

**Процјена хазарда и ризика од клизишта за различите нивое просторног планирања у Републици Српској, БиХ; Landslade hazard and risk assessment for different level of spatial planing in the Republic of Srpska, B&H**

Цвјетко С. Сандић



**Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду**

**[ДР РГФ]**

Процјена хазарда и ризика од клизишта за различите нивое просторног планирања у Републици Српској, БиХ; Landslade hazard and risk assessment for different level of spatial planing in the Republic of Srpska, B&H | Цвјетко С. Сандић || 2022 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007440>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Цвјетко С. Сандић

**ПРОЦЈЕНА ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД  
КЛИЗИШТА ЗА РАЗЛИЧИТЕ НИВОЕ  
ПРОСТОРНОГ ПЛАНИРАЊА У РЕПУБЛИЦИ  
СРПСКОЈ, БИХ**

докторска дисертација

Београд, 2022.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Cvjetko S. Sandić

**LANDSLIDE HAZARD AND RISK  
ASSESSMENT FOR DIFFERENT LEVEL OF  
SPATIAL PLANNING IN THE REPUBLIC OF  
SRPSKA, B&H**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022.

**Ментор:**

др Биљана Аболмасов, редовни професор  
Ужа научна област: Инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство  
Универзитет у Београду  
Рударско – геолошки факултет

**Чланови комисије:**

др Милош Марјановић, ванредни професор  
Ужа научна област: Инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство  
Универзитет у Београду  
Рударско – геолошки факултет

др Радислав Тошић, редовни професор  
Ужа научна област: Физичка географија  
Универзитет у Бањој Луци  
Природно-математички факултет

Датум одбране:

---



## ЗАХВАЛНИЦА

Велику захвалност и поштовање желим да искажем практично мом једином ментору проф. др Биљани Аболмасов, која је својим ангажовањем обликовала мој Завршни рад, Мастер рад, па ево и докторску дисертацију. Захвалан сам јој на издвојеном времену, мотивацији још од времена основних студија и учењу да волим науку и посматрам је на другачији начин.

Проф. др Милошу Марјановићу захвалан сам на веома корисним савјетима, сугестијама и коментарима који су умногоме промијенили и побољшали ову докторску дисертацију. Хвала му за издвојено вријеме и моје едуковање у разним, само њему знаним софтверским анализама. Жао ми је што је неке од њих морао и више пута да ми понавља.

Проф. др Радиславу Тошићу хвала што је одмах прихватио да буде члан ове комисије. Хвала му што се појавио као нови човјек у мојој научној каријери, који је својим прагматизмом и суштинским препорукама унаприједио цјелокупан мој труд и рад.

Хвала и колеги доц. др Урошу Ђурићу који је вријеме за писање своје дисертације поклањао и мени, за рјешавање мојих потешкоћа и мука. Хвала на искреном пријатељству и несебичној колегијалности.

Желим да се захвалим Геолошком заводу Републике Српске који је омогућио извођење мојих теренских опсервација. Хвала и колегама из Завода који су ме искрено подржавали и давали ми времена да се посветим писању у што већем обиму.

Хвала мојој породици и пријатељима који су увијек вјеровали у мене, давали ми подршку и били мој вјетар у леђа.

Највише хвала мојој супрузи Христијани, која иако живи са „најтежим“ човјеком на свијету (са мном), увијек нађе времена и снаге да ме бодри и мотивише када је тешко. Извињавам јој се за вијеме које нисмо проводили заједно због рада на овој дисертацији.

Дисертацију посвећујем својим синовима Арсенију и Јовану, који су својим рођењем постали моја највећа мотивација, енергија и снага.

*Нека вам ово буде подстрек и мотивација за све изазове који вас у животу чекају.*

*Воли вас тата!*

# ПРОЦЈЕНА ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА ЗА РАЗЛИЧИТЕ НИВОЕ ПРОСТОРНОГ ПЛАНИРАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ, БИХ

## Сажетак

Територија Републике Српске је у посљедних десетак година веома угрожена активирањем нових и реактивирањем старих клизишта. Она својим дјеловањем наносе огромне материјалне штете, па и људске жртве, те је неопходно озбиљније третирање и дјеловање у борби са овим природним хазардом.

Чест проблем јесте одговорност, тј. надлежност институција из ове области и недостатак у законској регулативи која готово никако или само површно обрађује област хазарда и ризика од клизишта.

Усљед непостојања праксе и усвојених методологија које су у примјени у свијету, циљ и предмет ове дисертације јесте процјена склоности, хазарда и ризика од клизишта за различите нивое просторног планирања у Републици Српској.

Методе процјене рађене су за различите територијалне цјелине у Републици Српској и за различите нивое планирања - од нивоа националне процјене у размјери 1:100.000, локалног нивоа у размјери 1:25.000 па све до детаљног нивоа у размјере 1:5.000.

Извршеним процјенама добијени су модели – карте склоности, хазарда и ризика од клизишта у GIS окружењу, урађена према савременим смјерницама и међународним препорукама из ове области.

Након сваке од урађених процјена, извршена је квантитативна верификација сваког добијеног модела, односно провјера његове тачности.

Као полазна основа урађена је процјена склоности ка клижењу за ниво цјелокупне територије Републике Српске у размјери 1:100.000. Овакав вид процјене може се користити за ниво Просторног плана Републике Српске.

Затим је рађена процјена склоности ка клижењу за територију Града Зворника, у размјери 1:25.000. На овом нивоу вршена је упоредна процјена са два различита методолошка приступа, хеуристичког АНП приступа и статистичког LSA приступа. Добијени резултати су показали да LSA приступ даје нешто боље резултате. Процјена у овој размјери одговара нивоу Просторног плана јединица локалне самоуправе, односно нивоу општина и градова.

У размјери 1:5.000, на детаљном нивоу, процјена је рађена за дио територије урбаног дијела Града Добоја. Процјена прати цјелокупан процес, почевши од склоности ка клижењу, односно квази – хазарда, изложености, затим угрожености елемената ризика, па све до процјене ризика. Примјењен је детерминистички приступ, односно процјена базирана на методи бесконачне косине (SINMAP модел) у GIS окружењу. Резултати добијени процјенама на овом нивоу могу се користити у урбанистичком планирању, за израду акционих планова упозорења, у системима одлучивања приоритета за санацију и сл.

Недвосмислено се може закључити да овакве процјене морају бити интегрални дио просторно планских и урбанистичких докумената, а све у циљу превентивног дјеловања, правилног третмана ризика од клизишта и управљања истим.

**Кључне ријечи:** Клизишта, склоност, хазард, ризик, процјена, просторно планирање, угроженост, Република Српска

**Научна област:** Геолошко инжењерство

**Ужа научна област:** Инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство

**УДК број:** 624.131.537(497.6)(043.3)

# LANDSLIDE HAZARD AND RISK ASSESSMENT FOR DIFFERENT LEVEL OF SPATIAL PLANNING IN THE REPUBLIC OF SRPSKA, B&H

## Abstract

The territory of the Republic of Srpska has been in great danger over the last ten years by activating new landslides and reactivating old landslides. That cause enormous material damage, including human casualties, and require more serious treatment and action to combat this natural hazard.

A common problem is accountability, ie the competence of institutions in this field and the lack of legal regulation, that almost completely or superficially addresses the area of landslide hazards and risks.

Due to the lack of practice and adopted methodologies that are applicable in the world, the aim and subject of this dissertation is the assessment of landslide susceptibility, hazard and risk for different levels of spatial planning in the Republic of Srpska.

Assessment methods were developed for different territorial units in the Republic of Srpska and for different levels of planning - from the national assessment scale of 1:100.000, the local level at 1:25.000 to the detailed level at 1:5.000.

The map of landslides susceptibility, hazard and risk in GIS environment, made according to modern guidelines and international recommendations in this field were estimated. After each of the assessments, a quantitative verification of model obtained was performed, i.e. verification of its accuracy.

In the first step, for the territory of the Republic of Srpska, was performed the landslide susceptibility assessment in the scale 1:100.000. This kind of assessment can be used for the level of Spatial Plan of the Republic of Srpska.

Then, the landslide susceptibility assessment of the Zvornik City was made, in the scale of 1:25.000. At this level, a comparative assessment was performed with two different methodological approaches, the heuristic AHP approach and the statistical LSA approach.

The obtained results showed that the LSA approach gives slightly better results. The estimation in this scale corresponds to the level of the Spatial Plan of local government units, or level of municipalities and cities.

In the scale of 1:5.000, at a detailed level, the assessment is done for part of the territory of the urban part of the of Doboij City. The assessment follows the whole process, starting from the landslide susceptibility, i.e. quasi - hazard, exposure, then vulnerability of element of risk, until the risk assessment. A deterministic approach was applied, that is, an assessment based on the infinite slope method (SINMAP model) in the GIS environment.

The results obtained from assessments at this level can be used in urban planning, for the development of different action plans, in decision-making systems for prioritizing location for remediation, etc. It can be unequivocally concluded that such assessments must be an integral part of spatial planning and urban planning documents, all with the aim of preventive action, proper landslide risk management.

**Key words:** Landslides, susceptibility, hazard, risk, assessment, spatial planning, vulnerability, Republic of Srpska

**Scientific field:** Geological engineering

**Scientific subfield:** Engineering geology, geomechanics and geotechnical engineering

**UDC number:** 624.131.537(497.6)(043.3)

## САДРЖАЈ

<b>1. УВОД .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ОРГАНИЗАЦИЈА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ И НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ТЕОРИЈСКЕ ПОСТАВКЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. АКТУЕЛНОСТ ПРОБЛЕМАТИКЕ КЛИЗИШТА У СВИЈЕТУ .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. ТЕРМИНОЛОГИЈА И НОМЕНКЛАТУРА ЗА ПРОЦЈЕНУ         ХАЗАРДА И РИЗИКА .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ПОЛАЗНЕ ОСНОВЕ ЗА ПРОЦЈЕНУ ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА .....</b>	<b>10</b>
<b>4. МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУПИ ПРИ ПРОЦЈЕНИ ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. МЕТОДЕ ПРИКУПЉАЊА ПОДАТАКА .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2. МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА СКЛОНОСТИ/ХАЗАРДА ОД КЛИЗИШТА .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.1. Методе засноване на анализи катастра клизишта .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.2. Методе засноване на експертском-хеуристичком приступу .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.3. Методе засноване на анализи података                 статистичке и детерминистичке .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. МЕТОДЕ ПРОВЈЕРЕ ТАЧНОСТИ МОДЕЛА .....</b>	<b>19</b>
<b>5. ПРЕСЈЕК СТАЊА ИЗ ОБЛАСТИ КЛИЗИШТА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. ИСТОРИЈАТ ИСТРАЖИВАЊА КЛИЗИШТА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ .....</b>	<b>20</b>
<b>5.2. ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ФОРМИРАЊЕ КЛИЗИШТА .....</b>	<b>21</b>
<b>5.3. БАЗА ПОДАТАКА О КЛИЗИШТИМА (КАТАСТАР КЛИЗИШТА) .....</b>	<b>22</b>
<b>5.4. СТАТИСТИЧКИ ПОДАЦИ О КЛИЗИШТИМА .....</b>	<b>26</b>
<b>5.4.1. Геолошка својства .....</b>	<b>27</b>
<b>5.4.2. Типологија клизишта – опште информације .....</b>	<b>28</b>
<b>5.4.3. Узроци активирања клизишта .....</b>	<b>31</b>
<b>5.4.4. Штете и посљедица од клизишта у Републици Српској .....</b>	<b>32</b>
<b>6. ПРОЦЕС ПРОЦЈЕНЕ ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА ЗА РАЗЛИЧИТЕ НИВОЕ ПРОСТОРНОГ ПЛАНИРАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ .....</b>	<b>36</b>
<b>7. РЕГИОНАЛНИ НИВО ПРОЦЈЕНЕ .....</b>	<b>38</b>
<b>7.1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ .....</b>	<b>38</b>
<b>7.2. ГЕОМОРФОЛОШКЕ И ХИДРОГРАФСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ .....</b>	<b>39</b>
<b>7.3. ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ         РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ .....</b>	<b>42</b>
<b>7.4. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЈЕНУ СКЛОНОСТИ ТЕРЕНА КА КЛИЖЕЊУ         РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ .....</b>	<b>44</b>
<b>7.5. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ .....</b>	<b>46</b>
<b>7.5.1. Подаци из катастра клизишта на регионалном нивоу .....</b>	<b>46</b>
<b>7.5.2. Литолошка грађа терена .....</b>	<b>47</b>
<b>7.5.3. Нагиб терена .....</b>	<b>49</b>
<b>7.5.4. Падавине .....</b>	<b>50</b>
<b>7.5.5. Коришћење земљишта .....</b>	<b>51</b>
<b>7.5.6. Удаљеност од активних расједа .....</b>	<b>53</b>

7.6. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА .....	54
7.7. ВЕРИФИКАЦИЈА МОДЕЛА НА РЕГИОНАЛНОМ НИВОУ .....	57
<b>8. ЛОКАЛНИ НИВО ПРОЦЈЕНЕ.....</b>	<b>59</b>
8.1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ .....	60
8.2. ГЕОЛОШКА И ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКА ГРАЂА ТЕРЕНА .....	61
8.3. МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУПИ ПРИ ПРОЦЈЕНИ СКЛОНОСТИ ТЕРЕНА КА КЛИЖЕЊУ НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ .....	63
8.4. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ .....	64
8.4.1. Моделирање према АНР методи.....	64
8.4.1.1. Подаци из катастра клизишта на локалном нивоу .....	65
8.4.1.2. Литолошка грађа терена .....	66
8.4.1.3. Нагиб површине терена .....	69
8.4.1.4. Падавине.....	69
8.4.1.5. Удаљеност од водотокова.....	69
8.4.1.6. Коришћење земљишта .....	69
8.4.1.7. Орјентација падина .....	74
8.4.1.8. Закривљеност падина .....	74
8.4.2. Моделирање према LSA методи .....	78
8.5. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ .....	79
8.6. ВЕРИФИКАЦИЈА МОДЕЛА НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ.....	80
<b>9. ДЕТАЉНИ НИВО ПРОЦЈЕНЕ РИЗИКА.....</b>	<b>81</b>
9.1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ.....	82
9.2. ГЕОЛОШКА ГРАЂА ТЕРЕНА СА ОСВРТОМ НА ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ .....	84
9.3. ДЕТЕРМИНИСТИЧКИ ПРИСТУП – STABILITY INDEX (SINMAP) ТЕОРИЈСКЕ ПОСТАВКЕ .....	86
9.3.1. Модел стабилности бесконачне косине .....	86
9.3.2. Индекс влажности терена .....	89
9.3.3. Индекс стабилности .....	90
9.4. МОДЕЛИРАЊЕ СКЛОНОСТИ ТЕРЕНА КА КЛИЖЕЊУ МЕТОДОМ БЕСКОНАЧНЕ КОСИНЕ – SINMAP .....	92
9.4.1. Анализа добијених резултата .....	95
9.4.2. Верификација модела склоности на локалном детаљном нивоу .....	97
9.5. ЕЛЕМЕНТИ РИЗИКА НА ИСТРАЖНОМ ПОДРУЧЈУ .....	98
9.6. ПРОЦЈЕНА РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА.....	102
<b>10. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПРОЦЕСА УПРАВЉАЊА РИЗИЦИМА ОД КЛИЗИШТА.....</b>	<b>104</b>
10.1. АНАЛИЗА ТРЕНУТНОГ СТАЊА.....	105
10.2. МОГУЋНОСТИ УПОТРЕБЕ ПРОЦЈЕНА ХАЗАРДА И РИЗИКА.....	106
<b>11. ЗАКЉУЧЦИ.....</b>	<b>107</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>110</b>

## 1. УВОД

Природним хазардима сматрају се сви природни процеси који у друштвеном окружењу могу прозороковати штетне последице (Аболмасов, 2007; Smith & Petley, 2009). Геолошки процеси, уз атмосферске појаве чине најзначајнији дио природних хазарда, а укључују земљотресе, вулканску активност и падинске процесе. Клизишта представљају један од најчешће заступљених савремених геолошких процеса, падинских процеса, а у исто вријеме, један од најраспрострањенијих природних хазарда.

Клижење се може јавити спонтано у природним условима, или као последица дејства људске активности, најчешће приликом изградње објеката или промјене морфологије терена. Најчешће се јављају на падинама брежуљкастих, брдских и брдско-планинских терена (у природним условима), или у косинама засјека, усјека и насипа (услед људских активности). Клизишта као таква, представљају глобални проблем и спадају у природне хазарде који изазивају материјалну штету која се мјери милијардама долара на годишњем нивоу, док неријетко изазивају и људске жртве (Petley, 2012). Препозната су као природни хазард трећи по значају на глобалном нивоу (Zillman, 1999).

Утицај глобалних климатских промјена (ефекти глобалног загријавања, константно повећање количина падавина), урбанизација друштва и константно повећање броја људи на Земљи, потреба за убрзаним развојем инфраструктуре, али и неадекватна експлоатација земљишта у неразвијеним земљама иду у прилог развоју процеса клижења и указују на тренд раста губитака од клизишта и у будућности (Shuster, 1996; Guzzeti, 2005). Учесталост појава, и све веће материјалне штете од клизишта и њима сродних појава нестабилности, проузроковали су и повећано интересовање за процјену хазарда и ризика од клизишта, како у свијету, тако и у Босни и Херцеговини, посебно Републици Српској, чија је територија у знатној мјери захваћена процесима клижења. Према тренутно расположивим подацима, 29% територије Босне и Херцеговине има високу склоност ка развоју процеса клижења (HEIS, 2015; Аболмасов, 2016).

### 1.1. ОРГАНИЗАЦИЈА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Садржај ове докторске дисертације конципиран је у 11 (једанаест) поглавља.

У првом, уводном поглављу, дат је предмет и циљ истраживања, полазне хипотезе и основне научне методе истраживања.

У поглављу 2 приказане су теоријске основе и актуелност проблематике клизишта у свијету, чиме се указује на значај предметне области истраживања, односно потребе за додатним проучавањем и унапријеђењем у нашем окружењу. Дат је и преглед основних терминолошких и номенклатурних појмова потребних за разумијевање области процјене хазарда и ризика од клизишта.

У поглављу 3 приказане су полазне основе за процјену хазарда и ризика од клизишта.

У поглављу 4 дати су методолошки приступи и основни принципи који се користе при процјени склоности/хазарда и ризика од клизишта. Описане су методе засноване на анализи катастра клизишта, експертске – хеуристичке методе, као и методе засноване на анализи података, односно статистичке и детерминистичке методе.

У поглављу 5 дат је пресјек стања из области клизишта у Републици Српској, почевши од историјата истраживања клизишта на просторима Републике Српске, односно Босне и Херцеговине, па све до садашњих услова за формирање клизишта. Приказан је и концептуални модел GIS базе података о клизиштима, формиране за потребе израде ове дисертације, али и значајни статистички подаци о клизиштима и штетама од клизишта који су добијени формирањем и уносном прикупљених података у предметну базу.

У поглављу 6 приказане су савремене свјетске препоруке и оквири за процјену хазарда и ризика од клизишта за различите нивое планирања простора.

У поглављу 7 приказан је концепт и методолошки приступ процјене склоности терена ка клижењу на регионалном нивоу, за територију Републике Српске у размјери 1:100.000. Приказана је анализа добијених резултата и начин верификације модела на регионалном нивоу.

У поглављу 8 приказан је концепт процјене склоности терена ка клижењу на локалном нивоу, гдје је третирана територија коју заузима Град Зворник. Процјена је вршена у размјери 1:25.000, уз упоредну примјену два различита методолошка приступа, хеуристичке АНР методе и статистичке LSA методе. Приказана је и упоредна анализа добијених резултата са критичким освртом и верификацијом модела на локалном нивоу.

У поглављу 9 рађена је детаљна процјена ризика од клизишта за дио територије Града Добоја, у размјери 1:5.000. Процјена ризика је рађена уз помоћ детерминистичке методе, базиране на методи бесконачне косине у GIS окружењу (SINMAP модел). Цјелокупан процес процјене ризика, у овом случају прати све нивое процјене, почевши од процјене склоности, односно квази – хазарда, изложености, затим угоржености елемената ризика и на крају процјене ризика.

У поглављу 10 дат је приказ тренутног стања у смислу углеге процјена хазарда и ризика у законским регулативама. Размартане су могућности имплементације и примјене подлога добијених процјенама склоности, хазарда и ризика од клизишта у просторном планирању, као и оквири и препоруке за правилно управљање ризицима од клизишта.

У поглављу 11 приказана су закључна разматрања, и сумарни приказ коришћених методологија и добијених резултата.

## **1.2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА**

Клизишта представљају један од најчешће заступљених савремених геолошких процеса у свијету (Alcantara-Ayala, 2002; Glade & Crozier, 2004; Guzzetti, 2005)

Посебно је територија Републике Српске у веома кратком периоду од мање од једне деценије (2010. до 2017. године), била угрожена активирањем-реактивирањем великог броја клизишта усљед обилних падавина, па су тиме државне институције, стручна и шира јавност посебно заинтересоване за овај природни процес. Екстремне падавине током маја 2014. године у Босни и Херцеговини су изазвале активирање преко 4000 клизишта, што је за посљедицу имало људске жртве и велике материјалне штете на нивоу 15% бруто националног дохотка<sup>1</sup>. Убрзо након мајских догађаја 2014. године, уочени су бројни проблеми са неажурираним или неадекватним подацима о процесима нестабилности и документацијом за потребе просторног и урбанистичког планирања у многим општинама Републике Српске. Такође, евидентан је и проблем дефинисања надлежности институција, одсуства информација о клизиштима, непостојање инжењерскогеолошких карата, прогнозних карата хазарда и ризика. Не постоји пракса процјене хазарда и ризика од клизишта у просторном планирању, те се често клизишта занемарују и не третирају на прави начин.

Непосредни предмет ове докторске дисертације је процјена хазарда и ризика од клизишта за различите нивое планирања простора на територији Републике Српске у Босни и Херцеговини. Методе процјене су тестиране за различите територијалне цјелине у Републици Српској и за различите нивое планирања - од нивоа националне процјене хазарда од клизишта (размјера 1:100.000), регионалног нивоа (размјера 1:25.000) до детаљног нивоа (размјере 1:5.000), за који је извршена и квантитативна процена хазарда и ризика од клизишта.

Непосредни задатак истраживања је добијање одговарајућих модела процјене - карата хазарда од клизишта у GIS окружењу, према савременим смјерницама и препорукама и доброј пракси у међународним оквирима.

---

<sup>1</sup> Bosnia and Herzegovina Floods 2014 - Recovery Needs Assessment

Да би се постигао предвиђени задатак истраживања, неопходно је спровести сљедеће кораке од којих се сваки може сматрати појединачним под-задатком истраживања:

- теренско регистровање и прикупљање података о клизиштима, систематизација података на основу међународно прихваћене класификације клизишта;
- формирање GIS базе података о клизиштима – катастра клизишта;
- израда одговарајућих параметарских модела зависно од размјере и метода које ће се примјенити у процјени хазарда од клизишта;
- израда и валидација модела, процјена склоности/подложности терена ка клижењу за територију Републике Српске, 1:100.000;
- израда и валидација модела, процјена склоности/подложности терена ка клижењу за територију Града Зворника, 1:25.000;
- израда и валидација модела, процјена склоности/подложности терена ка клижењу за детаљно подручје у склопу Града Добоја, 1:5.000;
- израда и валидација модела, процјена хазарда и ризика од клизишта за детаљно подручје у склопу Града Добоја, 1:5.000;
- критички осврт на коришћене методе и могућност њихове примјене за потребе просторног и урбанистичког планирања на истражним подручјима;
- препоруке у смислу коришћења добијених модела процјене у циљу управљања ризицима од клизишта.

Основни циљ дисертације с практичног аспекта јесте да се уз помоћ савремених метода моделовања хазарда и ризика од клизишта и израде одговарајућих подлога, да допринос у управљању ризицима од клизишта, прије свега у смислу правилног и рационалног просторног планирања како за регионални, тако и за локални ниво.

У научном смислу допринос јесте формирање адекватних база података о клизиштима, као и критичком осврту и могућностима примјене постојећих методологија за различите нивое размјере. Такође, анализира се степен поузданости коришћених методологија, као и прецизност добијених резултата.

### **1.3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ И НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА**

Као оквирне полазне хипотезе које су коришћене у раду могу се издвојити сљедеће:

- Фактори који утичу на појаву клижења могу бити непромјенљиви у времену и одражавају потенцијал за настанак клизишта на неком простору – утицајни фактори, а могу бити промјенљиви у времену и директно утицати на промјену услова који доводе до клижења – покретачи.
- Неко подручје може се сматрати склоним клижењу ако у њему влада сличан сплет фактора који су на неком другом подручју већ изазвали појаву клизишта.
- На основу догађаја (клизишта) из прошлости могу се предвидјети догађаји у будућности; наиме основ процјене хазарда од клизишта подразумијева да се у сличним условима који су иницирали догађај у прошлости могу десити и догађаји у будућности - то је основ претпоставки за процјену вјероватноће догађања клизишта на истражном подручју;
- Хазард од клизишта је у директној вези са временском динамиком непосредног покретача клизишта – концепт квази хазарда.
- Тачност модела - процјене хазарда од клизишта зависи од квалитета и правилног избора улазних параметара а затим од примјењене методе процјене;
- Процјена хазарда од клизишта изражена је преко степена вјероватноће да ће се догађај десити у будућности, у дефинисаном повратном периоду.
- Процјена социјалног ризика од клизишта заснована је на густини насељености јединица становања и рањивости посебних јединица (школе, болнице, итд.).



На основу свега наведеног, основна истраживачка питања током израде докторске дисертације била су:

- Које методе процјене су адекватне за различита подручја посматрања, односно различите нивое планирања и различите типове клизишта?
- Које су предности, а који недостаци коришћених приступа при моделирању - процјени хазарда и ризика од клизишта?
- Који је ниво поузданости карата хазарда и ризика за различите нивое планирања?
- Које су могућности примјене резултата – модела процјене хазарада и ризика од клизишта у различитим нивоима планирања?
- Које су то реалне препоруке које се могу примијенити у пракси?

Да би се постигли жељени циљеви докторске дисертације неопходна је била и примјена сљедећих научних метода истраживања:

- Метода теоријске анализе у циљу примјенљивости резултата досадашњих истраживања и најновијих сазнања везаних за предмет докторске дисертације;
- Метода прикупљања, анализе и синтезе различитих просторних података потребних за примјену појединих метода процјене хазарда и ризика од клизишта. Ова метода подразумијевала је прикупљање података о клизиштима, односно њихово теренско регистровање, прикупљање података о геолошкој грађи, геоморфолошким, хидрогеолошким, хидролошким, климатолошким, сеизмо-тектонским карактеристикама, коришћењу земљишта и сл., али и података о елементима ризика, становништву, материјалним добрима, као и материјалним штетама усљед појава клизишта итд.
- Метода моделовања којом се на основу прикупљених и анализираних улазних података извршила процјена хазарда и ризика од клизишта у GIS окружењу уз додатну примјену савремених софтверских алата. Моделовање је подразумијевало примјену различитих квалитативних и квантитативних метода процјене хазарда од клизишта, зависно од степена поузданости прикупљених података, подручја обухваћеног процјеном и нивоом планирања.
- Верификација модела – валидација добијених резултата процјене вршена је различитим методама којима се упоређују добијени резултати са реалним подацима са терена. За валидацију модела примјењивале су се методе познате у литератури које у просторним анализама дају објективне, мјерљиве, тј. квантитативне резултате верификације.

## 2. ТЕОРИЈСКЕ ПОСТАВКЕ

Клизишта, односно процеси клижења спадају у велику групу падинских - гравитационих процеса чија је активност превасходно везана за здружено дјеловање гравитације, атмосфере (падавине и температура ваздуха), хидросфере (површинске и подземне воде), ендегене процесе (сеизмички утицаји), егзогене процесе (површинско распадање, планарна и линијска ерозија) и техногено дејство.

Клижење представља савремени геолошки процес откидања и помијерања стијенских маса у падинама и косинама, преко стабилне подлоге, а по јасно испољеној површини или зони клижења, док је клизиште дио терена који се трансляторно или ротационо помијера преко стабилне подлоге (Јањић, 1981).

У савременој свјетској, прије свега америчкој литератури (Varnes, 1984; Cruden & Varnes, 1996; Cruden & VanDine, 2013; Hungr et al., 2014), сви падински процеси третирају се као клизишта (*landslides*). То подразумијева да је клизиште, свако кретање тла или стијена низ падину изнад површине смицања, односно свако премјештање тла или стијенских маса по нагнутој косини без обзира на карактер и брзину кретања. Такође, постоји много класификација клизишта, али основ за сваку представља механизам кретања комбинован са материјалом који је захваћен клизањем (слика 1). Разликује се пет механизма кретања и то:

одроњавање (*fall*), превртање (*topple*), клижење (*slide*), течење (*flow*) и бочно ширење (*spread*); који се развијају у следећим срединама: стијена, дробина, тло. Најчешће су комбинације нпр. одрона у стијенама, течења тла или дробине, клижење тла, док су остале комбинације знатно рјеђе, а има их и мјешовитих.

Материјал		СТИЈЕНА	ДРОБИНА	ТЛО
Тип кретања				
ОДРОЊАВАЊЕ	Одровавање стијене		Одровавање дробине	Одровавање тла
	Превртање стијене		Превртање дробине	Превртање тла
КЛИЗАЊЕ	Ротационо	Појединачно ротационо клизаште	Вишеструко ротационо клизаште	Узастопно ротационо клизаште
	Транслаторно	Клизаште стијена	Клизаште дробине	Клизаште тла
ТЕЧЕЊЕ	Стијенска капа		Истискивање са издизањем два долине	Бочно смицање
	Солифлуација (течење дробине)		Дробинска бујица	Течење тла (земљана бујица)
КОМПЛЕКСНО	Сложено клизаште: течење тла са одровавањем дробине		Сложено клизаште: дијелом кружно, дијелом ротационо	

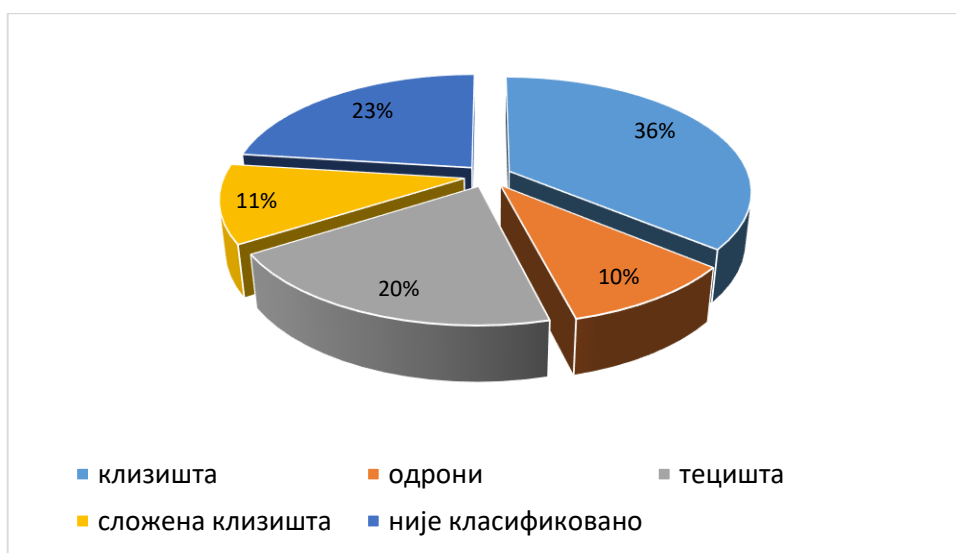
Слика 1. Класификација падинских процеса према механизму кретања и врсти покренутог материјала (према Cruden & Varnes, 1996).

Клизишта се углавном догађају на нагнутим или благо нагнутим теренима, с тим да је изузетак бочно смицање које настаје на практично хоризонталним теренима. Несвакидашњи примјер клизишта – бочног ширења (смицања), (слика 2), регистрован је у општини Лопаре након обилних падавина у мају 2014. године (Сандић и Лека, 2014).



Слика 2. Бочно ширење у МЗ Тобут, општина Лопаре (фото: Ц. Сандић, 2014).

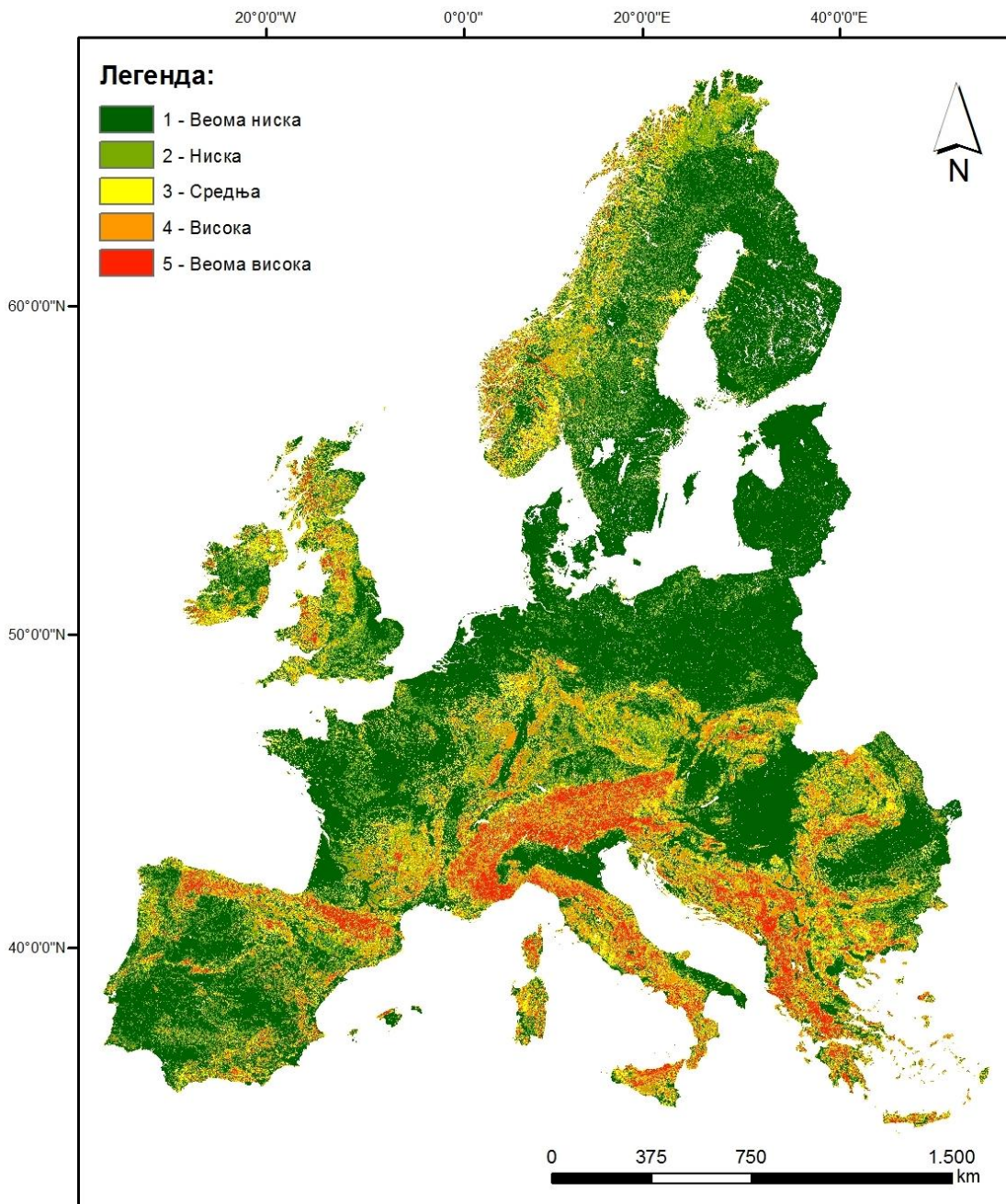
Према подацима групе за геохазарде Европских геолошких завода EGS која је покушала објединити рапосложиве податке, у Европи су регистроване 849.543 појаве нестабилности (Herrera et al., 2017). Од тога 36% су клизишта, 10% одрони, 20% тецишта, 11% сложена клизишта и 24% појава није класификовано (слика 3). Класификација је урађена на основу препорука Cruden & Varnes (1996), што је усвојена класификација и приликом израде овог рада. У складу са њом, у овој дисертацији ће бити обрађивана клижења тла, дробине и стене, течење тла и дробине, одроњавање, бочно ширење итд.



Слика 3. Класификација појава нестабилности према подацима EGS-а (према Herrera et al. 2017)

На слици 4. приказана је обједињена карта склоности терена ка клижењу Европе (ELSUS) у резолуцији 200x200 m која показује предиспонираност Европе ка развоју процеса клижења (Günther et al, 2013; Wilde et al., 2018).





Слика 4. Карта склоности терена ка клижењу Европе (према Günther et al, 2013).

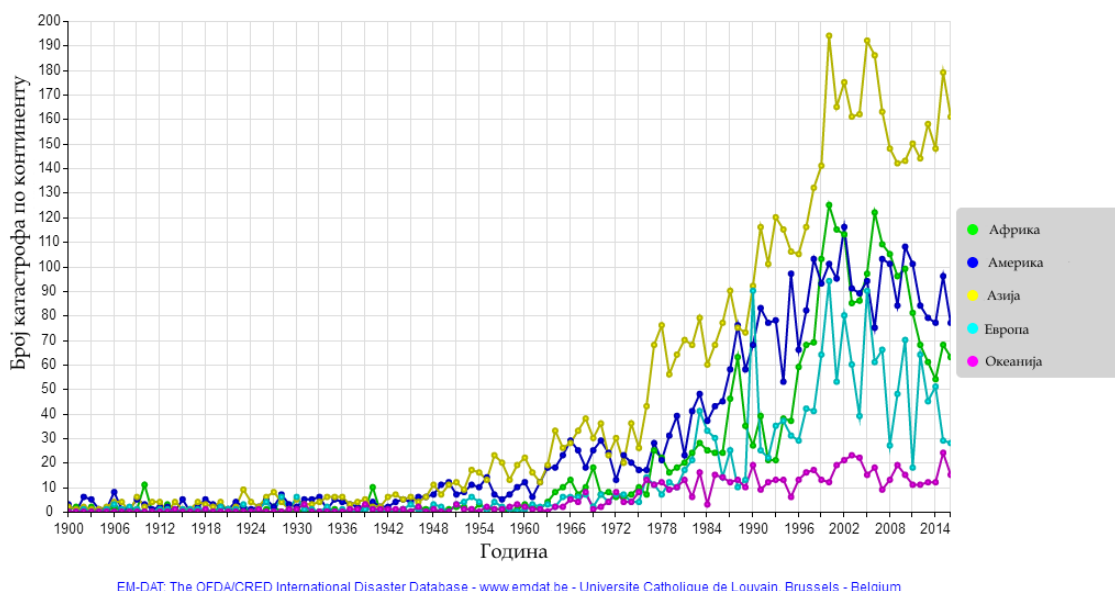
## 2.1. АКТУЕЛНОСТ ПРОБЛЕМАТИКЕ КЛИЗИШТА У СВИЈЕТУ

Бројни хазарди свакодневно излажу ризику животе људи и њихова добра у цијелом свијету. Неки су резултат природних предуслова, док су други често производ и људског дјеловања/недјеловања. У сваком случају могу да узрокују губитке живота, повреде, негативне ефекте на здравље људи, материјалне штете, отежавање или прекид комуникација – социјалних и економских токова, али и нарушавање животне средине (UNISDR, 2009; 2015).

Током протекле деценије, на Балканском полуострву је уочен значајан пораст броја догођених природних хазарда. Статистика која постоји не говори нам само о њиховој величини, већ и о томе да ће овај тренд вјероватно постати још израженији у будућности

(UNDP, 2016). Климатске промјене, чији је утицај на природно окружење све већи, итекако имају утицај на развој процеса клижења у смислу повећаног интензитета падавина, пораста температура и сл. (Crozier, 2010, IPCC, 2014, Gariano & Guzzetti, 2016).

Како је учесталост и интензитет природних катастрофа, у порасту је на глобалном нивоу, па тако он не заобилази ни територију Републике Српске (слика 5). Тај негативан утицај посебно је изражен у посљедњим деценијама усљед непланске урбанизације, тежње ка што бржем економском развоју и наглих климатских промјена. Постоје многи примјери који илуструју значај клизишта као природних хазарда у смислу материјалних штета које причињавају (Brabb & Harrod, 1989; Brabb, 1991; Alcántara-Ayala, 2002; EM-DAT, 2017).

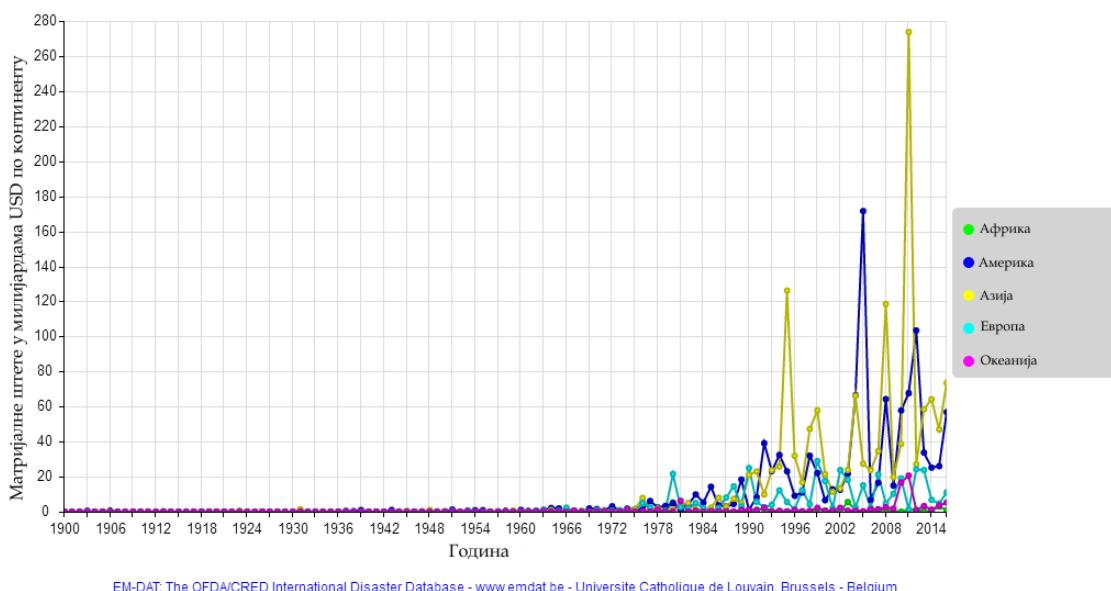


Слика 5. Дијаграм догођених природних катастрофа по континентима за период 1900-2016. године (према EM-DAT, 2017. <http://emdat.be>)

Према подацима EM-DAT-а (The CRED/OFDA International Disaster Database – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) – Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium), могуће је видјети изразити тренд раста економских губитака од природних катастрофа почетком деведесетих година прошлог вијека (слика 6). Такође, треба истаћи да „тренду раста“ доприносе једним дијелом урбана експанзија, пораст свјетске популације и климатске промјене, али дијелом и развој глобалних комуникација које омогућавају бржи и већи проток информација и обраду података у односу на период са почетка прошлог вијека.

У студији Наџе са сарадницима (2016) која обухвата 27 Европских земаља, приказано је да је за период између 1995-2014. године забиљежено 1370 смртних случајева и 784 повријеђена лица од клизишта.

За највеће појединачно догођено клизиште у свијету сматра се клизиште у покрајини Yunnan, у НР Кини, настало је 1965. године, гдје је покренуто око 450 милиона  $m^3$  материјала (Evans, 2006). Као највеће клизиште у Европи сматра се клизиште настало у боку бране Вајонт у Италији, гдје је покренуто 270 милиона  $m^3$  материјала (Genevois & Ghirotti, 2005).



Слика 6. Дијаграм материјалних штета од природних катастрофа по континентима за период 1900-2016. године (према EM-DAT, 2017. <http://emdat.be>)

## 2.2. ТЕРМИНОЛОГИЈА И НОМЕНКЛАТУРА ЗА ПРОЦЈЕНУ ХАЗАРДА И РИЗИКА

Разумијевање хазарда и ризика у ужем и ширем смислу захтијева комуникацију на “истом језику”, односно у термилошкој смислу истим, свјетски прихваћеним појмовима. Процјена хазарда и ризика од клизишта јесте један мултидисциплинаран проблем, те треба тежити консензус ради дефинисања свачијих улога, циљева и задатака. Постоји много стручне литературе која термилошки третира појмове из ове области (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; IAEG, 1990; Cruden & Varnes, 1996; Dikau et al., 1996; AGS, 2007a; Fell et al., 2008; UNISDR, 2009). Циљ сваке од ових термилогија јесте промовисати заједничко разумијевање појмова и помоћи свим заинтересованим странама у њиховим напорима на смањењу ризика од катастрофа (UNISDR, 2009).

Дефиниције које ће бити дате у наредном тексту су општег карактера и важе за све природне хазарде, с тим што је ипак дат акценат на проблематику изучавања хазарда и ризика од клизишта. Надаље ће се у дисертацији строго придржавати ове термилогије:

**Катастар клизишта** – База података о клизиштима за одређено подручје, одређени период, пожељно у дигиталном GIS облику са свим просторним информацијама које се односе на сваку локацију појединачно. Пожељно је да садржи информације о координатама локације, датуму евидентирања, врсти клизишта, механизму, узроцима, активности, површини/запремини, дубини, геолошком саставу, датуму активирања, фотодокументацију, итд. Може бити у тачкастом и полигоналном облику.

**Магнитуда (Интензитет) клизишта** – Скуп просторно дистрибуираних параметара који се односе на величину, односно разорну моћ клизишта. Параметри могу бити квалитативно или квантитативно описани и могу да садрже површину, запремину, брзину кретања клизишта, зону његовог утицаја, односно даљину до које покренути материјал може да доспије.

**Посљедице клизишта** – Негативни ефекти који могу настати дјеловањем клизишта.

**Склоност (подложност) на клизање** – Просторна вјероватноћа дешавања појаве клизишта на неком подручју. Може бити изражена квалитативно (подјелом на различите класе) или квантитативно.

**Карта склоности (подложности) ка клижењу** – Карта која приказује зоне терена са различитом вјероватноћом за развој клизишта. Вјероватноћа може бити исказана квалитативно (нпр. ниска, висока склоност) или квантитативна (нпр. густина клизишта према броју клизишта по  $\text{km}^2$  или захваћена површина по  $\text{km}^2$ ).

**Хазард (Опасност) од клизишта** – Просторно – временска вјероватноћа активирања клизишта одређене магнитуде која може да доведе до материјалних штета, економских поремећаја, губитка егзистенције, људских живота и сл. Изражава се скалом од 0 (немогуће) до 1 (сигурно) за дефинисани временски период (1, 10, 50 година).

**Квази хазард од клизишта** – Исто као хазард, с тим што се временска вјероватноћа уводи кроз повратни период екстремних падавина или њихову учесталост кроз просјечне падавине. Може се добити и кроз увођење сеизмичких података у процјену склоности.

**Карта хазарда од клизишта** – Карта која показује зоне терена са временском вјероватноћом појаве клизишта одређене магнитуде (површине, запремине...) за одређени период.

**Угроженост (Рањивост)** – Степен губитака у подручју које је под дејством клизишта одређене магнитуде. Изражава се на скали од 0 (нема угрожености) до 1 (потпуна угроженост). За имовину, угроженост може бити релативан однос њене вриједности и величине штете, док је за људе то вјероватноћа губитка живота.

**Елементи под ризиком** – Представљају све могуће вриједности (природне или друштвене) које могу бити погођене клизиштима а и хазардима уопште и имати штету од истих. Ту се мисли прије свега на људе, инфраструктуру, објекте и друга материјална добра.

**Ризик од клизишта** – Представља производ хазарда од клижења и рањивости одређених елемената ризика, тј. показује очекиване негативне посљедице на природу, материјална добра и људе. Ризик се може изражавати квалитативно и квантитативно.

**Анализа ризика** – Фазе процјене хазарда и рањивости елемената под ризиком.

**Квалитативна анализа ризика** – Анализа која користи дескриптивне скале да опише величину и вјероватноћу дешавања неких посљедица.

**Квантитативна анализа ризика** – Анализа заснована на нумеричким вриједностима вјероватноће, рањивости и посљедица, што резултира нумеричким вриједностима ризика.

**Утицајни фактор** – фактор који доводи до стварања услова за формирање клизишта: геолошка грађа терена, неповољан нагиб терена, начин коришћења земљишта, хидрогеолошки услови итд.

**Покретач/окидач** – фактор који непосредно доводи до активирања процеса клижења: падавине, нагло топљење снијега, земљотреси и сл.

**Процјена ризика од клизишта** – Методолошки приступ у одређивању ризика кроз анализу односа хазарда и могућих посљедица.

**Прихватљив ризик** – Ризик који становништво може да савлада у складу са својим друштвено – политичко – еколошким околностима уз покушаје да га још додатно умањи.

**Управљање ризиком** – Комплетан процес процјене ризика и његове контроле (третмана).

**Резидуалан ризик** – Степен постојећег ризика без обзира на спроведене мјере за смањење и ублажавање.

**Зонирање** – Подјела терена на хомогене области, према стапену склоности, хазарда или ризика од клизишта.

### 3. ПОЛАЗНЕ ОСНОВЕ ЗА ПРОЦЈЕНУ ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА

Развој методологија за процјену хазарда и ризика датира још од седамдесетих година прошлог вијека (Brabb et al., 1972; Nilsen et al., 1979), интензивно се наставља и примјењује током деведесетих година (van Westen, 1990; Soeters, 1996; Aleotti & Chowdhury, 1999), да би данас постало „главни алат“ који се користи у борби са овим природним несрећама, прије свега

у просторном планирању (AGS, 2000; 2007; Cascini, 2008; Fell et al. 2008; Anderson & Holcombe, 2013; Аболмасов, 2007; 2012; 2016).

