер се на том нивоу и прикупљају. Њихово свођење на природне границе је поступак који подразумева одређене генерализације и тиме смањење њихове тачности. Процена ризика се може извршити на нивоу како природних тако и административних целина.

Подаци се прикупљају за одређену просторну целину, природну јединицу (сливове) или административну јединицу, али на нивоу просторних јединица нижег реда (подјединице). То значи да се за процену ризика слива подаци прикупљају на нивоу подсливова који га чине, односно за процену ризика општине подаци се прикупљају на нивоу насеља које је чине. Такво прикупљање података омогућавава да се уоче разлике између делова у оквиру одређене просторне целине и да се на основу тих разлика доносе одлуке о управљању ризицима у оквиру те целине (превентивно деловање). У зависности од нивоа детаљности, користе се различити показатељи за рачунање индекса ризика, с тим што су неки показатељи исти на свим нивоима детаљности (на пример број становника изложених бујичним поплавама).

3.1.2.1. Избор резолуције – I ниво детаљности

У табели 2 су приказане просторне целине различитих нивоа детаљности и њихови међусобни односи како по вертикалној (припадност) тако и по хоризонталној повезаности (природне и административне целине).

Табела 2. Међусобни односи просторних целина различитих нивоа детаљности

Природне целине			**Административне јединице**		
Ниво детаљности	Графички приказ	Под јединице	Ниво детаљности	Графички приказ	Подјединице
Макро ниво		Подслив/ сливна површина	Национални ниво		Регион/округ/ /општина
Мезо ниво		Подслив/ сливна површина	Регионални/окружни /општински		Општина/ Насеље
Микро ниво		Подслив/ сливна површина	Општина/насеље		Месна заједница

Карактер бујичних поплава, односно простор који оне обухватају и последице које имају, имплицира да је студије процене ризика од њих најбоље радити на мезо (регионалном) и микро (локалном) нивоу. Томе у прилог иде и констатација Stojkov et al (1998) да се узроци настанка природних хазарда као што су клизишта и бујице развијају на регионалном нивоу, те да их тако треба и разматрати. Ипак њихов удео у укупном ризику од непогода је значајан и на макро (националном) нивоу јер он акумулирајући се на локалном нивоу утиче на пораст ризика и на националном и глобалном нивоу (UNDP, 2004). Процене ризика на микро нивоу захтевају интердисциплинарни приступ и укључивање појединаца из локалне

заједнице. На том нивоу у оквиру процене ризика на пример за одређивање компоненте хазарда подразумева се инжењерски приступ, тачније за одређивање плавне зоне, осим коришћења детаљнијих подлога, користе се математички модели за хидролошке и хидрауличке прорачуне.

Поступак процене ризика у овој дисертацији је приказан на мезо и макро нивоу детаљности.

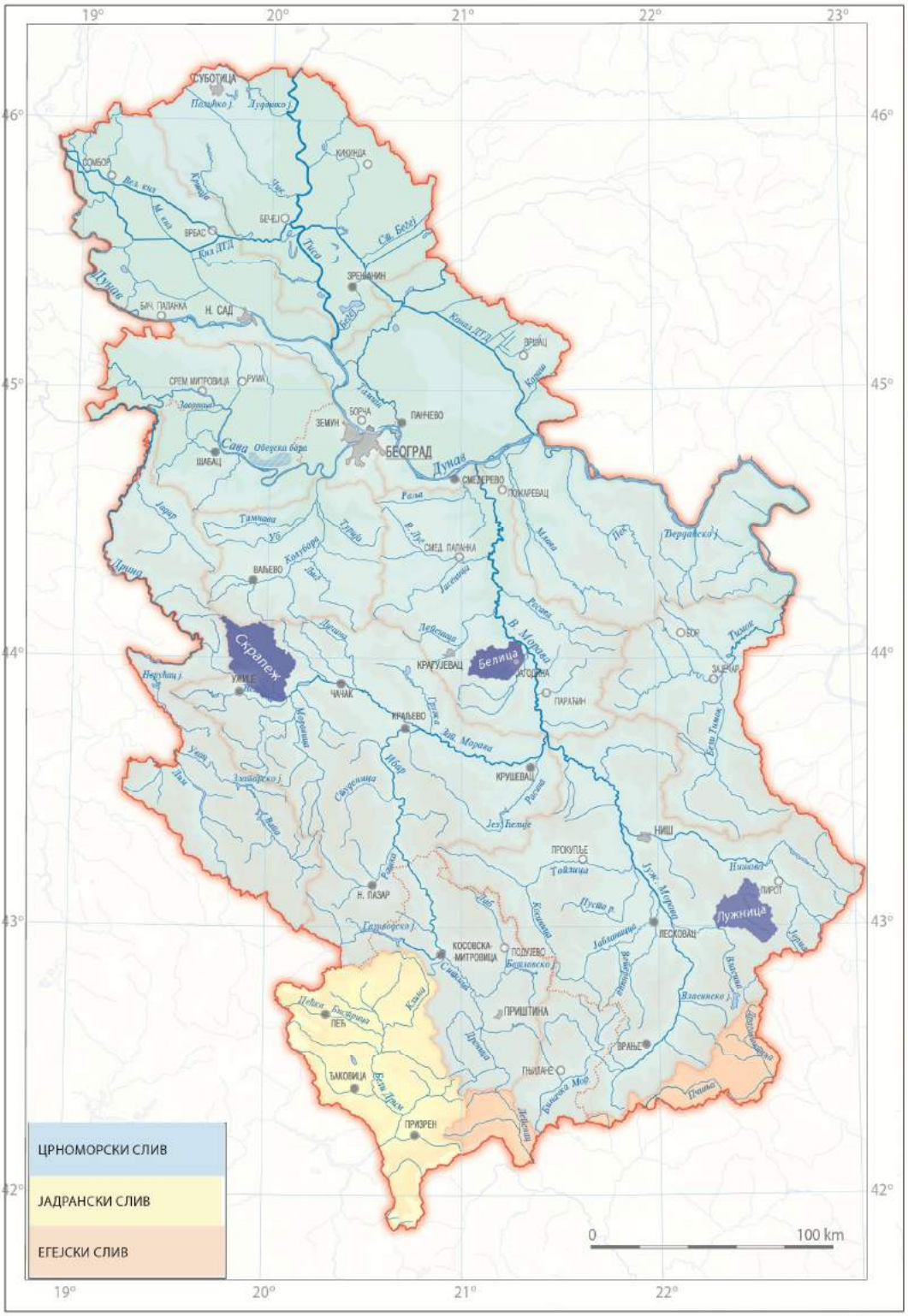
3.1.2.2. Избор бујичних сливова

Избор бујичних сливова на којима ће се радити процена ризика од бујичних поплава је био следећи задатак. Дефинисано је пет критеријума (показатеља) који се могу сврстати у две групе: **(1) трагови бујичних поплава из прошлости**[8] о којима сведоче: а) морфолошки индикатори (плавине), б) ономастички индикатори (хидроними) и в) описани случајеви бујичних поплава (литерарни извори, студије случаја које садрже податке о жртвама и другим последицама бујичних поплава, инвентар бујица, новински чланци); **(2) потенцијали или услови у сливу који доводе до појаве бујичних поплава**: а) анализе података о речном режиму и б) анализе података о ерозионим процесима.

3.1.2.2.1. Изабрани бујични сливови

На основу две групе постављених критеријума изабрана су три бујична слива у Србији на којима је урађена процена ризика од бујичних поплава. Изабрани сливови су делови слива Велике Мораве и то слив реке Скрапеж (647 km^2, у сливу Западне Мораве), слив реке Белице (233 km^2, у непосредном сливу Велике Мораве) и слив реке Лужнице (325 km^2, у сливу Јужне Мораве) (слика 7).

[8] Под бујичним поплавама које су се догодиле у прошлости подразумевамо: поплаве које су регистроване у инструменталном периоду (мерењем водостаја), поплаве о којима постоје неки подаци али су из преинструменталног периода, као и оне поплаве о којима не постоје писани извори, али постоје трагови у природи који сведоче о томе да су се оне догодиле (облици флувијалне акумулације). У недоумици око проналажења термина који би их заједно именовао (догођене поплаве – у сеизмологији се користи термин догођени земљотреси, или историјске поплаве – јер свака поплава која се догоди припада историји) одлучила сам се да користим описну синтагму *бујичне поплаве из прошлости*.



Слика 7. Положај сливова реке Скрапеж, реке Белице и реке Лужнице у Србији

1) Трагови бујичних поплава из прошлости

а) На изабраним бујичним сливовима постоје трагови о бујичним поплавама у виду плавина (Менковић & Кошћал, 1981; Менковић & Кошћал, 1982; Менковић, Кошћал & Мијаовић, 1988). На основу ових извора (геоморфолошке карте 1:100000) у сливу реке Скрапеж идентификовано је 50, у сливу реке Белице 10, а у сливу реке Лужнице 8 плавина. Детаљнијом анализом плавина у сливу Лужнице се бавио Милић (1984) и том приликом је идентификовао 60 плавина. Оне се разликују по типу и старости, али и по величини. При томе су идентификоване и оне које су мање од 100 m у распону. Без обзира на карактеристике оне несумњиво сведоче о томе да се догодила бујична поплава .

б) О значају ономатолошког метода у физичко-географским истраживањима писао је Милошевић (2010), разматрајући улогу топонима у идентификовању клизишта. Да су за изабране сливове карактеристични бујични токови говоре и хидроними који се на њих односе. Велике и нагле количине воде уз блатно-камени нанос често носе са собом читава дебла. Тако у сливу реке Скрапеж његова притока Кладоруба „руби кладе“ (Ковачевић-Мајкић, 2009), док у сливу Лужнице притока Балван сведочи о истом процесу. У сливу Белице Бешњаја говори о наглим надоласцима воде, а Блатни и Каменити поток о карактеристичном наносу. У сливу Лужнице водотоци Зли дол и Рџавица указују на лоша искуства становништва у долинама тих водотока. Случајеви бујичних поплава дешавали су се и на повременим водотоцима чији називи („Суви поток“ у сливу Скрапежа и Белице) директно не указују на појаву поплава. Ипак, услед интензивних киша и појачане ерозије долази до брзог одговора малих сливова, тачније наглог доласка воде, тако да су бујичне поплаве карактеристичне управо за повремене водотоке.

в) Писани трагови (литерарни извори, студије случаја које садрже податке о жртвама и другим последицама бујичних поплава, инвентар бујица, новински чланци) су послужили за избор поменута три слива. Морфолошки и писани трагови нису коришћени као улазни подаци за модел, али су касније послужили за верификацију модела.

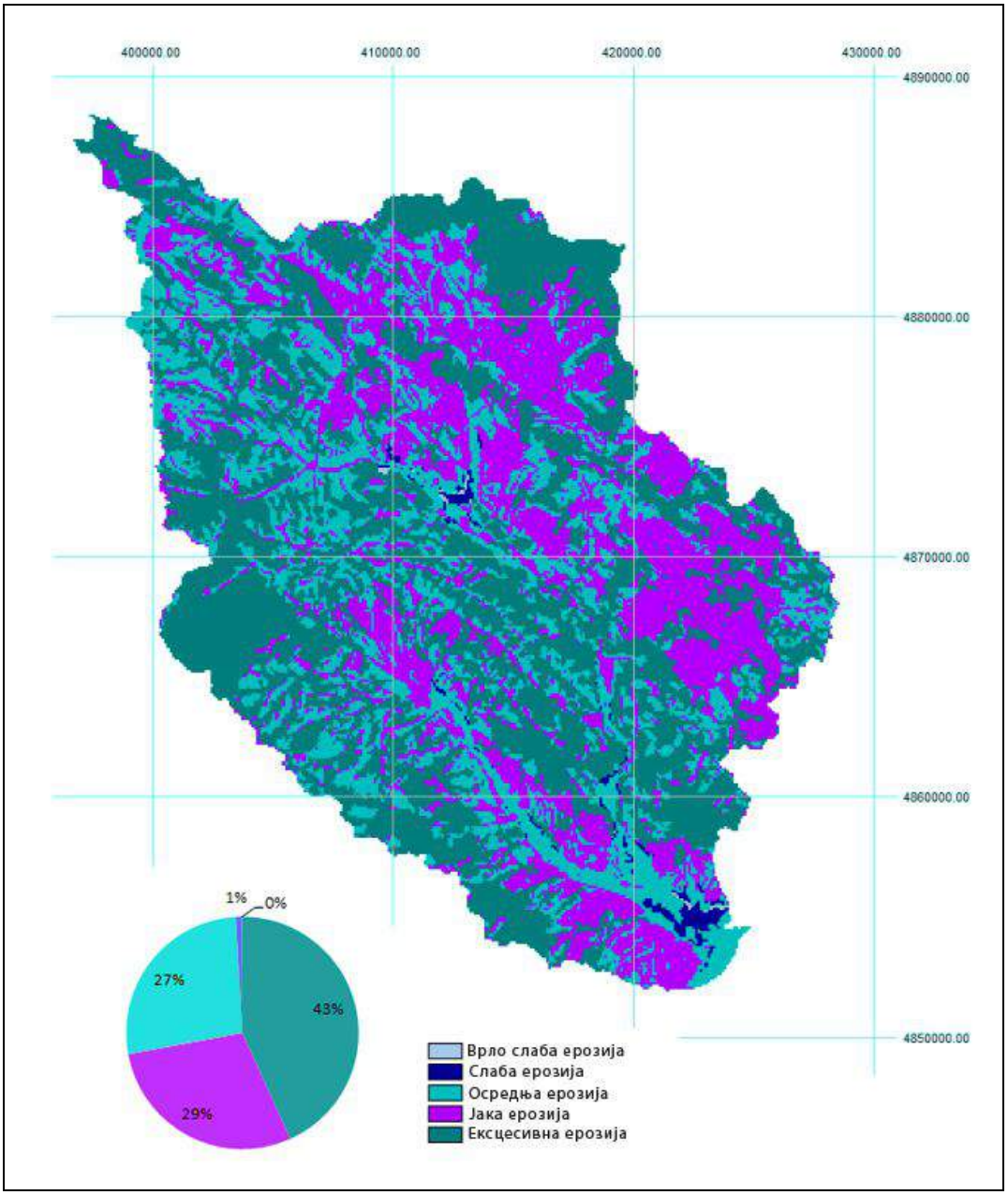
2) Потенцијали у сливу који доводе до појаве бујичних поплава

У одабраним сливовима одлике ерозије и речног режима су такве да представљају услове за формирање и појаву бујичних поплава и према Gavrilović et al (2009) припадају I, односно III категорији подручја погођених екстремним бујичним поплавама. Изабрани сливови се разликују по условима за формирање падавина, отицаја и ерозионих процеса (климатолошким, геолошким, педолошким и вегетацијским одликама), али сви имају плувио-нивалне режиме протицаја, мале годишње коефицијенте отицаја, велике уделе површинског у односу на подземни отицај и високе месечне коефицијенте варијација протицаја, што значи присуство свих водопривредних проблема везаних како за велике, тако и за мале воде. На територији изабраних сливова почетком 80-их година XX века је била присутна ерозија од прве до треће категорије (Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983 a; Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983 b). Према резултатима прорачуна ерозије и продукције наноса по методу С. Гавриловића (1972), а који се односе на садашње стање (2012-2016), на сва три слива дошло је до смањења ерозионих процеса и то најзначајнијих у сливу Лужнице који је из категорије јаке (II) ерозије прешао у категорију врло слабе (V) ерозије.

У сва три слива налазе се једно до два градска насеља са одређеном привредном инфраструктуром (Косјерић и Пожега у сливу Скрапежа, Јагодина у сливу Белице и Бабушница у сливу Лужнице), што сливове чини хетерогеним у демографском и економском смислу. Главни токови и њихове притоке плаве насеља и пољопривредне површине, а великом количином наноса угрожавају акумулације у сливовима вишег реда којима припадају. Од техничких мера заштите постоје насипи одређене дужине кроз градска насеља, а у сливу Белице и две затворене касете (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, 2013). У сва три поменута слива последице бујичних поплава су биле значајне у економским, социо-психолошким, па и демографским сферама.

3.1.2.2.1.1. Географске детерминанте изабраних сливова

Слив реке Скрапеж (647 km^2) припада горњем делу слива Западне Мораве. Налази се у планинској регији при чему просечна надморска висина слива износи 600.76 m. Око 65 % слива се налази између 400 и 700 m н.в., мање од 2 % изнад 1000 m н.в. - падине Повлена и Маљена, а око 10 % испод 400 m н.в. – алувијалне равни реке Скрапеж и њене највеће притоке Лужнице (Ковачевић-Мајкић, 2009). С обзиром на то да је већи део слива изграђен од материјала подложног распадању (метаморфити и терцијарне стене и седименти), то је резултирало повећаном ерозијом у тим деловима слива са коефицијентима ерозије од 0.10 до 0.40 (Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983а). Просечан коефицијент ерозије у сливу Скрапежа износио је 0.322 и припадао IV категорији еродибилности (Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983б). Према Gavrilović et al (2009) припада III категорији подручја погођених екстремним бујичним поплавама. Према подацима 2012-2016 просечна вредност коефицијента ерозије износи 0.269, а заступљеност и просторни распоред коефицијената ерозије су приказани на слици 8. Заступљене су све категорије разорности, са најзначајнијим учешћем врло слабе ерозије, затим слабе и осредње док су јака и ексцесивна ерозија заступљене на мање од 1% површине слива.



Слика 8. Просторна дистрибуција ерозионих процеса у сливу реке Скрапеж

На основу емпиријски добијених зависности (Gavrilović, 1972) израчунати су и добијени резултати који се односе на укупну и специфичну ерозиону продукцију, укупан и специфичан пронос наноса, као и на количину вученог и суспендованог наноса у сливу реке Скрапеж. Они су приказани у табели 3.

Табела 3. Статус ерозионих процеса и резултати прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса у сливу реке Скрапеж у периоду 2012-2016

Z_{sr} (-)	W_{god} (m^3)	W_{godsp} ($m^3/km^2/god$)	R_u (-)	W_p (m^3)	W_{psp} ($m^3/km^2/god$)	δ (-)	W_{vn} (m^3/god)	W_{sn} (m^3/god)
0.269	217337.31	335.44	0.400	86934.92	134.18	0.086	7476.4	79458.52

Z_{sr} - коефицијент ерозије, W_{god}- укупна годишња ерозиона продукција, W_{godsp}- специфична годишња ерозиона продукција, R_u- коефицијент ретенције, W_p- годишња количина наноса, W_{psp}- специфичан пронос наноса, δ - учешће вученог наноса, W_{vn}- количина вученог наноса, W_{sn}- количина суспендованог наноса

Река Скрапеж и њене притоке имале су плувио-нивални режим, мали годишњи коефицијент отицаја (0.28), умерено колебање протицаја у периоду 1961-2010 (Урошев et al, 2017), али су унутаргодишња и сезонска колебања таква да достижу 0.89 у јулу и августу и 0.99 у октобру, те се јављају сушни периоди, али и поплаве које су по карктеру бујичне, јер носе велику количину еродираног материјала (Ковачевић-Мајкић, 2009; Kovačević-Majkić et al, 2013). Река Скрапеж као бујична притока Западне Мораве плави насеља и равнице у својој долини, али и угрожава акумулације на Западној Морави великом количином наноса.

Слив Скрапежа већим делом припада општинама Косјерић и Пожега, а ободни делови слива припадају општинама Ужице, Бајина Башта, Ваљево и Горњи Милановац. Према попису 2011. године у насељима у сливу Скрапежа живи око 49000 становника, од чега у два градска насеља (Косјерић и Пожега) живи око 17000 становника (35%) док осталих 65% живе у селима. Према старосној структури доминира радно способно становништво (око 67%), следи старо становништво (око 20%) и младо становништво (13%). Таква старосна структура указује да ће показатељ индекс демографске зависности[9] вредности 0.5 имати тренд пораста, што ће још више отежати одржавање и сада неуређених речних токова и помоћ угроженима у будућим случајевима поплава.

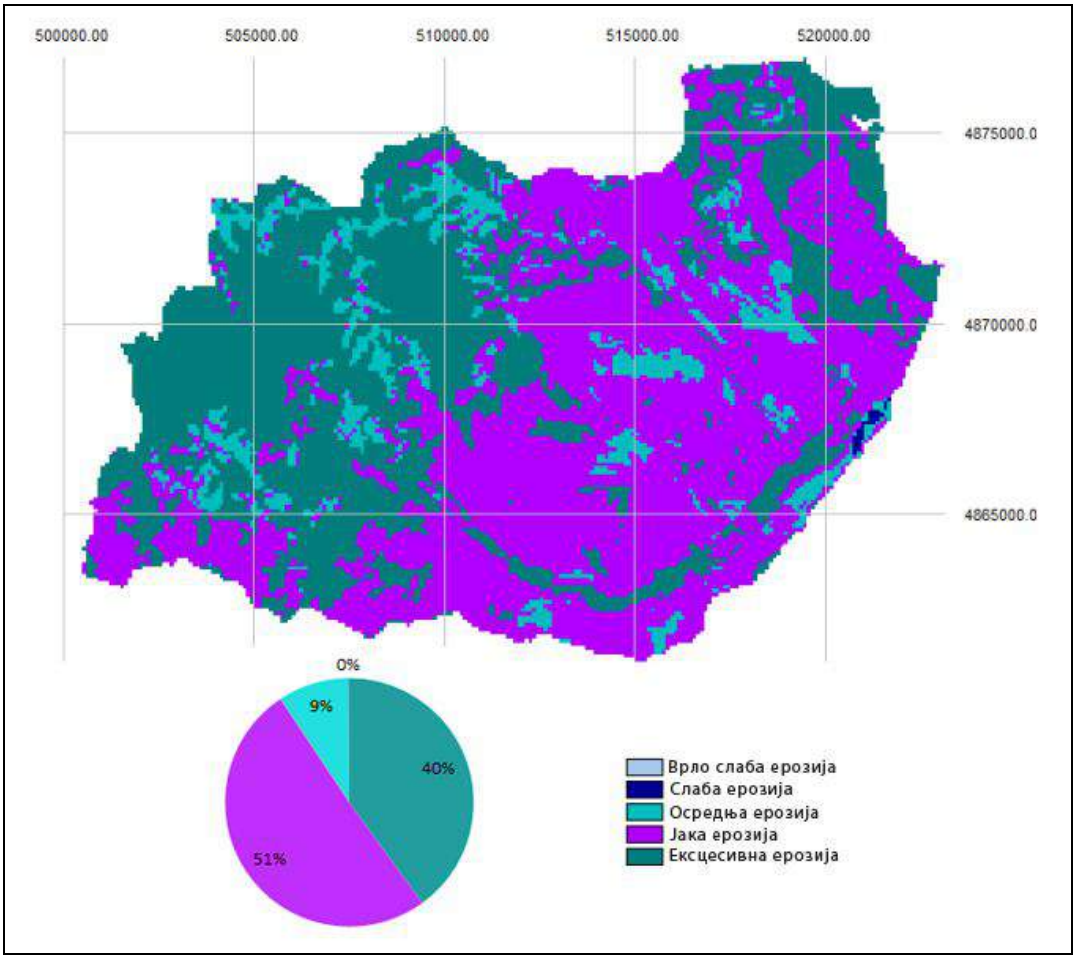
Веће поплаве у сливу Скрапежа су се догодиле 1910, 1926, 1938, 1965, 1975, 2001, 2006. и 2014. године (Гавриловић, 1981; Petrović et al, 2014; УН, ЕУ & Светска банка, 2014). Ове поплаве су се догађале после великих и интензивних падавина, топљења снега и коинциденције великих вода при чему је поплављено више

[9] Индекс демографске зависности представља однос старог и младог становништва према радно способном становништву.

стотина, односно хиљада хектара земље. При томе су велике штете претрпела домаћинства, али и предузећа у општинама Косјерић и Пожега. Однети су и инфраструктурни објекти: делови пута Ваљево-Косјерић-Пожега, делови пруге Београд-Бар, као и мостови. Детаљни подаци о штетама се налазе у радовима Гавриловић (1981) и Петровић (2014), као и новинским чланцима (БЕТА, 2006). За време поплаве 1965. године (13. маја) забележен је максимални протицај на станици Пожега (313 m^3/s према подацима СХМЗ). У пролеће 2014. године максималан протицај је износио 442 m^3/s. Поплава 1965, 2006. и 2014. године су захватиле већи део сливова у западној и централној Србији.

Слив реке Белице (233 km^2) се налази у централној Србији и представља један од сливова који чине леву страну слива Велике Мораве. Просечна надморска висина слива износи 229.5 m. Слив реке Белице чине три морфолошке целине: равнице (са нагибима до 3°), брдски предели (са нагибима до 10°) и планински делови (са нагибима до 40°). При томе су најзаступљеније равнице, следе брдски предели, а затим простори изнад 500 m - падине Црног врха (708 m н.в.). Литолошки, слив чине кластични седименти знатне дебљине (пескови, алеврити, песковите глине, глиновити пескови, глине) и реголити сачињени од компактних стена, најчешће метаморфита (гнајсева, микашиста, доломитских мермера и амфиболских шкриљаца) (Dolić et al, 1977; Vujisić et al, 1980). С обзиром на наведену литолошку структуру подложну распадању и нагибе, простори са интензивном ерозијом су слабо заступљени, а доминирају процеси са средњом и слабом ерозијом и у доњем делу слива са акумулацијом. Река Белица и њене притоке имале су плувио-нивални режим, мали коефицијент отицаја (0.14), велико колебање протицаја у периоду 1961-2010 (Урошев et al, 2017), али су унутаргодишња и сезонска колебања таква да коефицијенти варијације достижу 2.23 у јулу, а у мају, јуну, августу, октобру и децембру преко 1. То значи да се смењују сушни периоди са поплавама које су по карктеру бујичне. Као и слив реке Скрапеж, слив реке Белице је припадао подручјима погођеним екстремним бујичним поплавама и то III категорији (Gavrilović et al, 2009). Према добијеним подацима о стању ерозионих процеса 2012-2016, просечан коефицијент ерозије у сливу износи 0.215, што га сврстава у категорију са слабом ерозијом. На слици 9 може се видети да су

заступљене све осим ексцесивне категорије разорности. Такође се може уочити да су најзаступљеније IV и V категорија, које захватају преко 90% слива.



Слика 9. Просторна дистрибуција ерозионих процеса у сливу реке Белице

Белица плави насеља и равнице у својој долини, али и наносом угрожава корито Велике Мораве. Подаци који се односе на укупну и специфичну ерозиону продукцију, укупан и специфичан пронос наноса, као и количину вученог и суспендованог наноса у сливу реке Белице приказани су у табели 4. Поплаве и клизишта, која су такође карактеристична за слив реке Белице и територију града Јагодине (Милошевић, 2010), представљају претњу за путеве и путни и железнички саобраћај међународног Коридора 10, који пролази најнижим делом слива Белице.

Табела 4. Статус ерозионих процеса и резултати прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса у сливу реке Белице у периоду 2012-2016

Z_{sr} (-)	W_{god} (m^3)	W_{godsp} ($m^3/km^2/god$)	R_u (-)	W_p (m^3)	W_{psp} ($m^3/km^2/god$)	δ (-)	W_{vn} (m^3/god)	W_{sn} (m^3/god)
0.215	51353.71	219.91	0.280	14379.04	61.58	0.0685	984.96	13394.08

Z_{sr} - коефицијент ерозије, W_{god}- укупна годишња ерозиона продукција, W_{godsp}- специфична годишња ерозиона продукција, R_u- коефицијент ретенције, W_p- годишња количина наноса, W_{psp}- специфичан пронос наноса, δ - учешће вученог наноса, W_{vn}- количина вученог наноса, W_{sn}- количина суспендованог наноса

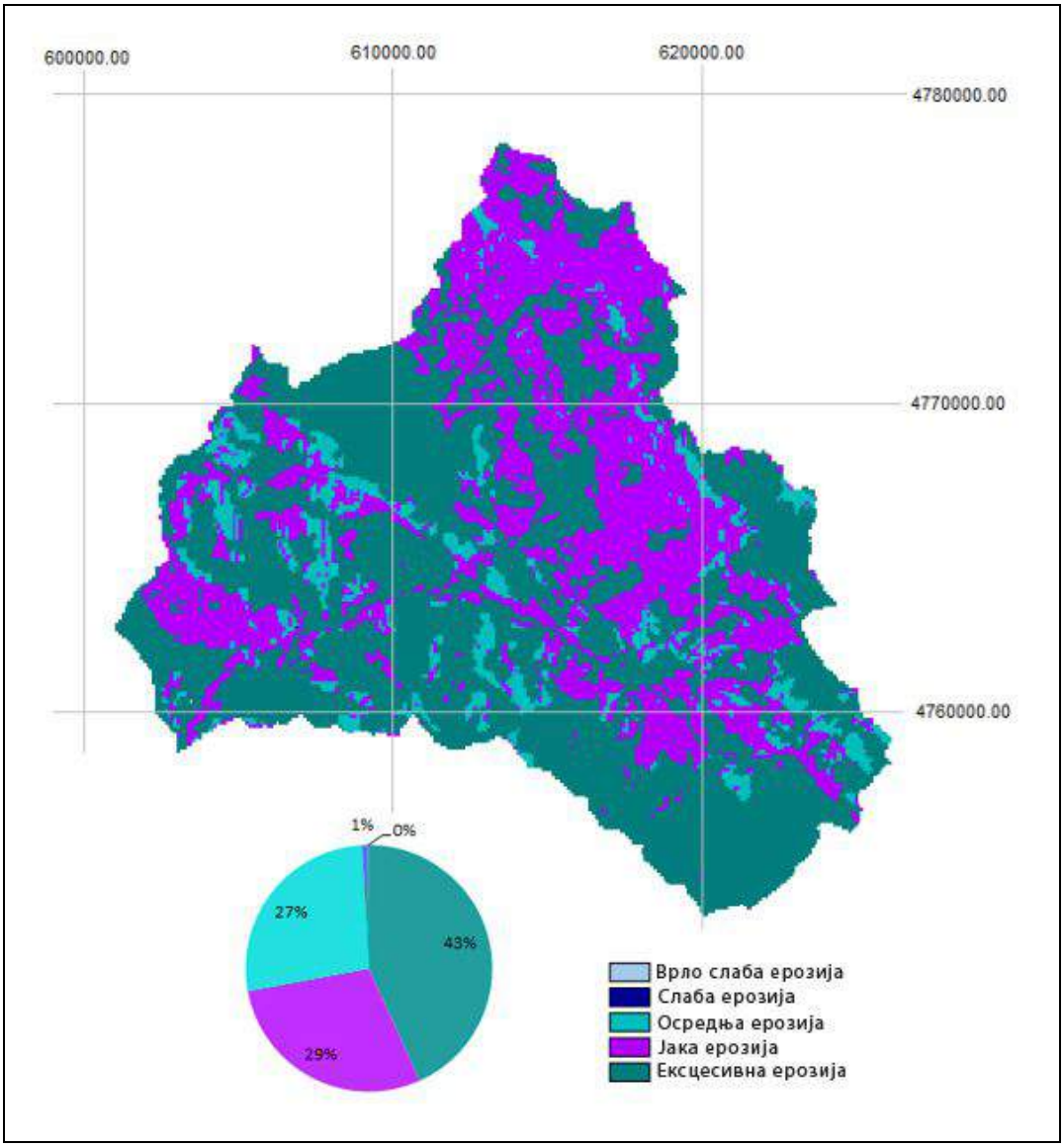
Слив реке Белице највећим делом припада територији града Јагодине, док ободни делови слива захватају три насеља у општини Крагујевац. Према попису 2011. године, у насељима у сливу Белице живи око 53000 становника распоређених у 32 насеља, од чега је једно градско насеље (Јагодина) у коме живи око 37000 становника (70%) док осталих 30% живи у селима. Старосна структура становништва показује да доминира радно способно становништво (око 68%), следи старо становништво (око 17.5%) и младо становништво (14.5%). Таква старосна структура, као и у сливу реке Скрапеж, указује да ће показатељ индекс демографске зависности вредности 0.5 имати тренд пораста, те да ће рањивост становништва од поплава и других непогода порасти.

Веће поплаве у сливу Белице су се догодиле 1929, 1964, 1965, 1976, 1999, 2002, 2010. и 2014. године и притом начиниле велике штете (Гавриловић, 1981; Petrović et al, 2014; УН, ЕУ & Светска банка, 2014). Речне и бујичне поплаве су последице великих и интензивних падавина, топљења снега и коинциденције великих вода при чему је поплављено више хиљада хектара земље. Велике штете су нанете домаћинствима, предузећима, локалним и регионалним путевима и однети су мањи мостови. Детаљни подаци о штетама се налазе у радовима Гавриловић (1981) и Петровић (2014). Максимални протицај је забележен за време поплаве 1999. године (87 m^3/s, 15.07.1999.).

Слив реке Лужнице (325 km^2) се налази у југоисточној Србији. Припада сливу реке Власине која је десна притока Јужне Мораве. Од морфолошких целина су најзаступљенији брдски и планински предели, док равнице захватају најмању

површину слива. Литолошку структуру слива чине кречњаци и доломити Суве планине, чије падине представљају десну долинску страну, затим флиш, конгломерати и пешчари који чине леву долинску страну, док је Лужничка котлина, која се налази у горњем делу слива, сачињена од конгломерата, шљунка, песка и глине. С обзиром на просторни распоред литолошких јединица леву долинску страну у већој мери него десну одликује ерозија. Коефицијенти ерозије су се према Лазаревићу (Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983а) кретали у распону од 0.1 до 1.0 и просечна вредност је износила 0.726, при чему је слив имао IV степен еродибилности и II степен разорности. У класификацији тих подручја (Gavrilović et al, 2009) слив се налазио у I категорији. Према прорачунима изведеним на основу података из периода 2012-2016, просечна вредност коефицијента ерозије у сливу реке Лужнице износи 0.176 са најзаступљенијом врло слабом и слабом ерозијом (преко 90%), и учешћем осредње ерозије испод 10%. Просторни распоред и заступљеност категорија ерозије приказана је на слици 10.

Река Лужница и њене притоке имају плувио-нивални режим, велика колебања протицаја, која у спрези са израженом ерозијом указују да имају бујични карактер. Слив Лужнице спада у подручја у којима су се дешавале екстремне бујичне поплаве. Лужница и њена највећа притока Мурговица плаве насеља и равнице у својим долинама и великом количином наноса угрожавају корито Власине и даље Јужне Мораве. Услед њиховог изливања угрожени су објекти за становање, путеви и остала инфраструктура укључујући и део система за водоснабдевање Ниша и околине, који се налази у Љуберађи. У табели 5 су приказани подаци који се односе на укупну и специфичну ерозиону продукцију, укупан и специфичан пронос наноса, као и количину вученог и суспендованог наноса у сливу реке Лужнице.



Слика 10. Просторна дистрибуција ерозионих процеса у сливу реке Лужнице

Табела 5. Статус ерозионих процеса и резултати прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса у сливу реке Лужнице у периоду 2012-2016

Z_{sr} (-)	W_{god} (m^3)	W_{godsp} ($m^3/km^2/god$)	R_u (-)	W_p (m^3)	W_{psp} ($m^3/km^2/god$)	δ (-)	W_{vn} (m^3/god)	W_{sn} (m^3/god)
0.176	51540.29	158.69	0.530	27316.35	84.11	0.0561	1532.45	25783.9

Z_{sr} - коефицијент ерозије, W_{god}- укупна годишња ерозиона продукција, W_{godsp}- специфична годишња ерозиона продукција, R_u- коефицијент ретенције, W_p- годишња количина наноса, W_{psp}- специфичан пронос наноса, δ - учешће вученог наноса, W_{vn}- количина вученог наноса, W_{sn}- количина суспендованог наноса

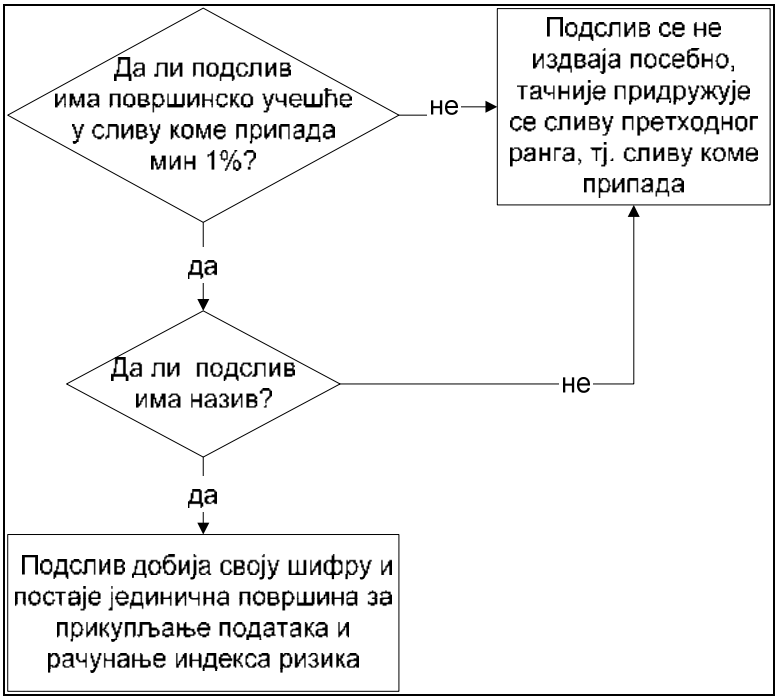
Слив реке Лужнице највећим делом захвата територију општине Бабушница. Крајњи североисточни део се налази на територији насеља Сиња Глава (општина Пирот), а најнижи делови слива код ушћа Лужнице у Власину захватају два насеља која припадају општини Власотинце. Према попису 2011. године у насељима у сливу Лужнице живи око 11500 становника у 47 насеља. Једино градско насеље је Бабушница у коме живи око 4600 становника (40%) док осталих 60% живе у селима. Према старосној структури становништва преовлађује радно способно становништво (око 61%), следи старо становништво (око 29%) и младо становништво (10%). Таква старосна структура, са изузетно малим процентом младог и значајним уделом старог становништва, указује да ће показатељ индекс демографске зависности вредности 0.6 имати убрзан тренд пораста, те да је рањивост становништва од поплава и других непогода и сада значајна, а да ће у будућности бити још већа.

Велике поплаве у сливу Лужнице су се догодиле 1976, 1988, 2003. и 2007. године (Гавриловић, 1981; Petrović et al, 2014). Све поменуте поплаве оставиле су значајне последице. Готова свака је поплавила више стотона кућа и однела на десетине километара путева и мостове. Највише се памти поплава из јуна 1988. године, која је захватила и шири простор - већи део слива реке Власине. Настала је услед падавина чији је интензитет за четири сата достигао историјски максимум и повратни период од 3000 година (Prohaska et al, 1989). Бујични талас који је носио велике количине наноса (Petković & Varga, 1989) однео је и водомерне летве на станици Свође на ушћу Лужнице у Власину, али је његовом реконструкцијом утврђено да је максимални протицај одговарао 400-годишњој води (Prohaska & Janković, 1989). Велике штете су причињене у Бабушници, Љуберађи, Свођу и селима дуж Лужнице и њених притока, као и шире. Услед пробијања бране узводно од Власотинца, град је у великој мери страдао. Максимални протицај је забележен управо за време поплаве 1988. године (413 m^3/s, 26.06.1988). Детаљнији подаци о штетама се налазе у радовима (Kostadinov, 1989; Petković & Varga, 1989; Prohaska et al, 1989; Prohaska & Janković, 1989; Петровић, 2014).

3.1.2.3. Избор резолуције – II ниво детаљности

Након одабира бујичних сливова, за потребе процене ризика подаци су прикупљани на нивоу просторних јединица нижег реда – подјединица. Оне представљају сливне површине које могу бити подсливови и непосредни делови слива око припадајућег водотока. Стога су сливне површине основне јединице за прикупљање података за потребе рачунања индекса ризика.

Избор подсливова морао је да буде више-критеријумски. Стога су као критеријуми за избор подсливова за које су прикупљани подаци и рачунати индекси ризика били **(1) величина слива,** тачније **процентуално површинско учешће подслива у површини слива коме припада.** Усвојен праг, то јест минимална величина подслива за коју се може рачунати индекс ризика, износи 1% од величине слива за који се процењује ризик. Следећи критеријум је **(2) препознавање водотока и њему припадајућег слива као посебне целине од стране становништва.** То значи постојање назива водотока и слива који му припада. Уједно овај критеријум најчешће подразумева присутност елемената изложених хазарду. Избор подсливова, односно критеријуми за њихов избор приказани су на слици 11.



Слика 11. Поступак избора подсливова за које су прикупљени подаци за рачунање индекса ризика

Након тога што сви издвојени подсливови прођу исту процедуру, на основу задатих критеријума проглашавају се површинама за прикупљање података. Они добијају своју шифру, према шифарнику које дао Савезни хидрометеоролошки завод (1995) и односе се на водотоке који су картирани на топографским картама 1: 50 000. С обзиром на то да је у овој дисертацији одлучено да извор података буде детаљнији (као извор су коришћене топографске карте 1:25 000), водотоцима и њиховим сливовима који су прошли задате критеријуме (а не налазе на топографским картама 1:50 000), додељене су шифре које као последњу ознаку имају мало латинично слово „а“, а уколико их је више додељује им се шифра даље абецедним редом. Илустрација оваквог шифрирања је дата у табели 6.

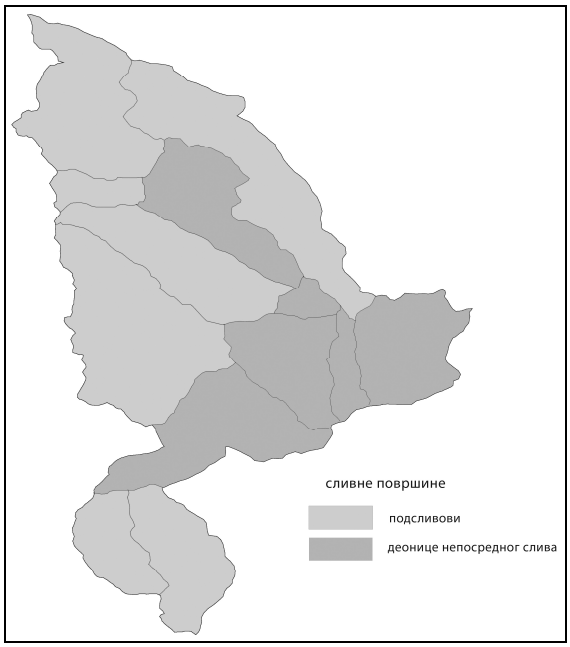
Табела 6. Шифрирање издвојених сливних површина (подсливова)

1:50 000			1:25 000		
Шифра подслива	**Назив подслива**	**Слив**	**Шифра подслива**	**Назив подслива**	**Слив**
1.33.2.4.2.14.	Добрињска р.	Скрапеж	1.33.2.4.2.14.	Добрињска р.	Скрапеж
			1.33.2.4.2.14.a.	Туљан	Добрињска р.
			1.33.2.4.2.14.b.	Јелачића п.	Добрињска р.
			1.33.2.4.2.14.b.1. 1.33.2.4.2.14.c.	Перило Баденовац	Јелачића п. Добрињска р.
			1.33.2.4.2.14.d.	Радићев п.	Добрињска р.
1.33.2.4.2.14.1.	Мађерска р.	Добрињска р.	1.33.2.4.2.14.1.	Мађерска р.	Добрињска р.
1.33.2.4.2.14.1.1.	Јелав	Мађерска р.	1.33.2.4.2.14.1.1.	Јелав	Мађерска р.
			1.33.2.4.2.14.1.1a.	Базовац	Мађерска р.
			1.33.2.4.2.14.1a.	Радучки п.	Добрињска р.

По издвајању подсливова, издвојио се и **простор непосредног слива** уз водотоке. Он у погледу ризика од бујичних поплава свакако не представља компактну целину, већ је хетероген у зависности од величине хазарда, присуства изложених елемената, њихове рањивости и отпорности. Стога је и непосредни слив издељен на више деоница. Њихове границе су одређене ушћима издвојених водотока и припадајућих подсливова, након чега су и оне проглашене површинама за прикупљање података за рачунање индекса ризика. Те деонице су шифриране тако што је први део шифре шифра основног слива коме припадају, а затим се додају римски бројеви почевши од „I“, који се додељује најузводнијој деоници, „II“ који се додељује следећој деоници и тако редом. Илустрација шифрирања деоница непосредног слива је дата у табели 7. На слици 12 су приказане сливне површине издвојене према задатим критеријумима.

Табела 7. Шифрирање издвојених сливних површина (подсливова и деоница непосредног слива)

Подсливови			Деонице непосредног слива		
Шифра	**Назив**	**Слив**	**Шифра**	**Назив**	**Слив**
			1.33.2.4.2.2.I	Сеча река I	Сеча река
1.33.2.4.2.2.2.2	Таталија	Тмуша			
1.33.2.4.2.2.2.1.	**Таверић**[10]	Тмуша			
			1.33.2.4.2.2.2.II	Тмуша крај	Сеча река
			1.33.2.4.2.2.II	Сеча река II	Сеча река
1.33.2.4.2.2.3.a	Шепачка р.	Полошница			
1.33.2.4.2.2.3.b.	**Вардин п.**[8]	Полошница			
			1.33.2.4.2.2.3.I	Полошница I	Полошница
1.33.2.4.2.2.3.1.	Рековац	Полошница			
			1.33.2.4.2.2.3.III	Полошница крај	Сеча река
1.33.2.4.2.2.4.	Реновица	Сеча река			
			1.33.2.4.2.2.III	Сеча река III	Сеча река
			1.33.2.4.2.2.IV	Сеча река крај	Скрапеж



Слика 12. Сливне површине – подсливови и деонице непосредног слива

[10] Уколико саставница не задовољава критеријум величине слива, она ће се онда третирати као непосредни део слива. Међутим, пошто задовољава критеријум назива, њој ће бити додељена шифра саставнице, а не деонице непосредног слива. На пример слив водотока Таверић, која је саставница реке Тмуше, не задовољава критеријум величине слива. Водотоку Таверић ће бити додељена шифра 1.33.2.4.2.2.2.1, а не 1.33.2.4.2.2.2.I, која би му била додељена да није испунио ни критеријум назива.

Након одређивања подсливова и деоница непосредног слива, било је могуће **одређивање броја сливних површина** за које су се прикупљали подаци за потребе рачунања индекса ризика. Тај број је израчунат на основу следећег израза:

$$Nsp = Nsas + Nps + Nns + 1 \tag{1}$$

где је *Nsp* број сливних површина, *Nsas* број издвојених саставница, *Nps* број издвојених подсливова, а *Nns* број издвојених деоница непосредног слива. С обзиром на то да је једнак број подсливова и број издвојених деоница непосредног слива водотока, број сливних површина се може израчунати на основу израза:

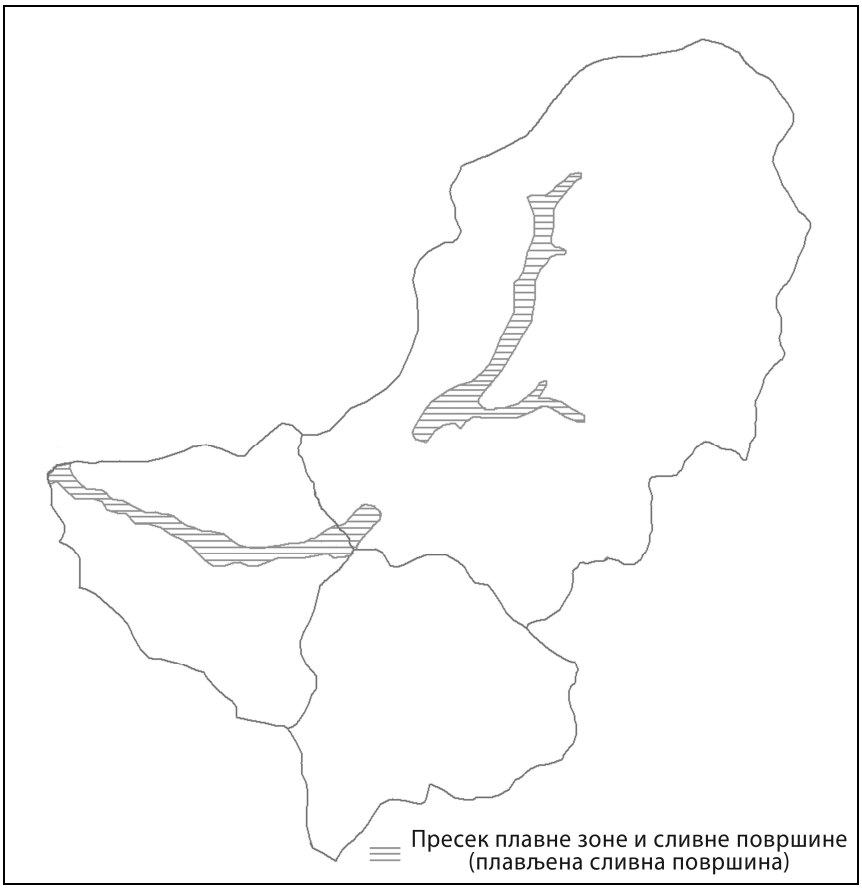
$$Nsp = Nsas + 2 \times Nps + 1 \tag{2}$$

где је *Nsp* број сливних површина, *Nsas* број издвојених саставница, *Nps* број издвојених подсливова.