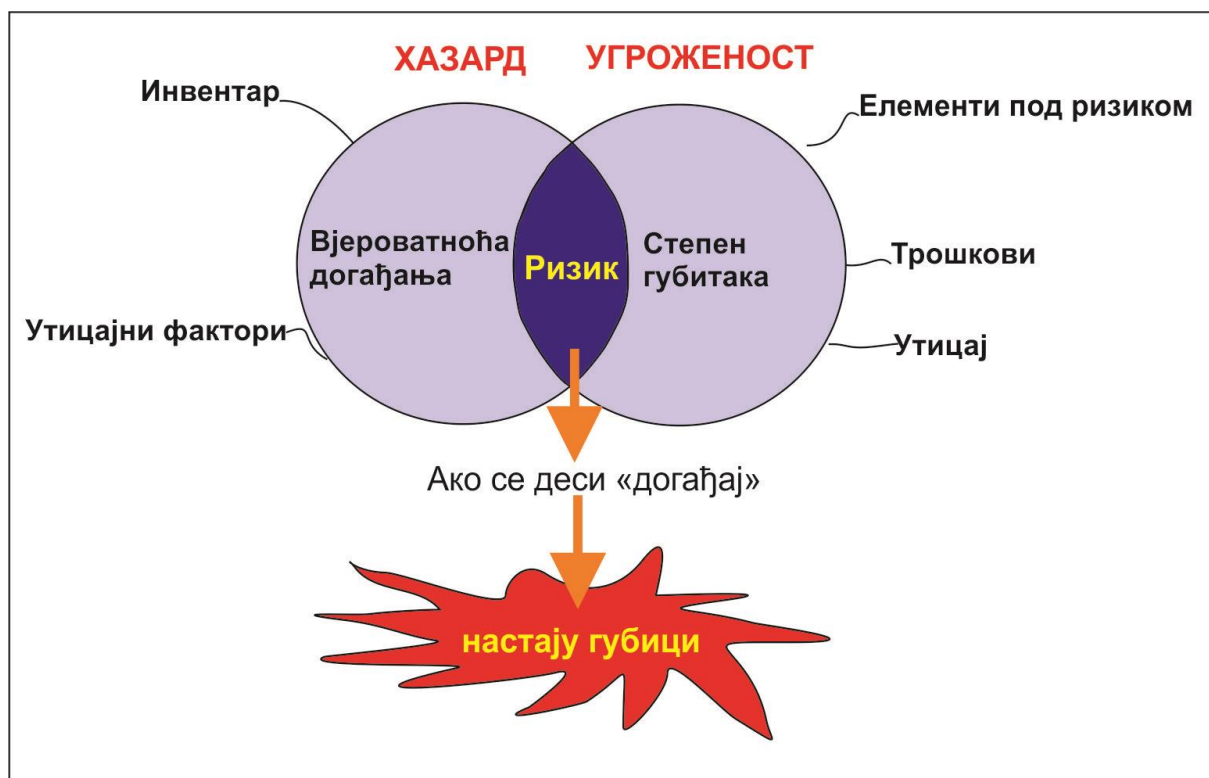
Прву дефиницију хазарда и ризика дао је Varnes (1984), чији образац је дуго година главна полазна основа за дефинисање ризика:

$$R = H \cdot V(E),$$

гдје су: R – укупан ризик; H – хазард; V – угроженост E – елементи под ризиком.

У литератури се често мијешају појмови склоности/подложности ка клижењу и хазард од клижења, те се често третирају као синоними како у свијету тако и код нас. Они су заправо два врло различита концепта процјене. Склоност терена ка клижењу представља просторну вјероватноћу догађања клизишта на неком простору уз одређене природне предуслове. Хазард представља вјероватноћу дешавања клизишта на одређеном простору у одређеном временском периоду. Дакле хазард укључује компоненту „времена“ у своју анализу.

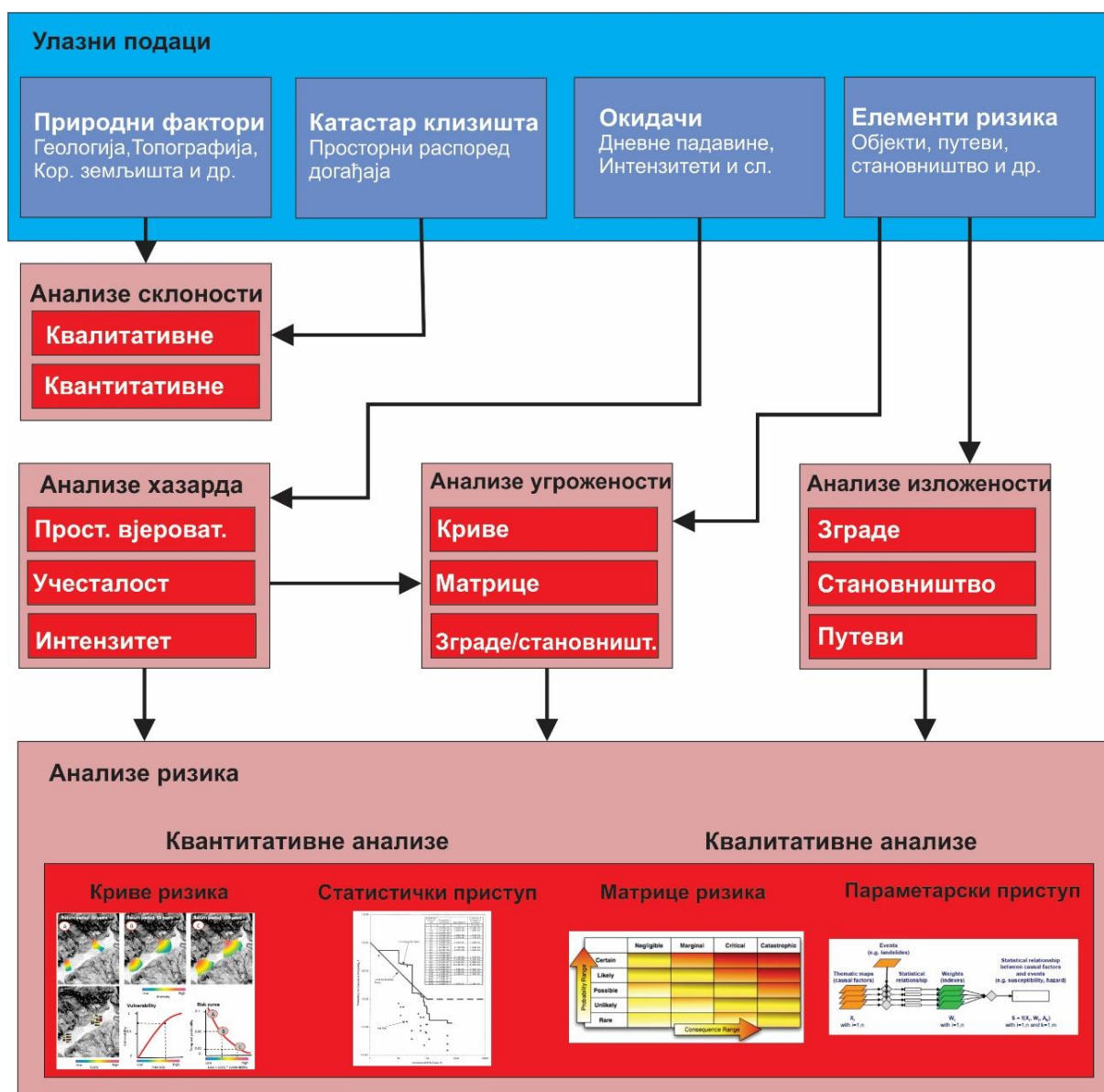
Ризик од клизишта представља посљедице дјеловања хазарда на одређене елементе под ризиком, узимајући у обзир просторну, временску компоненту и угроженост тих елемената (слика 7).



Слика 7. Концептуална веза између ризика и његових посљедица (према Alexander, 2002).

Развојем GIS технологија у многе је олакшан процес процјене ризика од клизишта јер омогућава рад и манипулацију са великим бројем и врстом података. Самим тим анализе могу бити потпуније, сложеније и тачније (слика 8).





Слика 8. Оквир за процјену ризика од клизишта (модификовано према van Westen, 2016)

#### 4. МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУПИ У ПРОЦЈЕНИ СКЛОНОСТИ / ХАЗАРДА ОД КЛИЗИШТА

Методолошки приступи у процјени склоности/хазарда од клизишта биће дати кроз:

- Методе прикупљања података;
- Методе моделовања склоности/хазарда од клизишта;
- Методе провјере тачности модела.

##### 4.1. МЕТОДЕ ПРИКУПЉАЊА ПОДАТАКА

Прикупљање, систематизација и обрада аналогних података представља мукотрпан и дуготрајан посао. Подаци о клизиштима којима се у ранијем периоду располагало у општинским управама, службама цивилне заштите, али и Геолошким заводима, представљали

су углавном записе који нису имали нити просторну одредницу нити било какве податке о класификацији клизишта, метеријалним штетама и сл. те је покушај било какве статистичке обраде прикупљених података био веома отежан.

Стога је била неопходно прикупити просторне податке о клизиштима, по унапријед дефинисаној методологији, класификацији и свјетским препорукама као нпр. Varnes (1984), Cruden & Varnes (1996), Cruden and VanDine (2013), Hungr et al. (2014).

Први корак у прикупљању јесте у формирању катастарског листа – упитника за регистровање клизишта на терену (слика 10).

Прецизно регистровање клизишта на терену вршило се уз помоћ навигационог GPS уређаја Trimble Juno 3D, који се показао као уређај високе прецизности (слика 9).



Слика 9. Уређај за регистровање клизишта на терену

Свака локација је прије регистровања GPS уређајем и попуњавања катастарског листа детаљано картирана, фотографисана и оконтурена са неколико тачака. Посебна пажња је посвећивана картирању чеоног ожилка, ножице клизишта, регистровању и маркирању у забарења у тијелу и око клизишта, мјерењу и процјени нагиба падине, као и регистровању оштећења на објектима, имовини и сл.

Након попуњавања листа, свака регистрована појава унесена је у GIS базу података која ће бити детаљно представљена у поглављу 5.3.

## КАТАСТАРСКИ ЛИСТ КЛИЗИШТА

## Прилог 1

### Општи подаци о клизишту

Катастарски број	Назив клизишта	Општина	Ужи локалитет	Коте и координате клизишта		Врста угроженог објекта
				X	Y	

### Мофролошке карактеристике клизишта

Дужина клизишта	Ширина клизишта	Дубина до клизне површине	Нагиб терена

### Тип клизишта

Клижење	Одроњавање	Превртање	Бочно ширење	Течење	Сложено

### Геолошка грађа терена на локацији клизишта

Литолошки састав клизишта (врста стијене)	Генетко поријекло квартарних покривача	Материјални састав површинског покривача	Дебљина површинског покривача

### Хидролошке и хидрогеолошке карактеристике терена

Хидролошке и хидрогеолошке појаве на клизишту	Ниво подземне воде

### Узроци настанка клизишта

### Степен активности клизишта

Активно	Неактивно	Условно стабилна падина	Реактивирано (поново покренуто)	Санитарно

### Намјена земљишта захваћеног клизиштем

Градско	Индустријско	Пољопривредно	Шумско	Инфраструктурни коридор	Индивидуална стамбена изградња	Без намјене

### Додатне напомене

Број фотографија у апарату:	Напомена:

Датум:

Појаву евидентирао:

Слика 10. Катастарски лист клизишта

Подаци о другим значајним подлогама као што су геолошке и инжењерскогеолошке карте у највећем дијелу налазе се у аналогном формату, те се приступило њиховом скенирању, геореференцирању и на крају дигитализацији, односно претварању у векторски облик. На тај начин омогућен је рад и манипулација са њима.

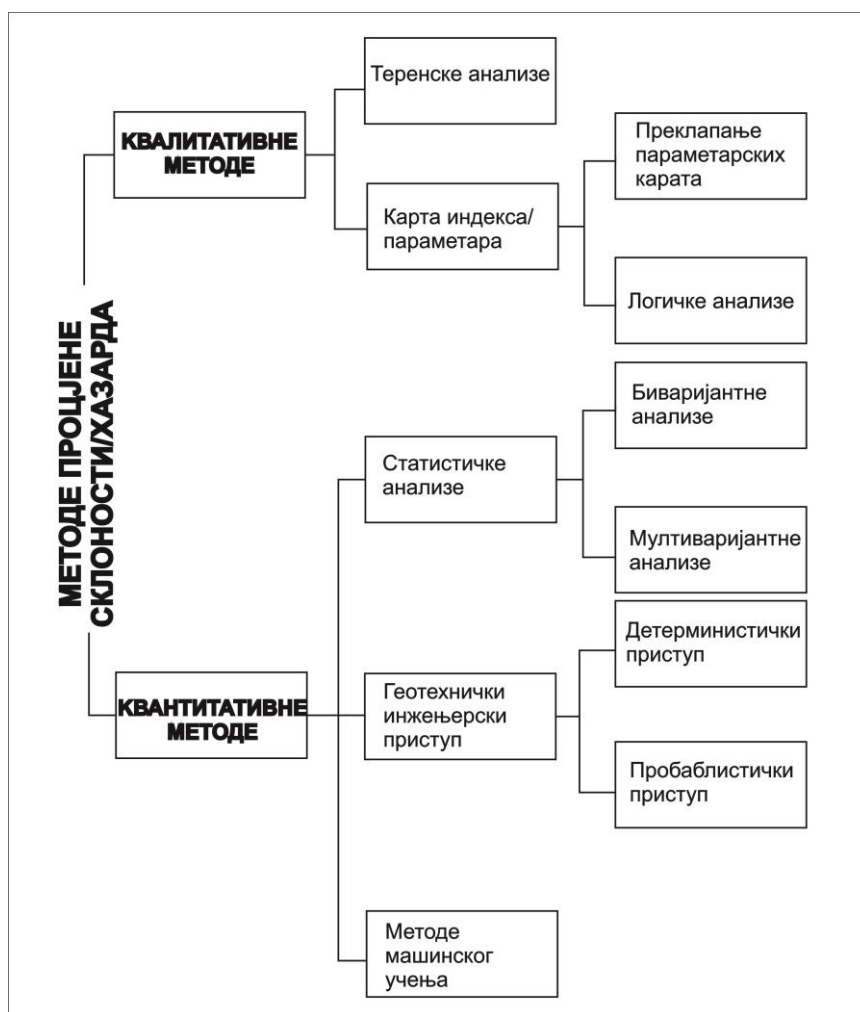
Подлоге, као што су дигитални модел терена (DEM), подаци о падавинама и сл., добијени су од стране надлежних институција: Републичке геодетске управе Републике Српске и Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске.

Подаци о становништву за територију Добоја добијени од стране UNDP-а у Босни и Херцеговини, који подацима рапослажу након завршетка пројекта „Процјена ризика од поплава и клизишта за подручје урбаног дијела Добоја“ из 2016. године.

Велики број геотехничких елабората и извјештаја који се налазе у Архиву Геолошког завода Републике Српске је анализиран и коришћен за анализу улазних података и провјеру добијених резултата.

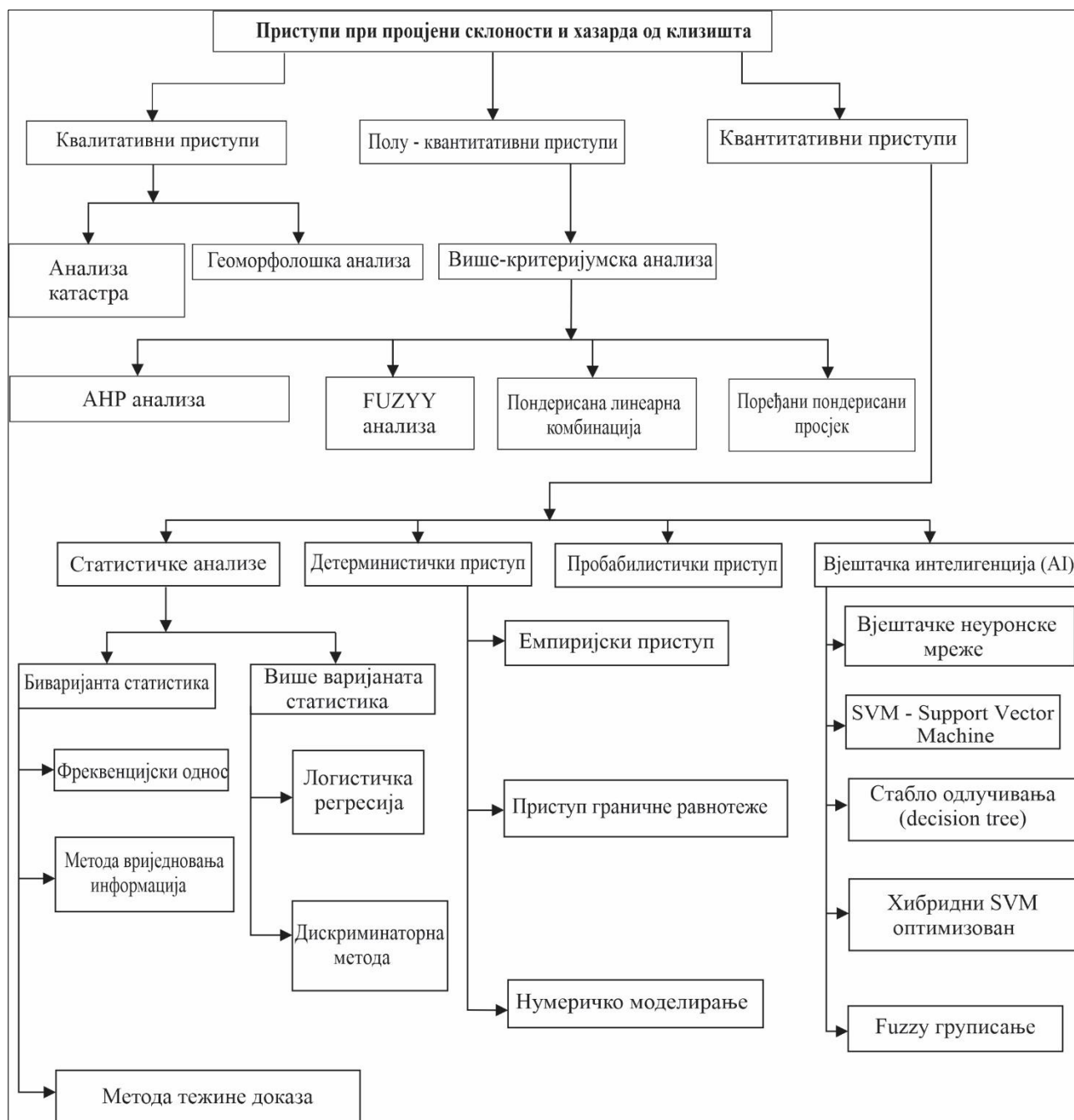
#### 4.2. МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА СКЛОНОСТИ/ХАЗАРДА ОД КЛИЗИШТА

Бројни методолошки приступи за процјену прије свега склоности односно хазарда од клизишта темеље се на поставкама водећих истраживачких група (Soeters & Van Westen, 1996; Carrara et al., 1999; Guzzetti et al., 1999; Aleotti & Chowdury, 1999; Dai et al., 2002; Cascini et al., 2005; Chacon et al., 2006; Fell et al., 2008; Cascini, 2008; Dai et al., 2008; Günther et al., 2013, Shano et al., 2020). Упрошћени приказ тих приступа приказан је на слици 11.



Слика 11. Методе процјене склоности/хазарда од клизишта (према Aleotti & Chowdury, 1999).

Иновацију приступа, тј. метода процјене склоности и хазарда даје Shano et al., 2020, гдје се може уочити све већи број метода из групе статистичких, детерминистичких, али и пробабилистичких метода и метода вјештачке интелигенције, односно машинског учења (слика 12).



Слика 12. Приступи при процјени склоности/хазарда од клизишта (према Shano et al., 2020).

У ширем смислу, методе процјене могу се подијелити на квалитативне (засноване на катастру клизишта), полу-квантитативне (геоморфолошке, експертске – хеуристичке процјене) и квантитативне (статистичке, детерминистичке методе и методе засноване на физичким моделима).

Квалитативне методе процјене углавном се заснивају на експертској процјени значаја појединих фактора на покретање клизишта на неком простору (Leroi, 1996; Guzzetti et al., 1999). Главни недостаци овог приступа јесу субјективност истраживача у смислу избора

улазних параметара, али и у креирању и добијању самих резултата. Ипак, резултати добијени на основу ових методологија показали су се као веома добри у регионалним процјенама, односно процјенама размјере до 1:25000 (Guzzetti et al., 1999; Cascini, 2008; Fell, et al., 2008).

Квантитативне методе процјене заснивају се на математичким – статистичким моделима и успостави одређених законитости између утицајних фактора и појаве односно покретања клизишта (Roberds et al., 2002).

#### **4.2.1. Методе засноване на анализи катастра клизишта**

Подаци добијени из катастра клизишта, било да су у облику тачака или полигона, дају прелиминарну и првобитну слику просторне распрострањености клизишта на неком подручју. Такође, ови подаци представљају полазну основу за све остале методе, како као основни улазни параметар, тако и као главни параметар за валидацију, односно провјеру тачности модела. Некада се ови подаци, прије свега у националним и регионалним размјерама користе и третирају као „карта склоности терена ка клижењу. Уколико катастар клизишта садржи податке о времену активирања клизишта, степену активности и сл., често се раде анализе густине клизишта на неком простору, затим просторни приказ клизишта према активности, према вјероватноћи појављивања итд.

Најквалитетнији подаци за анализе на основу катастра клизишта прикупљају се директним регистровањем и картирањем клизишта на терену, али се они могу добити и на основу анализе и интерпретације временских серија сателитских снимака (Crozier, 2005; Keefer, 2002; Reid & Page, 2003), на основу прикупљених историјских података (Guzzetti et al., 2000; Jaiswal & van Westen, 2009), као и на основу радарске интерферометрије (InSAR), (Squarazoni et al., 2003; Colesanti & Wasowski, 2006).

#### **4.2.2. Методе засноване на експертском – хеуристичком приступу**

Када су у питању процјене склоности/хазарда према овим методама, истраживачко односно експертско мишљење има пресудну и главну улогу. Ипак, и у оквиру ове групе метода могуће је издвојити два типа процјене.

Први, тзв. „директни“ начин, када се директно на терену врши теренска интерпретација на основу геоморфолошких, геолошких обсервација. Ова метода је доста субјективна и највише зависи од искуства истраживача у избору улазних параметара али и у креирању резултата. Најчешће коришћене методе су: „геоморфолошко картирање“ (Kienholz, 1978; Rupke et al., 1988; Cardinali et al., 2002), „директно картирање“ (van Westen et al., 2000).

Други тип, заснива се тзв. више-параметарској анализи утицајних фактора уз подршку GIS технологија. Овакве методе називају се још и полу-квантитативне. Поред експертског знања и искуства, у анализу укључују и бројне утицајне факторе који су важни за развој процеса клижења. Током анализе врше се бројна логичка поређења базирана на статистичкој основи и прикупљеним подацима са терена, чиме је субјективни утицај доста смањен, те су резултати доста вјеродостојнији.

Методе је могуће користити за све размјере процјене, али се за детаљније анализе препоручује комбинација са неким напреднијим методама, нпр. статистичким методама, уколико је то могуће (Cascini, 2008).

Често се ове методе примјењују када се раде процјене у подручјима гдје не постоје или нису доступни квалитетни катастри клизишта.

Као најчешће коришћени приступи наводе се: тзв. „просторне више-критеријумске анализе“ (Malet et al., 2009; Ayalew et al., 2005; Castellanos & van Westen, 2007), „АНР метода“ (Saaty, 1980; 2003; Youshimatsu and Abe, 2005; Komac, 2006; Yalcin, 2008).

### 4.2.3. Методе засноване на анализи података – статистичке и детерминистичке

Припадају групи квантитативних метода. Могу бити статистичке и детерминистичке. Статистичке се заснивају на успостави корелација између узрочних фактора и катастра клизишта и претпоставци да ће се у условима активирања клизишта из прошлости, клизишта догађати и у будућности.

Ове методологије дају доста прецизне и поуздане податке уз обавезу доста добрих и прецизних улазних параметара.

У литератури се ове методе најчешће дијеле на: биваријантне статистичке анализе, више-варијантне статистичке анализе и методе базиране на техникама машинског учења.

Код методологије засноване на биваријантним статистичким анализама, сваки утицајни фактор (нагиб, геологија, коришћење земљишта) се преклапа и анализира са подацима о распрострањењу клизишта. На основу тога се факторима додјељују тежине које представљају њихов значај у грађи модела (van Westen, 1993; Suzen and Dooyuran, 2004). Постоји више начина за изражавање значаја (тежина) утицајних фактора, укључујући линеарне и нелинеарне функције, а као најзначајније могу се издвојити: фреквенцијски однос (Frequency Ratio – FR) и косинусна амплитуда (Cosine Amplitude – CA). Принцип је да се за сваку класу унутар сваког од утицајних фактора утврђује удио, односно густина клизишта. То се може описати и као однос релативне учесталости клизишта у одређеној класи (Marjanović, 2013). Овакав начин статистичких анализа (принцип условне вјероватноће) представља добар начин и приступ за правилан одабир утицајних фактора и избор интервала класа унутар њих пресудних за развој процеса клижења на неком простору. Често се комбинују са хеуристичким методама и основа су за методе више-варијантне статистике (Ercanoglu and Gokceoglu, 2001; Chung & Fabri, 2001; Vakhshoori, 2016).

Методе више-варијантне статистике заснивају се на комбинацији и анализи зависних (појаве клизишта) и независних промјенљивих (утицајни фактори), али и независних промјенљивих међусобно. У таквој анализи (матрици), одређује се присуство/одсуство клизишта у одређеној ситуацији /комбинацији промјенљивих (Ohlamacher & Davis, 2003; Gorsevski et al., 2000; 2006). Анализама се добијају доста добри резултати јер се и метода заснива на правилно изабраним и прецизним улазним параметрима и подацима о клизиштима.

Главни циљ метода заснованих на техникама машинског учења (Machine Learning) јесте могућност аутоматизације процеса предвиђања клизишта у простору. Овакав приступ подразумијева да се експертски, у GIS окружењу, зада једно репрезентативно, мање подручје (тренинг подручје) на којем се учи према веза између утицајних фактора и клизишта. Након тога, алгоритам научене везе екстраполира на остатак цјелокупног подручја (тест подручје), дајући аутоматизовану прогнозу просторне расподјеле клизишта (Marjanović, 2013). Постоји више различитих алгоритама на којима се заснива машинско учење, а најчешће коришћени су вјештачке неуронске мреже - Artificial Neural Networks, стабло одлучивања - Decision Tree (Marjanović et al., 2018).

Детерминистички приступ се углавном користи у геотехници на специфичним локацијама за анализу специфичне косине и одређени тип клижења, али и за шире просторе. Заснива се на физичком моделирању и анализама стабилности косина, а затим на њиховој апликацији на процјену склоности/хазарда од клизишта (Simoni et al., 2008; Hungr, 1992; Gilson et al., 2008). Физички модели се углавном могу примјенити у локалној размјери, гдје анализирају бесконачну косину и плитка транслаторна клизишта. Укључују у себе велики број фактора, као што су и статички, али и динамички ниво подземне воде, падавине, утицај земљотреса и сл., те је и примјена ограничена само на подручја гдје ти подаци постоје.

Резултат анализе јесу фактори сигурности  $F_s$  за сваки пиксел у моделу. Зоне са малим вриједностима  $F_s$  представљају потенцијалне зоне са већом склоношћу ка процесу клижења.

Добијени резултати су поузданији и прецизнији у односу на хеуристичке и статистичке приступе, уз услов да апроксимација модела одговара стању и условима на терену. Главно



ограничење јесте примјена на хомогене средине са доста једноставним процесом клижења и прикупљање потребних података за анализу.

Поред GIS програмских пакета користе се и сва друга софтверска рјешења за анализирање стабилности косина базирана како на методама граничне равнотеже, тако и на методама коначних елемената и напредног нумеричког моделирања (TRIGRS, DIPS, SLOPE/W, SLIDE 3, SINMAP, FLAC3D).

#### 4.3. МЕТОДЕ ПРОВЈЕРЕ ТАЧНОСТИ МОДЕЛА

Као један од конзервативнијих - квалитативних начина провјере тачности - валидације модела јесте преклапање добијених резултата са регистрованим клизиштима. На тај начин се једноставно може видјети избалансираност поклапање добијеног модела и теренски регистрованих клизишта, те се утврдити тачност модела.

Што се тиче квантитативних показатеља, најчешће коришћени и најобјективнији видови оцјене јесу ROC криве (*Receiver Operating Characteristics*), (Fawcet, 2005). Заснован је не балансу тзв. стопе стварних позитива (стопе погодака) -  $tp_{rate}$  и стопе лажних позитива (стопе лажних узбуна) -  $fp_{rate}$  неког модела у односу на стварно стање (Марјановић и др., 2012). Пројектовањем ових параметара на ортогоналне осе добија се графички приказ простора који се зове ROC простор.

Као параметар за квантификацију користи се „површина под кривом“ – AUC (*Area Under the Curve*). Изражава се на скали од 0-1, што значи да је модел прецизнији што је AUC ближе вриједности 1 и обратно.

Такође, у провјери се често примјењује и матрица контингенције (*Confusion Matrix или Contingency Table*), која приказује различите облике погодака и грешака у моделирању и класификацији (Fawcet, 2005; Марјановић, 2013). Матрица контингенције (табеле 1 и 2), садржи информације о стварним нестабилностима (*True Positives - TP*), стварним стабилностима (*True Negatives - TN*), погрешним стабилностима (*False Negatives - FN*) и погрешним нестабилностима (*False Positives - FP*). Тачност (Accuracy) се може једноставно процијенити као однос између правилно и неправилно класификованих случајева клижења.

Табела 1. Матрица контингенције.

	МОДЕЛ	КАТАСТАР КЛИЗИШТА
НЕГАТИВИ	TN	FN
ПОЗИТИВИ	FP	TP

Табела 2. Показатељи тачности модела у односу на катастар клизишта.

Показатељ	Формула
Стопа лажних позитива	$FPR=FP/N=FP/(FP+TN)$
Стопа лажних негатива	$FNR=FN/P=FN/(TP+FN)$
Осјетљивост	$TPR=TP/P=TP/(TP+TN)$
Специфичност	$SPC=TN/N=TN/(FP+TN)$
Тачност	$ACC=(TP+TN)/(P+N)$



## 5. ПРЕСЈЕК СТАЊА ИСТРАЖЕНОСТИ КЛИЗИШТА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

### 5.1. ИСТОРИЈАТ ИСТРАЖИВАЊА КЛИЗИШТА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

Тематика хазарда од клизишта јесте мултидисциплинарна, али се најближе може повезати са проблематиком инжењерске геологије, па се у том контексту овде даје кратка ретроспектива, која се махом односи на инжењерскогеолошке аспекте изучавања и картирања клизишта, што је основа сваког катастра клизишта.

Инжењерскогеолошка истраживања су први пут, на овим просторима, добила на значају одмах после Другог свјетског рата, тј. у фази нагле обнове и индустријализације земље, посебно код изградње магистралних и регионалних саобраћајница и индустријских и хидроенергетских објеката.

Слично као и код хидрогеолошких истраживања и овде су рађена регионална инжењерскогеолошка проучавања прије почетка основних истраживања, односно почетка израде Основне инжењерскогеолошке карте размјере 1:100.000. Кроз студијске радове регионалног карактера за подручја "сјеверне, средње и западне Босне" на највећем дијелу територије БиХ добијени су основни параметри о инжењерскогеолошким карактеристикама терена (Рокић, 1975).

Почетком седамдесетих година група геолога посебно се бавила инжењерскогеолошким и геотехничким истраживањима искључиво у урбаним просторима – припремане су подлоге за просторне, урбанистичке и регулационе планове у складу са тада важећим законским одредбама.

У осамдесетим годинама урађен је први пробни лист Основне инжењерскогеолошке карте БиХ 1:100.000, лист Сарајево (Јовановић и др., 1982), да би се опет наставила регионална истраживања, посебно у сјеверозападним и источним дијеловима БиХ.

Од 1968-1985. године урађена су регионална инжењерскогеолошка истраживања Јужног приморја, сјеверне Босне, слива ријеке Гомјенице (Гојгић, 1971) и слива ријеке Дрине. Осамдесетих година урађена је и студија кварталних наслага у Босни и Херцеговини са приказом клизишта и нестабилних падина (Токић, 1985).

Истраживано је на бројним објектима, од најмањих до највећих – код изградње путева, пруга, хидро и термоенергетских објеката и сл. – носивост тла, истраживани су узроци појављивања клизишта и санације косина на површинским коповима.

На простору Републике Српске, ради познавања клизишта, најзначајнија су регионална инжењерскогеолошка истраживања које је изводио Завод за инжењерску геологију и хидрогеологију из Сарајева и Р.О. „Геоинжењеринг“ у периоду од 1966-1984. године, која су поред укупне инжењерскогеолошке проблематике, разматрала и стабилност падина са регистрацијом и описом бројних клизишта.

Конкретна испитивања активних клизишта, ради пројектовања и извођења санационих мјера, веома су бројна, нарочито у периоду после 1967. године на простору БиХ. За потребе изградње саобраћајница, хидротехничких и других објеката у овом периоду извршено је испитивање и санирање више десетина клизишта, а касније је настављено и у Републици Српској после 1992.године.

У Републици Српској нема поузданих података о укупним штетама које настају као посљедица клизишта, али се може рећи да се клизиштима образованим природним, антропогеним или удруженим процесима, оштети или поруши годишње око стотину објеката, претежно стамбених у индивидуалном власништву, те угрози или оштети више десетина саобраћајница и привредних објекта, што је показано и током израде ове дисертације.

У оквиру намјенских инжењерскогеолошких истраживања за израду појединих просторних и урбанистичких планова, проучавана су и клизишта као елементи за утврђивање стабилности природних падина.

Сва досадашња истраживања имала су углавном задатак регистрације појава и процеса у тренутном стању. Она су открила проблематику и створила основу за разраду концепције и методологије даљих истраживања. Велики број истраживаних клизишта ради провођења санационих мјера указује на њихову учесталост, али истовремено и на недостатак претходних детаљних проучавања и непознавања геолошких односно инжењерскогеолошких услова грађења у фазама пројектовања.

У посљедних неколико година, као један од почетака систематских инжењерскогеолошких истраживања, односно истраживања клизишта у Републици Српској, вриједи истаћи формирање и одржавање „Катастра клизишта и нестабилних падина“ у GIS формату израђеног од стране Геолошког завода Републике Српске. То прати и стално теренско регистровање клизишта и унос информација у базу података. Такође, у стању ванредне ситуације од 13. – 25. маја 2014. г., Геолошки завод Републике Српске је за потребе локалних самоуправа које су биле најугроженије клизиштима, израдио низ извјештаја о стању на терену за појединачна клизишта, са приједлозима за њихову санацију (Зворник, Лопаре, Шековићи, Осмаци, Сребреница итд.).

Треба поменути да је 2015. године у склопу ЕУ Програма опоравка од поплава у Босни и Херцеговини (EU Floods Recovery Programme for Bosnia and Herzegovina), чији је имплементатор UNDP у БИХ, урађена „Процјена ризика од поплава и клизишта за стамбени сектор“ (UNDP, 2015), као и детаљне процјене ризика од поплава и клизишта за градове Тузлу и Добој (UNDP, 2016).

У 2020. години Геолошки завод Републике Српске израдио је и публиковао „Инжењерскогеолошку карту Републике Српске 1:300.00“ са пратећим Тумачем (Митровић и др., 2020).

Већина горе наведених референци и подлога старијег датума, налазе се у аналогној форми, те се за потребе израде ове дисертације морало приступити референцирању подлога, а затим и њиховој дигитализацији. Просторно дефинисане појаве нестабилности су доста критички анализиране, како са аспекта тачности њихове локације, тако и са аспекта класификације која није усклађена са савременим препорукама.

## **5.2. ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКИ УСЛОВИ ЗА ФОРМИРАЊЕ КЛИЗИШТА**

Територија Републике Српске одликује се изузетно сложеним инжењерскогеолошким карактеристикама, високим нивоом сеизмичке активности, сложеним хидрогеолошким својствима, те значајним утицајем човјекове дјелатности на околни терен.

Клизишта се углавном јављају на теренима изграђеним од неогених седимената са доста дебелом кором површинског распадања, глиновито пјесковитог типа. Клизишта се такође јављају и у теренима изграђеним од флишних седимената и стијена дијабаз – рожначке формације (Mitrović & Sandić, 2011).

Пошто је велики дио терена Републике Српске изграђен од стијена мезозојске старости које имају доста добро развијене површинске и подземне карстне феномене, ерозиони и механички рад површинских вода је искључен, јер је омогућена директна инфилтрација. Процеси гравитационих кретања су ипак развијени на стрмим одсјецима, а условљени су претежно мразом, односно температурним промјенама. Продукти овог распадања су релативно велики колувијално-делувијални наноси у подножјима стрмих падина, који се у одређеним условима претварају у масе различитих нестабилности. Други вид деформација у овим теренима су одрони који прате клисурасте долине ријечних токова дубоко усјечених у структуре изграђене од чврстих стијенских маса.

### 5.3. БАЗА ПОДАТАКА О КЛИЗИШТИМА (КАТАСТАР КЛИЗИШТА)

Катастар клизишта и нестабилних падина у дигиталном (GIS) облику је први и најважнији предуслов за рационалну и систематичну борбу са хазардом од клижења терена. Овакав облик катастра представља „нови алат за рјешење старог проблема“ (Guzzetti, 2012). Њиме се, наравно, проблем не може ријешити, али се могу добити информације о условима настанка процеса, његовој активности и степену урожености објеката и сл.

Удружење Европских геолошких завода у оквиру своје експертске групе за геохазарде перманентно ради на прикупљању и анализи података добијених из катастара Геолошких завода. Њихова тежња јесте формирање униформне Европске базе података, али и обједињавање и систематизација података у оквиру њихових годишњих извјештаја. То свакако подстиче мање развијене Геолошке заводе да иду у корак са оним који имају дугу традицију у прикупљању података о клизиштима. Дио података из базе коришћене за израду ове дисертације обрађен је и у раду (Herrera et al., 2017) који је имао за циљ пресјек стања у базама података о клизиштима у Геолошким заводима у Европи.

У Босни и Херцеговини, ажурно и систематско прикупљање података о клизиштима нема дугу традицију. Два Геолошка завода у Босни и Херцеговини („Геолошки завод Републике Српске – Зворник“ и „Завод за геологију Федрације БиХ – Сарајево“) су тек посљедњих година почела да раде на константном прикупљању података о клизиштима у GIS формату.

Класификације које се користе приликом прикупљања података на терену нису усклађене код оба Геолошка завода и не прате у потпуности савремене међународне праксе, као што су нпр. Varnes (1984), Cruden & Varnes (1996), Cruden and VanDine (2013), Hungr et al. (2014).

Недостатак у раду и прикупљању података донекле лежи и у чињеници да запослени у Заводима представљају лица чији недостатак је знање енглеског језика, па самим тим и праћење и усклађивање са савременом свјетском литературом која је углавном на енглеском језику.

Први корак у развоју дигиталне GIS базе података у Републици Српској, учињен је 2012. године, од стране Геолошког завода Републике Српске. Као почетни, тј. стратешки документ израђен је „Програм израде катастра клизишта и нестабилних падина у Републици Српској“ који је послужио као основа за израду базе података. Овим „Програмом“ тј. базом података, која је саставни дио Геолошког информационог система Републике Српске (Sandić & Leka, 2014), започело се са систематским прикупљањем просторних података о клизиштима.

Недостатак ове базе података јесте неусклађеност са савременим свјетским трендовима и препорукама. Један од основних недостатака свакако јесте неусклађеност са GeoSciML-ом (Geoscience Markup Language) који се користи размјену и стандардизацију информација у геологији. То се не може подвести само под недостатак базе о клизиштима већ генералан недостатак цјелокупног информационог система.

GeoSciML је креиран 2003. године од стране Комисије за управљање и примјену геоинформација (Commission for the management and Application of Geoscience Information - CGI) као један од начина за међусобну сарадњу и размјену података између Геолошких завода и других корисника. Циљ му је да створи јединствену, глобално усаглашену структуру података, ради што ефикаснијег и лакшег коришћења, како у смислу графичког публикавања, тако и у семантичком (терминолошком смислу).

Као један о циљева ове дисертације јесте успостава просторне базе података - катастра клизишта према савременим међународним препорукама за територију Републике Српске (Cruden & Varnes, 1996; Cruden & VanDine, 2013; Hungr et al., 2014).

Сличан подухват је урађен у Србији у склопу пројекта BEWARE (<http://geoliss.mre.gov.rs/beware/>), који у једном свом дијелу покрива и област правилног и савременог прикупљања података о клизиштима према савременој терминологији и номенклатури.

Приликом израде дисертације урађена је засебна база података за територију Републике Српске. Логички модел базе урађен је коришћењем ESRI ArcGIS алата и тежио је да описује

податке (клизиште у овом случају), што је детаљније могуће, уз коришћење адекватних домена (*Domain*). Детаљнији опис овог модела података приказан је у табели 3.

Табела 3. Структура базе података (Polygon Feature Class)

Ime polja (Field Name)	Data type (Tip podatka)	Domen (Domain)
KKL_PP_ID	Double	-
KORDINATA X	Double	-
KORDINATA Y	Double	-
OPSTINA	Tekst (Text)	-
UZI_LOKALITET	Tekst (Text)	-
DATUM_REGISTRACIJE	Datum (Date)	-
DATUM_AKTIVIRANJA	Datum (Date)	-
TIP_POJAVE	Kratki broj (Short Integer)	Odranjavanje (1)
		Prevrtaње (2)
		Kliženje (3)
		Bočno širenje (4)
		Tečenje (5)
		Složeno (6)
VRSTA_POKRENUTOG_MATERIJALA	Kratki broj (Short Integer)	Stijena (1)
		Drobina (2)
		Tlo (3)
		Antropogeni (4)
		Ogranski (5)
		Heterogeni (6)
SADRZAJ_VODE	Kratki broj (Short Integer)	Suvo (1)
		Vlažno (2)
		Vlažno na granici tečenja (3)
		Tečno (4)
BRZINA_KRETANJA	Kratki broj (Short Integer)	Ekstremno sporo (1)
		Vrlo sporo (2)
		Sporo (3)
		Umjereno (4)
		Brzo (5)
		Veoma brzo (6)
		Ekstremno brzo (7)
AKTIVNOST	Kratki broj (Short Integer)	Uslovno stabilna padina (1)
		Aktivno (2)
		Trenutno umireno (3)
		Reaktivirano (4)

<b>Ime polja (Field Name)</b>	<b>Data type (Tip podatka)</b>	<b>Domen (Domain)</b>
		Neaktivno (5)
		Sanirano (6)
TREND_KRETANJA	Kratki broj (Short Integer)	Progresivno uz padinu (1)
		Progresivno niz padinu (2)
		Progresivno bočno (3)
		Progresivno u dva pravca (4)
		Smirivanje (5)
NACIN_KRETANJA	Kratki broj (Short Integer)	Pojedinačno (1)
		Sukcesivno (2)
		Višestruko (3)
		Mješovito (4)
		Kompleksno (5)
LITOLOSKI_SASTAV	Tekst (Text)	-
STAROST	Tekst (Text)	-
OBLIK_KLIZISTA	Kratki broj (Short Integer)	Kružni (1)
		Elipsasti (2)
		Frontalan (3)
		Trapezast (4)
		Nepravilan (5)
		Jezičast (6)
		Izdužen (7)
DUZINA	Double	-
SIRINA	Double	-
DUBINA	Double	-
NAGIB	Double	-
TIP_KLIZENJA	Kratki broj (Short Integer)	Translaciono (1)
		Rotaciono (2)
		Kombinovano (3)
		Složeno (4)
GEOLOSKI_UZROCI_KLIZENJA	Kratki broj (Short Integer)	Nepovoljna svojstva stijenskih masa (1)
		Morfometrija padine (2)
		Erozija nožice padine (3)
		Sufozija (3)
		Neotektonika (4)
		Ostalo (5)
ANTROPOGENI_UZROCI_KLIZENJA	Kratki broj (Short Integer)	Opterećenje padine (1)
		Iskopi, zasijecanja (2)

Ime polja (Field Name)	Data type (Tip podatka)	Domen (Domain)
		Ogoljavanje (3)
		Crpljenje (4)
		Dinamička opterećenja (5)
		Promjena morfologije padine (6)
		Nekontrolisano upustanje vode (7)
POVOD_AKTIVIRANJA	Kratki broj (Short Integer)	Padavine (1)
		Nagle oscilacija nivoa vode (2)
		Antropogeni (3)
		Seizmički (4)
STEPEN_ISTRAZENOSTI	Kratki broj (Short Integer)	Detaljno (1)
		Djelimično (2)
		Registrovano (3)
NAMJENA_ZEMLJISTA	Kratki broj (Short Integer)	Gradsko stambeno (1)
		Industrijsko (2)
		Individualna stambena izgradnja (3)
		Infrastrukturni koridor (4)
		Poljoprivredno (5)
		Šumsko (6)
		Bez namjene (7)
STEPEN_UGROZENOSTI	Tekst (Text)	-
PREPORUKE	Tekst (Text)	-
DOKUMENTACIJA	Tekst (Text)	-
FOTO	Raster	-
<b>Напомена: Подаци о просторној локацији</b>		
<p>Bessel_1841_Transverse_Mercator  Authority: Custom  Projection: Transverse_Mercator  False_Easting: 6500000,0  False_Northing: 0,0  Central_Meridian: 18,0  Scale_Factor: 0,9999  Latitude_Of_Origin: 0,0  Linear Unit: Meter (1,0)  Geographic Coordinate System: GCS_Bessel_1841  Angular Unit: Degree (0,0174532925199433)  Prime Meridian: Greenwich (0,0)  Datum: D_Bessel_1841  Spheroid: Bessel_1841</p>		

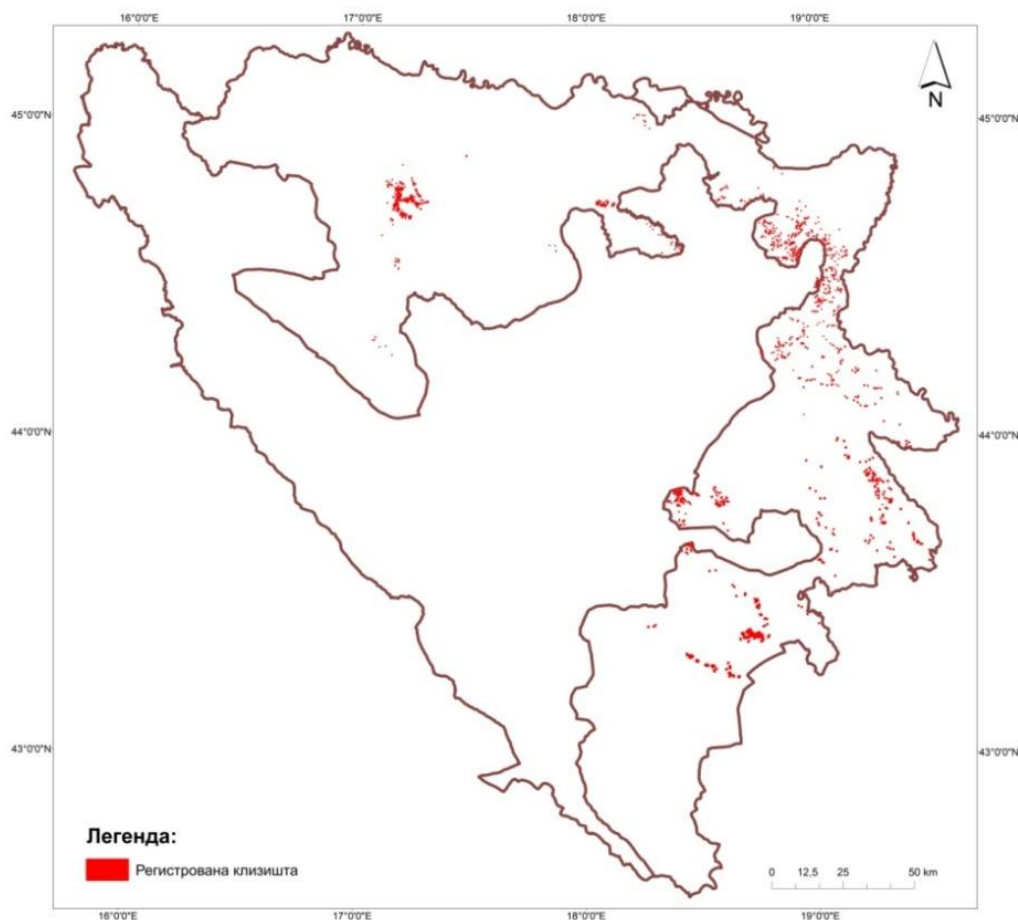
Ime polja (Field Name)	Data type (Tip podatka)	Domen (Domain)
		Semimajor Axis: 6377397,155 Semiminor Axis: 6356078,962818189 Inverse Flattening: 299,1528128

У циљу што квалитетније употребе катастра клизишта, прије свега за потребе даље процјене хазарда и ризика, препорука је да се регистровање/картирање клизишта за катастар врши у крупнијој размјери од размјере процјене хазарда и ризика (ЈТС-1, 2008a,b; Cascini, 2008).