Изабране сливне површине не представљају јединичне површине за прикупљање свих података за рачунање индекса ризика. Тек након одабира свих показатеља је детерминисана даља подела унутар сливних површина или агрегација већег броја сливних површина у циљу прикупљања података и њихове обраде за потребе добијања вредности показатеља. Тако сливне површине могу бити преклопљене са другим природним (на пример плавним зонама) или административним целинама (на пример насељима). Наведене примере преклапања је било неопходно спровести за потребе прикупљање података за процену ризика од бујичних поплава. Преклапањем издвојених сливних површина и геоморфолошке плавне зоне (слика 13), издвајају се плавни делови сливних површина, у даљем тексту плављене сливне површине. На тај начин у неким сливним површинама се нису издвојиле плавне зоне, у некима једна, док их у некима има више уколико је плавна зона дисконтинуирана (последица сужења речног корита, без облика флувијалне акумулације). Њихов коначан број се израчунава на основу израза:

$$Npsp = (Nsp - Nsp_{pz=0} - Nsp_{pz>1}) + \sum Npsp_{pz>1} \tag{3}$$

где је *Npsp* број плављених сливних површина, *Nsp* број сливних површина, $Nsp_{pz=0}$ број сливних површина без плавне зоне, $Nsp_{pz>1}$ број сливних површина са више плављених сливних површина, $Npsp_{pz>1}$ број плављених сливних површина у оквиру сливних површина где их има више од једне.



Слика 13. Плављене сливне површине
(површине настале пресеком сливне површине и геоморфолошке плавне зоне)

3.1.2.3.1. Сливне површине у оквиру мезо сливова

Вишекритеријумски избор сливних површина, као и плављених сливних површина за прикупљање података за рачунање индекса ризика резултатирао је добијањем њиховог броја на три изабрана мезо слива, који је приказан у табели 8.

Табела 8. Број плављених сливних површина у мезо сливовима

Назив мезо слива	Шифра слива[11]	Nsp	Npsp
Скрапеж	1.33.2.4.2.	72	69
Белица	1.33.1.22.4.	34	29
Лужница	1.33.10.	44	34

Nsp – број сливних површина у мезо сливу, Npsp – број плављених сливних површина у мезо сливу

Приликом вишекритеријумског избора подсливова неки критеријуми који се често користе у класификацији сливова су одбачени. Међу њима су критеријум према рангу, тачније реду притоке и припадности сливу, као и критеријум апсолутне величине површине слива. Они нису дали задовољавајуће резултате. Наиме, применом тих критеријума неки сливови би неоправдано добили статус подслива, а неки би били изостављени.

Према критеријуму величине слива тачније процентуалног површинског учешћа подслива у мезо сливу, анализирани су прагови учешћа површине од 1%, 2%, 5% и 10% за изабране сливове. Пример слива реке Скрапеж дат је у табели 9.

Табела 9. Број подсливова и сливних површина за различите прагове учешћа површине подслива у мезо сливу на примеру слива реке Скрапеж

F (%)	Nps	Назив подслива	Nsp
1	36		72
2	22		45
5	5	Сеча Река, Кладоруба, Мионица, Добрињска р., Лужница	11
10	4	Сеча Река, Кладоруба, Добрињска р., Лужница	9

F (%) – учешће површине подслива у мезо сливу, Nps – број подсливова у мезо сливу, Nsp – број сливних површина у мезо сливу

Након анализе броја добијених сливних површина за различите прагове, усвојен је праг од 1%. Разлози за то су што већи прагови не дају довољну диференцијацију простора, као и што се границе насеља (нарочито границе сеоских насеља) у

[11] Према шифарнику Савезног хидрометеоролошког завода (1995)

великом броју случјева поклапају са издвојеним подсливовима, што олакшава коришћење ових података у процесима управљања простором.

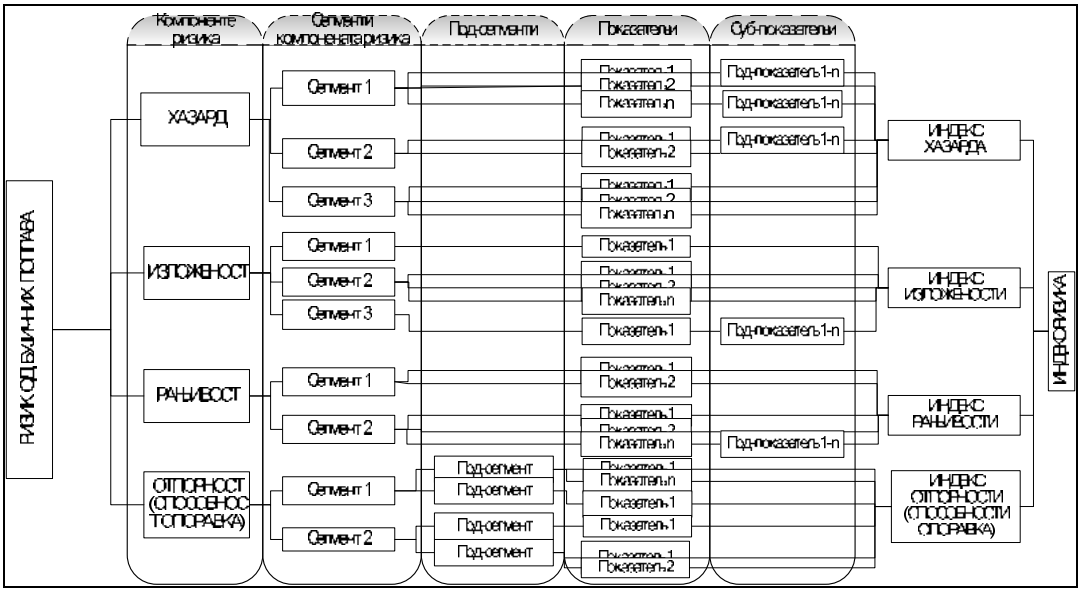
Анализа површина издвојених сливних површина је показала да око 40% њих има површину мању од 1% од укупне површине слива. Такве сливне површине представљају: 1) саставницу која је се издвојила захваљујући другој саставници која је испунила критеријум величине слива (у сливу реке Скрапеж такви су Скакавачки п., Ђурански п., Таверић и Вардин п.), или 2) деонице непосредног слива. Најмање међу њима у сливу реке Скрапеж су Лужница III (0.01 km^2) и Скрапеж IV (0.20 km^2), што је 33, односно 100 пута мање од постављеног критеријума за издвајање подсливова. Због оваквих екстрема су неки показатељи (плављене површине и површине под ерозијом) рачунати као сложени показатељи настали од апсолутне и релативне површине. На тај начин је омогућено њихово правилније рангирање, те усмеравање активности управљања ризицима на оне просторе који имају већи ризик.

3.2. ФАЗА ФОРМИРАЊА МОДЕЛА

За процену *Ризика (R)* од природних непогода, па тиме и од бујичних поплава, користе се законитости које су сачињене од четири компоненте:

- *Хазарда (H),*
- *Изложености (E),*
- *Рањивости (V)* и
- *Отпорности (Re)*.

Показатеље који описују компоненте ризика је могуће груписати у сегменте, што је урађено и у овој дисертацији. Поједини сегменти имају своје под-сегменте, а сваки сегмент или под-сегмент чини одређени број показатеља, од којих су поједини израчунати на основу неколико под-показатеља (слика 14). При томе се у зависности од нивоа детаљности за коју се процењује ризик разликује број и тип показатеља.



Слика 14. Компоненте ризика и груписање показатеља ризика

У свим случајевима су хазард, изложеност и рањивост компоненте које су директно сразмерне ризику и утичу на његово повећавање, док је отпорност обрнуто сразмерна и утиче на смањење ризика. У складу са тим оператори приликом рачунања су различити, односно користе се поступци множења или сабирања за компоненте које повећавају ризик, а дељење или одузимање за компоненте које га умањују. Најчешће коришћени изрази који приказују њихов међусобни однос су:

$$\mathrm{R} = \frac{H \times E \times V}{\mathrm{Re}} \tag{4}$$

и

$$\mathrm{R} = H + E + V + \mathrm{Re} \tag{5}$$

при чему је R – ризик, H – хазард, E – изложеност, V – рањивост, Re – отпорност.

У пракси се користи неколико сличних израза чији је преглед дат у публикацијама UNDP (2004) и Ćosić et al (2011). Процене ризика се спроводе израчунавањем вредности *R* који се најчешће зове индекс ризика и користи се као мера ризика.

Ипак, за прорачун компоненти ризика није препоручена детаљнија методологија. Иако се у проучавању ризика од природних непогода доста одмакло и данас се истраживања заснивају на ширим концептима који агрегирају компоненте изложености, рањивости и отпорности (Birkmann, 2005) које се могу окарактерисати као рањивост у најширем смислу, приликом квантификације је потребно омогућити примењивост теоријских сазнања и прећи на математичке моделе у којима су компоненте детаљно рашчлањене.

С обзиром на то да се у овој дисертацији креира нов израз (модел) за процену ризика од бујичних поплава, моделирање је подразумевало неколико корака. Прво је било потребно 1) креирати модел за процену ризика, 2) одредити структуру модела и одабрати адекватне показатеље који описују бујичне поплаве као природну непогоду, и 3) утврдити њихове међусобне тежинске односе у моделу (тежинске коефицијенте).

3.2.1. Креирање модела за рачунање индекса ризика

У овој дисертацији, измена постојећих израза (4) и (5) се односи на рачунање свих саставних делова модела који су сачињени од најмање два друга и то тако што је њихова резултанта рачуната по аналогији за рачунање укупне грешке (одступања) (Ku, 1966) на основу грешака (одступања) појединих компоненти, при чему се користи израз:

$$\bar{s} = \sqrt{a_1 \times s_1^{\ 2} + a_2 \times s_2^{\ 2} + ... + a_n \times s_n^{\ 2}} \qquad (6)$$

где је $\bar{s}$ – укупна грешка, s_1-s_n – грешке (одступања) појединих компоненти, а a_1-a_n – коефицијенти уз поједине грешке (представљају коефицијенте Тејлоровог реда којим се апроксимира зависност укупне грешке од њених компоненти).

Овај израз се најчешће примењује за израчунавање средње квадратне грешке која укључује систематску грешку или пристрасност (енгл. *bias*) то јест разлику

између оцењених и тачних вредности, дисперзију оцењених вредности (стандардна грешка), али и за различите врсте одступања, као на пример за оцену укупних одступања на основу хоризонталних и вертикалних одступања приликом оцењивања тачности дигиталних модела висина (Бајат и Штрбац, 2005).

У овој дисертацији је за сваки сложени показатељ, подсегмент, сегмент, компоненту и ризик примењен такав израз. Због изабраног математичког модела компонента *Отпорност (Re)* је преведена у инверзну отпорност названу *Неотпорност (Re inv*) и наај начин постала директно пропорционална ризику. Коришћени су следећи изрази:

$$\mathrm{R} = \sqrt{a_1 \times H^2 + a_2 \times E^2 + a_3 \times V^2 + a_4 \times \mathrm{Re}\,inv^2} \tag{7}$$

$$\text{индекс компоненте} = \sqrt{б_1 \times сегмент_1^{\ 2} + \ldots + a_n \times сегмент_n^{\ 2}} \tag{8}$$

$$\text{индекс сегмента} = \sqrt{c_1 \times под-сегмент_1^{\ 2} + \ldots + c_n \times под-сегмент_n^{\ 2}} \tag{9}$$

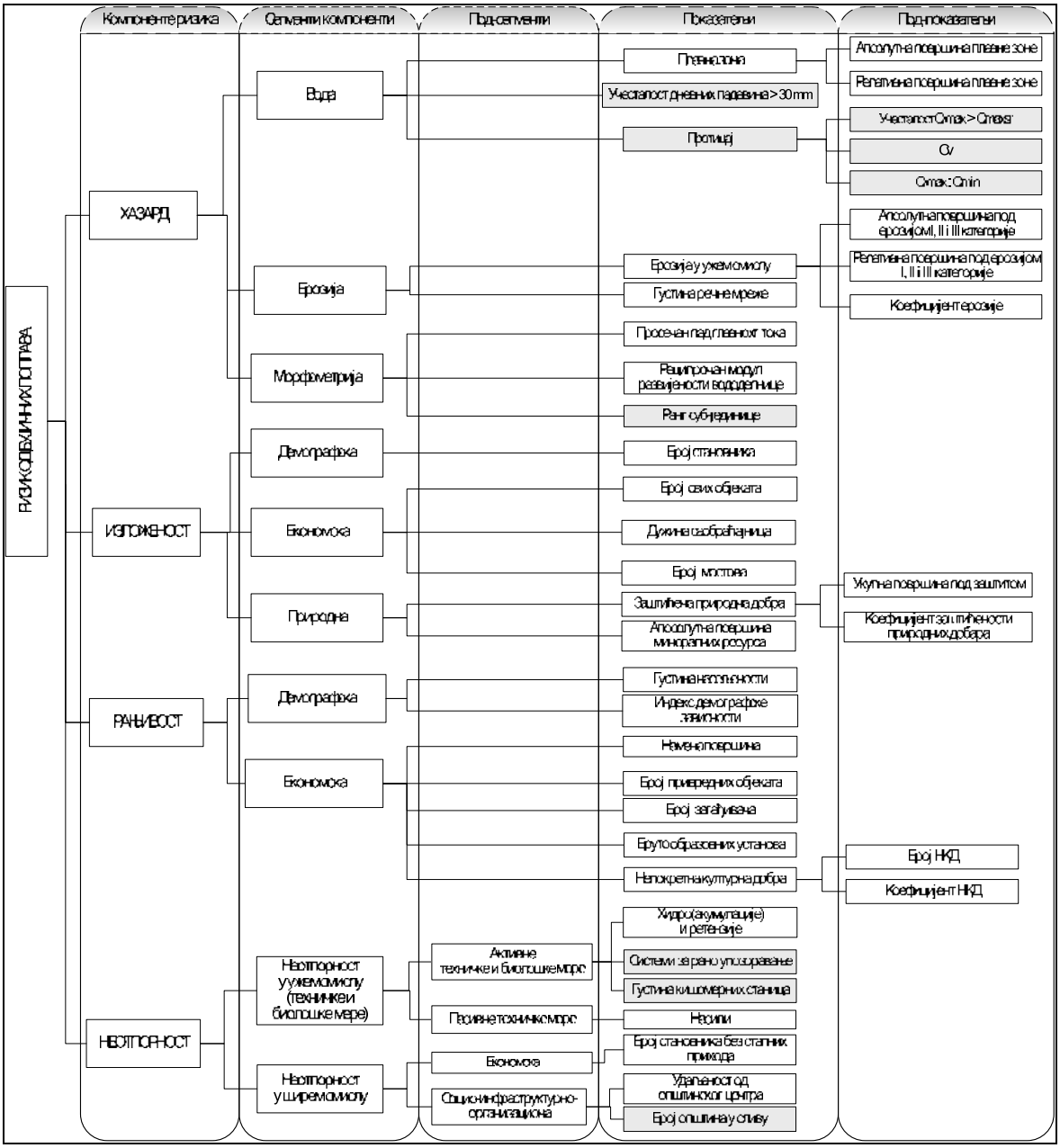
$$\text{индекс под - сегмента} = \sqrt{d_1 \times показатељ_1^{\ 2} + \ldots + d_n \times показатељ_n^{\ 2}} \tag{10}$$

$$\text{индекс показатеља} = \sqrt{e_1 \times под-показатељ_1^{\ 2} + \ldots + e_n \times под-показатељ_n^{\ 2}} \tag{11}$$

Наведени изрази коришћени су за рачунање индекса ризика (израз 7), индекса компоненти (израз 8), индекса сегмената (израз 9), индекса под-сегмената (израз 10) и индекса показатеља (израз 11). Индекси представљају мере појава које описују. У горњим изразима a_1-a_n су тежински коефицијенти уз компоненте, b_1-b_n - тежински коефицијенти уз сегменте, c_1-c_n - тежински коефицијенти уз под-сегменте, d_1-d_n - тежински коефицијенти уз показатеље, e_1-e_n - тежински коефицијенти уз под-показатеље.

3.2.2. Структура модела

У овој дисератацији су компоненте рашчлањене према структури приказаној на слици 15. Свака компонента је сачињена из два или три одабрана сегмента, а сваки сегмент или под-сегмент чини бар један, а најчешће неколико одабраних показатеља, од којих су неки сложени и сачињени су од неколико под-показатеља. Из структуре се уједно виде међусобни односи показатеља и таква структура се односи на мезо и макро ниво детаљности. У овом поглављу су дефинисани критеријуми за избор показатеља и под-показатеља.

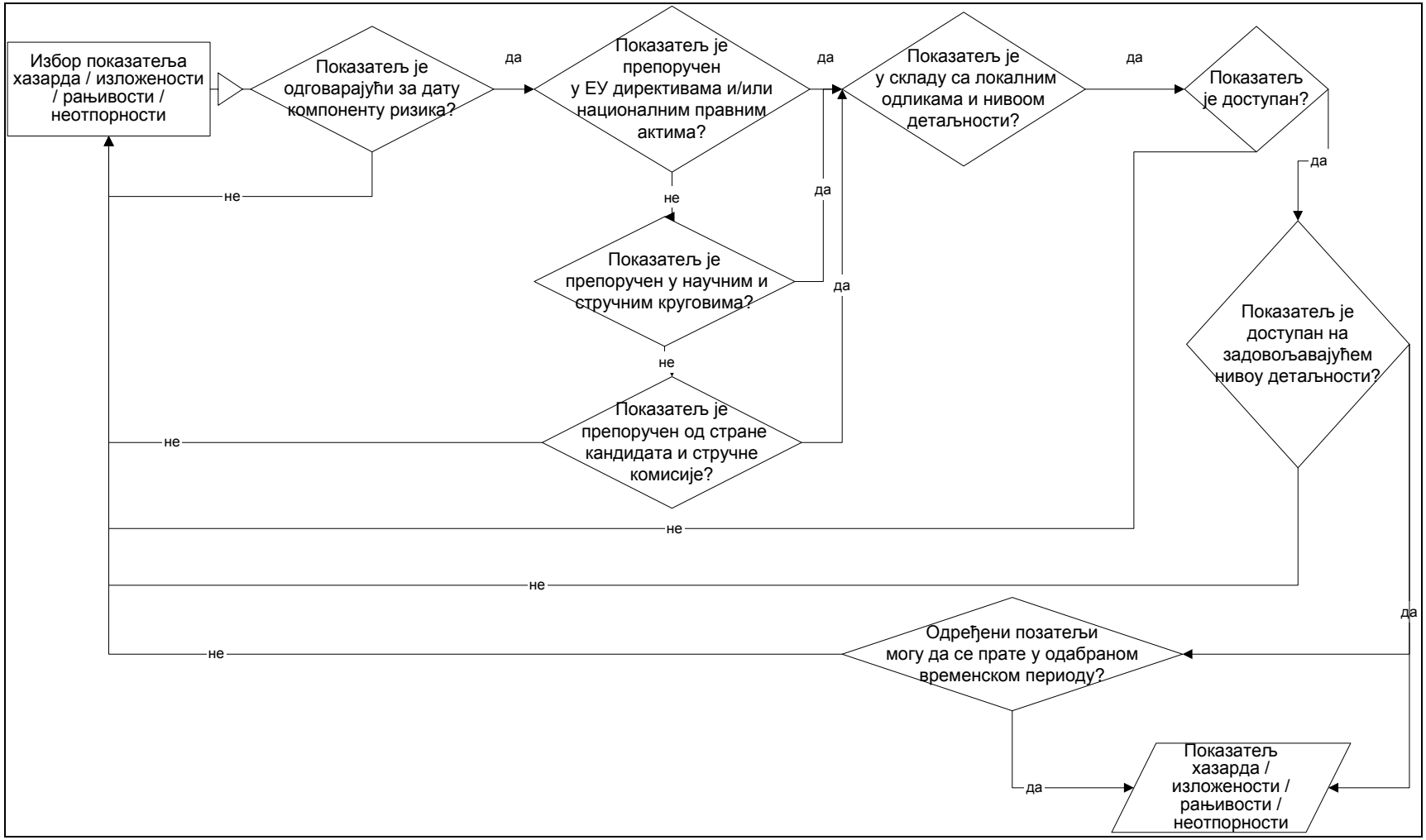


Слика 15. Структура модела за процену ризика на мезо и макро нивоу[12]

[12] Сивом бојом су назначени показатељи и под-показатељи који се додају приликом процене ризика на макро нивоу детаљноси. Показатељ „Ранг сливне површине“ се на макро нивоу изоставља.

3.2.2.1. Избор показатеља ризика у оквиру компоненти ризика и њихових сегмената

Приликом избора показатеља коришћен је метод квалитативне анализе доступних података, заснован на логичким законитостима и односима у географским системима који значе да показатељи морају бити у узрочно-последичним везама са појавом бујичних поплава. Критеријум за одабир показатеља су биле и препоруке европских директива (Директиве о поплавама – Directive 2007/60/EC), препоруке Закона о водама Републике Србије и из њега проистеклих аката нижег реда, локалне одлике, величина пруочаване територије (ниво детаљности), као и доступност података. Шема избора показатеља приказана је на слици 16.



Слика 16. Шема избора показатеља за процену ризика

3.2.2.1.1. Избор показатеља у складу са Директивом о поплавама и Законом о водама РС

Директива о поплавама (Directive 2007/60/EC), Закон о водама Републике Србије (Службени гласник 30/10, 93/12б, 101/16) и из њега проистекао Правилник о утврђивању метологије за израду прелиминарне процене ризика од поплава (Службени гласник 1/12), као и Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама (Службени гласник 96/12) предвиђају израду **карата угрожености** и **карата ризика од поплава**.

Хазард компонента се изједначава са плавном зоном и представља се **картама угрожености од поплава**. Препорука је да се те карте ураде за територију Републике Србије.

Неоспорна је чињеница да плавна зона треба да буде један о показатеља ризика од поплава, па тако и бујичних поплава. За потребе пројекта израде процене ризика од поплава за град Чачак, на располагању су били подаци са неколико хидролошких станица, више падавинских станица, 103 геодетски снимљених попречних профила река, па је и то оцењено као недовољно и да резултати носе велики степен неизвесности (Jovanović et al, 2014). Добијена линија плавне зоне се односи на истовремену појаву стогодишње воде на мерним станицама и бујичним токовима на којима нема мерења и то је означено као „драстично неповољан сценарио“, али који показује најкритичније услове уз које се ризик неће потценити. У UNDP препорукама за процену ризика (UNDP, 2004) као показатељ хазарда се користи учесталост природне непогоде (поплава, суша, земљотреса...) одређеног интензитета, што су у случају поплава одређене вероватноће појаве протицаја и/или водостаја.

И у овој дисертацији одређивање плавне зоне је један од првих задатака који је било потребно решити у циљу одређивања хазарда. Међутим, код бујичних токова прикупљање препоручених података је реалан проблем. Позната је чињеница да је у Србији недовољан број водомерних станица, и посебно на мањим водотоцима

који се налазе у просторима са већом надморском висином и већим нагибом. Протицаји се углавном мере на излазним профилима сливова бујичних река, што је мали број профила за хидролошке и хидрауличке прорачуне. Процене ризика на мезо нивоу подразумевају издвајање сливних површина које су по величини мале на чијим водотоцима углавном нема водомерних станица. Уједно на одабраним сливовима поплаве су по карактеру бујичне, са великим брзинама поплавног таласа и релативно кратког трајања. Због тога се до података о количини протекле воде најчешће долази на основу реконструкције поплавног таласа, док одређивање плавне зоне хидролошко-хидрауличким методом има велики степен неизвесности.

Из поменутих разлога у овој дисертацији се на нивоу целих сливова прибегло утврђивању плавне зоне на основу морфолошких индикатора плављења, а то су флувијални и флувијално-денудациони акумулативни облици, то јест алувијалне равни и плавине које сведоче о случајевима изливања великих вода. Тако одређененом „геоморфолошком плавном зоном“ се дефинишу границе поплава мале вероватноће појаве, а великог повратног периода што је са аспекта ризика сигурније у односу на плавне зоне веће вероватноће појављивања, а мањег повратног периода .

Карте ризика од поплава треба да садрже податке о могућим штетним последицама поплава исказаним кроз оквирни број потенцијално угрожених становника, животну средину, културно наслеђе, врсте привредних активности и друге информације од значаја за управљање ризицима од поплава, као што су ефекат постојећих објеката за одбрану од поплава, положај насељених места и индустријских зона, области где поплаве носе велике количине наноса и пливајућег отпада, информације о значајним изворима загађивања, планове дугорочног развоја и климатске промене од утицаја на појаву поплава (Directive 2007/60/EC; Службени гласник 30/10, 93/12б, 101/16).

3.2.2.1.2. Избор показатеља на основу научних и стручних истраживања и локалних одлика

Осим показатеља препоручених директивама и правним актима, могуће је и пожељно је користити и друге показатеље који описују природне непогоде. У студијама ризика број показатеља није ограничен. Штавише, што је већи број показатеља то је очекивано да ће процена ризика бити тачнија. Процене ризика су рађене на основу свега три до четири показатеља (Sanyal & Lu, 2006) до неколико десетина показатеља (Balica, 2012; Villagrán de León, 2006). Тако је на пример могуће користити индексе климатских промена (Karl, 1999; Peterson et al, 2001), међу којима се индекси 25 и 26 односе на учесталост падавина изнад одређеног прага. Ристић (1999) анализира број максималних протицаја већих од средњег максималног протицаја. Учесталост великих вода изнад прага може се статистички анализирати и применом теорије случајних процеса, методом парцијалних серија или пикова изнад прага (Plavšić, 2006; Plavšić & Milutinović, 2010). Број жртава од природних непогода се често користи као показатељ, али га је могуће користити само на макро или глобалном нивоу. Štrbac (2012) уводи коефицијент самопомоћи који веома добро описује рањивост становништва.

3.2.2.1.3. Избор показатеља на основу доступности података

У виско развијеним земљама постоје научне институције, агенције и сервиси које располажу детаљним подацима, развијеним програмима и моделима за процене ризика и олакшавају управљање њима. Таква је на пример FEMA (Federal Emergency Management Agency) у САД[13], која поседује и користи податке великог нивоа детаљности и редовно их ажурира, посебно оне које имају високу динамику промене. Међутим, чак и у развијеним земљама као што је Немачка, научници наглашавају да суштински проблем када је у питању квалитет података, јесте њихова хетерогеност и цена (Wienand et al, 2009).

[13] www.fema.gov

Подаци великог нивоа детаљности у Србији нису увек доступни. У неким случајевима ни не постоје (не мере се и не бележе), а у неким случајевима се не мере на нивоу на којем се ради анализа. Одређени подаци постоје само на нивоу државе (националном нивоу) и готово их је немогуће интерполисати на мање просторне јединице. Тако се, на пример, податак о HDI (Human Development Index) може наћи само на националном нивоу (један број) или евентуално на регионалнм нивоу, али с обзиром на то да је он израчунат на основу више компоненти, његова интерполација на мање просторне јединице није могућа без оригиналних података. Такође, карта плавих зона постоји на нивоу републике Србије (Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, 2001; Гавриловић, 1981), али таква карта није довољно детаљна за ниво појединих сливова (мезо ниво) и још мање за ниво микро локација. Детаљније карте плавних зона постоје за поједине деонице речних токова за које су рађени пројекти (на пример за реку Јадар (Jovanović et al, 2009); за деоницу Западне Мораве и њених притока на територији општине Чачак (Jovanović et al, 2014)), али са таквом детаљношћу не постоје карте за целу Србију. Друга отежавајућа околност је да одређени подаци постоје, али је до њих тешко доћи (или су скупи или је процедура доласка до њих дуготрајна). Проблем често представља и промена методологије у прикупљању података, па када се ради о временским серијама, а дође до поменутих промена, онда су ти подаци делимично или у потпуности неупотребљиви. То је често случај са економским показатељима (Kovačević-Majkić et al, 2014б).

Стога се за израде процене ризика у случајевима када не постоје подаци или нису лако доступни, препоручује избор ефикасне и исплативе методологије (Sanyal & Lu, 2006) и користе се други подаци, односно показатељи који су релативно лако доступни, односно да долазак до њих не изискује претерано висока улагања времена и новца. Уз помоћ таквих студија, могуће је идентификовати зоне са повећаним ризиком од непогода и онда на основу њих радити детаљније студије.

И у овој студији је избор показатеља ограничен доступношћу података на одређеном нивоу детаљности. Тачније, то је крајњи критеријум на основу кога је извршен избор показатеља (слика 16).

3.2.2.2. Изабрани показатељи

У овом поглављу је дат преглед показатеља и под-показатеља у оквиру компоненти. За оба нивоа детаљности (мезо и макро ниво) показатељи су исти код компоненти изложеност и рањивост, док се у компонентама хазард и неотпорност разликују (неки су додати, док су други изостављени). Уједно је приказан начин како су израчунате њихове вредности. За процену ризика на макро нивоу могуће је агрегирати податке са мезо нивоа (на пример у виду суме или средње вредности) или их само преузети ако носе информацију о целом сливу (на пример, у најнизводнијим сливним површинама одређени показатељи имају вредности које се односе на цео слив, чиме ће податак за цео слив имати исту вредност као најнизводнија сливна површина). Поглавље је организовано тако што су прво обрађени показатељи на мезо нивоу, а затим на макро нивоу детаљности.

3.2.2.2.1. Показатељи хазарда

Показатељи хазарда су они који показују интензитет и учесталост (вероватноћу) природне појаве. Они се најчешће везују за плавне зоне услед поплава одређене вероватноће појаве.

Као што је већ образложено у поглављу 2.4.1, у овој дисертацији приступ је био другачији што због непостојања довољно густо распрострањених станица за прикупљање хидролошких података на нивоу целог слива, што због става да величину хазарда осим плавне зоне треба да одређују и услови у сливу који представљају потенцијал за појаву бујичних поплава. Стога су у оквиру компоненте хазарда издвојени сегменти који га одређују. Критеријуми за одређивање сегмената компоненте хазарда су: 1) постојање трагова о претходним поплавама (морфолошких индикатора – плавина и плавних зона и забележених поплава на основу хидролошких мерења) и 2) постојање услова за појаву бујичне поплаве: а) окидача – падавина интензитета ≥ 30 mm/дан, б) главних услова – ерозије I, II і III категорије, као и в) осталих услова – морфометријске одлике

слива. На основу поменута два критеријума издвојена су три сегмента са следећим називима: „вода“, „ерозија“ и „морфометрија“.

У циљу добијања индекса хазарда било је потребно одабрати показатеље на основу којих је дата процена хазардности. У овом поглављу дат је преглед показатеља и под-показатеља хазарда по сегментима, објашњење зашто су изабрани и, ако је реч о изведеним показатељима, начини њиховог израчунавања. Начин израчунавања показатеља на основу под-показатеља приказан је у изразу 11 (поглавље Методологија 3.2.1.). Њихов преглед дат је у табели 10.

Табела 10. Преглед показатеља хазарда[14]

Под-показатељ			Показатељ			Сегмент
Симбол	**Назив**	**Јединица**	**Симбол**	**Назив**	**Јединица**	
H1a	Апсолутна површина плавне зоне	km^2	H1	Плавна зона		Вода
H1b	Релативна површина плавне зоне	%				
			H I	Учесталост дневних падавина ≥ 30 mm	/	
H IIa	Учесталост максималних протицаја већих од средњег максималног протицаја	/	H II	Протицај		
H IIb	Коефицијент варијације дневних протицаја	/				
H IIc	Однос средњег максималног и средњег минималног протицаја	/				
H2a	Апсолутна површина под ерозијом I, II и III категорије	km^2	H2	Ерозија у ужем смислу		Ерозија
H2b	Релативна површина под ерозијом I, II и III категорије	%				
H2c	Коефицијент ерозије I, II и III категорије	/				
			H3	Густина речне мреже	km/km^2	
			H4	Просечан пад главног тока	‰	Морфометрија
			H5	Реципрочни модул развијености вододелнице	/	
			H6	Ранг плављене сливне површине	/	

[14] Сивом бојом су назначени показатељи и под-показатељи који се додају приликом процене ризика на макро нивоу детаљноси.

Већ је наведено да је плавна зона изабрана као основни показатељ који сведочи о поплавама које су се већ догодиле. Она је први, али не и једини показатељ који указује на величину хазарда у сливу. Фактори који укључују падавине, ерозију, морфометријске одлике слива и друге узроке поплава утичу на величину хазарда на сливу. У процени ризика од бујичних поплава неопходно је њихово учешће, као показатеља који утичу на интензитет поплаве као природне непогоде.

3.2.2.2.1.1. Сегмент вода

Мезо ниво

Плавна зона (H1) - С обзиром на то да су присуство плавина, њихова развијеност (величина и дубина) и број несумњив показатељ бујичности слива, али не улазећи у њихове варијетете у зависности од старости (фосилне / рецентне) и активности (терасиране / стабилизоване / активне) (Милић, 1984), није постојала сумња да простори под плавинама треба да буду означени као плавна зона. Питање на које није могао да се да квантитативан одговор је где је граница између бујичне и речне поплаве. Стога је као простор где се поплава реализује усвојена граница која раздваја алувијалне равни и плавине са једне стране и друге облике рељефа са друге стране. Као мера показатеља плавна зона (H1) изабрана је површина плавне зоне у оквиру сливне површине, односно њена процентуална заступљеност у оквиру слива. Њена апсолутна вредност представљена је као под-показатељ H1a, а релативна вредност као под-показатељ H1b.

Слика 17. Алувијална раван и плавине формиране на ушћу периодичних притока реке Скрапеж као показатељ хазарда од бујичних поплава (фото: М.Урошев)

Макро ниво

Учесталост дневних падавина изнад одређеног прага (≥ 30 mm) (HI) – Овај праг је одређен на основу анализе бујичних поплава које су се догодиле, односно трајања и интензитета киша које су их изазвале (Prohaska et al, 1989). Такве кише су често конвективне (орографске) по постанку и често имају локални карактер. Такође било би пожељно располагати са подацима на часовном нивоу, јер су интензивне кише кратког трајања по правилу основни узрочник бујичних поплава, али ти подаци нису били на располагању. Ипак, како најинтензивније падавине настају као последица фронтално-циклоналних поремећаја у атмосфери (Patrčević, 1989), односно падавина из Cb и Ns облака (Radović & Todorović, 1989) оне могу имати распростирање на ширем простору, тако да се разлике у њима могу осетити тек на неком мање детаљном нивоу, односно на макро нивоу. У том смислу оне су одабране као показатељ на макро нивоу детаљности. Располагало се са дневним подацима за период 1961-2000 на по једној кишомерној станици за сваки од три одабрана слива: Пожега, Ћуприја (не налази се у сливу, али је у непосредној близини слива) и Бабушница. Израчуната је учесталост дневних падавина изнад ≥ 30 mm на годишњем нивоу на основу следећег израза:

$$\mathrm{HI} = \frac{\sum N_{\geq 30 mm/dan}}{N} \tag{12}$$

где је $N_{\geq 30\ mm}$ – број дана са дневним падавинама ≥ 30 mm, N – број година за рачунски период

Протицај (H II) – је показатељ који је сачињен од три под-показатеља: 1) Учесталост максималних протицаја већих од средњег максималног протицаја, 2) Коефицијент варијације дневних протицаја и 3) Однос средњег максималног и средњег минималног протицаја.

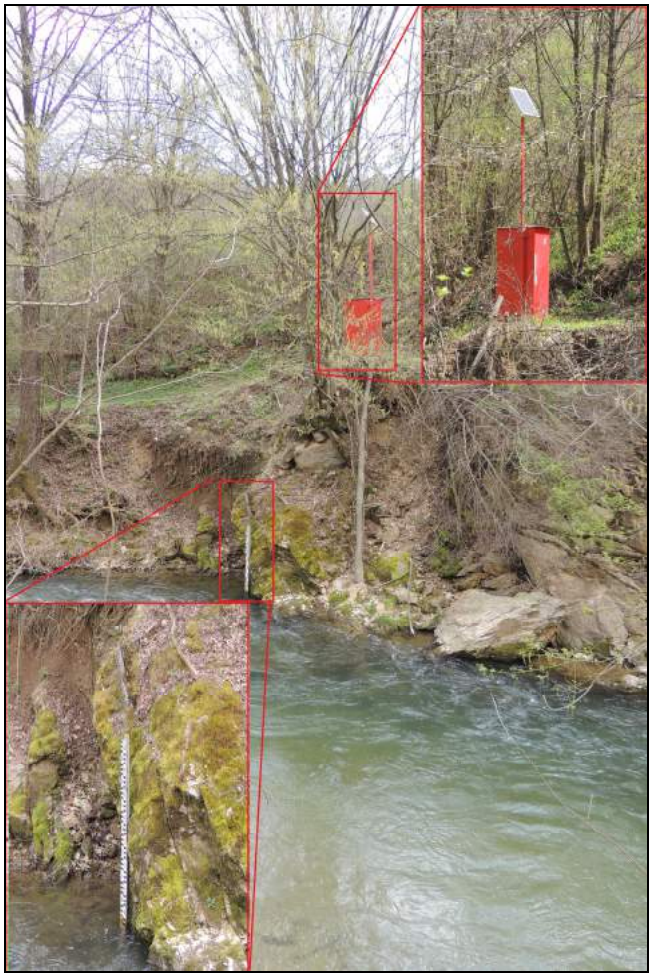
Учесталост максималних протицаја већих од средњег максималног протицаја – Ристић (1999) користио је овај показатељ у анализи великих вода на бујичним сливовима у Србији. У овој дисертацији коришћен је овај показатељ и то за три

водомерне станице, то јест на сваком сливу по једна водомерна станица (Пожега, Јагодина и Свође) за период 1961-2014. Израчуната је учесталост максималних протицаја већих од средњег максималног протицаја на годишњем нивоу на основу израза 13 и тај показатељ је означен као H IIa.

$$\mathrm{HIIa} = \frac{\sum \mathrm{NQmax}_{>\mathrm{Qmaxsr}}}{N} \tag{13}$$

где је $\mathrm{NQmax}_{>\mathrm{Qmaxsr}}$ – број дана са максималним протицајем већим од средњег максималног протицаја, N – број година са забележеним максималним протицајем

Коефицијент варијације дневних протицаја је означен као H IIb, а однос средњег максималног и средњег минималног протицаја као H IIc.



Слика 18. Водомерна станица Свође на реци Лужници (фото: М. В. Милошевић)

3.2.2.2.1.2. Сегмент ерозија

Сегмент ерозија се састоји од два показатеља: 1) ерозије у ужем смислу (H2) која сублимира под-показатеље који се односе на ерозију I, II і III категорије, као основног услова за појаву бујица и 2) густине речне мреже као показатеља флувијалне ерозије.

Слика 19. Нанос у кориту водотока који приликом поплаве има велику разорну моћ и наноси велику штету (притока Лужнице узводно од Бабушнице)
(фото: М. В. Милошевић)

Ерозија у ужем смислу (H2) – се односи на интензитет ерозије. Као под-показатељи усвојене су суме површина захваћене ерозијом I, II і III категорије, односно њихова процентуална заступљеност у оквиру слива кога дренира плавна зона до излазног профила плављене под-јединице. Њихова апсолутна вредност представљена је као под-показатељ H2a, а релативна вредност као под-показатељ H2b. Као трећи под-показатељ изабран је коефицијент ерозије израчунат на

основу I, II i III категорије ерозије (H2c), који је израчунат као средња вредност коефицијента ерозије за слив према следећем изразу:

$$\mathrm{H2}c = \frac{\sum_{i=1}^{7} Z_i F_i}{F} \tag{14}$$

где је Zi – коефицијент ерозије I, II или III категорије са 7 под-категорија (према Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983 b), Fi – површина делова слива под ерозијом I, II или III категорије са одређеном под-категоријом, F – укупна површина слива под ерозијом I, II или III категорије.

Густина речне мреже (H3) – Овај показатељ припада морфолошким показатељима и представљен је густином речних корита као облика флувијалне ерозије. Отуда је сврстан у сегмент ерозија. С обзиром на то да се за време јаких киша и на повременим водотоцима често формира разоран водоток, приликом рачунања густине речне мреже узети су у обзир и третирани истоветно и стални и периодични водотоци (Kovačević-Majkić et al, 2016). У обзир су узети сви водотоци до излазног профила плављене сливне површине.

3.2.2.2.1.3. Сегмент морфометрија

Просечан пад главног тока или уравнати пад главног тока (H4) – указује да што је пад већи, већа је вероватноћа да ће доћи до брзог отицаја и појаве бујичне поплаве. Адекватност коришћења овог показатеља се нарочито огледа код малих бујичних сливова, код којих је пад велик. Пример бујичне поплаве у Текији у септембру 2014. године указује да се најразорнији талас кретао управо долином која је имала највећи просечан пад (Milošević et al, 2015a). Просечан пад главног тока се такође односи на цео простор кога дренира плављена сливна површина за коју се процењује ризик.

Реципрочни модул развијености вододелнице (H5) – је један од показатеља који говори о улози облика слива у формирању бујичног поплавног таласа. Што је

слив заобљенији, то јест модул развијености вододелнице мањи то је већа вероватноћа да ће доћи до брзог концентрисања воде. Што је слив издуженији, то јест модул развијености вододелнице већи то ће пропагација поплавног таласа бити спорија и изазваће мање последице. Стога се у овој дисертацији као показатељ хазарда користи реципрочни модул развијености вододелнице који се рачуна према следећем изразу:

$$\mathrm{H5} = \frac{\sqrt{F}}{0.28 * O} \tag{15}$$

где је F – површина слива која гравитира ка плављеној сливној површини, O – обим слива који гравитира плављеној сливној површини

Ранг плављене сливне површине (H6) – одређен је према Shreve (Langbein, 1947) као показатељ који треба да укаже да се реализација већине процеса у сливу манифестује са приближавањем ушћу.

Коришћење показатеља Ранг сливне површине на макро нивоу зависи од тога да ли се у процени користе све сливне површине. Уколико се користе све сливне површине (на пример процењује се ризик за све сливне површине у сливу Велике Мораве) и под предпоставком да су све сливне површине по карактеру бујичне, тада би се могли одредити рангови. Пошто се у овој дисертацији као примери користе свега три слива, и није урађена детаљна подела на сливове на макро нивоу детаљности, није познат податак о њиховом рангу, те стога он није коришћен као показатељ.

3.2.2.2.2. Показатељи изложености

У оквиру компоненте Изложеност издвојени су демографски, економски и природни сегмент у складу са тим ко све може бити изложен дејству хазарда. Тако су издвојени људи (демографски сегмент), њихова материјална добра створена процесом рада (економски сегмент) и простори у којима постоје природне појаве

које су људи препознали као ресурс (природни сегмент). Издвајање ових сегмената је антропоцентрично, као што је и појава природне непогоде.

У циљу добијања индекса изложености било је потребно одабрати показатеље на основу којих је дата процена изложености. У овом поглављу дат је преглед показатеља и под-показатеља изложености по сегментима, објашњење зашто су изабрани и ако је реч о изведеним показатељима начини како су израчунати. Начин израчунавања показатеља на основу под-показатеља приказан је изразом 11 (поглавље Методологија 3.2.1.).

За разлику од показатеља хазарда, показатељи изложености се односе искључиво на плављену сливну површину. Њихов преглед дат је у табели 11.

Табела 11. Преглед показатеља изложености

Под-показатељ			Показатељ			Сегмент
Симбол	**Назив**	**Јединица**	**Симбол**	**Назив**	**Јединица**	
			E1	Број становника	/	Демографски
			E2	Број свих објеката	/	Економски
			E3	Дужина саобраћајница	km	
			E4	Број мостова	/	
E5a	Укупна површина под заштитом	km^2	E5	Заштићена природна добра		Природни
E5b	Коефицијент заштићености природних добара	/				
			E6	Минерални ресурси	km^2	

3.2.2.2.2.1. Демографски сегмент

Број становника у плављеним сливним површинама (E1) – је због недоступности детаљнијих података израчунат на основу података о броју становника и објектима за становање по насељима из пописа становништва 2011. године (Републички завод за статистику, 2011) и на основу објеката за становање у

плавној зони. Преклапањем мреже границе насеља са познатим бројем становника и плављених сливних површина, уз познат број објеката у плављеним сливним површинама, методом пропорције (израз 16) израчунат је број становника у свакој плављеној сливној површини.

$$E1 = \frac{St_{nas} \times Ob_{psp}}{Ob_{nas}} \tag{16}$$

где је St_{nas}– број становника у насељу, Ob_{psp}– број објеката у плављеној сливној површини и Ob_{nas}– број објеката у насељу.

3.2.2.2.2.2. Економски сегмент

Број свих објеката (E2) – укључује све објекте у које су укључени објекти за становање, привредни објекти у које су укључени и инфраструктурни објекти, објекти јавних служби.

а

б

Слика 20. Градска насеља у одабраним сливовима: Косјерић – Скрапеж (а), Пожега – Скрепеж б), Јагодина – Белица (в), Бабушница – Лужница (г). Објекти су дигитализовани и затим пребројни. Плана линија означава границу геоморфолошке плавне зоне.

Дужина саобраћајница (Е3) – представља суму дужина свих копнених саобраћајница (друмских: државних путева 1. реда (магистралних), државних путева 2. реда (регионалних) и општинских (локалних) путева; и железничких путева).

Број мостова (Е4) – осим што представља објекте који могу бити изложени хазарду, представља и пресеке водотока и саобраћајница, тачније сужења у кориту која могу изазвати нагомилавање наносног материјала и отпада, те узводна плављења. У том смислу би се могао користити и број свих таквих пресека у сливу, али као показатељ рањивости. Са становишта поплава то су најкритичнија места на којима саобраћајница може бити оштећена и учинити остале елементе рањивим.

Слика 21. Мост на ушћу Лужнице у Власину (фото: М. В. Милошевић)

3.2.2.2.2.3. Природни сегмент

У природни сегмент су сврстани природни ресурси заштићена природна добра и минерални ресурси, док су пољопривредно и шумско земљиште обрађени кроз намену површина у компоненти рањивост, а водна подручја су изостављена јер уколико се користе као привредни објекти (на пример рибњаци или хидроелектране) обрађени су као привредни објекти, или ако имају одређени степен заштите као природно добро, те су сврстана у заштићена природна добра.

Заштићена природна добра (E5) – је показатељ сачињен је од два под-показатеља: 1) Укупна површина под заштитом и 2) Коефицијент заштићености природних добара

Укупна површина под заштитом – представља суму површина свих заштићених природних објеката (заштићена станишта, споменике природе, опште и специјалне резервате природе, пределе изузетних одлика, паркове природе и

националне паркове) према класификацији Завода за заштиту природе[15]. Овај под-показатељ је означен као E5a.

Коефицијент заштићености природних добара – је израчунат на основу израза 17 и означен је као под-показатељ E5b.

$$E5a = \frac{\sum a_1 Fzs + a_2 Fsp + a_3 Frp + a_4 Fpio + a_5 Fpp + a_6 Fnp}{F} \tag{17}$$

где је $a_{1\text{-}6}$ – коефицијенти заштите, Fzs, Fsp, Frp, Fpio, Fpp, Fnp – површине одређених категорија заштићених природних добара датих у табели 12, F – укупна површина под заштићеним природним добрима

У табели 12 су дате вредности коефицијената заштите. У овој дисертацији није коришћена категоризација према степену заштите већ су коефицијентима додељене номиналне вредности.

Табела 12. Коефицијенти заштите природе

Категорија заштићеног природног добра	**Ознака**	**Коефицијент заштите**
Заштићено станиште	Fzs	1
Споменик природе	Fsp	1
Општи и специјални резерват природе	Frp	2
Предео изузетних одлика	Fpio	3
Парк природе	Fpp	4
Национални парк	Fnp	5

Минерални ресурси (E6) – су представљени као површине са минералним ресурсима и то као апсолутни број. По типу су сви минерални ресурси третирани подједнако.

[15] www.zzps.rs

3.2.2.2.3. Показатељи рањивости

У оквиру компоненте Рањивост издвојени су демографски и економски сегмент, док се природни сегмент из компоненте Изложеност није даље развијао. Разлог томе је што у случају дејства хазарда демографска и економска компонента привремено или трајно могу бити стављени ван функције, или чак престати да постоје. За разлику од њих природна компонента је најближа природном стању и тиме трпи најмању штету. Њено постојање у том случају није доведено у питање, а коришћење може бити „краткорочно“ обустављено.

У циљу добијања индекса рањивости било је потребно одабрати показатеље на основу којих је дата процена рањивости. У овом поглављу дат је преглед показатеља и под-показатеља рањивости по сегментима, објашњење зашто су изабрани и ако је реч о изведеним показатељима начини како су израчунати. Начин израчунавања показатеља на основу под-показатеља приказан је изразом 11 (поглавље Методологија 3.2.1.).

Показатељи рањивости се могу односити на плављену сливну површину, а неки се односе на површину која има утицај на њихову рањивост без обзира да ли је природна или нека друга површина. Њихов преглед дат је у табели 13.

Табела 13. Преглед показатеља рањивости

Под-показатељ			Показатељ			Сегмент
Симбол	**Назив**	**Јединица**	**Симбол**	**Назив**	**Јединица**	
			V1	Густина насељености	ст/km^2	Демографски
			V2	Индекс демографске зависности	/	
			V3	Намена површина	/	Економски
			V4	Број привредних објеката	/	
			V5	Број загађивача	/	
			V6	Број образовних установа	/	
V7a	Укупан број НКД	/	V7	НКД		
V7b	Коефицијент НКД	/				

НКД – непокретна културна добра

3.2.2.2.3.1. Демографски сегмент

Густина насељености (V1) – се односи на густину насељености у плавној зони.

Индекс демографске зависности (V2) – пошто су границе старосних група 10-14 и 15-19, а статистика води младе до узраста од 14 година, опредељење је да се тај узраст усвоји као граничан за рањиву популацију, иако закон о ванредним ситуацијама као гранично годиште које подлеже евакуацији и не распоређује се у јединице цивилне заштите третира узраст од 16 година (Службени гласник РС 93, 2012). Показатељ је израчунат као средња вредност коефицијената демографске зависности насеља коме припада плављена сливна површина.

3.2.2.2.3.2. Економски сегмент

Намена површина (V3) – се у овој дисертацији посматра као показатељ рањивости и што је простор изграђенији то је рањивији.[16] Класификована је у три категорије: изграђено земљиште, пољопривредно земљиште и шуме. Под изграђеним земљиштем подразумева се сво изграђено земљиште како у градским, тако и у сеоским срединама, односно не само грађевинско земљиште, већ и пољопривредно, шумско и водно земљиште на којима постоје изграђени објекти. Вегетациони покривач има значајну улогу у отицању вода и о томе постоје бројна истраживања, али у оцени рањивости простара, простор под шумом се оцењује се као најмање рањив. Израчунат је на основу следећег израза:

$$V3 = \frac{\sum a_1 Fiz + a_2 Fpz + a_3 Fs}{F} \tag{19}$$

где је $a_{1\text{-}3}$ – коефицијенти намене површина, Fiz, Fpz, Fs, – површине одређених категорија намене датих у табели 12, F – укупна површина плавне зоне

[16] Уколико би се као податак користила намена површина на целом сливу, он би тада могао и да се посматра као фактор ерозије. С обзиром на то да податак о коефицијенту ерозије већ садржи податке о начину коришћења земљишта, антиерозионом уређењу и др, одлучено је да се он не користи појединачно и не у том смислу.

У табели 14 су дате вредности коефицијената намене површина, које су додељене као номиналне вредности услед непостојања мере намене површина.

Табела 14. Коефицијенти намене површина

Категорија заштићеног природног добра	**Ознака**	**Коефицијент заштите**
Изграђено земљиште	Fiz	3
Пољопривредно земљиште	Fpz	2
Шуме	Fs	1

Број привредних објеката (V4) – представља збир свих привредних објеката у којима се одвијају привредне делатности.

Слика 22. Цементара „Титан“ у Косјерићу,
највећи привредни објекат у сливу реке Скрапеж (фото: www.titan.rs)

Број загађивача (V5) – је у овој дисертацији представљен депонијама иако оне теоријски представљају вид управљања отпадом (Агенција за заштиту животне средине). Као показатељ је изабран број депонија Јавних комуналних предузећа, као и дивљих и старих депонија, док њихове величине нису разматране.

Број образовних установа (V6) – је узет у разматрање као показатељ рањивости. Обухваћене су све основне, средње и високошколске установе (државне и приватне), док су подаци о броју предшколских установа били непоуздани, те нису третирани у овој дисертацији.

Непокретна културна добра – НКД (V7) – је показатељ изведен на основу два под-показатеља: 1) укупног броја свих НКД и 2) коефицијента НКД.

Укупан број НКД – подразумева четири категорије НКД: споменике културе, просторно културно историјске целине, археолошка налазишта и знаменита места, дате у класификацији Републичког завода за заштиту споменика културе[17]. Овај под-показатељ је означен као V7a.

Коефицијент НКД – је израчунат на основу израза 21 и означен је као показатељ V7b.

$$V7b = \frac{\sum a_1 Nsk + a_2 Npkic + a_3 Nan + a_4 Nzm}{N} \tag{21}$$

где је $a_{1\text{-}4}$ – коефицијенти НКД, Nsk, Npkic, Nan, Nzm – број одређених категорија НКД датих у табели 13, N – укупан број НКД коефицијената. У овој дисертацији није коришћена категоризација НКД према значају (веома знаменита и знаменита НКД), већ вредности коефицијената заштите представљају номиналне вредности, које су приказане у табели 15.

Табела 15. Коефицијенти НКД

Категорија НКД	Ознака	Коефицијент заштите
Споменик културе	Nsk	1
Просторно културно историјска целина	Npkic	2
Археолошко налазиште	Nan	3
Знаменито место	Nzm	4

[17] www.heritage.rs

3.2.2.2.4. Показатељи неотпорности

У оквиру компоненте Неотпорности, за разлику од других компоненти, издвојени су сегменти и под-сегменти, захваљујући широкој лепези превентивних мера које се спроводе у циљу заштите од природних непогода и њиховој у великој мери разрађеној класификацији. Стога су издвојени сегменти неотпорност у ужем и неотпорност у ширем смислу, по истом принципу као што су урадили Kovačević-Majkić et al (2013). Неотпорност у ужем смислу се односи на техничке мере превенције и подељена је на два под-сегмента – активне и пасивне техничке мере, док се неотпорност у ширем смислу односи на економске и социјално-инфраструктурно-организационе капацитете друштва. У оквиру ових сегмената су издвојени показатељи који се, осим у студијама процене ризика, користе и за друге врсте студија (на пример студије развоја како их је користио Winkler (2012)).

У циљу добијања индекса неотпорности било је потребно одабрати показатеље на основу којих је дата процена неотпорности. У овом поглављу дат је преглед показатеља неотпорности по сегментима (табела 16), објашњење зашто су изабрани и ако је реч о изведеним показатељима начини како су израчунати.

Табела 16. Преглед показатеља неотпорности[18]

Показатељ			**Под-сегмент**	**Сегмент**
Симбол	**Назив**	**Јединица**		
Re inv1	Акумулације и ретензије	/	Активне техничке и биолошке мере	Мере у ужем смислу
Re inv I	Системи за рано упозоравање	/		
Re inv II	Густина кишомерних станица	Nks/100km^2		
Re inv2	Насипи	/	Пасивне мере	
Re inv3	Стална примања	%	Економске мере	Мере у ширем смислу
Re inv4	Удаљеност од општинског центра	km	Социјално-инфраструктурно-организациони капацитети	
Re inv III	Број општина у сливу	/		

[18] Сивом бојом су назначени показатељи и под-показатељи који се додају приликом процене ризика на макро нивоу детаљноси

Показатељи неотпорности се могу односити на плављену сливну површину, а неки се односе на површину која има утицај на њихову неотпорност без обзира да ли је природна или нека друга површина. Поглавље је организовано тако што су прво обрађени показатељи на мезо нивоу, а затим на макро нивоу.

3.2.2.2.4.1. Сегмент неотпорност у ужем смислу

Мезо ниво

У оквиру овог сегмента одабран је по један показатељ од 1) активних техничких мера – постојање акумулација и ретензија и 2) пасивних техничких мера (постојање насипа).

Постојање акумулација и ретензија (Re inv1) – је показатељ који је постављен тако што је сливна површина у којој постоји акумулација и ретензија окарактерисана као она која је отпорна на појаву бујичних поплава и има вредност неотпорности „0“, док је она у чијем дренажном простору нема акумулације и ретензије окарактерисана као најмање отпорна, то јест са највећом неотпорношћу „1“. Сливна површина која се налази низводно од сливне површине са акумулацијом или ретензијом док не прими притоку са бујичним карактером у којој нема мера заштите добија вредност „0.25“. Ове скале номиналних вредности у складу са дометима деловања ових активних мера заштите нису детаљније разрађиване.

Постојање насипа (Re inv2) – је показатељ који је такође слично постављен. Наиме он је представљен инверзним коефицијентом дужине насипа који представља однос дужине насипа и дужине водотока у плавној зони и израчунава се према следећем изразу:

$$\mathrm{Re\,inv2} = 2 - \frac{Ln}{Lv} \tag{22}$$

где је Ln – дужина насипа, Lv – дужина водотока

Највећу отпорност имају они водотоци који са обе стране речног тока имају насипе, то јест имају двоструку вредност насипа у односу на водоток. Како је овде реч о неотпорности стога од те идеалне отпорности одузимамо вредност коефицијента дужине насипа, те оне сливне површине које немају насипе имају вредност овог показатеља „2“, а оне које их имају са обе стране целом дужином водотока имају вредност „0“.

Слика 23. Пружни насип дуж реке Скрапеж који има улогу и у заштити од великих вода (фото: М. Урошев)

Макро ниво

Постојање *система за рано упозоравање* (Re inv I) је одабрано као показатељ отпорности, односно њихово непостојање као показатељ неотпорности. У малом броју сливова постоје овакви системи (на пример у сливу Црнице (Milojević et al, 2015)). У случају да овакав систем постоји у сливу, овај показатељ има вредност „0“, а у случају да не постоји има вредност „1“ то јест има велику неотпорност.

Густина кишомерних станица (Re inv II) – је представљена инверзном густином кишомерних станица која представља број кишомерних станица на 100 km^2 и израчунава се према следећем изразу:

$$\text{Re inv II} = 4 - Dks \tag{23}$$

где је Dks – густина кишомерних станица у сливу

Одређено је да је идеалан случај када се по једна кишонмерна станица налази на површини 5x5 km то јест на 25 km^2, што значи четири кишомерне станице на 100 km^2 (Штрбац et al, 2012). Како је овде реч о неотпорности стога од те идеалне отпорности одузимамо вредност густине кишомерних станица, те они сливови који немају кишомерне станице имају вредност овог показатеља „4“, а што их је више то је неотпорност мања. Редак је случај са идеалном густином кишомерних станица, а теоријски он може бити и већи од четири кишомерне станице на 100 km^2.

3.2.2.2.4.2. Сегмент неотпорност у ширем смислу

<u>Мезо ниво</u>

У овој групи се налази један економски (стална примања) и један социјално-инфраструктурно-организациони (удаљеност од општинског центра) показатељ.

Стална примања (Re inv3) – је показатељ који је представљен процентуалним учешћем становништва које нема стална примања, а у ту групу спадају они који имају социјална примања, ученичке и студентске стипендије и кредите, уштеђевину, новчану накнаду за незапослена лица, издржавана лица и остала. Показатељ је израчунат као средња вредност процената лица без сталних примања насеља коме припада плављена сливна површина.

Удаљеност од општинског центра (Re inv4) – је показатељ који сублимира удаљеност од свих сервиса, јавних и комуналних служби које пружају услуге и помоћ у случају природне непогоде.

Макро ниво

*Број општина у сливу (*Re inv III) – је показатељ који се са аспекта отпорности може двоструко посматрати. Наиме, број органа који управљају неким простором некада може бити отежавајућа околност у смислу што је теже организовати већи систем. Насупрот томе, уколико управља само један орган (једна општина) могу се јавити проблеми уколико она није довољно развијена да може самостално да организује управљање простором како у редовним околностима, тако и у случају непогода. Овај показатељ је израчунат тако што је предпостављено да је идеалан случај да сливом управљају три општине или три органа и тада неотпорност не постоји, тачније једнака је „0“. Свако одступање од тога у оба правца представља случај лошији од идеалног било да је број општина већи или мањи од три. На тај начин је превазиђена дилема да ли је већи или мањи број општина боља или лошија опција. Овај показатељ се израчунава према следећем изразу:

$$\text{Re inv III} = |3 - N| \tag{24}$$

где је N – број општина у сливу

3.2.2.2.5. Показатељи који су изостављени (одбачени)

Током избора показатеља, разматрани су многи показатељи. Сматра се да су компонентом изложеност обухваћени сви елементи, док у остале три компоненте постоје они који су могли да буду одабрани, али су неки одбачени, јер нису задовољили постављене критеријуме. Разлози за одбацивање сваког појединачног показатеља су посебно образложени.

Компонента хазарда

Падавине и протицаји – подаци о интензитету падавина и протицаја нису коришћени јер су за њих усвојени прагови који доводе до бујичних поплава. Стога су као показатељи коришћени подаци о њиховој учесталости изнад тих одређених

прагова и то на макро нивоу детаљности у складу са доступношћу података (показатељи Н I и Н IIа).

Претходне петодневнех падавине ИПП$_5$ – Овај показатељ се односи и користи за релативно краткорочне прогностичке моделе, а како овај модел није прогностички већ структурни, овај показатељ није задовољио постављени критеријум одговарајућег показатеља.

Влажност земљишта – Исто као и индекс претходних падавина (ИПП5), представља показатељ који се односи на кратак временски период непосредно пред појаву падинског процеса (бујице). Он би могао бити коришћен за прогностичке моделе.

Геологија и педологија - су подаци који су садржани у коефицијенту ерозије, те су изостављени као појединачни показатељи хазарда, односно ризика од бујичних поплава.

Средњи нагиб терена у сливу – Иако представља један од најважнијих фактора за покретање падинских процеса (Coussot & Meunier, 1996; Ercanoglu & Gokceoglu, 2002), различита истраживања су довела до различитих закључака везаних за вредност средњег нагиба слива на којима се чешће дешавају падински процеси. Учесталост падинских процеса је донекле растућа са растом угла нагиба, али су истраживања показала да са угловима већим од 45° њихова учесталост опада (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002), као и да у првом реду зависи од литологије. Такође, угао нагиба слива је интегрисан у коефицијент ерозије, те је стога одлучено да се он не користи појединачно као показатељ ризика.

Индекс храпавости слива – има слично дејство на појаву падинских процеса као претходни показатељ, те је из истих разлога изостављен.

Коефицијент бујичности слива – је сложен коефицијент у коме се садрже бројне компоненте које садржи и коефицијент ерозије. Како је у овој дисертацији одабран коефицијент ерозије као показатељ, то је је коефицијент бујичности слива изостављен.

Укупна површина слива – Пошавши од чињенице да се бујични токови јављају како на малим, тако и на великим сливовима и да је тешко одредити границу између бујичне и речне поплаве, овај показатељ је одбачен.

Надморска висина слива – је показатељ који је изостављен јер самостално не делује директно на појаву бујица. Иако су бујични токови генеришу у брдско – планинским теренима, то превасходно значи у теренима са одређеним нагибом и храпавошћу.

Експозиција – је одбачен показатељ јер нема заједничког става око њеног утицаја. Она не утиче директно на појаву бујица, већ посредно преко других показатеља као што је на пример правац из кога долазе падавине (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002).

Компоненте рањивости и неотпорности

Старосна структура и просечна старост становништва – нису коришћени, јер је учешће рањивијих група (младих и старих) дато кроз показатељ демографске зависности.

Индекс старења – је показатељ који би могао више да се користи у прогностичким моделима. Посредно је његов утицај показан кроз верификацију модела мењањем улазних података, тачније коришћењем података о пројекцијама становништва до 2041. године.

Полна структура становништва – је показатељ којим би могао да се побољша модел, али су у овој дисертацији полови (мушкаци и жене) подједнако третирани, тако да је он изостављен.

Тип и спратност објеката, као и положај објеката према водотоку – су важни показатељи, али нису коришћени услед нерасполагања тим подацима. За студије процене ризика на микро (детаљнијем) нивоу, препорука је да се користе ови подаци.

Број настрадалих (погинулих или оних који су повређени приликом непогода) – је одбачен, јер у Србији релативно мали број људи изгуби живот у непогодама (најчешће у поплавама и пожарима), за разлику од неких других земаља где је тај број већи и где жртве постоје сваке године. У студијама на макро (светском, глобалном) нивоу податак о броју умрлих се узима као показатељ у процени рањивости и ризика (UNDP, 2004), тако да се Србија може појавити у тим студијама. На мезо и макро нивоу детаљности у оквиру Србије овај податак не може бити узет у обзир као показатељ рањивости и ризика од непогода (Kovačević-Majkić et al, 2014б).

Економски показатељи – социјални и економски утицај непогоде је далеко чешћи у Србији. На жалост о њима нема довољно систематично вођене базе података, тешко је доћи до тих података и готово је немогуће упоредити их. Као и у случају жртава, не би било исправно у модел стављати податке о штетама као показатељима рањивости. Њих је потребно посматрати као последице, што оне и јесу и одвојено правити корелативне анализе између показатеља рањивости и последица да би се утврдила адекватност изабраних показатеља за тврдње о степену ризика на одређеним просторима. Стога се социо-економски показатељи у облику жртава и штета не користе у овој дисертацији. Одређивање потенцијалних штета је у овој дисертацији урађено кроз показатеље изложености (њихов број) и рањивости (њихове особине), али не кроз процену њихове вредности изражене у новцу.

Новчана процена штета – није била могућа, јер подаци нису систематизовани ни лако доступни (Коларов, Бабић Младеновић, 2010)

Засутост корита наносом и отпадом и обраслост вегетацијом – је показатељ који није коришћен услед нерасполагања тим подацима на свим деоницама водотока, али је свакако значајан и требало би га користитити на мезо и макро, а посебно на микро нивоу детаљности.

Слика 24. Корито реке Белице у Јагодини обрасло вегетацијом (а) (фото: М. В. Милошевић) и очишћено (б) (фото: С. Ковачевић)

Мере у ширем смислу – подразумевају широк скуп активности које се у циљу превенције не смеју занемарити. Међу њима су оне које се односе на проценат становништва са основним образовањем, као и број апарата у домаћинству који служе за информисање. Сматра се да велики број становника и домаћинстава испуњава ове стандарде, те ова два показатеља нису узета у разматрање. Ипак, знања о правилном понашању у случају поплаве, као и вежбање правилног понашања у току поплаве су важни показатељи, који би требало да буду део студија о процени ризика (Kovačević-Majkić et al, 2014a). У овој дисертацији, ови показатељи нису коришћени јер се није располагало тим подацима. На основу истраживања које су спровеле Panić et al (2013), утврђено је да су таква знања слабо заступљена међу децом школског узраста кад је реч о правилном понашању током земљотреса (свега 16 % испитаника је дало исправне одговоре). На основу тога би се могло закључити да ни за остале непогоде, као ни код старије популације та знања нису заступљена.

Издвајање средстава за осигурање у случају непогоде – овај показатељ није коришћен услед недостатка података. Као и у случају образовања, проценат издвајања средстава у ове сврхе је мали (Jovanović & Cvetković, 2015).

Временска дистрибуција бујичних поплава – Приликом анализе учесталости падавина и максималних протицаја већих од средњих максималних протицаја уочено је да постоје временске (сезонске) разлике у појављивању бујичних

поплава. Такве информације су значајне у планирању превентивних активности (на пример појачавања активности на чишћењу корита пре сезоне јаких киша, појачавања тренинга евакуације, проверавања стања расположивих средстава – алата и машина за случај поплаве и слично). Како се процена ризика у овој дисертацији не односи на сезонски ниво, временска дистрибуција падавина и протицаја није узета у обзир као показатељ ризика од бујичних поплава.

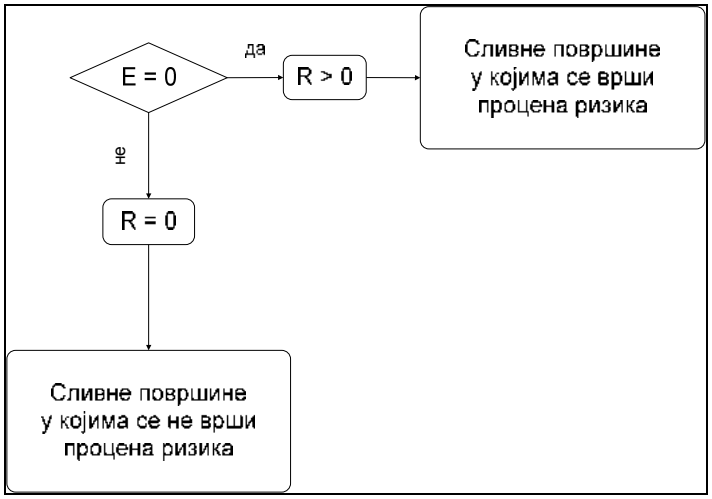
Избор показатеља је подложан дискусији и променама, с обзиром на то да су неки од њих бирани на основу доступности података. Тиме је критеријум о доступности података за процену ризика дошао до изражаја. Овако изабрани показатељи упркос недостацима дају могућност да се добију корисне информације везане за степен ризика од бујичних поплава.

3.2.3. Издвајање условних компоненти, сегмената и показатеља

Под условним компонентама, сегментима и показатељима подразумевају се они који, у случају да им је вредност једнака нули, утичу на то да ризик, односно компонента, односно сегмент кога чине, буде једнак нули. Приликом процене ризика неке од компоненти и показатеља су издвојене као условне. То је даље значило да су плављене сливне површине у којима су вредности условних компоненти, односно показатеља једнаке нули издвојене и изостављене из прорачуна.

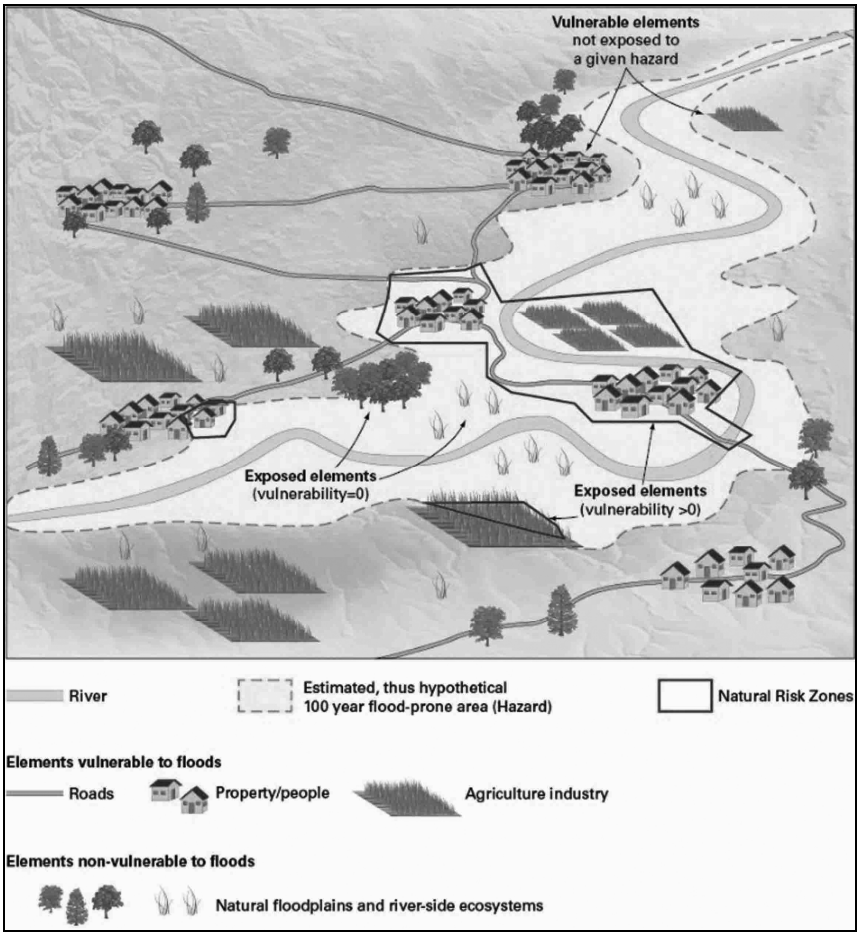
3.2.3.1. Издвојене условне компоненте, сегменати и показатељи

Како је објашњено у поглављу 2.4. ризик постоји само уколико постоје елементи који су му изложени, јер у противном се може говорити само о природном процесу. Стога је уследило издвајање оних сливних површина у којима нема изложених и рањивих елемената (слика 25). У тим сливним површинама не постоји ризик од бујичних поплава, без обзира на величину хазарда. Из тога даље проистиче да у зависности од елемената који су изложени хазарду, ризик постоји или не постоји, односно изложеност представља условну компоненту.



Слика 25. Издвајање условних компоненти

Међутим, хазард компонента се не може издвојити као условна. С обзиром на то да су за процену ризика од бујичних поплава одабране просторне јединице које су природне (сливови и непосредни делови слива уз водоток), у њима је хазард компонента увек већа од нуле. Из Inspire директиве (Directive 2007/2/EC), која се односи на инфраструктуру геопросторних података, је проистекло техничко упутсво за спецификацију података о зонама природног ризика – документ D2.8.III.12, што је од значаја за процену ризика од природних непогода. У оквиру тог упутства Inspire директиве разликују се две зоне: зона у којој постоје елементи који су изложени хазарду и који могу и не морају да буду рањиви од датог хазарда, као и зона у којој елементи нису директно изложени хазарду (нису у зони угрожености), али јесу рањиви (слика 26).



Слика 26. Изложени и неизложени, а рањиви елементи према Inspire директиви (Directive 2007/2/EC)

У складу са тим те две зоне се могу назвати зоном директне и индиректне угрожености. Из овога проистиче да без обзира на постојање хазарда, уколико постоје елементи који су изложени и рањиви, постоји ризик од тог хазарда, односно да и у деловима слива изван плавне зоне може постојати ризик од бујичних поплава. Овим се потврђује прва хипотеза да бујичне поплаве угрожавају делове слива које чини плавна зона, као и делове слива изван плавне зоне. Његове вредности нису исте и он је свакако већи у плавној зони (Rd), али је присутан и у зони индиректне угрожености (Ri). На слици 27 приказано је постојање ризика од бујичних поплава у плавној зони и простору изван плавне зоне.

Слика 27. Ризик у плавној и изван плавне зоне

Условни сегменти и показатељи теоријски не постоје ни у једној компоненти. Ипак, у зонама директне угрожености поплаве се догађају, угрожавају животе људи, праве директну штету и отежавају функционисање, док у зонама индиректне угрожености, тачније у зонама где не долази до реализације поплаве, елементи су угрожени у смислу настале просторне изолованости (хоризонталне и вертикалне), те из тога проистекле отежане комуникације са околним простором, чиме им је отежано функционисање, али ретко потпуно обустављено. Из овога се може се закључити да је у тим зонама ризик знатно мањи него у зонама где се поплаве дешавају, а о чијој реализацији сведоче морфолошки трагови, то јест плавна зона. Стога је показатељ „плавна зона“ проглашен условним показатељем. То значи да уколико не постоји плавна зона да је ризик од бујичне поплаве углавном индиректан. Изузетак представљају простори у којима нема морфолошких трагова поплаве, а који ипак могу бити поплављени. Такви простори су, на пример, стрме долинске стране на којима нема облика флувијалне

акумулације, а у којима је за време велике воде ниво воде толики да угрожава постојеће инфраструктурне објекте (путеве, пруге) и становништво које ту може да се затекне. Ипак, у овој дисертацији се из процене ризика изостављају оне сливне површине које немају плавну зону, као и делови сливних површина изван плавне зоне. Плавна зона не постоји у сливним површинама у којима доминирају процеси флувијалне ерозије, а изостају процеси флувијалне акумулације, а то су или горњи делови слива, најчешће сливне површине првог ранга (слика 28а) или сужене речне долине (кањони, клисуре, епигеније) који се могу јавити и у средњим и доњим деловима слива (слика 28б).

а б

Слика 28. Сливне површине без плавне зоне
(индриректно су угрожене,
али најчешће имају алтернативне саобраћајнице преко којих функционишу)

Пример:

Бујична поплава је захватила локацију А и угрозила како куће тако и пут. Ту ће све компоненте имати вредности веће од нуле. На локацији Б пар километара даље није било бујичне поплаве и хазард је једнак нули. Међутим пут који је погођен бујицом је једина веза тог насеља и оно је постало индиректно изложено и рањиво, тако да ће његов ризик бити већи од нуле.

На мезо нивоу детаљности издвојене сливне површине најчешће немају водомерну станицу, тако да је сегмент „вода“ сачињен само од показатеља „плавна зона“ и поприма његове особине, то јест и сегмент „вода“ постаје услован. Питање постојања плавне зоне на макро нивоу је излишно, јер су издвојене сливне површине довољно велике и свакако имају плавну зону.

Из овога следи да се процена ризика врши у пресецима издвојених сливних површина и плавних зона, тачније у плављеним сливним површинама, које представљају јединичне површине за прикупљање свих података и рачунање индекса ризика, чији је број одређен изразом 3.

Показатељ ерозија би се могао издвојити као условни показатељ за појаву бујичних поплава. У случајевима када постоји плавна зона и речна мрежа, а нема процеса ерозије I, II и III категорије, може се говорити о поплави, али која није бујична. У табели 17 дат је преглед процеса (флувијалних и падинских) са два условна показатеља (плавном зоном H1 и ерозијом H2), као и показатељем густина речне мреже (H3).

Табела 17. Могући флувијални и падински процеси

H1	H2	H3	Процес
+	+	+	*Бујична поплава*
+	+	-	Не постоји такав случај
+	-	+	Поплава
+	-	-	Не постоји такав случај
-	+	+	Зоне прикупишта или транспорта
-	+	-	Спирање, елувијални и колувијални падински процеси
-	-	+	Потенцијална поплава

3.2.4. Одређивање тежинских коефицијената

Поступак дефинисања међусобних односа свих компоненти, сегмената, под-сегмената, показатеља и под-показатеља подразумевао је опредељивање за то да ли им доделити подједнаку тежину (тежинске коефицијенте) или не. Неки аутори

се опредељују за недодељивање тежинских коефицијената у циљу елиминисања субјективности (Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2011), док је могуће определити се и за додељивање тежинских коефицијената и то најчешће квалитативном методом (Zhou et al, 2015; Sanyal & Lu, 2006). Кванититативне методе је могуће користити уз тачно познате и дефинисане односе између компоненти (фактора) који се мере и резултујуће величине која се такође мери. Такве анализе су факторске и мулти факторске анализе и примењиване су на пример у проучавању отицаја (Живковић, 2009; Живковић 1995) или клизишта (Ercanoglu & Gokceoglu, 2002).

У овој дисератацији примењена је метода квалитативног додељивања тежинских коефицијената у складу са логичким законитостима, теоријским знањима о односима у географским системима, знањима заснованим на проучавању природних непогода и бујичних поплава. Збир тежинских коефицијената у оквиру сваке компоненте, сегмента, под-сегмента, показатеља износи 1, како би и вредности свих њих појединачно, као и индекса ризика биле у распону између 0 и 1. Вредности тежинских коефицијената су приказане у табелама 18 (мезо ниво детаљности) и 19 (макро ниво детаљности).

3.2.4.1. Тежински коефицијенти

Вредности тежинских коефицијената су приказане у табели 18 за процене ризика на мезо нивоу, а у табели 19 на макро нивоу, с тим што су у табели 19 дате само компоненте хазард и неотпорност, јер се компоненте изложеност и рањивост по структури не мењају. У овој дисертацији су компонентама дати једнаки тежински коефицијенти (по 0.25). То није увек случај у студијама процене ризика. Тако су Sanyal & Lu (2006) највећи значај, односно вредност дали хазард компоненти приликом рачунања индекса ризика од поплава. Међу сегментима, под-сегментима и показатељима, и у овој студији су додељивани различити тежински коефицијенти. Тако је на пример плавној зони додељена највећа тежина у оквиру сегмента вода. Такође је демографском дата предност у односу на економски сегмент, као што је и сегмент „мере у ужем смислу“ фаворизован у односу на „мере у ширем смислу“.

Табела 18. Тежински коефицијенти за процену ризика од бујичних поплава на мезо нивоу детаљности

Под-пок	Теж. коеф.	Пок	Теж. коеф.	Под-сегменти	Теж. коеф.	Сегменти	Теж. коеф.	Комп.	Теж. коеф.	
H1a	0.5	H1				Вода	0.5	H	0.25	R
H1b	0.5									
H2a	0.333	H2	0.7			Ерозија	0.3			
H2b	0.333									
H2c	0.333									
		H3	0.3							
		H4	0.333			Морфометрија	0.2			
		H5	0.333							
		H6	0.333							
		E1				Демографски	0.5	E	0.25	
		E2	0.4			Економски	0.4			
		E3	0.3							
		E4	0.3							
E5a	0.5	E5	0.4			Природни	0.1			
E5б	0.5									
		E6	0.6							
		V1	0.5			Демографски	0.6	V	0.25	
		V2	0.5							
		V3	0.25			Економски	0.4			
		V4	0.25							
		V5	0.2							
		V6	0.2							
V7a	0.5	V7	0.1							
V7b	0.5									
		Re inv1		Активне техничке мере	0.8	Мере у ужем смислу	0.8	Re inv	0.25	
		Re inv2		Пасивне техничке мере	0.2					
		Re inv3		Економски	0.5	Мере у ширем смислу	0.2			
		Re inv4		Социјално-инфраструктурно-организациони	0.5					

Табела 19. Тежински коефицијенти за процену ризика од бујичних поплава на макро нивоу детаљности[19]

Под-пок	Теж. коеф.	Пок	Теж. коеф.	Под-сегменти	Теж. коеф.	Сегменти	Теж. коеф.	Компоненте	Теж. коеф.
H1a	0.5	H1	0.333			Вода	0.5	H	0.25
H1b	0.5								
		H I	0.333						
H IIa	0.5	H II	0.333						
H IIb	0.25								
H IIc	0.25								
H2a	0.333	H2	0.7			Ерозија	0.3		
H2b	0.333								
H2c	0.333								
		H3	0.3						
		H4	0.5			Морфометрија	0.2		
		H5	0.5						
		Re inv1	0.7	Активне техничке мере	0.8	Мере у ужем смислу	0.8	Re inv	0.25
		Re inv I	0.2						
		Re inv II	0.1						
		Re inv2		Пасивне техничке мере	0.2				
		Re inv3		Економски	0.5	Мере у ширем смислу	0.2		
		Re inv4	0.5	Социјално-инфраструктурно-организациони	0.5				
		Re inv III	0.5						

3.3. ФАЗА ПРИКУПЉАЊА И ОБРАДЕ ПОДАТАКА

Подаци који су коришћени у истраживању су хетерогени (како тематски, тако и временски). Временска разнородност података значи да се климатолошки и хидролошки подаци односе на дужи временски период (1961-2014), односно на

[19] У компонентама изложеност (E) и рањивост (V) тежински коефицијенти су исти као на мезо нивоу.

период (2001-2040) за прогнозе по сценаријима, док се остали подаци односе на тренутно (најновије) стање у складу са њиховом доступношћу, што је у складу са тиме да хазард представља вероватноћу појаве, а изложеност и рањивост тренутну евалуацију стања. За пројекције становништва су коришћени подаци за период 2011-2041.

Током израде дисертације подаци су преузети од више институција које се баве прикупљањем података и чији је преглед дат у табели 20. Одређене врсте података су прикупљене самостално како теренским истраживањима, тако и кабинетским из аналогних и дигиталних извора.

3.3.1. Подаци

Детаљност података одабраних показатеља, зависи од резолуције (нивоа детаљности) за који се процењује ризик. Оне се прикупљају на за најмање једном нивоу мање детаљности. Најдетаљнији подаци се односе на рељеф, односно на геоморфометрију. Располагало се картама 1:25000. Такође, мрежа водотока (хидроморфометрија) је добијена (дигитализована и измерена) са карата 1:25000. Оваква детаљност одговара микро нивоу. Међутим, подаци о броју становника су доступни на нивоу насеља, чија је просечна величина у Србији 16.43 km^2, а у проучаваним сливовима испод просека за Србију, тачније у сливу Скрапежа 12.96 km^2, сливу Лужнице 9.84 km^2 и у сливу Белице 9.60 km^2. Оваква детаљност одговара мезо нивоу. У табели 20 дат је преглед коришћених података и њихових извора.

Табела 20. Подаци и извори података под-показатеља и показатеља[20]

Симбол	Податак	Извор података
H1a	Геом. плавна зона	гмк 1:100000, ГЗС
H1b	Геом. плавна зона	гмк 1:100000, ГЗС
H I	Дневне падавине	метеоролошки годишњаци РХМЗ, 1961-2000
H IIa	Дневни протицаји	хидролошки годишњаци РХМЗ, 1961-2014
H IIb	Дневни протицаји	хидролошки годишњаци РХМЗ, 1961-2014
H IIc	Дневни протицаји	хидролошки годишњаци РХМЗ, 1961-2014
H2a	Ерозија	тк 1:25000, SRTM, педолошке карте 1:50000, Mrvić et al., 2013; *Corine Land Cover,* 2012; *Google Earth,* 2014
H2b	Ерозија	/
H2c	Ерозија	тк 1:25000
H3	Водотоци, површине сливова	тк 1:25000, ВГИ
H4	Коте	тк 1:25000, ВГИ
H5	Обим и површине сливова	тк 1:25000, ВГИ
H6	Ранг слива	тк 1:25000, ВГИ
E1	Становништво	Попис становништва 2011, РЗС
E2	Објекти	*Google Earth,* 2014; РГЗ
E3	Дужина саобраћајница	*Google Map,* 2016
E4	Број мостова	*Google Earth,* 2014; РГЗ
E5a	Заштићена природна добра	ЗЗПС
E5b	Заштићена природна добра	ЗЗПС
E6	Минерални ресурси	Monthel et al (2002)
V1	Становништво	Попис становништва, 2011, РЗС
V2	Становништво	Попис становништва, 2011, РЗС
V3	Намена површина	*Google Earth,* 2014; РГЗ
V4	Привредни објекти	Просторни планови општина
V5	Загађивачи	Агенција за заштиту животне средине
V6	Образовне установе	МПНТР, www.edukacija.rs и интернет странице школа
V7a	НКД	РЗЗСК
V7b	НКД	РЗЗСК
Re inv1	Хидро(акумулације)	ВОС, *Google Earth,* 2014; РГЗ
Re inv I	Системи за рано упозоравање	/
Re inv II	Кишомерне станице	РХМЗС, теренско истраживање (ГПС технологија), РГЗ, *Google Earth* сервис
Re inv2	Насипи	МПШВ, *Google Earth,* 2014; РГЗ
Re inv3	Становништво	Попис становништва, 2011, РЗС
Re inv4	Удаљеност од општинског центра	*Google Map*, 2016

[20] Детаљнији списак коришћених извора података се налази у прилозима В и Г.

Re inv III	Границе општина	РГЗ
HIA1B_2040 HIA2_2040	Дневне падавине по сценаријима A1B и A2	Đurđević et al (2015)
E1СП_2041 V1СП_2041	Становништво према пројекцији 2011-2041	РЗС (2014)

гмк – геоморфолошка карта, ГЗС – Геолошки завод Србије, РХМЗС – Републички хидрометеоролошки завод Србије, тк – топографска карта, SRTM Shuttle Radar Topography Mission, *Corine Land Cover,* 2012, *Google Earth* сервис (стање из 2014. године) уз контролу са ортофото снимака резолуције 40 cm са портала ГеоСрбија (РГЗ, www.geosrbija.rs), ВГИ – Војно географски институт, РЗС – Републички завод за статистику, *Google Map* сервис (стање из 2016. године), Агенција за заштиту животне средине (www.sepa.gov.rs), МПНТР – Министарство просвете, науке и технолошког развоја, НКД – непокретна културна добра, РЗЗСК – Републички завод за заштиту споменика културе, ВОС – Водопривредна основа Републике Србије, МПШВ - Министар пољопривреде, шумарства и водопривреде.

С обзиром на то да се границе природних и административних граница не поклапају, а подаци се прикупљају без обзира на тип просторне целине, неминовна су ограничења везана за њихово свођење на исте просторне целине. Свођење података на исте просторне јединице чине поступци који подразумевају смањење тачности оригиналних података. То је последица њихових одређених генерализација, интерполација и екстраполација. Чешће се сусрећу проблеми приликом свођења података са административних јединица на природне границе.

Микро нивоу детаљности одговарају подаци који су прикупљени за потребе израде дигитлног модела висина, односно одређивања плавне зоне хидрографско-хидрауличком методом. Извршена су геодетска мерења топографије центиметарске тачности на деоници реке Скрапеж дугој 4 km. Извори података, примењен метод и добијени резултати су дати у поглављу 4.3.2.1.

3.3.2. Припрема и обрада података

Coppock (1998) и Wienand et al (2009) показују да коришћење ГИС-а има важну улогу у проучавању и управљању ризицима од природнх непогода. Тако су и у овој дисертацији прикупљени подаци организовани као базе података, како би лакше били уведени у ГИС окружење и како би се лакше обрађивали. Неки од њих су преузети из наведених извора и нису захтевали посебну припрему и

обраду, већ су директно уведени у базу података, док су неки морали да прођу кроз фазу приреме и обраде. При томе се и део припреме и обраде неких података радио у ГИС окружењу.

3.3.2.1. Припрема података

Припрема података је подразумевала следеће активности:

- конвертовање података из аналогног у дигитални облик (скенирање, георeференцирање);
- конвертовање одабраног скупа података из растерског у векторски облик (дигитализација водотока, вододелница, плавних зона, ерозионих површина, објеката, мостова (укрштања водотока и саобраћајница), површина одређене намене (изграђеног земљишта, пољопривредног земљишта и шума);
- мерење дужина водотока, површина сливова и других хидроморфометријских и хидроморфолошких параметара слива, као и других дужина (саобраћајница) и површина (геоморфолошких плавних зона, ерозионих, пољопривредних површина...);
- нумеричка анализа по јединици површине (пребројавање објеката по јединици површине).

У овој фази рада коришћени су следећи програми: *(Microstation, Global mapper, Google Earth* сервис (стање из 2014. године), *Google Map* сервис (стање из 2016. године), *Microsoft Excel, Geomedia)*.

3.3.2.2. Обрада података

Обрада појединих података је остварена емпиријским методама и односила се на израчунавање изведених под-показатеља и показатеља (разне релативне величине, густина речне мреже, падови речног корита, модул развијености вододелнице слива, инверзних показатеља који се користе као показатељи неотпорности), као и разних коефицијената (кофицијент заштићених природних добара, коефицијент

непокретних културних добара – НКД...) и индекса (индекс демографске зависности...).

Следећи корак је представљала обрада података коришћењем метода статистичке анализе, и то дескриптивне статистике (аритметичка средина, стандардна девијација, коефицијент варијације, минимална и максимална вредност), анализа фреквенција, квартили, прилагођавање теоријске расподеле вероватноће за велике воде на разматраним станицама (прилог А).

У овој фази рада коришћени су следећи програми: *(Microsoft Excel, Geomedia, статистички пакет PAST)*.

3.3.3. Нормализација показатеља

Подаци који се користе за процену ризика су разнородни по више основа. Различити су њихови извори, разликују се према појави коју описују, те се изражавају у различитим јединицама мере, односе се на различите просторне јединице, тако да је и њихов квалитет, односно тачност различита. Стога је било потребно урадити њихову нормализацију (стандардизацију) - свођење свих различитих јединица мере на скалу од 0 до1.

Метод нормализације (стандардизације) показатеља је примењен да би се разнородни подаци (изражени у различитим јединицама мере) могли користити за рачунање индекса ризика од бујичних поплава. Са циљем смањења утицаја великог распона вредности у оквиру једног показатеља, вредности показатеља су логаритмоване. Нормализација показатеља је урађена на следећи начин:

$$\textit{Показатељ} = \left[LN_{(x)} - LN(Min_{(x)})\right] / \left[LN(Max_{(x)}) - LN(Min_{(x)})\right] \qquad (25)$$

при чему је x оригинална (измерена или израчуната) вредност показатеља, $Min_{(x)}$ минимална вредност показатеља, $Max_{(x)}$ максимална вредност показатеља. На овај

начин су вредности свих показатеља сведене на скалу од 0 до1, чиме су постале упоредиве и припремљене за улазак у модел за процену ризика. При томе, вредност нормализованог показатеља 0 не значи да је и вредност показатеља једнака 0, већ да се односи на најмању вредност у низу.

3.4. ФАЗА ТЕСТИРАЊА МОДЕЛА

3.4.1. Анализа резултата

Након припреме и обраде података, као резултат моделирања су добијени подаци о ризику, његовим компонентама, сегментима, под-сегментима показатељима и под-показатељима. Сви низови податка који су представљени као под-показатељи, показатељи, под-сегменти, сегменти, компоненте и ризици (варијабле) анализирани су методама дескриптивне статистике. Њихове особине су описане преко средње вредности, стандардне девијације, коефицијента варијације, максималне и минималне вредности. Подаци о падавинама и протицајима су такође тестирани на хомогеност и случајност. Анализирана је и вероватноћа појављивања дневних падавина ≥30 mm, као и максималних годишњих протицаја за одабране кишомерне и водомерне станице. Њихове криве вероватноћа појављивања као и сагласност са одређеним теоријским типом дистрибуције налазе се у прилогу А.

За потребе статистичког доказивања одређених хипотеза, коришћени су методи инференцијалне статистике (тестови сагласности, коефицијенти корелације, регресионе анализе).

Добијени су резултати који су приказани у поглављу Резултати и дискусија и то на нивоу компоненти ризика и ризика. Процена ризика на мезо нивоу је приказана на примеру слива реке Скрапеж, а на макро нивоу на примеру три одабрана слива.

Поменуте анализе су добијене уз помоћ програма: *Microsoft Excel* и *PAST*.

3.4.2. Верификација резултата

Верификација добијених резултата је урађена методом компарације са другим студијама и бујичним поплавама које су се већ догодиле.

Прво је верификација модела, тачније верификација процене хазарда, урађена за слив реке Скрапеж. Утврђена је упоређивањем добијеног индекса хазарда са Пописом бујица за слив реке Скрапеж (Реонска секција за заштиту земљишта од ерозије и уређење бујица, 1965). С обзиром на то да је ту утврђено добро поклапање између најразорнијих категорија бујица и простора са најексцесивнијом ерозијом са једне стране и сливних површина са великим хазардом са друге, прихваћен је метод за утврђивање индекса хазарда и он је примењен и на осталим сливовима.

Друга верификицаја се односила на процену ризика. Састојала се у упоређивању добијених резултата процене ризика и бујичних поплава евидентираних у инвентару бујичних поплава у Србији (Petrović et al, 2014).

3.4.3. Класификација резултата

Класификација индекса компоненти ризика и индекса ризика је урађена тако што су формирани интервали на удаљености једне и две стандардне девијације од средње вредности разматраног индекса. Граничне вредности класа су дате следећим изразом:

$$ГраницеКласа = \bar{x} \pm n\sigma \tag{13}$$

где је n = 1, 2, а $\bar{x}$ и σ су средња вредност и стандардна девијација индекса. На овај начин су вредности индекса компоненти и индекса ризика сврстани у пет класа као у табели 21.

Табела 21. Класе индекса ризика и индекса компоненти са интервалима њихових вредности

Класе индекса ризика и индекса компоненти	Интервали вредности индекса ризика и индекса компоненти
Веома велики	$R > \bar{x} + 2\sigma$
Велики	$\bar{x} + 1\sigma < R < \bar{x} + 2\sigma$
Умерен	$\bar{x} - 1\sigma < R < \bar{x} + 1\sigma$
Мали	$\bar{x} - 2\sigma < R < \bar{x} - 1\sigma$
Веома мали	$R < \bar{x} - 2\sigma$

Потврда исправности класификације добијена је методом хијерархијске кластерске анализе.

На овај начин је омогућено утврђивање просторног размештаја класа према вредности индекса ризика од бујичних поплава, као и идентификација простора са великим ризиком од бујичних поплава.

Добијени резултати су приказани нумерички (табеларно) и графички (карте, графикони, скице) уз помоћ следећих програма: *Microsoft Excel, PAST, Geomedia, Global Mapper* и *Photoshop*.

3.4.4. Испитивање осетљивости модела

Тестирање осетљивости модела је урађено утврђивањем промена вредности ризика и његових компоненти услед промена вредности тежинских коефицијената у моделу. Промене вредности тежинских коефицијената у моделу су вршене на нивоу компоненти. Праћене су промене вредности ризика и тестирана је значајност тих промена помоћу Kruskal-Wallis теста. Ове промене су приказане на мезо нивоу детаљности.

3.4.5. Примена модела за прогнозирање ризика

Иако овај модел није прогностички, променом вредности улазних података (показатеља) које могу бити прогнозирани подаци о климатским елементима или пројекцијама становништва или неки други, могу се добити прогнозиране вредности ризика.

Промене природних услова за формирање бујичних поплава су приказане променама у учесталости дневних падавина ≥ 30 mm на годишњем нивоу које се очекују у будућности према сценаријима емисије гасова стаклене баште A1B и A2 (IPCC, 2000). За пројекције падавина према сценаријима A1B и A2 коришћени су резултати симулација са регионалним климатским моделом EBU-POM (Kržič et al, 2011; Djurdjevic & Rajkovic, 2008), при чему је за коришћени скуп података примењен модел са коригованим граничним условима прилагођеним националним (локалним) условима (Đurđević et al, 2015). Изабрани период за симулације падавина климатским моделом је 2001-2040. Услед зависности протицаја од падавина, промене учесталости јаких падавина би свакако изазвале и промене показатеља ризика од бујичних поплава који се односе на протицај. Промене падавина и протицаја се даље манифестују на промене сегмената компоненте хазарда, компоненте хазарда (H) и ризика.