#### 5.4. СТАТИСТИЧКИ ПОДАЦИ О КЛИЗИШТИМА

Анализом и синтезом свих расположивих података о регистрованим клизиштима на територији Републике Српске, дошло се до броја од укупно 1418 појединачних појава, које се у себи носе просторну референцу у полигоналном облику. Овај број клизишта налази се у бази података – катастру клизишта Геолошког завода Републике Српске. Већина клизишта регистрована је након поплава у мају 2014. године, и углавном обухвата источни и сјеверо-источни дио Републике Српске, гдје је и склоност ка развоју овог процеса и највећа (слика 13).

Нека од њих са собом носе и квалитетно одређене атрибуте који описују карактеристике клизишта, док нека само имају просторну референцу.

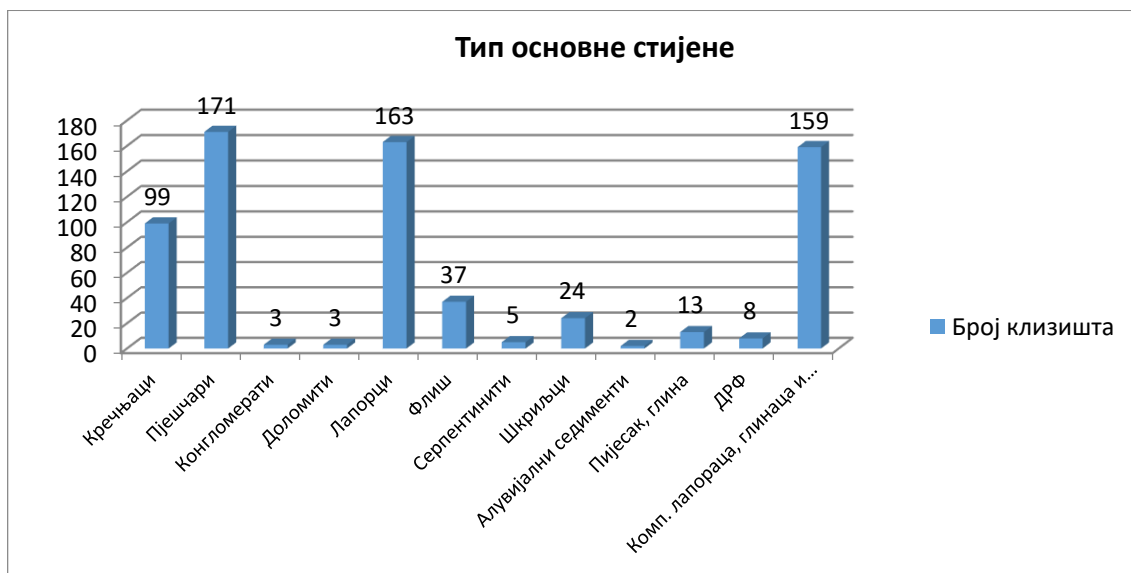


Слика 13. Просторни распоред клизишта у Републици Српској.

За потребе израде дисертације формирана је база података, организована према препорукама из поглавља 5.3, са 469 појава регистрованих клизишта у полигоналном облику. Ова клизишта регистрована су на територији Зворника, Лопара, Сребренице и Добоја, извршено је њихово детаљно теренско инжењерскогеолошко картирање у складу са свим савременим свјетским препорукама.

#### 5.4.1. Геолошка својства

На основу прикупљених података о регистрованим клизиштима, у којима имамо податке о типу основне стијене у којима се развијају, можемо рећи да је највише клизишта регистровано у теренима изграђеним у пјешчарима (171 појава), лапорцима (163 појаве), комплексима пјешчара, лапораца и глинача углавном неогене старости (159 појава) и нешто рјеђе у теренима гдје су кречњаци основна стијенска маса (99 појава). Вриједи истаћи и клизишта формирана у флишним седиментима (37 појава) и шкриљцима (13 појава), док остале формације имају знатно мање учешће (слика 14).

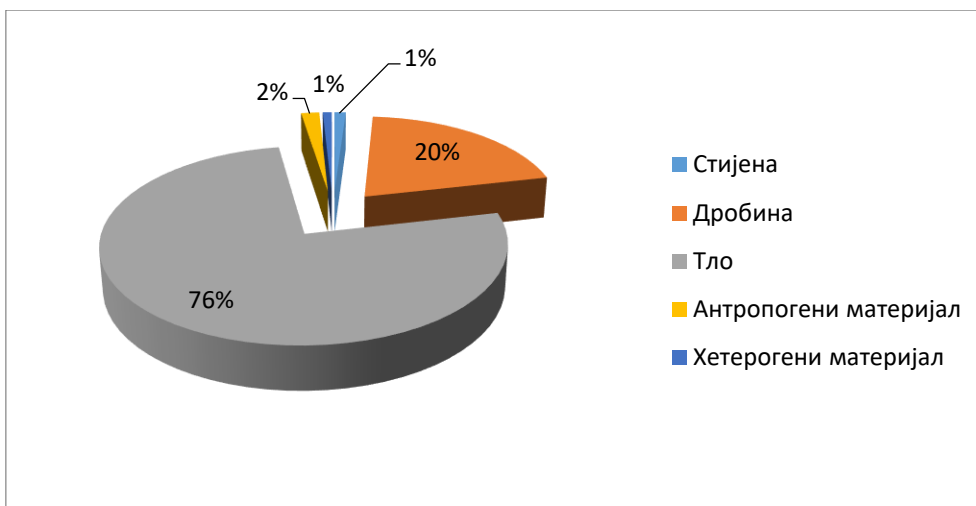


Слика 14. Број регистрованих клизишта према типу основне стијене.

Важно је напоменути да се клизишта углавном дешавају на контакту покривача и основне стијенске масе, тзв. клизишта консеквентног типа (Savarenski, 1935). Активирање клизишта се дешава углавном у зони површинског распадања основе, која је сачињена од пјесковитих глина и заглињених дробинских материјала. Ова зона је претежно дебљине од 1-3 m, рјеђе преко 5 m, што практично одређује и просјечне дубине клизишта.

На слици 15. видимо да код 76% регистрованих клизишта, покренут ситнозрни материјал (глина и пијесак), док је код 20% клизишта покренути материјал дробинског типа.

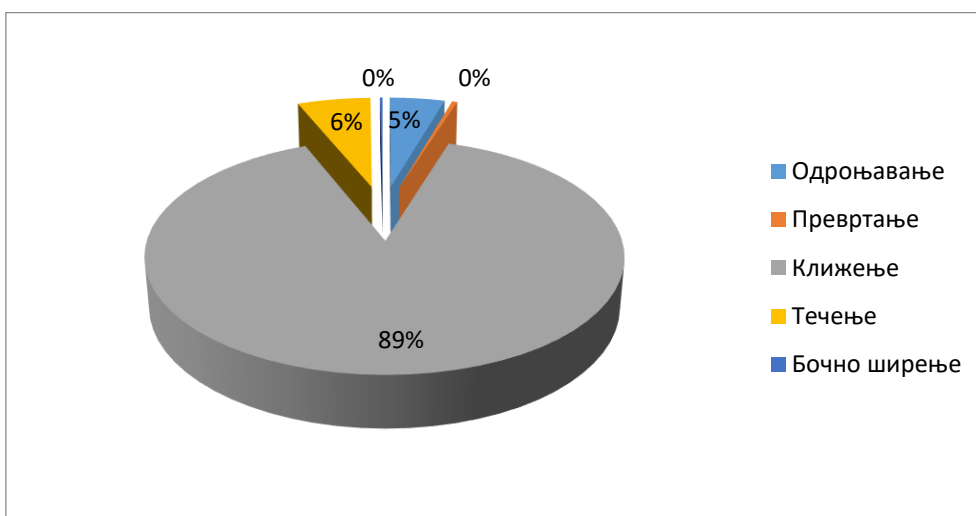




Слика 15. Процентуална заступљеност регистрованих клизишта према врсти покренутог материјала.

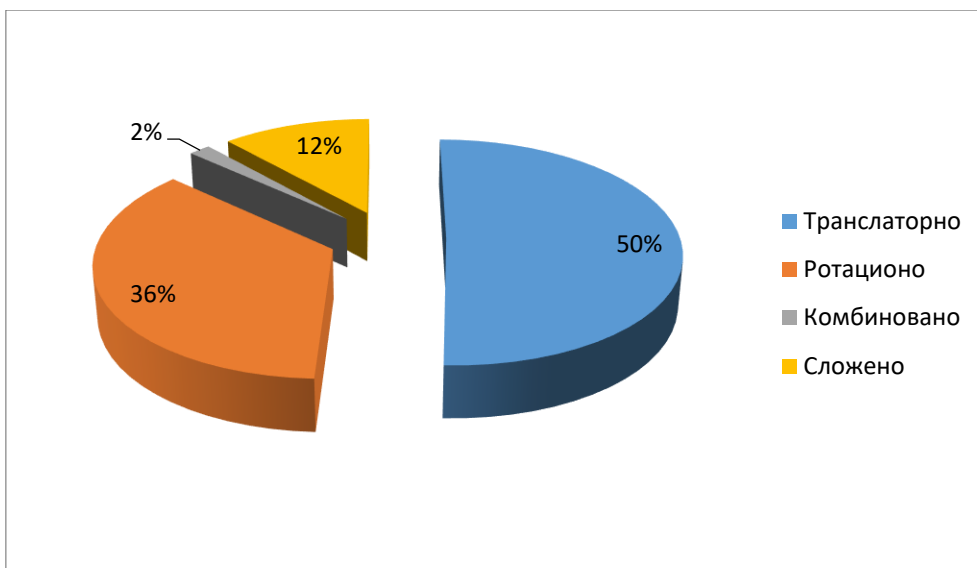
#### 5.4.2. Типологија клизишта – опште информације

Анализом података прикупљених на терену, на слици 16. види се да према типу, тј. начину кретања доминирају клизишта са 89%, тецишта са 6%, одрони са 5%, док су остали процеси присутни у доста мањем броју.

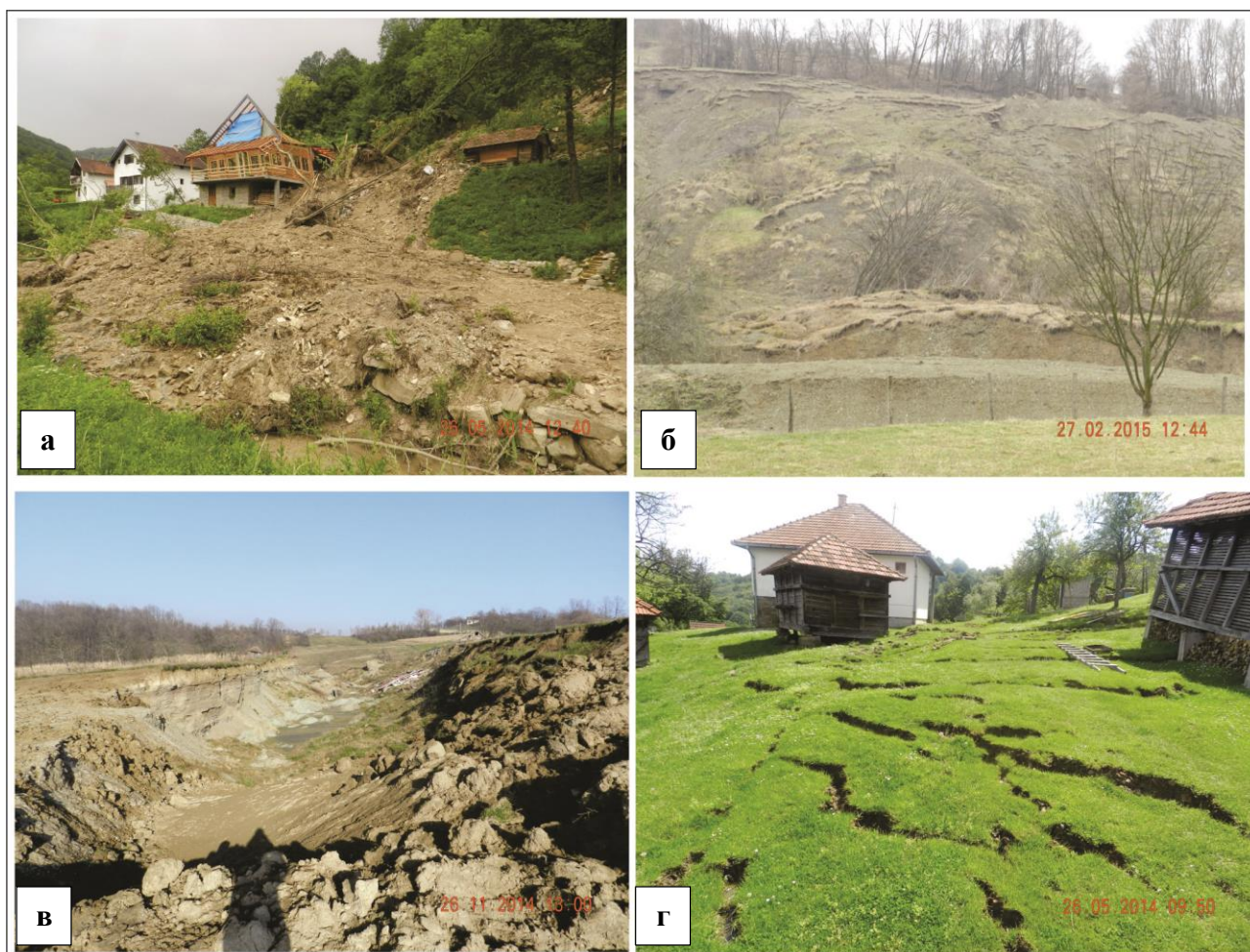


Слика 16. Број регистрованих клизишта према типу процеса, односно начину кретања.

Од укупног броја регистрованих клизишта, према типу клижења, трансляторна заузимају 50%, ротациона 36%, док сложених има 12% (слика 17).



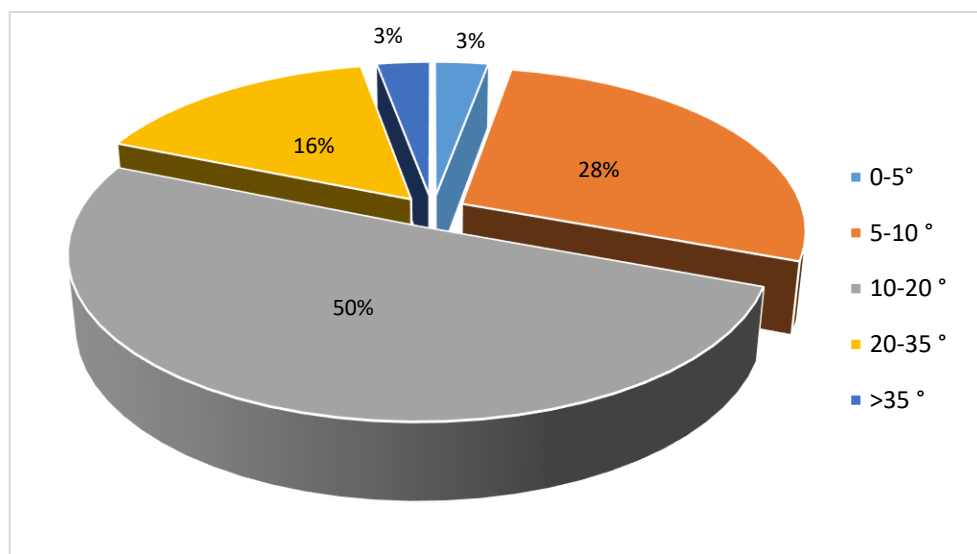
Слика 17. Број регистрованих клизишта према типу клижења.



Слика 18. Карактеристични типови клизишта у општини Лопаре (а – тециште у МЗ Прибој; б – клизиште поред пута Прибој – Лопаре; бочно ширење у МЗ Тобут; плитко клизиште у МЗ Подгора), (фото: Ц.Сандић, 2014/2015).

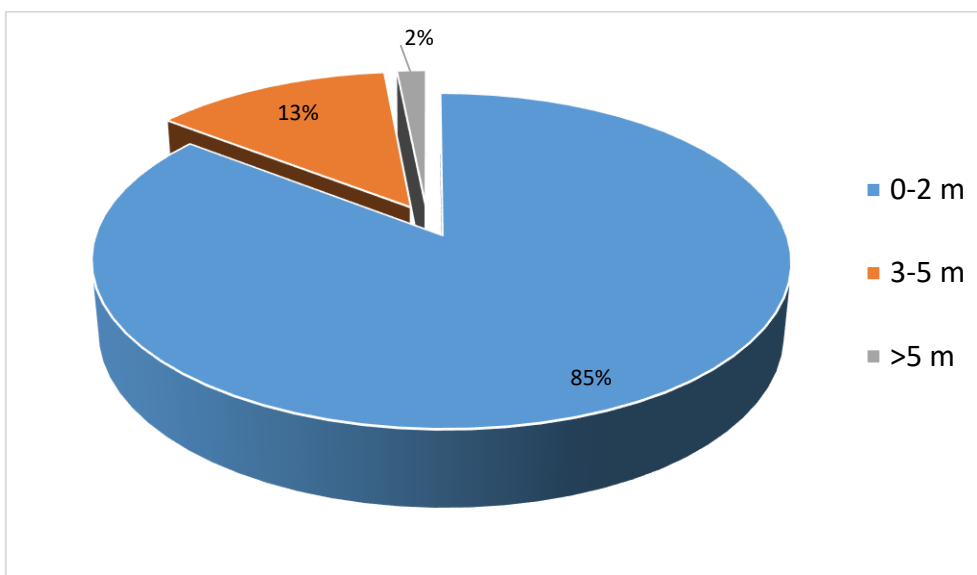
Карактеристично је да је највише тецишта регистровано у општини Лопаре, услед велике количине падавина и површинског покривача глиновито-пјесковитог типа, мада су и клизишта честа појава с обзиром да у геолошком погледу доминирају неогени седименти (слика 18).

Највише регистрованих клизишта јавља се на падинама са нагибом од 10-20°, док их је најмање регистровано у заравњеним теренима и теренима са нагибом већим од 35° (слика 19).



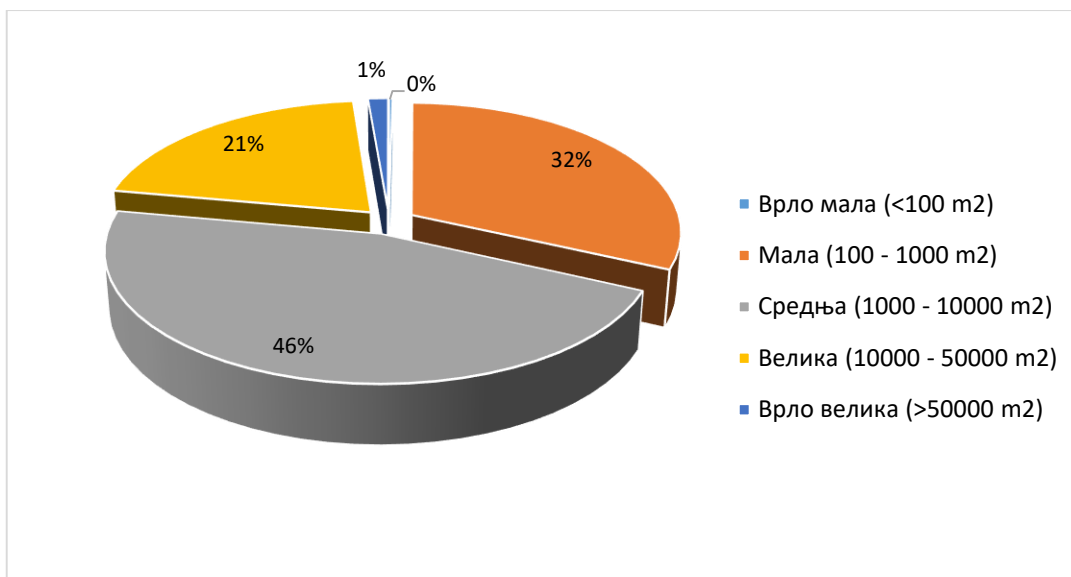
Слика 19. Број регистрованих клизишта у односу на нагиб падине.

Према Јањићу (1979), 98% регистрованих клизишта спадају у категорију плитких и површинских клизишта, док само 2% од укупног регистраног броја представљају дубока клизишта, односно клизишта дубине преко 5 m (слика 20).



Слика 20. Број регистрованих клизишта према дубини клизне равни.

Према истом аутору (Јањић, 1979), према површини коју заузимају, регистрована клизишта у највећем проценту спадају у категорију средњих клизишта (46%) и малих клизишта (32%). Великих клизишта је око 21%, док остале категорије имају знатно мало учешће (слика 21).

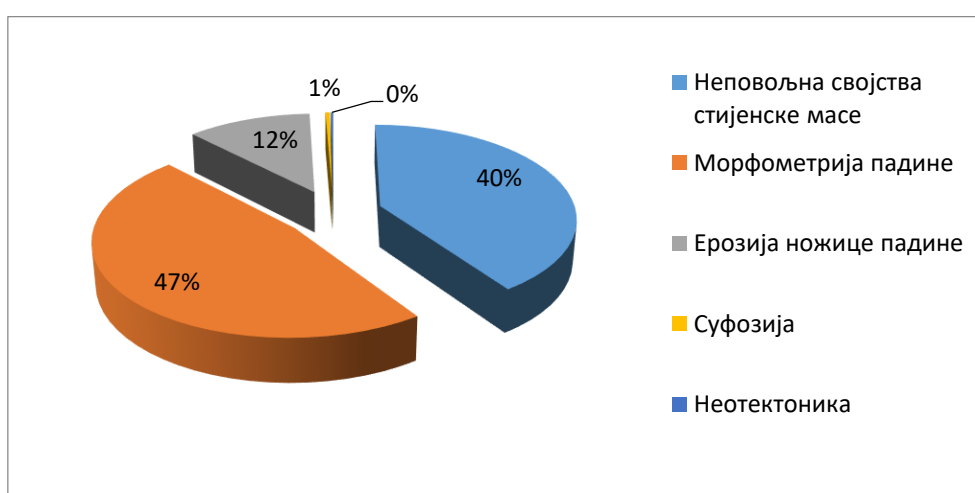


Слика 21. Класификација клизишта према површини - величини.

### 5.4.3. Узроци активирања клизишта

Падавине се сматрају као главни повод и кључни окидач за активирање клизишта у Републици Српској, док су остали утицајни фактори знатно мањи. Под појмом падавине, поред обилних киша, убрајају се и посљедице активирања приликом наглог отапања снијега, али, према процјенама, са процентом не већим од 20%, због чињенице да се зимски покривач на територији Републике Српске, задржава релативно кратко током године.

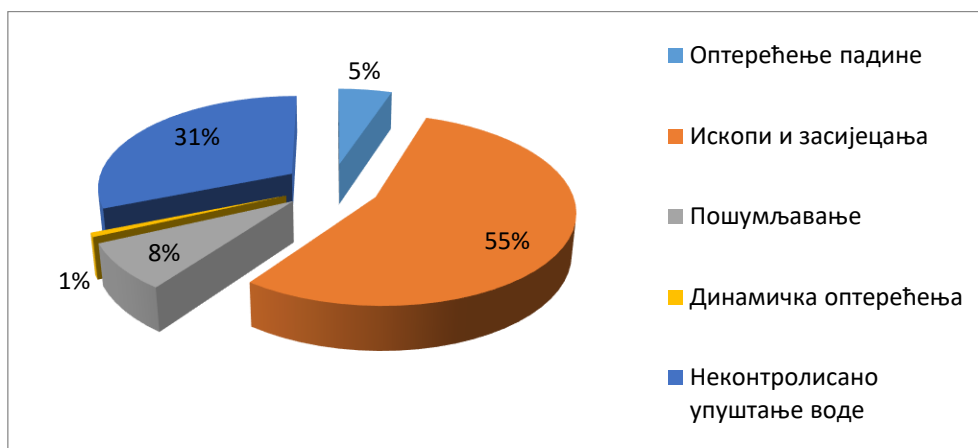
Од геолошких, узрочника активирања клизишта доминирају сама морфометрија падине са 47% и неповољна својства стијенске масе са 40% учешћа, док ерозија ножице падине има за посљедицу 12% активираних клизишта (слика 21).



Слика 22. Геолошки узорци активирања клизишта.

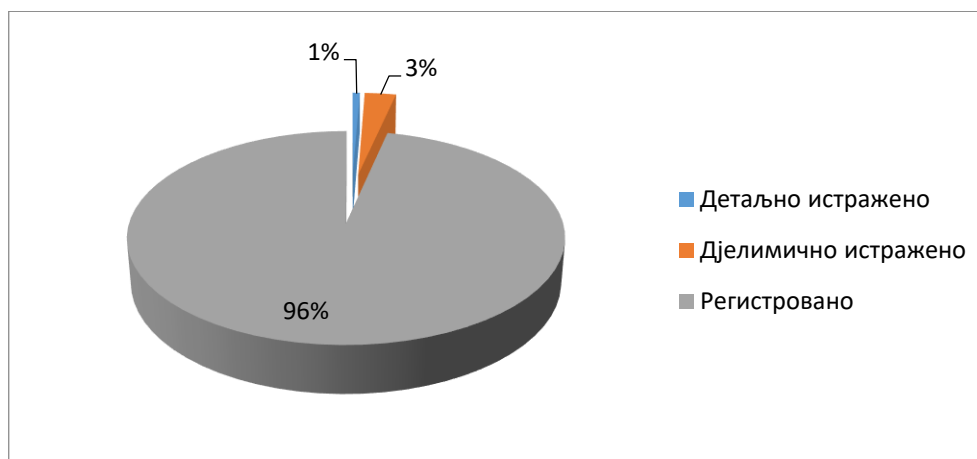
У Републици Српској, човјек својим нестручним дјеловањем и непоштовањем техничких прописа у великој мјери доприноси развоју и активирању процеса нестабилности. Статистика показује (слика 22), да неправилни ископи и засијецања имају за посљедицу 55% активираних клизишта, а неконтролисано упуштање воде у тијело клизишта 31%. Такође, неправилна сјеча шума изазвала је 8% клизишта, а неконтролисана оптерећања падине 5%. Чест је случај да се

приликом активирања клизишта врши само додатно насипање материјала ради изравнавања терена, што доприноси још већем оптерећењу падине и већим размјерама клизишта.



Слика 23. Антропогени узорци активирања клизишта.

Веома често се занемарују законске регулативе које прописују обавезу геотехничких истраживања приликом изградње објеката површине преко 400 m<sup>2</sup>. Такође, овој чињеници у прилог иде и податак да је само 3% регистрованих клизишта у Републици Српској детаљно истражено (слика 23).

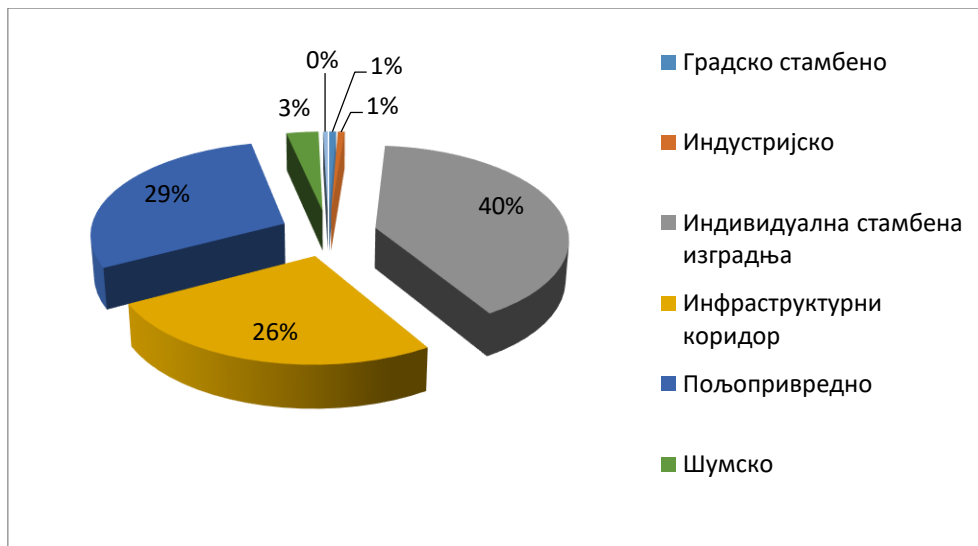


Слика 24. Степен истражености регистрованих клизишта.

#### 5.4.4. Штете и посљедице од клизишта у Републици Српској

Територија Босне и Херцеговине, односно Републике Српске, генерално се може сврстати у ред земља које су подложне развоју процеса клижења.

Према подацима из базе података – катастра клизишта, највећи број регистрованих клизишта у Републици Српској највише угрожава појединачне стамбене објекте и домаћинства у руралним подручјима (40%), као и пољопривредно земљиште (29%). Веома чест случај јесу клизишта у зонама локалних и регионалних саобраћајница (26%), узрокована највише непостојањем ободних дренажних канала за одвођење вишка воде и нестручном изградњом (слика 24).



Слика 25. Број активираних клизишта према намјени земљишта које угрожава.

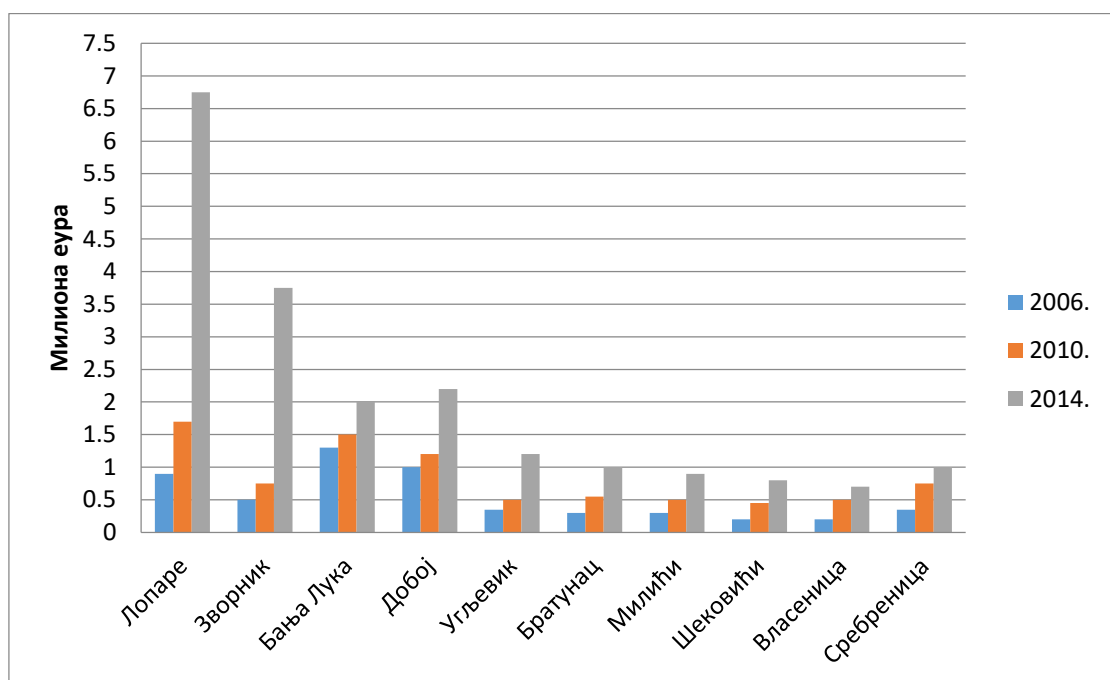
Развој, прије свих плитких клизишта и тецишта у директној је вези са интензитетом падавина, па је тако забиљежено да се велики број клизишта у Републици Српској активира на сваке четири године, када је интензитет падавина већи од вишегодишњег просјека (Sandić, 2015). У мају 2014. године на ширем подручју општине Лопаре пало је 252,5 mm кише, што је око 3,5 пута већа вриједност од вишегодишњег просјека за мај мјесец (70,1 mm), (РХМЗ РС, 2014).

Клизишта су се активирала у 22 мјесне заједнице гдје је 77 кућа у потпуности срушено, 212 кућа великим дијелом оштећено, 110 помоћних објеката срушено, 220 помоћних објеката оштећено и активирано је 193 клизишта на магистралним, регионалним и локалним путевима. Због мјера сигурности, 93 куће су исељене са 217 чланова домаћинства. Укупна површина која је захваћена процесом клизања је 550 ha.

Табела 4. Број регистрованих клизишта у појединим општинама са процијењеном материјалном штетом од стране општинских/градских комисија (према Sandić, 2015).

Ред.бр	Град/Општина	Број регистрованих клизишта	Материјална штета (у милионима еура)		
			2006	2010	2014
1.	Лопаре	1514	0,9	1,7	6,75
2.	Зворник	532	0,50	0,75	3,75
3.	Бања Лука	>400	1,30	1,50	2,00
4.	Добој	>200	1,00	1,20	2,20
5.	Угљевик	180	0,35	0,50	1,20
6.	Братунац	>100	0,30	0,55	1,00
7.	Милићи	111	0,30	0,50	0,90
8.	Шековићи	75	0,20	0,45	0,80
9.	Власеница	70	0,20	0,50	0,70
10.	Сребреница	>90	0,35	0,75	1,00

На слици 26. и табели 4. може се видјети да материјалне штете проузроковане од клизишта током година, константно расту за периоду 2006.-2014.



Слика 26. Дијаграм са догођеним материјалним штетама у неким градовима/општинама у Републици Српској.

Само је у општини Лопаре, штета од клизишта у 2014. години досегла износ од скоро 7 милиона еура, у Зворнику преко 3,5 милиона, Бања Луци преко 2 милиона итд..

У МЗ Бошковићи, на територији Града Зворника, клизиште је својим дјеловањем причинило огромну материјалну штету, директно угрозило више од 30 стамбених јединица (слика 27). Такође оштећен је и уништен и велики број помоћних објеката, гробље, црква, путна инфраструктура, електро и ПТТ мрежа, пољопривредно и шумско земљиште. Највећи број домаћинстава је потпуно и привремено расељен због великих оштећења на објектима. Ово клизиште се сматра за највеће клизиште у Републици Српској (ска 800 x 600 m), како по својим димензијама, тако и према броју угрожених објеката и материјалној штети.





Слика 27. Клизиште у МЗ Бошковићи, Град Зворник, (фото Ц.Сандић, 2014).

Осим материјалних штета, клизишта уносе и социо-економске немире и промјене у цјелокупно друштво. До сада је у Републици Српској регистрован један случај са директним смртним исходном од клизишта - тецишта у МЗ Церска, у општини Власеница, 2014. године (слика 28).



Слика 28. Тециште у МЗ Церска, општина Власеница, (фото Ц.Сандић, 2014).



## 6. ПРОЦЕС ПРОЦЈЕНЕ ХАЗАРДА И РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА ЗА РАЗЛИЧИТЕ НИВОЕ ПРОСТОРНОГ ПЛАНИРАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

Као посебан проблем у процесу процјене хазарда и ризика представља избор размјере у којој се врши обрада прикупљених података сама процјена. Према (Аболмасов, 2007), избор размјере генерално зависи од:

- намјене истраживања и
- величине подручја посматрања.

Што се тиче намјене, избор размјере зависи од тога да ли се процјена ради за ниво регионалног, просторног или урбанистичког планирања или у фази пројектовања, тј, услова изградње објеката. Такође, избор размјере зависи и од величине подручја од интереса, па тако може бити дефинисано површином цијеле државе, региона, општине, насеља или трасом инфраструктурних коридора.

Суштински концепт процјене хазарда и ризика од клизишта за различите нивое планирања, заснива се на томе да се у првом кораку врше прелиминарне процјене на највишем нивоу (цјелокупно подручје), док би се у даљим корацима радиле све детаљније процјене, са све прецизнијим улазним подацима и подлогама веће резолуције, али и прецизнијим и напреднијим методологијама.

Такви принципи, приказани у табели 5., познати под називом „Рангирани“ приступи који су и препорука Европске Уније за ову област (Hervás et al., 2007; Günther et al., 2013).

Табела 5. Препоруке – Рангирани приступи за процјену склоности терена ка клижењу (према Hervás et al., 2007).

	Ранг 1 (1:1.000.000)		Ранг 2 (1:250.000)		Ранг 3а (1:25.000)	Ранг 3б (1:10.000)
<b>Методолошки приступ</b>	Хеуристички-експертски		Пробаблистички, квантитативни, биваријантни, мултиваријантни		Пробаблистички, квантитативни, биваријантни, мултиваријантни	Детерминистички, физичко моделирање
<b>Размјера катастра</b>	1:200.000		1:50.000		1:10.000	1:10.000-1:2000
<b>Облик катастра</b>	Тачке	Полигони	Тачке	Полигони	Полигони	Полигони
<b>Димензије клизишта</b>	1-5 ha	>5 ha	500-2500 m <sup>2</sup>	>2500 m <sup>2</sup>	>100 m <sup>2</sup>	све
<b>Информације у катастру</b>	Најмање локција и тип клизишта		Најмање локција, тип и степен активности клизишта		Потпуне информације о клизиштима	

Бројни аутори (Cascini et al., 2005; Cascini, 2008; AGS, 2007; Fell et al, 2008), у смислу планирања простора, дају углавном сличне препоруке почевши од формирања катастра клизишта, преко процјене склоности, процјене хазарда и ризика од клизишта, како у смислу размјера тако и у смислу избора методолошких принципа.

Ипак, оно што је важно истаћи јесте да је квалитет улазних параметара пресудан за избор размјере и методологије процјене.

У табели 6. збирно су обухваћени сви нивои процјене склоности/хазарда и ризика према размјерама, могућностима примјене и површинама које те процјене могу обухватити.

Табела 6. Класификација процјена према размјерама и могућностима њихове примјене (према Fell et al., 2008).

Опис размјере	Размјера	Могућност примјене	Површина процјене
Ситна	< 1:100.000	Катастар клизишта и процјена склоности за информисање државних институција и јавности	>10.000 km <sup>2</sup>
Средња	1:100.000 - 1:25.000	Катастар клизишта и процјена склоности за потребе регионалног развоја, нпр. планирање инфраструктурних пројеката великих размјера. Прелиминарна процјена хазарда за локални ниво.	1000-10.000 km <sup>2</sup>
Крупна	1:25.000 – 1:5.000	Катастар клизишта и процјена склоности, процјена хазарда на локалном нивоу. Средња до напредна процјена хазарда у сврху регионалног развоја. Прелиминарна до средња процјена ризика за локалне средине и напредни нивои планирања за велике грађевинске објекте, путеве и пруге.	10-1000 km <sup>2</sup>
Детаљна	> 5.000	Средњи до напредни ниво процјене хазарда и ризика на локалном нивоу и детаљне процјене за пројектну фазу великих грађевинских објеката, путева и пруга.	Неколико ha до 10 km <sup>2</sup>

Процјене „ситне размјере“ називају се још и процјене националног нивоа (< 1:100.000) раде се у сврху прелиминарних процјена склоности терена ка клижењу, док су процјене хазарда и ризика на овом нивоу такође могуће, али се доста рјеђе спроводе. Ове процјене у највећој мјери имају информативни карактер и не користе се као суштинске препоруке, већ само као смјернице при планирању. Препоручене методе се базирају на анализи података катастра клизишта и ескпертском расуђивању – хеуристичком приступу.

Напреднији ниво јесте ниво „средње размјере“ који се још назива и регионални ниво процјене (1:100.000 - 1:25.000). Углавном се препоручују хеуристичке методе, док се статистичке методе могу користити искључиво ако постоје тачни и поуздани улазни подаци за анализу, када је могуће радити и процјену ризика.

На нивоу процјене „крупне размјере“ (1:25.000 – 1:5.000), препоручује се процјена ризика од клизишта. Она може бити квалитативна али и квантитативна уколико је могућа на основу улазних фактора, прије свих просторних података о клизиштима.

За „детаљани ниво“ процјене (> 5.000), препоручују се само квантитативне методе процјене ризика. За овај ниво детаљности обавезне су комплетне базе података и подлоге високе резолуције.

У табели 7. приказане су препоручене врсте процјене и њихове размјере у сврху њихове примјенљивости.

Када су у питању национални и регионални нивои, који представљају мање детаљне процјене, резултати се могу користити у информативне и савјетодавне сврхе. Могу бити од користи државним инситуцијама, као водилја у смислу планирања траса будућег развоја нпр. инфраструктуре и превентивног дјеловања у циљу ублажавања штетних посљедица које могу настати дјеловањем клизишта.

Ипак, када је у питању дефинисање неких законских услова, као што су нпр. грађевинске дозволе, експропријација земљишта, зоне је потребно одредити веома прецизно, за шта је потребно вршити процјену у детаљним, крупним размјерама, уз коришћење што напреднијих методологија.

Табела 7. Препоручене врсте процјене и њихове размјере у сврху њихове примјенљивости (према Fell et al., 2008).

Сврха	Врста процјене				Ниво процјене			Примјенљива размјера
	Катастар	Склоност	Хазард	Ризик	Прелиминарни	Средњи	Напредни	
Национални/регионални ниво процјене								
Информативно	X	X			X			1:25.000 - 1:250.000
Савјетодавно	X	X	(X)	(X)	X	(X)		
Законодавно	Не препоручује се							
Локални ниво процјене								
Информативно	X	X	X	(X)	X	(X)		1:5.000 – 1:25.000
Савјетодавно	(X)	X	X	X	X	X	X	
Законодавно		(X)	X	(X)		X	X	
Детаљни ниво (подручје од интереса)								
Информативно	Не препоручује се							1:5.000 – 1:1.000
Савјетодавно	Није уобичајено							
Законодавно		(X)	X	X		X	X	
Пројектно		(X)	(X)	X		(X)	X	
Легенда: X – примјенљиво; (X) – може да буде примјенљиво								

Поред саме процјене склоности, хазарда и ризика од клизишта, један овакав процес прати и много других, веома важних активности:

- Геореференцирање и дигитализација Основне геолошке карте СФРЈ 1:100.000 за подручје које покрива Републику Српску;
- Израда адекватних база података са подацима о геолошкој грађи, коришћењу земљишта, падавинама, клизиштима, становништву итд;
- Избор оптималног модела склоности, хазарда и ризика и његово тестирање у смислу тачности али и могућности примјене у одговарајућој размјери;

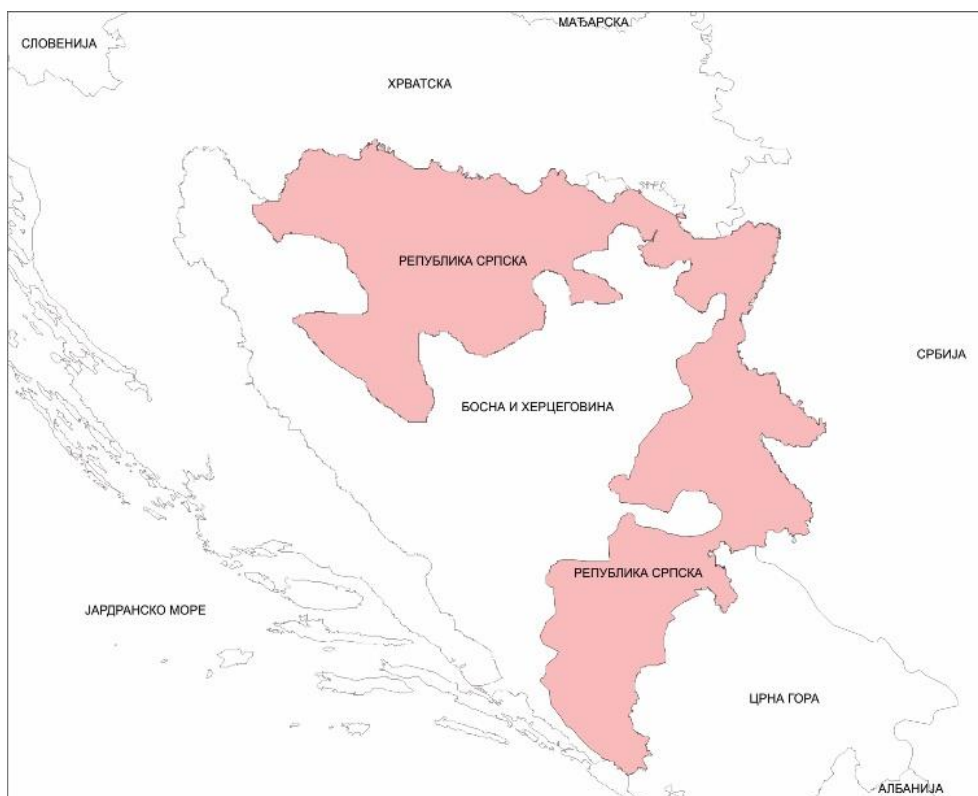
## 7. РЕГИОНАЛНИ НИВО ПРОЦЈЕНЕ

Регионални – национални ниво процјене у суштини третира цјелокупну територију неке државе, неког ширег простора – ентитета, кантона или регија. Процјене се раде у размјерама 1:25.000 -1:250.000 (табела 5), а добијени резултати се користе у просторном планирању на регионалном нивоу, за трастирање капиталних инфраструктурних објеката великих размјера (Fell et al., 2008; Cascini, 2008), али и као почетне информације за даље детаљније процјене и прецизније планирање простора.

У конкретном случају, за потребе ове дисертације рађена је процјена за ниво територије Републике Српске, у размјери 1:100.000. За овај ниво просторног планирања, на нивоу Републике Српске, рађена је процјена склоности терена ка клижењу терена, која представља први корак у процјени хазарда и ризика од клизишта приликом детаљнијих процјена.

## 7.1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ

Република Српска је један од ентитета у саставу Босне и Херцеговине, и граничи се са Хрватском, Србијом и Црном Гором. Има површину 25.053 km<sup>2</sup> што представља 49% територије БиХ, а налази се између 42°33' и 45°16' сјеверне географске ширине и 16°11' и 19°37' источне географске дужине (слика 29).



Слика 29. Географски положај Републике Српске.

Република Српска представља спону панонског и јадранског басена са западном Европом и централним Балканом. У саобраћајно-географском смислу овакав положај има посебан значај, јер простор Републике Српске пресецају виталне комуникационе везе.

Највећи планински врх у Републици Српској је Маглић, који се налази на 2.386 m надморске висине на истоименој планини.

## 7.2. ГЕОМОРФОЛОШКЕ И ХИДРОГРАФСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Подручје Републике Српске има разноврстан и морфолошки неуједначен рељеф, што је последица геолошке грађе, тектонског склопа и карактера неотектонске активности.

Према генетским типовима могу се издвојити следеће категорије рељефа:

- Флувијално-акумулациони рељеф;
- Денудационо-акумулациони рељеф;
- Гравитационо-делувијални рељеф;
- Ерозионо-денудациони рељеф;
- Карстно-ерозиони рељеф.

### **Флувијално-акумулациони рељеф**

Настао је флувијално-акумулационим процесима у долинама ријечних токова. У морфолошком смислу то је заравњен терен који се лако идентификује преко бројних појава плавинских конуса, бујичних наноса, терасних заравни међусобно раздвојених алувијалним и терасаним одсјецима и другим формама везаним за флувијално-акумулациони режим. Терасно акумулациони рељеф је старији и хипсометријски виши од савремених акумулационих заравни савремених ријечних токова.

Флувијално-акумулациони рељеф је изграђен од шљункова, пијескова и иловача. У оквиру алувијалних терена савремених токова пијескови и шљункови леже директно преко стијена основне стијенске масе (стијена субстрата).

Површински дијелови прекривени су иловачама промјенљиве дебљине.

Овај облик рељефа у Републици Српској доминантан је у долинама свих већих ријека: Саве, Дрине, Босне, Врбаса, Уне, Сане и њихових притока.

### **Денудационо-акумулациони рељеф**

Овај рељеф се може издвојити у зони неотектонског спуштања. Изграђен је од неогених полифацијалних комплекса средњег и горњег миоцена. Разгранатост дренажне мреже, затим и површинско и линијско отицање површинских вода представља главни индикатор да се у теренима изграђеним од неогених творевина одвијају доста интензивни ерозиони и денудационо-акумулациони процеси. Нагиб ових падина варира, али највећу заступљеност имају падине нагиба 10-15°. Овај тип рељефа издвојен је на већем простору сјеверног дијела Републике Српске почев од Приједора, Бања Луке, Котор Вароши, Челинца, Прњавора, Дервенте, Модриче, Лопара, Угљевика и Зворника.

### **Гравитационо-делувијални рељеф**

Гравитационо-делувијални рељеф представљају стрмо нагнуте косине уједначеног пада формиране акумулацијом дробинског материјала чврстих стијенских маса у подножјима стрмих падина. Овај рељеф је углавном везан за одроне, сипаре, делувијалне и делувијално-пролувијалне наслаге. Овај тип рељефа може да се издвоји у горњим токовим ријека Врбаса, Дрине, Сутјеске, Дрињаче, Праче, Ракитнице и Угра.

### **Ерозионо-денудациони рељеф**

Заступљен је само по ободу терцијарних басена, а односи се на терене изграђене од палеозојских и доње тријаских, вулканогено-седиментних и флишних полифацијалних комплекса. Поменуте стијенске масе, хетерогеног састава, тектонски знатно деформисане, под утицајем егзогених геолошких фактора подложне су наглим промјенама, а самим тим и подложније физичко-геолошким процесима и појавама. Те промјене директно се одражавају на стварање макро и микроморфолошких форми рељефа. Падине су са уједначеним и праволинијским падом (флишни комплекси), степенасте, конвексне или заталасане због присутних процеса клижења. Многобројни реликтни облици рељефа, ријечне долине, изразито сужене ријечне долине, ерозионе терасе указују на неотектонску активност у којој преовлађује издизање.