Промене изложеног броја становништва такође доводе до промена вредности компоненте изложености (E) и ризика, али и до промена у густини насељености која као компонента рањивости (V) такође доводи до промена ризика. Промене броја становника су одређене на основу пројекција становништва за период 2011-2041 средње варијанте фертилитета (Републички завод за статистику, 2014). Промене ових показатеља доводе до промена и осталих показатеља из ове две компоненте, али оне нису изражене, те се њихове вредности и у пројекцијама задржавају. Ове промене су приказане на мезо и макро нивоу детаљности. Значајност промена на мезо нивоу утврђена је помоћу Kruskal-Wallis теста.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

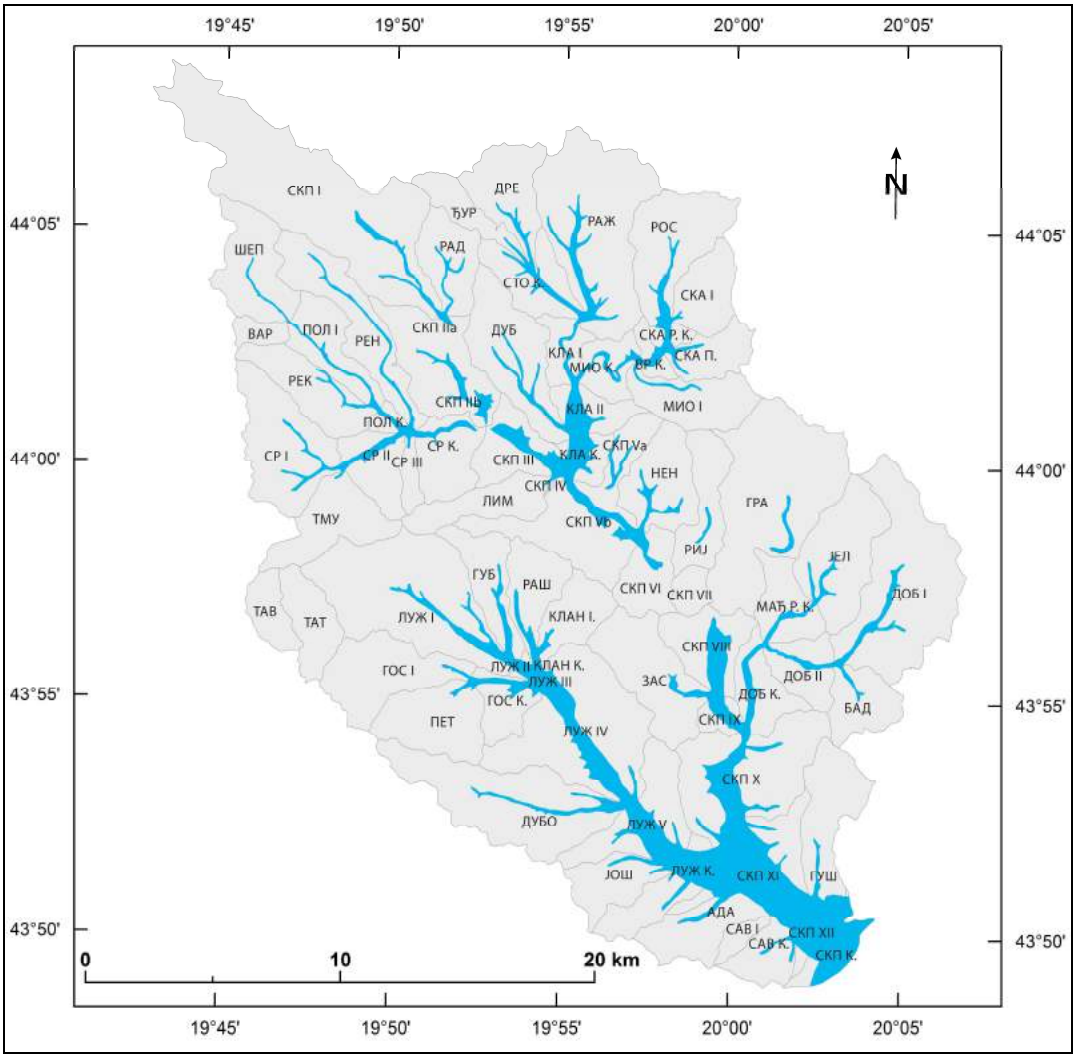
Враћањем на опште поставке географије као науке која се бави геосферама и њиховим међусобним утицајима показано је да је управо интеракција између природе и друштва оно што је потребно да буде одлика студија процена ризика. У овом поглављу су: 1) представљени и дискутовани резултати процене ризика на одабраним сливовима, који су проистекли из примене креираног модела, 2) приказани резултати који се односе на верификацију модела и 3) дискутоване примене модела у пракси и дате смернице за будућа истраживања са примером одређивања плавне зоне на микро нивоу детаљности.

4.1. ПРОЦЕНА РИЗИКА

Уз неоспоран антропогени утицај, као просторна јединица за процене ризика од бујичних поплава је одабрана природна целина – слив. Одабрани су сливови мезо величине за које се процена ризика врши на основу просторних јединица нижег ранга – сливних површина. За веће просторне јединице – макро сливове – ризик се може процењивати на основу просторних јединица нижег ранга – мезо сливова. Тако је процена ризика од бујичних поплава прво приказана на мезо нивоу детаљности на примеру слива реке Скрапеж, а затим на макро нивоу детаљности на примеру три изабрана слива, слива реке Скрапеж, Белице и Лужнице.

4.1.1. Мезо ниво детаљности – слив реке Скрапеж

Издвојене сливне површине и плављене сливне површине у сливу Скрапежа приказане на слици 29, док су њихове одлике приказане у табели 22.



Слика 29. Сливне површине и плављене сливне површине
за прикупљање података и рачунање индекса ризика у сливу Скрапежа

Табела 22. Сливне површине и плављене сливне површине у сливу реке Скрапеж[21]

Р.Б.	Назив		Скраћени назив		Шифра	F (km^2)	O (km)
1	Скрапеж I		СКП I		1.33.2.4.2.I	38.27	39.61
2	Радојевића п.		РАД		1.33.2.4.2.1a	7.48	12.26
3	Скрапеж II	Скрапеж IIa	СКП II	СКП IIa	1.33.2.4.2.II	13.32	19.00
		Скрапеж IIb		СКП IIb			
4	Сеча река I		СР I		1.33.2.4.2.2.I	14.37	18.43
5	Таталија		ТАТ		1.33.2.4.2.2.2.2	6.56	12.49
6	Таверић		ТАВ		1.33.2.4.2.2.2.1	4.18	9.23
7	Тмуша крај		ТМУ		1.33.2.4.2.2.2.II	9.67	16.63
8	Сеча река II		СР II		1.33.2.4.2.2.II	6.41	11.37
9	Шепачка р.		ШЕП		1.33.2.4.2.2.3.0a	10.47	16.46
10	Вардин п.		ВАР		1.33.2.4.2.2.3.0b	1.99	6.53
11	Полошница I		ПОЛ I		1.33.2.4.2.2.3.I	7.54	14.24
12	Рековац		РЕК		1.33.2.4.2.2.3.1	8.68	14.63
13	Полошница крај		ПОЛ К.		1.33.2.4.2.2.3.III	1.28	4.62
14	Сеча река III		СР III		1.33.2.4.2.2.III	1.98	8.36
15	Реновица		РЕН		1.33.2.4.2.2.4	12.69	24.17
16	Сеча река крај		СР К.		1.33.2.4.2.2.IV	7.35	11.69
17	Скрапеж III		СКП III		1.33.2.4.2.III	7.31	12.78
18	Лимац		ЛИМ		1.33.2.4.2.3	7.18	15.17
19	Скрапеж IV		СКП IV		1.33.2.4.2.IV	0.20	3.09
20	Ђурански поток		ЂУР		1.33.2.4.2.4.1.1a	4.61	14.03
21	Дреновачки поток		ДРЕ		1.33.2.4.2.4.1.1b	8.89	15.29
22	Стојићка р. Крај		СТО К.		1.33.2.4.2.4.1.II	7.46	15.47
23	Ражанска р.		РАЖ		1.33.2.4.2.4.2	25.20	24.36
24	Кладоруба I		КЛА I		1.33.2.4.2.4.I	3.76	9.57
25	Мионица I		МИО I		1.33.2.4.2.4.3.I	8.75	14.53
26	Росићка река		РОС		1.33.2.4.2.4.3.1b.1.2	13.29	16.92
27	Скакавачка река I		СКАК Р. I		1.33.2.4.2.4.3.1b.1.I	6.78	10.90
28	Скакавачка река крај		СКАК Р. К.		1.33.2.4.2.4.3.1b.1.II	1.40	4.93
29	Скакавачки п.		СКАК П.		1.33.2.4.2.4.3.1b.2	5.26	11.09
30	Велика река крај		ВР К.		1.33.2.4.2.4.3.1b.II	2.01	7.37
31	Мионица крај		МИО К.		1.33.2.4.2.4.3.II	4.75	9.85
32	Кладоруба II		КЛА II		1.33.2.4.2.4.II	4.65	10.33
33	Дубница		ДУБН		1.33.2.4.2.4.4	13.63	18.97
34	Кладоруба крај		КЛА К.		1.33.2.4.2.4.III	3.38	7.87

[21] Подаци о површинама и обиму се односе на сливне површине. Називи за плављене сливне површине су исти као за сливне површине, с тим што су оне којих је више у једној сливној површини добиле суфиксе a и b (Скрапеж IIa, Скрапеж IIb, Скрапеж Va и Скрапеж Vb).

35	Скрапеж V	Скрапеж Va Скрапеж Vb	СКП V	СКП Va СКП Vb	1.33.2.4.2.V	17.44	28.24
36	Ненатковица		НЕН		1.33.2.4.2.9.II	9.54	13.46
37	Скрапеж VI		СКП VI		1.33.2.4.2.VI	6.26	10.97
38	Ријека		РИЈ		1.33.2.4.2.11	7.63	15.81
39	Скрапеж VII		СКП VII		1.33.2.4.2.VII	2.36	6.08
40	Градња		ГРА		1.33.2.4.2.12	27.99	28.43
41	Скрапеж VIII		СКП VIII		1.33.2.4.2.VIII	8.33	13.09
42	Засељска р.		ЗАС		1.33.2.4.2.13	13.05	18.26
43	Скрапеж IX		СКП IX		1.33.2.4.2.IX	2.15	5.91
44	Добрињска р. I		ДОБ Р. I		1.33.2.4.2.14.I	24.66	27.04
45	Баденовац		БАД		1.33.2.4.2.14.0c	6.46	11.26
46	Добрињска р. II		ДОБ II		1.33.2.4.2.14.II	5.86	10.55
47	Јелав		ЈЕЛ		1.33.2.4.2.14.1.1	13.24	16.40
48	Мађерска р. Крај		МАЂ Р. К.		1.33.2.4.2.14.1.II	6.31	12.04
49	Добрињска р. Крај		ДОБ К.		1.33.2.4.2.14.III	6.25	12.95
50	Скрапеж X		СКП X		1.33.2.4.2.X	20.49	22.62
51	Лужница I		ЛУЖ I		1.33.2.4.2.16.I	25.93	24.80
52	Губински п.		ГУБ		1.33.2.4.2.16.3b	7.32	15.30
53	Лужница II		ЛУЖ II		1.33.2.4.2.16.II	0.69	3.84
54	Кланац I		КЛА I		1.33.2.4.2.16.4.I	6.16	11.27
55	Рашковица (Симића р.)		РАШ		1.33.2.4.2.16.4.1a	6.88	12.45
56	Кланац крај		КЛА К.		1.33.2.4.2.16.4.II	0.41	3.07
57	Лужница III		ЛУЖ III		1.33.2.4.2.16.III	0.01	0.83
58	Гостиничка р. (Каранска р.) I		ГОС I		1.33.2.4.2.16.5.I	12.06	17.42
59	Петровића п.		ПЕТ		1.33.2.4.2.16.5.1	10.49	13.84
60	Гостиничка р. (Каранска р.) крај		ГОС К.		1.33.2.4.2.16.5.II	5.06	10.46
61	Лужница IV		ЛУЖ IV		1.33.2.4.2.16.IV	23.94	23.48
62	Дубоко		ДУБО		1.33.2.4.2.16.8	20.92	25.92
63	Лужница V		ЛУЖ V		1.33.2.4.2.16.V	11.09	18.38
64	Јошанички п.		ЈОШ		1.33.2.4.2.16.10	6.77	13.52
65	Лужница крај		ЛУЖ К.		1.33.2.4.2.16. VI	7.54	15.38
66	Скрапеж XI		СКП XI		1.33.2.4.2.XI	11.19	21.30
67	Савинац I		САВ I		1.33.2.4.2.17.I	1.76	6.64
68	Ада (Јордевића п.)		АДА		1.33.2.4.2.17.1a	8.32	14.87
69	Савинац крај		САВ К.		1.33.2.4.2.17.II	5.61	11.19
70	Скрапеж XII		СКП XII		1.33.2.4.2.XII	1.53	7.04
71	Гушевац		ГУШ		1.33.2.4.2.18	11.18	18.42
72	Скрапеж крај		СКП К.		1.33.2.4.2.XIII	4.28	12.76
	Скрапеж		СКП		1.33.2.4.2.	647.91	144.20

На основу проглашења показатеља плавне зоне (H1) за условни показатељ, пет сливних површина (Таталија, Таверић, Вардин п., Скрапеж VII и Савинац I) је искључено из даље анализе, док су у оним сливним површинама у којима је плавна зона дисконтинуирана, то јест има више плављених сливних површина, оне проглашене за јединице за које су се прикупљали подаци и рачунали индекси ризика и његових компоненти (Скрапеж IIa, Скрапеж IIb, Скрапеж Va и Скрапеж Vb). Сви резулати су даље приказани на нивоу 69 плављених сливних површина.

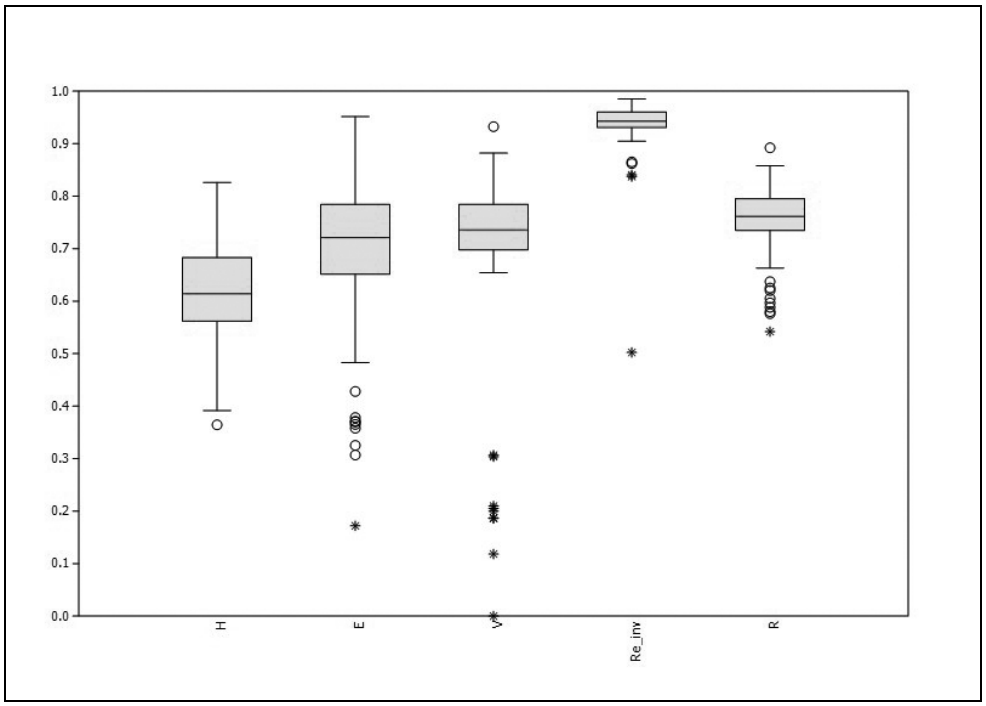
Статистичка анализа под-показатеља и показатеља дала је резултате приказане у табели 23. Ниједан од показатеља нема нормалну расподелу, што није била препрека за рачунање индекса ризика ни његових компоненти, али су за описивање њихових особина одабрани одговарајући параметри (минимална и максимална вредност, медијана и квартили). Минималне и максималне вредности су уједно послужиле за нормализацију података.

Табела 23. Основни статистички параметри показатеља ризика у сливу реке Скрапеж

Показатељи	Средња вредност	Минимум	Максимум	Медијана	Први квартил 25%	Трећи квартил 75%
H1a	0.94	0.01	6.38	0.58	0.31	1.14
H1b	16.14	0.02	100.00	7.36	3.89	18.95
H2a	2.60	0.02	11.45	2.07	0.975	3.53
H2b	31.62	1.81	100.00	28.20	19.90	39.03
H2c	0.30	0.17	0.62	0.28	0.25	0.32
H3	2.22	1.49	3.14	2.12	1.92	2.45
H4	40.50	10.51	87.68	36.90	26.47	53.55
H5	0.68	0.53	0.85	0.70	0.59	0.74
H6	5.25	1.00	37.00	2.00	1.00	5.00
E1	125.38	0.00	1740.00	20.00	5.5	88.5
E2	130.38	0.00	1596.00	27.00	7.5	131
E3	4.28	0.00	39.48	2.16	0.82	5.58
E4	4.51	0.00	26.00	3.00	2	5.5
E5a	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
E5b	0.00	0.00	0.13	0.00	0	0
E6	0.00	0.00	0.26	0.00	0	0
V1	106.62	0.00	895.33	36.95	13.53	120.15
V2	0.56	0.00	1.00	0.60	0.45	0.70
V3	1.90	1.03	2.81	1.91	1.79	2.03
V4	1.48	0.00	16.00	0.00	0.00	2.00
V5	0.52	0.00	6.00	0.00	0.00	1.00
V6	0.17	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00

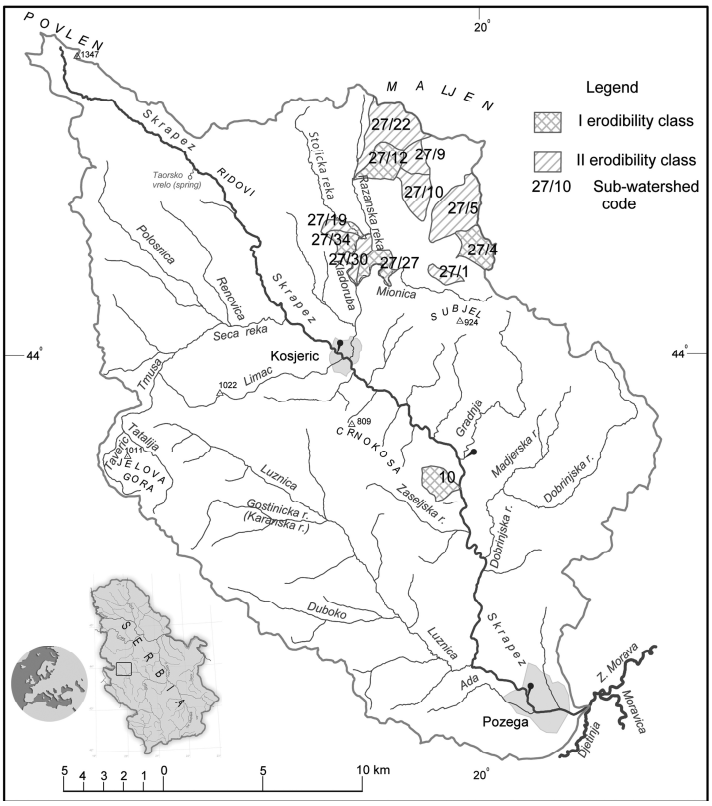
V7a	0.07	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
V7b	0.06	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Re_inv1	0.97	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Re_inv2	1.97	1.32	2.00	2.00	2.00	2.00
Re_inv3	38.75	29.00	49.00	38.33	35.00	43.00
Re_inv4	10.12	0.50	21.00	10.00	5.00	14.00

Након статистичке обраде показатеља, они су моделирани и добијене су вредности индекса хазарда, изложености, рањивости, неотпорности и ризика. Њихова статистичка анализа дала је резултате приказане на слици 30. Компонента хазард има нормалну расподелу док је остале компоненте као и вредности ризика немају. Стога су на графикону као граничне вредности правоугаоника представљени квартили (25% и 75%) у оквиру њега хоризонтална црта представља медијану, хоризонталним краћим линијама су означене максималне и минималне вредности, кружићима екстреми (outliers) који су између 1.5 и 3 пута већи/мањи од максимума/минимума, а звездицама екстреми који су више од 3 пута већи/мањи од максимума/минимума. Највише екстрема има у компонентама изложеност и рањивост и они се манифестију и у ризику.



Слика 30. Основни статистички параметри компоненти ризика у сливу реке Скрапеж

Верификација резултата је урађена на нивоу хазарда упоређивањем добијеног индекса хазарда са Пописом бујица за слив реке Скрапеж (Реонска секција за заштиту земљишта од ерозије и уређење бујица, 1965), који је рађен према методологији Гавриловића (1975). Анализом Пописа бујица у сливу реке Скрапеж је издвојено 12 сливова и ерозионих површина I и II категорије разорности (Kovačević-Majkić et al, 2013). Ти токови имају C и D хидрографску класу, односно представљају бујичне потоке и суве долине. Приказани су на слици 31. Њиховим упоређивањем са рангираним сливним површинама према индексу хазарда закључено је да се они рангирају од 3. до 27. места. Сливне површине које се налазе изнад 15. места имају изражене ерозионе процесе и утичу да сливне површине које се налазе низводно од њих (простори где се манифестују поплаве) такође имају високе вредности индекса хазарда. До оваквих резултата је дошло стога што су за индекс хазарда коришћени показатељи који описују и узроке поплава (ерозију), али и просторе где се оне манифестују (плавине и алувијалне равни).



Слика 31. Подсливови са I и II категоријом разорности
(извор: Kovačević-Majkić et al, 2013)

Високе вредности индекса хазарда имају и сливне површине које се налазе у доњим токовима Скрапежа и Лужнице (његове највеће притоке). Ово се објашњава тиме што модел не одређује тачну границу између бујичне и речне поплаве. У Попису бујица такви простори су окарактерисани као бујичне реке или речице (А и В категорија) и у њима доминира ерозија IV и V степена разорности (Институт за шумарство и дрвну индустрију, 1983 b), односно акумулација (Гавриловић, 1975).

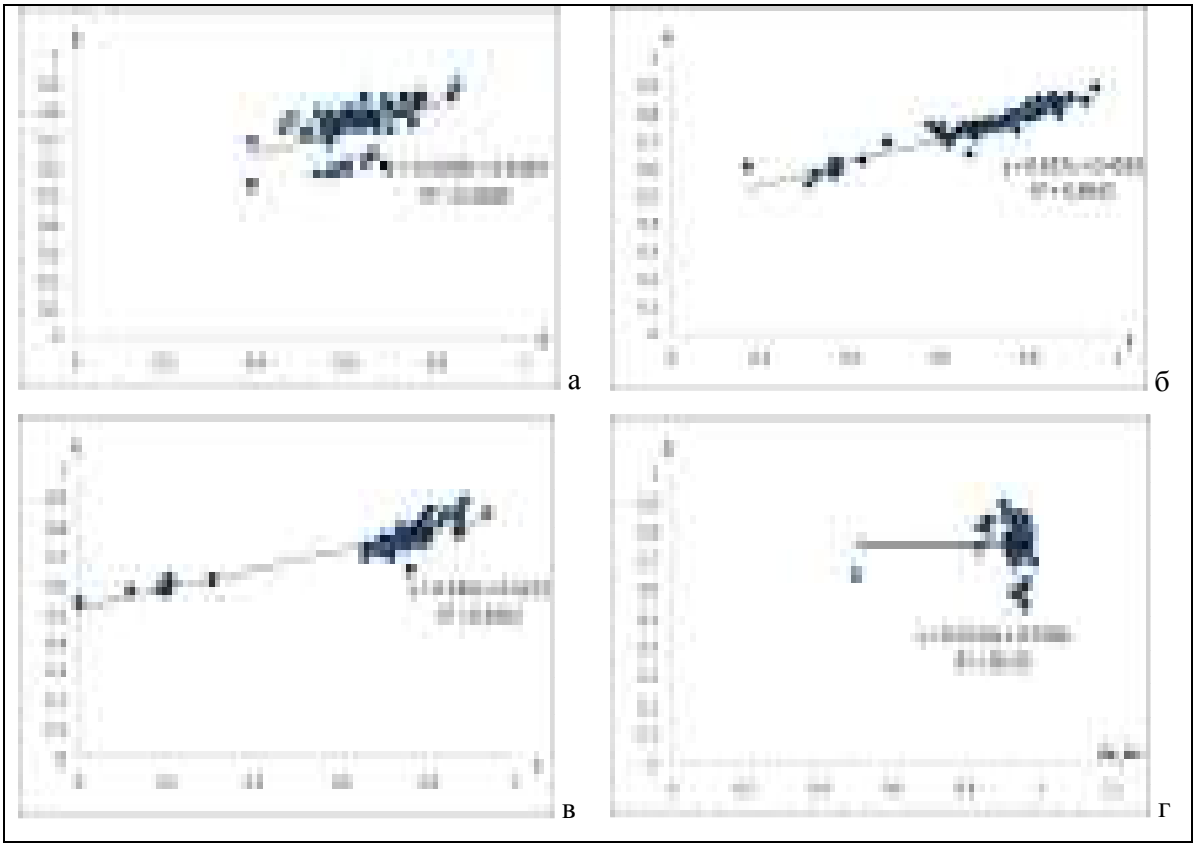
Друга верификација резултата односила се на вредности ризика која је утврђена на основу бујичних поплава за које постоје подаци о штетама. Приликом поплава описаних у поглављу 3.1.2.2.1.1. велике штете су претрпела градска насеља Косјерић и Пожега, која се налазе у издвојеним сливним површинама које имају високе вредности ризика. Дилему да ли се поплаве, које се дешавају у насељима код којих доминирају алувијалне равни (а не плавине), могу назвати бујичним, овај модел делимично разрешава, јер је заснован на критеријумима који фаворизују услове за појаву бујичних поплава (ерозија I, II и III) категорије. Томе у прилог говори и тип последица поплава које сведоче о њиховој разорности (на пример разрушени и однети мостови). Интензивна ерозија у сливу уз падавине одређеног интензитета ће довести до поплаве која ће имати разарајуће дејство и остављати велику количину наноса. Модел на нивоу показатеља и компоненти и препоручених критеријума за издвајање сливних површина указује у којим деловима слива треба тражити узроке за појаву бујичних поплава и затим применити препоручене мере за њихово отклањање.

Даља анализа добијених резултата ишла је у правцу утврђивања односа између ризика и компоненти које га чине. Вредности коефицијента корелације и детерминације између ризика и његових компоненти су приказане у табели 24, а регресионе зависности на слици 32.

Табела 24. Зависност ризика од компоненти које га чине у сливу реке Скрапеж

R	H	E	V	Re_inv
C_C	0.53	0.95	0.91	-0.02
R^2	0.28	0.89	0.82	9E-05

C_C – коефицијент корелације, R^2 – коефицијент детерминације

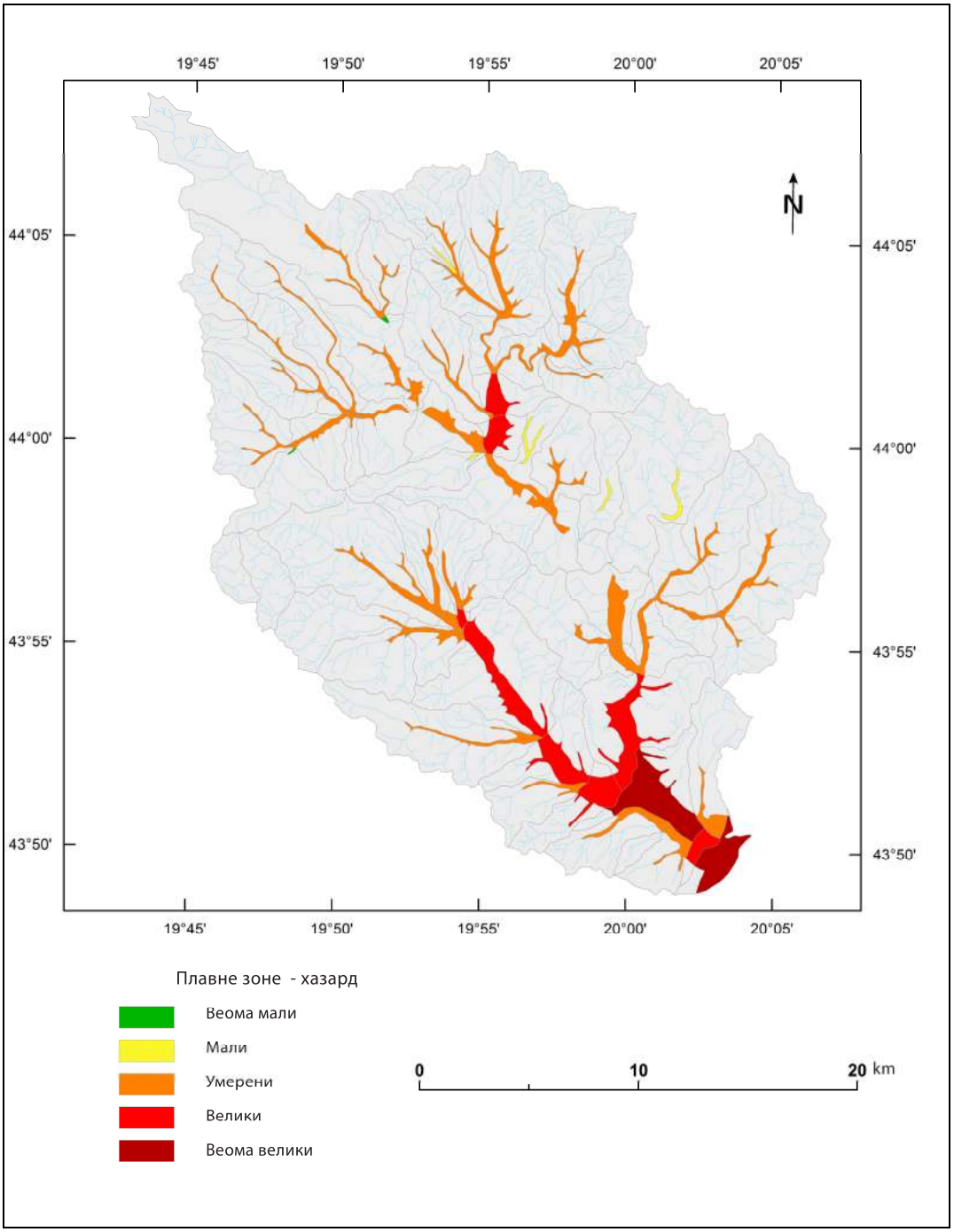


Слика 32. Зависност ризика од компоненти хазард (а), изложеност (б), рањивост (в) и неотпорност (г) у сливу реке Скрапеж

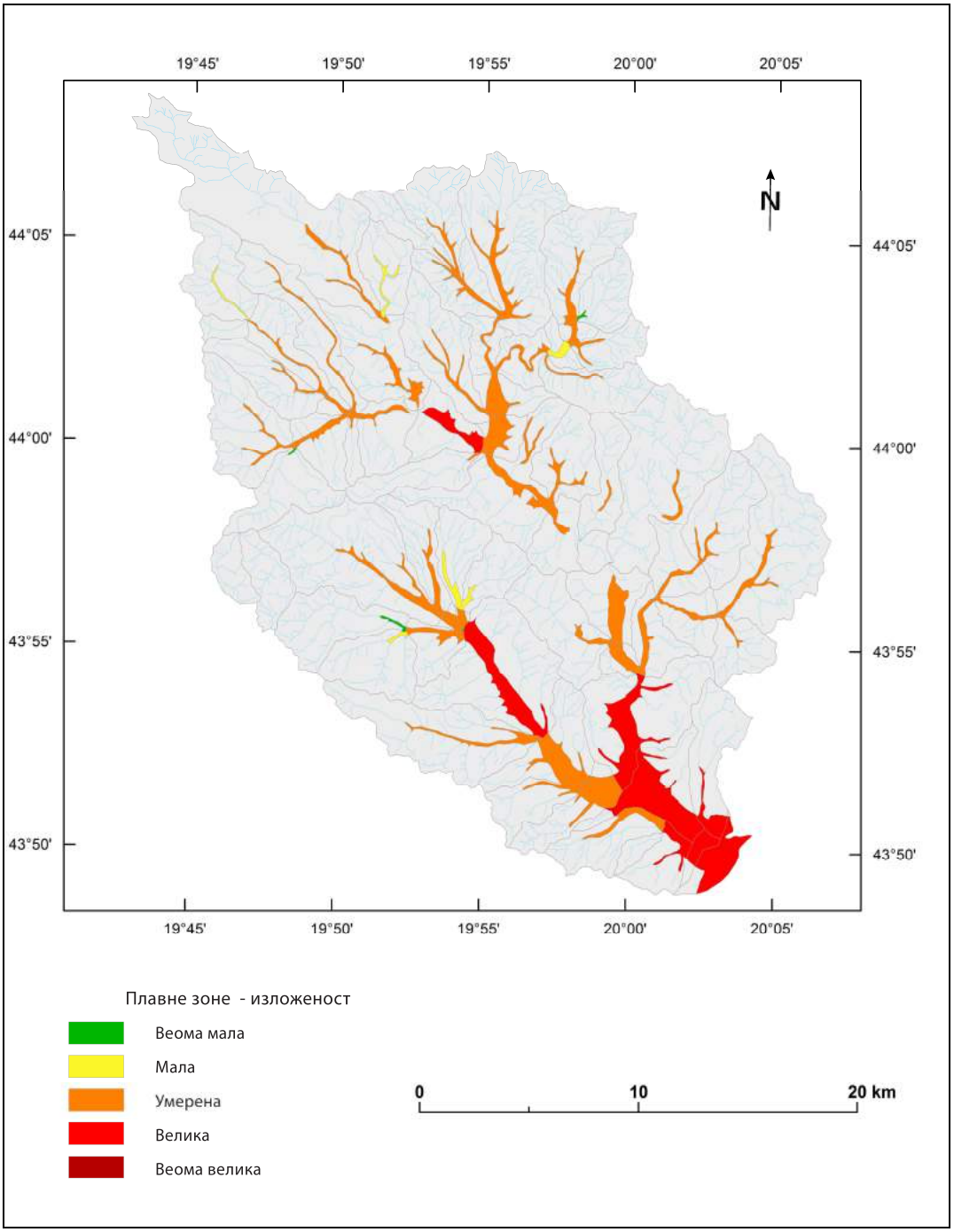
С обзизом на то да је приликом додељивања тежинских коефицијената свим компонентама додељена једнака вредност, вредности ризика зависе искључиво од вредности компонената. Према показаним резултатима ризик има најбољу корелацију са изложеношћу и рањивошћу, а најмању са неотпорношћу. Овакав резултат је у складу са дефиницијом бујичне поплаве као природне непогоде, то јест чињеницом да ризик постоји ако постоје елементи који су изложени хазарду. У том смислу је потребно усмерити активности на смањивању ризика тиме што ће се смањивати изложеност и рањивост. Такве активности врше органи управљања простором (општине) доносећи акта (просторне и урбанистичке планове) која регулишу насељавање и зонирање простора у складу са природним условима. Индекс неотпорности има слабу корелацију са индексом ризика. То би се могло са једне стране тумачити ограниченим могућностима деловања на хазард. Међутим, треба имати на уму да је реч о вишеструкој зависности те да се мењањем

вредности једне компоненте утиче на мењање односа и корелације између других компоненнти и ризика, а не само оне чије се вредност мења. Овим се доказује друга хипотеза да ризик од бујичних поплава у највећој мери зависи од хазарда и рањивости и то највише демографских одлика простора (пре свега густине насељености). Однос сваког појединачног показатеља и под-показатеља са компонентом коју чини, као и њихов однос са ризиком представљен је у прилогу Б. Детаљнији утицај промена вредности улазних података на вредности излазних података дат је у поглављу 4.2.1.

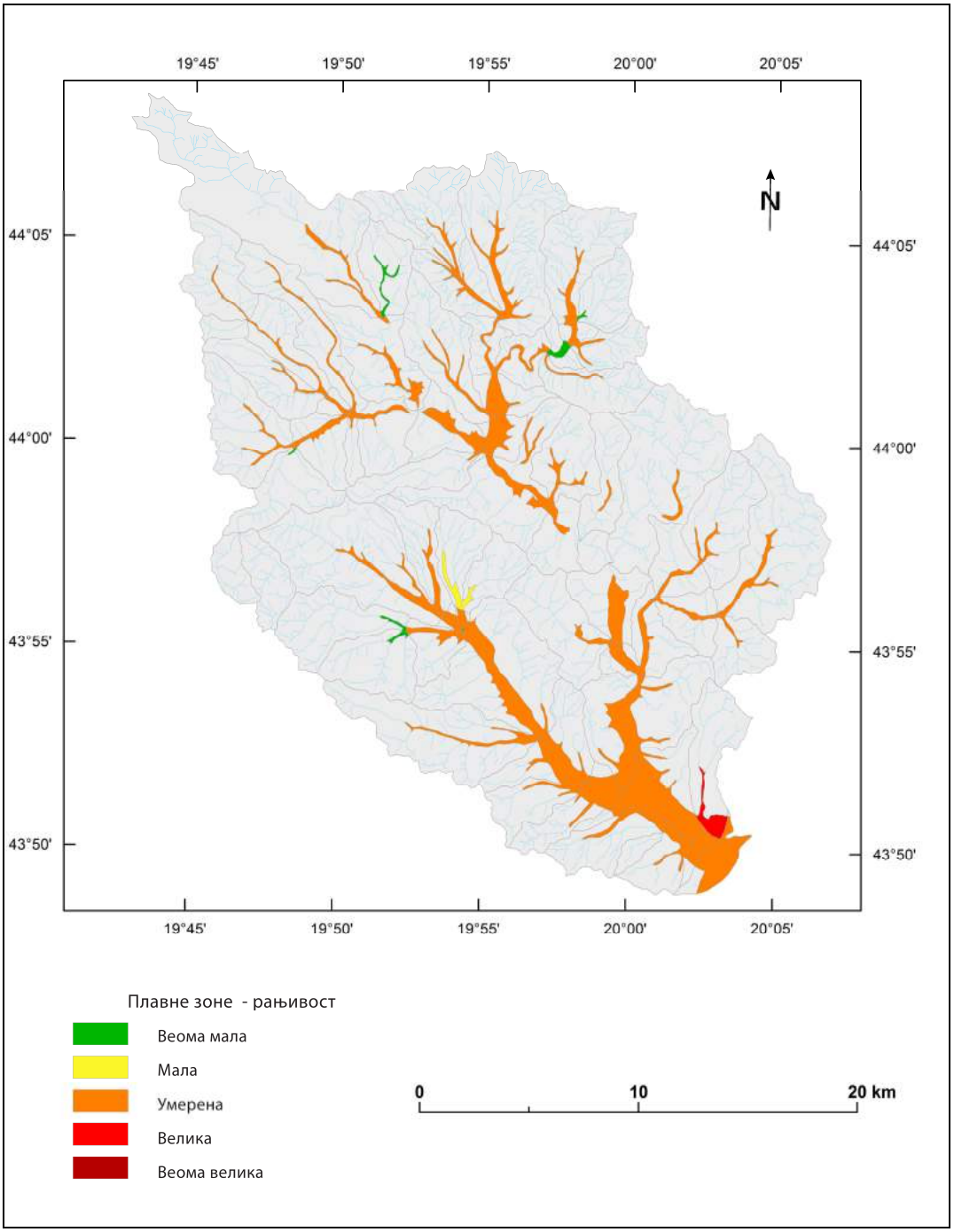
Класификација резултата је изведена на начин приказан изразом 13. На сликама 33-37 приказан је просторни распоред добијених вредности индекса хазарда, изложености, рањивости, неотпорности и ризика од бујичних поплава.



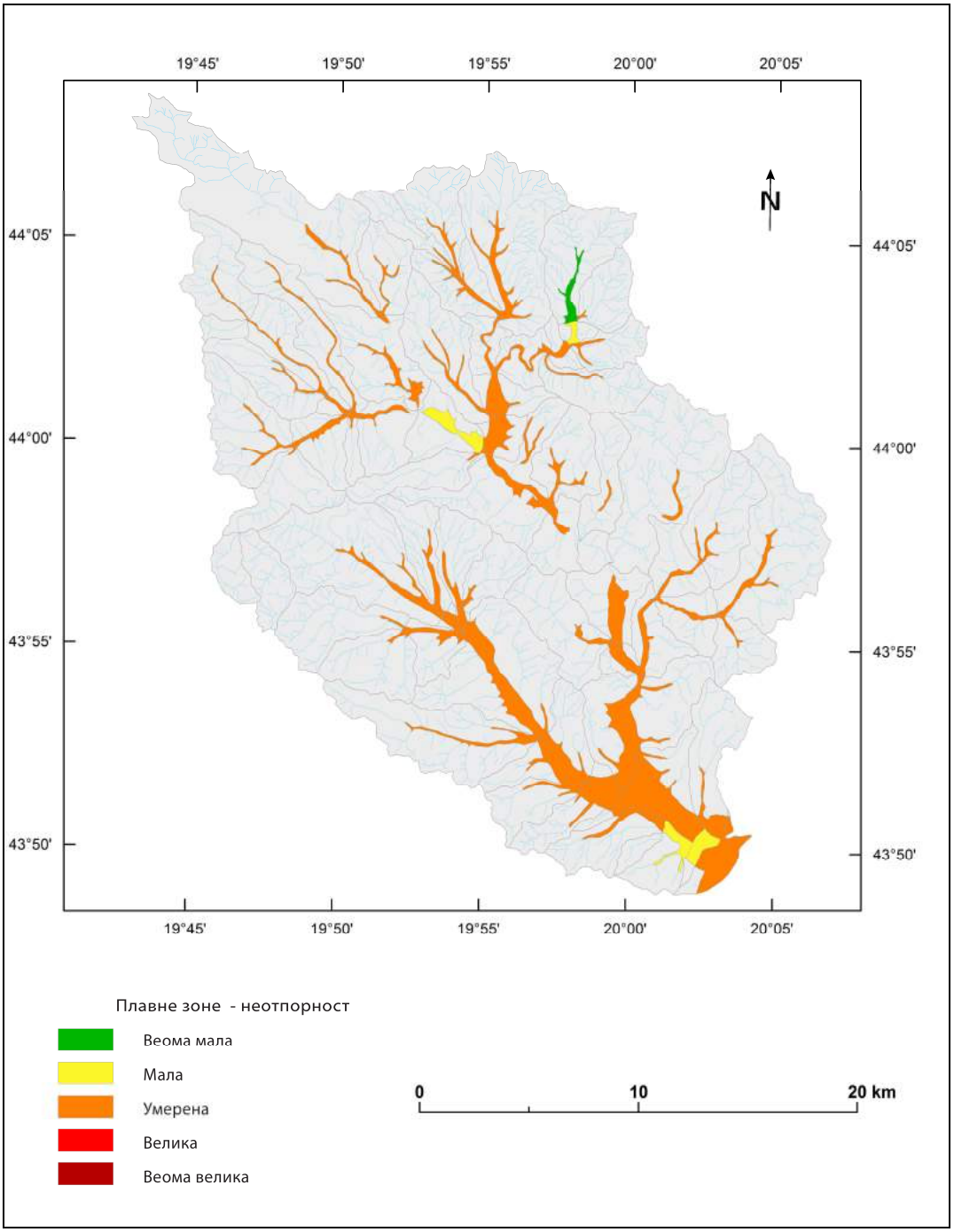
Слика 33. Просторни распоред индекса хазарда у сливу реке Скрапеж



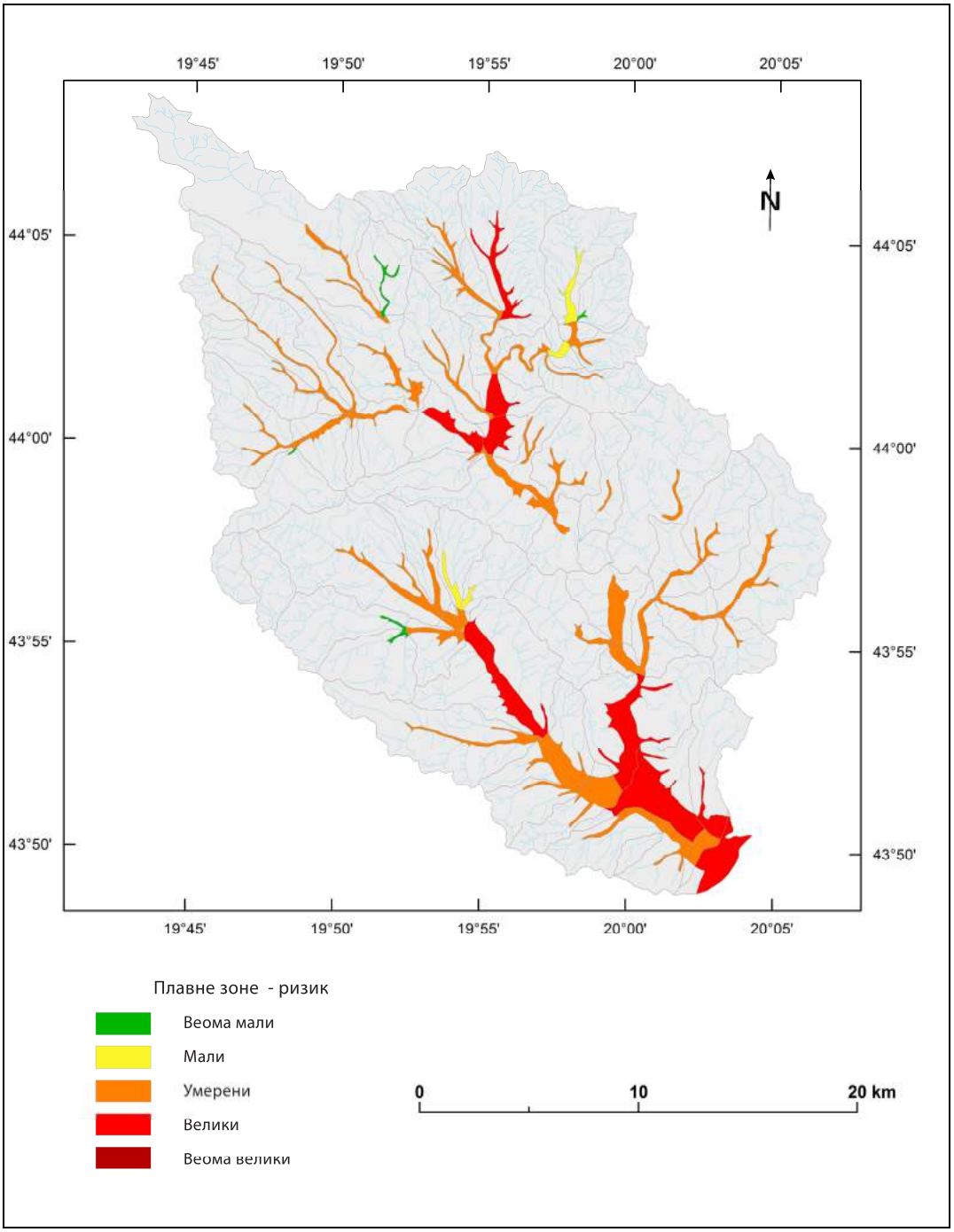
Слика 34. Просторни распоред индекса изложености у сливу реке Скрапеж



Слика 35. Просторни распоред индекса рањивости у сливу реке Скрапеж



Слика 36. Просторни распоред индекса неотпорности у сливу реке Скрапеж



Слика 37. Просторни распоред индекса ризика у сливу реке Скрапеж

У сваком индексу доминира број оних плављених сливних површина са умереним вредностима. Такође, не издваја се ниједна плављена сливна површина са веома великим вредностима индекса. Код индекса неотпорности се не издваја ни једна плављена сливна површина са великим и веома великим индексима.

Анализа индекса хазарда указује да су најугроженије оне плављене сливне површине у доњим деловима слива Скрапежа (СКП XI, СКП К., СКП XII, СКП X), његових већих притока Кладорубе (КЛА К., КЛА II) и Лужнице (ЛУЖ IV, ЛУЖ V и ЛУЖ К.) у којима доминирају процеси акумулације односно акумулативни облици флувијалног процеса. Како је плавна зона, односно њена површина најдоминантнији показатељ, то су се ове плављене сливне површине нашле у класи са великим индексом хазарда. У овој класи су се нашле и плављене сливне површине са осредњим процесима ерозије (КЛА К., СКП IV, ЛУЖ III, СКП XI, СКП К., СКП XII). По рангу сливне површине (показатељ Н6) ове сливне површине најчешће имају ранг већи од првог. Насупрот њима као плављене сливне површине са малим индексом хазарда издвајају се оне са малом површином плавне зоне и малим вредностима ерозије. Веома мали индекс хазарда имају ТМУ К. и СКП IIа. Према рангу сливне површине ове сливне површине најчешће су првог ранга. Показатељи плавна зона и ерозија су доминантни, а у прилогу се налазе зависности индекса хазарда и сваког појединачног показатеља.

Анализа индекса изложености показује да она највише зависи од демографског и економског сегмента. Коефицијент корелације између њих износи 0.94, односно 0.91. У складу са тим се као плавне сливне површине са највишим индексом изложености издвајају оне најгушће насељене, тачније оне са највећим бројем становника, објеката и најдужом инфраструктурном мрежом која условљава и највећи број пресека саобраћајница са водотоцима. У ту класу спадају сливне површине које се простиру у градским насељима, тачније у Пожеги и Косјерићу и њиховим суседним сеоским насељима која су захваћена процесом урбанизације (насеља Каран и Висибаба у сливу реке Лужнице). То су плављене сливне површине СКП X, СКП XI, СКП XII, СКП К., ГУШ, САВ К., СКП III, ЛУЖ IV, КЛА К. Плављене сливне површине у којима нема становништва и објеката ТМУ

К., ГОС I, СКА Р. I., РАШ, ВЕЛ Р. К., РАД, ПЕТ, КЛАН I, ШЕП припадају класи веома мале и мале изложености. У њима често нема становника ни објеката, али захваљујући на пример саобраћајници која пролази кроз њу, вредност индекса изложености није једнак нули. Плављене сливне површине које имају веома малу површину, захваљујући тако малој сливној површини имају мале вредности изложености, иако се налазе у близини оних које имају велику изложеност. Такве су СКП IV и ЛУЖ III.

Анализа индекса рањивости показала је сличан просторни распоред као индекс изложености. Разликују се по томе што су се приликом класификације индекса рањивости као најбројније издвојиле оне плављене сливне површине са умереним индексом рањивости, а свега једна (ГУШ) са великим индексом рањивости. Највећу рањивост имају плављене сливне површине у градским и приградским насељима. Анализа демографских показатеља (густине насељености и демографске зависности) показала је да те сливне површине имају велике вредности густине насељености, а мале вредности демографске зависности. За разлику од њих плављене сливне површине са малом густином насељености имају високе вредности индекса демографске зависности у којима доминира старије становштво. Захваљујући високим вредностима намене површина, заступљеним привредним објектима, образовним установама и културним добрима одређени број плављених сливних површина има повећане вредности индекса рањивости. Такве су на пример СР III, ЛИМ, РАЖ.

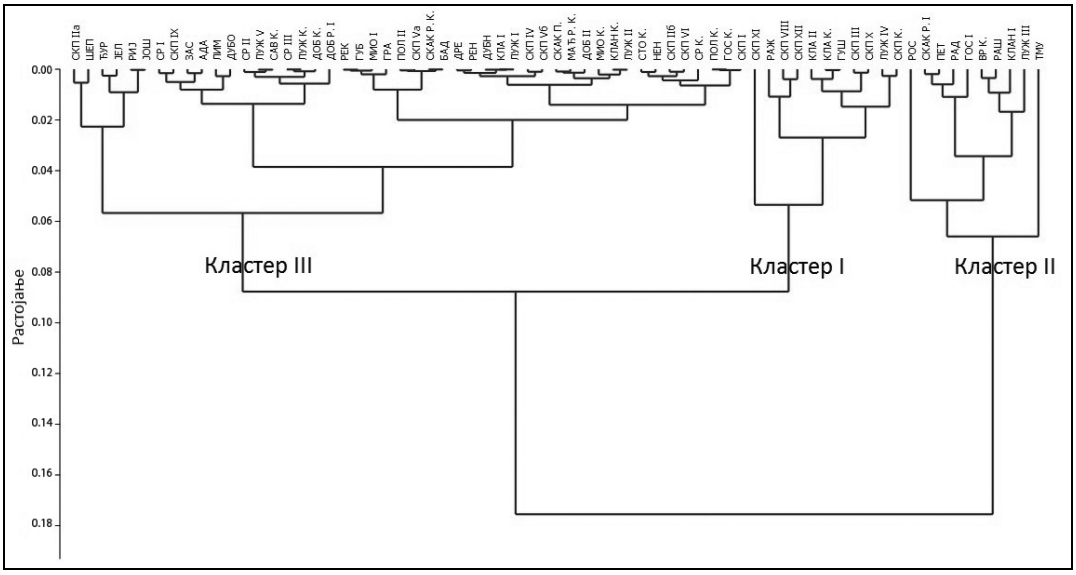
С обзиром на чињеницу да нема сливних површина у којима нема изложених и рањивих елемената, у свим издвојеним сливним површинама постоји ризик од бујичних поплава. Међутим у некима је он мали. Директивом о поплавама се сугерише да ризици од поплава нису значајни уколико је изложеност и рањивост мала, што је исправан став, јер мала изложеност уз велики хазард значи да су појаве поплава ближе по одликама природном процесу него природним непогодама.

Анализа индекса неотпорности показује уједначене вредности у највећем броју плављених сливних површина. Најниже вредности индекса имају оне плављене

сливне површине у којима постоје техничке мере одбране од поплава, а то су СКП XI, СКП XII, СКП К., САВ К., ГУШ, СКП III, као и РОС у којој постоји мала акумулација и СКА Р. К. у којој се осећа њен утицај. У осталим плављеним сливним површинама индекс неотпорности варира у зависности од друга два показатеља, а то су број становника без сталних прихода и удаљеност од општинског центра.

Анализа индекса ризика указује да највеће вредности имају плављене сливне површине са великим индексом хазарда, изложености и рањивости, а малим индексом неотпорности. То су оне плављене сливне површине које се налазе у доњем делу слива реке Скрапеж, на ушћу велике притоке Кладорубе, и у долини Лужнице, где су се и развила градска насеља Пожега, Косјерић, као и сеоско насеље Каран. У класу са великим индексом ризика спадају сливне површине СКП XI, СКП К., ЛУЖ IV, ГУШ, КЛА К., КЛА II, СКП III, СКП X. Захваљујући високим индексима хазарда и рањивости, велики ризик има и плављена сливна површина РАЖ. Насупрот њима мале вредности индекса ризика имају плављене сливне површине са малим индексом хазарда, изложености и рањивости. То су ТМУ К., ГОС I, ПЕТ, СКА Р. I, РАД, КЛАН I, РАШ, ВР К. Мале вредности имају и плављене сливне површине мале површине ЛУЖ III и СКП IV. Утицај акумулације на плављене сливне површине РОС и СКА Р. К. се одражава на вредност индекса ризика. Наиме, иако обе плављене сливне површине имају високе вредности индекса хазарда, а умерене вредности изложености и рањивости захваљујући ниском индексу неотпорности, РОС има мали индекс ризика, а СКА Р. К. умерен.

Исправност класификације индекса ризика потврђена је хијерархијском кластерском анализом њихових вредности и приказана је на слици 38. Издвојена су три кластера. У првом кластеру се налазе плављене сливне површине са високим вредностима индекса ризика, други кластер чине оне са ниским вредностима индекса ризика, док су се у трећем кластеру нашле све остале плављене сливне површине које имају умерене вредности индекса ризика.



Слика 38. Кластерска анализа плављених сливних површина заснована на компонентама ризика (Еуклидова растојања)

4.1.2. Макро ниво детаљности – сливови река Скрапеж, Белице и Лужнице

На основу положаја три изабрана слива (слика 7) очекују се различите вредности под-показатеља и показатеља ризика од бујичних поплава. С обзиром на чињеницу да статистичка анализа нема смисла уколико се ради само о три просторне јединице, у табели 25 су приказане њихове апсолутне вредности. За нормализацију података по истом принципу као и код мезо нивоа детаљности коришћене су минималне и максималне вредности.

Највећу геоморфолошку плавну зону има слив реке Скрапеж, док је процентуално учешће геоморфолошке плавне зоне највеће у сливу реке Белице. Учесталост дневних падавина ≥ 30 mm је нешто мања у сливу Белице у односу на друга два слива, док је учесталост максималних протицаја у односу на средњи максимални протицај мањи код Лужнице у односу на Скрапеж и Белицу[22]. Коефицијент

[22] На падавинској станици Ђуприја је упоредном анализом учесталости дневних падавина ≥ 30 mm и учесталости максималних протицаја већих од средњег максималног протицаја уочено одступање, тачније тај однос је много већи него у друга два слива. С обзиром на исти извор за оба

варијације протицаја је највећи у сливу Белице, а однос максималног и минималног протицаја је висок у сва три слива (Вучићевић, 1995).

Табела 25. Вредности под-показатеља и показатеља у сливовима река Скрапеж, Белица и Лужница

Показатељи	Скрапеж	Белица	Лужница
H1a	65.20	45.53	15.16
H1b	10.06	19.50	4.67
H I	1.93	1.33	1.80
H IIa	0.55	0.54	0.43
H IIb	1.89	2.44	1.58
H IIc	119.78	221.19	98.81
H2a	181.06	21.87	27.02
H2b	27.95	9.37	8.32
H2c	0.56	0.55	0.55
H3	2.04	1.52	1.63
H4	15.01	8.99	12.40
H5	0.63	0.74	0.68
E1	8685.00	12784.00	4285.00
E2	8996.00	14277.00	5112.00
E3	295.15	192.87	61.75
E4	311.00	123.00	80.00
E5a	0.18	0.02	0.00
E5b	1.00	1.00	0.00
E6	0.26	0.00	0.0
V1	133.21	280.81	282.63
V2	0.56	0.47	0.53
V3	1.97	2.26	2.04
V4	102.00	188.00	12.00
V5	36.00	7.00	5.00
V6	12.00	23.00	3.00
V7a	5.00	17.00	0.00
V7b	1.00	1.06	0.00
Re_inv1	0.97	0.4	1.00
Re_inv I	1.00	1.00	1.00
Re_inv II	2.76	2.71	2.77
Re_inv2	1.75	1.30	1.70
Re_inv3	38.92	44.97	44.75
Re_inv4	10.12	12.00	13.00
Re_inv III	3.00	1.00	1.00

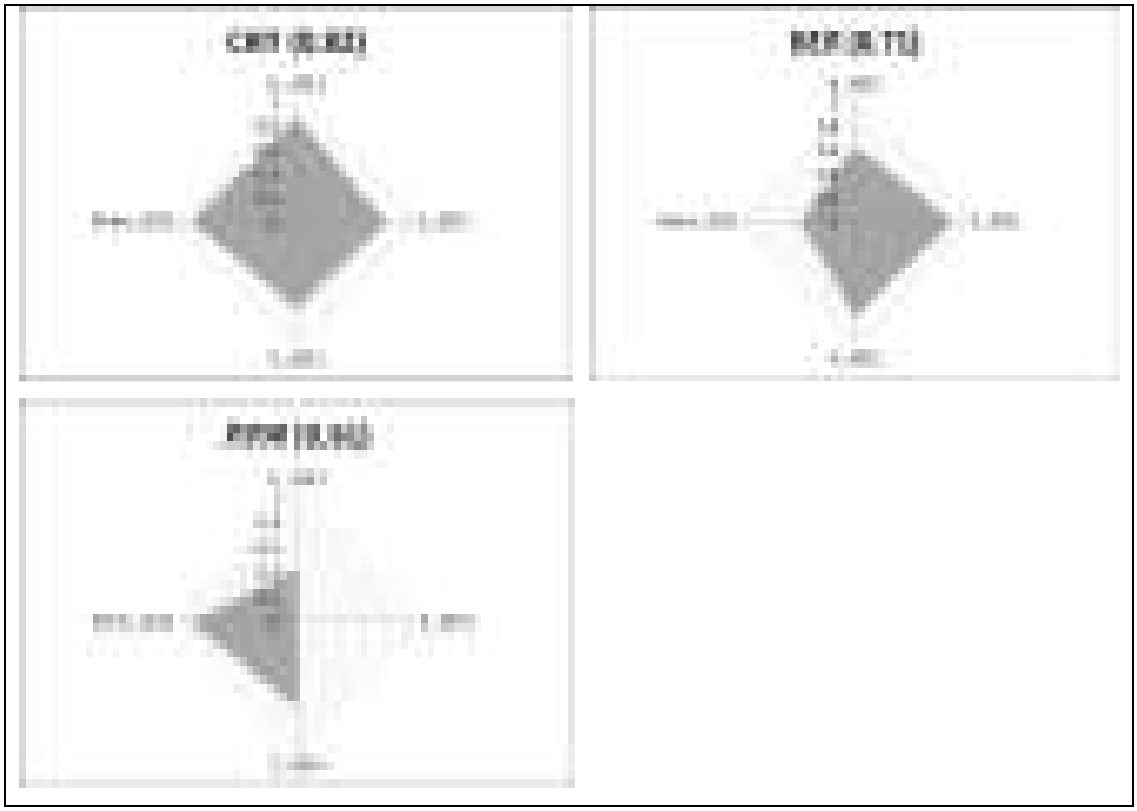
Површине под ерозијом I, II и III степена су највеће у сливу Скрапежа, док су готово подједнако заступљене у сливовима Белице и Лужнице у апсолутном

сета података (РХМЗС), није се улазило у истраживање да ли је реч о грешкама у подацима, већ су прихваћени оригинални подаци.

износу. Исти поредак је и у односу на величину слива. Коефицијент ерозије је незнатно већи у сливу Скрапежа у односу на друга два слива. Најразвијенију речну мрежу, као и највећи пад речног корита има река Скрапеж, а најмању Белица. Развијеност вододелнице је уједначена, али највећа за слив Белице. Број становника и објеката у плавној зони је највећи у сливу Белице, а најмањи у сливу Лужнице. У складу са величином слива највећа дужнина саобраћајница и број мостова су у сливу Скрапежа, а најмањи у сливу Лужнице. Нешто више заштићених природних добара у плавној зони има у сливу Скрапежа него у сливу Белице, док у сливу Лужнице у плавној зони нема заштићених природних добара. Минерални ресурси (налазиште цементног лапорца, кречњака и глине) постоје у сливу Скрапежа док у друга два слива не постоје. Иако у сливу Лужнице има најмање становника због најмање површине плавне зоне је највећа густина насељености у односу на друга два слива. Демографска зависност је највећа у сливу Скрапежа и Лужнице, а најмања у сливу Белице. Вредности индекса демографске зависности се крећу од 0.47 до 0.56 и као такви су повољни, али су они израчунати на нивоу слива, при чему доминира податак из градских насеља. У сеоским насељима су ови индекси неповољнији. У сливу Лужнице у насељима у плавним зонама овај индекс досеже вредност 3.4 у насељу Грнчар; у сливу Белице 2.3 у насељу Јошанички Прњавор, а у сливу Скрапежа 1.2 у насељу Стојићи. Најекстремнији случај је насеље Брестов Дол у сливу Лужнице са индексом демографске зависности 14. Иако ово насеље није у плавној зони, однос старог и младог становништва (14) на једног радно способног говори о екстремно великој рањивости таквог простора. Овакви простори треба да буду у фокусу оних који управљају њиме јер су непогоде углавном догађаји који се дешавају у кратком временском интервалу и где је потребна брза реакција и у смислу превенције и санације. Највећа изграђеност, највећи број привредних објеката, образовних установа и непокретних културних добара се налази у сливу Белице, а најмањи у сливу Лужнице, што је последица економског развоја и броја становника. У сливу Скрапежа се налази највећи број депонија. По питању неотпорности и актвних и пасивних мера заштите у ужем смислу најбоље је стање у сливу Белице. Према броју становника без сталних прихода сва три слива су уједначена. Пошто сливови Белице и Лужнице територијално највећим делом

припадају једној општини (Јагодина и Бабушница), а свега неколико ободних насеља припада суседним општинама, то је удаљеност од општинских центара код њих већа него код слива Скрапежа, који у највећој мери територијално припада двема општинама (Косјерић и Пожега). С обзиром на то да и у сливу Скрапежа, осим поменутих, постоје још четири општине које се простиру на ободним деловима слива, то је у и сливу Скрапежа већа неотпорност кад је реч о показатељу број општина у сливу.

Након статистичке обраде показатеља и њиховог моделирања добијене су вредности индекса хазарда, изложености, рањивости, неотпорности и ризика. Добијени резултати су приказани на слици 39.



Слика 39. Индекси хазарда, изложености, рањивости, неотпорности
у сливовима река Скрапеж, Белице и Лужнице
и индекс ризика (представљен бројем у загради уз акроним слива)

С обзиром на претходно дате вредности показатеља највећа вредност индекса хазарда је у сливу Скрапежа, а најмања у сливу Лужнице. Индекси изложености и рањивости су највећи у сливу Белице, а у сливу Лужнице најмањи. У сливу Лужнице индекс изложености има вредност 0 јер сви показатељи који га чине имају најмању вредност у односу на друга два слива. То не значи да у сливу Лужнице не постоје елементи који су изложени хазарду. Неотпорност је највећа у сливу Лужнице, а затим Скрапежа, док је у сливу Белице најмања захваљујући постојећим системима заштите од поплава у ужем слислу (дужина насипа и касете затвореног типа служе за заштиту поплавног подручја (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, 2013)). У складу са овим вредностима ризик од бујичних поплава је највећи у сливу Скрапежа, затим Белице, а најмањи у сливу Лужнице. Такође, ове вредности индекса у сва три слива потврђују трећу хипотезу да се на смањење ризика од бујичних поплава може утицати променама у простору које се пре свега односе на рањивост и отпорност.

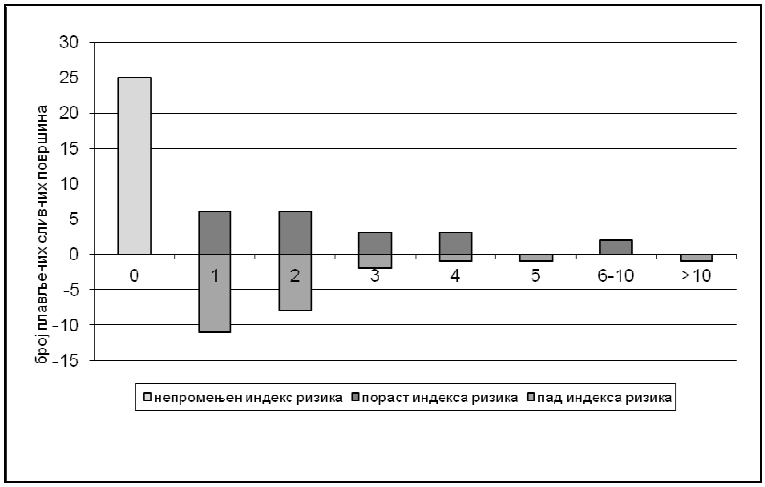
4.2. ОСЕТЉИВОСТ МОДЕЛА

Осетљивост модела за процену ризика и његових компоненти и примењене методологије је утврђена испитивањем промена излазних вредности на основу промена вредности тежинских коефицијената у моделу. Тестирање је извршено на мезо нивоу детаљности на примеру реке Скрапеж. У односу на иницијални модел у коме све компоненте имају исту тежину (0.25), тестирање је вршено тако што се појединим компонентама повећавао тежински коефицијент, при чему су се други смањивали. Укупно су испитана три скупа измењених тежинских коефицијената. Вредности промењених тежинских коефицијената су дате у табели 26.

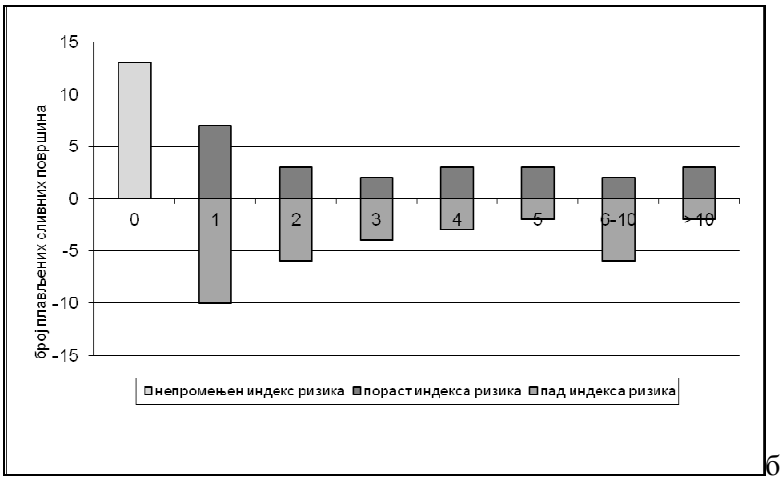
Табела 26. Тежински коефицијенти компоненти ризика и значајност промене ризика према Kruskal-Wallis тесту

	H	E	V	Re inv	p	Значајност промене
R (значајни E и V)	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4482	Није значајна
R (значајно H)	0.4	0.2	0.2	0.2	8.217E-15	Значајна
R (значајно Reinv)	0.2	0.2	0.2	0.4	7.787E-05	Значајна

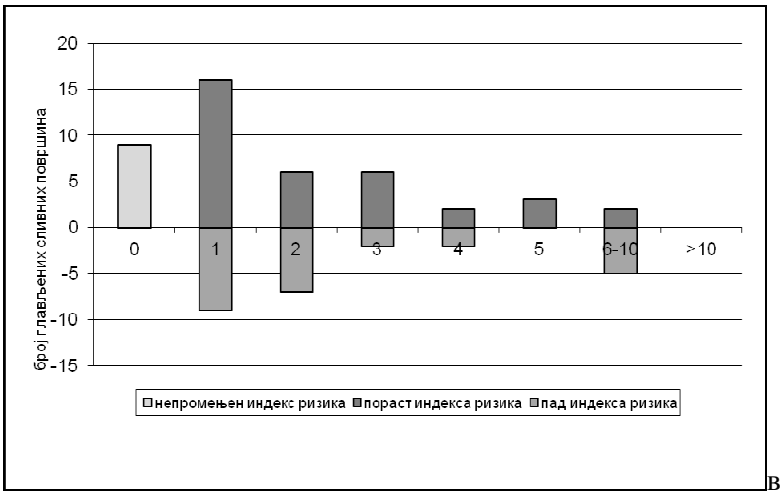
У сва три случаја долази до промена вредности индекса ризика услед промена тежинских коефицијената. У првом случају наглашене су компоненте изложеност и рањивост у односу на хазард и неотпорност. Том приликом је дошло до промена индекса ризика, али је тестирањем помоћу Kruskal-Wallis теста утврђено да промене нису статистички значајне. Приликом повећања вредности тежинских коефицијената изложености и рањивости долазило је до промена редоследа (ранга) плављених сливних површина по величини ризика за једно или највише тринаест места, док су у 36% случајева плављене сливне површине задржале ранг као у иницијелном односу компоненти (слика 40а). У другом случају наглашена је компонента хазарда док остале три имају подједнаке и дупло мање тежинске коефицијенте (слика 40б). Насупрот оваквом односу у трећем случају је наглашен тежински коефицијент уз компоненту неотпорности, док су остале три компоненте добиле подједнаке и дупло мање тежинске коефицијенте (слика 40в). Тестирањем је утврђено да су у другом и трећем случају овакве промене тежинских коефицијената довеле до значајних промена вредности индекса ризика. У другом и трећем случају до највећих промена вредности дошло је у плављеним сливним површинама РОС и СКА Р. К. у којима постоји утицај акумулације, односно дејство активних техничких мера. Наглашавањем компоненте хазарда у њима је дошло до значајног пораста индекса ризика, а у случају наглашавања компоненте неотпорности до значајног пада индекса ризика. То недвосмислено указује да се у случају наглашавања компоненте хазарда губи дејство превентивних делатности у случају бујичних поплава и обрнуто. У осталим плављеним сливним површинама је такође дошло до промена индекса ризика које се крећу до смене четрнаест позиција, при чему у случају наглашавања хазарда своју позицију није променило 13% плављених сливних површина (слика 40б), а у случају наглашавања неотпорности 9% плављених сливних површина (слика 40в).



а



б



в

Слика 40. Број плављених јединица у којима ни(је) дошло до промена ранга индекса ризика услед промена тежинских коефицијената са наглашавањем E и V компоненте (а), са наглашавањем H компоненте (б) и наглашавањем Reinv компоненте (в). На апсциси је означен број места за који се ранг променио.

У сва три случаја плављене сливне површине са највећим индексом ризика или нису мењале позицију или су се померили за највише две позиције. Повећањем тежинских коефицијената се такође утиче на повећање односно смањење коефицијента корелације између компоненти и ризика.

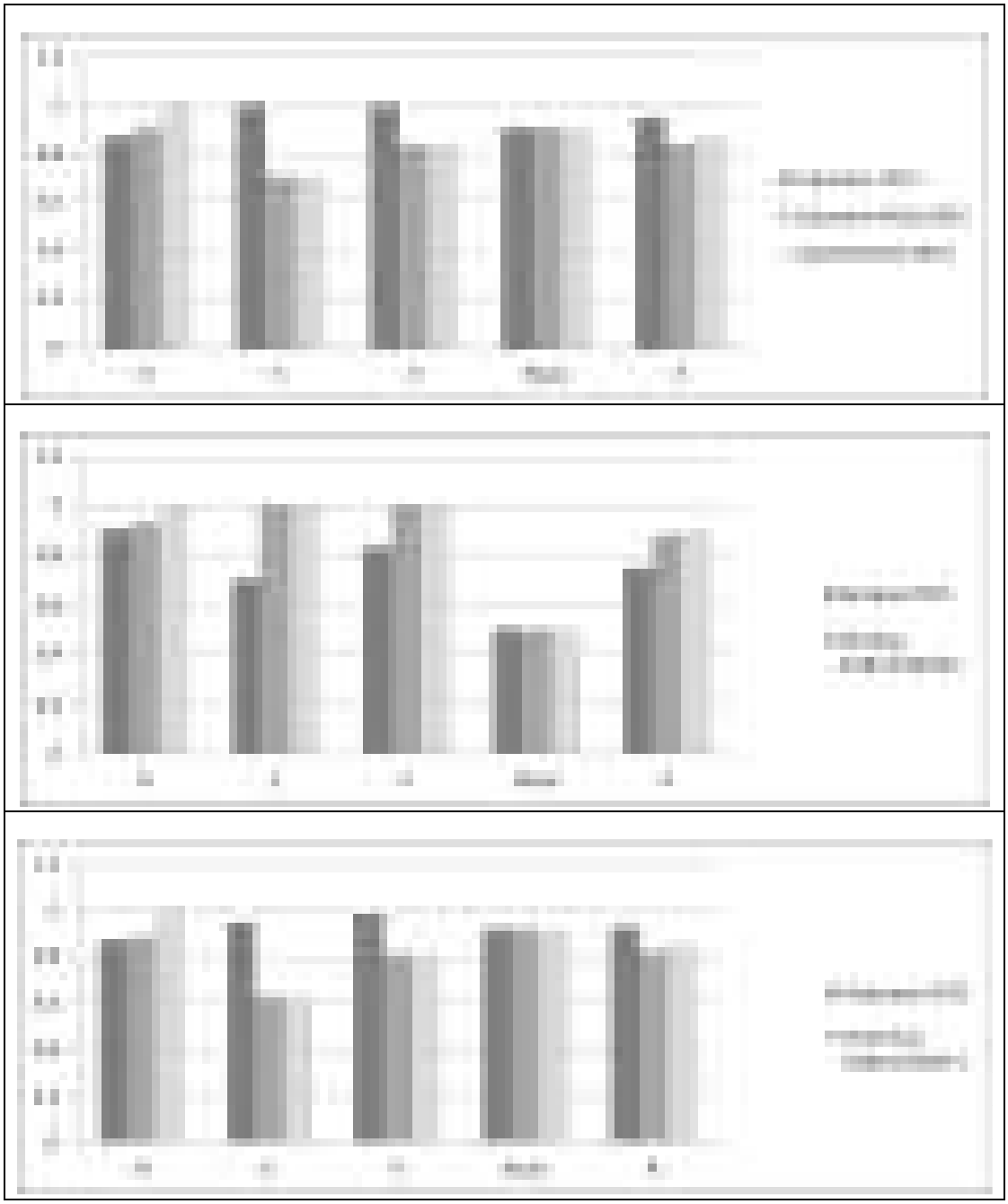
На основу тестирања осетљивости модела на промену тежинских коефицијената може се закључити да мењањем тежинских коефицијената и наглашавањем значаја одређене компоненте долази до промена индекса ризика и то значајних само уколико су вредности улазних података мале или екстремно мале и тиме доводе до мењања њихове позиције у односу на друге плављене сливне површине. Код оних плављених сливних површина код којих су вредности индекса ризика велике, промене тежинских коефицијената не утичу на мењање њихове позиције, тачније њихове вредности су такве да и даље имају највеће вредности индекса ризика. Тиме се потврђује констатација да тачност код концептуалних модела не зависи од структуре модела, већ од врсте и квалитета улазних података (Palmar, 1989).

4.3. ПРОГНОЗА РИЗИКА

Промене вредности улазних података на макро нивоу односиле су се на коришћење података о учесталости дневних падавина изнад ≥ 30 mm на годишњем нивоу (показатељ HI) према климатским сценаријима A1B и A2. Како је изабрани период 2001-2040, то је показатељ HI у случајевима поменутих сценарија означен као HIA1B_2040 и HIA2_2040. Промене учесталости падавина утицале су на промену учесталости максималних протицаја већих од средњих максималних протицаја (показатељ HIIa) и даље сукцесивно промене коефицијената варијације протицаја (HIIb), односа максималних и минималних протицаја (HII), ерозије (H2). Уз претпоставку да би се однос између учесталости падавина (HI) и учесталости максималних протицаја већих од средњих максималних протицаја (показатељ HIIa) задржао и до 2040. године према оба сценарија, то су и вредности показатеља HIIa промењене, док се код осталих показатеља (HIIb и HIIc) овде није улазило у те врсте промена, те су вредности ових показатеља задржане као у иницијалном сету података. С обзиром на то да

по оба сценарија долази до повећања учесталости дневних падавина у сва три слива, овакве промене су у сва три слива довеле до пораста вредности индекса хазарда (слика 41) и то већих према сценарију А2. Споменуто је да је на падавинској станици Ћуприја забележен мањи број дана са дневним падавинама ≥ 30 mm. Прогнозиране падавине су међутим у сва три слива уједначене, што на станици Ћуприја даје већи пораст показатеља HI. Стога је поређења ради индекс хазарда за период 1961-2011 израчунат два пута, како са оригиналним подацима, тако и са прогнозираним подацима за тај исти период. Иако се вредност показатеља HI разликује, та разлика је у укупном индексу хазарда мања, а у индексу ризика незнатна, док се редослед сливова према индексима не мења.

Следећа промена улазних података на макро нивоу односила се на коришћење података о броју изложеног становништва (показатељ E1) према пројекцији становништва за 2011-2041. годину средње варијанте фертилитета. Као што је објашњено у поглављу Методологија (3.5.1.) сукцесивно су промењени подаци о густини становништва (показатељ V1). Стога су показатељи E1 и V1 преведени у показатеље E1СП_2041 и V1СП_2041. С обзиром на то да према пројекцији становништва у сливу реке Скрапеж и реке Лужнице долази до опадања броја становника, овакве промене су довеле до смањења вредности индекса изложености и рањивости у ова два слива. У сливу реке Белице ће према пројекцији доћи до повећања броја становника, што је у процени ризика довело до пораста индекса изложености и рањивости. Потребно је нагласити да су пројекције рађене на нивоу општина и да уколико би се располагало подацима на нивоу насеља да би се у сеоским насељима највероватније показао пад броја становника. Тако се и у сливу Белице повећање највероватније односи на градска и приградска насеља, а не и на сеоска.



Слика 41. Промене индекса H, E V, Reinv и R услед промена улазних података према климатским сценаријима A1B и A2 и пројекцијама становништва средње варијанте фертилитета за период 2040/41 по сливовима

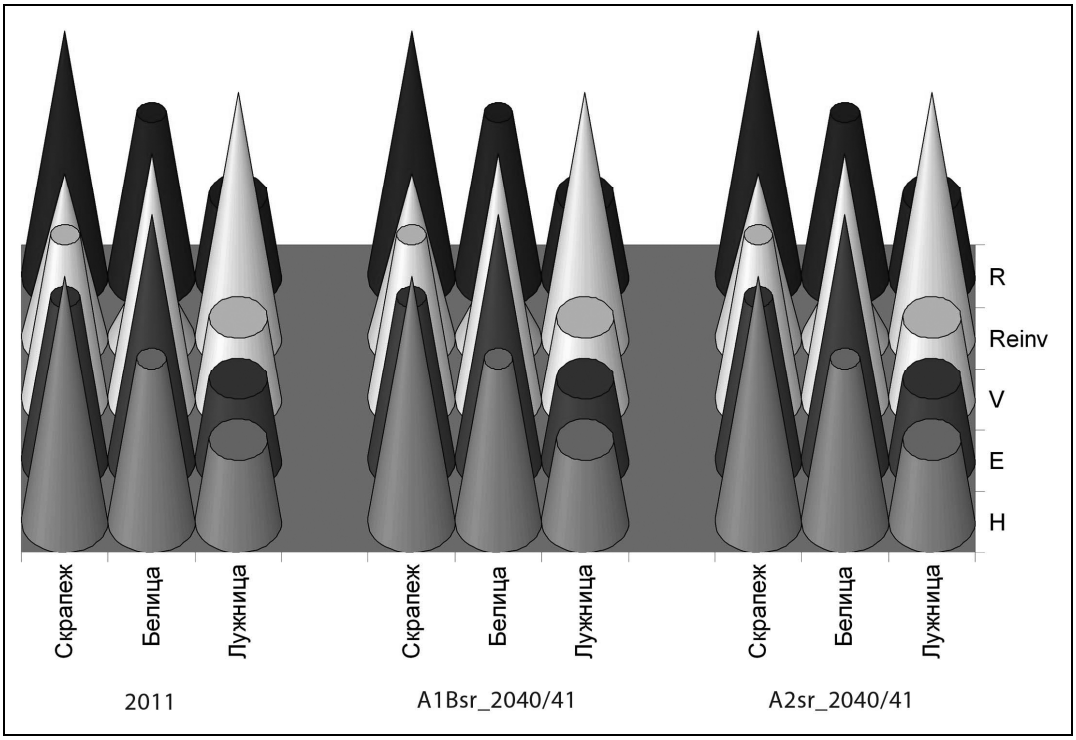
У складу са променама улазних података, које су довеле до промена индекса хазарда, односно изложености и рањивости, дошло је и до промена индекса ризика (слика 41). У сливу реке Скрапеж и реке Лужнице долази до смањења

индекса ризика, што се објашњава променама индекса изложености и рањивости као оних који имају велики коефицијент корелације са индексом ризика. Утицај климатских промена је, осим што је показан на нивоу хазарда, евидентиран и на нивоу ризика уколико се упореде два климатска сценарија, тачније индекс ризика је већи према сценарију А2 у односу на сценарио А1В. У сливу реке Белице индекс ризика расте захваљујући позитивним променама у сва три индекса његових компоненти (хазарда, изложености и рањивости).

Овим променама је потврђена 4. хипотеза да ће климатске промене довести до промене ризика од бујичних поплава. Такође је потврђена и 5. хипотеза да ће демографске промене довести до промене ризика од бујичних поплава.

Вредности показатеља неотпорности нису мењане. Њиховим мењањем мењале би се вредности индекса неотпорности, као и вредности индекса ризика, али у оној мери колико то „дозвољавају“ остале компоненте. Ако би се неотпорност потпуно смањила, тада би она постала константа и не би више утицала на резултат (ризик), односно он би даље зависио од вредности других компоненти (хазарда, изложености и рањивости).

Иако се вредности ризика и његових компоненти према сценаријима и пројекцијама мењају са мењањем улазних података, њихове вредности су такве да не доводе до промена међусобних односа међу сливовима. Тако и према климатским сценаријима А1В и А2 уз пројекцију становништва према средњој варијанти фертилитета највеће индексе хазарда и индексе ризика има слив реке Скрапеж, затим слив реке Белице, а најмање слив реке Лужнице. Највеће индексе изложености и рањивости има слив реке Белице, следи слив реке Скрапеж, а најмање слив реке Лужнице. Највеће индексе неотпорности има слив реке Лужнице, затим реке Скрапеж, а најмањи слив реке Белице (слика 42).



Слика 42. Међусобни однос сливова река Скрапеж, Белице и Лужнице
према индексима H, E V, Re inv и R услед промена улазних података
према климатским сценаријима A1B и A2 и пројекцијама становништва средње варијанте
фертилитета за период 2040/41

На мезо нивоу детаљности било је могуће тестирати утицај промене изложеног броја становништва које доводе до промена вредности индекса изложености. С обзиром на чињеницу да ће према средњој пројекцији за 2041. годину у свим насељима у сливу реке Скрапеж доћи до смањења броја становника, то су и вредности E1СП_2041 мање у односу на 2011. годину (показатељ E1). Међутим, приликом нормализације вредности, иако минималне, разлике E1СП_2041 у односу на E1 су у одређеном броју плављених сливних површина (11%) позитивне, што се одражава и на вредност индекса ризика. Ова појава се може окарактерисати као слабост модела. Ипак у већини плављених сливних површина (89%) негативне промене у броју становника се одражавају на негативне промене у вредностима индекса изложености. Промене до 2041. године нису велике у смислу што се број плављених сливних површина по класама не мења, нити се

мења њихов међусобни ранг изузев у случају четири пара плављених сливних површина код којих је дошло до смене редоследа за по једно место.

Промене изложеног броја становника су довеле и до промене густине насељености која као компонента рањивости доводи до промена вредности индекса рањивости. На исти начин као и код изложености, приликом нормализације података иако су промене негативне долази до појављивања позитивних разлика код одређеног броја плављених сливних површина (14%). Број плављених сливних површина по класама се не мења, док се код нешто већег броја плављених сливних површина јавља промена редоследа плављених сливних површина и то у оквиру класе са умереним вредностима индекса рањивости.

Промене индекса изложености и рањивости даље су довеле до промена вредности индекса ризика. На исти начин је код 14% плављених сливних површина дошло до пораста индекса ризика иако су се вредности улазних података смањиле, али су те промене незнатне и довеле су до смене у рангирању плављених сливних површина.

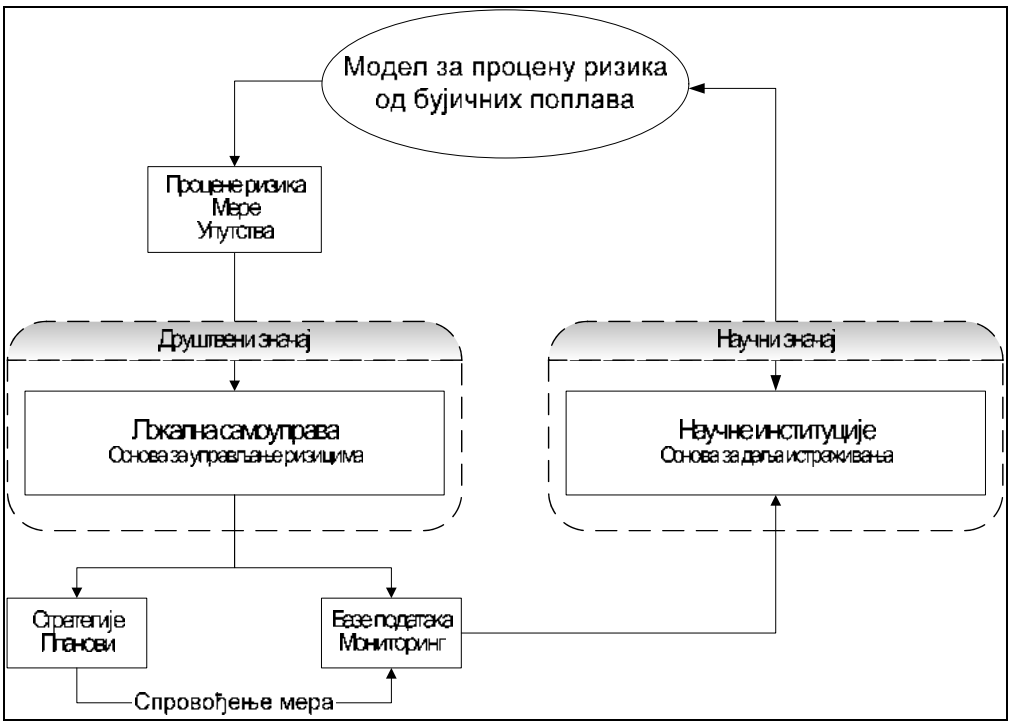
Добијене вредности *p* Kruskal-Wallis теста су за индекс изложености 0.922, за индекс рањивости 0.9254, а за индекс ризика 0.9152. Оне су показале су да нема значајних разлика између вредности индекса 2011. и 2041. године на мезо нивоу детаљности, односно да промене индекса ризика у сливу реке Скрапеж постоје, али је вредност улазних података за 2041. годину таква да оне нису статистички значајне.

Овим резултатима је такође потврђена 5. хипотеза да демографске промене (промене вредности изложеносг броја становника) доводе до промена вредности ризика од бујичних поплава.

Овим резултатима се потврђује да модел јесте осетљив на промене вредности улазних података, односно да се мењањем њихових вредности мењају вредности индекса ризика. Потврђена осетљивост модела на промене улазних података показује да ће модел показати промене које ће се дешавати у сливу, као и да је могуће применити модел у другим условима и другим сливовима.

4.4. ПРИМЕНА МОДЕЛА

Примена модела треба да укаже на значај обављених истраживања који се може остварити у две сфере, друштвеној и научној, које уједно треба да буду повезане. На слици 43 приказана је поједностављена шема односа између научних и управљачких институција која се може остварити захваљујући развијеном моделу за процену ризика од бујичних поплава. У том смислу циљ ове дисертације је да допринесе превенцији у циклусу управљања ризицима.



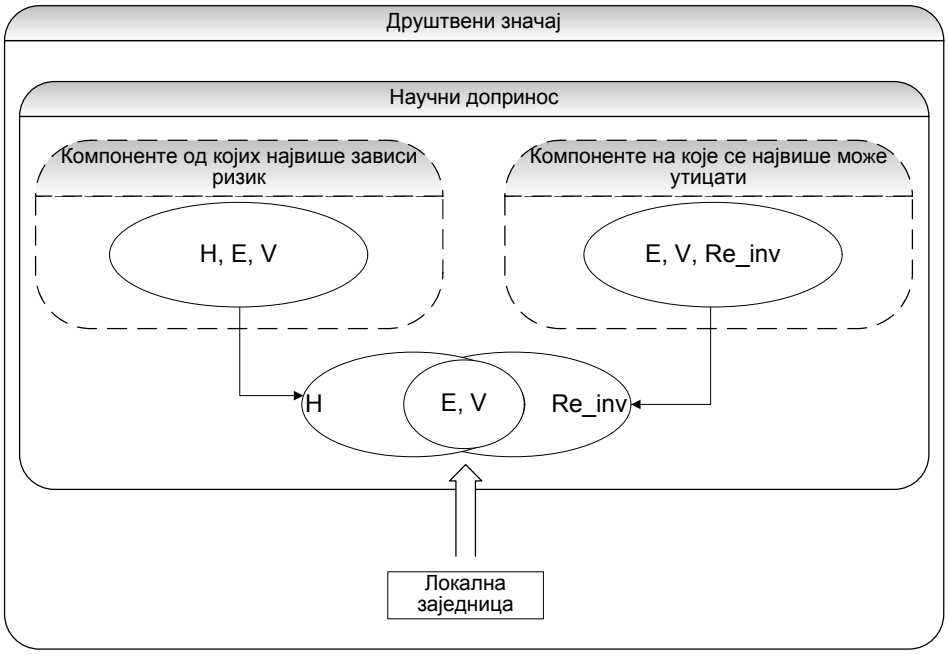
Слика 43. Примена модела процене ризика од бујичних поплава

4.4.1. Основа за управљање ризицима

На основу развијеног модела дата је процена ризика на мезо и макро нивоу детаљности која може користити локалним заједницама (општинама, које су у обавези да имају такав документ) односно држави у управљању ризиком од бујичних поплава. То се спроводи на основу предложених мера и упутстава за смањење ризика, које локалне заједнице и држава имплементирају у постојећа или

нова стратешка документа (стратегије и планове) и законодавна акта. Оне такође организују мониторинг у простору којим управљају и прикупљене податке достављају научним институцијама, које на основу њих стално ажурирају и верификују модел и прате дејство предложених мера за смањење ризика (слика 35).

Овај модел је одговарајући за дугорочна планирања, која могу да спроведу само органи управе, а не појединац (Kovačević-Majkić & Urošev, 2014; Milošević et al, 2015b). То се доказује тиме што је потврђено: 1) да ризик у највећој мери зависи од хазарда и демографских одлика (изложености и рањивости) (друга хипотеза), а 2) да се на његово смањење може утицати пре свега смањењем рањивости и повећањем отпорности (трећа хипотеза). Из овога следи да су изложеност и рањивост компоненте на које је потребно деловати и на коју се може деловати са задовољавајућим ефектом, а такве активности могу да спроведу управо органи управе. Доказивање ових чињеница је приказано на слици 44 и представља апликативни значај и допринос ове дисертације.



Слика 44. Друштвени значај постигнутих резултата
(идентификација компоненти изложеност и рањивост као кључних на које органи управе треба да усмере активности у циљу смањењу ризика од бујичних поплава)

4.4.2. Основа за даља истраживања

Као и сваки модел, тако је и овај подложан побољшавању и надоградњи. Могућности и правци даљих истраживања се могу односити на **мезо и макро ниво детаљности** у смислу додатне анализе одабраних показатеља, увођења додатних показатеља, другачије нормализације показатеља и мењања тежинских коефицијената у моделу.

Додатна анализа одабраних показатеља може да подразумева њихово боље одређивање у смислу просторне детаљности. Тако је, на пример, потребно решити проблем унутарзоналности у оквиру морфолошке плавне зоне и дефинисати зоне мање и веће рањивости односно ризика. У овој дисертацији те унутарзоналности нема и то се у одређеном смислу може коментарисати као ограничење модела, али у смислу сигурности и заштите као добро решење кад је у питању управљање ризицима. Такође, у овој дисертацији је коришћена по једна метеоролошка станица за цео слив (за процену ризика на макро нивоу). Средње годишње вредности падавина су дале добре резултате приликом интерполације (Štrbac, 2014; Kovačević-Majkić & Štrbac, 2008). Отворено је питање да ли се за потребе студија на мезо нивоу детаљности могу интерполирати подаци о дневним падавинама. Побољшање модела би могло да се оствари коришћењем више кишомерних станица, које би се могле користити за процену и на мезо нивоу, али са ограничењем да исте вредности падавина важе за више плављених сливних површина и са отвореним питањем колика ће та разлика бити на мезо нивоу детаљности. Одговор се највероватније крије у типу падавина које изазивају бујичне поплаве, тачније уколико их изазивају орографске падавине локалног карактера, онда би та разлика требало да се осети, а уколико су фронталне онда захватају цео мезо слив и највероватније се не би осетиле разлике у учесталости падавина међу сливним површинама. Подаци о изложеним елементима такође могу бити тачнији у смислу њиховог теренског картирања. Додатна истраживања треба усмерити и на трагање за новим показатељима који би још боље описали ризик.

Осим повећање тачности улазних података за које је показано да утичу на вредност резултата индекса ризика, најидеалније би било за сваки показатељ одредити критичне вредности (прагове)[23] у циљу реалне (апсолутне) процене ризика. Следећи задатак би био да се утврде тачни односи међу показатељима, односно функционалне зависноси сваког показатеља са компонентом чији су саставни део и ризика. Такав модел би дао реалне, а не само релативне вредности индекса ризика. За такву врсту истраживања потребно је укључити низ научника и стручњака из разних области и омогућити добру комуникацију међу њима, односно спровести интердисциплинарни приступ при изради процене ризика. Иако су ужестручна, специјалистичка проучавања природних (генетских) аспеката непогода у Србији на релативно високом нивоу, приметан је недостатак мултидисциплинарних истраживања која би укључила и утицај непогода на друштво и друштва на природне процесе. Тема процене ризика је једна од оних око које би било пожељно да се окупе тимови стручњака.

Проблем свођења података на исту просторну јединицу се може превазићи методом растеризације података, који подразумева свођење свих података на елементарну јединичну површину (пиксел) одређене резолуције. Предност растеризација података је и у томе што их је могуће агрегирати и добити податак који се односи на већу површину. Овај концепт је већ примењен у бројним студијама (Varazanashvili, 2012, Hall et al, 2005;)

Један од доприноса овакве студије је идентификација простора са повећаним ризиком од бујичних поплава. На такве просторе је потребно усмерити активности које доводе до смањења ризика, а такве активности представљају мере које се препоручују у документима као што је Нацрт Стратегије управљања водама на територији Републике Србије (Министарство пољопривреде и заштите животне средине, 2016). Такође, у овим просторима је могуће спровести процене ризика са већом детаљношћу које подразумевају избор и неких других показатеља – студије процене ризика на **микро нивоу детаљности**. Оне би биле детаљније,

[23] Омогућавање међусобног упоређивања података се уместо спроведене њихове нормализације понекад решава увођењем категорија у оквиру сваког показатеља.