Ови облици рељефа најчешће су развијени на просторима сјеверно и сјеверо-источно од Фоче, дринског палеозоика и палеозоика Сане, подручја Бирча, Источног Сарајева и Вишеграда.

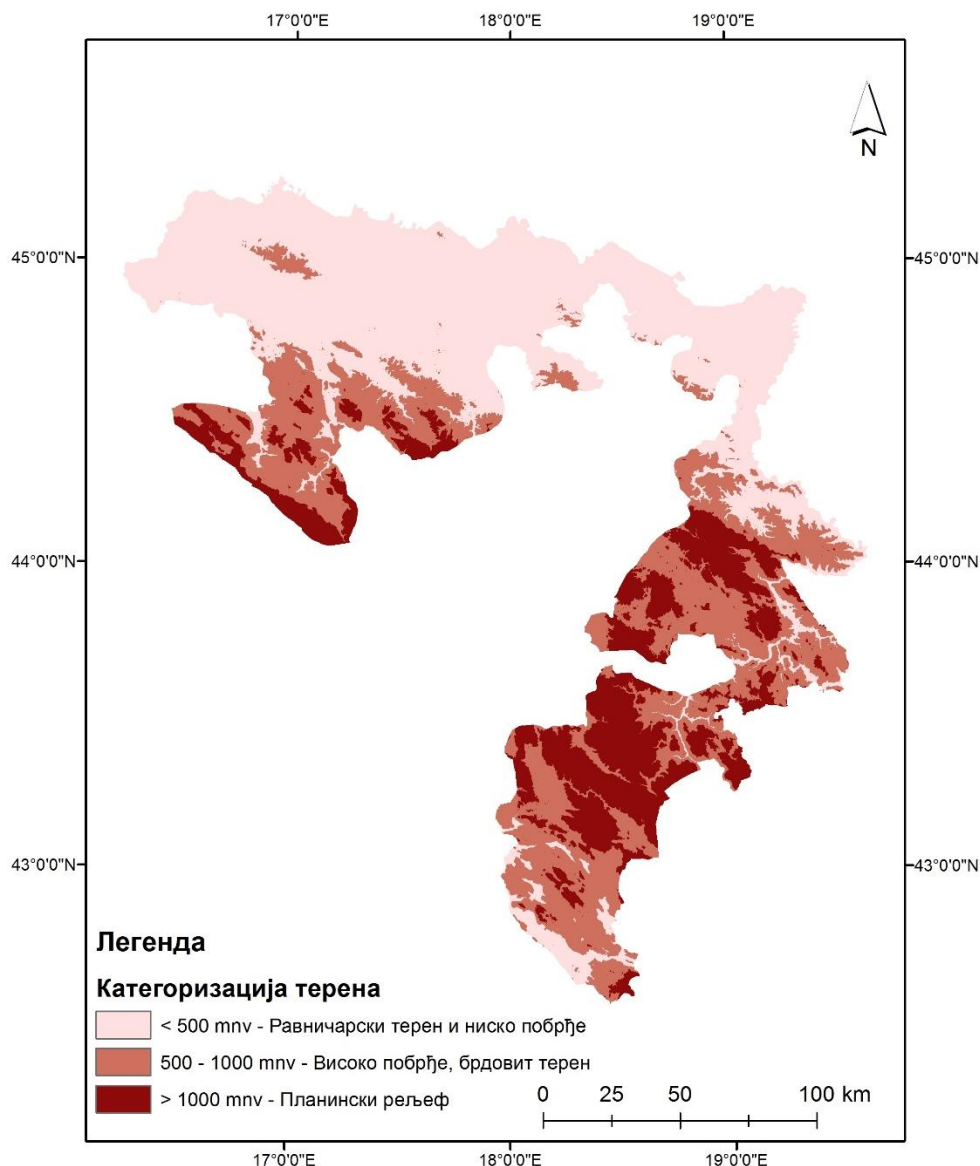
### **Карстно-ерозиони рељеф**

Рељеф карстно-ерозионог поријекла одликује се специфичном површинском морфологијом, условљеном хемијским разлагањем тектонски јако поломљених кречњака.

То су терени у подручјима Романијског платоа, и скоро читав јужни дио Републике Српске, подручје Херцеговине, као и сјеверозападни дио Републике Српске.

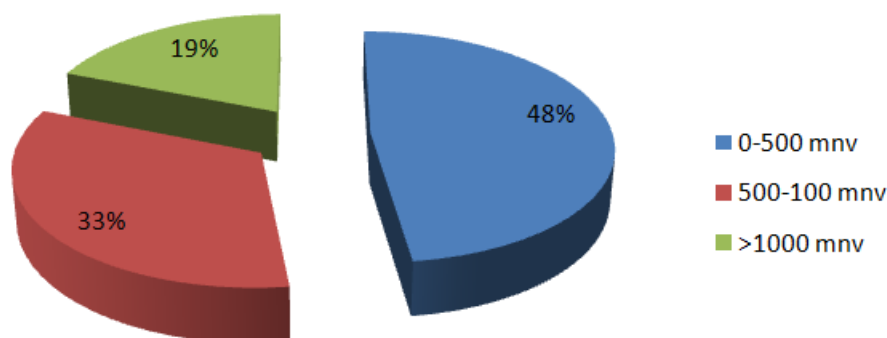
У хипсометријском погледу могу се издвојити три карактеристична нивоа (слика 30 и 31):

- равничарски терен и ниско побрђе, висине до 500 mnn (48% територије);
- високо побрђе, брдовит терен, висине 500-1000 mnn (33% територије);
- планински рељеф, висине преко 1000 mnn (19% територије).



Слика 30. Хипсометријске карактеристике Републике Српске.

У сјеверном перипанонском дијелу брежуљкасти терени изграђени од кенозојских наслага постепено се спуштају у равничарске просторе са алувијалним заравнима и ријечним терасама који уједно чини и најплоднији дио Републике Српске. На том простору издижу се само неколико усамљених планина – Козара, Просара, Мотајица, Вучијак, Озрен и Требовац, те крајњи сјевероисточни огранци Мајевице. Према југу равничарски простор преко брежуљкастог терена прелази у планинско подручје које заузима и највећи дио површине Републике Српске.



Слика 31. Процентуална заступљеност хипсометријских нивоа у РС

Са хидролошког аспекта, простор Републике Српске се може означити као релативно богат површинском и подземном хидролошком мрежом. Сви главни ријечни токови припадају сливу Црног мора. Окосница црноморског слива је ток ријеке Саве који је ниско положен, те му дотичу сви већи ријечни токови – Уна са Саном, Врбас, Укрина, Босна и Дрина. Све оне имају композитни карактер ријечних долина са великим падовима, те располажу значајним хидроенергетским потенцијалом. У том погледу је посебно значајна Дрина која има најразвијенији хидролошки систем и огроман хидроенергетски потенцијал који је још увек недовољно искоришћен. И остали ријечни токови имају велики привредни значај, мада углавном само својим доњим и средњим токовима припадају Републици Српској. Изузетак је Укрина која има мањи ток и тече између доњих токова Врбаса и Босне.

Хидрографску ријечну мрежу Републике Српске употпуњује највећа и најзначајнија ријека источне Херцеговине – Требишњица, чији је хидроенергетски потенцијал готово у потпуности искоришћен. Она, као и готово сва подземна карстна хидрографска мрежа припада јадранском сливу.

Ријеке Српске, поред хидроенергетског потенцијала, својим квалитетом представљају значајну компоненту туристичке привреде. То се посебно односи на планинске токове који су веома чисти и богати ријечном рибом.

Поред богатства у ријечним токовима, на простору Републике Српске налазе се бројни извори и врела која су углавном пукотинског и контактеног карактера.

### 7.3. ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Територија Републике Српске одликује се изузетно сложеним инжењерскогеолошким карактеристикама, разноврсношћу литостратиграфског састава, релативно високим нивоом сеизмичке активности, сложеним хидрогеолошким својствима, те значајним утицајем човјекове дјелатности на околни терен. У 2020. години од стране Геолошког завода Републике Српска публикована је „Инжењерскогеолошка карта Републике Српске у размјери 1:300.000“ (Митровић и др., 2020), (Прилог 1). То је прва прегледна карта овог типа за територију Републике Српске, и представља значајан помак у изучавању предметне проблематике.

Пошто је велики дио терена Републике Српске изграђен од стијена мезозојске старости које имају доста добро развијене површинске и подземне карстне феномене, ерозиони и механички рад површинских вода је искључен, јер је омогућена директна инфилтрација. Процеси гравитационих кретања су ипак развијени на стрмим одсјецима, а условљени су претежно мразом, односно температурним промјенама. Продукти овог распадања су релативно велики колувијално-делувијални наноси у подножјима стрмих падина, који се у одређеним условима претварају у масе различитих нестабилности. Други вид деформација у овим теренима су

одрони који прате клисурасте долине ријечних токова дубоко усјечених у кречњачке структуре.

У инжењерскогеолошком смислу, у грађи терена Републике Српске учествују: комплекси седимената пијеска, шљунка и глине, комплекси стијена флиша, комплекси кречњака и доломита, вулканогено-седиментни комплекси, као и комплекси шкриљаца ниског кристалинитета (Чубриловић, 1969).

### **Комплекси седимената пијеска, шљунка и глине**

Сјеверни дио Републике Српске, подручје Семберије, Модриче, Дервенте, као и подручја уз ријечне токове Врбаса, Босне, Саве и њихових притока изграђују комплекси стијена претежно шљунковито-пјесковитог и глиновитог састава. Ови терени су састављени од језерских неогених, алувијалних и флувијалних, плеистоценско-холоценских седимената.

Комплекс алувијалних седимената изграђује искључиво равнице дуж ријечних токова. У грађи терена преовладавају различито таложени и неједнолично гранулисани седименти шљунка и пијеска, мјестимично глине, рјеђе муља. Граде стабилне терене. У хидрогеолошком погледу представљају добро водопропусне средине.

Ријечне терасе су мање или више сачуване у долинама већине наших ријека. Оне су такође изграђене од шљунковито-пјесковитих наслага, које су углавном прекривене слојем пјесковитих глина. Углавном граде стабилне терене.

У комплексима језерских седимената млађег неогена изграђених од пијескова, шљункова и глине подложност ерозији и клизању је веома изражена. Комплекси ових стијена стварају велике тешкоће, јер глине подлијежу расквашавању, бубрењу и тако слабљењу физичко-механичких карактеристика, што услед великог прилива воде доводи до стварања процеса нестабилности.

### **Комплекс флиша**

Флишне насlage одликују се великом хетерогеношћу и анизотропношћу због честог смјењивања различитих литолошких чланова: пјешчара, лапора, глина, лапоровитих и пјесковитих кречњака, конгломерата и бреча.

Подручје Котор Вароши, Приједора и Бања Луке, изграђује флишни комплекс мезозојских стијена. То су језерске насlage старијег неогена и мезозојски комплекси верфенских слојева. Састављени су од усложњених и плочастих лапора, глинаца, банковитих пјешчара и конгломерата, пјесковитих кречњака, бреча и туфова. Распаднути флишни материјал лако подлијеже квашењу и клизању тако да је овај геодинамички процес веома чест у овим стијенским масама.

Код овог комплекса значајно је да нагиб површине слојевитости представља услов стабилности падине. Према томе, наповољни услови су на падинама у којима слојеви падају паралелно нагибу под углом мањим од нагиба падине. У том случају су падине или нестабилне или се стијене усијецањем могу довести у нестабилно стање. У теренима са наизмјеничним смјењивањем филитичних шкриљаца, пјешчара и конгломерата, клизишта су претежно плића. Поред клизишта, при засијецању падина, могуће је одроњавање мањих или већих маса стијена овог комплекса.

Основне инжењерскогеолошке одлике ових комплекса су смјењивање кртих и пластичних стијена, интензивно тектонски оштећених, наизмјенично смјењивање практично водонепропусних и водопропусних маса са пукотинском порозношћу и различита отпорност стијена према деструктивном дјеловању спољашњих фактора као и развијеност процеса спирања и јаружања у дубоко распаднутим основним стијенама комплекса.

Област између Дервенте, Модриче и Добоја, Лопара, Зворника, Чемерног, Вардишта и Челинца изграђује флишни комплекс палеогена, кога сачињавају пјешчари, лапорци, глинци, рјеђе лапоровити кречњаци. Овај комплекс је тектонски јако убран и испуцао, водопростан. У инжењерскогеолошком погледу ови терени спадају у условно стабилне до нестабилне



терене што се тиче развоја процеса нестабилности, односно могућности појављивања клизишта.

### **Комплекс кречњака и доломита**

Подручје Херцеговине, Фоче, Калиновика, Хан Пијеска, Рогатице, Власенице, Милића, Шековића, Мркоњић Града и Шипова углавном је изграђен од криптокристалних кречњака и доломита који представљају моринске седimente мезозоица.

Ове стијене су углавном слојевите, рјеђе масивне, веома испуцале и карстификоване.

Најзначајнија инжењерскогеолошка својства кречњачких терена су велика и јасна испуцалост, подложност механичком распадању, уз стварање сипарског материјала на падинама. Због лаког протока воде кроз ове карстификоване карбонатне стијене, површински токови су веома ријетки јер вода углавном отиче подземним каналима и појављује се у виду неколико километара удаљених врела.

Стабилност кречњачких терена је веома велика. Клизишта су изузетно ријетка и јављају се у кречњачким масама само ако у њима има доста лапоровито-глиновитих прослојака и сочива. Одроњавање и клизање се увјек јавља као посљедица засијецања и оптерећења падина у којима су пукотине паралелне нагибу косине.

Шире подручје Романијског платоа у највећем дијелу изграђују морински седименти мезозоица представљени слојевитим и банковитим, јако испуцалим и карстификованим кречњацима и доломитима. Стабилност ових терена је веома велика тако да нису подложни процесима нестабилности.

### **Вулканогено-седиментни комплекс**

Велика и честа клижења терена дешавају се у дијабаз-рожачкој формацији, које има у сјеверном и источном дијелу Републике Српске. То су шира подручја планине Козаре, Лакташа, Хан Пијеска, Рогатице и Горажда. Литолошки састав овог комплекса је веома хетероген. Од седиментних стијена развијени су пјешчари, рожнаци, глине, лапори, кречњаци, конгломерати и брече. Од магматских стијена врло су чести дијабази, мелафири, порфирити и туфови. По својим хидрогеолошким својствима ови комплекси су слабо водопропусни до водонепропусни што је последица њиховог лаганог трошења и распадања, те склоности према процесима нестабилности.

### **Шкриљци ниског кристалинитета**

Комплекси кристалних шкриљаца ниског кристалинитета (филити, хлоритски, серицитски и други шкриљци и аргилошисти) издвојени су на подручју Козарске Дубице, Фоче, Сребренице и Братунца. Комплекси ових стијена немају једнака физичко-махничка својства, слабо су отпорни према спољашњим утицајима и практично су водонепропусни. Важну улогу у погледу стабилности имају тектонска оштећеност, положај површина шкриљавости и нагиб пукотина у односу на површину терена. Инжењерскогеолошка својства су знатно повољнија ако је тектонска оштећеност знатно мања. Граде стабилне, условно стабилне до нестабилне терене у подручјима са великом дебљином површинских покривача.

## **7.4. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЈЕНУ СКЛОНОСТИ ТЕРЕНА КА КЛИЖЕЊУ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ**

Основа за било какав почетак процедуре о управљању ризиком од клизишта подразумијева прије свега прикупљање документације претходних истраживања и формирање базе података катастра клизишта за неко подручје (Аболмасов, 2012).

Процјена хазарда и ризика од клизишта као крајњи производ треба да даје просторне зоне класификоване и рангиране према неком од унапријед задатих критеријума.

У суштини резултат процјене склоности је тзв. карта склоности терена ка клижењу која даје приједлог рангирања терена у смислу просторне вјероватноће од појаве клизишта на неком простору. Важно ја напоменути да оваква карта у себи не садржи компоненту времена, за разлику од карте хазарда која укључује и вријеме. Овакве карте могу бити веома погодне прегледне карте разумљиве стручњацима из различитих области, прије свега просторног планирања, урбанизма и сл., те је као таква изузетно погодна за коришћење приликом израде просторних планова.

Када се ради анализа склоности терена ка клижењу, критеријуми су јасно дефинисани, те се узимају у обзир догађаји из прошлости на основу којих се могу предвидјети евентуални догађаји у будућности (Fell et al., 2008). Као главни и основни параметар за процјену користе се подаци о раније активираним клизиштима, што је омогућено формирањем катастра клизишта за територију Републике Српске, приказаном у поглављу 5.3. ове дисертације.

Развојем GIS технологија у многоме је олакшан процес процјене, односно управљања ризицима од клизишта јер је омогућен рад и манипулација са великим бројем и различитим врстама података. Самим тим анализе могу бити потпуније, сложеније и тачније.

Постоји много различитих приступа за израду карте склоности терена ка клижењу. У најширем смислу методе процјене склоности, односно хазарда могу се подијелити на квалитативне и квантитативне. У сваком случају тежња је да се колико је год то могуће дескриптивни подаци замјене нумеричким.

Пошто се једна оваква прегледна карта за територију цијеле Републике Српске ради у размјери 1:100.000 најпогоднији је тзв. хеуристички приступ, односно приступ који се ослања на искуствено рјешавање проблема – тзв. експертско расуђивање или практично речено примјена АНР методологије.

АНР метода (*Analytic Hierarchy Process*) је математичка, вишекритеријумска метода (Saaty, 2003) која се доста користи за моделирање просторних података, а у данашње вријеме има велику примјену и у области инжењерске геологије.

Први корак у примјени једне овакве методе јесте формирање АНР матрице са критеријумима помоћу које се они међусобно пореде и на тај начин се врши вишекритеријумска анализа. Метода се заснива на разлагању сложеног проблема у хијерархији, гдје се циљ налази на врху хијерархије док су критеријуми на нижим нивоима (табела 8).

Табела 8. Примјер АНР матрице за поређење параметара

$F1$	$F1$	$F2$	.	$F_n$
$F1$	$a_{11}$	$a_{12}$	.	$a_{1n}$
$F2$	$a_{21}$	$a_{22}$	.	$a_{2n}$
.	.	.	.	.
$F_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	.	$a_{nn}$
$\Sigma$	$\Sigma a_{1n}$	$\Sigma a_{2n}$	.	$\Sigma a_{nn}$

Конечна једначина модела након анализе треба да има сљедећи облик (1):

$$M_{\text{АНР}} = \sum_{i=1}^n w_i F_i \quad (1)$$

Гдје су:

$w_i$  тежински фактор,

$F_i$  одговарајући критеријум (*layer*)

АНР је погодан поступак за вишекритеријумско моделирање са растерима, те је итекако погодан за анализу просторних података о клизиштима и другим утицајним факторима (Marjanović, 2013).

## **7.5. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ**

Са аспекта проучавања процеса клижења као геолошког хазарда, мјеродавни утицајни фактори - параметри биће они који дефинишу прије свега терен као дио геолошке средине у смислу стабилности.

Стабилност терена, као основно инжењерскогеолошко својство, зависи и од других својстава геолошке средине (морфолошких, инжењерскогеолошких, хидрогеолошких и др.), али и од оних који такође могу утицати на стабилност (хидролошких, климатских, начина коришћења земљишта и др.).

Вредновање параметара геолошке средине означава методолошки поступак примјене метода анализе и процјене утицаја параметара којима су дефинисана основна својства геолошке средине од значаја за процес клижења схваћеног као геолошки хазард (Аболмасов, 2007).

Сходно простору и размјери карте која се ради, али и квалитету расположивих података (подлога), у анализу су укључени сљедећи утицајни фактори:

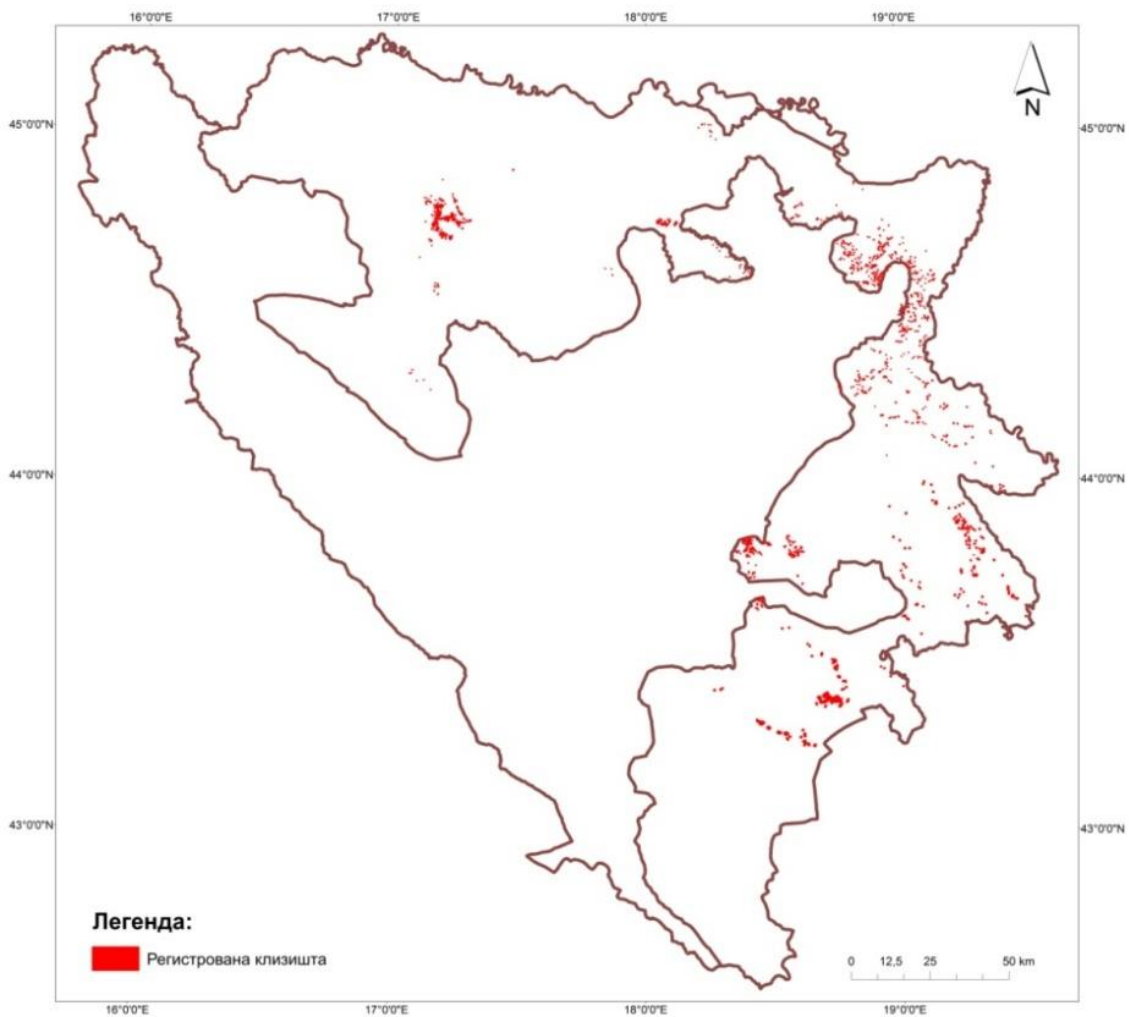
- литолошка грађа терена;
- нагиб површине терена;
- падавине;
- начин коришћења земљишта;
- удаљеност од активних расједа.

Поступак моделирања се генерално ради тако што се горе наведени параметри пореде у смислу значаја за развој процеса клижења према искуственом расуђивању. За сваки параметар који је ушао у анализу урађене су аналитичке карте, у растерском GIS формату, на којима су према усвојеним критеријумима издвајане одговарајуће класе са припадајућим вриједностима тежинских фактора.

### **7.5.1. Подаци из катастра клизишта на регионалном нивоу**

Подаци о просторном распореду клизишта представљају кључне и најзначајније информације потребне за израду процјене, односно карте склоности терена ка клижењу за територију Републике Српске. На основу информација које су прикупљене директно на терену, теренским картирањем и њиховог уноса у дигиталну ГИС базу података, односно катастар клизишта у полигоналном облику, створена је полазна основа за моделирање односно процјену (слика 32). С обзиром да је у питању регионална процјена могу се користити подаци који су у векторском облику записани у тачкастом облику. Због тога је извршена коверзија детаљнијих полигонских података у тачкасти облик на основу центроидне тачке, односно тежишта полигона.

Највећи број клизишта регистрован је у периоду од 2006. – 2014. године, али у обзир су узета и клизишта која су регистрована ранијим истраживањима и нанијета на одговарајуће подлоге.



Слика 32. Карта регистрованих клизишта Републике Српске

Приликом моделирања и израде аналитичких карата за процјену склоности, овај параметар био је кључни за дефинисање тежинских фактора сваког од улазних параметара. Наиме, преклапањем података о просторном распореду клизишта вршено је рангирање различитих класа за сваки од параметара (инжењерскогеолошке јединице, класе нагиба, количине падавина итд.), те им је према важности, односно броју активираних (густини) клизишта додијелјиван одговарајући тежински фактор.

### 7.5.2. Литолошка грађа терена

Класификација геолошких јединица, односно литолошких чланова је најважнији корак у анализи склоности - подложности терена ка клижењу.

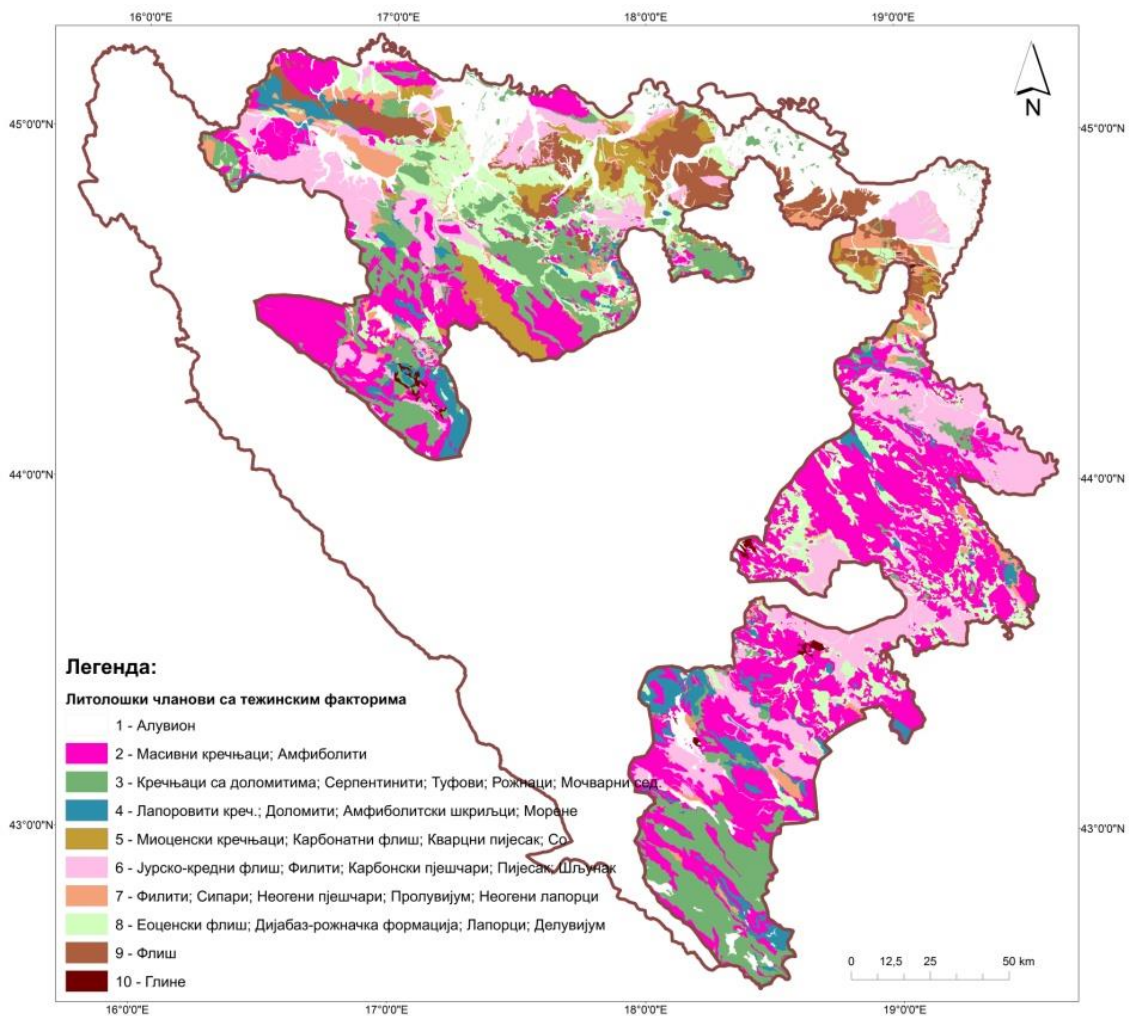
Први корак за дефинисање овог параметра био је референцирање, а затим дигитализација, односно претварање у векторски облик Основне геолошке карте СФРЈ у размјери 1:100.000 за територију Републике Српске.

Основа за класификацију био је инжењерскогеолошки састав терена гдје су јединицама сличних физичко-механичких својстава додјелјивани исти тежински фактори. Прије свега класификација се базира на густини, односно броју клизишта за сваку геолошку јединицу, али и инжењерскогеолошке карактеристике јединице у смислу подложности ка развоју процеса клижења. С обзиром на величину подручја за које се ради анализа и сложености геолошког састава терена, класификација се ослања на експертску процјену која укључује и одређен вид

субјективности у груписању и додјели тежинских фактора за цјелокупно подручје од интереса (табела 9).

Тако је за алувијалне седименте, карактеристичне за подручја око великих ријека и њихових притока додијељен тежински фактор 1 јер је евидентно да су на тим подручјима клизишта веома ријетка појава. Глиновитим седиментима неогене старости дат је тежински фактор 10 јер представљају терене веома подложне процесима клизишта, у којима је активиран и највећи број регистрованих клизишта.

Након додјељивања тежинских фактора свакој од заступљених јединица, GIS алатима, формиран је растер величине 100x100 m, чиме је израђена литолошка карта са припадајућим тежинским факторима која је укључена у анализу/процјену склоности (слика 33).



Слика 33. Литолошка карта са припадајућим тежинским факторима.

Табела 9. Литолошки чланови са тежинским факторима

Литолошки члан	Тежински фактор	Литолошки члан	Тежински фактор
Алувион	1	Магматске стијене	2-3
Амфиболити	2	Туфови	3
Кречњаци	2-5	Рожнаци	3
Барски седименти	3	Серпентинити	3-4
Доломити	3-4	Брече	4
Угаљ	4	Амфиболитски шкриљци	4
Морене	4	Кварцни пијесак	5
Шкриљци	5	Флиш	5-9
Пијесак, шљунак	6	Конгломерати	6
Пјешчари	6-8	Пролувијум	7
Филити	6-7	Сипари, урниси	7
ДРФ	8	Лапорци	8
Делувијум	8	Глине	9-10

### 7.5.3. Нагиб терена

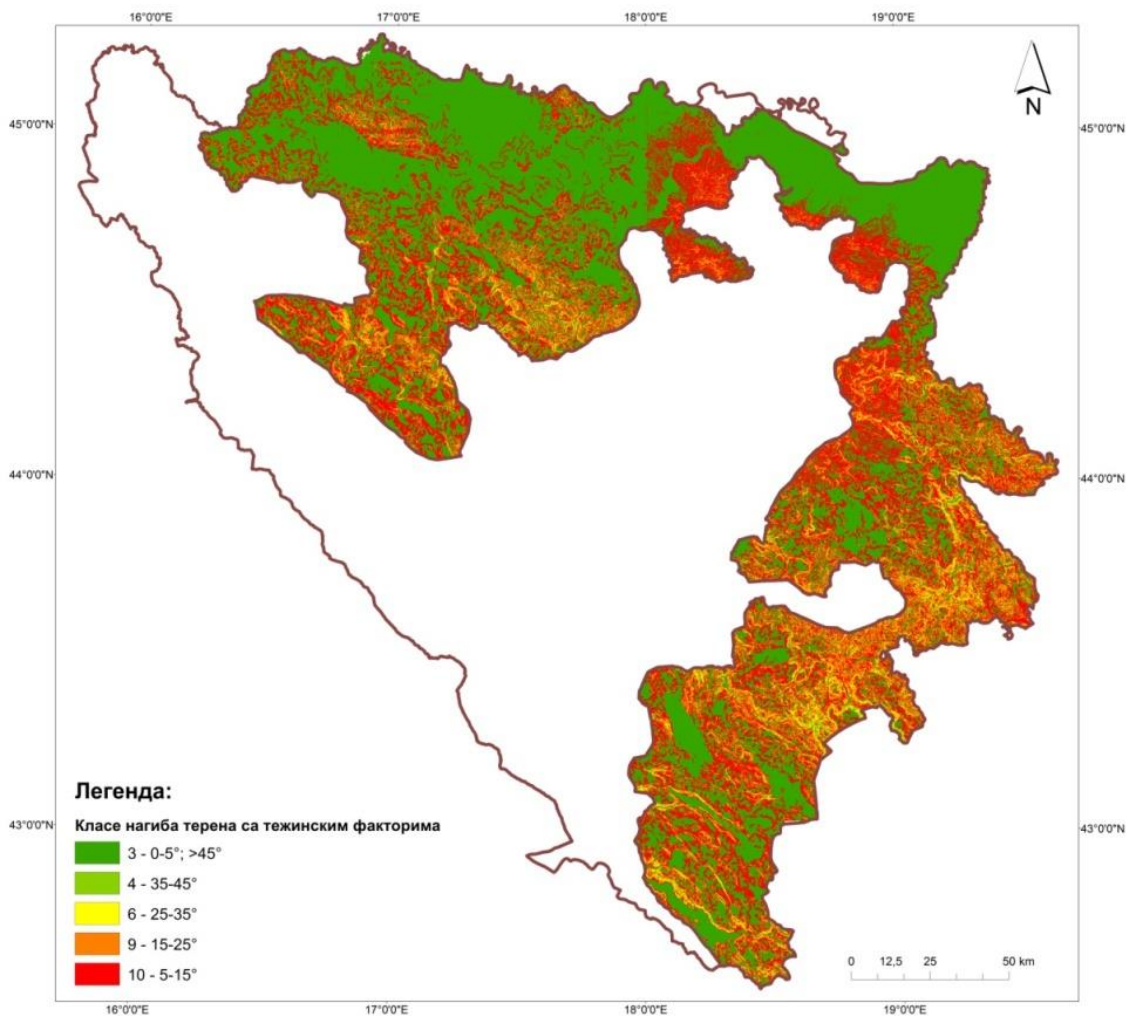
Нагиб терена јесте један од главних улазних фактора за анализу подложности терена ка клижењу. Утицај овог параметра је ипак нешто мањи у односу на параметар о литолошком саставу терена. Карта нагиба терена добија се коришћењем просторних GIS алата из дигиталног елевационог модела терена (DEM). Карте нагиба се такође могу користити и за разне врсте прелиминарних геоморфолошких анализа.

Анализом утицаја нагиба терена на развој процеса клижења извршено је рекласификовање модела на шест класа нагиба, гдје је свакој класи придружен одговарајући тежински фактор. Тако је нпр. за нагибе терена од 0-5° и >45 број активираних клизишта минималан па је класама додијељен тежински фактор 3, док је за нагибе од 5-15° број активираних клизишта на територији Републике Српске највећи, па им је додијељен највећи тежински фактор 10 (табела 10).

Табела 10. Класе нагиба терена са тежинским факторима

Класе нагиба терена (°)	Тежински фактор
0 - 5	3
5 - 15	10
15 - 25	9
25 - 35	6
35 - 45	4
> 45	3

Након додјелјивања тежинских фактора свакој од заступљених класа нагиба, GIS алатима, формиран је растер величине 100x100 m, чиме је израђена карта нагиба површине терена са припадајућим тежинским факторима која је укључена у даљу процјену склоности (слика 34).



Слика 34. Карта нагиба терена РС са издвојеним класама и припадајућим тежинским факторима

#### 7.5.4. Падавине

Највећи број клизишта активира се након обилних падавина, па је тако и овај фактор веома важан приликом анализе склоности терена ка клижењу.

Коришћени су расположиви подаци Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске о просјечним годишњим падавинама за територију Републике Српске за период од 1980. до данас у растерском облику.

Прилоком укључивања овог параметра у модел, усвојен је принцип да је у дијеловима терена гдје су највише просјечне падавине и највећа склоност ка клижењу, те је додјељиван већи тежински фактор и обратно.

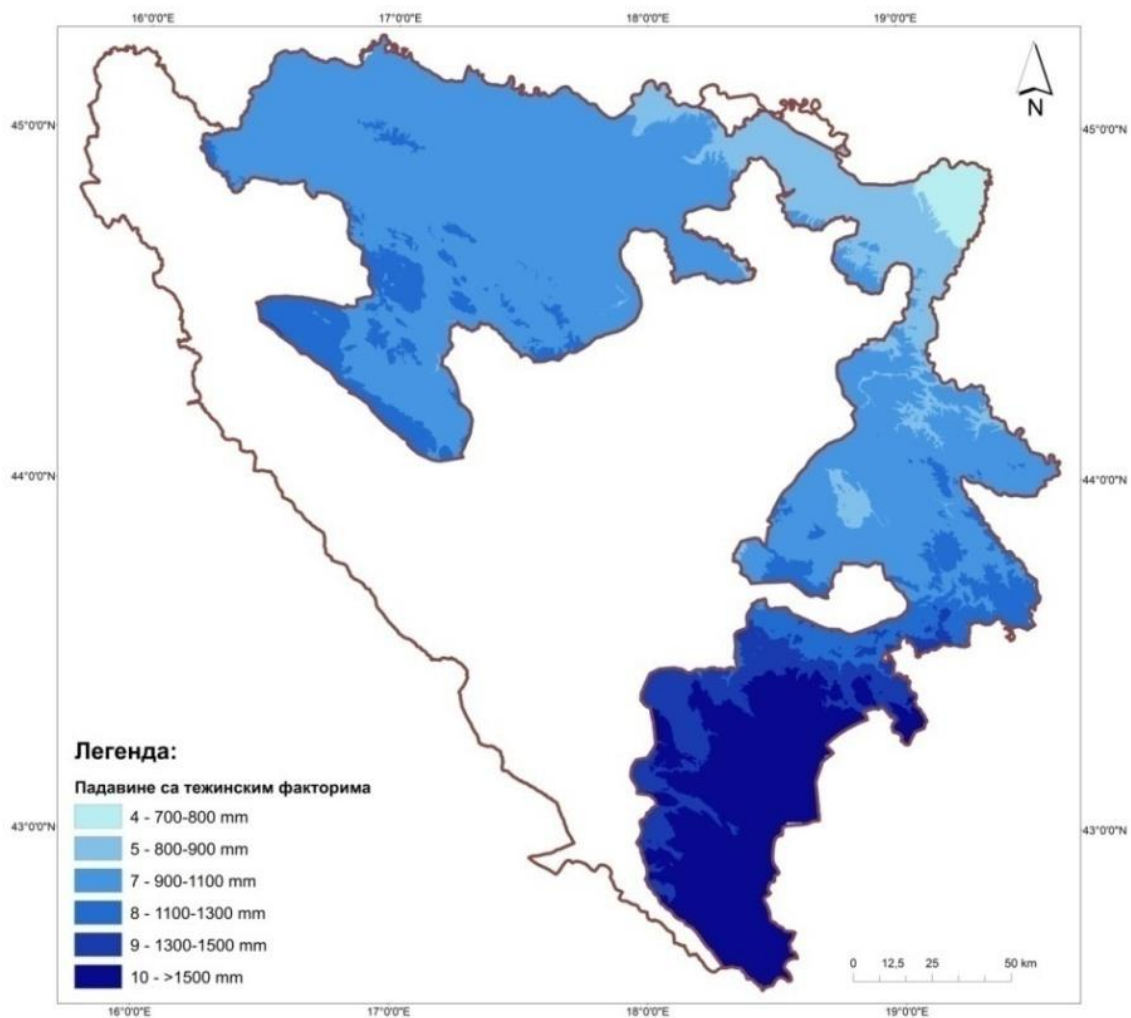
Извршена је класификација модела на шест различитих класа, те је нпр. за падавине од 700-800 mm додијељен тежински фактор 4, док је за падавине преко 1500 mm додијељен тежински фактор 10 (слика 35, табела 11).

Табела 11. Класе падавина са тежинским факторима

Падавине (mm)	Тежински фактор
700-800	4
800-900	5



Падавине (mm)	Тежински фактор
900-1100	7
1100-1300	8
1300-1500	9
>1500	10



Слика 35. Карта падавина са издвојеним класама и припадајућим тежинским факторима

### 7.5.5. Коришћење земљишта

Начин коришћења земљишта је један од важних фактора за стабилност падине. Најповољнији услови за формирање клизишта су терени без вегетације или под земљорадничким културама, док супротно томе шумска подручја могу отежати и чак у потпуности спријечити појаву клизишта. Наравно, доста чест узрочник клизног процеса је и сам човјек. Човјек својим радом директно нарушава природну равнотежу и самим тим доводи до активирања процеса клижења (непланском сјечом шуме, нелегалном градњом и сл.). За



анализу овог параметра коришћен је доступни CORINE 2012 (CLC 2012 – Copernicus Land Monitoring Service).

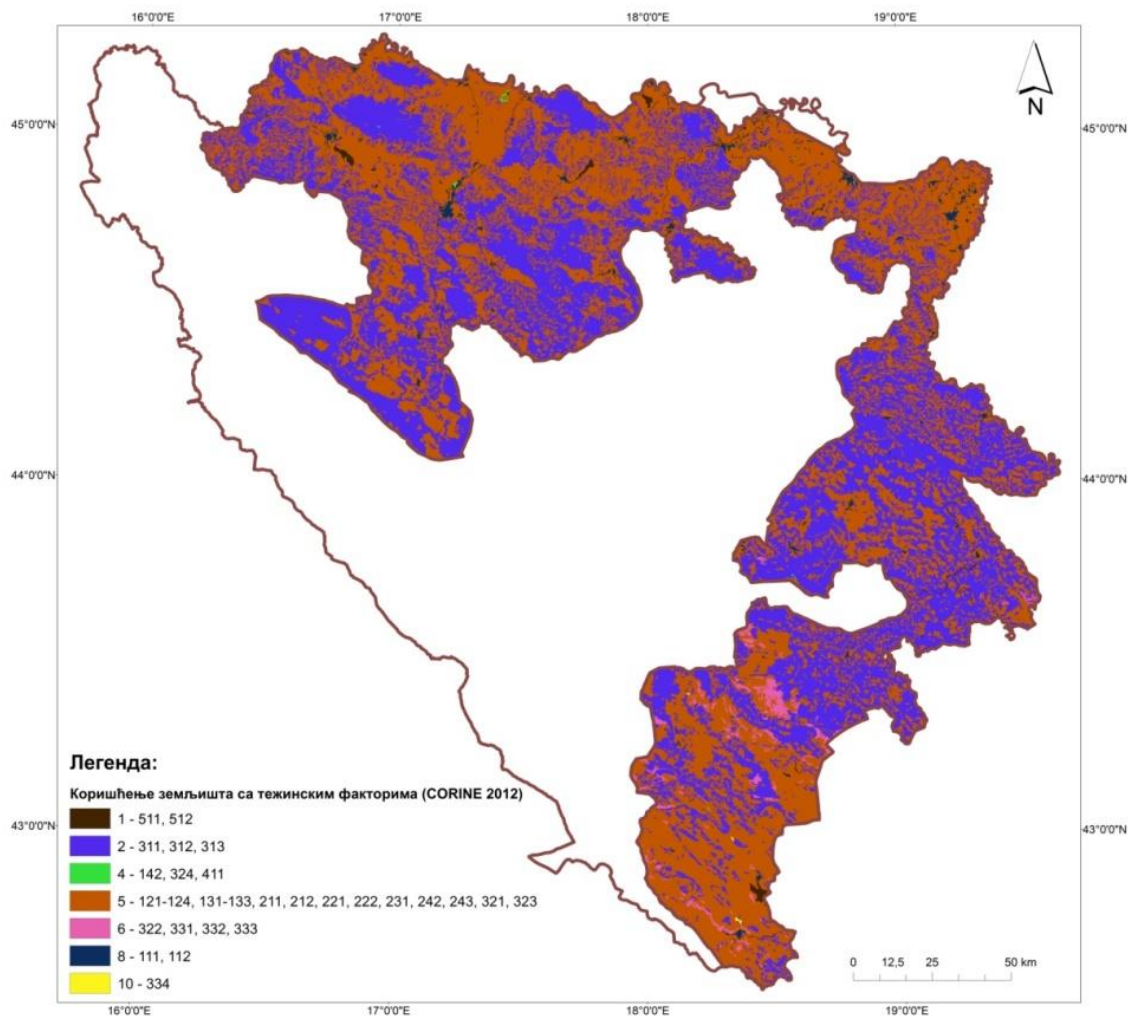
На основу урађене рекласификације издвојено је 6 класа коришћења земљишта, па је нпр. огољеним подручјима додијељен највећи тежински фактор 10, док је водним и шумским површинама додијељен најнижи тежински фактор 1 и 2 (табела 12).

Табела 12. Коришћење земљишта са тежинским факторима

Опис	CORINE CODE_2012	Тежински фактор
Цјеловита градска подручја	111	8
Неповезана градска подручја	112	
Индустријска и трговачка подручја	121	5
Путна и жељезничка мрежа	122	
Аеродроми	124	
Експлоатација минералних сировина	131	5
Одлагалишта индустријског отпада	132	5
Градилишта	133	
Спортско-рекреационе површине	142	4
Обрадиво земљиште	211	5
Обрадиво земљиште	212	
Трајни засад	221	
Трајни засад	222	
Пашњаци	231	
Разноврсна пољопривредна подручја	242	
Разноврсна пољопривредна подручја	243	
Шуме (бјелогорична)	311	2
Шуме (четинари)	312	
Шуме (мјешовита)	313	
Грмље и/или травнати биљни покров (доминантно травњаци)	321	5
Грмље и/или травнати биљни покров (доминантно папрати)	322	6
Грмље и/или травнати биљни покров (доминантно жбунови)	323	5
Грмље и/или травнати биљни покров (прелаз шуме грмови)	324	4
Подручје са незнатним или без биљног покривача (плаже, дине, пијесак)	331	6
Подручје са незнатним или без биљног покривача (огољене стијене)	332	6
Подручја са незнатним или без биљног покривача	333	6
Подручја без биљног покр. (“изгорјела подручја”)	334	10
Мочваре	411	4
Водотоци	511	1
Водна тијела-језера, резервоари и рибњаци	512	1

Након додјелјивања тежинских фактора свакој од заступљених типова коришћења земљишта, GIS алатима, формиран је растер величине 100x100 m, чиме је израђена карта

коришћења земљишта са припадајућим тежинским факторима која је укључена у даљу процјену склоности (слика 36).



Слика 36. Карта коришћења земљишта са издвојеним класама и припадајућим тежинским факторима

### 7.5.6. Удаљеност од активних расједа

Фактор удаљености од тектонских структура је веома често коришћен параметар у оваквим анализама, посебно када се ради о прегледним регионалним процјенама, као што је и овдје случај (Комас, 2006; Комас & Ribičić, 2006).

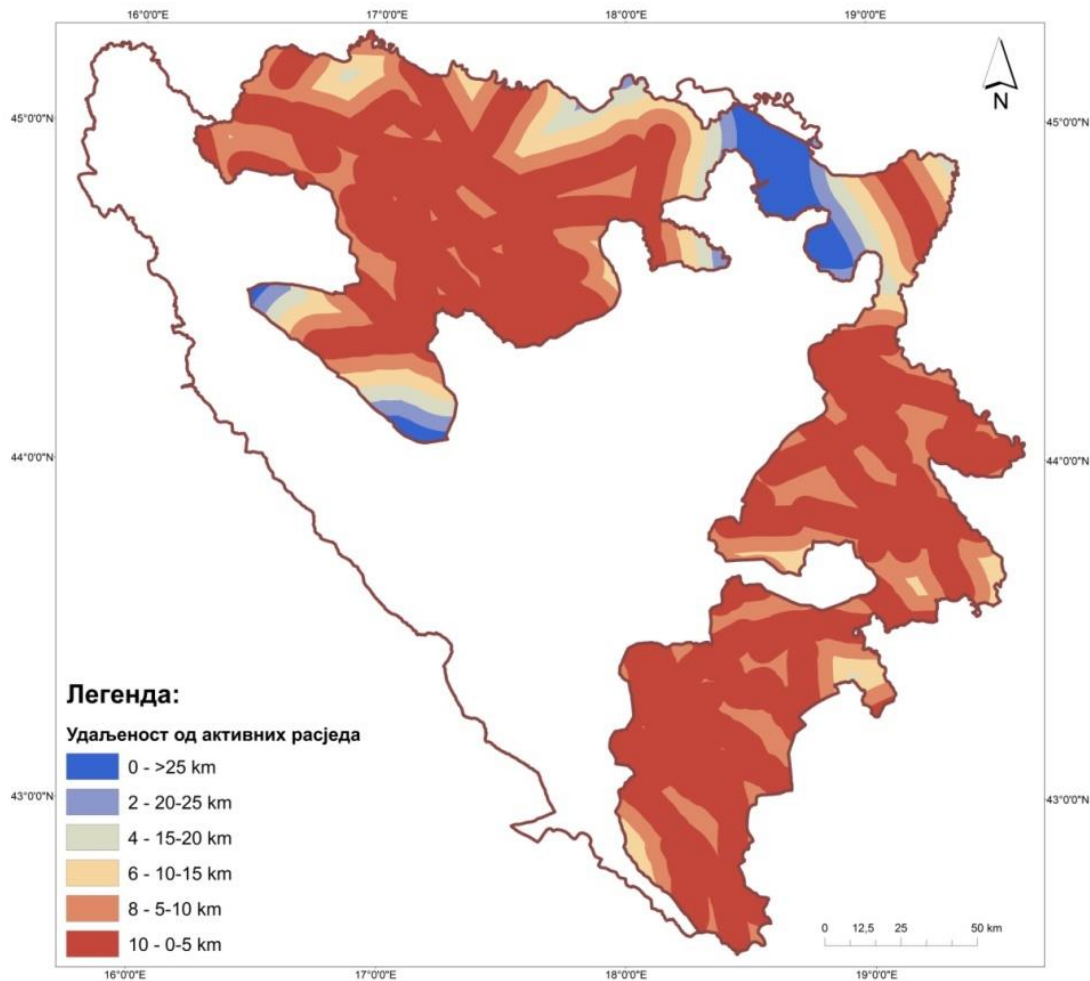
Расједне зоне су мјеста ослабљене чврстоће, повећане филтрације и распадања, те самим тим могу утицати на стабилност терена, тј. активирање клизишта. Повећањем удаљености од расједних зона које могу да генеришу земљотрес, смањује се учесталост, односно њихов утицај на активирање клизишта. Сматра се да се учесталост, тј. утицај на клизишта смањује скоро на нулу на удаљености преко 25 km (Keefer, 1984; Rodrigez et al., 1999; Papadopoulos & Plessa, 2000). Стога је као утицајни чинилац удаљености од активних расједа коришћен само опсег од 0-25 km. Удаљености од преко 25 km додјељен је тежински фактор нула (0).

Анализом овог параметра са регистрованим клизиштима, односно њиховом густином, показано је да је утицај на удаљености од 0-5 km највећи, те је том опсегу додијељен тежински фактор 10 (табела 13).

Табела 13. Класе удаљености од активних расједа

Удаљеност (km)	Тежински фактор
0-5	10
5-10	8
10-15	6
15-20	4
20-25	2
>25	0

У GIS окружењу је формиран растер 100x100 m, који је коришћен у мулти – критеријумској процјени склоности терена ка клижењу (слика 37).



Слика 37. Карта удаљености од активних расједа са издвојеним класама и припадајућим тежинским факторима

## 7.6. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Приликом спровођења анализе постоји неколико међу корака које захтијева само GIS окружење, као што су нормализација растера за вриједности од 0 до 1, рекласификација модела, валидација модела и сл.

Поређење анализираних, мјераваких параметара према важности рађено је у АНР матрици (табела 14), гдје се сумирањем осредњених вриједности тежинских фактора добија коначна једначина модела:

$$M = 0,439 \cdot \text{Литол.} + 0,288 \cdot \text{Нагиб} + 0,130 \cdot \text{Падавине} + 0,093 \cdot \text{Кор. земљ.} + 0,050 \cdot \text{Уд. од акт. расједа}$$

Табела 14. АНР матрица вриједности параметара модела

	Литологија	Нагиб	Падавине	Кор. земљишта	Уд. од акт.расједа
Литологија	1	2	4	5	6
Нагиб	0,5	1	3	4	5
Падавине	0,25	0,33	1	2	3
Кор. земљишта	0,2	0,25	0,5	1	3
Уд. од акт. расједа	0,16	0,2	0,33	0,33	1
$\Sigma$ sum	2,11	3,78	8,83	12,33	18

АНР	Литологија	Нагиб	Падавине	Кор. земљишта	Уд. од акт. расједа	sr
Литологија	0,47	0,52	0,45	0,40	0,33	<b>0,439</b>
Нагиб	0,23	0,26	0,34	0,32	0,27	<b>0,288</b>
Падавине	0,11	0,08	0,11	0,16	0,16	<b>0,130</b>
Кор. земљишта	0,09	0,06	0,05	0,08	0,16	<b>0,093</b>
Уд. од акт. расједа	0,07	0,05	0,03	0,02	0,05	<b>0,050</b>
$\Sigma$ sum	1	1	1	1	1	<b>1</b>

Да би се избјегао утицај субјективности у вредновању улазних фактора на крају моделовања врши се провјера конзистенције модела CR, односно врши се провјера тачности модела или евентуална потреба за корекцијом (Saaty, 2003).

Општи израз за услов конзистенције према Сетију гласи (2):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Гдје су:

CI – индекс конзистенције

RI – насумични индекс

Израз за добијање индекса конзистенције гласи (3):

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (3)$$

Гдје су:

$\lambda_{\max}$  - Principal Eigen Value, максимална сопствена вриједност матрице која представља суму производа сваког појединачног фактора након нормализације;

n - број утицајних фактора који улазе у анализу

Уколико је  $CR < 0,1$  (10%) модел је конзистентан. Толеранција до 0,3 (30%), а уколико је  $CR > 0,3$  (30%), неопходно је кориговати модел.

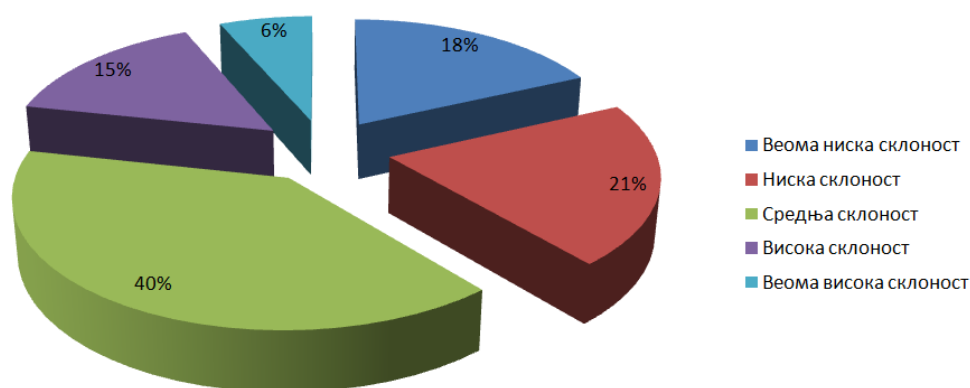
За конкретан модел  $CR=6\%$ , што значи да је модел конзистентан те нема потребе за корекцијом.

Спроведеним прорачуном у GIS окружењу добијена је карта склоности терена ка клижењу у растерском облику (100x100 m) која је рекласификована у пет класа склоности ка клижењу.

Анализом добијених вриједности је показано да се у категорији висока и веома висока склоност јавило највише до сада регистрованих клизишта и да оне заузимају око 20 % територије Републике Српске (слике 38 и 39, табела 15).

Табела 15. Процент склоности терена

Класа склоности	Површина (km <sup>2</sup> )	Процент (%)
Веома ниска	4552,12	18,19
Ниска	5249,61	20,97
Средња	9954,43	39,77
Висока	3694,19	14,76
Веома висока	1578,90	6,31

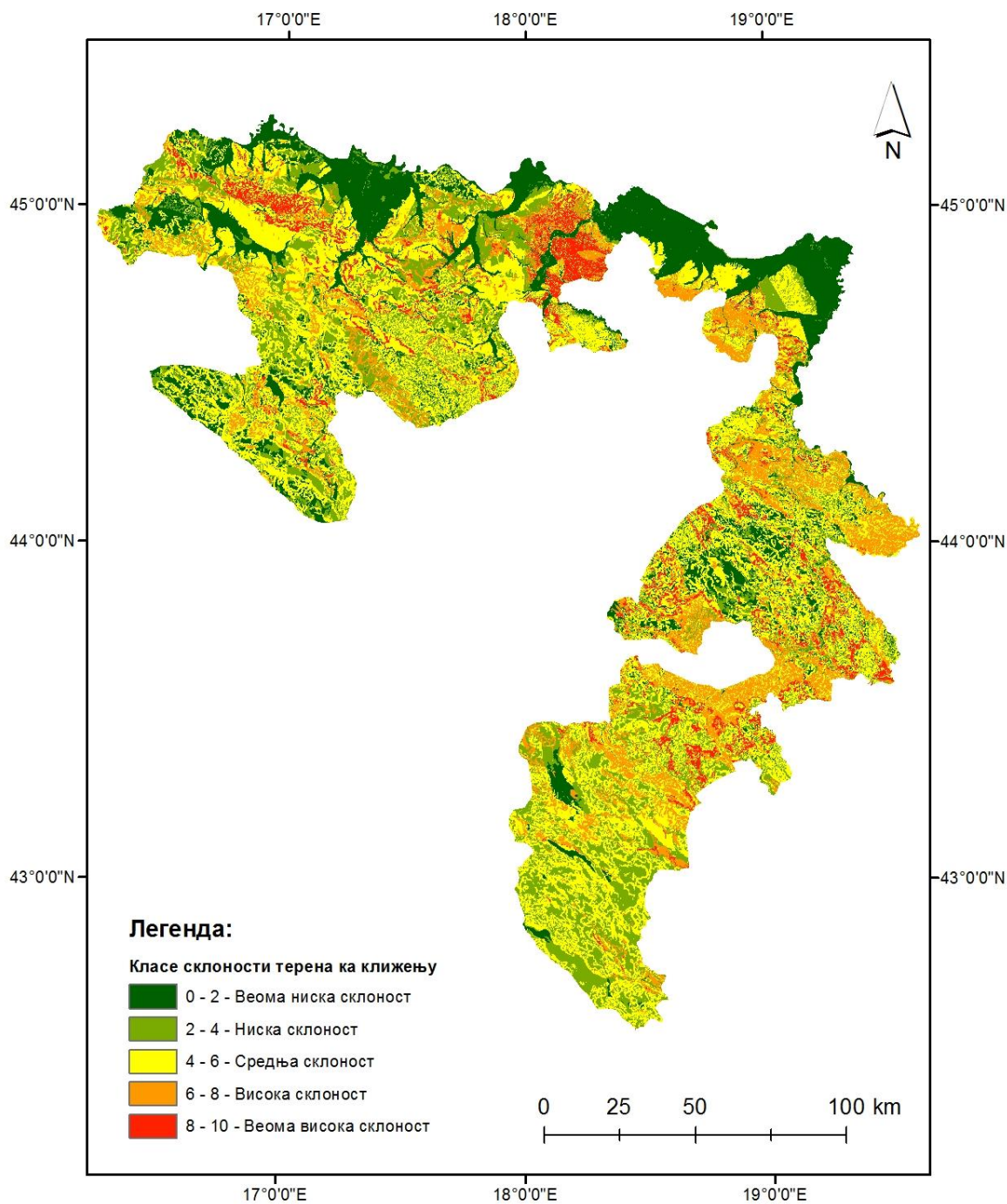


Слика 38. Процент склоности терена ка клижењу по класама у РС

На основу добијених резултата процјене склоности терена ка клижењу Републике Српске подручја која имају високу и веома високу склоност ка клижењу јесу она која су изграђена од неогених и флишних седимената са дебелом кором површинског распадања и нагибом од 5 - 15°.

То су подручја планине Козаре, подручја Бања Луке преко Челинца до Котор Вароши, између Модриче и Дервенте и планине Требавац, затим обронци Мајевице око Лопара, Угљевика и Зворника, источни дио Републике Српске, прије свега простор око Вишеграда и Рудог. Такође, у подручја предиспонирана ка развоју процеса клижења спадају и дијелови Сарајевске регије са нешто већим нагибима, као и подручја око Фоче и Чемерног.

Такође, треба истаћи да је и дио ових подручја предиспонираних ка развоју процеса клижења ненасељен и неурбанизован те су ризици по материјална добра и људе далеко мањи од урбанизованих и насељених подручја.



Слика 39. Карта склоности терена ка клижењу Републике Српске.

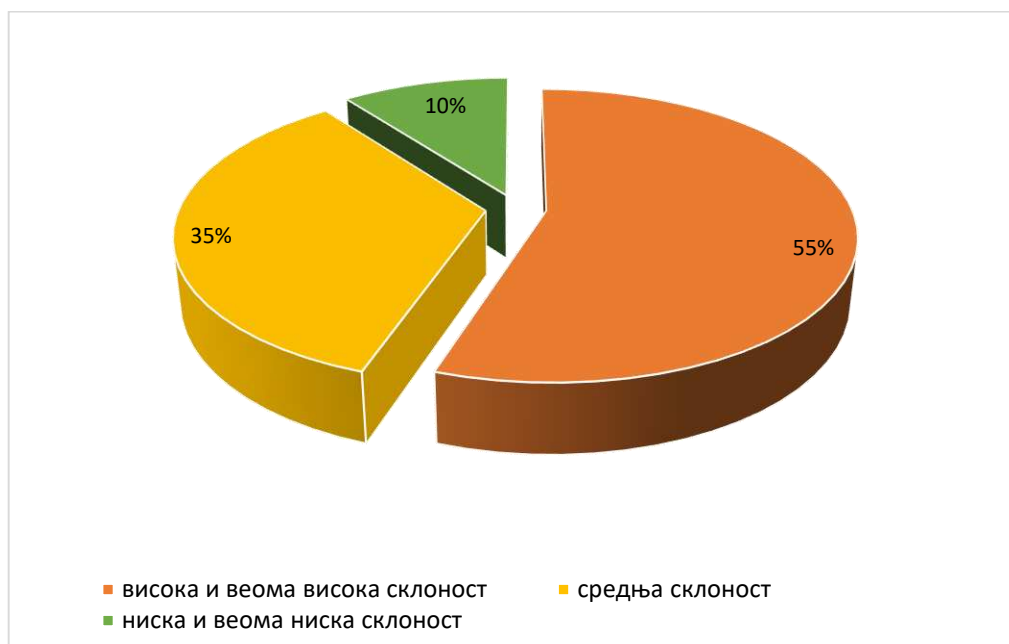
## 7.7. ВЕРИФИКАЦИЈА МОДЕЛА НА РЕГИОНАЛНОМ НИВОУ

Верификација добијеног модела рађена је преклапањем добијених резултата (растер карта склоности) и тачкастих података о клизиштима у ArcGIS-у. Коришћен је алат (*Extract Multi Values to Points*) и на тај начин су добијени квантитативни резултати подударарања, тј. тачности модела, односно карте.

Добијени резултати показују да је за ниво регионалне размјере подударност задовољавајућа, гдје у класе висока и веома висока склоност спада 55% клизишта, у средњу 35%, док у ниску и веома ниску класу спада само 10% клизишта (слика 40). Треба напоменути

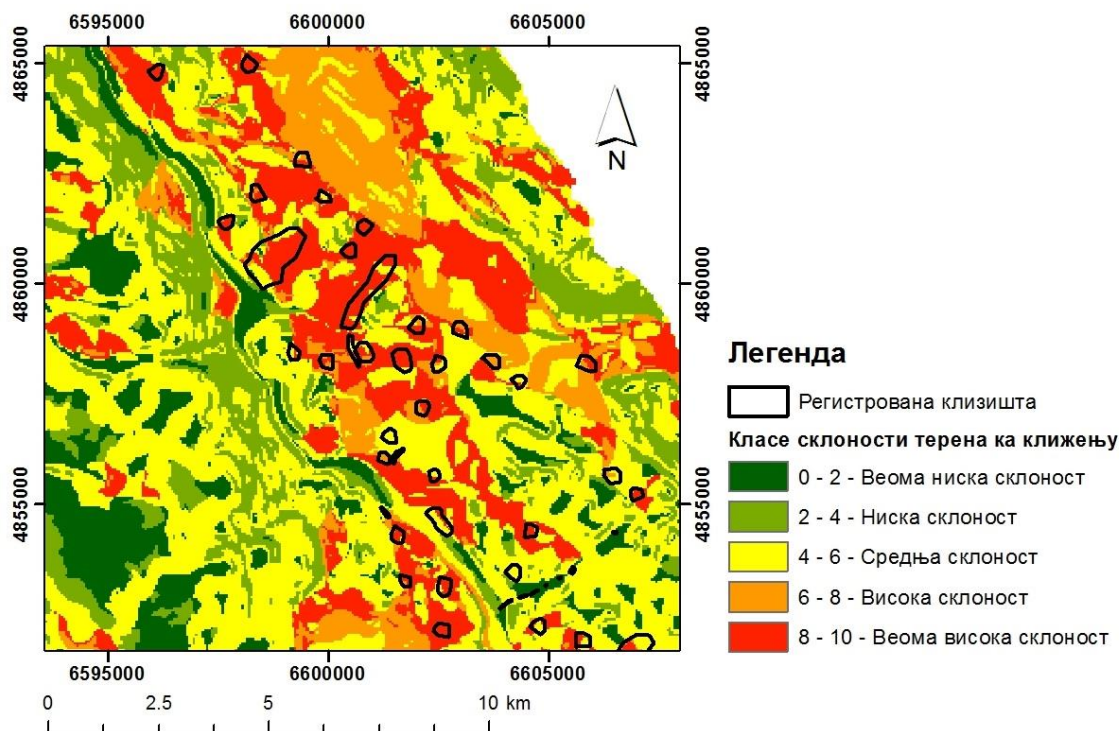


да је преклапање рађено са тачкастим подацима о клизиштима, што свакако умањује број погодака, те се са сигурношћу може рећи да је реална слика подударности знатно и већа.



Слика 40. Процент подударања клизишта са класама склоности.

Поред тога, верификација резултата вршена је и преклапањем добијене карте склоности са подацима о просторном распореду клизишта (катастар клизишта у полигоналном облику). То је један од уобичајених начина провјере добијених резултата с обзиром на највиши, национални ниво процјене и размјеру. Резултат преклапања указује на веома добар проценат подударања између теоретског модела, и података о клизиштима регистрованим теренским обиласцима (слика 41).



Слика 41. Верификација добијених резултата (деталј карте склоности ка клижењу Републике Српске)

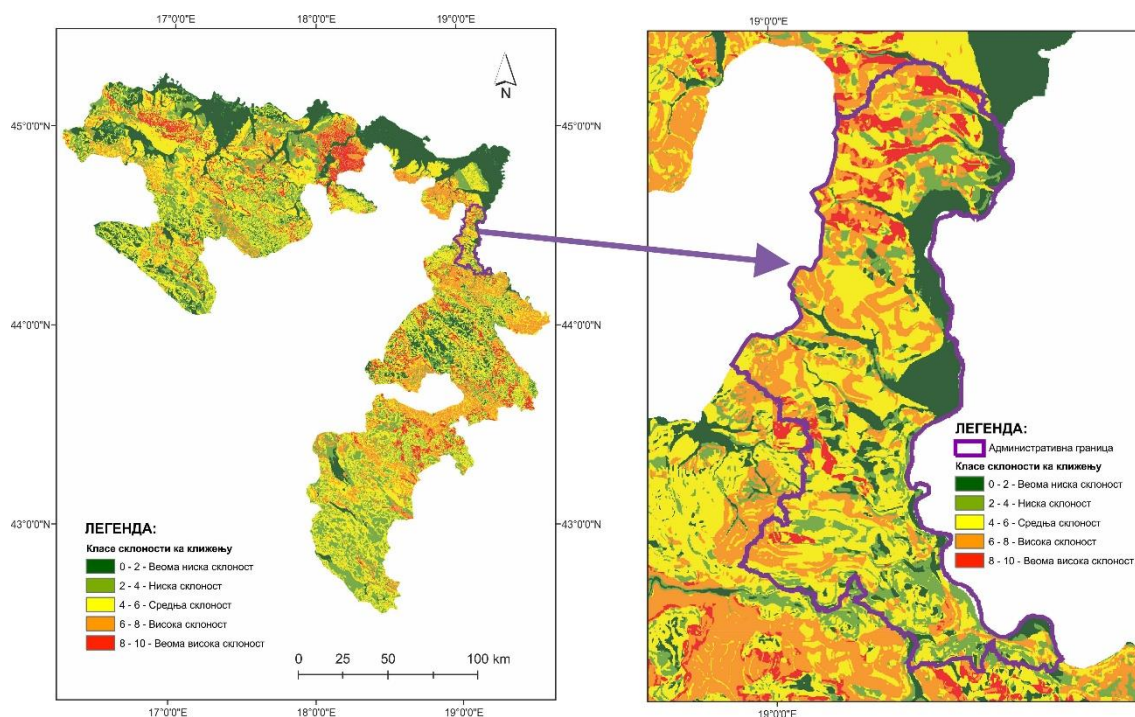
Подручја која према карти склоности спадају у категорије „висока и веома висока склоност“ као што су Зворник, Лопаре, Угљевик, Бања Лука, Модрича, Дервента, Вишеград, Фоча итд., представљају подручја у којима се клизишта најчешће активирају и носе озбиљне материјалне штете.

Такође, треба истаћи и да је задовољена релативно висока конзистентност модела 6%, у односу на дозвољених 10%.

## 8. ЛОКАЛНИ НИВО ПРОЦЈЕНЕ

Локални ниво процјене спада у категорију процјена средњег нивоа, и углавном третира подручја локалних заједница, општина или градова. Процјене се раде у размјерама 1:25.000 - 1:5.000, а добијени резултати се користе у просторном планирању на локалном нивоу, за трастирање капиталних инфраструктурних објеката, али и као почетне информације за даље детаљније процјене хазарда и ризика и прецизније планирање и коришћење простора (Fell et al., 2008; Cascini, 2008).

Процјеном склоности на регионалном нивоу, за територију Републике Српске (слика 42), Град Зворник окарактерисан је као подручје са веома сложеном инжењерскогеолошком грађом, и веома високом подложношћу ка развоју процеса клижења.



Слика 42. Позиција Зворника у регионалној процјени

Град Зворник са штетом од 3.750.000,00 € само у 2014. години, спада у ред градова/општина са највећим материјалним штетама проузрокованим клизиштима у Републици Српској (Сандић, 2015).

За потребе израде ове дисертације за ово подручје формирана је и GIS база података у клизиштима према савременим упутствима и препорукама (Cruden & Varnes, 1996; Cruden & VanDine, 2013; Hungr et al., 2014), детаљно приказана и описана у поглављу 5.3 ове дисертације.



Планирања простора које би обухватало правилно третирање хазарда од клизишта на територији Града Зворника до сада није било, те су поступци процјене склоности итекако значајни посебно у подручјима са доста честом појавом клизишта.

При избору методологије за процјену склоности водило се рачуна о избору параметара који ће се анализирати, о квалитету улазних података, али и о размјери процјене, односно карте која се израђује. Параметри који се анализирају представљају прије свега факторе узрочнике, односно утицајне чиниоце за развој процеса клизања. Размјера карте одражава ниво детаљности и прецизности анализе, те се код карата крупније размјере треба што више тежити елиминацији субјективног утицаја. Поред хуеристичке, вишекритеријумске АНР методологије, у овом случају вршена је и процјена заснована на статистичкој LSA методи, који представља напреднији, мање субјективан метод процјене.

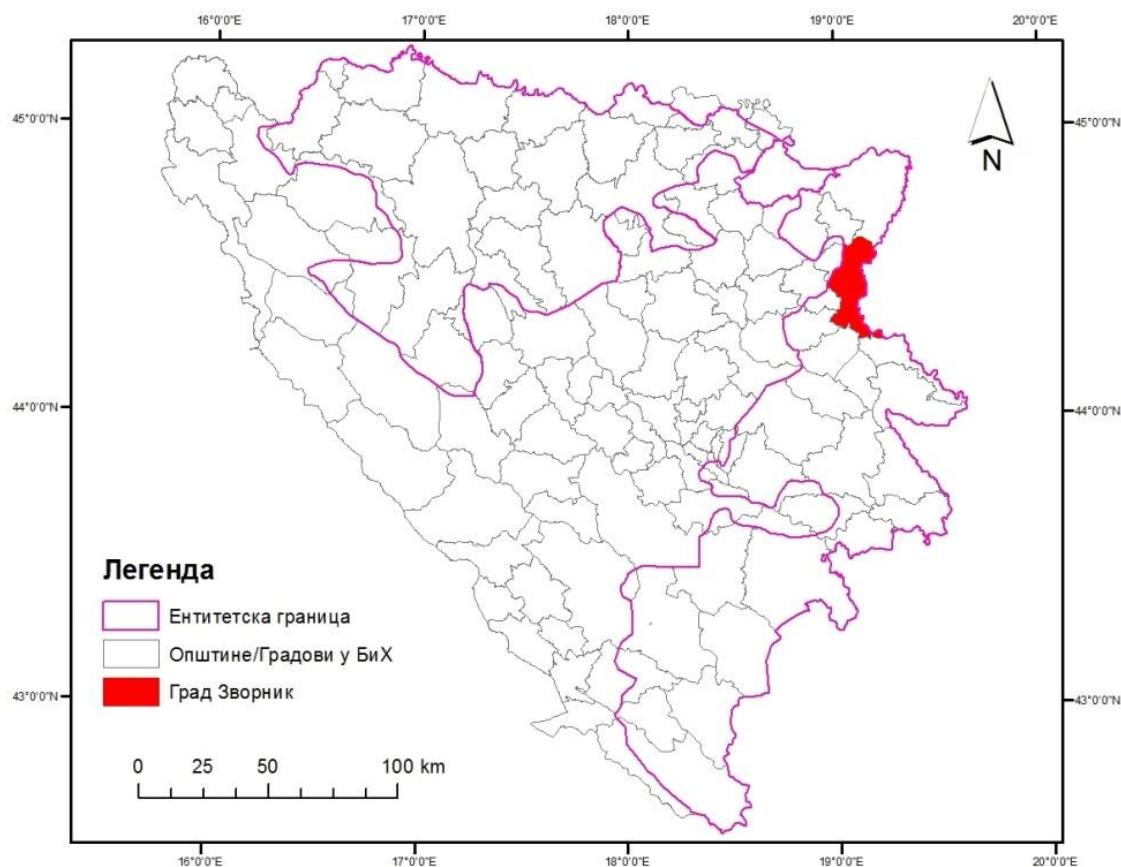
Коришћене методе представљају стандардне методе и препоручене методе за овај ниво и размјеру процјене, те њихово поређење доприноси квалитету и провјери добијених резултата.

Процјена склоности терена ка клижењу за територију Града Зворник рађена је у размјери 1:25.000, што одговара картама средње размјере (Leroi, 1996; Fell et al., 2008).

Сви улазни параметри припремљени су у растерском облику, резолуције, односно величине ћелија 25x25 m.

## 8.1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ

Град Зворник смјештен је на крајњем сјевероисточном дијелу Републике Српске, односно Босне и Херцеговине, на простору између  $44^{\circ}15'30''$  до  $44^{\circ}37'00''$  сјеверне географске ширине и од  $18^{\circ}54'30''$  до  $19^{\circ}10'00''$  источне географске дужине (слика 43).



Слика 43. Положај Зворника у оквиру Републике Српске и Босне и Херцеговине

Територија Града Зворника простире се уз лијеву обалу ријеке Дрине у дужини од 52 km, и ширини највише до 26 km, односно има површину од 372,4 km<sup>2</sup>. Урбани дио Зворника лежи на источним обронцима Мајевице, на лијевој обали Дрине на надморској висини од 146 m.

## 8.2. ГЕОЛОШКА И ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКА ГРАЂА ТЕРЕНА

Територија Града Зворника одликује се разноврсношћу литостратиграфског састава, веома сложеним инжењерскогеолошким карактеристикама и сложеним хидрогеолошким својствима (слика 44).

Уз све наведено, треба истаћи и веома развијену грађевинску дјелатност у претходном периоду тј. веома велики утицај човјека на околни терен.

Генерално гледано, све стијене које учествују у грађи терена у инжењерскогеолошком смислу могу се подијелити у сљедеће комплексе:

- комплекс седимената пијеска, шљунка и глине (алувијални и терасни седименти);
- комплекс пјешчара, глинаца и лапораца (неоген)
- комплекс стијена флиша (еоцен);
- комплекс карбонатних, силицијских, метаморфних и магматских стијена палеозоика и мезозоика;

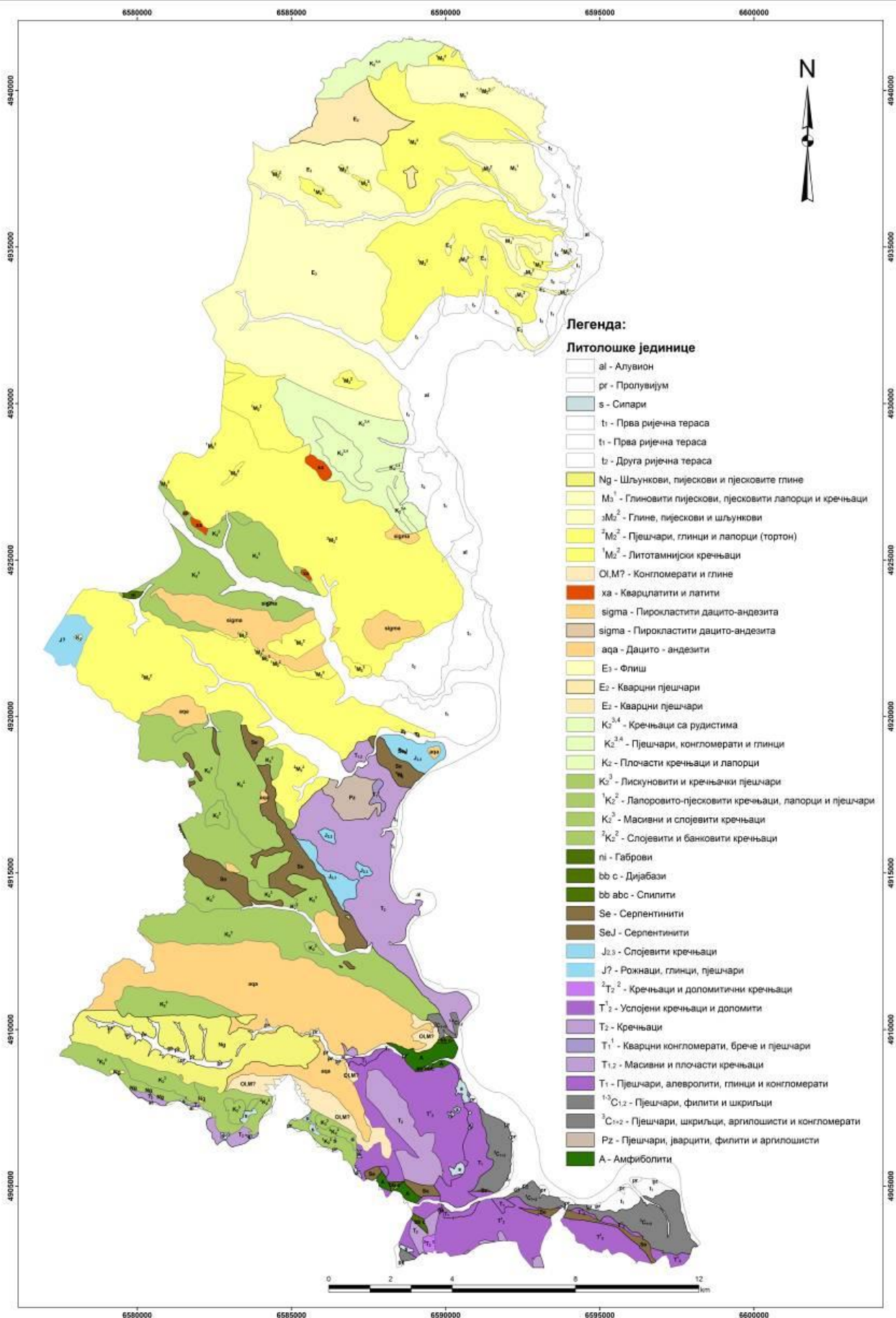
Алувијални и терасни седименти изграђују дијелове терена малих нагиба терена у којима су процеси нестабилности изузетно ријетки.

Најзначајнији у смислу развоја процеса клизања представљају комплекси неогене старости и комплекси стијена флиша.

Преко неогеног комплекса, као продукт распадања основних стијена, формиран је глиновито-пјесковити површински покривач чија дебљина може износити од 3 - 10 m. Уз утицај површинских и подземних вода, овај дио комплекса је веома подложен процесима нестабилности, јер глине, усљед великог прилива воде подлијежу расквашавању, бубрењу, односно слабљењу физичко-механичких особина, тј. развоја процеса нестабилности. У средњем и сјеверном дијелу територије града (Грбавци, Бошковићи, Крижевићи, Тршић, Малешај, Локањ, Пилица) ови комплекси изграђују терене углавном мањих апсолутних висина и блажих нагиба падина.

Комплекс стијена флиша (еоценски комплекс) сачињавају наслаге са великом хетерогеношћу и анизотропношћу, због честог смјењивања различитих литолошких чланова: пјешчара, лапора, глина, лапоровитих и пјесковитих кречњака, конгломерата и бреча, итд. Овај комплекс је заступљен у сјеверном дијелу Града Зворника, око Трновице, Кисељака, Горњег Локања и Горње Пилице.

Основне инжењерскогеолошке одлике ових комплекса су смјењивање крутих и пластичних стијена, интензивно тектонски оштећених, наизмјенично смјењивање практично водонепропусних и водопропусних маса са пукотинском порозношћу и различита отпорност стијена према деструктивном дјеловању спољашњих фактора. Глинци и лапорци су стијене које се лако деградирају и троше, те се на површини формира невезани глиновити покривач са одломцима стијена који лако подлијеже расквашавању и клизању.



Слика 44. Геолошка карта територије Града Зворника (према ОГК лист Зворник, Мојсиловић и др., 1975.).

Комплекс кабронатних, силицијских, метаморфних и магматских стијена палеозоика и мезозоика заузима дио урбаног подручја града и јужни дио општине Зворник, односно подручја мјесних заједница Глумина, Шћемлија, Каменица, Снагово, Лијешањ, Ђевање, Ново село и Зелиње и сачињавају га чврсте стијенске масе: кречњаци, кварцити, серпентинити, шкриљци, дијабази, рожнаци, амфиболити итд. Важну улогу у погледу стабилности ових терена имају тектонска оштећеност, положај и нагиб слојева и пукотина у односу на површину терена, али и антропогена дјелатност.

### 8.3. МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУПИ ПРИ ПРОЦЈЕНИ СКЛОНОСТИ ТЕРЕНА КА КЛИЖЕЊУ НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ

С обзиром на квалитет улазних података, прије свих ниво детаљности катастра клизишта, са потребе овог нивоа процјене склоности, вршено је поређење два методолошки различита приступа при процјени (квалитативни и квантитативни метод), уз услов примјене истих улазних фактора и истих класа у оквиру њих.

Тежило се унапријеђењу прецизности у односу на регионалну процјену, како методолошки, тако и у смислу укључивања већег броја улазних фактора, али и елиминацији субјективног фактора, који је дјелимично присутан код квалитативних метода.

Квалитативне методе процјене ослањају се на искуствено-експертско расуђивање у рјешавању задатог проблема. Главне мане овог приступа јесу могућа субјективност приликом анализа и приликом избора улазних података. Доста добре резултате квалитативне методе дају у регионалним анализама, односно за процјенама размјере до 1:25.000. Коришћена је раније описана хеуристичка АНР методологија, детаљно описана у поглављу 7.4 ове дисертације.

Квантитативне методе процјене заснивају се на математичким – статистичким моделима и успостави одређених законитости између фактора узрочника и догађања клизања.

Анализа склоности ка клижењу (Landslide Susceptibility Analysis – LSA) коришћена у овој процјени је метода биваријантне статистичке анализе која има за циљ утврдити важност различитих варијабли (фактора) које утичу на појаву клизишта.

Карактеристично за методе биваријантне статистике јесте да се статистички обрађује однос једног параметра који је условно независан (литологија, нагиб и сл.) са релативно зависним параметром (просторни распоред догођених клизишта или терена без клизишта). Резултат такве анализе јесте учесталост клизишта при различитим класама за дато подручје.

За процјену утицаја сваке варијабле (класе фактора) у овом случају, у обзир су узети тежински фактори који су утврђени на основу односа површинске заступљености клизишта у класи одређене варијабле и укупне заступљености клизишта те варијабле на истраживаном простору. Тежински фактори су прорачунати према сљедећој једначини (Süzen and Doçuran, 2004; Тошић и др. 2014):

$$W_{ij} = 1000 \cdot (f_{ij} - f) = 1000 \cdot \left( \frac{A_{ij}^*}{A_{ij}} \cdot \frac{A^*}{A} \right) \quad (4)$$

Гдје су:

$W_{ij}$  – тежинска вриједност класе (i) фактора (j);

$f_{ij}$  – заступљеност клизишта у класи (i) фактора (j);

$f$  – заступљеност клизишта на истраживаном простору;

$A_{ij}^*$  – површина клизишта у одређеној класи (i) фактора (j);

$A_{ij}$  – површина одређене класе (i) фактора (j);

$A^*$  – укупна површина клизишта на истраживаном простору;

$A$  – укупна површина истраживаног простора.

У сљедећој етапи, све тежине су сумиране према сљедећој једначини:

$$LSI = \sum_{j=1}^n W_{ij} \quad (5)$$

Гдје су:

LSI – индекс склоности на појаву клизишта;

$W_{ij}$  – тежинска вриједност класе (i) фактора (j);

N – број фактора.

Као резултат добија се карта са различитим вриједностима „Индекса склоности“ на појаву клизишта. Након тога све вриједности овог индекса разврстане су у 5 категорија (веома ниска, ниска, средња, висока и веома висока склоност), према методи природних граница (Natural breaks, Jenks), понуђеној у софтверској апликацији Esri ArcGIS.

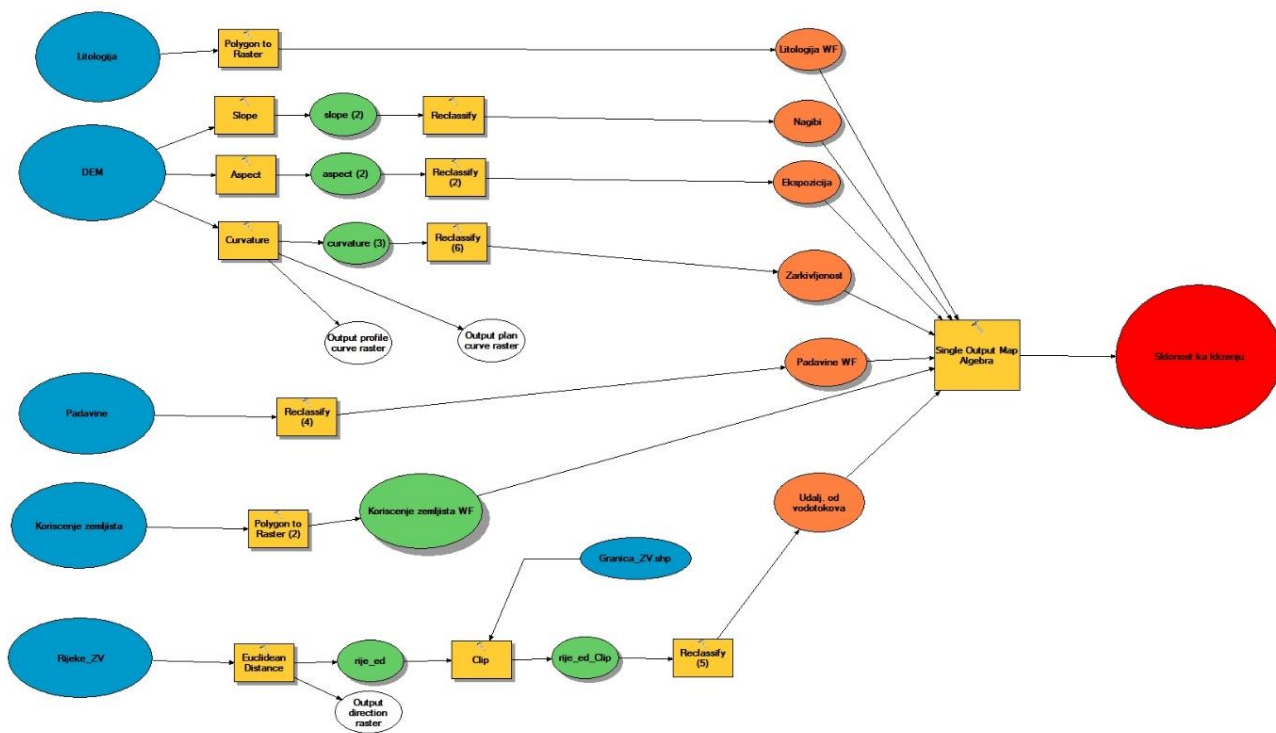
#### **8.4. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ**

За предметну анализу, односно потребе израде локалне процјене, у размјери 1:25.000 узимани су сљедећи утицајни фактори који су коришћени код објекта методологије:

- инжењерскогеолошка грађа терена (литологија);
- нагиб површине терена;
- падавине;
- удаљеност од водотокова;
- коришћење земљишта;
- оријентација падине;
- закривљеност падине.

##### **8.4.1. Моделирање према АНР методи**

Параметри (утицајни фактори) одабрани као најзначајнији за развој процеса клижења, приказани у поглављу 8.4. анализирани су понаособ, додјељивани су им одговарајући тежински фактори, а затим је вршено њихово међусобно поређење (вриједновање) као у АНР матрици (табела 16). Цјелокупан процес моделиран је у ArcGIS окружењу, уз коришћење Model Builder – Toolbox алата (слика 45), што доприноси олакшаној манипулацији, већој продуктивности и евентуалним корекцијама с обзиром на број улазних фактора у процјени (Perálvarez et al., 2008).



Слика 45. Model Builder Toolbox за локалну процјену склоности.

#### 8.4.1.1. Подаци из катастра клизишта на локалном нивоу

Детљни подаци о просторном распореду клизишта основ су за израду прцјене склоности на локалном нивоу, у размјери 1:25.000.

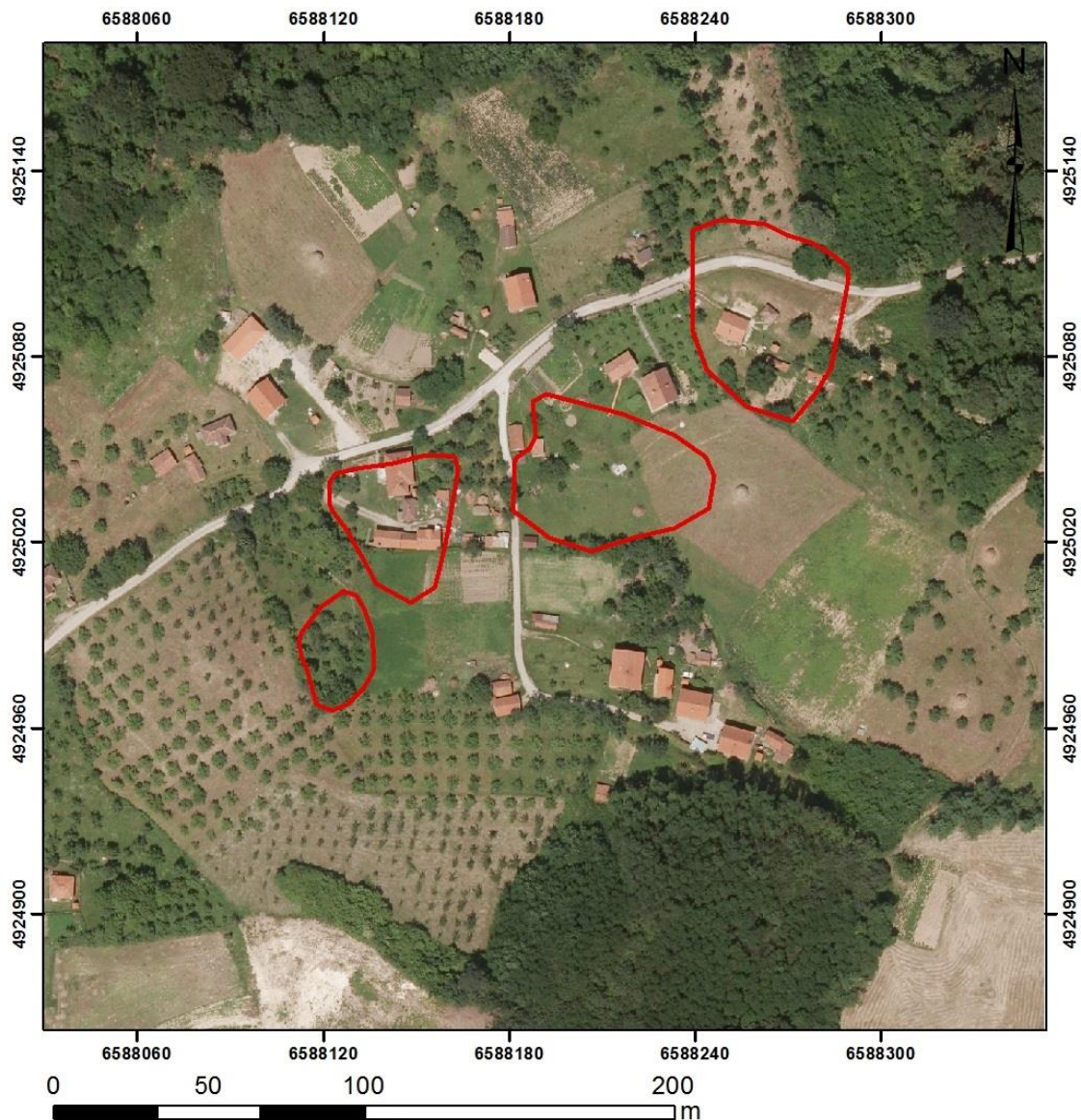
На основу информација прикупљених директно на терену и њиховог уноса у дигиталну ГИС базу података, односно катастар клизишта у полигоналном облику, добијена је добра полазна основа за моделирање, односно процјену склоности на локалном нивоу (слике 46 и 47).

Тежило се што већој прецизности приликом теренског картирања, уз помоћ ручног GPS уређаја типа Trimble Juno.

За моделирање коришћена су само клизишта регистрована у периоду од 2006. године до данас. Подаци о ранијим догађањима нису укључивани у анализу углавном због своје просторне непрецизности, што би се у крајњем случају могло негативно одразити на модел.

Принцип моделирања је исти као што је приказано у погледљу 7.5.1. ове дисертације.





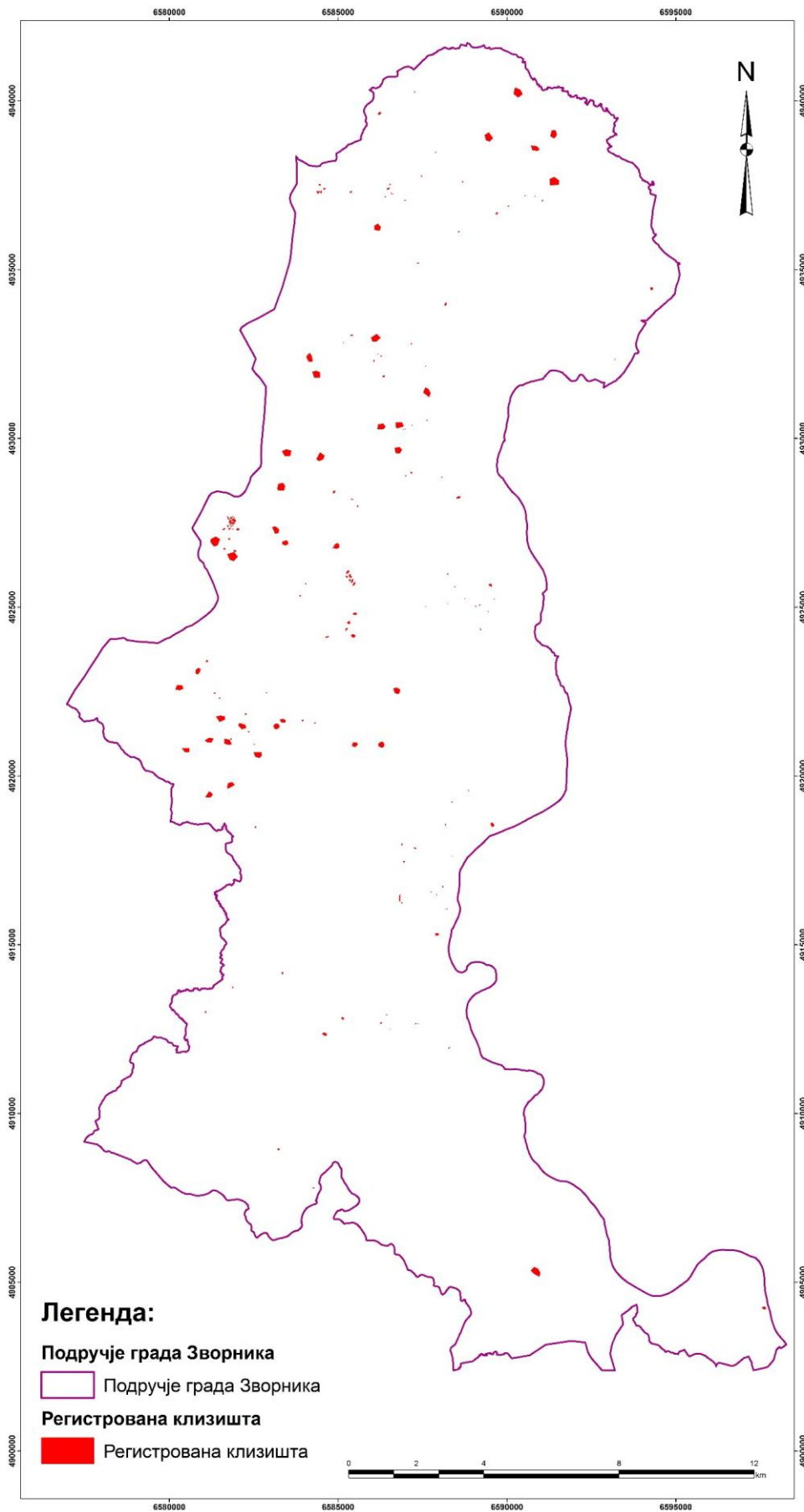
Слика 46. Детаљ из катастра клизишта (МЗ Тршић, Град Зворник).