али се не би радиле на целом простору општина или сливова, већ само на издвојеним просторима са великим ризиком. То је један од начина да се уштеди и време и новац. У таквим студијама би се користили неки показатељи који се користе и на мезо нивоу детаљности, али са већом детаљношћу података, али и неки нови као што су подаци потребни за одређивања плавне зоне (на основу хидролошко-хидрауличких прорачуна, а чији је пример дат у поглављу 4.3.2.1.), старосна и полна структура становништва, подаци о дневним мигрантима, типовима објеката, спратности објеката, положају објеката у односу на водоток, опремљености објеката, начину обраде земљишта, отворености тока, одржавању речног корита, проценту становништва које зна шта је исправно понашање у случају бујичне поплаве, постојању плана евакуације, вежбању правилног понашања и евакуације, могућностима да се у другим објектима организује принудни смештај, издвајању средстава за потенцијалну штету и слично.

4.4.2.1. Пример одређивања плавне зоне на микронивоу детаљности

На примеру деонице реке Скрапеж, између ушћа Добрињске реке и Лужнице, која у доброј мери одговара сливној површини СКП X, урађено је утврђивање плавне зоне хидролошко-хидрауличком методом. Плавна зона је утврђена за неколико карактеристичних максималних протицаја одређене вероватноће појављивања које препоручује Директива о поплавама (0.1% - пример поплаве мале вероватноће појављивања, односно сценарио екстремног догађаја, 1% - пример поплаве средње вероватноће појављивања, 2% - пример поплаве веће вероватноће појављивања) (Directive 2007/60/EC), као и максималан протицај 0.5% вероватноће појављивања. Тај поступак је подразумевао неколико активности: 1) хидролошке прорачуне великих вода за одабране вероватноће појављивања, 2) хидрауличку анализу и прорачун кота нивоа и 3) одређивање граница плавне зоне и дубине воде.

1) Максимални протицај (Q_{max}) одређених вероватноћа појављивања се одређује хидролошким прорачунима и ти прорачуни се односе на слив који гравитира најузводнијем попречном профилу изабране деонице реке Скрапеж. С обзиром на

то да на одабраној деоници не постоје хидролошке станице[24], примењена је метода комбинованог поступка (Ристић и Малошевић, 2011) која подразумева примену SCS методе за раздвајање ефективних (P_e) од укупних падавина и методе синтетичког јединичног хидрограма за одређивање вршне ординате јединичног хидрограма (q_{max}). Улазни подаци потребни за примену ове методе су: морфометријске карактеристике слива и водотока (табела 27), начини коришћења земљишта и хидролошка класа земљишта уз усвојене надпросечне услове влажности земљишта и максималне дневне падавине на главној метеоролошкој станици Пожега у периоду 1961-2000.

Табела 27. Морфометријске карактеристике слива и водотока

F	Површина слива	(km^2)	375.4929
O	Обим слива	(km)	128.6759
L+	Дужина слива	(km)	42.7151
Lc	Растојање дуж водотока од тачке најближе тежишту слива до ушћа	(km)	20.6871
K i	Кота извора	(m)	1285
K u	Кота ушћа	(m)	339
I1	Кота уравнатог пада	(m)	645
I	Просечан пад	(‰)	22.14673
I	Просечан пад	(%)	2.214673
I1	Уравнати пад	(‰)	7.163743
I1	Уравнати пад	(%)	0.716374
tp	Време		7.761164
k	Коефицијент	/	2.2

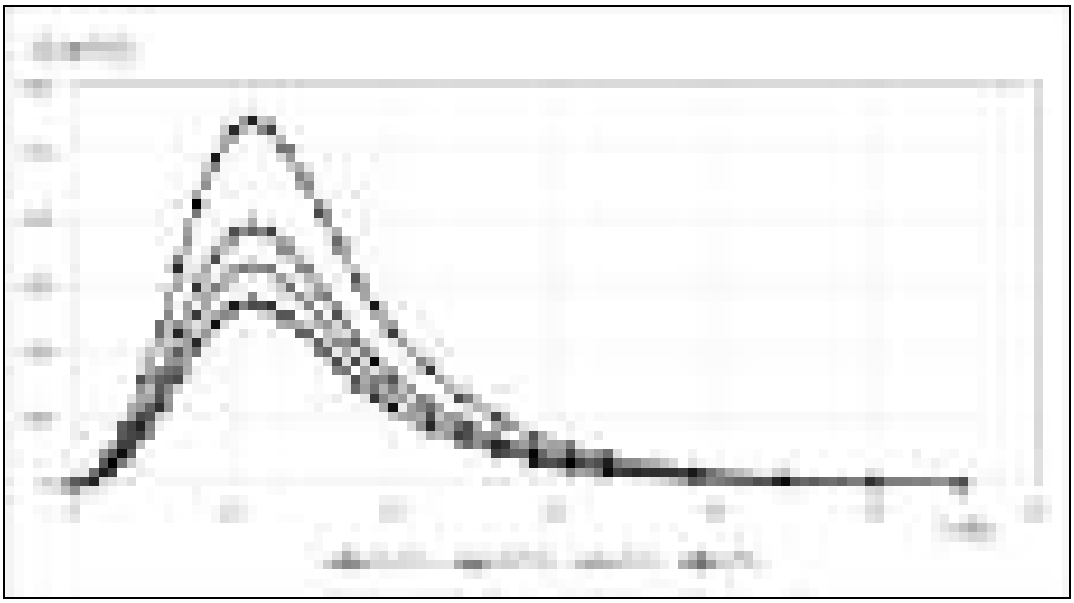
Као резултат прорачуна добијене су вредности приказане у табели 28, а хидрограми максималних протицаја на одабраној деоници реке Скрапеж на слици 45.

[24] У сливу реке Скрапеж постоје две хидролошке станице. Једна је у Косјерићу, а друга у Пожеги и од најузводнијег дела одабране деонице удаљене су 16.6 km, односно 12.6 km.

Табела 28. Максимални протицај за одређене вероватноће појављивања, вредности елемената синтетичког јединичног хидрограма и ефективних падавина

	Tk (h)	tp (h)	Tp (h)	Tr (h)	Tb (h)	Pbr (mm)	d (mm)	Pe (mm)	qmax (l/s/km^2)	Q (m^3/s)
0.1%	6.67	7.75	11.09	16.08	27.16	113.42	48.38	70.75	7.74	547.73
0.5%	7.33	7.75	11.42	16.56	27.98	92.00	48.38	51.85	7.52	389.72
1%	7.67	7.75	11.59	16.80	28.39	83.40	48.38	44.51	7.41	329.71
2%	8.00	7.75	11.75	17.04	28.80	75.02	48.38	37.55	7.30	274.19

Tk – трајање ефективне кише, tp – време кашњења слива, Tp – време пораста хидрограма, Tr – време опадања хидрограма, Tb – временска база, Pbr – укупне падавине, d –потенцијално могућа инфилтрација, Pe – ефективне падавине, qmax – максимални специфични отицај, Qmax – максимални протицај



Слика 45. Хидрограми максималних протицаја на одабраној деоници реке Скрапеж за вероватноћу појављивања 0.1%, 0.5%, 1% и 2%

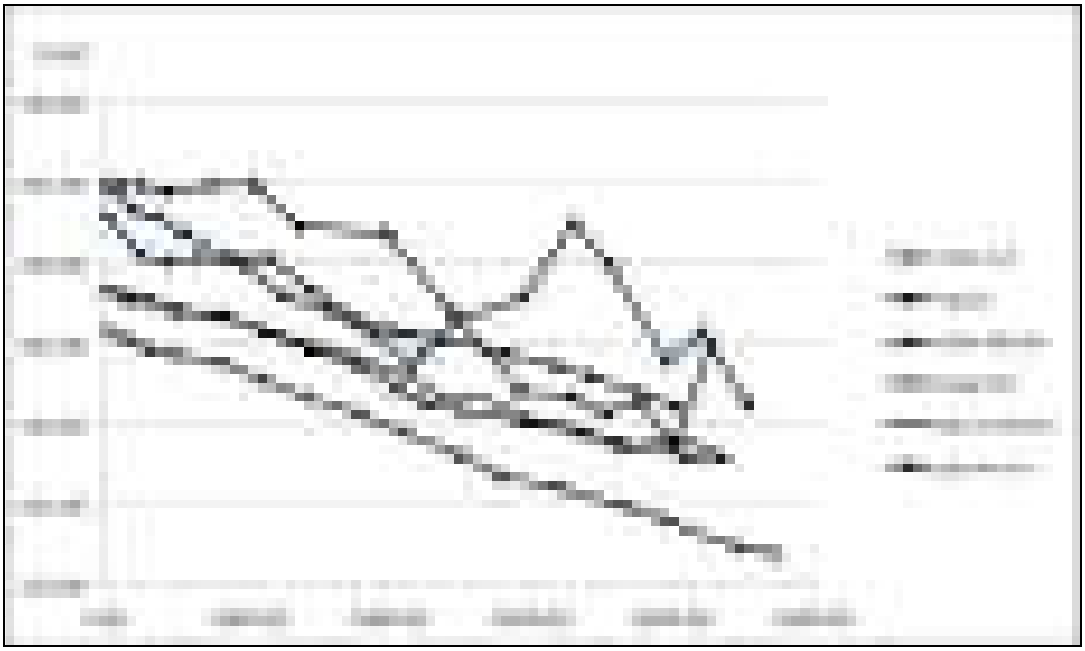
2) Топографске карте 1:25000 и дигитални модел висина (ДМВ) настао Shutle Radar снимањем (SRTM) резолуције 30x30 m, није дао задовољавајуће резултате у погледу висинске тачности, а нарочито за идентификацију положаја и висине речног корита. Стога су организована теренска истраживања на којима су извршена геодетска снимања плавне зоне са циљем добијања квалитетнијег ДМВ-а са подацима о висинама који су центиметарске тачности. Снимљене су 173 тачке GPS инструментом (*TOPCON GPS rover*), који је подешен за рад у мрежи перманентних GPS станица (слика 46). Приликом мерења водило се рачуна да се мере карактеристичне тачке (водоток, лева и десна обала минор корита и лево и десно мајор корито, као и железничка пруга која се простире готово паралелно са

водотоком дуж његове леве стране) на изабраној деоници дугачкој око 4.5 km. Изабрано је да измерене тачке буду у GK пројекцији са TRST параметрима. На појединим местима терен је био неприступачан, док на појединим местима због високог растиња није било могуће успоставити везу са сателитима.

Слика 46. Мерење кота у циљу добијања квалитетнијег ДМВ (фото. Ј. Ковачевић-Мајкић)

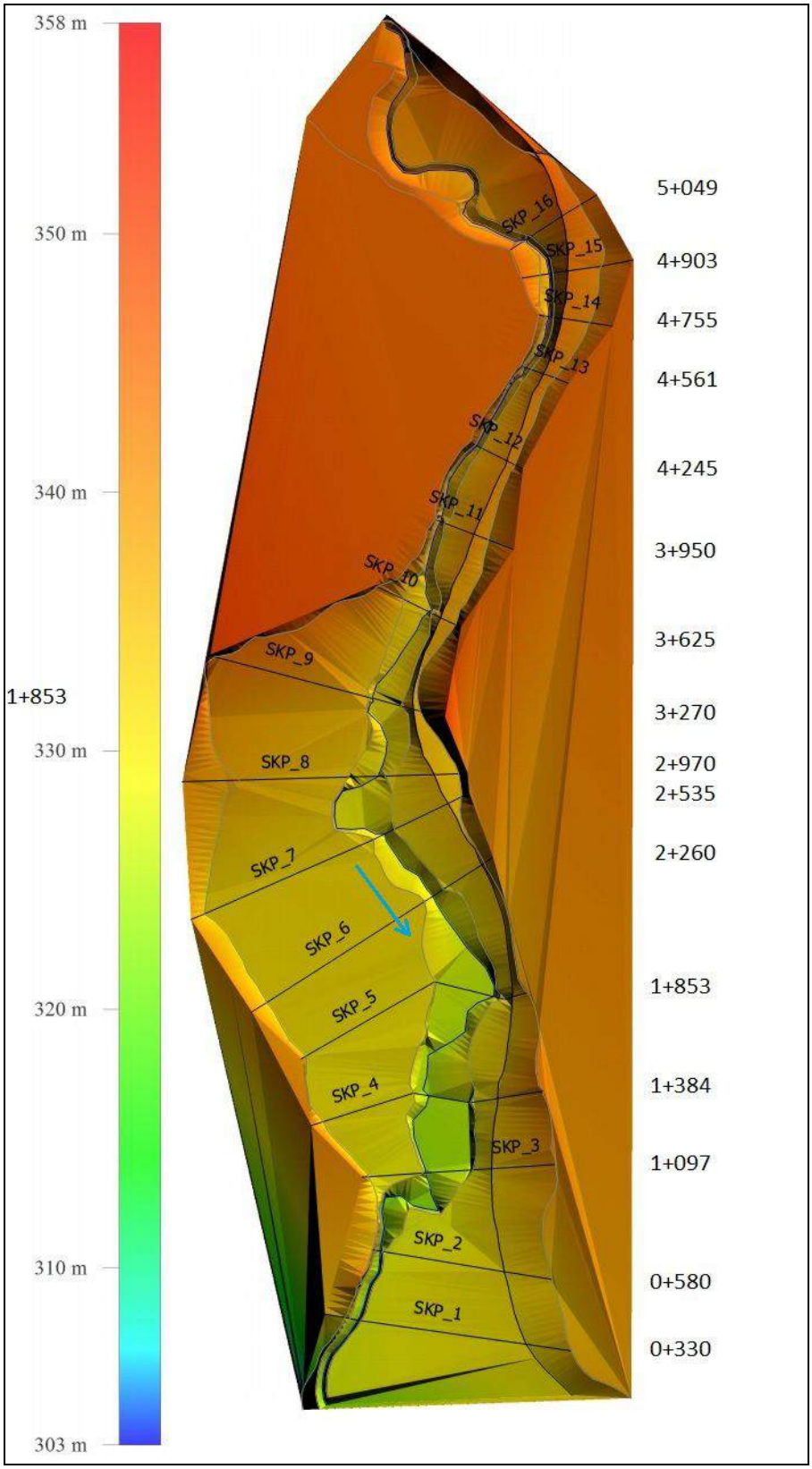
На местима на којима није било могуће измерити висину терена , оне су одређене интерполацијом на основу висина измерених и познатих тачака. Од тих тачака формирано је неколико карактеристичних уздужних профила (водоток, обале минор и мајор корита, железничка пруга) приказаних на слици 47, који су са

осталим „расутим“ тачкама учествовали у формирању ДМВ, од чијег квалитета зависи тачност хидрауличких прорачуна.



Слика 47. Карактеристични уздужни профили реке Скрапеж на одабраној деоници

Затим су из ДМВ добијени и попречни профили. На изабраној деоници одабрано је 16 попречних профила, који су на просечној међусобној удаљености око 250 m. Положај попречних профила са стационажама приказан је на слици 48. Ови профили су били неопходни за хидрауличке прорачуне.



Слика 48. Положај попречних профила на ДТВ

Храпавост речног корита и алувијалне равни је одређена тако што су прављене фотографије (слика 49), а затим је она накнадно процењена на основу израза, чији је преглед дат у раду Barnes (1976). У кориту се налази шљунак и камен различите гранулације (слика 49а), а у алувијалној равни траве, засади пшенице и кукуруза, као и малињаци (слика 49б). На одабраној деоници се налазе и два моста предвиђена за друмски саобраћај, док је трећи срушен током поплаве 2014. године и његови остаци још увек стоје у кориту (слика 49в). Такође се управо око мостова задржава органски и неорганski отпад који повећава рапавост корита и ствара успор воде чиме се повећава ризик од поплава (слика 49г).

Слика 49. Храпавост речног корита и алувијалне равни (фото. М. Урошев)

Ради прорачуна плавне зоне изабран је модел линијског (1D) течења, које је непромењиво (устаљено), а протицаји одговарају максималним протицајима добијеним хидролошким прорачунима и чије су вредности константне, то јест истовремене, на свим попречним профилима. Временска неистовременост

проласка поплавног таласа је занемарена, јер тако одговара најнеповољнијем сценарију, што је оправдано са аспекта сигурности. Хидраулички прорачуни су изведени у софтверском пакету *HEC-RAS*.

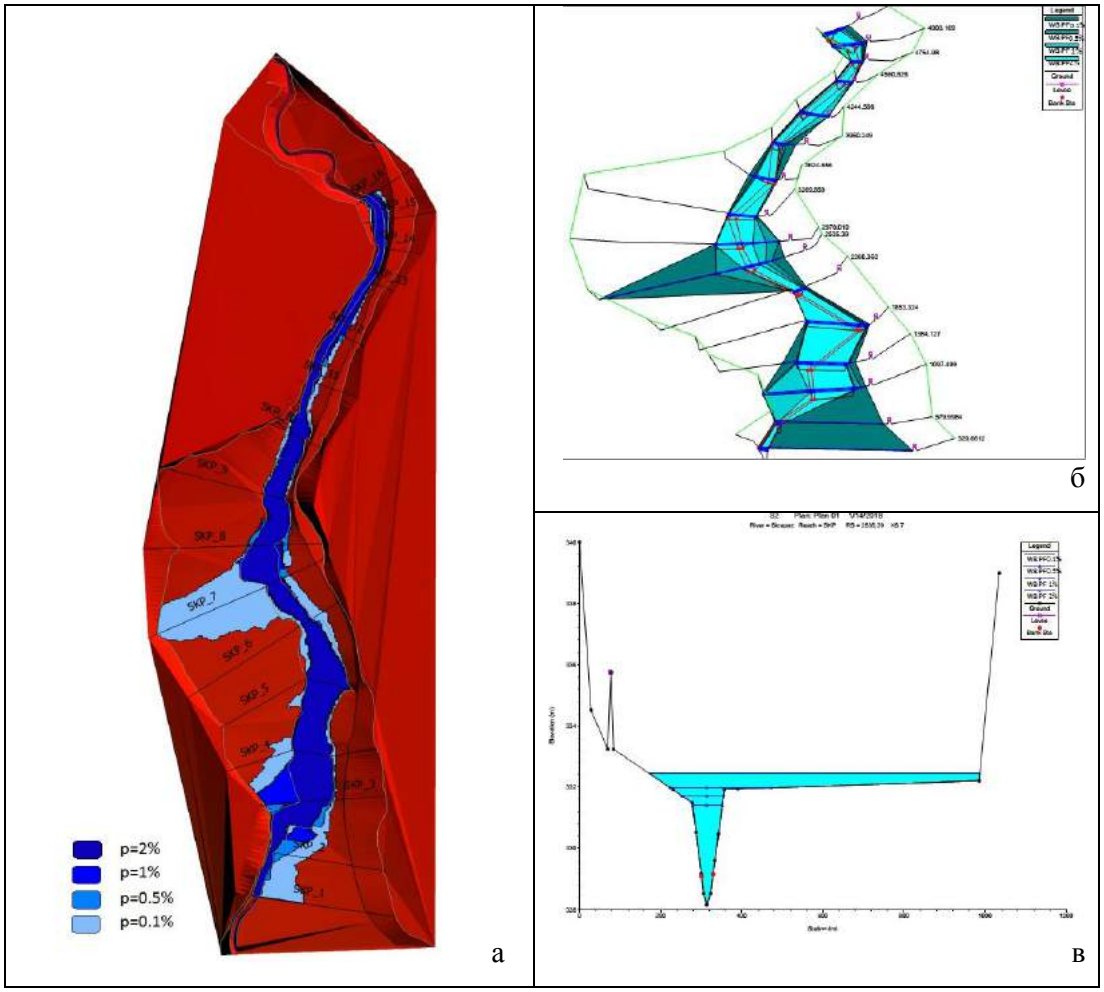
3) Добијене су карактеристике течења на попречним профилима за четири различите вероватноће појављивања. Нивои воде су приказане у табели 29, док су ширина и површина плављења, као и брзине воде дате у прилогу Д.

Табела 29. Израчунати нивои воде на попречним профилима при различитим вероватноћама појављивања великих вода

		Нивои воде (m)			
Попречни профил	**Стационажа** (km)	**0.1%** Qmax=547.73 (m^3/s)	**0.5%** Qmax=389.72 (m^3/s)	**1%** Qmax=329.71 (m^3/s)	**2%** Qmax=274.19 (m^3/s)
СКП_16	5+049	341.05	340.28	339.95	339.58
СКП_15	4+903	341.28	340.3	339.93	339.59
СКП_14	4+755	339.96	339.37	339.17	339
СКП_13	4+561	339.71	339.13	338.96	338.82
СКП_12	4+245	338.8	338.24	338.05	337.58
СКП_11	3+950	337.45	336.4	336.2	335.98
СКП_10	3+625	335.69	334.68	334.45	334.23
СКП_9	3+270	334.15	333.63	333.37	333.1
СКП_8	2+970	333.62	333.24	332.88	332.54
СКП_7	2+535	332.67	331.98	331.72	331.41
СКП_6	2+260	332.2	330.02	329.71	329.6
СКП_5	1+853	330.44	329.89	329.4	328.92
СКП_4	1+384	330.19	329.69	329.17	328.63
СКП_3	1+097	330.14	329.63	329.09	328.53
СКП_2	0+580	329.85	328.08	327.67	327.24
СКП_1	0+330	328.58	327.95	327.49	327.01

На слици 50а и 50б су приказане добијене границе плавних зона за четири сценарија. Велика вода са вероватноћом појављивања 2% (50-годишња вода излива се из речног корита узводно од 11-ог попречног профила и то у већој мери са леве стране, као и између седмог и осмог попречног профила. Према сценарију 100-годишње воде (1% вероватноће појављивања), осим на поменутим местима, вода плави десну страну инундације између трећег и четвртог профила, и леву

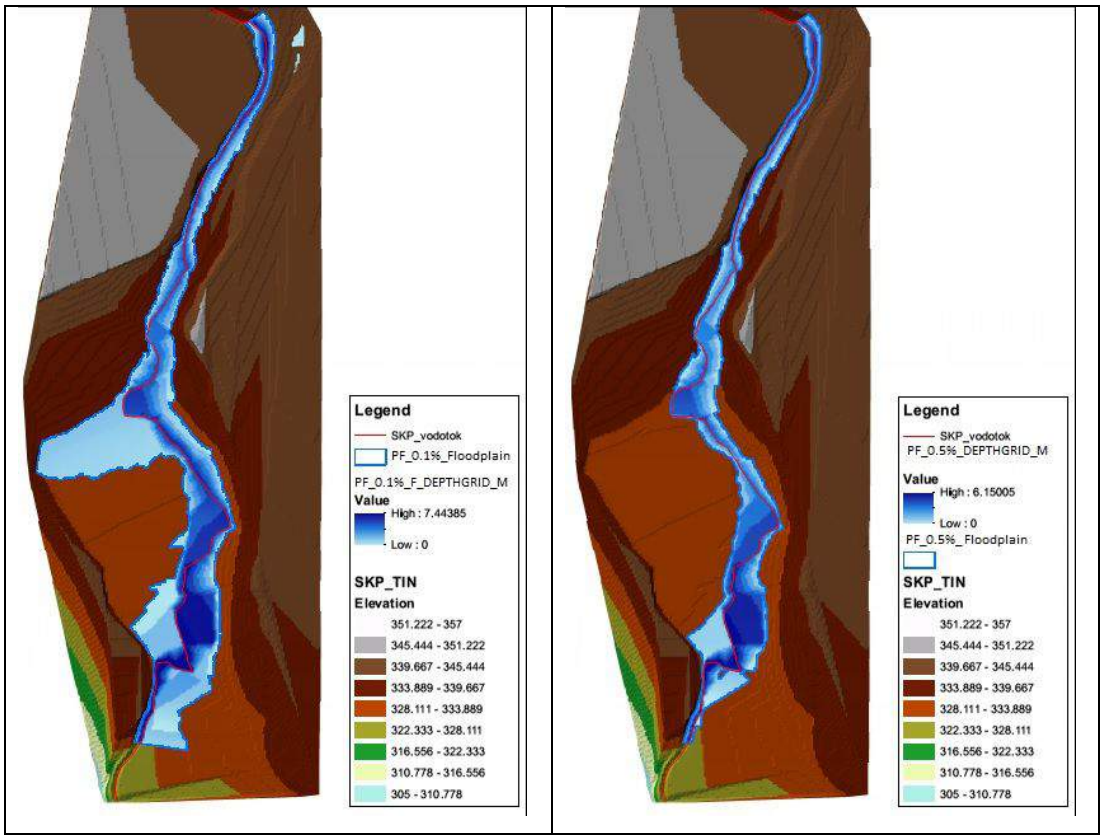
страну између другог и трећег профила. На истим местима само у већој мери плави 200-годишња вода (0.5% вероватноће појављивања). Велика вода вероватноће појављивања 0.1% (1000-годишња вода) готово на свим местима се излива из речног корита, а највише се распростире на десној страни инундације између шестог и осмог профила. Иако се десна страна инундације између четвртог и шестог профила не налази у плавној зони она је индиректно угрожена[25] јер је са три стране окружена плавном зоном, а са четврте (западне) стране је ограничена брдом преко којега не воде саобраћајнице. На слици 50в дат је попречни профил на којем долази до највећег изливања, док су сви профили дати у прилогу Ђ.



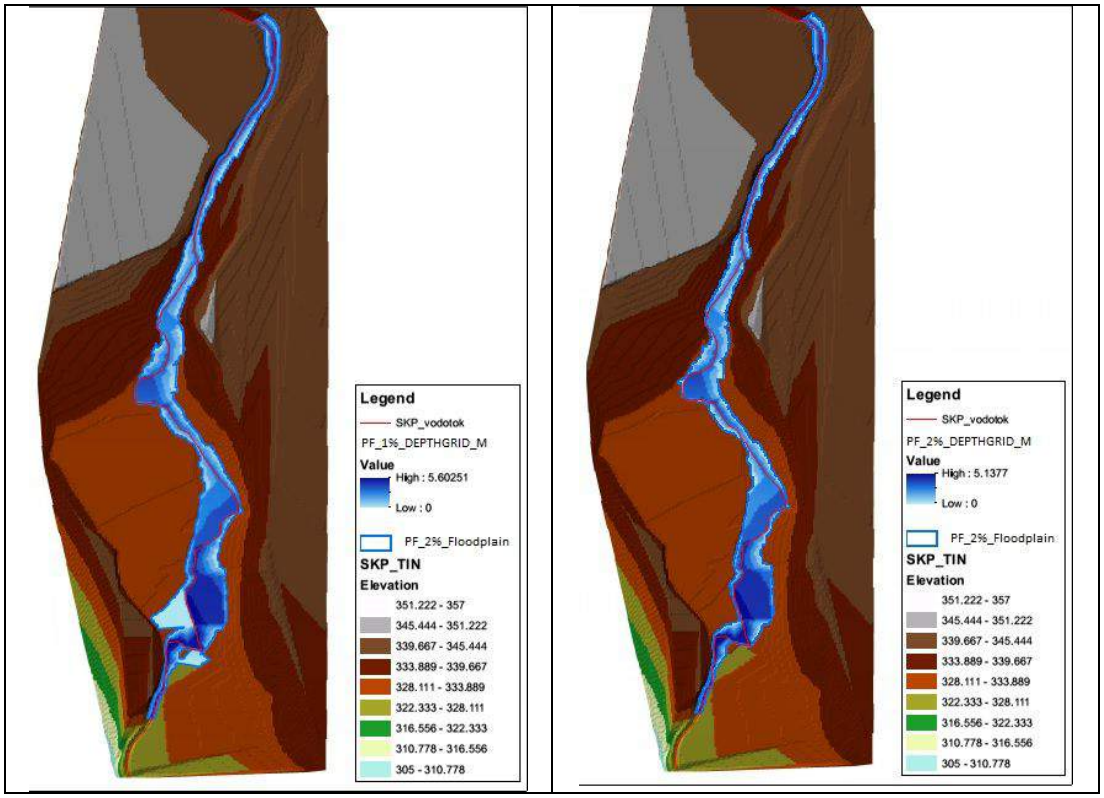
Слика 50. Плавне зоне при различитим вероватноћама појављивања великих вода (0.1%, 0.5%, 1%, 2%)

[25] Објашњење директно и индиректне угрожености је дато у поглављу 2.1.3.1.

Осим граница плавне зоне урађене су и дубине плављења и представљене су на слици 51 за сва четири сценарија. Дубине плављења као и трајање плављења могу бити значајни показатељи хазарда и знатно утицати на величину ризика с обзиром на то да што су дубине плављења веће и што је дуже задржавање воде, то су и потенцијалне штете веће. Овакве податке је стога значајно обезбедити за просторе на којима је велик индекс изложености и рањивости.



Слика 51. Дубине плављења при различитим вероватноћама појављивања великих вода (0.1%, 0.5%)



Слика 51 (наставак). Дубине плављења при различитим вероватноћама појављивања великих вода (1%, 2%)

5. ЗАКЉУЧЦИ

У овој дисертацији је развијена методологија и модел за процену ризика од бујичних поплава, с обзиром на то да оне представљају једну од најчешћих природних непогода у Србији. Процена ризика је урађена за природне целине (сливове), с обзиром на чињеницу да је најбоље да се водопривредним решењима бавимо на нивоу слива. У складу са тим прво су одређени критеријуми за избор, а затим су и изабрани сливови који су послужили за процену ризика на макро (националном) нивоу детаљности (сливови река Скрапеж, Белица и Лужница). Након тога су одређени критеријуми за избор просторних јединица нижег реда у односу на слив (сливне површине) за процену ризика на мезо (регионалном) нивоу детаљности, која је показана на примеру реке Скрапеж. При томе су као бујичне третиране све категорије токова како по хидрографској класи, тако и по врсти наноса, а као бујичне поплаве, двофазни флуиди, односно све врсте падинских процеса које садрже течну компоненту, без обзира на одлике чврсте компоненте.

С обзиром на то да су у Директиви о поплавама, Закону о водама и Методологији за израду процене ризика од непогода дате препоруке и оквирни садржај података (показатеља) који указују на ризике од поплава, допринос овог рада је у разради методологије за избор и самом избору одговарајућих показатеља, као и указивање на њихов шири и ужи спектар с обзиром на величину простора за који се ради процена и с обзиром на доступност података.

Подаци су организовани у четири компоненте које описују ризик (хазард, изложеност, рањивост и отпорност, која је у циљу коришћења креираног математичког модела преведена у своју реципрочну вредност и названа неотпорност). Све компоненте се састоје од одређеног броја сегмената, које чине под-сегменти, а сваки од њих описују показатељи међу којима има и оних који су сачињени од под-показатеља. Моделирању података претходила је њихова припрема и обрада, статистичка анализа и нормализација како би се вредност сваког од њих кретала између 0 и 1 и омогућило њихово поређење с обзиром на разнородност како мерних јединица, тако и распона у вредностима. Вредности

индекса ризика и његових компоненти су израчунате помоћу израза који су креирани по аналогији на рачунање укупне грешке (одступања). При томе су све четири компоненте подједнако третиране и имају једнаку тежину 0.25, док су тежински коефицијенти сегмената, под-сегмената, показатеља и под-показатеља одређени квалитативном методом, при чему је у оквиру сваке од њих збир тежинских коефицијената 1.

Директивом о поплавама и Законом о водама РС ризик од поплава се процењује за плавну зону, односно за зону угрожености, док се у оквиру Inspire директиве разликују зоне: зона у којој постоје елементи који су изложени хазарду и који могу и не морају да буду рањиви од датог хазарда, као и зона у којој елементи нису директно изложени хазарду (нису у зони угрожености), али јесу рањиви. И у овој дисертацији је цео простор слива третиран као угрожен од поплава. У поглављу Издвајање условних компоненти, сегмената и показатеља (3.2.3.) дато је објашњење о потврђивању хипотезе да бујичне поплаве угрожавају све делове слива. При томе је простор плавне зоне одређен као простор у коме се реализује поплава, те је он проглашен простором директне угрожености, а простор изван плавне зоне простором који може бити само индиректно угрожен, то јест њему само функционалност може бити ометена на релативно кратко време, али не трпи директне штете. Стога је као простор за који се процењује ризик одабран простор плавне зоне, тачније њеног пресека са издвојеним сливним површинама.

За одређивање плавне зоне коришћени су геоморфолошки показатељи, тачније флувијални акумулативни облици рељефа (алувијалне равни и плавине). Овако одређена плавна зона названа је геоморфолошка плавна зона и према својим карактеристикама блиска је плавној зони на којој може да се догоди поплава са малом вероватноћом појаве и великим повратним периодом, што је најгори сценарио, али са аспекта управљања ризицима и сигурности је исправно одредити је на тај начин. Геоморфолошке карте у размери 1:100 000 су биле доступне као извори података за целе сливове, што је омогућило процену ризика и поређење како на макро, тако и на мезо нивоу детаљности. На примеру једне речне деонице (једне сливне површине) у сливу реке Скрапеж одређена је плавна зона на основу

хидролошко-хидрауличких прорачуна. То је захтевало детаљна (геодетска) мерења топографије у циљу добијања дигиталног модела висина (ДМВ) из кога су добијени попречни профили. На тим профилима су уз хидролошко-хидрауличке прорачуне добијене границе плавних зона и дубине плављења за четири сценарија, тачније максимални протицаји са вероватноћама појављивања 0.1%, 0.5%, 1% и 2%, како је препоручено Директивом о поплавама и Законом о водама РС. Карте плавних зона су засноване на хипотетичком стању поплављености, које подразумева истовремено појављивање максималних протицаја на свим попречним профилима, али је овакав поједностављени модел најбољи са аспекта сигурности. На овај начин одређена плавна зона није могла да буду добијена за простор целог слива, јер изискује велика улагања времена и новца и у пракси се овакво одређивање плавне зоне најчешће спроводи пројектно, најчешће на мањем простору и уз учешће стручњака различитих профила. Овде приказани резултати су пример израчунавања и одређивања плавне зоне на тај начин и нису могли да буду коришћени за процену ризика, јер нису били на располагању на нивоу сливова.

За израчунавање индекса хазарда на макро нивоу детаљности, осим плавне зоне, коришћени су подаци о падавинама и ерозији као окидачима и главним условима за појаву бујичних поплава. С обзиром на то да су усвојени њихови прагови који доводе до бујичних поплава (дневне падавине ≥ 30 mm и ерозија I, II и III категорије), као показатељи хазарда су коришћени њихова учесталост када је реч о падавинама, односно површинска заступљеност у сливу кад је реч о ерозији. На мезо нивоу детаљности недостатак података о учесталости дневних падавина је био ограничаајући фактор за коришћење тог показатеља.

Граница реализације бујичне и речне поплаве није квантитативно одређена, али с обзиром на то да је усвојено да се као бујичне поплаве третирају оне које су изазиване дневним падавинама које су по интензитету ≥ 30 mm уз присуство ерозије I, II и III категорије у сливу, такви сливови се могу третирати као бујични, а поплаве које се у њима под тим условима догоде као бујичне поплаве.

Оно што је другачије у овој дисертацији је и што су за оцену хазарда осим величине геоморфолошке плавне зоне, падавина и ерозије коришћени и други показатељи који се односе на слив која гравитира ка геоморфолошкој плавној зони. Крајњи критеријум за одабир показатеља за процену ризика је била њихова релативно лака доступност. Њихов одабир је резултирао са 23 показатеља на мезо нивоу детаљности и 27 показатеља на макро нивоу детаљности. Такође, одабрани списак показатеља не мора да буде коначан, тачније овај модел се у смислу броја показатеља може надограђивати.

Применом модела на слив Скрапежа добијени су резултати који су верификовани на нивоу хазарда (упоређивањем са Пописом бујица за слив реке Скрапеж и са бујичним поплавама за које постоје подаци о штетама). Ови резултати су прихваћени као задовољавајући, а коришћење овог модела за процену ризика као поуздано. То је значило да се овај модел може применити и на другим сливовима, што је и учињено на друга два слива (слив Белице и Лужнице). Затим је уследила процена ризика на макро нивоу.

Анализа добијених резултата је показала да ризик највише зависи од компоненти изложености и рањивости без обзира на ниво детаљности, што је у складу са његовом дефиницијом. То значи да уколико нема елемената који су изложени хазарду и који су рањиви нема ни ризика, тако да се у том случају ради о природном процесу. С тим у вези најмањи ризик имају оне сливне површине које имају најмање индексе изложености и рањивости, док су са највећим ризиком оне које су најгушће насељене (градска и приградска насеља). Велика зависност ризика је и од компоненте хазарда, која је највећа у оним деловима слива где је највећа површина под геоморфолошком плавном зоном и са великом заступљеносшћу ерозије великог интензитета. Утицај неотпорности, односно непостојања мера превенције у ширем и ужем смислу, на индекс ризика је најмањи, али сливне површине које имају заступљене такве мере имају најмању неотпорност и утичу на смањење ризика у њима. Овим су потврђене хипотезе да ризик од бујичних поплава у највећој мери зависи од хазарда и демографских одлика простора (изложености и рањивости) и да се на смањење ризика од

бујичних поплава може утицати променама у простору које се пре свега односе на рањивост и отпорност. Објашњење је дато у поглављу Резултати и дискусија (4.3.1.).

Посматрано на макро нивоу, поређењем три одабрана слива (Скрапеж, Белица и Лужница), у сливу Белице је спроведено највише мера те он има најмању неотпорност, али као најгушће насељен и са најразвијенијом привредном делатношћу има највећи ризик. Највећи индекс хазарда је у сливу Скрапежа.

Односи између индекса ризика и његових компоненти и показатеља који их одређују нису тачно дефинисани емпиријским или теоријским везама, те тако и величине индекса нису апсолутне, већ релативне и говоре о међусобним односима између површина за које се процењује ризик. То је у складу са типом развијеног модела који је концептуални (структурни). На његову тачност утиче пре свега квалитет (тачност) улазних података и адекватност одабраних показатеља.

Верификација модела, односно тестирање његове осетљивости, је урађена мењањем улазних података и мењањем тежинских коефицијената компоненти. Мењање улазних података се односило на промене у учесталости дневних падавина ≥ 30 mm према сценаријима климатских промена A1B и A2 до 2040. године, као и на промене броја становника према пројекцији средње варијанте фертилитета за 2041. годину. Промене улазних података су довеле до промена индекса компоненти којима припадају, као и до промена индекса ризика, чиме се потврдило да је модел осетљив на промене улазних података. Такође је утврђено да значајност тих промена зависи од величине улазних података. Овим су потврђене хипотезе да ће климатске и демографске промене утицати на промене ризика од бујичних поплава. Објашњење је дато у поглављу Резултати и дискусија (4.2.1.). Мењањем тежинских коефицијената компоненти такође се мењају вредности индекса ризика, али се то осећа код оних сливних површина и сливова код којих су вредности индекса ризика мале, док се код оних код којих су велике то не осећа. Тиме се потврђује констатација да су код концептуалних модела кључне вредности улазних података.

Значај добијених резултата се може окарактерисати као друштвни и научни. Друштвени се огледа у томе што ова дисертација, с обзиром на то да се бави проценом ризика и његовим картирањем, спада у део превентивних мера у циклусу управљања ризицима. Процена ризика омогућавава да се уоче разлике у оквиру слива (мезо, регионални ниво) и да се на основу њих доносе одлуке о управљању ризицима у оквиру слива. Такво рангирање служи јединицама локалне управе у управљању ризиком од бујичних поплава. У другом случају подаци прикупљени на мезо нивоу служе за процену ризика на државном нивоу (макро, национални ниво). Ти резултати указују на разлике у оквиру државе и служе да се у управљању ризиком од бујичних поплава усмери деловање на општине и сливове који имају највеће ризике. Овакве студије служе управо за детерминисање простора са високим ризиком од бујичних поплава, а урађене за природне целине (сливове) омогућавају сагледавање природних услова који су довели до повећаног ризика, те усмеравање активности ка њиховом уклањању, односно краткорочно и дугорочно планирање управљања ризиком од бујичних поплава. Иако модел није прогностички, показане позитивне промене учесталости падавина и броја становника указују да ће доћи до повећања индекса ризика, као и да ће у складу са тим бити неопходно дугорочно планирање управљања ризицима. Негативне промене броја становника указују на пражњење сеоских средина и тиме смањење ризика на тим просторима, што такође треба да доведе до мењања планираних активности на тим просторима. Уједно, како је са једне стране према Директиви о поплавама и националној регулативи свака држава и свака општина дужна да сачини процену угрожености и ризика од поплава и бујичних поплава, а са друге стране није прописана тачна методологија за њено спровођење, то је значај ове дисертације у томе што предлаже комплексније сагледавање процене процене ризика од бујичних поплава.

Научни значај ове дисертације је, осим развијене методологије, и у апострофирању системског приступа када су у питању комплексни проблеми и када је потребно проценити ризик за хетерогене просторе. Такође, предложени модел се може надоградити у циљу тачнијег одређивања показатеља, одређивања унутарзоналности у оквиру геоморфолошке плавне зоне, тачнијег одређивања

функционалних зависности између свих елемената који чине систем за који се утврђује ризик, те преиспитивања броја показатеља и тражења још адекватнијих показатеља које укључује мултидисциплинарне и интердисциплинарне тимове научника и стручњака. Пошто је показано да излазни резултати у највећој мери зависе од тачности улазних података, то је рад на прикупљању података један од најзахтевнијих послова и укључује теренски рад јер се неки од података мењају великом динамиком (на пример коришћење земљишта). Будућа истраживања се могу односити и на праћење промена вредности ризика које су изазване мерама за његово смањење. Такође, истраживања могу да буду усмерена на микро ниво детаљности, тачније на оне просторе који су идентификовани као простори са повећаним ризиком од бујичних поплава.

За рад на смањењу потенцијалних штета од природних непогода потребно је ангажовање целокупне заједнице, како управних органа, законодавства, стручних и научних служби, образовних и здравствених установа, невладиних организација, тако и појединаца, а да би њихово деловање имало добар ефекат, потребна је њихова сарадња. Потребно је синхронизовати рад законодавства, струке и науке, образовања, просторног планирања (правилан избор намене простора), службе спашавања у случају непогоде (Сектора за ванредне ситуације, службе спашавања, војске, ватрогасаца, здравствене службе...), а све у циљу смањења ризика од природних непогода.

С обзиром на то да је овом дисертацијом потврђено да ризик у највећој мери зависи од хазарда и демографских одлика простора (изложености и рањивости), а да се на његово смањење може утицати пре свега смањењем рањивости и повећањем отпорности, може се закључити да ће најбољи ефекат на смањење ризика бити ако се делује на изложеност и рањивост, а то подразумева активности које су највише у могућности да спроведу органи управе – да планирају коришћење простора у складу са процењеним ризиком.

Литература

На ћирилици

Бајат, Б. & Штрбац, Д. (2005). Утицај извора података на тачност дигиталног модела терена. *Гласник српског географског друштва 85(1)*, 265-280

Бурић, Д., Станојевић, Г., Луковић, Ј., Гавриловић, Љ. & Живковић, Н. (2012). Климатске промене и водност река - пример Колубаре, Бели Брод. *Гласник српског географског друштва 92(1)*, 123-134

Вучићевић, Д. (1995). *Уређење бујичних токова – приручник за бујичаре*. Друштво бујичара Југославије, Београд.

Гавриловић, Љ. (1981). *Поплаве у Србији у XX веку – узроци и последице*. Посебно издање СГД, књ.52. Београд

Гавриловић, Љ. & Дукић, Д. (2014). *Реке Србије*. Завод за уџбенике, Београд

Гавриловић, С. (1975). Бујични токови у СР Србији. Републички Фонд за воде и Институт за Водопривреду ерозионих подручја Шумарског факултета, *Изградња,* специјално издање, Београд.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, Институт за хидротехнику и водно еколошко инжењерство & ЕХТИНГ д.о.о. Еколошки инжењеринг и консалтинг у хидротехници (2012). *Студија и план заштите од поплава територијалне јединице локалне самоуправе града Чачка*. Београд

Грчић, М. (2001). Теоријско-методолошки проблеми географије, *Глобус 26*, 41-54

Живковић, Н. (1995). *Утицај физичко-географских фактора на висину отицаја у Србији.* Географски факултет Универзитет у Београд, 1-113

Живковић, Н. (2009). *Просечни годишњи и сезонски отицаји река у Србији*. Географски факултет Универзитет у Београду, 1-175

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ (2001). *Водопривредна основа Републике Србије*. Београд

Институт за шумарство и дрвну индустрију. (1983 a). *Карта ерозије Републике Србије 1:500000*. Институт за шумарство и дрвну индустрију – одељење за ерозију и мелиорације, Београд

Институт за шумарство и дрвну индустрију. (1983 b). *Карта ерозије Републике Србије 1:500000 - тумач*. Институт за шумарство и дрвну индустрију – одељење за ерозију и мелиорације, Београд

Јевтић, Љ.(1978). *Инжењерски приручник за решавање проблема из области бујичних токова и ерозије*. Београд

Ковачевић-Мајкић, Ј. (2009). *Хидрогеографска студија реке Скрапеж*. Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Српско географско друштво, Београд. стр. 133

Лазаревић, Р. (2000). *Геоморфологија*, II издање. ПМФ Бања Лука, одсјек за географију.

Марковић, М., Павловић, Р. & Чупковић, Т. (2003). *Геоморфологија*. Завод за уџбенике, Београд

Менковић, Љ. & Кошћал, М. (1981). *Геоморфолошка карта Србије 1:100000. Тумач за листове: Зворник, Владимирци, Љубовија, Ваљево и Горњи Милановац.* Фонд стручних докумената Геолошког завода Србије, Београд

Менковић, Љ. & Кошћал, М. (1982). *Геоморфолошка карта Србије 1:100000. Тумач за листове: Вишеград, Титово Ужице, Чачак, Краљево и Параћин.* Фонд стручних докумената Геолошког завода Србије, Београд

Менковић, Љ., Кошћал, М. & Мијатовић, М. (1988). *Геоморфолошка карта Србије 1:100000. Тумач за листове: Бела Паланка, Пирот, Брезник и Власотинце*. Фонд стручних докумената Геолошког завода Србије, Београд

Милић, Ч. (1984). Фосилне и рецентне плавине у долинском систему Власине. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ (36)*, стр. 49-76

Милошевић, В.М. (2010). *Клизишта на територији града Јагодине.* Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд. стр. 137

Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде (2016). *Нацрт Стратегије управљања водама на територији Републике Србије.*

Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде (2013). *Оперативни план за одбрану од поплава за 2013. годину*

Петровић, А. (2014). *Фактори настанка бујичних поплава у Србији*. Докторска дисертација. Шумарски факултет Универзитета у Београду. Београд, 207 стр.

Реонска секција за заштиту земљишта од ерозије и уређење бујица (1965). *Попис бујица и ерозивних површина слива реке Скрапеж*. Титово Ужице

Републички завод за статистику (2011). *Попис становништва*

Републички завод за статистику (2014). *Пројекције становништва Републике Србије 2011-2041. Подаци по општинама и градовима*. Републички завод за статистику, Београд

Ристић, Р. (1999). *Режим појаве и карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији*. Докторска дисертација, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд

Ристић, Р. & Малошевић, Д. (2011). *Хидрологија бујичних токова*. Шумарски факултет, Београд

Ристић, Р., Радић, Б. & Васиљевић, Н. (2009). Карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији. *Гласник српског географског друштва 89(4)*, 161-190

Ршумовић, Р. (1986). Ерозионо-денудациони процеси Шумадије – рововска корита – индикатори савремених тектонских покрета. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ 38,* 7-30

Савезни хидрометеоролошки завод (1995). *Каталог река у СРЈ*. Београд

Симоновић, С. (2015). *Управљање водним ресурсима: Нови приступ условљен глобалним променама*. Министарстарство пољопривреде и заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине. РХМЗ, Београд, усмено предавање

Службени гласник РС 30 (2010). *Закон о водама.*

Службени гласник РС 86 (2011). *Национална стратегија заштите и спасавања у ванредним ситуацијама.*

Службени гласник РС 1 (2012). *Правилник о утврђивању метологије за израду прелиминарне процене ризика од поплава.*

Службени гласник РС 93 (2012а). *Закон о ванредним ситуацијама.*

Службени гласник РС 93 (2012б). *Закон о изменама Закона о водама.*

Службени гласник РС 96 (2012). *Упутство о методологији за израду процене угрожености и планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама.*

Службени гласник РС 101 (2016). *Закон о изменама и допунама Закона о водама.*

УН, ЕУ & Светска банка (2014). *Поплаве у Србији 2014*, Београд, 176 стр.

Урошев, М., Ковачевић-Мајкић, Ј., Штрбац, Д., Милановић Пешић, А., Милијашевић, Д., Јаковљевић, Д. & Петровић, А. (2017). *Воде Србије.* У Радовановић, М. (Ур.) *Географија Србије*. Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд

Штрбац, Д., Ковачевић-Мајкић, Ј. & Миљановић, Д. (2012). Одређивање годишње количине падавина применом ГИС-а. *Зборник радова са III конгреса српских географа*, Бања Лука, 213-222

На латиници

Abanco, C. & Hürlimann, M. (2014). Estimate of the debris-flow entrainment using field and topographical data. *Nat Hazards 71*, 363-383. DOI 10.1007/s11069-013-0930-5

Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology 47*, 107-124

Anagnostou, M.N., Kalogiros, J., Anagnostou, E.N., Tarolli, M., Papadopoulos, A. & Borga, M. (2010). Performance evaluation of high-resolution rainfall estimation by X-band dual-polarization radar for flash flood applications in mountainous basins. *J. Hydrol. 394 (1–2),* 4–16. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.06.026.

Anquetin, S., Manus, C., Braud, I., Vannier, O., Viallet, P., Boudevillain, B. & Creutin, J.D. (2010). Sensitivity of the hydrological response to the variabilitő of rainfall fields and soils for the Gard 2002 flash-flood event. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 134–147. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.002.

Arnell, N. (2002). *Hydrology and Global Environmental Change*. Pearson Education Limited

Balica, S-F. (2012). *Applying the Flood Vulnerability Index as a Knowledge base for flood risk assessment.* Dissertation. The Board for Doctorates of Delft University of Technology and of the Academic Board of the UNESCO-IHE, Institute for Water Education

Barnes, H. H. (1976). *Roughness characteristics of natural channels.* USGS science for changing world. US government printing office,Washington

Barredo, J.I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards 42(1)*, 125–148. doi:10.1007/s11069-006-9065-2.

Birkmann, J. (2005). *Danger need not spell disaster—but how vulnerable are we?* Research Brief, Number I. United Nations University, Tokyo

Birkmann, J. & Bogardi, J.J. (2004). Vulnerability assessment: the first step towards sustainable risk reduction. In: Malzahn D. & Plapp T. (Eds.) *Disasters and society – From hazard assessment to risk reduction*. Logos Verlag Berlin, Berlin,.75-82.

Bouilloud, L., Delrieu, G., Boudevillain, B. & Kirstetter, P.E. (2010). Radar rainfall estimation in the context of post-event analysis of flash-flood events. *J. Hydrol. 394 (1–2),* 17–27. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.02.035.

Borga, M., Anagnostou, E.N., Blöschl, G. & Creutin, J.D. (2010). Preface in: Flash floods: Observations and analysis of hydro-meteorological controls. *J. Hydrol. 394*, 1-3

Brajković, M. & Gavrilović, Z. (1989). Prirodni i antropogeni faktori važni za formiranje „nagle“ poplave. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 46-53

Brazdil, R., Kundzewicz, Z. & Benito, G. (2006). Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal, 51(5)*, 739-764

Calvache, M., Viseras, C. & Fernandez, J. (1997). Controls on fan development - evidence from fan morphometry and sedimentology; Sierra Nevada, SE Spain. *Geomofology 21*, 69-84

Chevalier, G.G., Medina, V., Hürlimann, M. & Bateman, A. (2013). Debris-flow susceptibility analysis using fluvio-morphological parameters and data mining: application to the Central-Eastern Pyrenees. *Nat Hazards 67*, 213-238. DOI:10.1007/s11069-013-0568-3

Coppock J.T. (1998). GIS and natural hazard: an overview from GIS perspective. In: Carrara, A. Guzzeti, F. (Eds.) *Geographical Information System in Assessing Natural Hazard*, 31-4. Kluwer Academic, Dordrecht.

Costa, J.E. (1988). Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows and debris flows. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Eds.), *Flood Geomorphology, 7*. John Wiley & Sons, Chichester, England, pp. 113–122.

Coussot, P. & Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews 40,* pp. 209-227

Cross, JA. (2001). Megacities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability. *Env Hazards 3(2)*, pp. 63-80

Cutter, S.L. & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proc Natl Acad Sci USA 105(7)*, 2301–2306

Ćalić, J., Panić, M., Miljanović, D., Kovačević-Majkić, J. & Milošević, M.V. (2015a). Education as key segment for prevention improvement in disaster risk management system in Serbia. In: Đorđević, I., Glamotchak, M., Stanarević, S. & Gačić, J. (Eds.) *20 Years of Human Security: Theoretical Foundations and Practical Applications*, pp. 177-186. Belgrade: University of Belgrade – Faculty of Security Studies

Ćalić, J., Kovačević-Majkić, J., Panić, M., Milošević, M.V. & Miljanović, D. (2015b). Non-systematic inclusion of DRR concepts and practices in the compulsory education

network, prior to formal inclusion into school curricula - Case study of Serbia. Input Paper Prepared for the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015. UNISDR. Available at: http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/bgdocs/inputs/Calic%20et%20al.,%202013.%20Non-systematic%20inclusion%20of%20DRR%20concepts%20and%20practices%20in%20the%20compulsory%20education%20network.pdf

Ćosić, Đ., Popov, S., Sakulski, D & Pavlović, A. (2011). Geo-information technology for disaster risk assessment. *Acta Geotechnica Slovenica 1,* 65-74.

Das, T., Haldar, S. Gupta, I & Sen S. (2014). *River bank erosion induced human displacement and its consequences. Living Rev. Landscape Res., 8.* doi:10.12942/lrlr-2014-3

Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B. & Yetman, G. (2005). *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis Synthesis Report*. Washington, D.C.: The World Bank.

Dimkić, M. & Despotović, J. (2012). Analysis of the changes of the streamflows in Serbia due to climate changes. In Berger et al. (Eds.) *Climate Change - Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects*. 167-177

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. (EU Water Framework Directive). (2000). Official Journal of the European Union L 327, 22.12.2000, pp. 0001 - 0073

Directive 2007/60/EC on the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks (EU Flood Directive). (2007). Official Journal of the European Union L288, 6.11.2007, pp. 27-34

Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). Official Journal of the European Union L 108, 25.4.2007, p. 1–14

Dowling, C. & Santi, P. (2014). Debris flows and their toll on human life: a global analysis of debris-flow fatalities from 1950 to 2011. *Nat Hazards 71*, 203–227. DOI: 10.1007/s11069-013-0907-4

Đarmati, Š. & Aleksić, Đ. (2004). *Razorne sile*. Radnička štampa, Beograd

Djurdjevic, V., Vuković, A. & Vujadinović Mandić M. (2015). Scenariji klimatskih promena za teritoriju Srbije – moguće posledice i opcije prilagođavanja. U: Filipović, D., Šećerov, V. & Radosavljević, Z. (Ur.) *Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine.* VIII naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem. Beograd:

Asocijacija prostornih planera Srbije i Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, str. 29-36

Djurdjevic, V. & Rajkovic, B. (2008): Verification of a coupled atmosphere-ocean model using satellite observations over the Adriatic Sea. *Ann. Geophys. 26*, 1935-1954, doi:10.5194/angeo-26-1935-2008.

Dolić, D., Kalenić, M., Marković, B., Dimitrijević, M., Radoičić, R. & Lončarević, Č. (1981). *Tumač za list Paraćin,* OGK 1:100 000. Beograd: Savezni geološki zavod

Dragicevic, S., Filipovic, D., Kostadinov, S., Ristic, R., Novkovic, I., Zivkovic, N., Andjelkovic, G ., Abolmasov, B., Secerov, V. & Djurdjic, S. (2011). Natural Hazard Assessment for Land-use Planning in Serbia. *Int. J. Environ. Res., 5(2)*, pp. 371-380

Engle, N.L., Johns, O.R., Lemos, M. & Nelson, D.R. (2011). Integrated and adaptive management of water resources: tensions, legacies and the next best thing. *Ecology and society 16 (1)*:19 http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art19/

European Spatial Planning Observation Network (2003). *Glossary of Terms*. http://www.gsf.fi/projects/espon/glossary.htm

Ercanoglu, M. & Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology 41*, pp. 720-730. doi 10.1007/s00254-001-0454-2

Gačić, J., Bošković, M. & Raković, J. (2013). Possibilities of the Republic of Serbia for reducing vulnerability to natural hazards. *J. Geogr. Inst. Cvijić. 63(3),* 195-212.

Gaume, E., Gaál, L., Viglione, A., Szolgay, J., Kohnová, S. & Blöschl, G. (2010). Bayesian MCMC approach to regional flood frequency analyses involving extraordinary flood events at ungauged sites. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 101–117. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.01.008.

Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Joachim Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, Gh., Szolgay, J., Tsanis, I., Velascom, D., & Viglione, A. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology 367*, pp. 70-78

Gavrilović, Lj., Milanović Pešić, A., & Urošev, M. (2012). A Hidrological Analysis of the Greatest Floods in the Serbia in the 1960-2010 Period. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 7 (4)*, 107-116.

Gavrilović, Z., Stefanović, M., Milovanović, I., Milojević, M. & Jurišić, S. (2009). Ostvareni rezultati borbe sa bujičnim poplavama i erozijom zemljišta. U: Isailović, D. & Petković, S. (Ur.) *Upravljanje vodnim resursima Srbije '09.* Institute for Water Resources Management "Jaroslav Černi", Belgrade, 233-244.

Gencer, EA (2013). *Natural disasters, urban vulnerability, and risk management: a theoretical overview*. In: The interplay between urban development, vulnerability, and risk management a case study of the Istanbul metropolitan area, Mediterranean Studies 7. Springer, Berlin, pp 7–43

Golledge, R.G. 2002: The Nature of Geographic Knowledge. *Annals of the Association of American Geographers 92 (1)*, pp. 1–14

Gosling, S. & Arnell, N. (2013). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-013-0853-x

Gourley, J.J., Erlingis, J.M., Smith, T.M., Ortega, K.L. & Hong, Y. (2010). Remote collection and analysis of witness reports on flash floods. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 53–62. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.05.042.

Gritzner, C.F. (2004). The Geographic "Mental Map": Can "Anyone" (Really) Teach Geography? *Journal of Geography 103(1)*, pp. 43-45

Hall, J., Sayers, P. & Dawson, R. (2005). National-scale assessment of current and future flood risk. *Nat Hazards 36*, pp. 147-164

Han, Z., Chen, G., Li, Y., Xu, L., Zheng, L. & Zhang, Y. (2014). A new approach for analyzing the velocity distribution of debris flows at typical cross-sections. *Nat Hazards 74,* 2053-2070. DOI: 10.1007/s11069-014-1276-3

Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M. & Zhai, P.M. (2013). Observations: Atmosphere and Surface. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (Eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Holand, S.I., Lujala, P. & Rød, K.J. (2011). Social vulnerability assessment for Norway: a quantitative approach. *Nor J Geogr 65(1),* 1–17

Hualou, L. (2011). Disaster Prevention and Management: A Geographical Perspective. *Disaster Advances 4(1)*, 3-5

Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides 11*,167–194. DOI 10.1007/s10346-013-0436-y

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environ Eng Geosci 7(3)*, 221–238

Huntington, T.G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *J. Hydrol. 319*, 83–95

IPCC (2000) Emission Scenarios. In Nakićenović, N. & Swart, R. (Eds.) *International Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.

Iverson, R. M. (2005). Debris flow mechanics. In: Hungr, O. & Jakob, M. (Eds.) *Debris-flow hazards and related phenomena*. Springer-Praxis, Berlin, pp. 105–134. ISBN 3-540-20726-0

Jakob, M. & Hungr, O. (2005a). *Debris-flow hazards and related phenomena.* Springer-Praxis, Berlin, pp 1–7. ISBN 3-540-20726-0

Jakob, M. & Hungr, O. (2005б). Introduction. In: Hungr O, Jakob M (Eds.) *Debris-flow hazards and related phenomena.* Springer-Praxis, Berlin, pp 1–7. ISBN 3-540-20726-0

Javelle, P., Fouchier, C., Arnaud, P. & Lavabre, J. (2010). Flash flood warning at ungauged locations using radar rainfall and antecedent soil moisture estimations. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 267–274. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.032.

Jovanović, M. & Cvetković, D. (2015). Uloga tržišta osiguranja u zaštiti od poplava. *Izgradnja 69(11-12),* str. 532-546

Jovanović, M., Prodanović, D., Plavšić, J., Rosić, N., Srna, P. & Radovanović, M. (2014). Problemi pri izradi karata ugroženosti od poplava. *Vodoprivreda 46*, 267-272 str. 3-13

Jovanović, M., Todorović, A. & Rodić, M. (2009). Kartiranje rizika od poplava. *Vodoprivreda 41*, 237-239 str. 31-45

Karl, T.R., Nicholls, N. & Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change 42*, pp. 3-7.

Karmakar, S., Simonovic, S., Peck, A. & Black, J. (2010). An Information System for Risk-Vulnerability Assessment to Flood. *Journal of Geographic Information System 2*, 129-146. doi:10.4236/jgis.2010.23020

Kobler, A., Jülich, S. & Bloemertz, L. (2004). *Guidelines Risk Analysis – a Basis for Disaster Risk Management*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn

Kolarov, V. & Babić Mladenović, M. (2010). Podaci za izradu preliminarne procene rizika od poplava na teritoriji Republike Srbije. *Vodoprivreda 42*, 243-245 p. 79-86

Kompare, B. & Rismal, M. (1989). Analiza uzroka poplava u Novoj Gorici i preduzete mere za zaštitu. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 244-254

Kovačević-Majkić, J., Urošev, M., Štrbac, Š., Srdić, Z. & Miljanović, D. (2016). Problems related to the determination of river network density in Serbia. In: Jović, V. & Petrović, M. A. (Eds.) *150th anniversary of Jovan Cvijić's birth - Proceedings of the International Conference* (pp. 99-110). Belgrade: Serbian Academy of Sciences and Arts and Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA.

Kovačević-Majkić, J. & Urošev, M. (2014). Trends of mean annual and seasonal discharges of rivers in Serbia. *J. Geogr. Inst. Cvijić. 64(2),* 143-160. DOI: 10.2298/IJGI1402143K

Kovačević-Majkić, J., V. Milošević, M., Panić, M., Miljanović, D. & Ćalić, J. (2014a). Risk education in Serbia. *Acta Geographica Slovenica 54 (1)*, 163-178. DOI: 10.3986/AGS54305

Kovačević-Majkić, J., Panić, M., Miljanović, D. & Miletić, R. (2014б). Vulnerability to natural disasters in Serbia: spatial and temporal comparison. *Natural Hazards 72(2).* DOI: 10.1007/s11069-014-1045-3

Kovačević-Majkić, J., Urošev, M., Štrbac, D. & Milanović Pešić, A. (2013). Torrential Floods Prevention Possibilities – Case Study of the Skrapež River watershed (Western Serbia). In: Raskovic, B. & Mrdja, S. (Eds.) *Natural Disasters: Prevention, Risk Factors and Management.* New York: Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-62257-676-0. pp. 175-202

Kovačević-Majkić, J., Miljanović, D., Panić, M., Milošević, M., Ćalić J. (2012). *Geographieunterricht als Grundlage für die Naturkatastrophenvorsorge in Serbien - Aktueller Stand und Perspektiven –.* 12. Forum Katastrophenvorsorge „Risiko Lernen-Lehren-Leben". Bonn. Poster prezentacija.

Kovačević-Majkić, J. & Štrbac, D. (2008). Spatial interpolation of precipitation depending on elevation – case study of the Skrapež river, Western Serbia. *Bulletin of the Serbian Geographical Society 88* (1), 89-100

Kostadinov, S. (1989). Hidrološka analiza jedne bujične poplave u izvorišnom delu sliva Vlasine. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice".* JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 363-370

Kotarba, A. (2007). Geomorphic activity of debris flows in the Tatra Mts and in the other European mountains. *Geographia polonica - Extreme meteorological and hydrological events in Poland 80 (2)*, 137-150

Kržič, A., Tošić, I., Djurdjević, V., Veljović, K. & Rajković, B. (2011). Changes in climate indices for Serbia according to the SRES-A1B and SRES-A2 scenarios. *Climate research 49 (1)*, pp. 73-86

Ku H.H. (1966). Notes on the Use of Propagation of Error Formulas. *Journal of Research of the National Bureau of Standards-C. Engineering and Instrumentation 70C (4),* 263-273

Langbein, W.B. (1947). Topographic characteristics of drainage basins. *U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 968C*, 125-157

Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology 394,* 118–133. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.017

Mazzorana, B., Comiti, F. & Fuchs, S. (2013). A structured approach to enhance flood hazard assessment in mountain streams. *Nat Hazards 67(3),* 991-1009

McEntire, D. (2011). Understanding and reducing vulnerability: from the approach of liabilities and capabilities. *Disaster Prev Manag 20(3),* 294–313

Milojević, M., Stefanović, M. & Čotrić, J. (2015). Sistem brze dojave bujičnih poplava kao vid preventivne zaštite gradova i opština u Srbiji. *Izgradnja 69(11-12),* str. 445-456

Milošević, M.V., Ćalić, J., Kovačević–Majkić, J & Petrović, A. (2015a). Geomorfološki indikatori prirodnih nepogoda – primer blatne bujice u Tekiji 2014. godine. U: Filipović, D., Šećerov, V. & Radosavljević, Z. (Ur.) *Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine*. VIII naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem. Beograd: Asocijacija prostornih planera Srbije i Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, 563–570

Milošević, M.V., Štrbac, D., Ćalić, J., Kovačević–Majkić, J., Panić, M. & Miljanović, D. (2015b). Edukacija u sistemu prevencije i zaštite od prirodnih nepogoda. *Izgradnja 69 (11-12)*, 547-556

Mitchell J.T. (2009). Hazards education and academic standards in the Southeast United States. *International Research in Geographical and Environmental Education 18 (2)*, 134–148

Monthel J., Vadala P., Leistel J.M., Cottard F., with the collaboration of Ilic M., Strumberger A., Tosovic R., Stepanovic A. (2002). *Mineral deposits and mining districts of Serbia. Compilation map and GIS databases.* BRGM/RC-51448-FR, 67 p.

Montz, B. E. & Tobin, G. A. (2011). Natural hazards: An evolving tradition in applied geography. *Applied Geography 31*, 1-4

Mrvić V., Antonović G., Čakmak D., Perović V., Maksimović S., Saljnikov E. & Nikoloski M. (2013). Pedological and pedogeochemical map of Serbia. *Proceedings of The First International Congress on Soil Science and XIII National Congress in Soil Science "Soil-Water-Plant"*. Beograd, 23.-26.09. 2013, 93-104

Multihazard Mitigation Council (2002). *Parameters for an Independent Study To Assess the Future Benefits of Hazard Mitigation Activities.* National Institute of Building Sciences, Washington, DC, p. 69.

Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, Ch. & Jaedicke, Ch. (2006). Global landslide and avalanche hotspots. *Landslides 3,* 159-173 doi: 10.1007/s10346-006-0036-1

National Research Council (2011). *Global Change and Extreme Hydrology: Testing Conventional Wisdom.* Washington, DC: The National Academies Press

Palmar, B. (1989). Mogućnosti i ograničenja primene modela HBV za simulaciju procesa padavine-oticaj, sa osvrtom na upotrebu modela za hidrološke prognoze. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 177-182

Panić, M., Kovačević-Majkić, J., Miljanović, D. & Miletić, R. (2013). Importance of natural disaster education - Case study of the earthquake near the city of Kraljevo - first results. *J. Geogr. Inst. Cvijić. 63(1).* DOI:10.2298/IJGI121121001P

Parajka, J., Kohnovα, S., Bαlint, G., Barbuc, M., Borga, M., Claps, P., Cheval, S., Gaume, E., Hlavcˇovα, K., Merz, R., Pfaundler, M., Stancalie, G., Szolgay, J. & Blöschl, G. (2010). Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 78–89. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.05.015.

Peterson, T.C. & Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. & Plummer, N. (2001). *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001*. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland, 143pp.

Petković, S. & Varga S. (1989). Transport nanosa u poplavnom talasu reke Vlasine juna 1988. godine. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 423-432

Petrović, A. (2015). Challenge of torrential flood risk management. *J Geogr Inst Cvijic 65(2)*, 131-143. doi: 10.2298/IJGI1502131P

Petrović, A., Kostadinov, S. & Dragićević, S. (2014). The Inventory and Characterization of Torrential Flood Phenomenon in Serbia. *Pol. J. Environ. Stud. 23(3)*, pp. 823-830

Plavšić, J. (2006). Neizvesnosti u analizi velikih voda metodom parcijalnih serija, *Vodoprivreda*, 38 (1-3), str. 41-50.

Plavšić, J. & Milutinović, R. (2010). O računskim nivoima vode za zaštitu od poplava na Dunavu kod Novog Sada, *Vodoprivreda*, 42 (1-3), str. 69-78.

Prohaska, S., Ilić, A., Miloradović, B. & Petković, T. (2009). Identification and classification of Serbia's historic floods. *Bulletin of the serbian geographical society 89(4)*, 191-199

Prohaska, S., Pavlović-Berdon, N., Tramošljanin, M. & Jovanović, O. (1989). Meteorološki uslovi pre i za vreme poplave iz juna 1988. godine u slivu reke Vlasine i ocena njene probabilističke značajnosti. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 340-352

Prohaska, S. & Janković, D. (1989). Rekonstrukcija poplave iz juna 1988. godine u slivu reke Vlasine. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 353-362

Radović, R. & Todorović, N. (1989). Najava poplavnog talasa na malim vodotocima meteorološkim radarom MRL-5. Analiza uzroka poplava u novoj gorici i preduzete mere za zaštitu. *Zbornik radova sa savetovanja „Nagle poplave – uzroci i posledice“*. JUSOP 89, Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik, 19-21. decembar, 1989, 191-198

Ristić, R., Kostadinov, S., Milčanović, V., Radić, B. & Malušević, I. (2015). Bujične poplave, prostorno i urbanističko planiranje u Srbiji. U: Filipović, D., Šećerov, V. & Radosavljević, Z. (Ur.) *Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine.* VIII naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem. Beograd: Asocijacija prostornih planera Srbije i Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, 507–513

Ristić R., Kostadinov, S., Abolmasov, B., Dragićević, S., Trivan, G., Radić, B., Trifunović, M. & Radosavljević, Z. (2012). Torrential floods and town and country planning in Serbia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 23-35.

Ristić R. & Nikić, Z. (2007). Održivost sistema za vodosnabdevanje Srbije sa aspekta ugroženosti erozionim procesima. *Vodoprivreda, 225-227*, *47-57.*

Rossa, A., Laudanna Del Guerra, F., Borga, M., Zanon, F., Settin, T. & Leuenberger, D. (2010). Radar-driven high-resolution hydro-meteorological forecasts of the 26 September 2007 Venice flash flood. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 230–244. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.08.035.

Rozalis, S., Morin, E., Yair, Y. & Price, C. (2010). Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 245–255. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.021.

Sanderson, D. (2000). Cities, disasters and livelihoods. *Environ Urban 12(2),* pp. 93–102

Santo, A., Santangelo, N., Di Crescenzo, G., Scorpio, V., De Falco, M. & Battista Ch.G. (2015). Flash flood occurrence and magnitude assessment in an alluvial fan context: the October 2011 event in the Southern Apennines. *Nat Hazards 78*, 417-442. DOI: 10.1007/s11069-015-1728-4

Sanyal, J. & Lu, X.X. (2006). GIS-based flood hazard mapping at different administrative scales: A case study in Gangetic West Bengal, India. *Singapore Journal of Tropical Geography 27*, pp. 207-220. doi: 10.1111/j.1467-9493.200600254.x

Shiklomanov, I.A. &. Rodda, J.C. Eds. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 435pp.

Shimizu, Y., Tokashiki, N. & Okada, F. (2002). The Septeber 2000 Torrential Rain Disaster in the Tokai Region: Investigation of a mountain disaster caused by heavy rain in three prefectures; Aichi, Gifu and Nagano. *Journal of Natural Disaster Science 24(2)*. pp. 51-59

Simonovic, S.P. (2011). *Systems Approach to Management of Disasters: Methods and Applications*. John Wiley & Sons Inc., New York, pp.348, ISBN: 978-0-470-52809-9

Skermer, N. & VanDine, D. (2005). Debris flows in hystory. In: Jakob, M. & Hungr, O. (Eds.) *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Springer-Praxis, Berlin, pp 25-52. ISBN 3-540-20726-0

Smith, K. & Petley, D.N. (2009). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. (5th ed.). London: Routledge, pp. 383

Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L., J. van Lanen M., H. A., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M. & J´odar, J. (2010). Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci. 14*, 2367–2382. doi:10.5194/hess-14-2367-2010

Stefanović, M., Gavrilović, Z. & Bajčetić, R. (2014). *Lokalna zajednica i problematika bujičnih poplava*. OEBS, Srbija

Stojkov, K., Šušić, N. & Šijaković, J. (1998). Geološki hazardi i rizici. *Saopštenja sa XIII Kongresa geologa Jugoslavije, knjiga V - Hidrogeologija i inženjerska geologija.* Herceg Novi, str. 461-467

Štrbac, D. (2014). Quantification and spatial distribution of precipitation on the territory of Serbia. *J. Geogr. Inst. Cvijic. 64(3),* pp. 267–277

Štrbac, D. (2012). The coefficient of self-help ina relational model person-natural disaster. *International conference: Natural hazards – Lessons from the past, prevention*

and prediction. Abstract book, p. 27-28. University of Novi Sad, Faculty of Science, Department of Geography, Tourism and Hotel Management. Novi Sad

Takeuchi, K. (2002). Floods and society: a never-ending evolutional relation. In Wu et al (Eds.), Flood Defence 2002. Science Press, New York. ISBN: 1-880132-54-0

Thywissen, K. (2006). Components of Risk: A Comparative Glossary, UNU-EHS, Bonn.

Tobin, G.A. & Montz B.E. (1997). *Natural hazards – explanation and integration.* The Guilford Press, New York

Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, Eckley, L., N, Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A. (2003). *A Framework For, Vulnerability Analysis In Sustainability Science*. Proceedings, National Academy of Sciences 100 (14), 8074-8079.

UN (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Third UN World Conference on Disaster Reduction, 18th March 2015, Sendai, Japan

UNDP (United Nations Development Programme) Bureau for Crisis Prevention and Recovery (2004). *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*. A Global Report. Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., Hall, L. (Eds.). John S. Swift Co., USA, p. 146.

UNICEF & UNISDR (2011). Children and disasters: building resilience through education. United Nations, Geneva.
http://www.unisdr.org/files/24583_childrenanddisastersbuildingresilie.pdf.

UNISDR (2004). *Living with risk - A global review of disaster reduction initiatives*. Volume II Annexes, New York and Geneva

UNISDR (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*. World Conference on Disaster Reduction, 18-22 January 2005, Kobe, Hyogo, Japan

Varazanashvili, O., Tsereteli, N., Amiranashvili, A., Tsereteli, E., Elizbarashvili, E., Dolidze, J., Qaldani, L., Saluqvadze, M., Adamia, Sh., Arevadze, N. & Gventcadze, A. (2012). Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Nat Hazards 64*, 2021-2056. DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3

Varga, S. & Babić Mladenović, M. (2001). Zaštita od poplava u Srbiji – novi pristup. *Upravljanje vodnim resursima Srbije.* Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd

Viglione, A., Borga, M., Balabanis, P. & Blöschl, G. (2010). Barriers to the exchange of hydrometeorological data across Europe – results from a survey and implications for data policy. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 63–77. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.023.

Villagrán de León, J.C. (2006). *Vulnerability: A Conceptual and Methodological Review.* Publication Series of UNU-EH No. 4/2006. ISBN: 3-9810582-5-9 (electronic version)

Vujisić, T., Kalenić, M., Navala, M. & Lončarević, Č. (1981). *Tumač za list Lapovo,* OGK 1:100 000. Beograd: Savezni geološki zavod

Wang, L, Zhang, Z. & Klaghofer, E. (1996). Torrent classification and hazard zone mapping with GIS in the PR China. *Internationales Symposion, Interpraevent 1996.* Tagungspublikation 3, pp. 5-18. Garmisch-Partenkirchen, Deutschland

Wienand, I., Nolting, U. & Kistemann, T. (2009). Using Geographical Information Systems (GIS) as an instrument of water resource management: a case study from a GIS-based Water Safety Plan in Germany. *Water Science & Tehnology-WST 60(7)*, pp.1691-1699

Winkler, A. (2012). Measuring regional inequality: an index of socio-economic pressure for Serbia. *Collection of Papers – Faculty of Geography at University of Belgrade 60,* 81-102

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. & Davis, I. (2004). *At risk*, 2nd edn. Routledge, London

Zhou, Y., Liu, Y., Wu, W. & Li, N. (2015). Integrated risk assessment of multi-hazards in China. *Nat Hazards 78*, 257-280. DOI: 10.1007/s11069-015-1713-y

Zhou H., Wang J., Wan J. & Jia H. (2010). Resilience to natural hazards: a geographic perspective. *Natural Hazards 53,* 21–41

Zoccatelli, D., Borga, M., Zanon, F., Antonescu, B. & Stancalie, G. (2010). Which rainfall spatial information for flash flood response modelling? A numerical investigation based on data from the Carpathian range, Romania. *J. Hydrol. 394 (1–2)*, 148–161. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.019.

Интернет

http://www.rdvode.gov.rs/lat/uredjenje-vodotoka-pp-rizika-poplava.php
http://www.rdvode.gov.rs/lat/uredjenje-vodotoka-planovi-upravljanja-rizicima.php
http://www.fema.gov
https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-1:v1:en
http://www.emdat.be/
http://www.zzps.rs
http://www.sepa.gov.rs
www.heritage.rs

www.edukacija.rs
www.geosrbija.rs
https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/

П Р И Л О З И

ПРИЛОГ 1

Списак табела

Табела 1. Преглед најзначајнијих бујичних поплава у Србији

Табела 2. Међусобни односи просторних целина различитих нивоа детаљности

Табела 3. Статус ерозионих процеса и резултати прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса у сливу реке Скрапеж у периоду 2012-2016

Табела 4. Статус ерозионих процеса и резултати прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса у сливу реке Белице у периоду 2012-2016

Табела 5. Статус ерозионих процеса и резултати прорачуна ерозионе продукције и проноса наноса у сливу реке Лужнице у периоду 2012-2016

Табела 6. Шифрирање издвојених сливних површина (подсливова)

Табела 7. Шифрирање издвојених сливних површина (подсливова и деоница непосредног слива)

Табела 8. Број плављених сливних површина у мезо сливовима

Табела 9. Број подсливова и сливних површина за различите прагове учешћа површине подслива у мезо сливу на примеру слива реке Скрапеж

Табела 10. Преглед показатеља хазарда

Табела 11. Преглед показатеља изложености

Табела 12. Коефицијенти заштите природе

Табела 13. Преглед показатеља рањивости

Табела 14. Коефицијенти намене површина

Табела 15. Коефицијенти НКД

Табела 16. Преглед показатеља неотпорности

Табела 17. Могући флувијални и падински процеси

Табела 18. Тежински коефицијенти за процену ризика од бујичних поплава на мезо нивоу детаљности

Табела 19. Тежински коефицијенти за процену ризика од бујичних поплава на макро нивоу детаљности

Табела 20. Подаци и извори података под-показатеља и показатеља

Табела 21. Класе индекса ризика и индекса компоненти са интервалима њихових вредности

Табела 22. Сливне површине и плављене сливне површине у сливу реке Скрапеж
Табела 23. Основни статистички параметри показатеља ризика у сливу реке Скрапеж
Табела 24. Зависност ризика од компоненти које га чине у сливу реке Скрапеж
Табела 25. Вредности под-показатеља и показатеља у сливовима река Скрапеж, Белица и Лужница
Табела 26. Тежински коефицијенти компоненти ризика и значајност промене ризика према Kruskal-Wallis тесту
Табела 27. Морфометријске карактеристике слива и водотока
Табела 28. Максимални протицај за одређене вероватноће појављивања, вредности елемената синтетичког јединичног хидрограма и ефективних падавина
Табела 29. Израчунати нивои воде на попречним профилима при различитим вероватноћама појављивања великих вода

ПРИЛОГ 2

Списак слика

Слика 1. Зоне у бујичним сливовима (модификовано према Вучићевић, 1995) (а) и типови течења (према Mazzorana et al, 2013) (б)
Слика 2. Класификација падинских процеса са означеним местом бујичних поплава (према Coussot & Meunier (1996) (а) и табела са модификованом и поједностављеном, иновираном Варнесовом класификацијом према Hungr et al (2014) (б))
Слика 3. Компоненте ризика и њихови међусобни односи (а) и хазард као природни процес (б)
Слика 4. PAR (Pressure and Release) модел – поједностављено према Wisner et al (2004)
Слика 5. Циклус управљања ризицима од природних непогода
Слика 6. Поступак при процени ризика од бујичних поплава
Слика 7. Положај сливова реке Скрапеж, реке Белице и реке Лужнице у Србији
Слика 8. Просторна дистрибуција ерозионих процеса у сливу реке Скрапеж
Слика 9. Просторна дистрибуција ерозионих процеса у сливу реке Белице
Слика 10. Просторна дистрибуција ерозионих процеса у сливу реке Лужнице
Слика 11. Поступак избора подсливова за које су прикупљени подаци за рачунање индекса ризика
Слика 12. Сливне површине – подсливови и деонице непосредног слива
Слика 13. Плављене сливне површине (површине настале пресеком сливне површине и геоморфолошке плавне зоне)
Слика 14. Компоненте ризика и груписање показатеља ризика
Слика 15. Структура модела за процену ризика на мезо и макро нивоу
Слика 16. Шема избора показатеља за процену ризика
Слика 17. Алувијална раван и плавине формиране на ушћу периодичних притока реке Скрапеж као показатељ хазарда од бујичних поплава (фото: М.Урошев)
Слика 18. Водомерна станица Своће на реци Лужници (фото: М. В. Милошевић)

Слика 19. Нанос у кориту водотока који приликом поплаве има велику разорну моћ и наноси велику штету (притока Лужнице узводно од Бабушнице) (фото: М. В. Милошевић)

Слика 20. Градска насеља у одабраним сливовима: Косјерић – Скрапеж (а), Пожега – Скрепеж б), Јагодина – Белица (в), Бабушница – Лужница (г). Објекти су дигитализовани и затим пребројни. Плана линија означава границу геоморфолошке плавне зоне.

Слика 21. Мост на ушћу Лужнице у Власину (фото: М. В. Милошевић)

Слика 22. Цементара „Титан“ у Косјерићу, највећи привредни објекат у сливу реке Скрапеж (фото: www.titan.rs)

Слика 23. Пружни насип дуж реке Скрапеж који има улогу и у заштити од великих вода (фото: М. Урошев)

Слика 24. Корито реке Белице у Јагодини обрасло вегетацијом (а) (фото: М. В. Милошевић) и очишћено (б) (фото: С. Ковачевић)

Слика 25. Издвајање условних компоненти

Слика 26. Изложени и неизложени, а рањиви елементи према Inspire директиви (Directive 2007/2/EC)

Слика 27. Ризик у плавној и изван плавне зоне

Слика 28. Сливне површине без плавне зоне (индриректно су угрожене, али најчешће имају алтернативне саобраћајнице преко којих функционишу)

Слика 29. Сливне површине и плављене сливне површине за прикупљање података и рачунање индекса ризика у сливу Скрапежа

Слика 30. Основни статистички параметри компоненти ризика у сливу реке Скрапеж

Слика 31. Подсливови са I и II категоријом разорности (извор: Kovačević-Majkić et al, 2013)

Слика 32. Зависност ризика од компоненти хазард (а), изложеност (б), рањивост (в) и неотпорност (г) у сливу реке Скрапеж

Слика 33. Просторни распоред индекса хазарда у сливу реке Скрапеж

Слика 34. Просторни распоред индекса изложености у сливу реке Скрапеж

Слика 35. Просторни распоред индекса рањивости у сливу реке Скрапеж

Слика 36. Просторни распоред индекса неотпорности у сливу реке Скрапеж

Слика 37. Просторни распоред индекса ризика у сливу реке Скрапеж

Слика 38. Кластерска анализа плављених сливних површина заснована на компонентама ризика (Еуклидова растојања)

Слика 39. Индекси хазарда, изложености, рањивости, неотпорности у сливовима река Скрапеж, Белице и Лужнице и индекс ризика (представљен бројем у загради уз акроним слива)

Слика 40. Број плављених јединица у којима ни(је) дошло до промена ранга индекса ризика услед промена тежинских коефицијената са наглашавањем E и V компоненте (а), са наглашавањем H компоненте (б) и наглашавањем Reinv компоненте (в). На апсциси је означен број места за који се ранг променио.

Слика 41. Промене индекса H, E V, Reinv и R услед промена улазних података према климатским сценаријима A1B и A2 и пројекцијама становништва средње варијанте фертилитета за период 2040/41 по сливовима

Слика 42. Међусобни однос сливова река Скрапеж, Белице и Лужнице према индексима H, E V, Re inv и R услед промена улазних података према климатским сценаријима A1B и A2 и пројекцијама становништва средње варијанте фертилитета за период 2040/41

Слика 43. Примена модела процене ризика од бујичних поплава

Слика 44. Друштвени значај постигнутих резултата (идентификација компоненти изложеност и рањивост као кључних на које органи управе треба да усмере активности у циљу смањењу ризика од бујичних поплава)

Слика 45. Хидрограми максималних протицаја на одабраној деоници реке Скрапеж за вероватноћу појављивања 0.1%, 0.5%, 1% и 2%

Слика 46. Мерење кота у циљу добијања квалитетнијег ДМВ (фото. Ј. Ковачевић-Мајкић)

Слика 47. Карактеристични уздужни профили реке Скрапеж на одабраној деоници

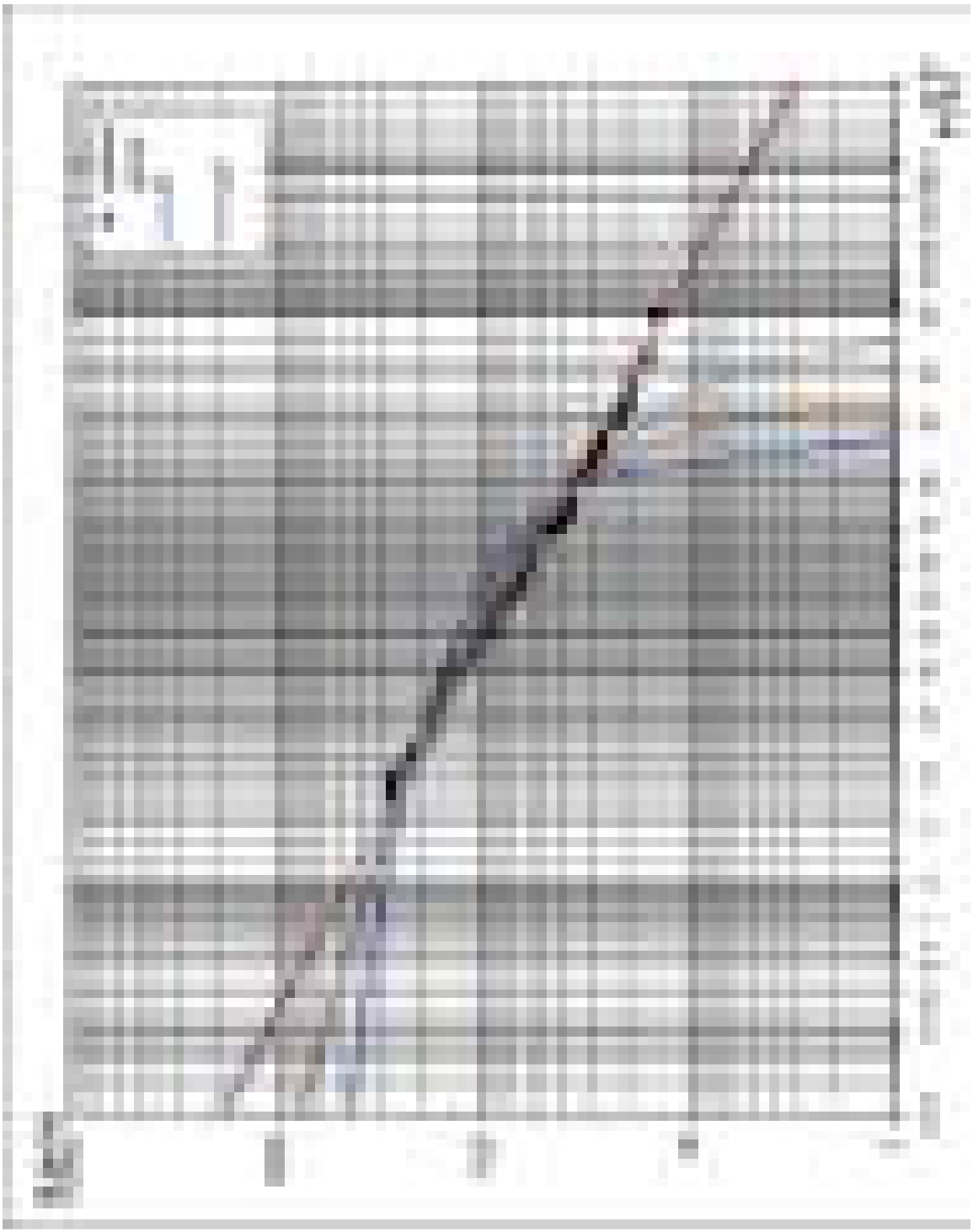
Слика 48. Положај попречних профила на ДТВ

Слика 49. Рапавост речног корита и алувијалне равни (фото. М. Урошев)

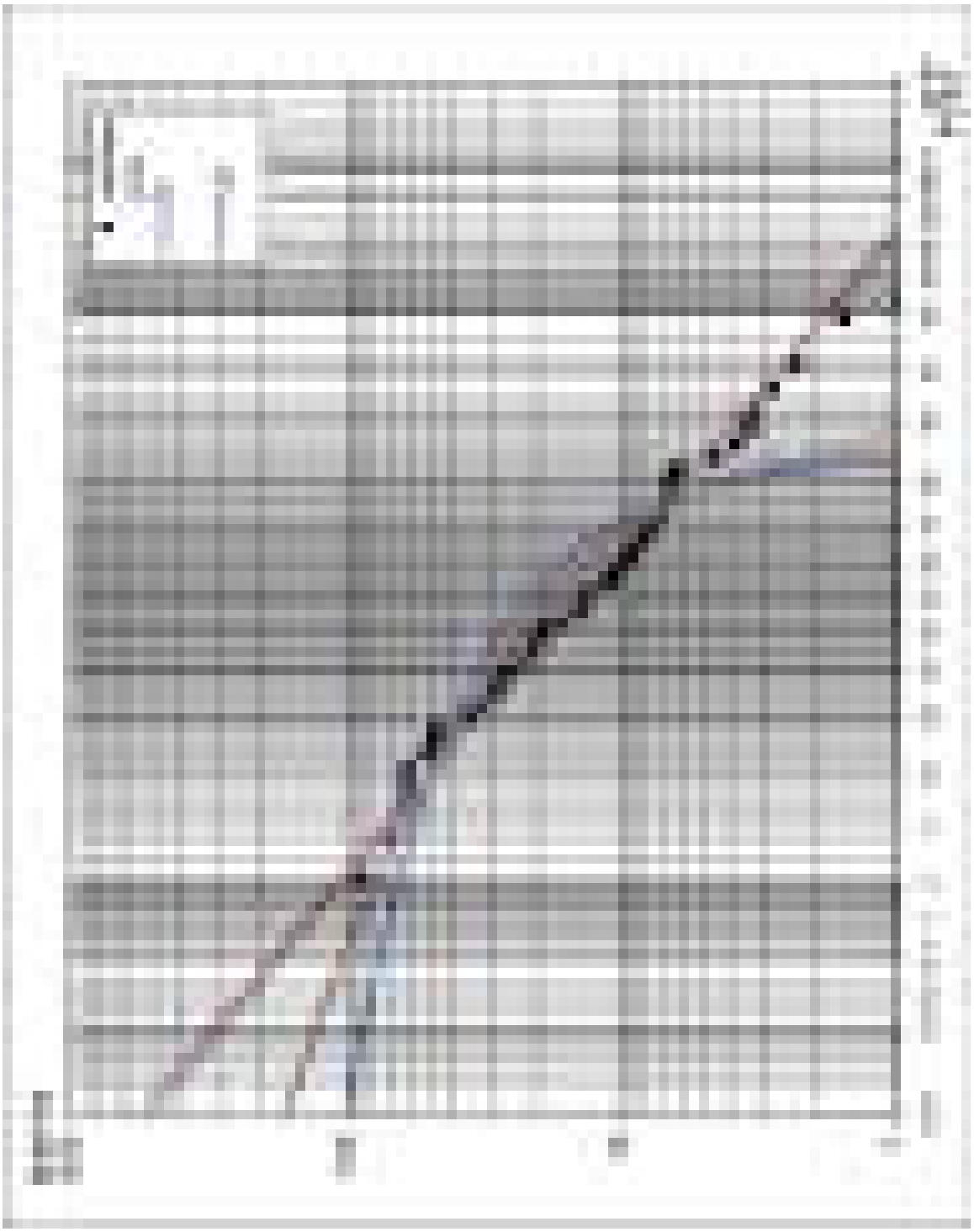
Слика 50. Плавне зоне при различитим вероватноћама појављивања великих вода (0.1%, 0.5%, 1%, 2%)

Слика 51. Дубине плављења при различитим вероватноћама појављивања великих вода (0.1%, 0.5%, 1%, 2%)

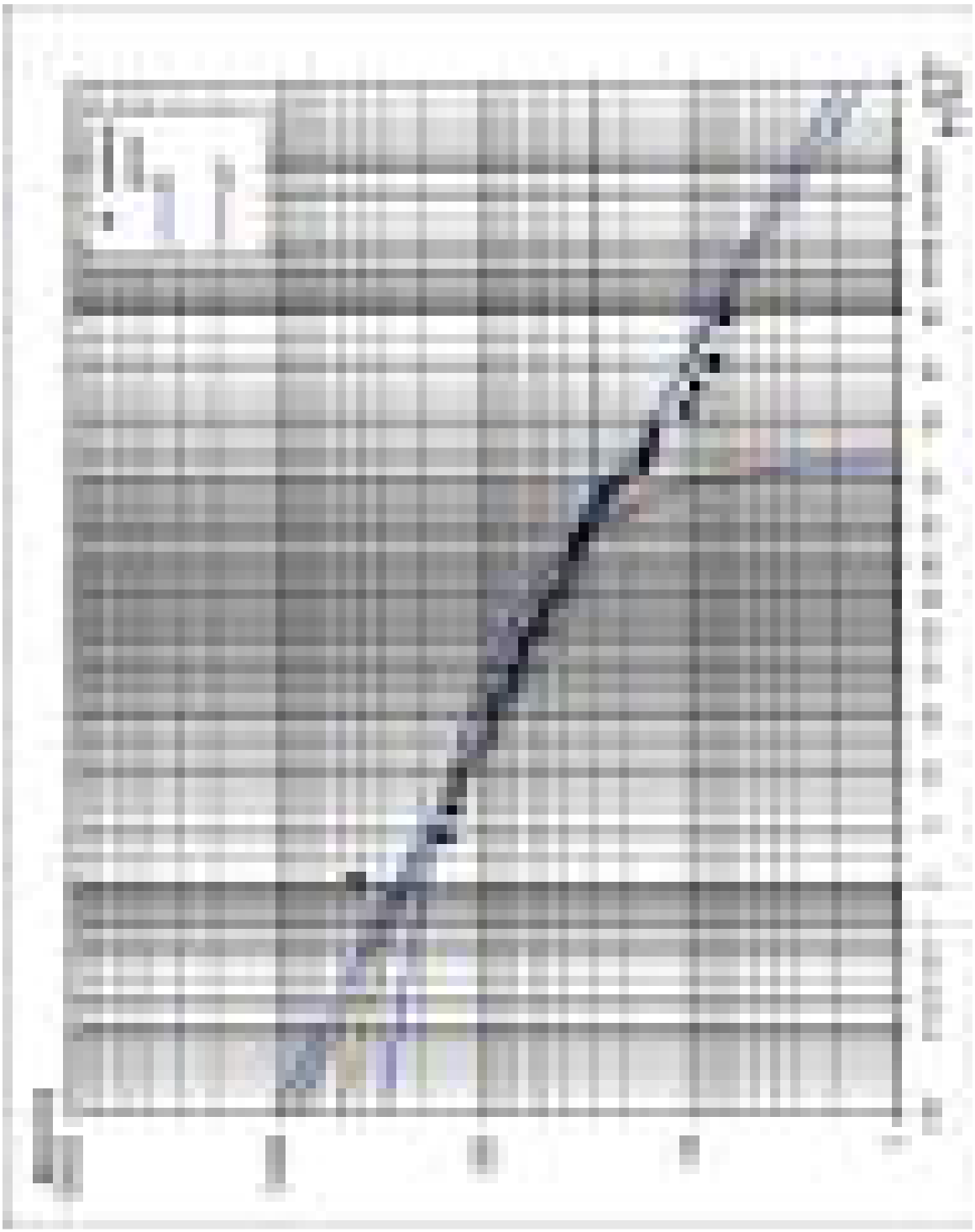
ПРИЛОГ А



Вероватноћа појаве великих вода на станици Пожега за период 1960-2014
(најбоље слагање са Log Pearson III (XLP3) расподелом)