#### 8.4.1.2. Литолошка грађа терена

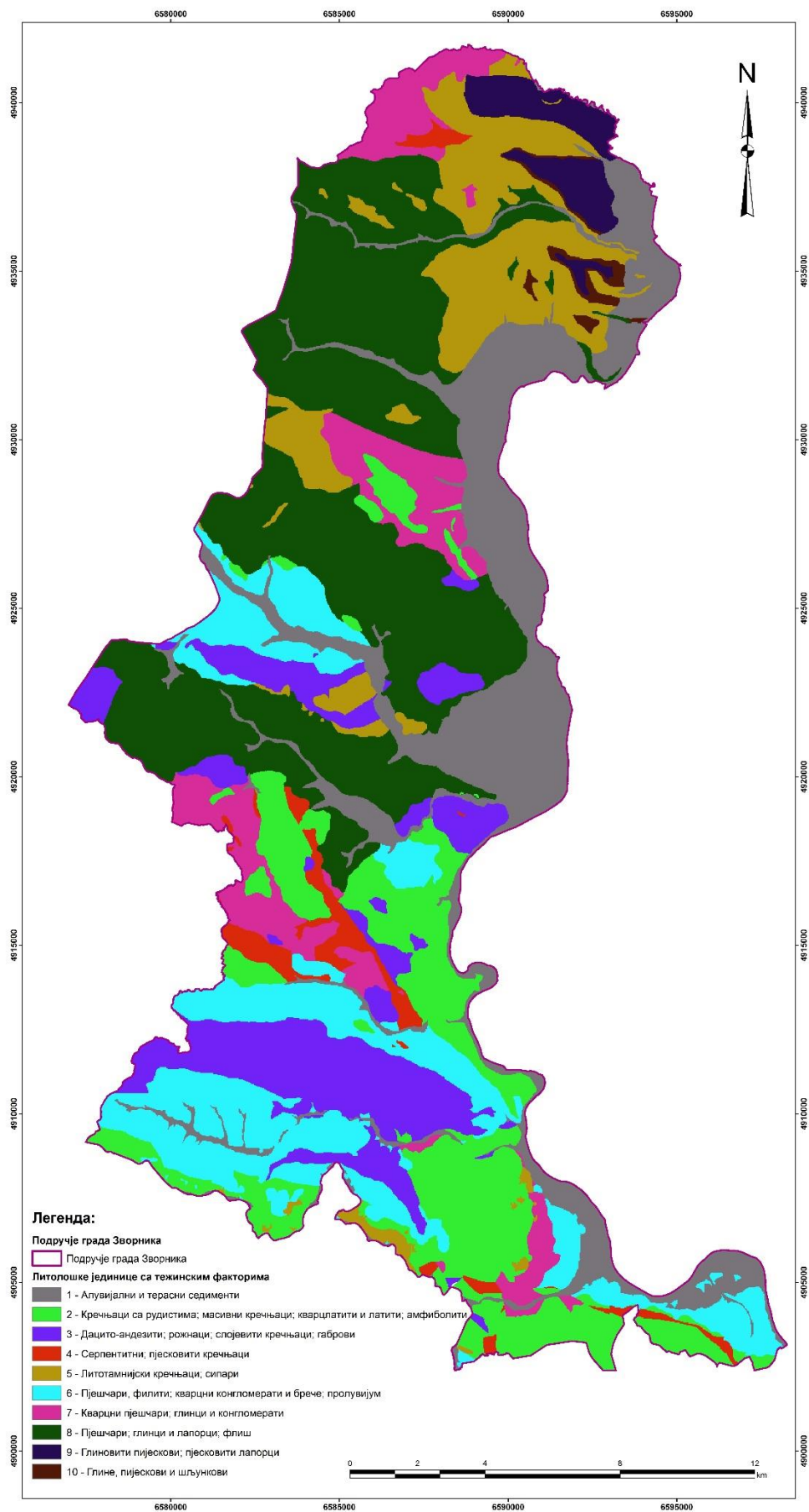
Класификација инжењерскогеолошких јединица, односно литолошких комплекса је суштински и најважнији корак у једној оваквој анализи. Основа за класификацију био је инжењерскогеолошки - литолошки састав терена гдје су јединицама сличних физичко-механичких својстава додјелјивани исти тежински фактори. С обзиром на величину подручја за које се ради анализа и сложености геолошког састава терена, класификација се ослања на експертску/искуствену процјену која укључује и одређен вид субјективности.

У овом случају за алувијалне седименте, карактеристичне за подручја око ријеке Дрине и њених притока додијелјен тежински фактор 1, с обзиром да се у њима нема активирања клизишта. Глиновитим седиментима неогене старости дат је тежински фактор 10 јер представљају терене веома подложне процесима клижења на овим подручјима (слика 48).





Слика 47. Карта регистрованих клизишта на територији Града Зворника.



Слика 48. Литолошка карта са издвојеним класама и тежинским факторима

#### **8.4.1.3. Нагиб површине терена**

Нагиб површине терена јесте један од главних улазних фактора за анализу склоности терена на клижење. Утицај овог фактора, у односу на инжењерскогеолошку грађу је ипак нешто мањи те је у АНР матрици и мање вриједнован. Анализом утицаја нагиба терена на развој процеса клизања извршено је рекласификовање модела на седам класа нагиба, гдје је свакој класи придружен одговарајући тежински фактор (слика 49).

Тако је нпр. за нагибе терена од 0-5° број активираних клизишта минималан па је класи додијељен тежински фактор 3, док је за нагибе од 10-15° број активираних клизишта на овом подручју највећи па им је додијељен највећи тежински фактор, 10.

#### **8.4.1.4. Падавине**

Падавине представљају највеће „окидаче“, тј. активаторе процеса клижења. Највећи број догођених клизишта се дешава након обилних падавина, па је тако и овај параметар веома важан приликом анализе склоности терена на клижење. Коришћени су расположиви подаци у растерском о просјечним годишњим количинама падавинама за територију Града Зворника за период од 1961 до данас. Подаци су добијени од стране Републичког хидрометеоролошког завода Републике Српске.

Извршена је класификација модела на три различите класе, те је нпр. за падавине <850 mm додијељен тежински фактор 7, док је за падавине преко 865 mm додијељен тежински фактор 10 (слика 50). Треба истаћи да свако одступање, у смислу климатских промјена, мијења и услове на терену.

#### **8.4.1.5. Удаљеност од водотокова**

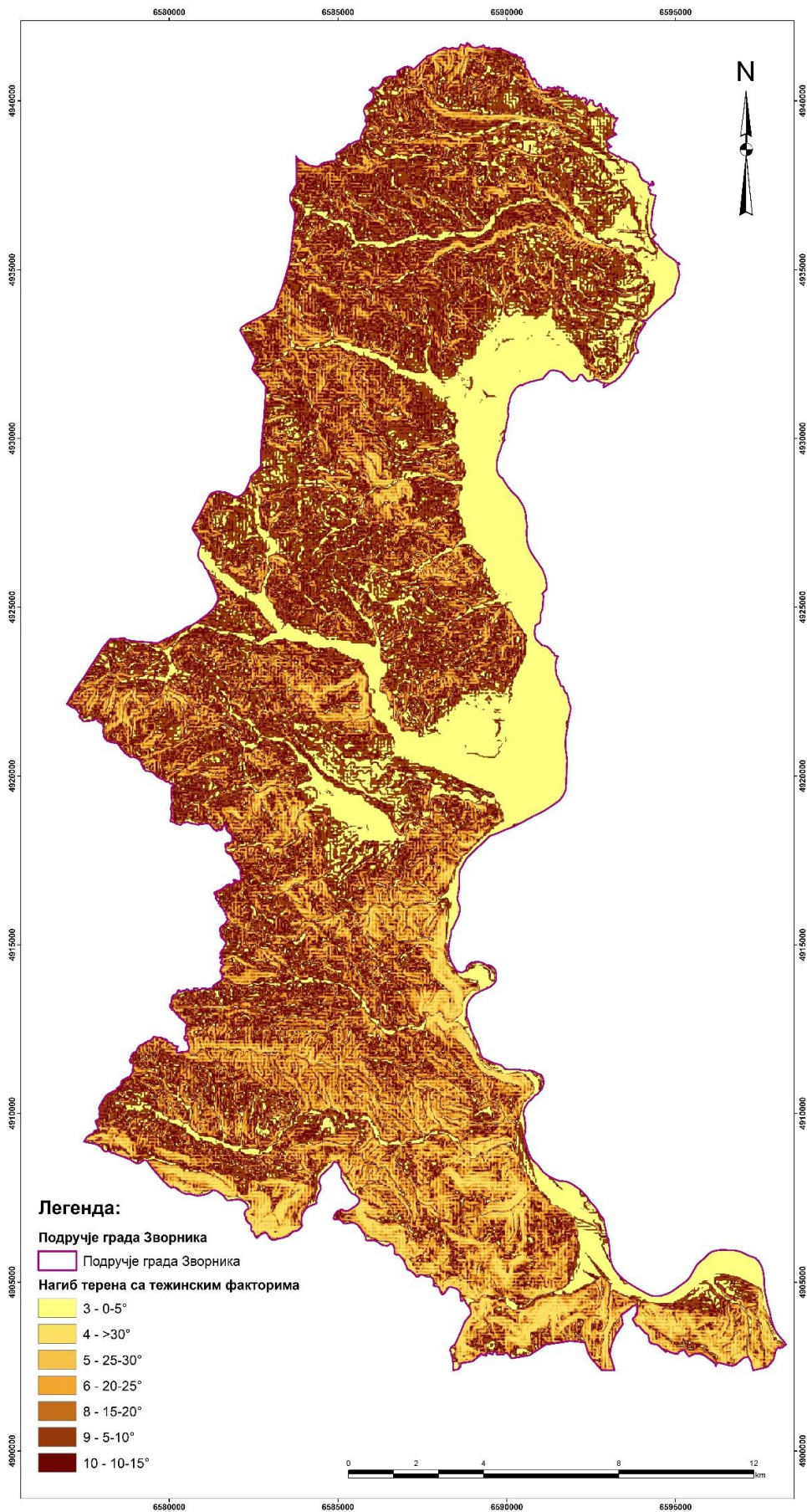
Удаљеност од водотокова је значајан фактор у смислу склоности терена на клижење, који се углавном класификује према принципу да што је удаљеност од водотока већа, то је могућност појаве клизишта мања и обратно. У конкретном случају, територија Зворника је подијељена на четири класе удаљености од водотокова, сходно густини клизишта на истражном простору, односно према подацима из катастра клизишта (слика 51).

Удаљеност до 200 m, сматрана за најнеповољнију те јој је додијељен тежински фактор 10, док се удаљеност преко 800 m сматра за најповољнију и у овом случају има најмањи тежински фактор 3.

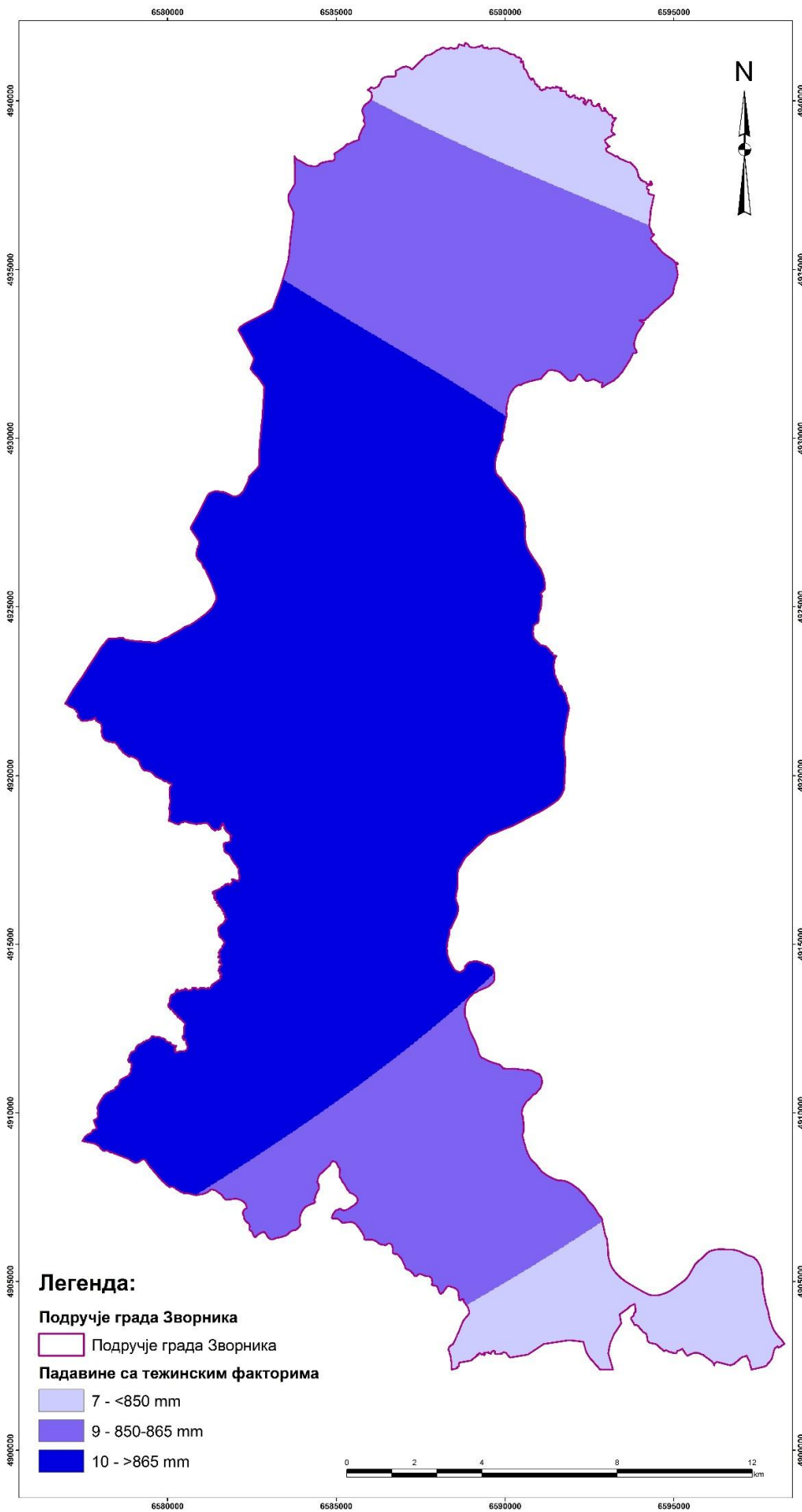
#### **8.4.1.6. Коришћење земљишта**

Начин коришћења земљишта је један од важних фактора за стабилност падине. Најповољнији услови за формирање клизишта су терени без вегетације или под земљорадничким културама, док супротно томе шумска подручја могу отежати и чак у потпуности спријечити појаву клизишта. Наравно, доста чест узрочник клизног процеса је и сам човјек.

Човјек својим радом директно нарушава природну равнотежу и самим тим доводи до активирања процеса клизања (непланском сјечом шуме, нелегалном градњом и сл.). За анализу овог параметра коришћен је доступни CORINE 2012. На основу урађене рекласификације издвојено је 6 класа коришћења земљишта, па је нпр. огољеним подручјима додијељен највећи тежински фактор 10, док је водним и шумским површинама додијељен најнижи тежински фактор 1 и 2 (слика 52).

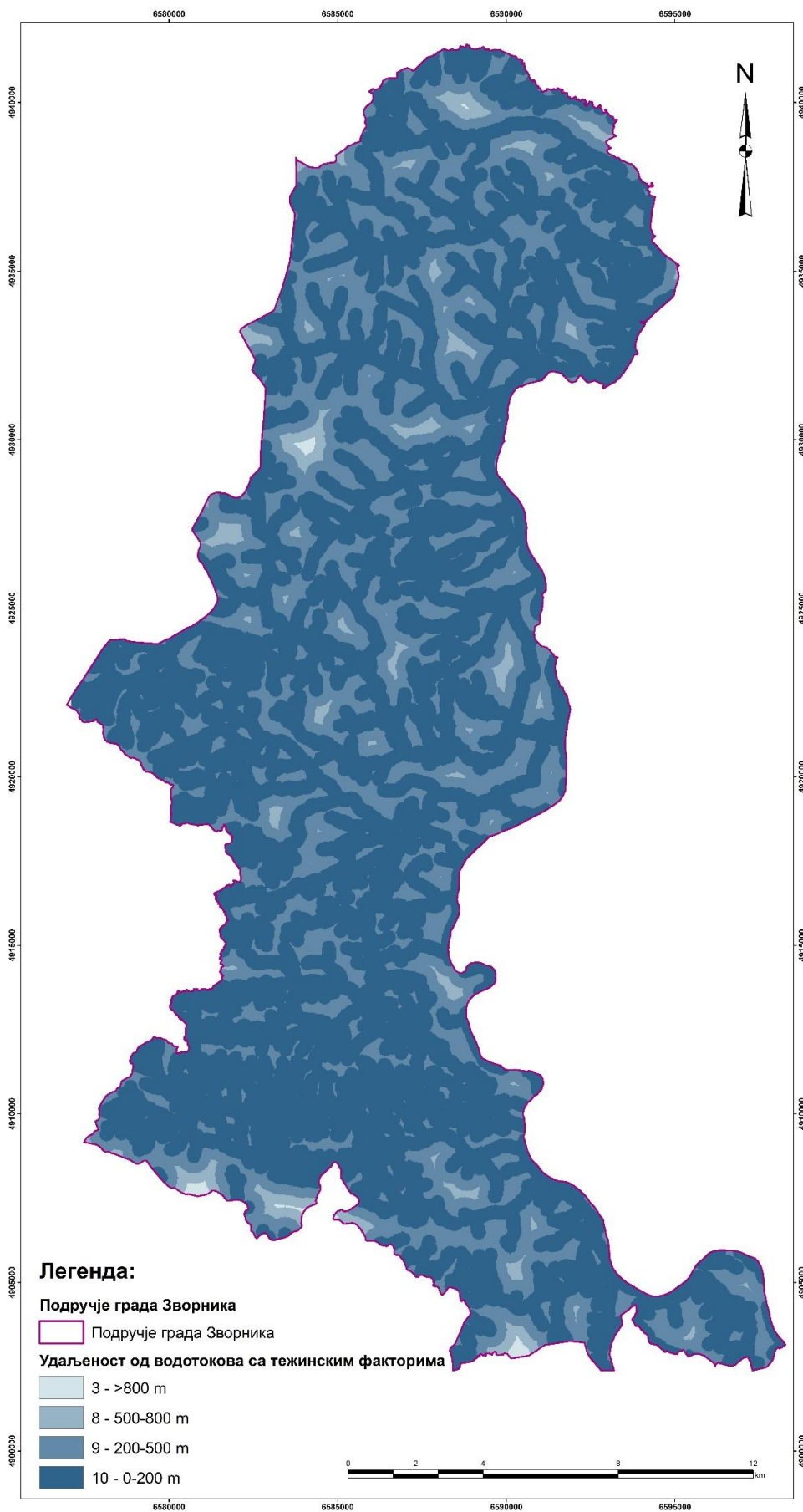


Слика 49. Карта нагиба са издвојеним класама и тежинским факторима

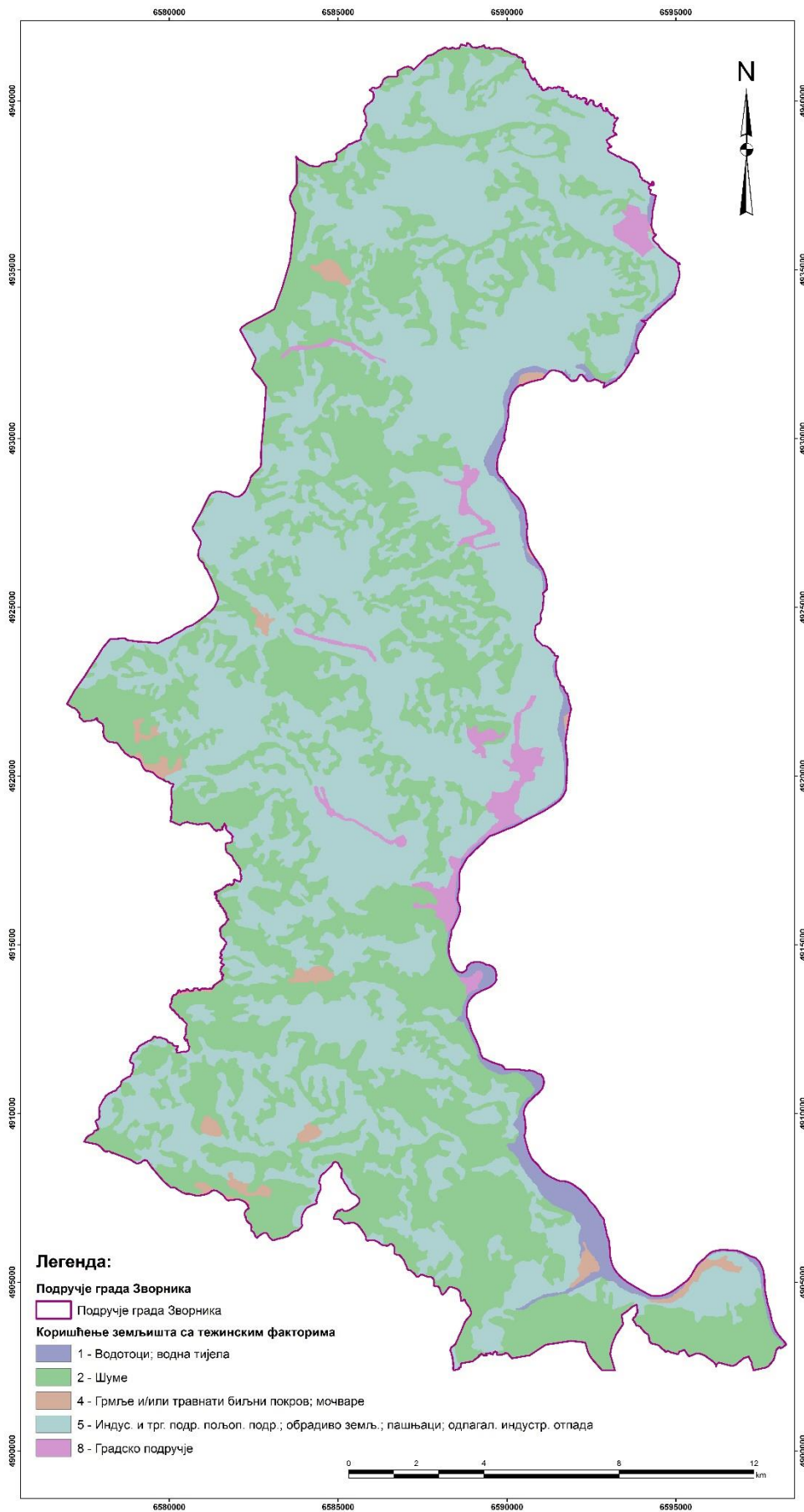


Слика 50. Карта падавина са издвојеним класама и тежинским факторима





Слика 51. Карта удаљености од водотокова са издвојеним класама и тежинским факторима



Слика 52. Карта коришћења земљишта са издвојеним класама и тежинским факторима



#### **8.4.1.7. Орјентација падина**

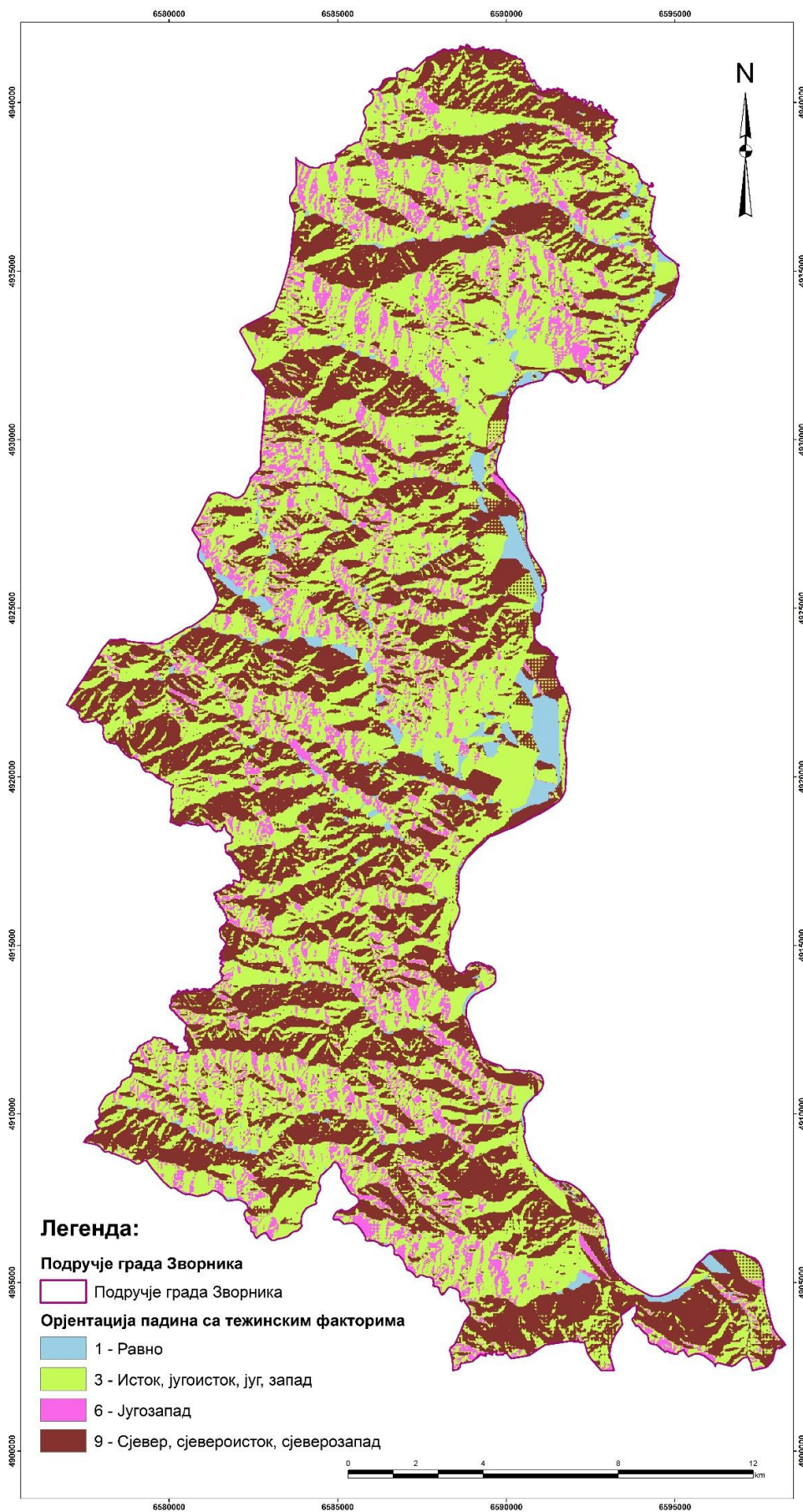
Орјентација падина или експозиција дефинише се као изложеност падина странама свијета, што се може довести у зависност са развојем процеса клизања терена. Сјеверна страна се још назива и хладна експозиција, док је јужна тзв. топла експозиција (Лазаревић и Тошић, 2013).

У том смислу мисли се на већу или мању изложеност сунцу, што се одражава на већу или мању влажност, па тако сјеверна страна у овој анализи има тежинских фактор 9, док нпр. јужна страна има тежински фактор 3 (слика 53).

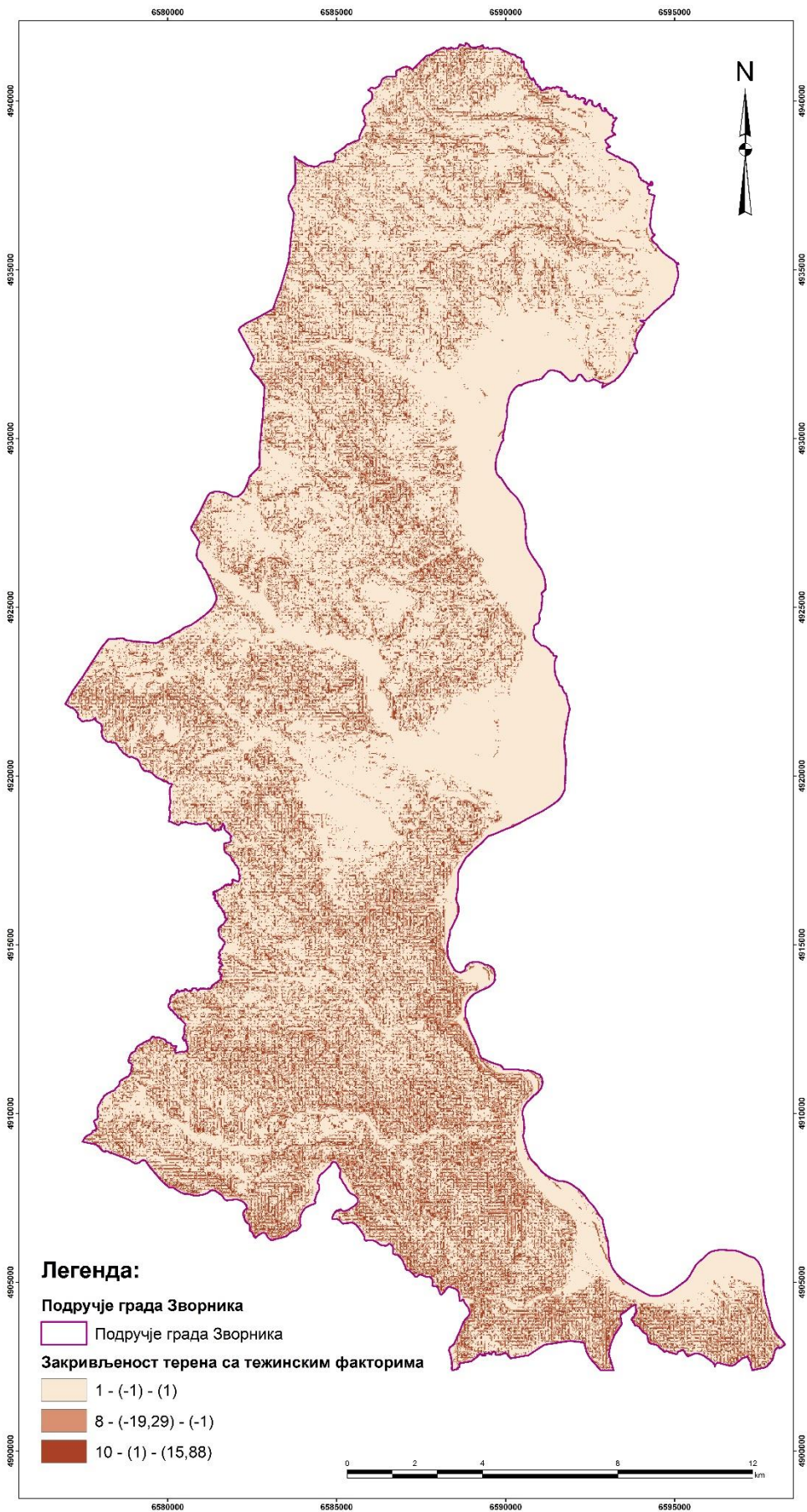
#### **8.4.1.8. Закривљеност падина**

Закривљеност падине се односи на њен геометријски облик, па тако постоје конвексне, конкавне и праволинијске падине. Конкавни дио падине (негативне вриједности) указује да су доминантни ерозиони процеси, док конвексни дио (позитивне вриједности) указује да се на том дијелу догађају акумулациони процеси.

Стога је овај параметар подијељен на три различите категорије којима су додјељени тежински фактори приказани на слици 54.



Слика 53. Карта орјентације падина са издвојеним класама и тежинским факторима



Слика 54. Карта закривљености падина са издвојеним класама и тежинским факторима

\*\*\*

Приликом спровођења анализе постоји неколико међу корака које захтијева само GIS окружење, као што су нормализација растера за вриједности од 0 до 1, рекласификација модела, валидација модела и сл.

Поређење анализираних, мјеродавних фактора према важности рађено је у АНР матрици, гдје се сумирањем осредњених вриједности тежинских фактора добија коначна једначина модела:

$$M = 0,376 \cdot \text{Литологија} + 0,271 \cdot \text{Нагиб} + 0,13 \cdot \text{Падавине} + 0,094 \cdot \text{Удаљ. од водотокова} + 0,060 \cdot \text{Кор. земљишта} + 0,44 \cdot \text{Орјентација} + 0,025 \cdot \text{Закривљеност}$$

Табела 16. АНР матрица вриједности улазних фактора модела.

АНР	Литологија	Нагиб	Падавине	Удаљ. од водот.	Кор.земљ.	Орјентац.	Закривљен.	
Литологија	1	2	5	5	6	7	8	
Нагиб	0,5	1	4	4	5	6	8	
Падавине	0,2	0,25	1	2	3	4	6	
Удаљ. од водот.	0,2	0,25	0,5	1	2	3	5	
Кор.земљ.	0,16	0,2	0,33	0,5	1	2	3	
Орјентац.	0,14	0,16	0,25	0,33	0,5	1	3	
Закривљен.	0,125	0,12	0,16	0,2	0,33	0,33	1	
Σ	2,33	3,99	11,25	13,03	17,83	23,33	34	
АНР	Литологија	Нагиб	Падавине	Удаљ. од водот.	Кор.земљ.	Орјентац.	Закривљен.	sr
Литологија	0,428	0,501	0,444	0,384	0,336	0,300	0,235	<b>0,376</b>
Нагиб	0,214	0,251	0,356	0,307	0,280	0,257	0,235	<b>0,271</b>
Падавине	0,086	0,063	0,089	0,153	0,168	0,171	0,176	<b>0,130</b>
Удаљ. од водот.	0,086	0,063	0,044	0,077	0,112	0,129	0,147	<b>0,094</b>
Кор.земљ.	0,071	0,050	0,030	0,038	0,056	0,086	0,088	<b>0,060</b>
Орјентац.	0,061	0,042	0,022	0,026	0,028	0,043	0,088	<b>0,044</b>
Закривљен.	0,054	0,031	0,015	0,015	0,019	0,014	0,029	<b>0,025</b>
Σ	1	1	1	1	1	1	1	1

## 8.4.2. Моделирање према LSA методи

Да би се уопште могле поредити ове двије методе, приликом спровођења статистичке анализе коришћени су исти улазни параметри и припадајуће класе као код АНР методе, а тежине према LSA методи приказане су у табели 17.

Табела 17. Прорачунате тежинске вриједности класа фактора према LSA методи.

Параметар	Класа	Површина [km <sup>2</sup> ]	Површина под клизиштем [m <sup>2</sup> ]	Тежина – W
Литолшке јединице	Алувијални и терасни седименти	61,7948	32162	-3,26
	Кречњаци; амфиболити	49,3530	59148	-2,58
	Дацито-андезити; рожнаци; слојевити кречњаци; габрови	37,6625	33493	-2,89
	Серпентинити; пјесковити кречњаци	8,1533	2761	-3,44
	Литотамнијски кречњаци; сипари	33,8789	161645	0,99
	Пјешчари, филити; кварцни конгломерати и брече; пролувијум	48,2188	108193	-1,54
	Кварцни пјешчари; глинци и конгломерати	27,3695	116003	0,46
	Пјешчари; глинци и лапорци; флиш	94,7773	798194	4,64
	Глиновити пијескови; пјесковити лапорци	8,9794	86534	5,86
	Глине, пијескови и шљункови	2,1992	9336	0,47
Нагиб	0-5°	75,6315	112082	-2,30
	>30°	16,4933	51306	-0,67
	25-30°	19,6952	42433	-1,63
	20-25°	36,3736	86656	-1,40
	15-20°	58,8509	206782	-0,27
	5-10°	80,8979	527738	2,74
	10-15°	84,3813	380448	0,73
Падавине	< 850 mm	42,3548	320579	3,79
	850-865 mm	110,3162	96217	-2,91
	> 865 mm	219,7429	990674	0,73
Удаљеност од водотокова	>800 m	0,7814	0	-3,78
	500-800 m	9,6980	139312	10,59
	200-500 m	105,2965	466323	0,65
	0-200 m	256,5902	801834	-0,65
Коришћење земљишта	Водотоци; водна тијела	8,8961	1677	-3,59
	Шуме	155,4060	477999	-0,70
	Грмље и/или травнати биљни покров; мочваре	4,5294	0	-3,78
	Индус. и трг. подр. пољоп. подр.; обрадиво земљ.; пашњаци; одлагал. индустр. отпада	196,5784	922741	0,91
	Градско подручје	6,9837	5053	-3,06
Орјентација	Равно	10,9255	2179	-3,58
	Исток, југоисток, југ, запад	181,8411	768821	0,45
	Југозапад	38,7894	191172	1,15
	Сјевер, сјевероисток и сјеверозапад	140,7434	445283	-0,62
Закривљеност	(-1) - (1)	279,5377	1102063	0,16
	(-19,29) - (-1)	45,8756	177634	0,09
	(1) - (15,88)	46,8988	127733	-1,06
Укупно		372,3865	1407469	0,3780 [%]

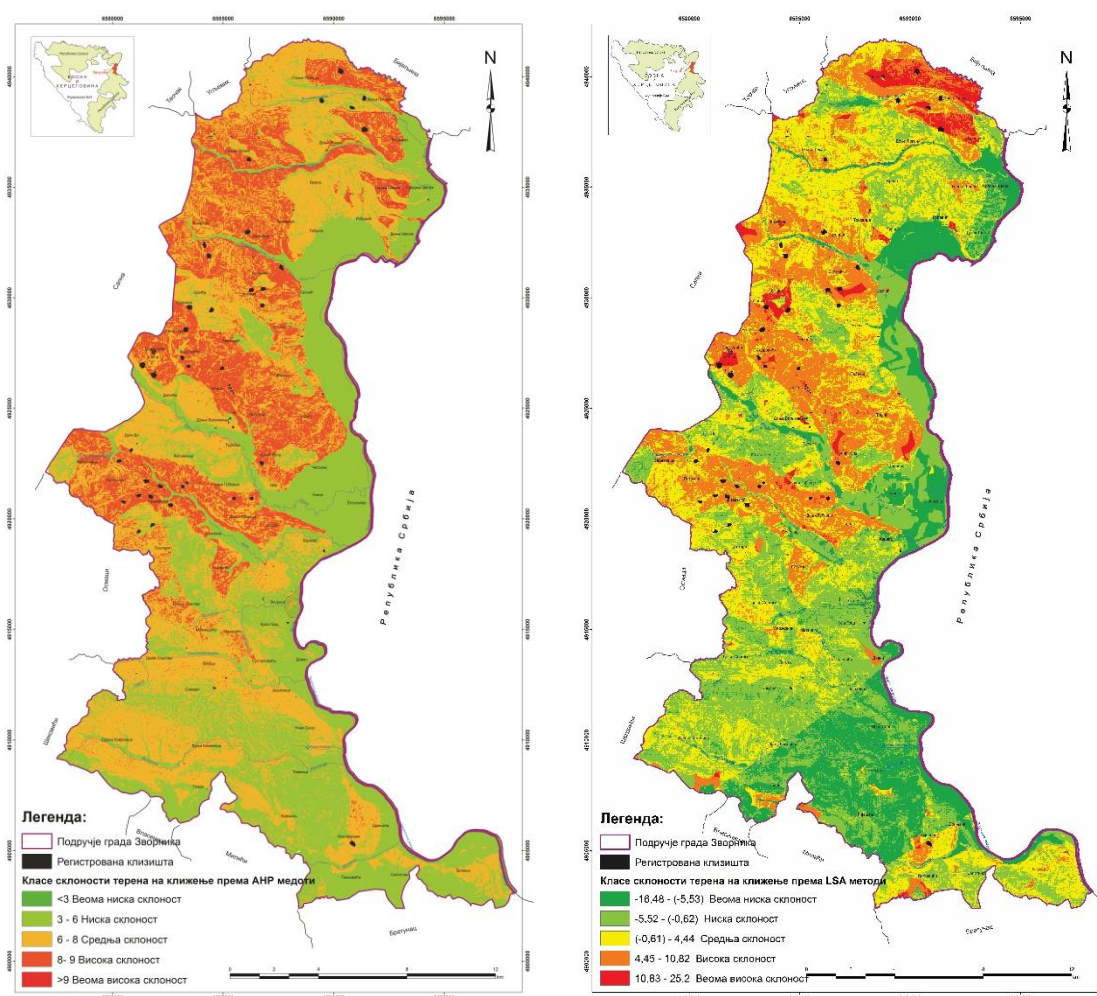


## 8.5. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ

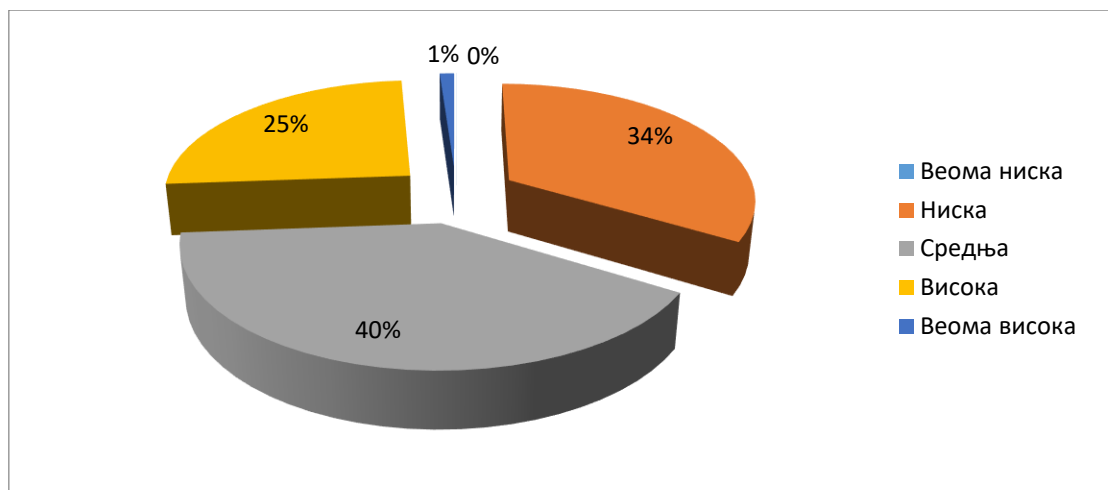
Анализом добијених вриједности процјене према АНР методологији (слика 55. лијево), показано је да се у категоријама „висока“ и „веома висока склоност“ активирало највише клизишта и да оне заузимају 25% односно 1,1 % територије Града Зворника (слика 56).

Вриједности резултата добијених LSA методом (слика 55 десно), само се донекле разликују у односу на АНР метод. Наиме, овом методом је добијено да у категорију „висока“ и „веома висока склоност“ спада 19%, односно 3% територије Зворника (слика 57).

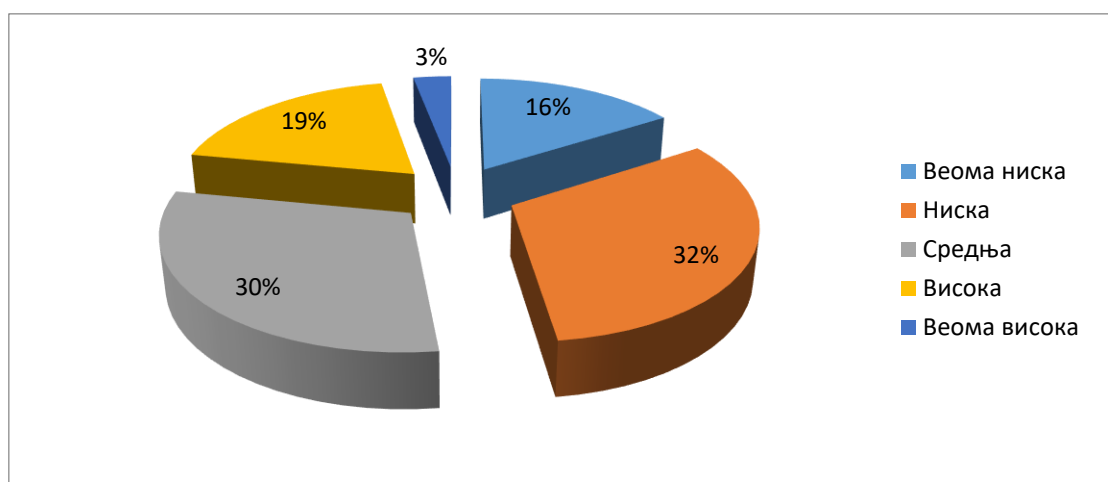
То укупно представља 22% територије Града Зворника у односу на 26% добијених АНР методом. Овим је јасно показано да је на основу истих параметара, са двије потпуно различите методе добијена релативно слична, тј. за ову размјеру, прецизна и тачна карта склоности терена на клижење. Ипак, треба истаћи да је LSA метода нешто „строжија“ и прецизнија те се карте дјелимично разликују у детаљима што је било и за очекивати. Основна разлика и предност LSA методе у односу на АНР јесте већа прецизност и избегавање субјективности у анализи. Такође, то може бити и недостатак, као у случају нешто лошијих улазних параметара, јер је експертско расуђивање сведено на минимум. Сви параметри код LSA методе имају исти тежински фактор, док се код АНР методе међусобно рангирају.



Слика 55. Карта склоности терена ка клижењу Града Зворника према АНР методологији (лијево) и LSA методологији (десно).



Слика 56. Процент склоности ка клижењу Града Зворника према АНР методологији.



Слика 57. Процент склоности терена ка клижењу Града Зворника према LSA методологији.

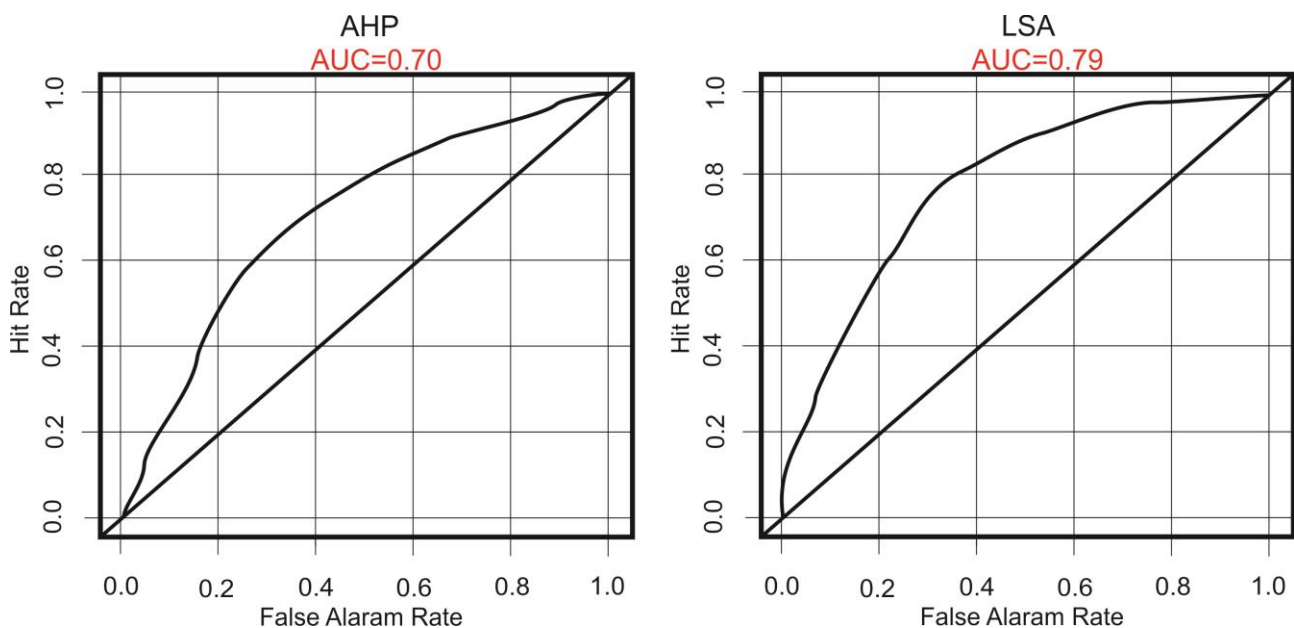
## 8.6. ВЕРИФИКАЦИЈА МОДЕЛА НА ЛОКАЛНОМ НИВОУ

Валидација, односно оцјена добијених резултата извршена је помоћу ROC кривих (*Receiver Operating Characteristics*), које спадају у једне од најобјективнијих видова оцјене неког просторног модела. Као параметар за квантификацију коришћена је „површина под кривом“ – AUC (*Area Under the Curve*), изражена на скали од 0-1, (Fawcett, 2005).

Генерално се може видјети да су оба модела веома слична у смислу могућности предвиђања клизишта. Добијене вриједности AUC-а су задовољавајуће јер се модели чије су вриједности AUC од око 0.7 сврставају се у моделе који добро предвиђају (Марјановић, 2012). Блага лијева асиметричност ROC криве код АНР модела (слика 58. лијево), указује на конзервативност која је на страни сигурности. Код LSA модела (слика 58. десно), ROC крива има симетричан карактер, што говори да је модел добро избалансиран, односно нити конзервативан нити преоптимистичан.

Међусобним упоређивањем на основу AUC вриједности, примјена ових модела ограничена је на максимално локалну размјеру (што конкретно и јесте случај), јер се за детаљна подручја очекују веће вриједности AUC-а, односно очекује се превиђање клизишта са већом прецизношћу.





Слика 58. Процент склоности терена ка клижењу Града Зворника према LSA методологији.

## 9. ДЕТАЉНИ НИВО ПРОЦЈЕНЕ РИЗИКА

Процјена ризика од клизишта представља процес анализе расположивих информација у циљу срачунавања степена ризика на људе, материјална добра или животну средину. Генерално посматрајући, анализа ризика обухвата сљедеће кораке:

- дефинисање оквира процјене,
- дефинисање склоности/хазарда,
- процјену угрожености и
- процјену ризика.

Процјена ризика укључује вјероватноћу појаве потенцијално штетног клизишта одређене магнитуде (хазард), затим елементе под ризиком и њихову угроженост од појаве клизишта дате магнитуде, изражену као однос потенцијале штете према укупној вриједности елемента под ризиком.

Хазард је вероватноћа да дође до нежељених посљедица. Карактеризација хазарда треба да обухвати: просторну дистрибуцију тј. локацију, магнитуду, тј. запремину (или површину) простора захваћеног процесом клижења, класификацију процеса и брзину кретања потенцијалног клизишта (или другим механизмом покренутог материјала), као и вјероватноћу његове појаве у оквиру одређеног временског периода.

Елементи под ризиком представљају све елементе који могу бити изложени утицају процеса, а најчешће се ради о становништву, различитим врстама објеката (најчешће стамбеним), инфраструктурним објектима или другој имовини.

Угроженост је потенцијални степен губитка вриједности датог елемента или скупа елемената изложених процесу клижења одговарајућег интензитета/магнитуде. Изложеност се при том односи на становништво, имовину или пак друге елементе под ризиком присутне у подручју које може бити под утицајем. Рачуна се као просторна и временска вјероватноћа да се елемент под ризиком налази у зони дејства клизишта и мора бити укључена у једначину ризика. Процјена угрожености елемената ризика углавном зависи од размјере анализе и типа елемената који су потенцијално изложени одређеном хазарду. Нпр. процјена да ли су елементи под ризиком изложени или не потенцијалном хазардном процесу, одређена је њиховом локацијом, односно положајем у односу на зону дејства клизишта, која варира зависно од

механизма процеса. Када се говори о изложености елемената под ризиком битно је разликовати статичке елементе (зграде, путеви, друга инфраструктура итд.) и покретне елементе (возила, особе итд.).

У већини случајева, свеобухватан приступ процјене ризика од клизишта има мањкавости, посебно у погледу хазарда и угрожености. У нашем случају временска компонента, тј. учесталост појаве клизишта, не може бити дефинисана на основу постојећих података, као и вриједност ни конструктивни детаљи елемената под ризиком, што свакако за резултат има одређен степен импровизације, што ће кроз методологију бити појашњено.

Стога се примјењена методологија процјене ризика од клизишта састоји од сљедећих корака: израде карте склоности/хазарда, израде катастра елемената под ризиком, срачунавања угрожености на основу њихове изложености потенцијалном процесу клижења и процјени ризика од клизишта.

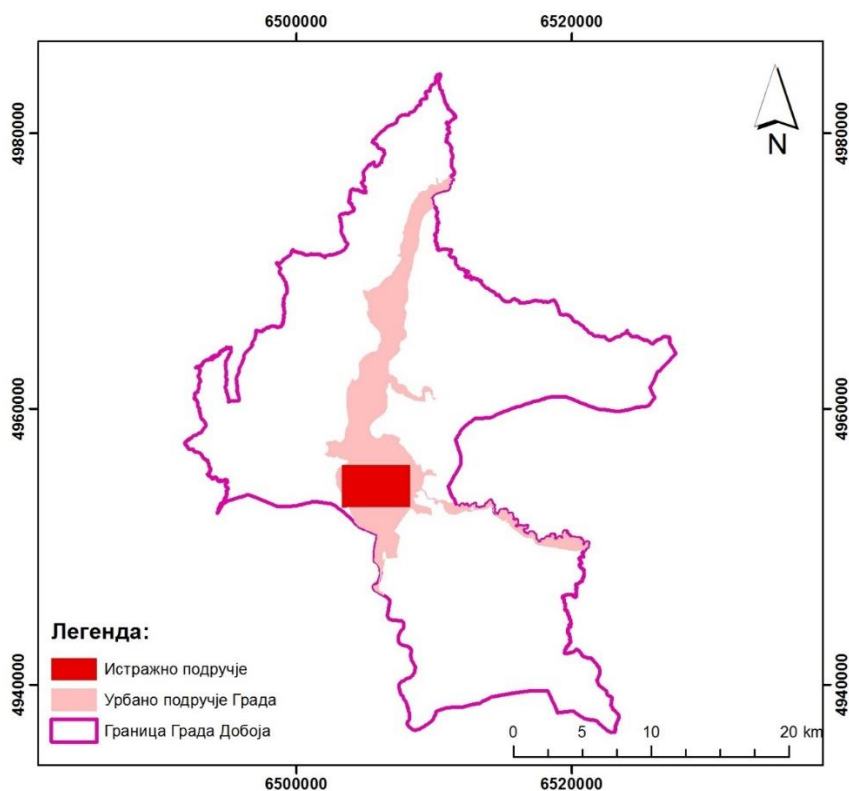
Детаљни ниво процјене спада у категорију процјена највишег нивоа, и углавном третира релативно мања подручја од изузетног значаја углавном за планирање простора приликом пројектовања и изградње неких капиталних инфраструктурних објеката. Обухвата подручја од неколико хектара до десетине квадратних километара (Cascini, 2008).

Процјене се раде у размјерама  $>1:5.000$ , и углавном се раде по неким напореднијим методама, као што су статистичке или детерминистичке методе. (Fell et al., 2008; Cascini, 2008).

## 9.1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ИСТРАЖНОМ ПРОСТОРУ

Град Добој, територијално припада Републици Српској, и заузима површину од  $655.33 \text{ km}^2$ . Према најновијем Попису становништва из 2013. године, Град Добој састоји се од 83 насељена мјеста, гдје живи 77.224 становника (Републички завод за статистику, 2014).

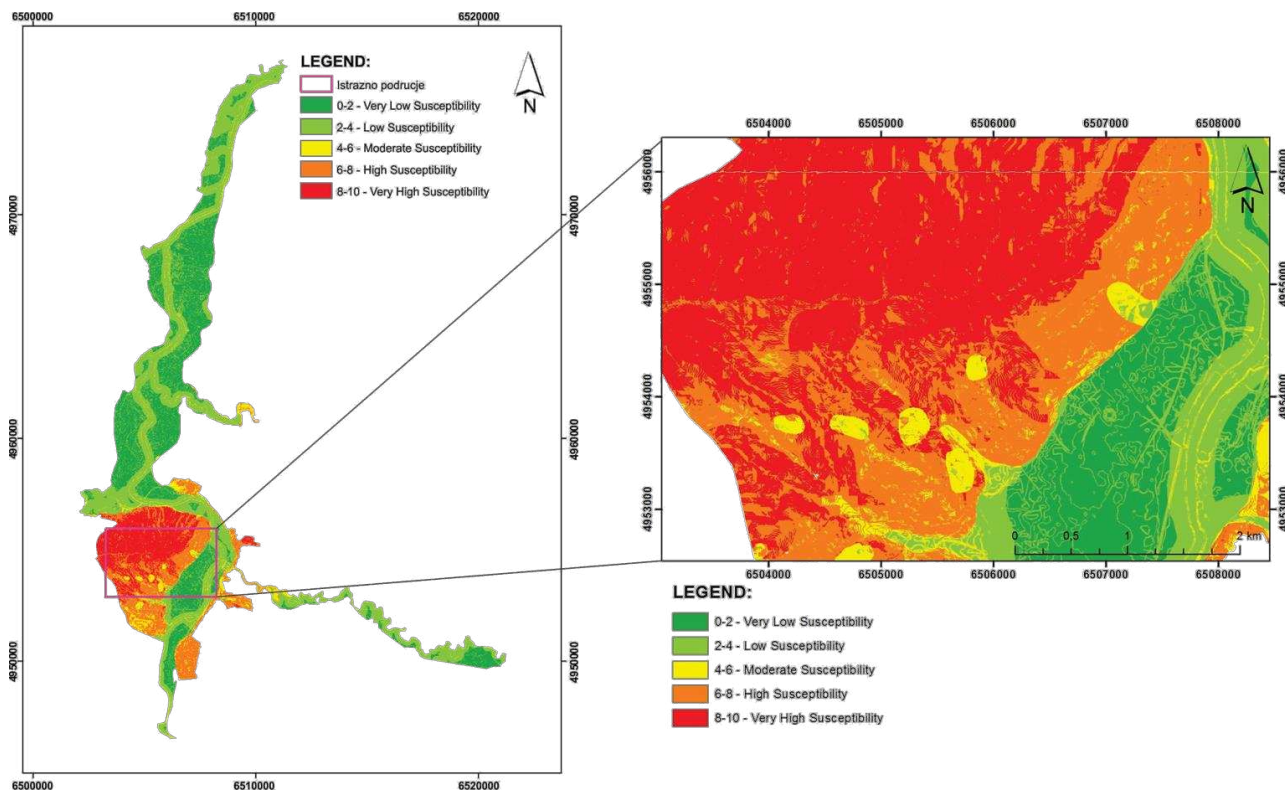
С обзиром на расположивост података, али и релативно високог степена могућег ризика, за потребе израде ове дисертације, процјена ризика рађена је за дио територије урбаног подручја Града Добоја, у размјери  $1:5.000$  (слика 59). Површина истражног подручја износи  $15,33 \text{ km}^2$ .



Слика 59. Позиција истражног простора у односу на подручје Града Добоја.

Ово подручје изабрано је јер се тежило што детаљнијој процјени ризика, иако је иста за подручје урбаног дијела Добоја рађена 2016. године (UNDP, 2016; Sandić et al., 2017), али уз коришћење хеуристичке методологије, што се може окарактерисати као конзервативан метод с обзиром на размјеру, тј. ниво детаљности (слика 60).

Ранијом процјеном је ово подручје третирано као подручје са доста високом склоношћу од клизишта, те се тежило још већој детаљности коришћењем напреднијих методологија и софтверских алата.



Слика 60. Исјечак карте склоности ка клижењу из Студије о процјени ризика за урбани дио Града Добоја (UNDP, 2016; Sandić et al., 2017),

Процјена ризика пратила је цјелокупан процес, од процјене склоности уз коришћење детерминистичког SINMAP приступа, па све до процјене ризика у GIS окружењу.

За саму процјену, на располагању су били сви потребни подаци:

- База података у GIS формату са укупно 45 појединачних појава клижења;
- Геолошка карта истражног подручја у размјери 1:5.000;
- Дигитални елевациони модел терена (DEM), резолуције 5x5 m;
- Податке о падавинама (РХМЗ РС);
- Велики број геотехничких елабората и извјештаја са територије Града Добоја, ради одређивања што поузданијих физичко-механичких и хидрогеолошких параметара тла потребних за одређивање индекса стабилности (Stability Index), односно моделирање у SINMAP окружењу (Архив Геолошког Завода Републике Српске);
- Катастар елемената под ризиком у GIS формату (UNDP, 2016);

## 9.2. ГЕОЛОШКА ГРАЂА ТЕРЕНА СА ОСВРТОМ СА ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

На основу геолошког, односно инжењерскогеолошког картирања терена за потребе израде ове дисертације и приликом регистровања клизишта на истражном простору издвојени су литолошки чланови приказани на слици 61.

Инжењерскогеолошке карактеристике терена доста су разноврсне, па самим тим и њихова подложност ка процесима нестабилности.

Дијабази (ββ) се на истражном простору јављају на неколико мјеста у оквиру офиолитског маланжа и у оквиру ове јединице нису регистроване појаве клижења. Представљају углавном стабилне терене, изграђене од чврстих стијена, добрих инжењерскогеолошких својстава.

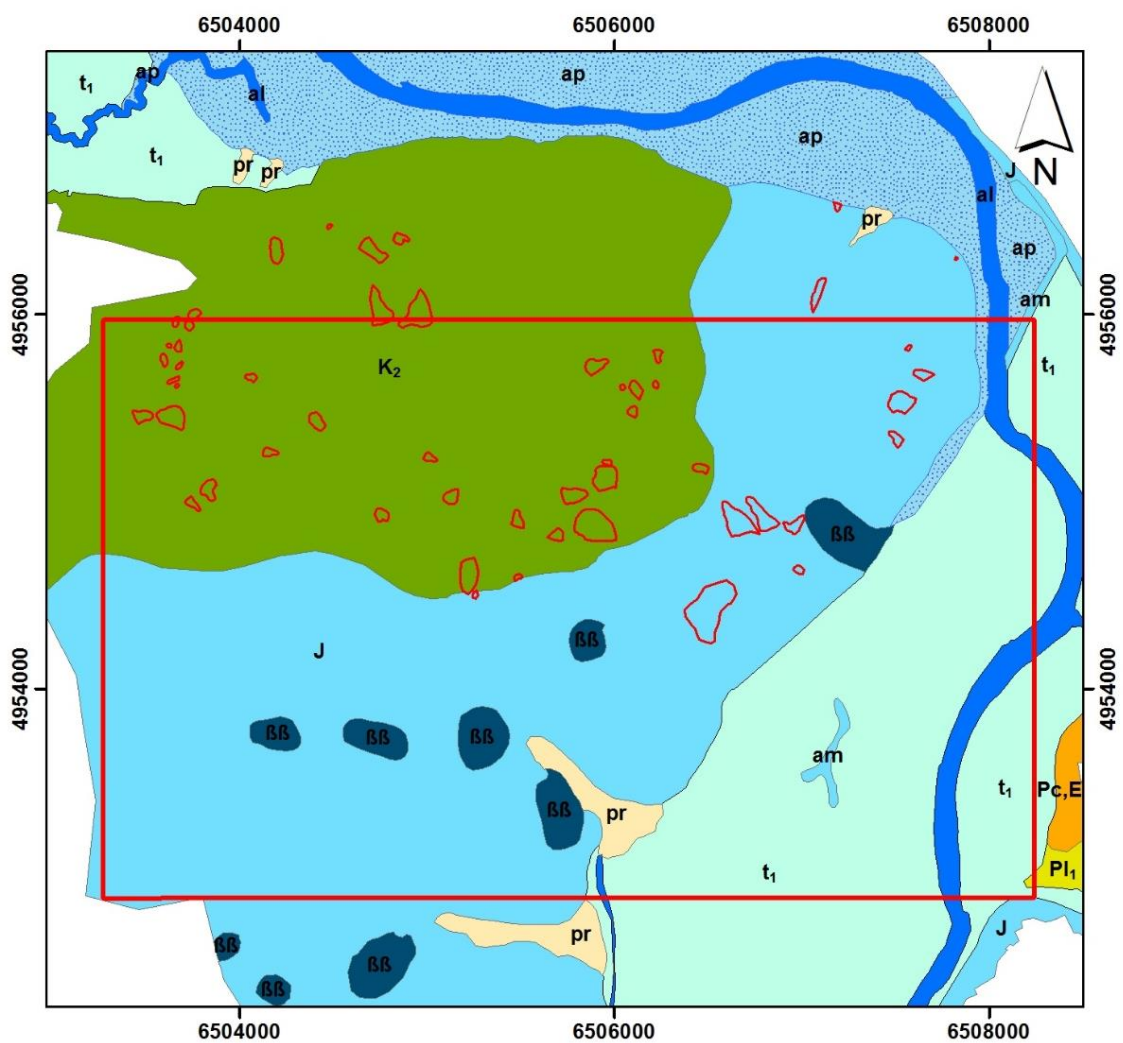
Дијабаз-ројначку формацију (J) граде разнолике седиментне стијене, прије свих пјешчари, глинци, ројначи, плочасти лапорци и конглобрече. Представљају доста хетероген комплекс стијена, различитих физичко-механичких својстава, изузетно подложних процесима нестабилности.

Основне инжењерскогеолошке одлике ових комплекса су смјењивање крутих и пластичних стијена, интензивно тектонски оштећених, наизмјенично смјењивање практично водонепропусних и водопропусних маса са пукотинском порозношћу и различита отпорност стијена према деструктивном дјеловању спољашњих фактора. Нагиб површине слојевитости представља услов стабилности падине. Према томе, неповољни услови су на падинама у којима слојеви падају паралелно нагибу под углом мањим од нагиба падине. У том случају су падине или нестабилне или се стијене усијецањем могу довести у нестабилно стање. У овој формацији регистрован је велики број клизишта на територији Града Добоја, па тако и на подручју истраживања.

Плочасти и лапоровити кречњаци и лапорци (K<sub>2</sub>) леже трансгресивно преко офиолитског меланжа и углавном су добрих инжењерскогеолошких карактеристика. Једна од главних карактеристика ових седимената јесте доста дебео површински, делувијални покривач депонован преко основне стијенске масе. Овај поривач изграђен је углавном од глиновито-пјесковитих и дробинских материјала чије се карактеристике усљед засићења водом погоршавају у геотехничком смислу, те он постаје склон нестабилностима. У овој геолошкој средини регистрован је највећи број клизишта на овом истражном простору (слика 61).

Западни дио истражног простора, али и Града Добоја изграђен је од нешто млађих, плиоценских седимената, гдје су такође евидентирана клизишта, али су она доста рјеђа. Плиоценске насlage сачињене су од разнобојних пијескова и глина, подређено шљункова.

Комплекс алувијалних седимената изграђује искључиво равнице дуж ријечних токова. У грађи терена преовладавају различито таложени и неједнолично гранулисани седименти шљунка и пијеска, мјестимично глине, рјеђе муља. Представљају углавном стабилне терене. У хидрогеолошком погледу представљају добро водопропусне средине.



### Легенда:

- Истражно подручје
- Регистрована клизишта

### Геолошке јединице

- al - Алувијални седименти
- am - Седименти напуштеног корита
- ap - Алувијално-плавни седименти
- t<sub>1</sub> - Ријечна тераса
- pr - Пролувијални седименти
- P<sub>c,E</sub> - Супијесак, шљунак, глина
- K<sub>2</sub> - Плочасти, лапоровити кречњаџи и лапорџи
- J - Офиолитски меланж: пјешчари, глинџи, рожнаџи
- BB - Дијабази

Слика 61. Геолошка карта подручја истраживања са позиџијама регистрованих клизишта.

### 9.3. ДЕТЕРМИНИСТИЧКИ ПРИСТУП – STABILITY INDEX (SINMAP) – ТЕОРИЈСКЕ ПОСТАВКЕ

Детерминистички приступи углавном су ограничени на одређени тип клизишта, углавном плитка и транслярна, те их треба користити само у случајевима када такав тип клизишта доминира у истражном простору. Такође, захтијевају доста детаљнији скуп улазних података, прије свих податке о физичко-механичким параметрима (запреминска тежина, параметри чврстиће, коефицијенти филтрације и сл.), који се добијају лабораторијским путем и врло често нису репрезентативни за цијело подручје због реалних услова на терену. Стога, приликом употребе ових метода треба бити ограничена на мања подручја („site specific”) и мора се обратити пажња приликом евентуалне генерализације улазних података, јер постоји могућност добијања доста упрошћеног, односно конзервативног резултата. Добре резултате овај приступ даје у условима када се моделира са добро познатим клизиштима и подручјима са веома високом склоношћу ка развоју процеса клижења (Morrissey et al., 2001).

SINMAP (Stability Index MAPping) представља бесплатан „open source“ софтвер који се може примјењивати код транслярних и плитких клизишта. За његову примјену потребна је подршка, такође бесплатног GIS софтвера „MapWindowGIS“.

Развијен је од стране Pask et al. (1998; 2001; 2005) за потребе процјене склоности транслярних клизишта у Британској Колумбији (Thiebes et al., 2016).

Не препоручује се за моделирање простора са присуством дубоких појава нестабилности или за ротациона клизишта и тецишта.

SINMAP модел представља један сложен модел који у своју анализу укључује модел бесконачне косине и стационарни хидролошки модел ламинарног кретања подземне воде.

Због могуће непоузданости у улазним параметрима, примјењује се горња и доња граница вриједности, што представља функцију униформне (равномјерне) расподеле вјероватноће (Hammond et al., 1992).

#### 9.3.1. Модел стабилности бесконачне косине

Модел бесконачне косине одговара врло дугим и плитким клизиштима, која се јављају у теренима са развијеном кором површинског распадања, гдје је клизна равна паралелна површини терена на великој дужини (слика 61). У том случају су напонско-деформацијски услови исти дуж цијеле клизне површине, што значи да се занемараује утицај крајева косине (Ђорић, 2008).

Ове претпоставке омогућавају једноставније анализе стабилности косине, а самим тим и веће могућности примјене.

Фактор сигурности  $F_s$  дефинише се као однос однос чврстоће смицања тла и смичућег напона потребног за одржавање равнотеже косине (Bishop, 1955):

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m} \quad (6)$$

Гдје су:

$F_s$  – фактор сигурности косине;

$\tau_f$  – чврстоћа смицања тла;

$\tau_m$  – смичући напон потребан за одржавање равнотеже косине.

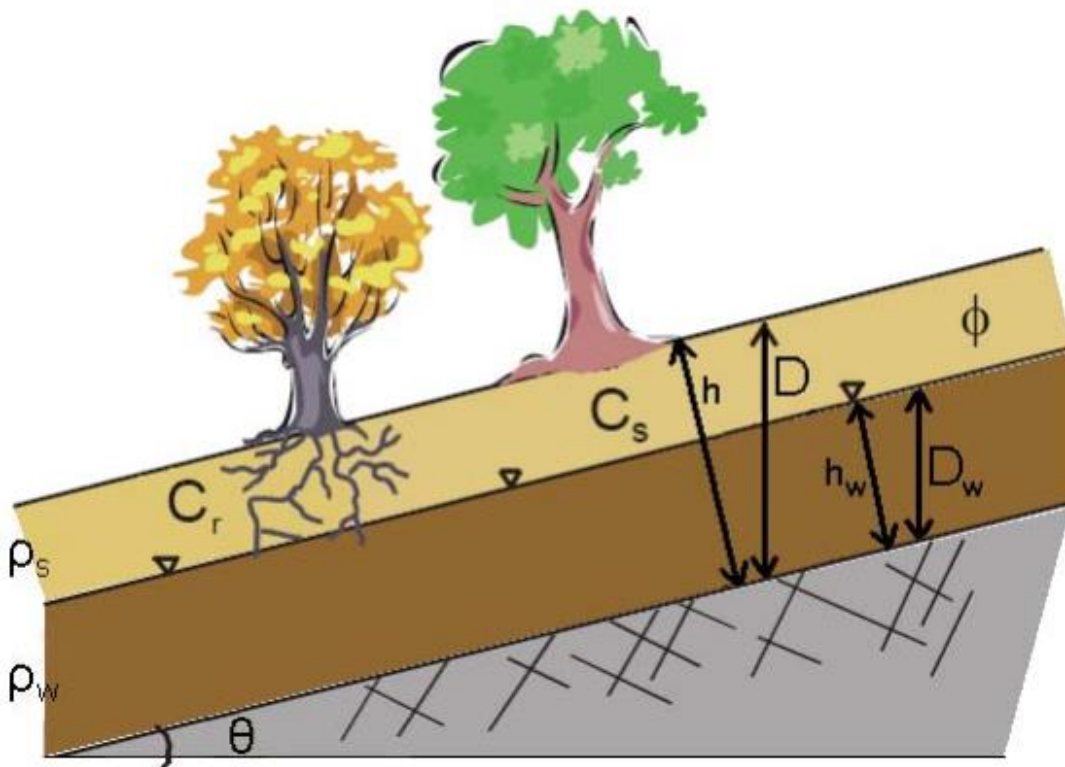
Према Hammond et al., (1992), фактор сигурности  $F_s$  бесконачне косине (слика 62) исти је и за дрениране и недрениране услове ради упрошћења једначине:



$$F_s = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta \cdot [\rho_s \cdot g \cdot (D - D_w) + (\rho_s \cdot g - \rho_w \cdot g) \cdot D_w] \cdot \tan \phi}{D \cdot \rho_s \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad (7)$$

Гдје су:

- $F_s$  – фактор сигурности косине;
- $C_r$  – кохезија коријења биљака [ $\text{N/m}^2$ ];
- $C_s$  – кохезија тла [ $\text{N/m}$ ];
- $\theta$  – угао нагиба падине [ $^\circ$ ];
- $\rho_s$  – густина тла [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $\rho_w$  – густина воде [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $g$  – гравитационо убрзање [ $9.81 \text{ m/s}^2$ ];
- $D$  – дубина до клизне површине [ $\text{m}$ ];
- $D_w$  – висина NPV у косини [ $\text{m}$ ];
- $\phi$  – угао унутрашњег трења тла [ $^\circ$ ].



Слика 62. Модел бесконачне косине  
(преузето из Witt, 2005, према Hammond et al. 1992; Otteman, 2001).

Код модела стабилности бесконачне косине неопходно је дебљину тла  $h$  [ $\text{m}$ ] представити као одређену нормалу на падину. На тај начин постижу се тачнији и поузданији резултати него када би дубина тла  $D$  [ $\text{m}$ ] била мјерена вертикално од површине терена:

$$h = D \cdot \cos \theta \quad (8)$$



Увођењем дебљине тла  $h$  у формулу фактора сигурности бесконачне косине (7), добија се следећа једначина која се користи у SINMAP методи:

$$F_s = \frac{C + \cos\theta \cdot [1 - w \cdot r] \cdot \tan\varphi}{\sin\theta} \quad (9)$$

Релативна влажност, односно утицај подземне воде, изражен је бездимензионалним фактором и рачуна се према формули:

$$w = \frac{D_w}{D} = \frac{h_w}{h} \quad (10)$$

Спајањем кохезије биљака  $C_r$  и кохезије тла  $C_s$ , добија се однос бездимензионалне кохезије повезане са дебљином тла мјереном управно на површину терена:

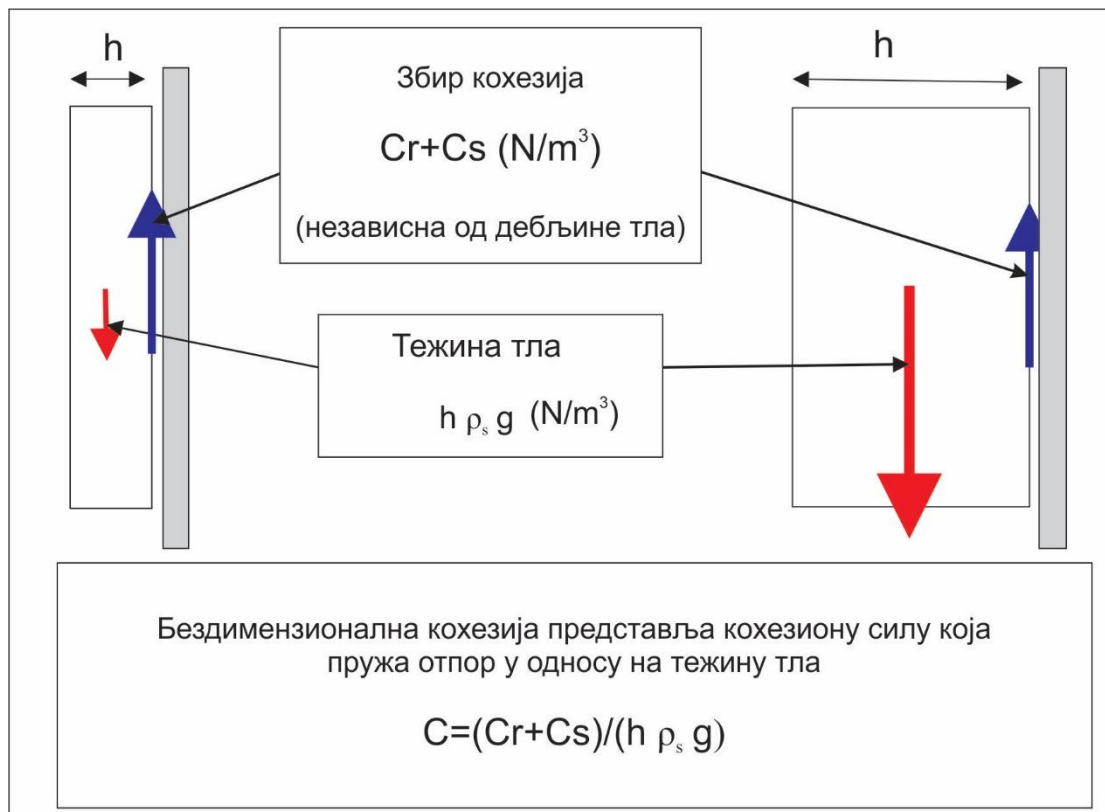
$$C = \frac{(C_r + C_s)}{(h \cdot \rho_s \cdot g)} \quad (11)$$

Однос густине воде  $\rho_w$  и густине тла  $\rho_s$ :

$$r = \frac{\rho_w}{\rho_s} \quad (12)$$

Овакав поступак погодан је због тога што се у моделирању користи кохезија, густина и дебљина слоја који су представљени бездимензионалним фактором кохезије  $C$  (слика 63). Кохезија доприноси стабилности падине својим силама, као и угао унутрашњег трења  $\varphi$ . Уколико се повећа порни притисак у тлу, фактор сигурности  $F_s$  се смањује (Pack et al., 2005).

У пракси, модел рачуна нагиб терена и коефицијент нивоа подземних вода у свакој тачки координатне мреже (у сваком пикселу растера), претпостављајући да су остали параметри константни или да су константно распоређени на великим површинама. Такође, модел претпоставља да је дебљина тла управна на површину терена и да је константна.



Слика 63. Илустрација бездимензионалног фактора кохезије (према Pack et al., 2005).

### 9.3.2. Индекс влажности терена

Појава параметра специфичног сливног подручја  $\alpha$ , дефинисана је површином слива по јединици дужине подручја [ $\text{m}^2/\text{m}$ ], (слика 64).

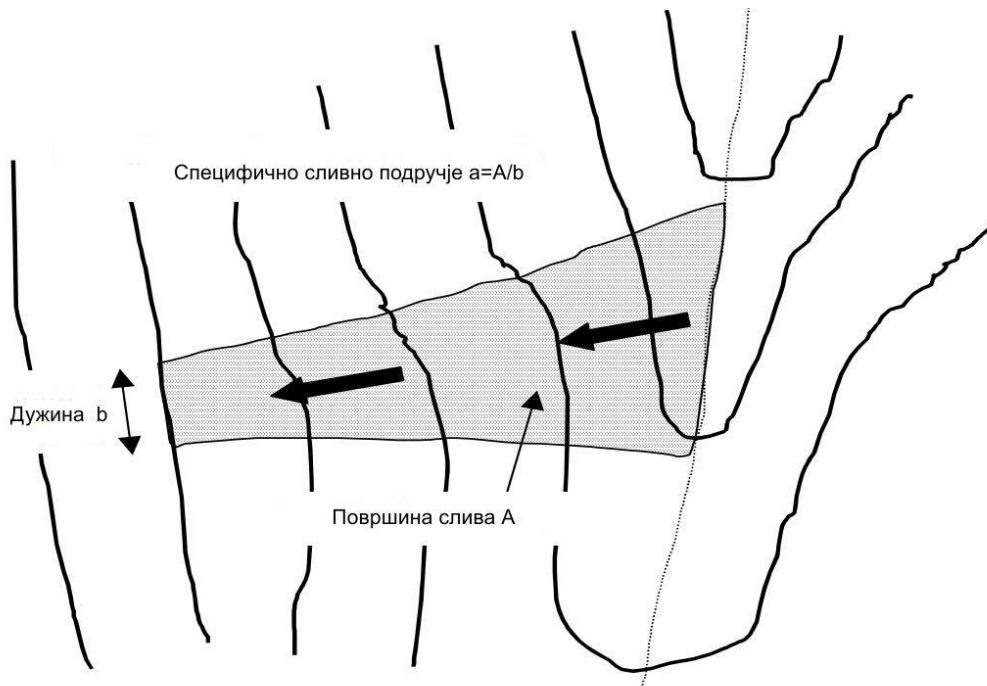
На основу развијеног TOPMODEL-а (Beven&Kirkby, 1979) може се се претпоставити следеће:

- Плитки потповшински ток подземне воде прати нагиб падине  $\theta$ , односно паралелан је са површином терена.
- Бочно пражњење подземне воде је у свакој својој тачки у равнотежи са падавинама, односно сталним прихрањивањем  $R$  [ $\text{m}^2/\text{h}$ ].
- Способност бочног течења у свакој тачки може се изразити као  $T \cdot \sin\theta$ , гдје  $T$  представља пропустљивост тла [ $\text{m}^2/\text{h}$ ].

Прва и друга претпоставка се односе на бочно пражњење  $q$ , које представља дубину по јединици дужине [ $\text{m}^2/\text{h}$ ]:

$$q = R \cdot a \quad (13)$$

Параметар  $R$  дефинисан је као ефективно прихрањивање водом за критични период влажног времена који доводи до активирања клизишта.



Слика 64. Специфично сливно подручје (према Pack et al., 2005).

Трећа претпоставка се разликује од уобичајеног TOPMODEL-а, по томе што се не претпоставља смањење хидрауличке проводљивости са повећањем дубине, него је узета иста проводљивост тла које лежи преко релативно водонепропусне чврсте стијенске масе. Такође, користи се  $\sin \theta$ , а не  $\tan \theta$ , због тога што се дужина течења воде одвија низ падину. На односу ових закључака, релативна влажност  $w$  се може изразити као:

$$w = \text{Min}\left(\frac{R \cdot a}{T \cdot \sin \theta}, 1\right) \quad (14)$$

Релативна влажност  $w$  има горњу границу и она износи 1. Уколико је вриједност релативне влажности  $w$  већа од 1, претпоставља се да тај вишак формира проток воде на површини терена. Сходно формули (14), јединица односа  $R/T$  је  $[m^{-1}]$ , и тај однос одређује влажност у смислу прилива воде у терен, што зависи од способности тла да пропушта примљену воду. Параметар  $R/T$  који се користи при прорачуну, у себи удружује климатске и хидрогеолошке факторе.

### 9.3.3. Индекс стабилности

За дефиницију индекса стабилности неопходно је у формулу бездимензионалног  $F_s$  (9), убацити индекс влажности из формуле (14), при чему се добија сљедећа једначина:

$$F_s = \frac{C + \cos \theta \cdot \left[ 1 - \min\left(\frac{R}{T} \cdot \frac{a}{\sin \theta}, 1\right) \cdot r \right] \cdot \tan \varphi}{\sin \theta} \quad (15)$$

Промјенљиве  $\alpha$  и  $\theta$  представљају параметре добијене са топографије на основу дигиталног елевационог модела терена (DEM), одређене резолуције, док се параметри  $C$ ,  $\varphi$  добијају на основу детаљне анализе литературних података. Параметар  $R/T$  се добија прорачуном, на основу доступних хидрометеоролошких података, док се параметар  $r$ , третира као константна

вриједност која износи 0,50. Непоузданост остала три параметра дефинисана је помоћу доње и горње границе поузданости.

Ако однос  $R/T$  означимо са  $x$ , а  $\tan\theta = t$ , подјела доње и горње границе може бити изражена као:

$$\begin{aligned} C &\sim U(C_1, C_2) \\ x &\sim U(x_1, x_2) \\ t &\sim U(t_1, t_2) \end{aligned} \tag{16}$$

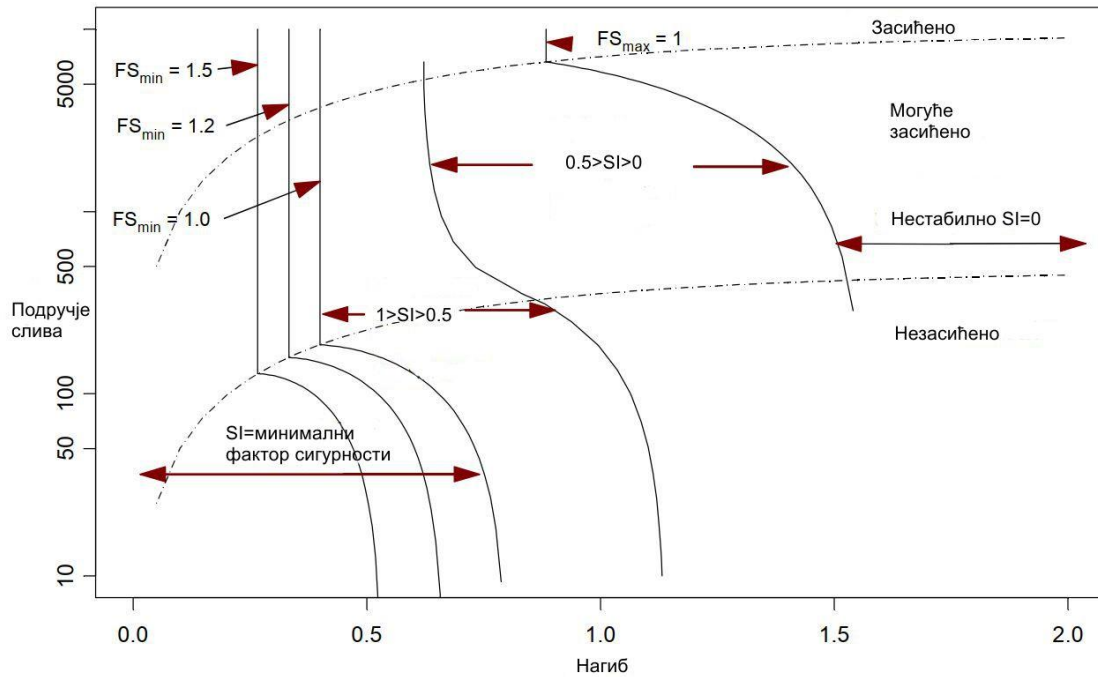
Најмање вриједности  $C$  и  $t$  (тј.  $C_1$  и  $t_1$ ), заједно са највећом вриједношћу  $x$  (тј.  $x_2$ ), дефинишу најгори случај (најконзервативнији) у оквиру претпостављене непоузданости у промјенљивим параметрима. Подручја гдје је у овом најгорем случају  $F_s > 1$  су стабилна и фактор сигурности се изражавао као:

$$SI = F_{s_{\min}} = \frac{C_1 + \cos\theta \cdot \left[ 1 - \min\left(x_2 \cdot \frac{a}{\sin\theta}, 1\right) \cdot r \right] \cdot t_2}{\sin\theta} \tag{17}$$

За подручја гдје је  $F_s < 1$ , постоји могућност лома тла, односно појаве клижења. Најбољи случај је када су  $C = C_2$ ,  $x = x_1$  и  $t = t_2$ , онда је фактор сигурности  $F_s$  једнак:

$$SI = F_{s_{\max}} = \frac{C_2 + \cos\theta \cdot \left[ 1 - \min\left(x_1 \cdot \frac{a}{\sin\theta}, 1\right) \cdot r \right] \cdot t_2}{\sin\theta} \tag{18}$$

На слици 65 приказан је индекс стабилности дефинисан нагибом терена и специфичним подручјем слива.



Слика 65. Индекс стабилности дефинисан нагибом терена и подручјем слива (према Rack et al., 2005).

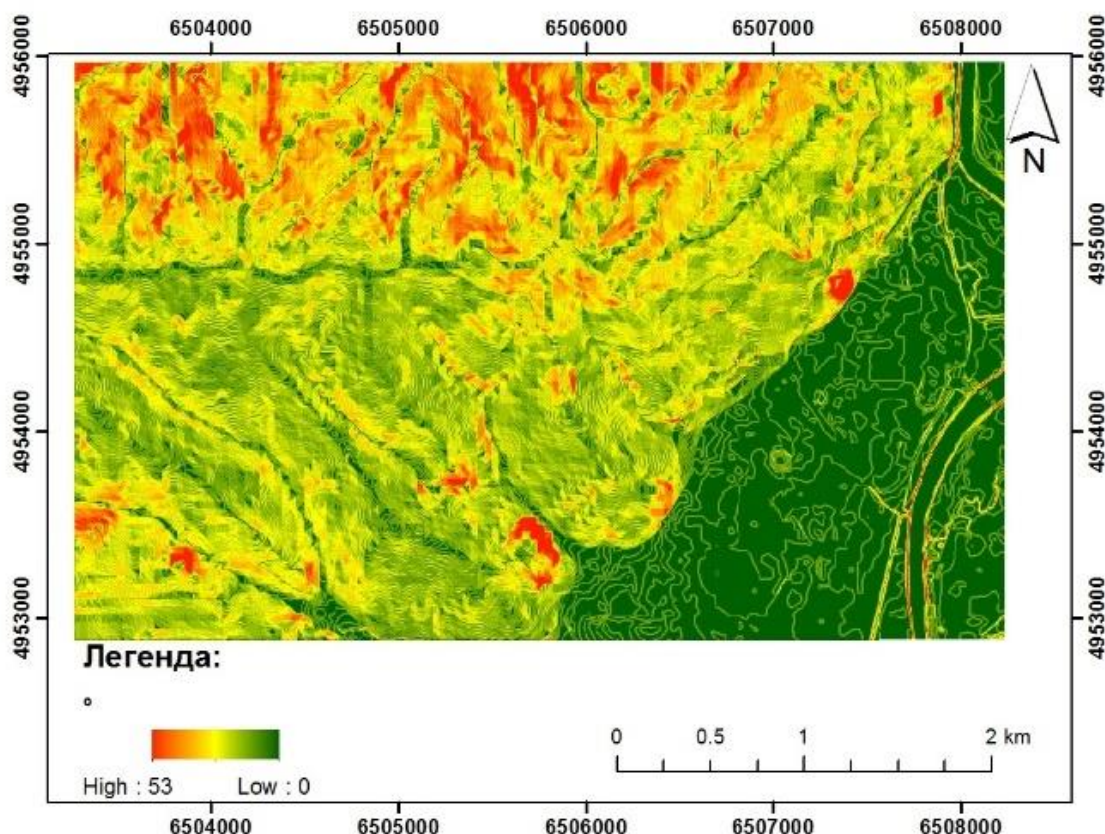
Дакле, ако је  $F_s > 1$ , онда је индекс стабилности  $SI$  једнак фактору сигурности  $F_s$  ( $SI = F_s$ ). Међутим, ако је  $F_s < 1$ , веза није једнозначна већ се  $SI$  разлаже на мање и веће вјероватноће да је мањи од 1. То значи да он може да има и вриједност 0,6 нпр. што значи вјероватноћа да је  $F_s < 1$  износи 0,6, док  $F_s$  никако није 0,6. У суштини најмањи  $F_s$  који се у пракси приказује је 0,9 евентуално 0,8, али је ту већ нарушена стабилност.

#### 9.4. МОДЕЛИРАЊЕ СКЛОНОСТИ ТЕРЕНА КА КЛИЖЕЊУ МЕТОДОМ БЕСКОНАЧНЕ КОСИНЕ - SINMAP

Моделирање склоности терена ка клижењу је извршено у програмском пакету MapWindowGIS који подржава SINMAP (Stability Index Mapping) Plug-Ins екстензију за прорачун индекса стабилности терена. Сви улазни фактори требали су бити у .ASCII формату и морали су бити препројектовани у UTM-34N координатни систем, јер је то захтјев програмског пакета и наравно у резолуцији  $5 \times 5$  m.

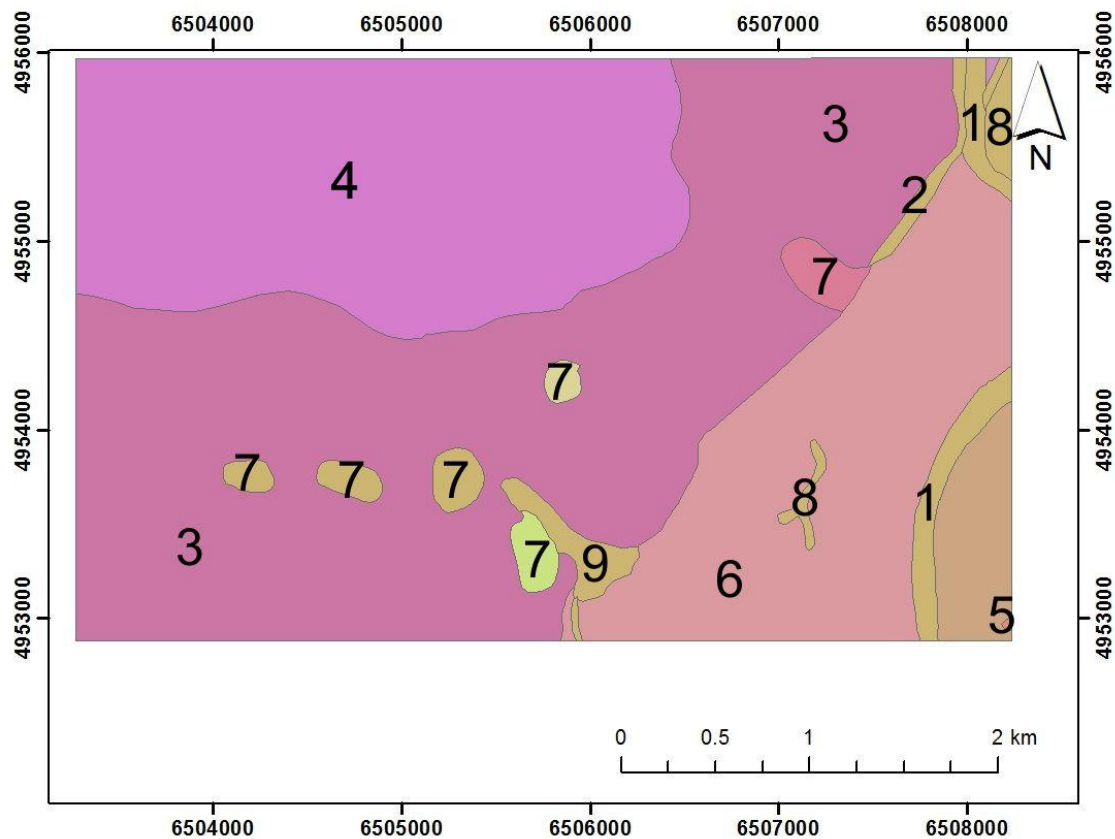
За реализацију моделирања било је неопходно припремити:

- Дигитални елевациони модел (DEM) терена из којег се генерише нагиб терена (слика 66);
- Рејонизацију инжењерскогеолошких јединица (слика 67);
- Катастар регистрованих клизишта (слика 68).



Слика 66. Нагиб површине терена.

Рејонизација инжењерскогеолошких јединица (слика 67, табела 18) вршена је спајањем јединица сличних инжењерскогеолошких својстава, прије свега на основу физичко-механичких својстава, односно параметара чврстоће и коефицијената филтрације, односно водопропусности.



Слика 67. Подјела инжењерскогеолошких јединица према регионима.

Табела 18. Издвојени инжењерскогеолошки региони на истражном простору.

Регион	Инжењерскогеолошке јединице	Ознака
1	Алувијални седименти: пијескови, шљункови и заглињени пијескови	al
2	Алувијално-плавни седименти: алевролити и глине	ap
3	Офиолитски меланж: пјешчари, глинци и рожнаци	J
4	Плочасти и лапоровити кречњаци	K <sub>2</sub>
5	Супијесак, шљунак и глина	Pl <sub>1</sub>
6	Ријечна тераса: шљунак са пијеском и глином	t <sub>1</sub>
7	Дијабази	ββ
8	Седименти напуштеног корита: алеврити и пијескови	am
9	Пролувијум	pr

Као најважнији параметри за рејонизацију узимани су кохезија ( $C$ ), угао унутршњег трења ( $\varphi$ ), запреминска тежина ( $\gamma$ ), као и однос прихрањивања и филтрација воде кроз тло (табела 19).

Табела 19. Вриједности параметара коришћених за моделирање.

Регион	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$\varphi_{\min}$ [°]	$\varphi_{\max}$ [°]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$T/R_{\min}$	$T/R_{\max}$
1	0,00	0,01	25	35	1800	86,40	8640
2	0,00	0,03	22	30	1600	0,09	0,86



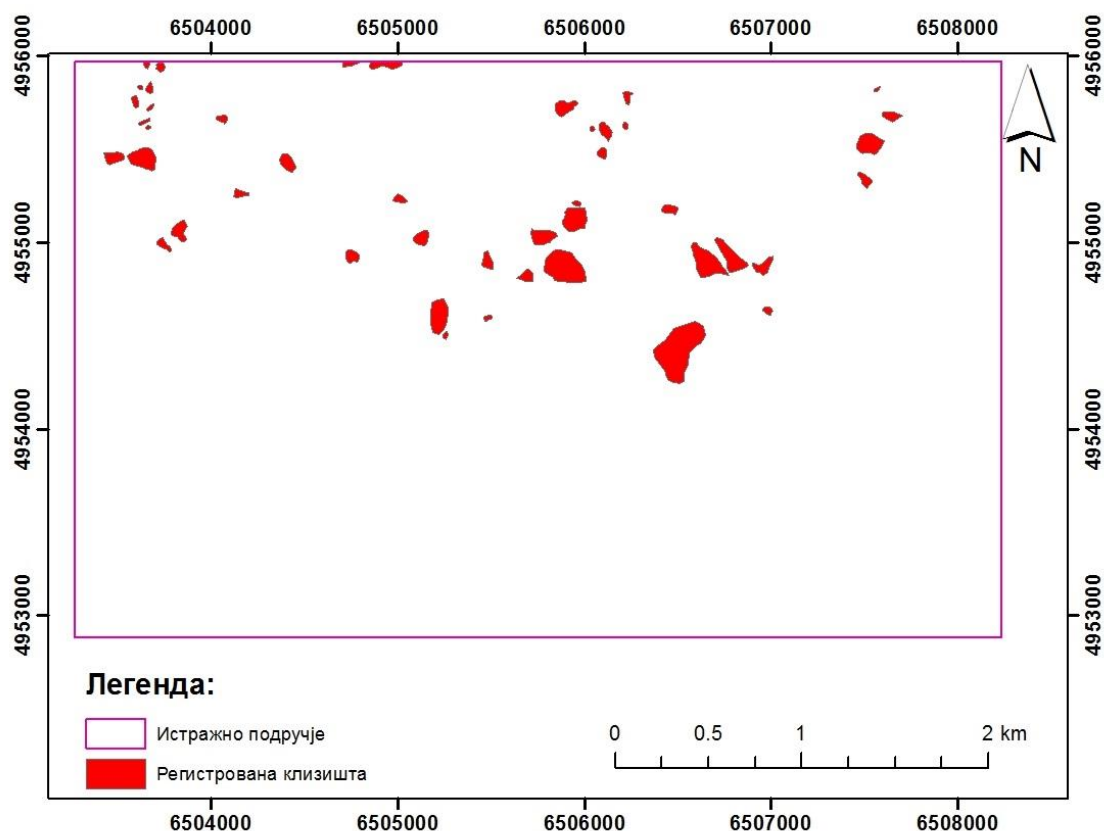
Регион	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$\varphi_{\min}$ [°]	$\varphi_{\max}$ [°]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$T/R_{\min}$	$T/R_{\max}$
3	0,00	0,06	25	45	1900	0,09	0,86
4	0,00	0,03	35	50	2300	8,64	86,40
5	0,00	0,01	24	31	1700	8,64	864
6	0,00	0,01	25	33	1700	86,40	8640
7	0,02	0,08	30	50	2500	0,09	0,86
8	0,00	0,01	23	30	1600	0,86	86,40
9	0,00	0,01	21	27	1800	0,86	8,64

Сви наведени параметри, сем запреминске тежине ( $\gamma$ ), дати су у минималном и максималном односу због смањења утицаја непоузданости параметара.