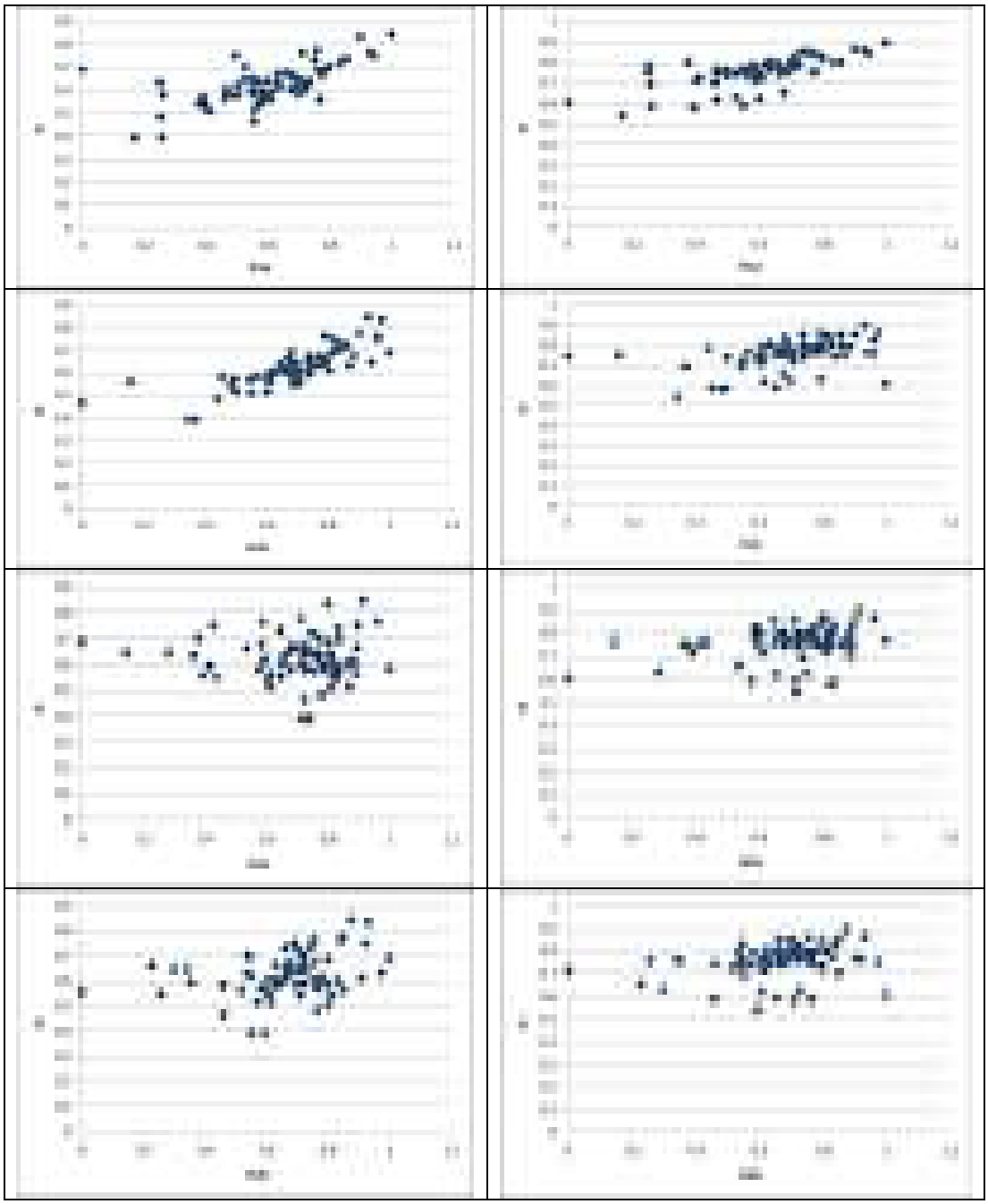


Вероватноћа појаве великих вода на станици Јагодина за период 1960-2014
(најбоље слагање са Log Normal (XLN) расподелом)

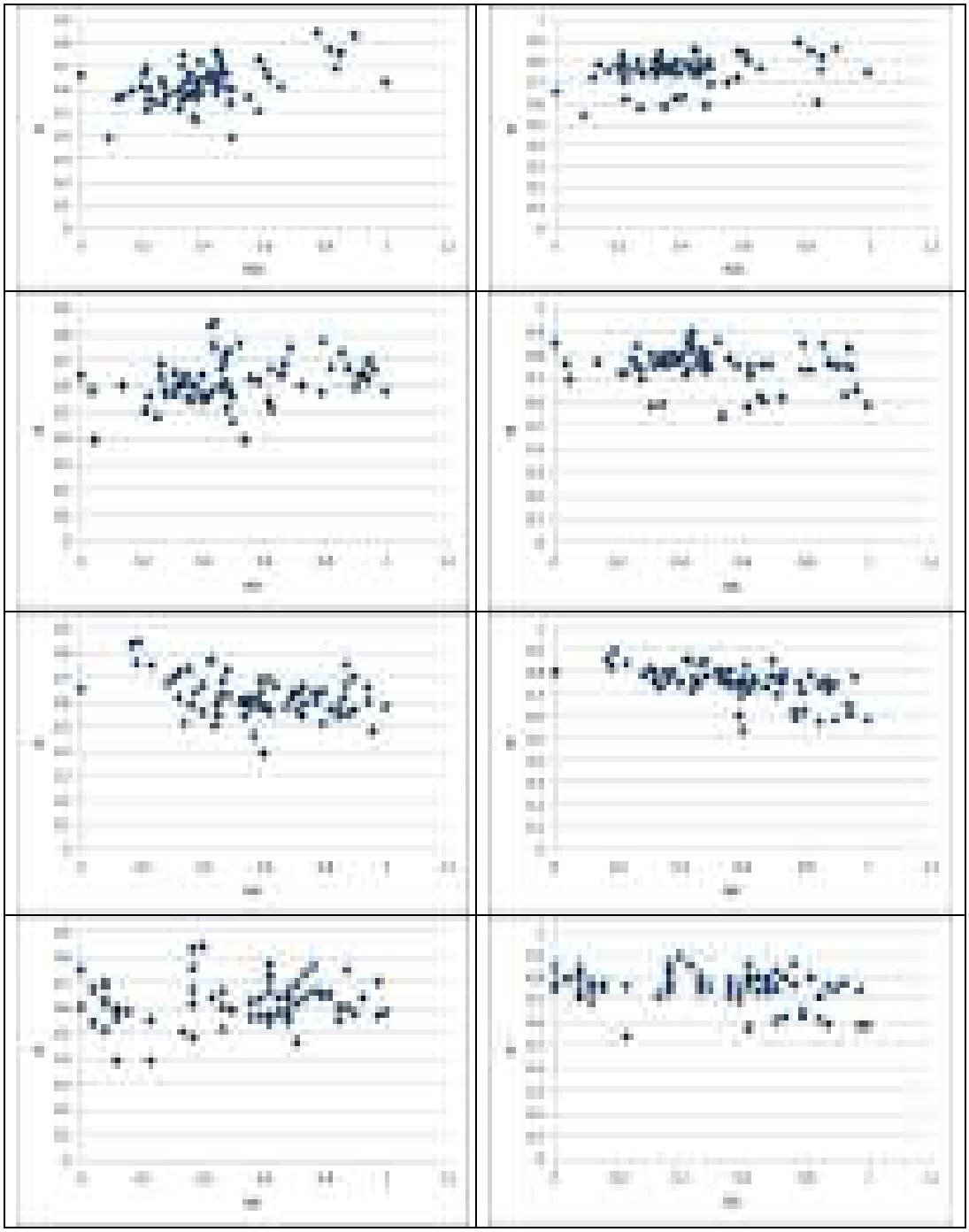


Вероватноћа појаве великих вода на станици Своће за период 1960-2014
(најбоље слагање са Log Pearson III (XLP3) расподелом)

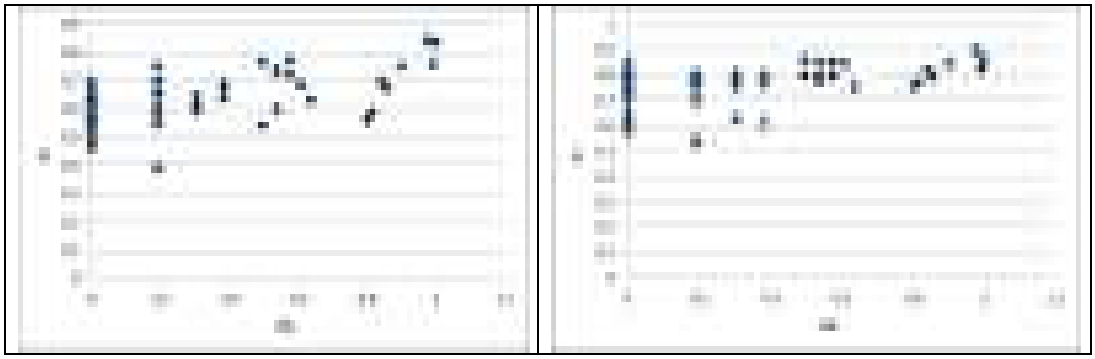
ПРИЛОГ Б



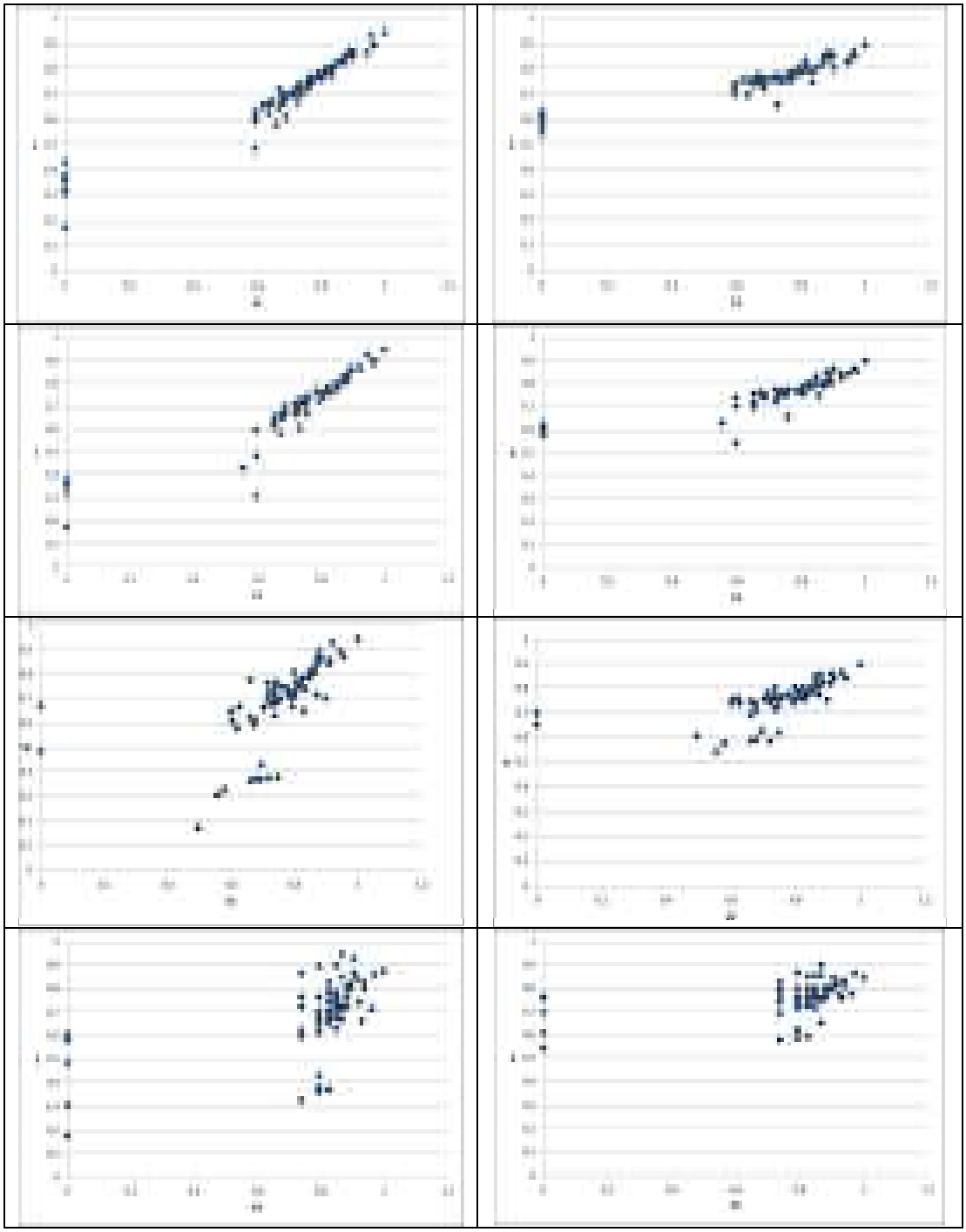
Однос показатеља и подпоказатеља хазарда са компонентом хазарда и ризиком



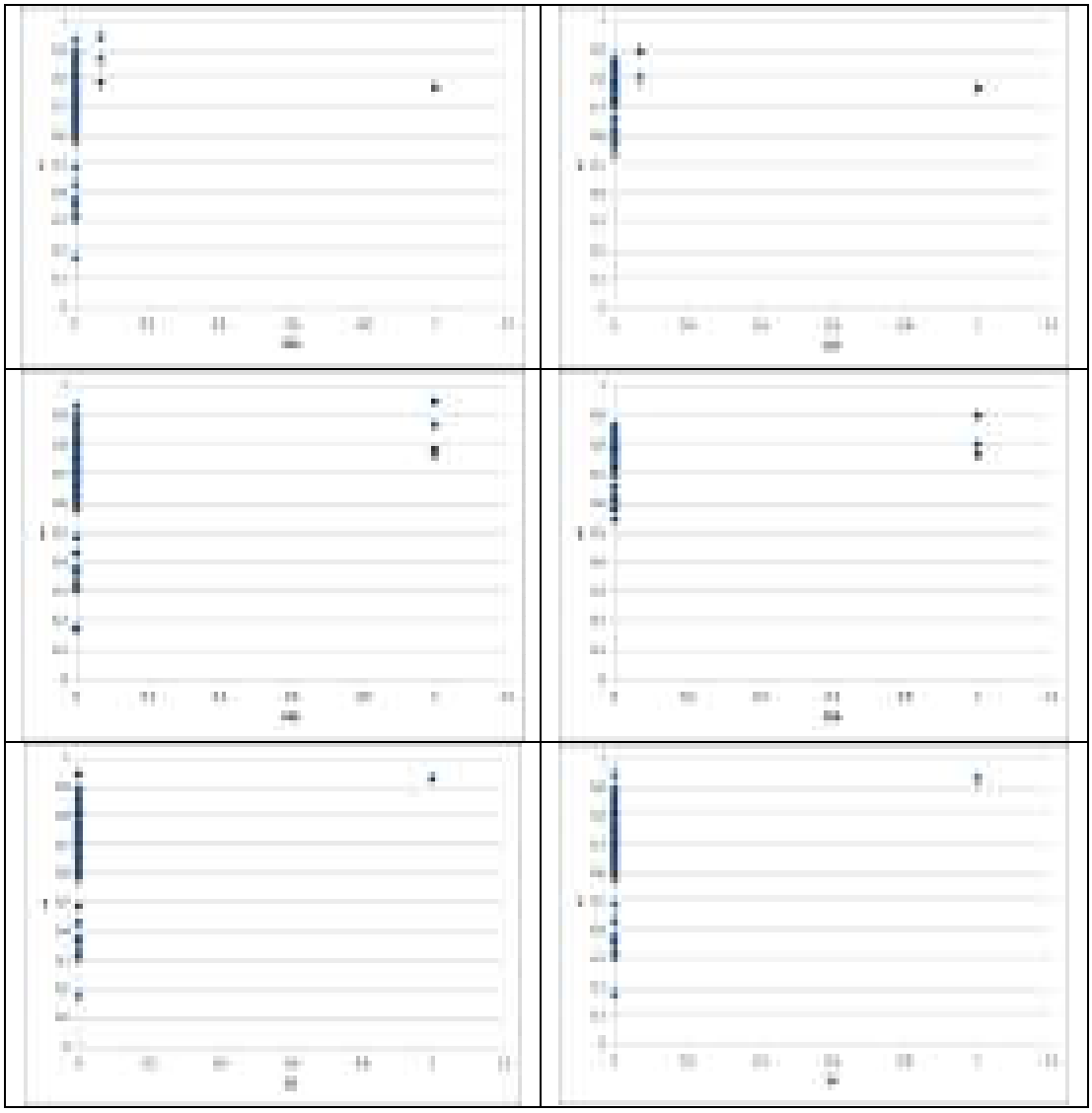
Однос показатеља и подпоказатеља хазарда са компонентом хазарда и ризиком (наставак)



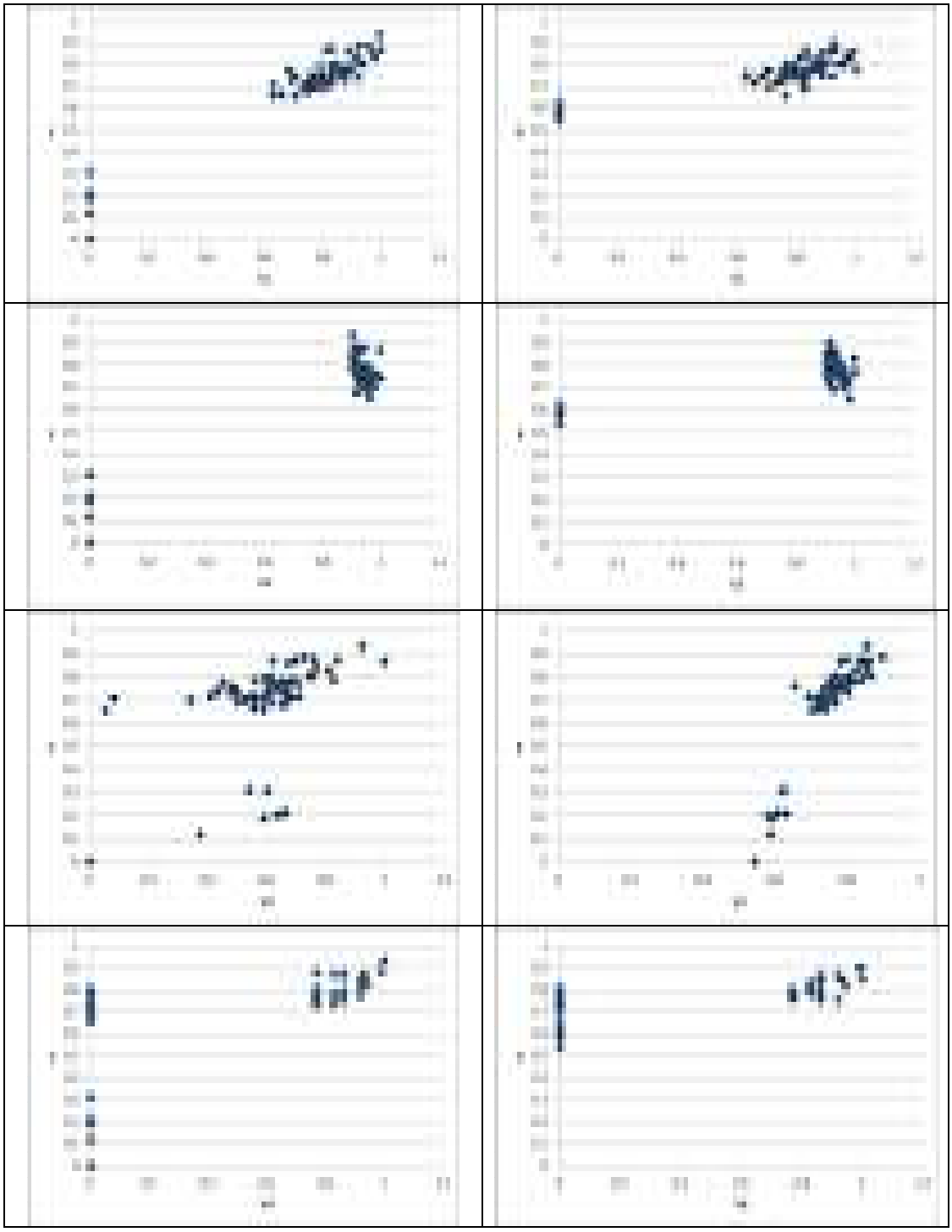
Однос показатеља и подпоказатеља хазарда са компонентом хазарда и ризиком (наставак)



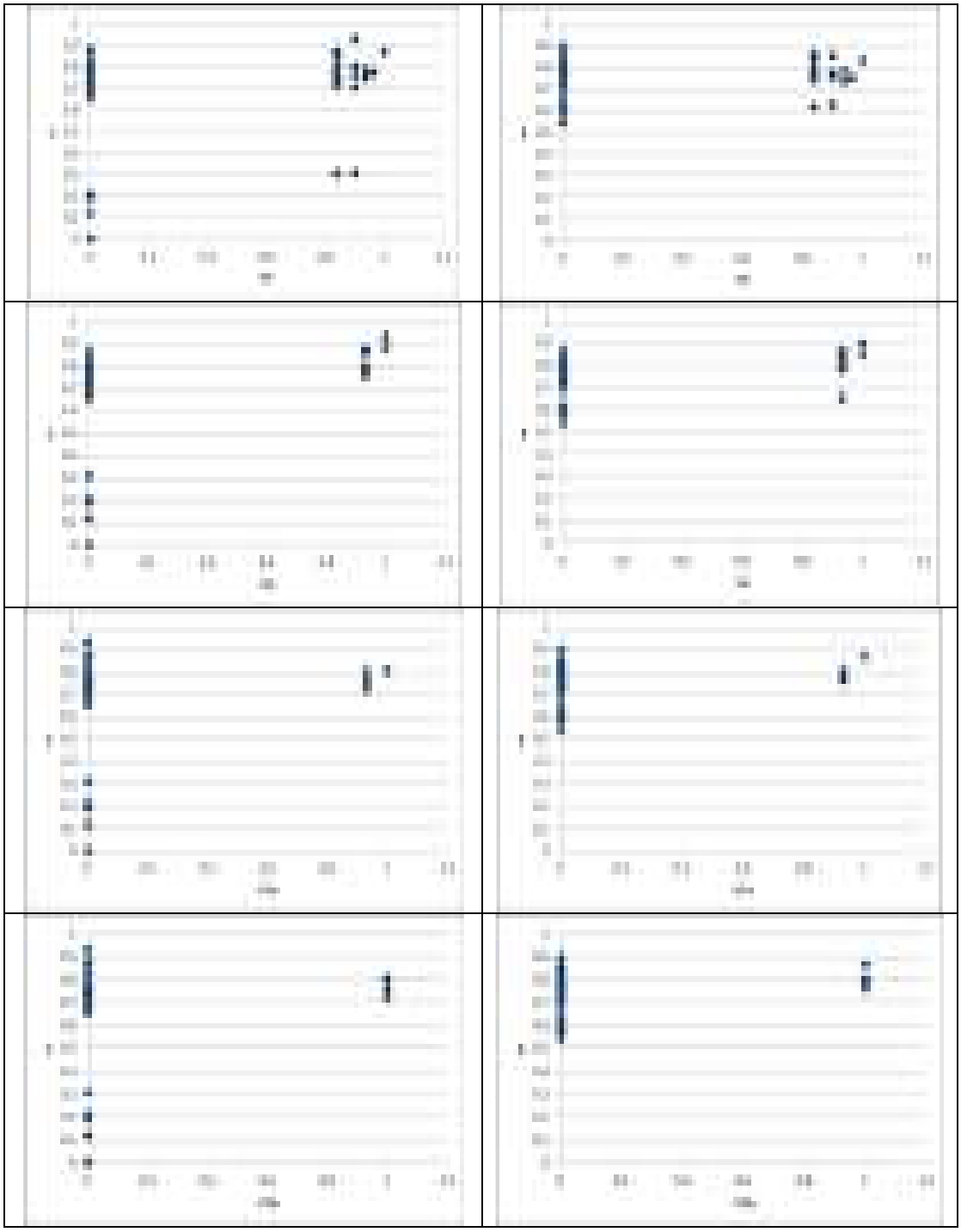
Однос показатеља и подпоказатеља изложености
са компонентом изложености и ризиком



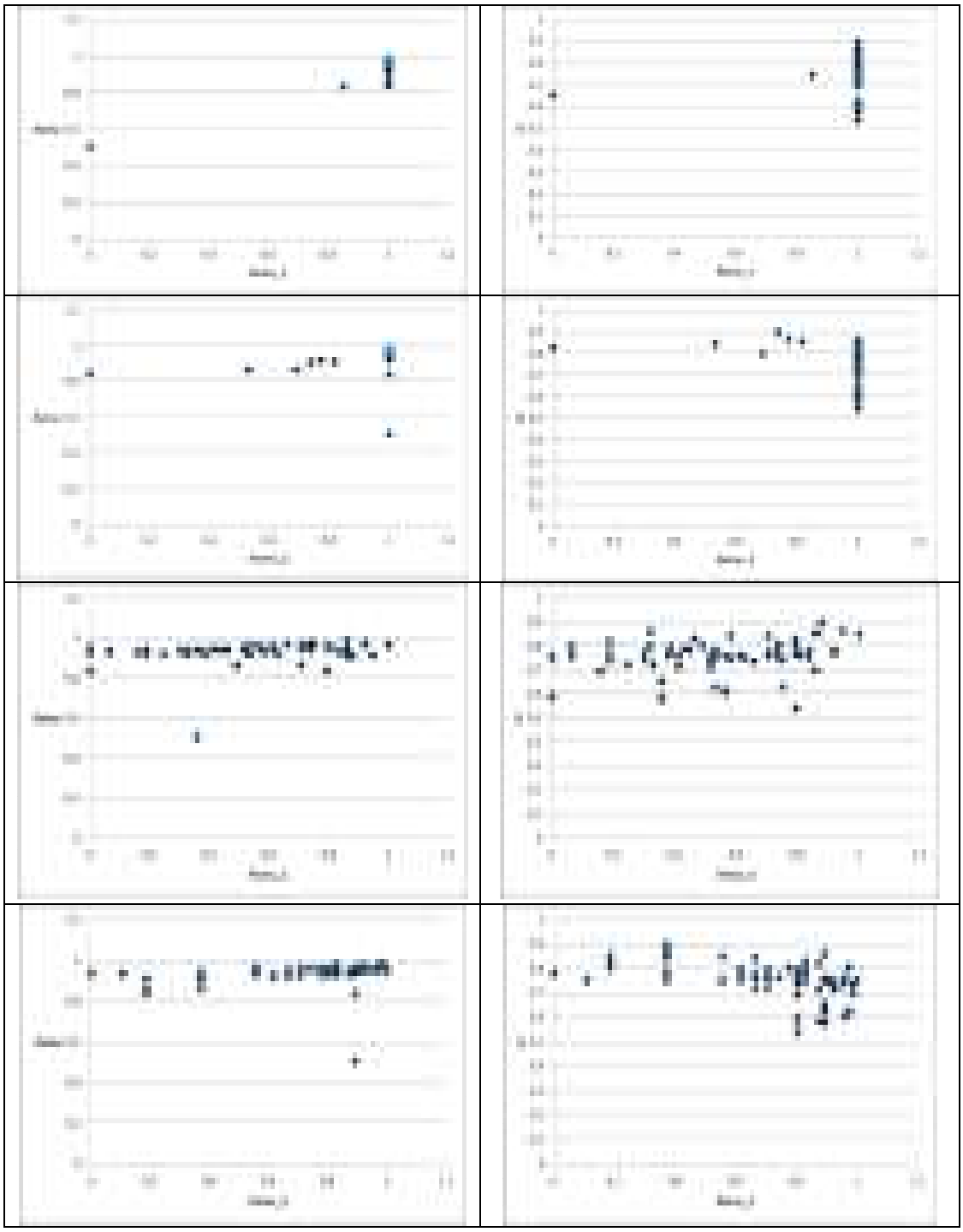
Однос показатеља и подпоказатеља изложености
са компонентом изложености и ризиком (наставак)



Однос показатеља и подпоказатеља рањивости
са компонентом рањивости и ризиком



Однос показатеља и подпоказатеља рањивости
са компонентом рањивости и ризиком (наставак)



Однос показатеља и подпоказатеља неотпорности
са компонентом неотпорности и ризиком

ПРИЛОГ B

TK 25

Скрапеж	**Белица**	**Лужница**
478_3_2	481_3_3	633_2_1
478_3_4	481_3_4	633_2_2
478_4_1	481_4_3	634_1_1
478_4_3	531_1_1	583_3_4
478_4_4	531_1_2	583_4_2
479_3_3	531_2_1	583_4_3
528_2_1		583_4_4
528_2_2		584_3_3
528_2_3		
528_2_4		
529_1_1		
529_1_3		

GMK 100

Скрапеж	**Белица**	**Лужница**
Ваљево	Лапово	Бела Паланка
Ужице	Параћин	Власотице
Чачак		

ПРИЛОГ Г

Списак насеља

Скрапеж	**Белица**	**Лужница**
Маковиште	Велика Сугубина	Велико Бањинце
Парамун	Горња Сабанта	Мало Бањинце
Радановци	Горње Комарице	Модра Стена
Дреновци	Старо Село	Врело
Стојићи	Мишевић	Остатовица
Мрчићи	Слатина	Брестов Дол
Росићи	Врба	Дол
Скакавци	Белица	Грнчар
Варда	Бунар	Бердуј
Доња Полошница	Шантаровац	Лесковица
Руда Буква	Шуљковац	Боградовац
ГорњаПолошница	Ковачевац	Линово
Годљево	Лозовик	Љуберађа
Дубница	Јошанички Прњавор	Радињинце
Галовићи	Горње Штипље	Масуровац
Брајковићи	Каленовац	Стрелац
Миоица	Црнче	Студена
Сеца Река	Сиоковац	Раков Дол
Цикоте	Међуреч	Црвена Јабука
Косјерић село	Драгоцвет	Пресека
Косјерић варош	Трнава	Нашушковица
Шеврљуге	Винорача	Валниш
Субјел	Деоница	Раљин
Мушици	Доње Штипље	Кијевац
Тубићи	Рибник	Стол
Бјелоперице	Буковче	Дучевац
Тометино Поље	Вољавче	Камбелевац
Љутице	Јагодина	Александровац
Душковци	Рибаре	Горчинце
Дражиновићи	Кочино Село	Сурачево
Велика Јежевица	Старо Ланиште	Бабушница
Мала Јежевица	Ново Ланиште	Драгинац
Горња Добриња		Вава
Средња Добриња		Калуђерово
Мађер		Извор
Доња Добриња		Проваљеник
Табановици		Братишевац
Лорет		Доњи Стрижевац
Засеље		Горњи Стрижевац
Каленићи		Доње Крњино
Честобродице		Горње Крњино
Тврдићи		Војинци
Отањ		Радошевац
Врањани		Свође

Глумац Здравчићи Радовци Висибаба Бакачница Пожега Расна Горобиље Рибашевина Гостиница Гулин До Трнава Каран Лелићи Бјелотићи Дубоко Каменица Добродо Пониковица Севојно Горњани Јакаљ Јеловик Заглавак Таор Богданица		Алексине Шљивовик Сиња Глава

ПРИЛОГ Д

Израчунати нивои воде, нагиби, брзина воде, ширина и површина плављења на попречним профилима при вероватноћи појављивања великих вода 0.1% (Qmax=547.73 m^3/s)

Попречни профил	**Стационажа**	**Минимална висина корита**	**Израчунати нивои воде**	**Нагиб**	**Брзина воде**	**Површина плављења**	**Ширина плављења**	**Froude # Chl**
	(km)	**(m)**	**(m)**	**(m/m)**	**(m/s)**	**(m^2)**	**(m)**	**-**
СКП_16	5+049	336.02	340.97	0.003625	5.73	256.68	131.05	0.83
СКП_15	4+903	335.32	341.22	0.000656	2.47	384.12	139.18	0.35
СКП_14	4+755	334.82	339.79	0.004393	5.22	123.27	48.98	0.86
СКП_13	4+561	334.42	339.51	0.002544	4.18	169.35	69.03	0.67
СКП_12	4+245	334.01	338.63	0.003405	4.43	197.07	119.61	0.75
СКП_11	3+950	332.93	337.22	0.003844	4.72	148.21	93.82	0.79
СКП_10	3+625	331.82	335.34	0.004859	4.93	211.83	120.78	0.89
СКП_9	3+270	330.8	333.95	0.001456	2.54	284.34	114.95	0.48
СКП_8	2+970	329.72	333.23	0.002861	3.92	384.01	248.26	0.69
СКП_7	2+535	328.16	332.46	0.001488	3.19	512.32	816.41	0.51
СКП_6	2+260	326.83	330.55	0.050003	5.17	137.39	64.21	0.88
СКП_5	1+853	326.26	330.39	0.000788	0.87	826.18	245.15	0.14
СКП_4	1+384	325.04	330.14	0.000509	1.08	867.56	288.57	0.16
СКП_3	1+097	324.18	330.06	0.000207	1.52	1143.13	401.05	0.2
СКП_2	0+580	322.47	329.28	0.001684	3.59	330.95	417.77	0.5
СКП_1	0+330	322.1	328.58	0.001482	3.2	296.91	596.16	0.48

Израчунати нивои воде, нагиби, брзина воде, ширина и површина плављења на попречним профилима при вероватноћи појављивања великих вода 0.5% (Qmax=389.72 m^3/s)

Попречни профил	Стационажа	Минимална висина корита	Израчунати нивои воде	Нагиб	Брзина воде	Површина плављења	Ширина плављења	Froude # Chl
	(km)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m^2)	(m)	-
СКП_16	5+049	336.02	340.28	0.003739	5.25	174.13	105.77	0.82
СКП_15	4+903	335.32	340.3	0.000807	2.39	260.86	126.41	0.38
СКП_14	4+755	334.82	339.37	0.003376	4.22	103.59	44.28	0.74
СКП_13	4+561	334.42	339.13	0.001871	3.36	143.81	63.88	0.56
СКП_12	4+245	334.01	338.24	0.003163	3.95	150.72	117.6	0.71
СКП_11	3+950	332.93	336.4	0.005365	4.71	88	53.56	0.89
СКП_10	3+625	331.82	334.68	0.006015	4.69	142.69	92.66	0.95
СКП_9	3+270	330.8	333.63	0.001066	2	248.5	107.54	0.4
СКП_8	2+970	329.72	333.24	0.001439	2.78	385.06	248.89	0.49
СКП_7	2+535	328.16	331.98	0.002256	3.6	193.22	248.5	0.62
СКП_6	2+260	326.83	330.02	0.050916	4.68	105.72	56.7	0.86
СКП_5	1+853	326.26	329.89	0.000664	0.73	704.19	239.39	0.13
СКП_4	1+384	325.04	329.69	0.000367	0.86	761.92	202.96	0.13
СКП_3	1+097	324.18	329.63	0.000162	1.27	975.27	382.25	0.18
СКП_2	0+580	322.47	328.08	0.003814	4.56	85.37	20.63	0.72
СКП_1	0+330	322.1	327.95	0.001482	2.92	133.68	34.11	0.47

Израчунати нивои воде, нагиби, брзина воде, ширина и површина плављења на попречним профилима при вероватноћи појављивања великих вода 1% (Qmax=329.71 m^3/s)

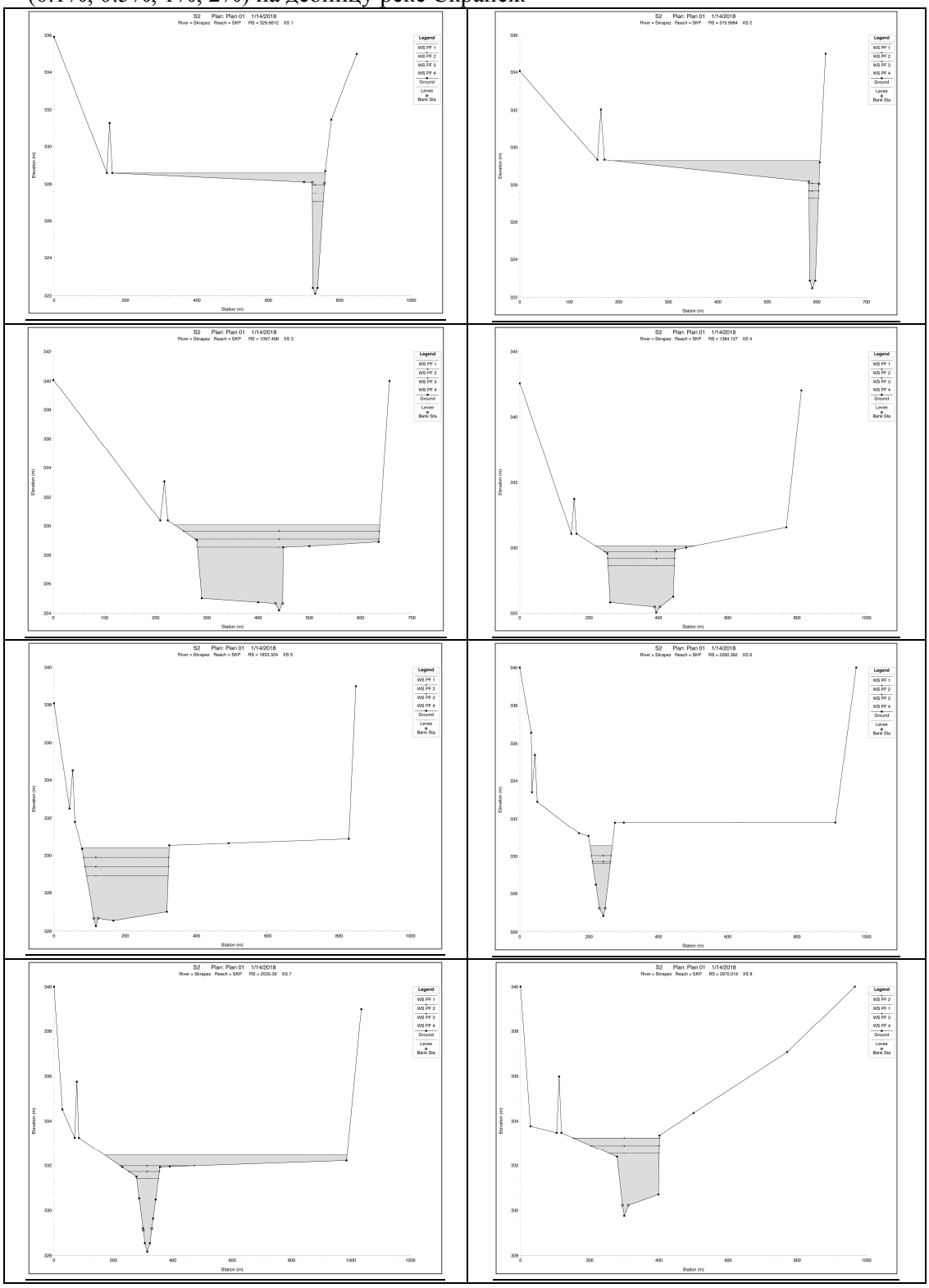
Попречни профил	Стационажа	Минимална висина корита	Израчунати нивои воде	Нагиб	Брзина воде	Површина плављења	Ширина плављења	Froude # Chl
	(km)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	-
СКП_16	5+049	336.02	339.95	0.003863	5.04	141.19	93.8	0.83
СКП_15	4+903	335.32	339.93	0.000862	2.32	215.33	118.4	0.39
СКП_14	4+755	334.82	339.17	0.002988	3.81	95.06	42.08	0.69
СКП_13	4+561	334.42	338.96	0.001602	3.01	132.93	60.9	0.52
СКП_12	4+245	334.01	338.05	0.003138	3.78	128.01	116.61	0.7
СКП_11	3+950	332.93	336.2	0.005005	4.33	78.13	43.55	0.85
СКП_10	3+625	331.82	334.45	0.006209	4.46	122.02	86.35	0.95
СКП_9	3+270	330.8	333.37	0.001112	1.9	221.3	107.07	0.41
СКП_8	2+970	329.72	332.88	0.001788	2.87	306.72	196.59	0.54
СКП_7	2+535	328.16	331.72	0.002082	3.28	159.53	102.47	0.59
СКП_6	2+260	326.83	329.71	0.058213	4.65	88.76	52.23	0.91
СКП_5	1+853	326.26	329.4	0.000842	0.74	589.19	234.1	0.14
СКП_4	1+384	325.04	329.17	0.000419	0.85	659.96	193.37	0.14
СКП_3	1+097	324.18	329.09	0.000204	1.33	774.9	358.51	0.2
СКП_2	0+580	322.47	327.67	0.00363	4.28	77.05	19.9	0.69
СКП_1	0+330	322.1	327.49	0.001481	2.79	118.25	32.37	0.47

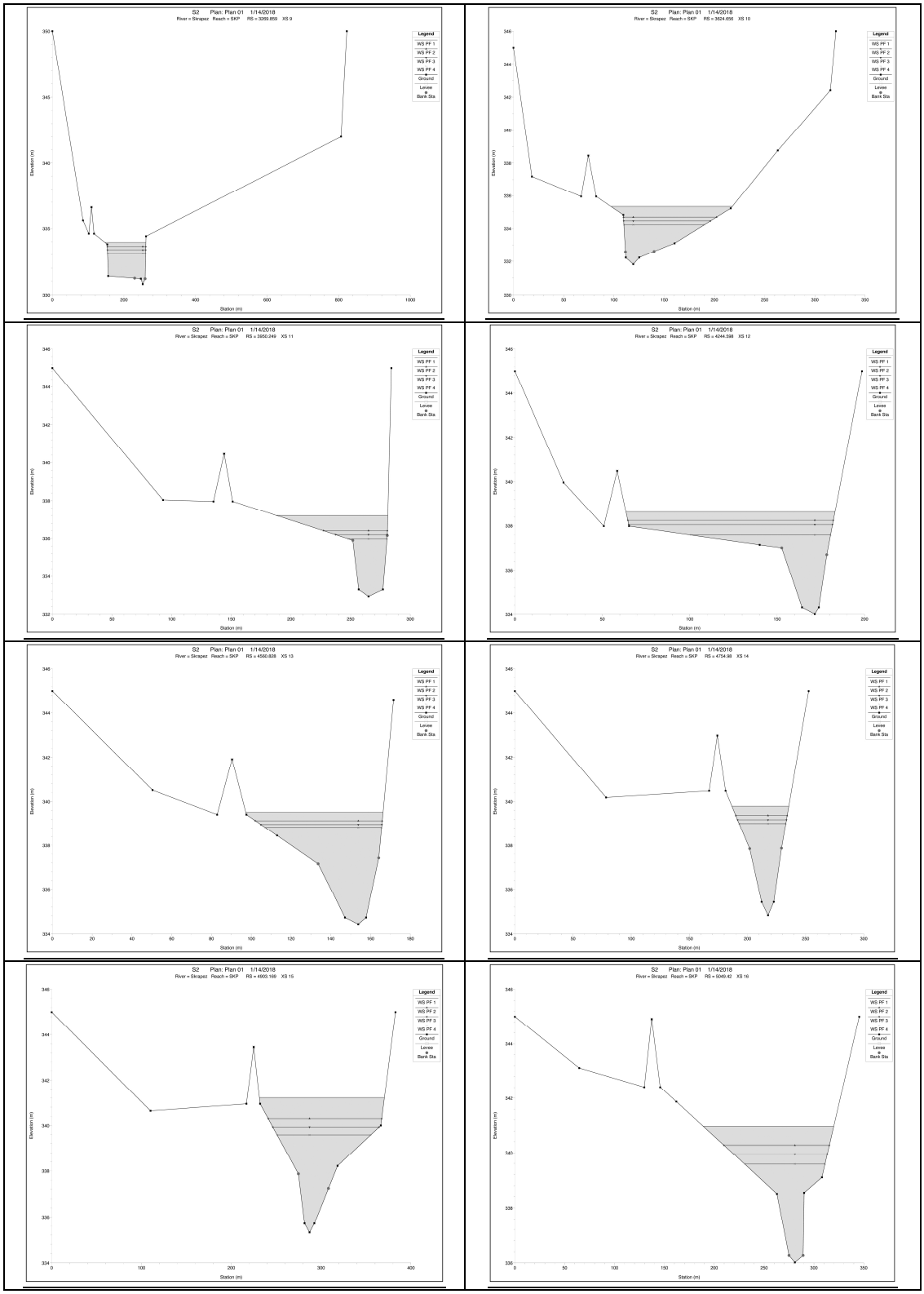
Израчунати нивои воде, нагиби, брзина воде, ширина и површина плављења на попречним профилима при вероватноћи појављивања великих вода 2% (Qmax=274.19 m^3/s)

Попречни профил	**Стационажа**	**Минимална висина корита**	**Израчунати нивои воде**	**Нагиб**	**Брзина воде**	**Површина плављења**	**Ширина плављења**	**Froude # Chl**
	(km)	**(m)**	**(m)**	**(m/m)**	**(m/s)**	**(m^2)**	**(m)**	**-**
СКП_16	5+049	336.02	339.58	0.004126	4.87	109.12	80.45	0.84
СКП_15	4+903	335.32	339.59	0.000879	2.2	177.34	104.46	0.38
СКП_14	4+755	334.82	339	0.002526	3.37	87.79	40.11	0.63
СКП_13	4+561	334.42	338.82	0.001284	2.62	124.64	58.53	0.46
СКП_12	4+245	334.01	337.58	0.004641	4.1	80.91	79.92	0.83
СКП_11	3+950	332.93	335.98	0.004619	3.94	69.67	32.42	0.81
СКП_10	3+625	331.82	334.23	0.006391	4.21	103.05	80.13	0.95
СКП_9	3+270	330.8	333.1	0.001217	1.83	192.2	106.56	0.42
СКП_8	2+970	329.72	332.54	0.002108	2.86	247.06	144.59	0.57
СКП_7	2+535	328.16	331.41	0.002034	3.03	133.32	73.37	0.57
СКП_6	2+260	326.83	329.6	0.047895	4.11	83.2	50.68	0.82
СКП_5	1+853	326.26	328.92	0.001144	0.77	477.75	228.86	0.16
СКП_4	1+384	325.04	328.63	0.000506	0.84	555.63	191.45	0.15
СКП_3	1+097	324.18	328.53	0.000238	1.32	608.32	173.2	0.21
СКП_2	0+580	322.47	327.24	0.003445	3.99	68.69	19.13	0.67
СКП_1	0+330	322.1	327.01	0.001482	2.66	103.25	30.59	0.46

ПРИЛОГ Ђ

Попречни профили при различитим вероватноћама појављивања великих вода (0.1%, 0.5%, 1%, 2%) на деоницу реке Скрапеж




S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 3269.859 XS 9
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 3534.659 XS 10
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 3950.249 XS 11
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 4244.598 XS 12
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 4560.828 XS 13
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 4754.98 XS 14
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 4903.169 XS 15
S2 Plan: Plan 01 1/14/2018
River = Skrapez Reach = SKP RS = 5046.42 XS 16
Legend
WS PF 1
WS PF 2
WS PF 3
WS PF 4
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

Биографија

Јелена Ковачевић-Мајкић, рођена је 15.08.1975. године у Београду, где је завршила основну школу и XI гимназију (природно-математички смер). У периоду 1995-2000 завршила је основне студије на Географском факултету Универзитета у Београду, са просечном оценом 9.71 и дипломирала на тему „Реке Београдског Подунавља“. Постдипломске студије на Географском факултету Универзитета у Београду завршила је 2008. године са просечном оценом 9.83 и одбранила магистарски рад под називом „Хидролошке одлике реке Скрапеж и водопривредни проблеми у сливу“, чиме је стекла звање магистра географије. У јануару 2013. године на Географском факултету Универзитета у Београду пријавила је докторску дисертацију „Процена ризика од бујичних поплава у Србији“.

Од 20.02.2003. године запослена је у Географском институту „Јован Цвијић“ САНУ као истраживач-приправник, а по стицању звања магистра географијенкао истраживач-сарадник. Учествовала је на више научних скупова у земљи и иностранству. Из области географије, хидрологије, природних ресурса и природних непогода до сада је самостално и у коауторству објавила више од 30 радова, једну научну монографију, једно поглавље у националној монографији и једно поглавље у међународној монографији. Објавила је и преко сто лексикографских јединица у неколико лексикографских публикација, неколико збирки задатака из географије за основну школу и приручник из области природних непогода. Учествовала је на више пројеката, у изради просторних планова, као предавач на програмима стручног усавршавања наставника, као и на фестивалима наука.

Мајка је две девојчице.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Име и презиме аутора Јелена Ковачевић-Мајкић
Број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Процена ризика од бујичних поплава у Србији“

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

Потпис аутора

У Београду, 18.04.2018.

Јелена Ковачевић-Мајкић

ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА

Име и презиме аутора Јелена Ковачевић-Мајкић
Број индекса
Студијски програм
Наслов рада „Процена ризика од Бујичних поплава у Србији“
Ментор др Ненад Живковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**
Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.
Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 18.04.2018

Јелена Ковачевић-Мајкић

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

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

„Процена ризика од бујичних поплава у Србији“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

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

Потпис аутора

У Београду, 18.04.2018.

Jelena Korčienić-Majkić

1. **Ауторство**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.