С обзиром на доступност великог броја геотехничких елабората са сусједних локалитета који се налазе у Архиву Геолошког завода Републике Српске, са релативно великом поузданошћу одређене су вријдности кохезије ( $C$ ), угла унутрашњег трења ( $\varphi$ ) и запреминске тежине ( $\gamma$ ), али и коефицијента филтрације ( $k_f$ ) потребног за одређивање односа  $T/R$ . За одређивање односа  $T/R$  као референтне вријдности узимани су и подаци о падавинама из маја 2014. године.

Према подацима добијеним из Хидрометеоролошког завода Републике Српске за моделирање су узете максималне дневне падавине од 100 mm (<https://rhmzrs.com/meteorologija/mjesečne-sinoptičke-analize/>).

Што се тиче података о клизиштима на истражном простору је регистровано 45 појединачних појава (слика 68). С обзиром да су сви били у полигонском облику, за моделирање у MapWindowGIS-у било је потребно извршити конверзију у тачкасти облик, тако што је за сваки полигон срачунат центроид, тј. тачка тежишта полигона. MapWindowGIS, тј. SINMAP прихвата само тачкасти унос података о клизиштима, што се може окарактерисати као недостатак.



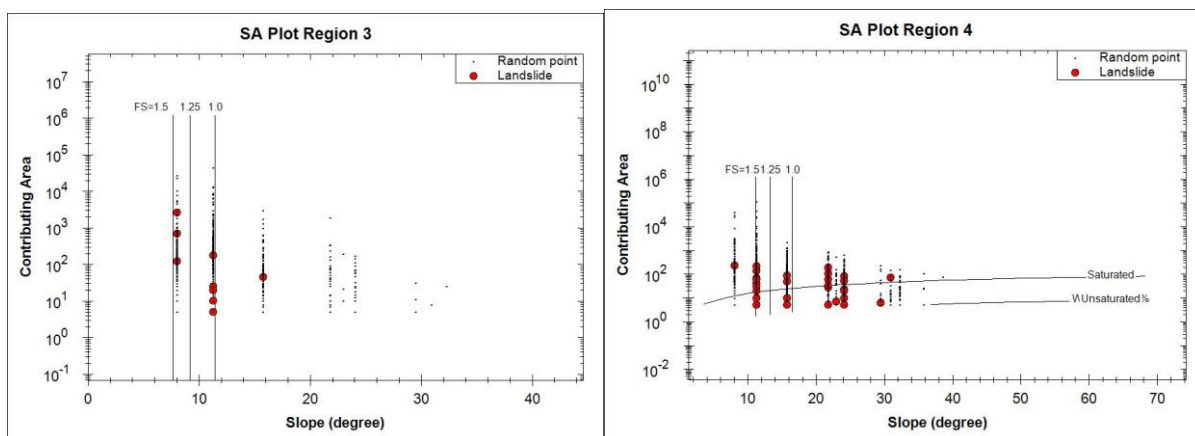
Слика 68. Просторни распоред регистрованих клизишта.



### 9.4.1. Анализа добијених резулата

Веома важан корак у спровођењу саме анализе јесте калибрација модела, односно подешавање опсега вриједности улазних параметара док се не добије жељени модел који представља прави одраз стања на терену.

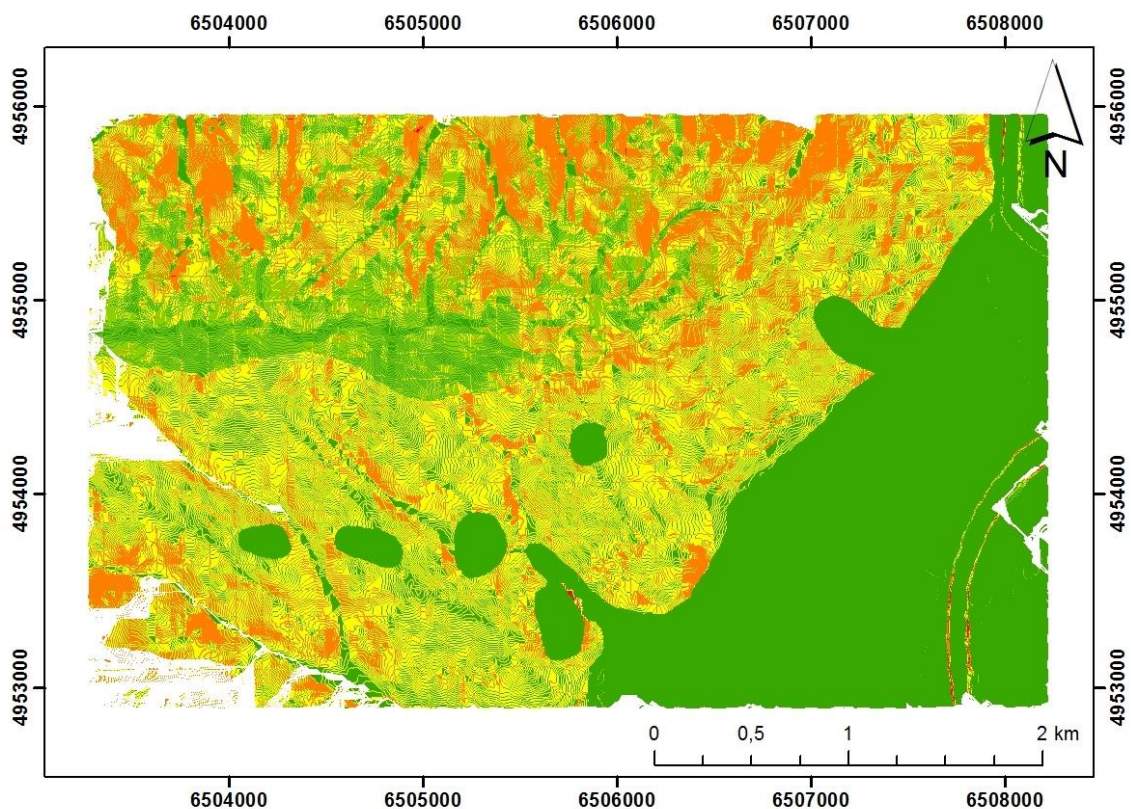
Као помоћ у калибрацији софтвер може да генерише и тзв. SA (*Slope-Area*) плотове за сваки издвојени регион, односно издвојену инжењерскогеолошку јединицу. Суштина је да се параметри калибришу тако да клизишта (црвене тачке) у плотовима буду што више у нестабилном дијелу ( $SI < 1,00$ ). Дијаграми приказани на слици 69, представљају регионе гдје је регистровано највише клизишта, те је у њима било најтеже калибрисати улазне параметре односно сам модел. Такође, отежавајућа околност било је то што се сами улазни параметри за сваки од региона односе на чврсте и неопштећене стијенске масе, а код ових је изражена веома дебела кора површинског распадања, која је и пресудна за формирање клизишта.



Слика 69. SA дијаграми са регионе 3 (офиолитски меланж) и 4 (плочасти и лапоровити кречњаци).

Након уноса свих тражених, горе наведених улазних параметара добијен је модел подијељен у 5 категорија према индексу стабилности SI, чија се вриједност креће од 0,00 до  $>1,50$  (слика 69). Модел – карта суштински представља карту склоности терена ка клижењу, гдје вриједности индекса стабилности  $SI > 1,00$  указују на одређену стабилност терена, док вриједности  $SI < 1,00$  говоре о присутној нестабилности (слика 70).

На слици 71 дата је процентуална заступљеност одређених класа стабилност на истражном простору. Студијом која је у 2016. години рађена на нешто ширем простору, ово подручје је великим својим дијелом издвојено као веома склоно ка процесу клижења. С обзиром да је овим детерминистичким приступом само 18% терена нестабилно, односно склоно ка клижењу, евидентан је напредак у прецизности и тачности у односу на стари конзервативни модел рађен хеуристичким методама, приказан на слици 59.

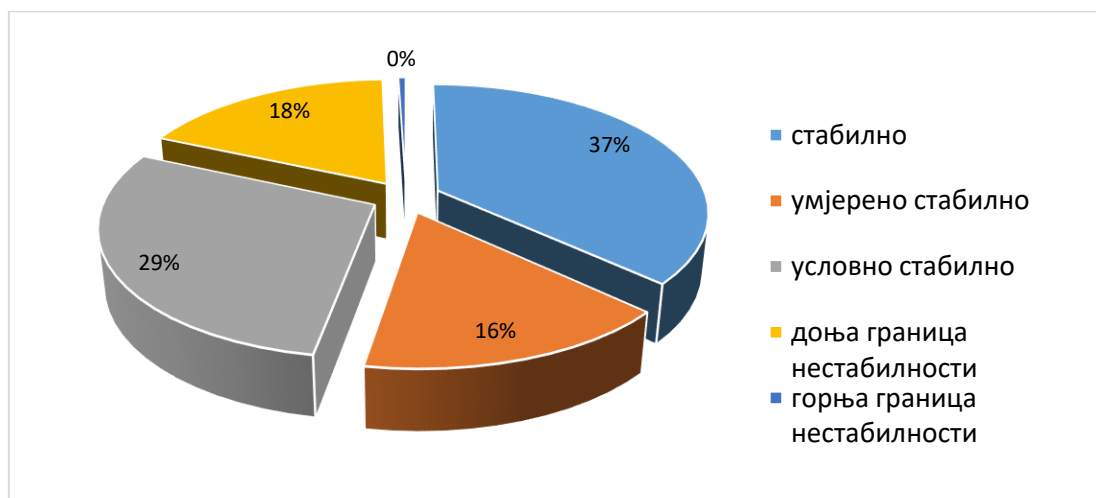


**Легенда:**

**Индекс стабилности SI**

- Стабилно SI > 1,50
- Умјерено стабилно 1,25 < SI ≤ 1,50
- Условно стабилно 1,00 < SI ≤ 1,25
- Доња граница нестабилности 0,50 < SI ≤ 1,00
- Горња граница нестабилности 0,00 < SI ≤ 0,50

Слика 70. Карта склоности ка клижењу према SI.



Слика 71. Процентуална заступљеност класа стабилности.

## 9.4.2. Верификација модела склоности на детаљном нивоу

Поред визуелне анализе рађене преклапањем са регистрованим клизиштима (слика 72), гдје се може видјети веома добра избалансираност и велико поклапање добијеног модела и теренски регистрованих клизишта, вршена је и квантитативна верификација модела, односно неки нумерички показатељ.

Као најподеснији метод, у овом случају примјењена је матрица контингенције (*Confusion Matrix или Contingency Table*), која приказује различите облике погодака и грешака у моделирању и класификацији (Fawcet, 2005; Марјановић, 2013). У табелама 20. и 21. приказане су информације о стварним нестабилностима (*True Positives - TP*), стварним стабилностима (*True Negatives - TN*), погрешним стабилностима (*False Negatives - FN*) и погрешним нестабилностима (*False Positives - FP*). Тачност (Accuracy) је процијенили као однос између правилно и неправилно класификованих случајева клижења и износи 0.96827, што је задовољавајуће.

Табела 20. Матрица контингенције истражног подручја.

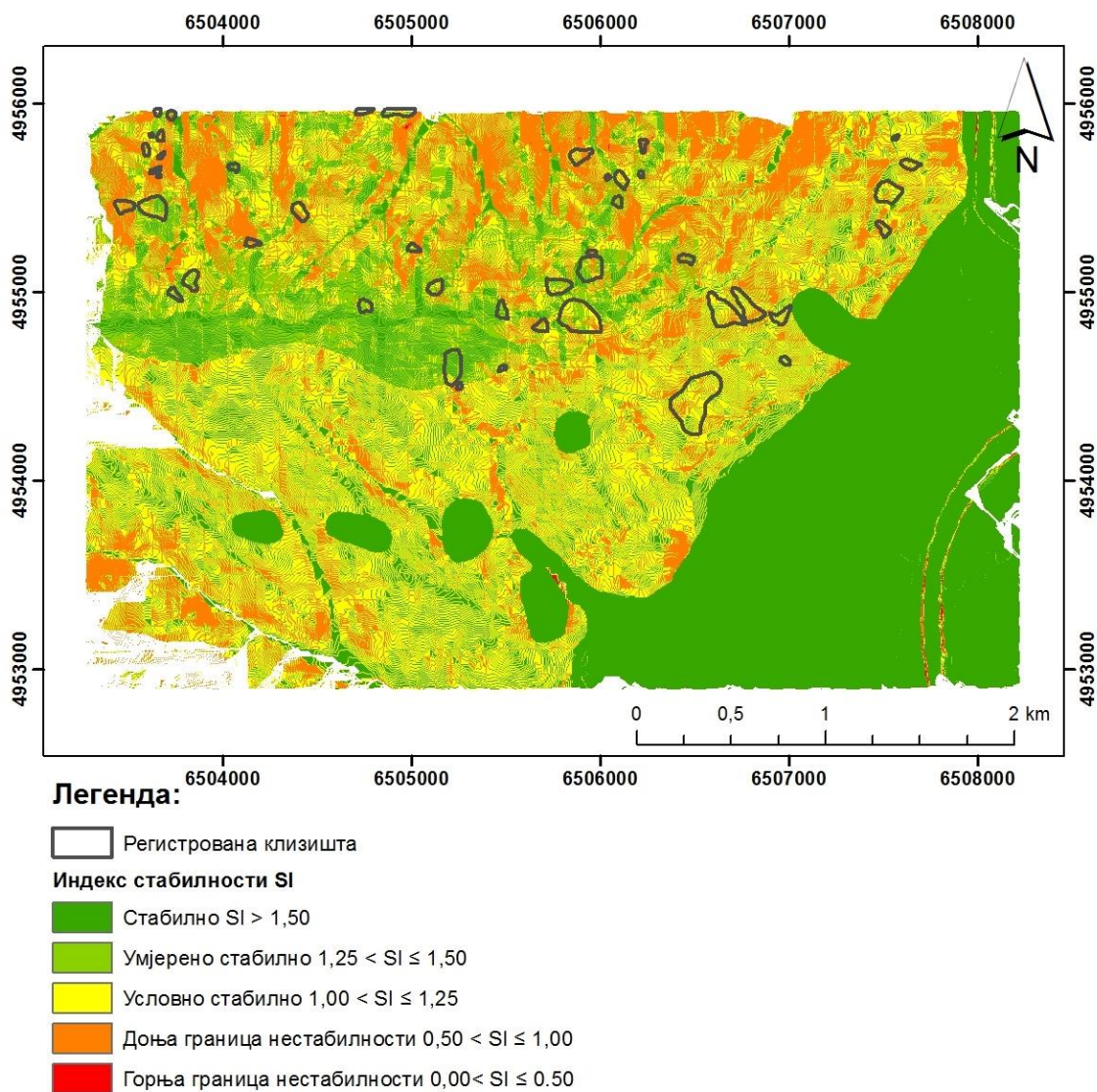
VALUE	SI MODEL	KLIZISTA MODEL	
MODEL_0	TN=498750	FN=8213	NEGATIVE
MODEL 1	FP=104263	TP=2448	POSITIVE

Табела 21. Показатељи тачности модела у односу на катастар клизишта.

Показатељ	Формула	Резултат
Стопа лажних позитива	$FPR=FP/N=FP/(FP+TN)$	0,17290
Стопа лажних негатива	$FNR=FN/P=FN/(TP+FN)$	0,77038
Осјетљивост	$TPR=TP/P=TP/(TP+TN)$	0,22962
Специфичност	$SPC=TN/N=TN/(FP+TN)$	0,82710
Тачност	$ACC=(TP+TN)/(P+N)$	0,96827

Као најважнији показатељи, поред тачности ACC која је на задовољавајућем нивоу, јесу стопа лажних позитива FPR и стопа лажних негатива FNR, које указују да је модел и даље донекле конзервативан. То је донекле је разумљиво јер су за прорачун у SINMAP-у коришћени тачкасти подаци о клизиштима, док су за матрицу контингенције узимани полигонски облици.

На основу свега наведеног, може се закључити да је добијени модел стабилности (склоности) са коришћеним улазним параметрима и размјером детаљности, задовољавајући, те да се може користити у даљој анализи за процјену ризика на истражном подручју.



Слика 72. Визуелна верификација добијеног модела.

## 9.5. ПРОЦЈЕНА УГРОЖЕНОСТИ ЕЛЕМЕНАТА РИЗИКА

Ријеч „уроженост“ долази од латинског глагола „*vulnerare*“, и у општем смислу означава изложеност физичкој или моралној штети. (Alexander, 2004). Упркос томе, угроженост од клизишта је једна од најчешћих компоненти природних хазарда на нашим просторима јер су људи и материјална добра често погођени овим процесима.

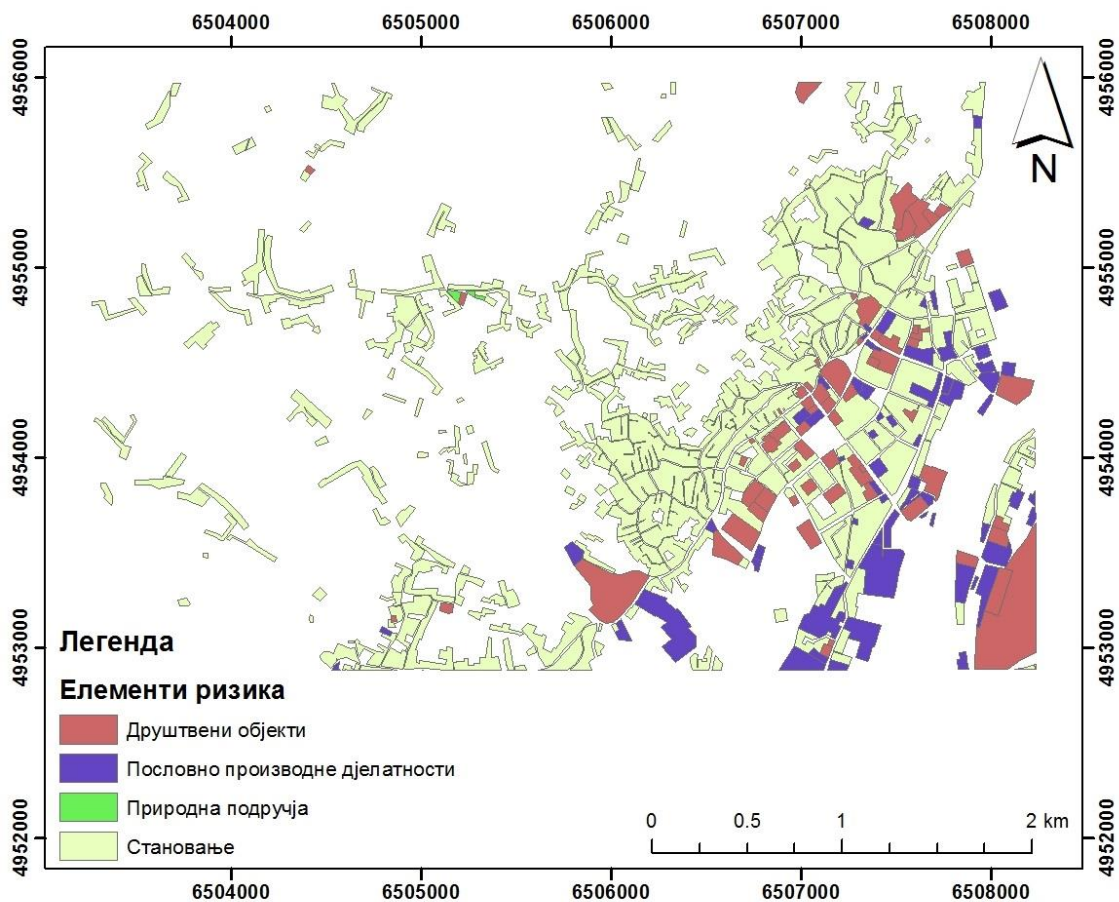
Да би се уопште дефинисала угроженост, потребно је имати доста детаљну базу података о елементима у ризику, засновану, прије свега на објектима становања у полигонском облику.

За потребе израде ове процјене, коришћена је база података са елементима ризика израђена за потребе израде „Процјене ризика од поплава и клизишта за урбана подручја Тузле и Добоја“ (UNDP, 2016).

Поред категорија дефинисаних на слици 73, у складу са методологијама за урбанистичко планирање у размјери 1:5000, са акцентом на сектор становања, дефинисане су додатне подкатегије елемената ризика (слика 74). Сви дефинисани подаци су унесени у атрибутне табеле у GIS формату, чиме је омогућена додатна манипулација са подацима у даљим корацима процјене (табела 22).



Подаци о становништву су усклађени са посљедњим пописом становништва, за сваки блок понаособ у оквиру сектора становања јер је у том случају тај број не неки начин статички одређен. С обзиром да подаци о становништву за друштвене и пословно – производне објекте нису константа, они нису били одређени и унесени у базу података.



Слика 73. Основне категорије елемената ризика.

Табела 22. Дефинисане категорије и подкатегије елемената ризика.

Категорија	Подкатегија
Друштвени објекти	Аутобуска станица
	Жељезничка станица
	Болница
	Дом културе
	Дом здравља
	Пошта
	Школа
	Социјална заштита
	Трговачки центар
	Вјерски објекти
	Војни објекти
	Вртић
	Зграде државних интитуција
Пословно-производне дјелатности	Бензинска станица
	Електрана
	Фабрика

Категорија	Подкатегија
	Хотел/мотел
	Комунално предузеће
	Пословно-складишни центри
	Угоститељски објекти
	Ветеринарске станице
Природна подручја	Јавно зеленило
Становање	Индивудуално становање, густина до 60 ст./ха
	Индивудуално становање од 60-120 ст./ха
	Мјешовито становање, густина од 100-300 ст./ха
	Вишепородично становање, густина преко 300 ст./ха
	Вишепородично становање, густина од 150-300 ст./ха

LAYER	Hectares	kategorija	podkategor	br bloka	br bloka 1	ind stan	odnos dom	prosi dom	br dom	br stanovn	visep sta
st_visep_preko_300	0.491934	stanovanje	visep. stanovanje gustina preko 300 st/ha	70	70	0	0.7496	2.8375	43.4768	123.36542	58
st_ind_60-120	0.880595	stanovanje	indiv. stanovanje gustina od 60-120 st/ha	72	72	0	0.7496	2.8375	43.4768	123.36542	58
st_ind_do_60	4.662327	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	4	4	56	0.7496	2.8375	41.9776	119.11144	0
st_visep_preko_300	0.206672	stanovanje	visep. stanovanje gustina preko 300 st/ha	298	298	0	0.7496	2.8375	40.4784	114.85746	54
st_ind_do_60	3.474226	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	7	7	51	0.7496	2.8375	38.2296	108.47649	0
st_visep_200-300	0.35854	stanovanje	visep. stanovanje gust. od 150 do 300 st/ha	19	19	4	0.7496	2.8375	35.9808	102.09552	48
st_ind_do_60	2.538414	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	17	17	47	0.7496	2.8375	35.2312	99.96853	0
st_ind_do_60	2.186294	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	4	4	47	0.7496	2.8375	35.2312	99.96853	0
st_ind_do_60	2.029773	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	13	13	47	0.7496	2.8375	35.2312	99.96853	0
st_visep_preko_300	0.230536	stanovanje	visep. stanovanje gustina preko 300 st/ha	23	23	1	0.7496	2.8375	34.4816	97.84154	46
st_ind_do_60	3.214304	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	66	66	44	0.7523	2.939	33.1012	97.284427	0
st_ind_do_60	2.844733	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	12	12	44	0.7496	2.8375	32.9824	93.58756	0
st_ind_do_60	2.204077	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	9	9	43	0.7496	2.8375	32.2328	91.46057	0
st_visep_preko_300	0.962485	stanovanje	visep. stanovanje gustina preko 300 st/ha	21	21	8	0.7496	2.8375	31.4832	89.33358	42
st_ind_do_60	3.049528	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	44	44	37	0.7523	2.939	27.8351	81.807359	0
st_ind_do_60	1.724903	stanovanje	indiv. stanovanje gustina do 60 st/ha	17	17	37	0.7496	2.8375	27.7352	78.69863	0

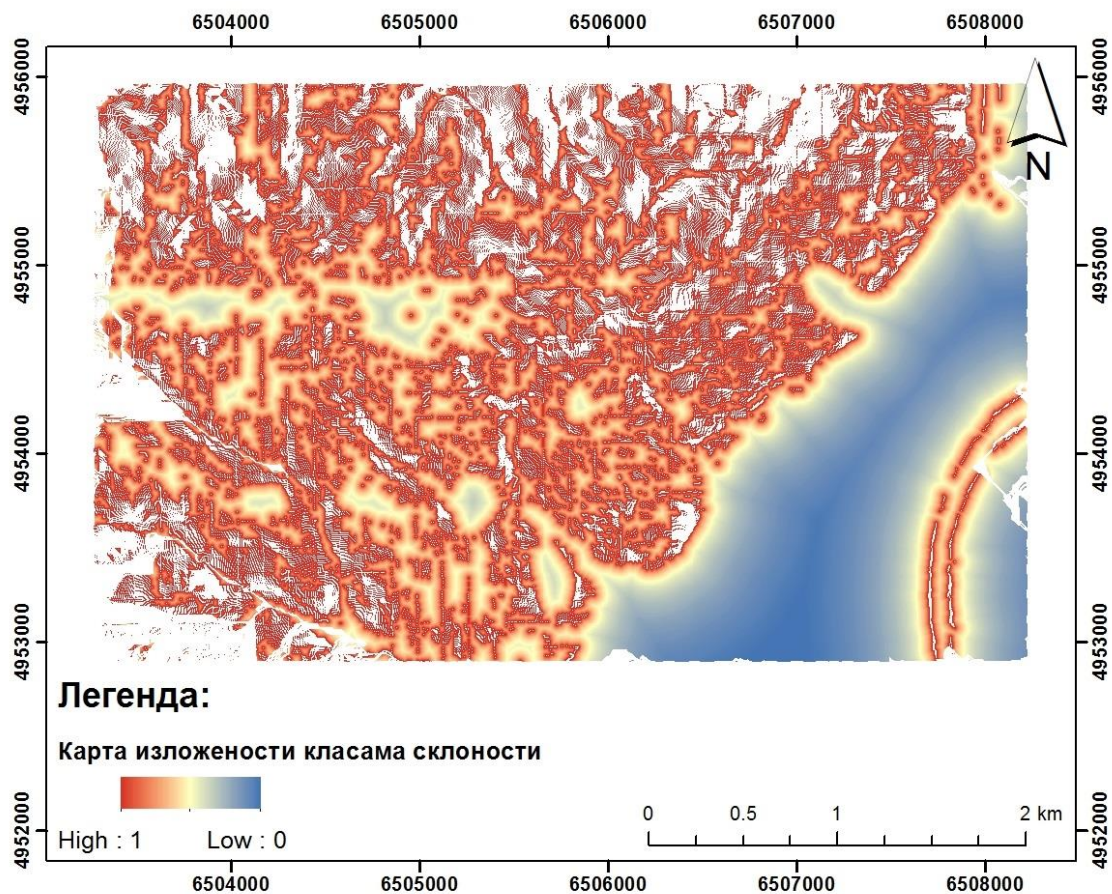
Слика 74. Атрибутна табела са подацима о елементима ризика на истражном подручју.

Након дефинисања класа склоности, у овом случају индекса стабилности (слика 70), својство које је слjedeће требало дефинисати била је изложеност елемената ризика класама склоности. Ту се прије свега односи на класу висока и веома висока склоност (индекс стабилности  $SI < 1.00$ ), док остале класе нису од превеликог значаја за даљи прорачун ризика. Изложеност у ствари представља удаљеност елемената ризика од високе и веома високе класе склоности.

За добијање карте изложености (слика 75), било је потребно неколико међу корака, почевши од издвајања и рекласификације класа склоности, претварања растера у векторски - полигонски облик, па све до поновне конверзије у растерски нормализован облик на вриједности од 0 – 1.

Даљи кораци у процјени ризика од клизишта подразумијевају укључивање катастра елемената под ризиком у саму анализу, односно дефинисање њихове угрожености. С обзиром да смо имали податке о броју становника по блоковима, само за елементе ризика из категорије „становање“, (слика 73), било је могуће дефинисати само тзв. општи социјални или колективни ризик (Аболмасов, 2016). Остале категорије ризика није било могуће дефинисати усљед непотпуног катастра елемената ризика.

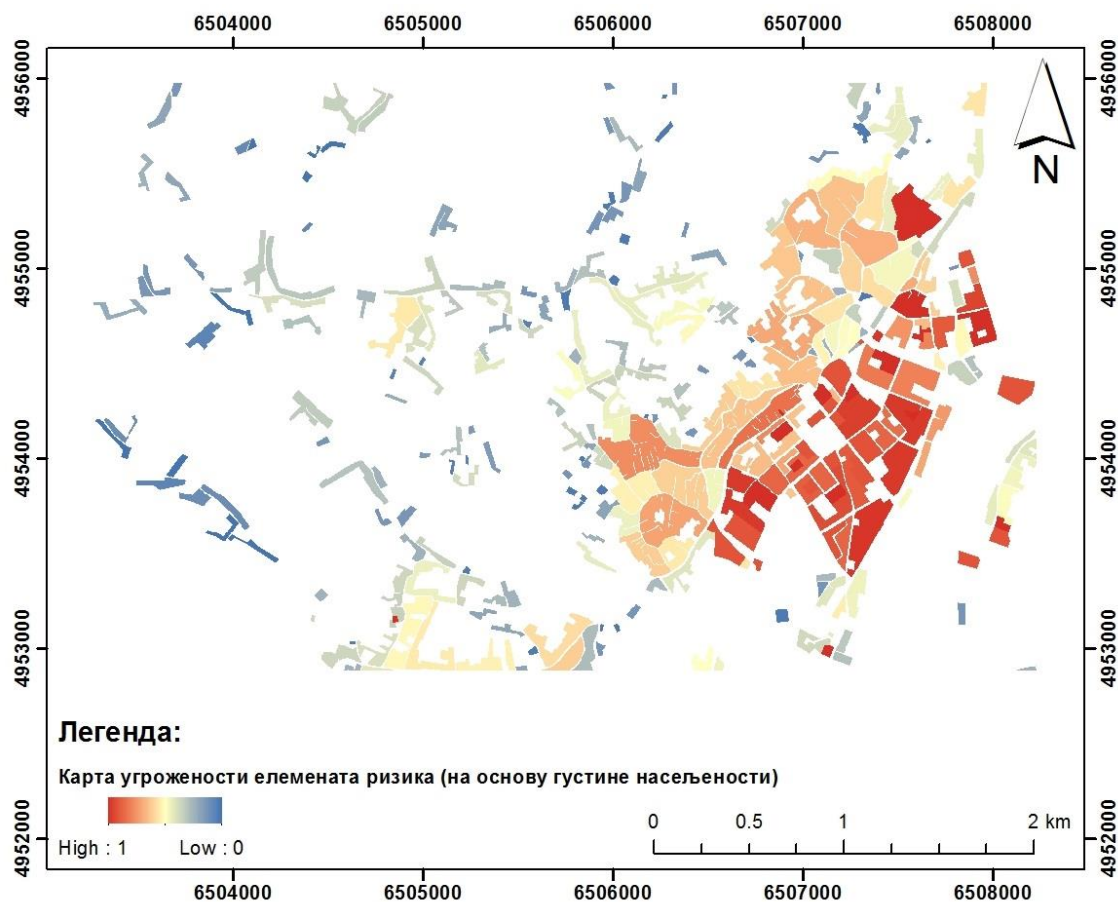




Слика 75. Карта изложености елемената ризика на истражном подручју.

Карта угрожености елемената ризика (слика 76), дефинисана је на основу густине насељености за сваки од блокова. Густина насељености представља однос број становника сваког блока и површине блока. Добијени подаци о густини насељености су нормализовани на вриједности од 0 – 1 и на тај начин изражени квантитативно.

Пошто подаци о броју становника по блоковима за друштвене објекте (болнице, школе, вртиће, институције) нису били унесени у катастар елемената ризика, сматрајући да је то од изузетног значаја у самој процјени ризика, вјештачки су додатне вриједности о њиховој угрожености. Водећи се принципом да нпр. болница треба да има максималну угроженост јер се у њој углавном налази константан број људи (а неки од њих имају и ограничену покретљивост), вјештачки је унесена вриједност 1 за угроженост. Школе и вртићи имају нешто мању угроженост, те им је дата вриједност 0,9, дом културе 0,80, институцијама и трговачким центрима 0,50 итд.

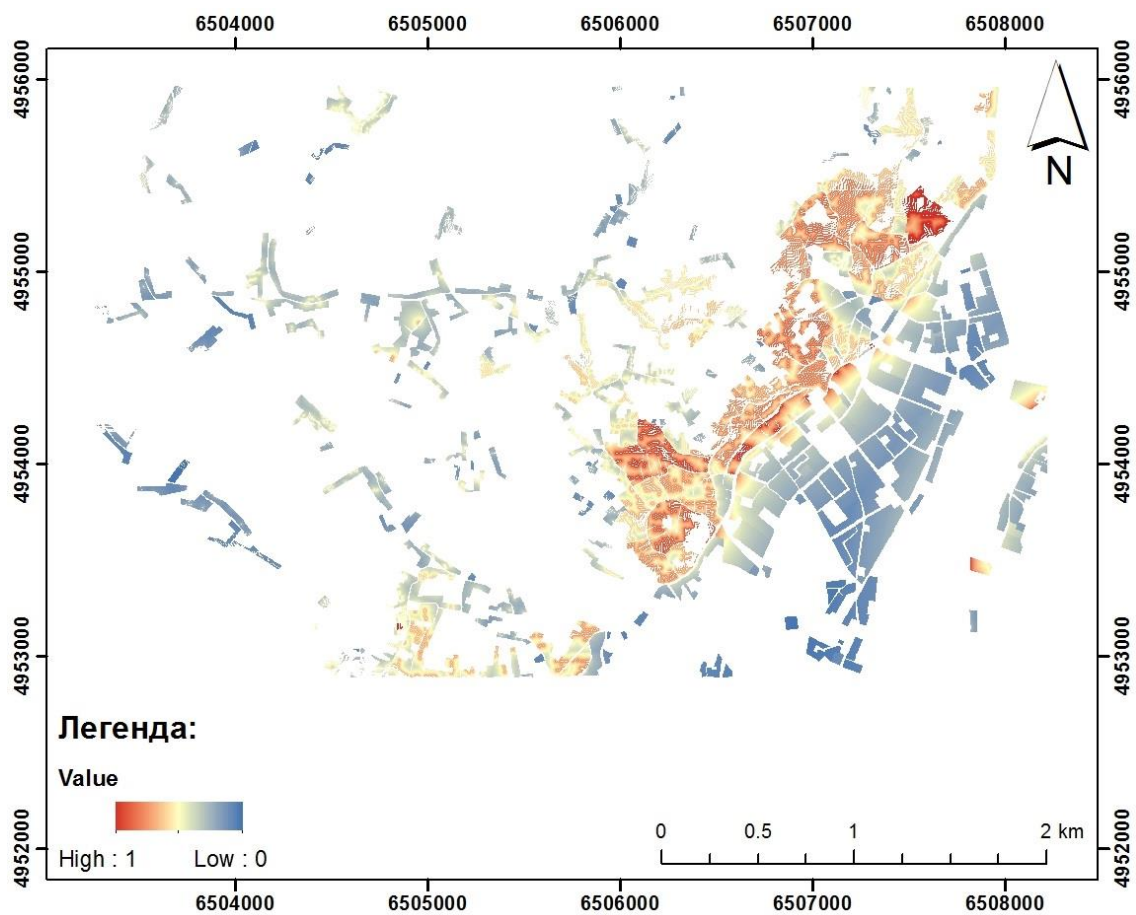


Слика 76. Карта угрожености елемената ризика на основу густине насељености.

## 9.6. ПРОЦЈЕНА РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА

Коначна карта ризика која је резултат процјене на детаљном нивоу добијена је суперпонирањем процјене склоности (квази-хазарда), изложености и угрожености елемената ризика. Теоријски приступ овој проблематици приказан је у поглављу 3. ове дисертације.

Цјелукупан процес процјене ризика рађен је у GIS окружењу, гдје су први резултати добијени у облику засебних вриједности ризика за сваки пиксел (слика 77). Ипак, било је потребно представити ризик за сваки од стамбених блокова, те су вриједности ризика осредњене по блоковима и добијена је коначна карта ризика од клизишта (слика 78).

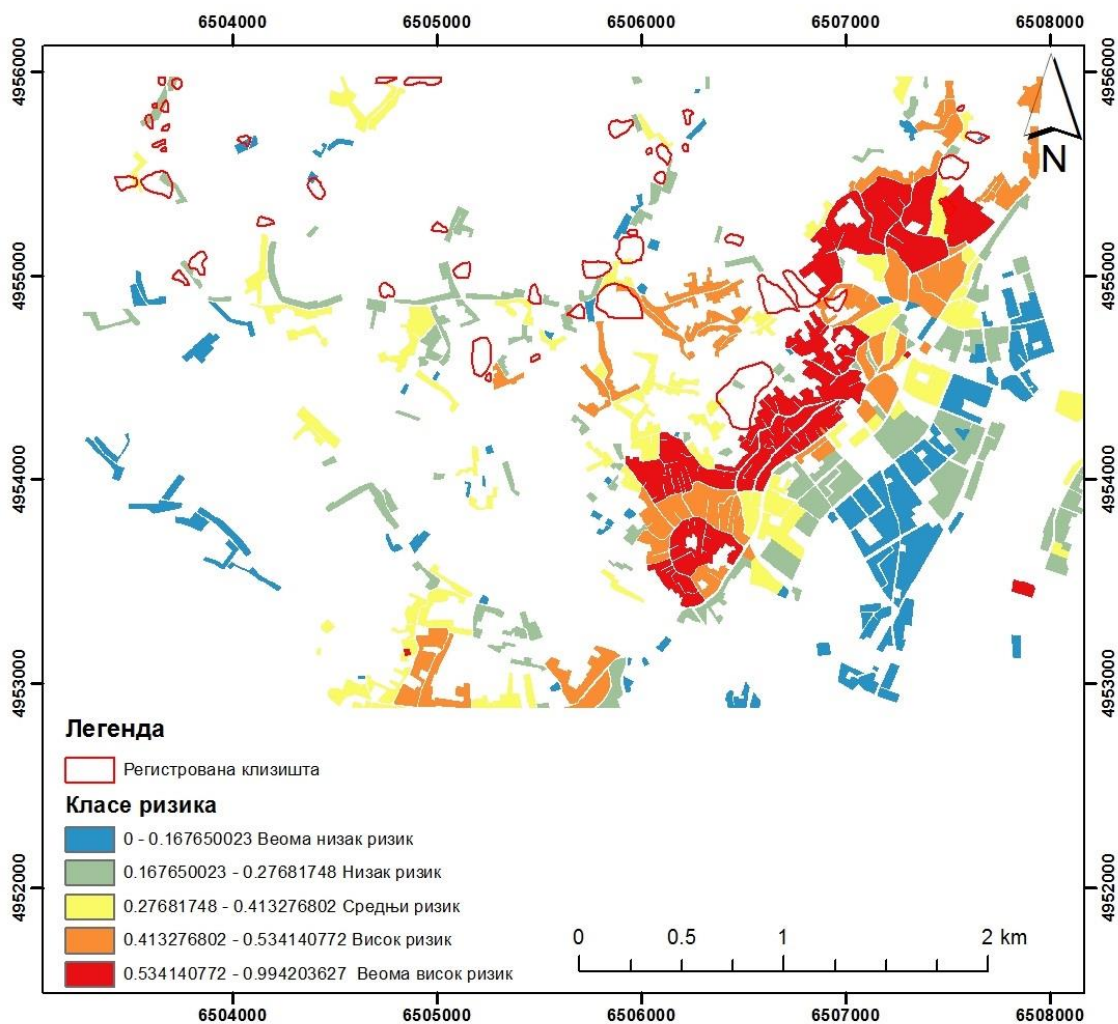


Слика 77. Карта ризика од клизишта са вриједностима по пикселу.

На основу спроведене процјене може се закључити да је 6,26 % територије истражног подручја под високим ризиком од клизишта. Такође, 3460 становника је под високим ризиком од клизишта, што представља око 13% популације која живи на овом подручју (табела 23).

Табела 23. Резултати процјене ризика.

	Површина (km <sup>2</sup> )	Број становника
Истражно подручје	15,33	26799
Под високим ризиком	0,96	3460
Процент (%)	<b>6,26</b>	<b>12,90</b>



Слика 78. Карта ризика од клизишта осредњена по стамбеним блоковима (социјални ризик).

## 10. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПРОЦЕСА УПРАВЉАЊА РИЗИЦИМА ОД КЛИЗИШТА

Процјене хазарда и ризика као подлоге у просторном планирању увијек су зависне од нивоа планирања, а самим тим и величином истражног подручја и нивоом детаљности.

Процјена хазарда и ризика од клизишта, на нивоу просторног планирања треба прије свега да укаже на како на појединачне тако и на просторне цјелине у којима је процес клижења доминантан а самим тим и ограничавајући фактор коришћења простора (Аболмасов, 2007).

На тај начин биће могуће издвојити просторне цјелине које ће планским документима нижег реда бити адекватно третиране на основу чега ће се детаљније дефинисати њихове могућности али и ограничења.

Област просторног планирања у Републици Српској дефинисана је „Законом о уређењу простора и грађењу“ (Службени гласник РС бр. 40/13, 106/15, 3/16).

Према том Закону, просторно планирање је саставни дио јединственог система планирања и програмирања развоја и представља обавезну и континуирану дјелатност Републике Српске и свих јединица локалне самоуправе, а обухвата сталан и мултидисциплинаран процес који се врши на основу изучавања природних, демографских, економских, социјалних, техничких и других услова којима се обезбјеђује функционална организација и коришћење простора,



добра, ресурса и др. Документима просторног уређења одређује се организација и намјена и начин коришћења и управљања простором, те критеријуми за уређење и заштиту.

Такође, пошто се овдје ради о геолошком хазарду, проблематика је повезана за „Законом о геолошким истраживањима“ (Службени гласник РС бр. 64/22).

Према Закону о геолошким истраживањима, она се дијеле на основна и детаљна, при чему се основна требају изводити за потребе просторних планова, док се детаљна изводе за потребе просторних, али и урбанистичких планова детљанијег типа.

Треба истаћи да је у законодавном смислу учињено и доношење једног подзаконског акта „Правилника о начину успостављања и вођења катастра клизишта“ (Службени гласник РС бр. 113/22), који представља први корак у третирању, односно препознавању клизишта као значајног феномена који треба и адекватно законски третирати. Ефекти овог правилника још увијек нису мјерљиви, али сматра се да ће они значајно допринијети цјелокупној борби, прије свега превенцији, али и самом управљању ризицима од клизишта.

Прије свега ефекти информација из катастра клизишта, требају бити видљиви приликом израде просторно-планских докумената, кроз реалну могућност за израду адекватних процјена склоности терена ка клижењу, чиме се плански али и најдјелотворније превенира односно избјегава негативан утицај од активирања клизишта.

Савремени концепт управљања ризицима од клизишта заснива такође и на дефинисању потребног нивоа прихватљивог ризика, да би га у сљедећим корацима било могуће спријечити системима превентивних и организационих мјера, или га држати под контролом кроз примјену структурних и неструктурних мјера.

## **10.1. АНАЛИЗА ТРЕНУТНОГ СТАЊА**

Што се тиче тренутног стања и значаја и улоге процјена хазарда и ризика од клизишта у просторно планским документима, може се примјетити итекако одсуство истих.

Приликом самог увида у Просторни план Републике Српске до 2025. године, као основна ствар може се уочити изостављање и недостатак дипломираних инжењера геологије у његовој изради. Према важећем, горе наведеном Закону о просторном уређењу и грађењу не постоји као обавеза носиоцу израде, ангажовање стручњака геолошке области у изради планских докумената овог нивоа.

Самим тим није могуће ни очекивати правилно третирање како клизишта, тако и других природних хазарда у овом стратешком просторно – планском документу. На неколико мјеста се спорадично помињу природне непогоде. Акцент се прије свега даје поплавама, сушама и земљотресима.

Све то се може окарактерисати као недостатак па тако да геолошки дио као значајан, веома често ограничавајући фактор коришћења простора и не може имати значајно мјесто и улогу.

Просторни план града Зворника суштински је усклађен са просторним планом вишег нивоа, односно Просторним планом Републике Српске. Могуће је констатовати исти третман и одсуство процјена хазарда и ризика од клизишта, с тим што је евидентно присуство инжењера геологије у израду планског документа. План садржи све Законом прописане геолошке и инжењерскогеолошке подлоге, али уз одсуство адекватних података о регистрованим клизиштима, уз неколико спорадичних обрађених случајева на појединачним локалитетима.

Град Добој нема израђен Просторни план. Просторна планска рјешења се доносе у складу са старим просторним плановима и у складу са одлукама надлежних градских структура.

Након доношења „Правилника о начину успостављања и вођења катастра клизишта“ (Службени гласник РС бр. 113/22) почеле су активности којима се локалне заједнице, прије свега запослени у надлежним одјељењима упознају са проблематиком, начином регистровања клизишта прописаним Правилником, те се очекују помаци у смислу добијања конкретнијих и тачнијих информација о просторном распореду клизишта у свакој локалној заједници. Овим

правилном они су у обавези да информације о клизиштима достављају Геолошком заводу који одржава и води базу података – катастар клизишта за територију цијеле Републике Српске.

## **10.2. МОГУЋНОСТИ УПОТРЕБЕ ПРОЦЈЕНА ХАЗАРДА И РИЗИКА**

С обзиром на простор на којем се ради процјена, тј. ниво планирања простора, процјена хазарда и ризика треба да има сљедеће циљеве:

- Дефинисање величине и степена хазарда који својим дјеловањем лимитирају постављене циљеве коришћења простора;
- Издвајање зона који имају ограничења у коришћењу и планирању простора, у зависности од нивоа планирања (нпр. склоност ка клижењу, хазард, ризик);
- Адекватне препоруке за рационално превазилажење ограничења кроз прије свега детаљнија истраживања, посебно у вишим нивоима планирања (нпр. урбанистичко планирање).

Према (Fell, et al., 2008), карте са процјенама склоности, хазарда и ризика од клизишта могу се користити за различите намјене и бити:

- информативне,
- савјетодавне,
- законске и пројекте.

По том принципу у наредном тексту дата је анализа резултата процјена рађених у овој дисертацији и њихова веза и могућности унапријеђања просторно планских докумената.

### **Информативни**

Процјене рађене на државном (националном нивоу), а у овом случају процјена на ентитетском нивоу Републике Српске у размјери 1:100.000, треба се користити као информативан преглед подручја са различитим степеном склоности ка развоју процеса клижења. Прије свега, процјена треба бити информативна и разумљива за доносиоце одлука из области планирања простора, заштите и спасавања, али и заштите животне средине. Може се користити и за потребе израде разних акционих планова, као што је нпр. план система упозорења који је неопходан на нивоу државе, ентитета или веће области.

### **Савјетодавни**

Процјене на локалном нивоу (размјере 1:25.000), у овом случају процјена за ниво Града Зворника, треба да служи поред планирања и израде развојних планова и за процјене ограничења простора у областима која су склона развоју клижења. За правилан развој и трасирање инжењерских пројеката, то је од немјерљивог значаја. Локалним заједницама је важно познавање и евидентирање „hot spot“ или ризичних зона са аспекта потенцијалног развоја процеса клижења за заобилажење тих простора у циљу рационализације и уштеде трошкова који су активирањем клизишта углавном непредвиђени и увијек нежељени. На тај начин могуће су значајне уштеде у локалним буџетима, а на неки начин се и превентивно дјелује. За овај ниво процјене потребно је имати доста квалитетне улазне податке, да би се грешке смањиле на минималан ниво. Стога је значајна улога локалних заједница, прије свега у прикупљању података о клизиштима на терену и прављењу што прецизнијих локалних катастара клизишта.



## **Законодавни**

Детаљан ниво процјена (размјера 1:5.000), као што је у овом случају процјена за дио Града Добоја, треба користити као законски оквир за коришћење простора у јединицама локалне самоуправе и кориснике земљишта. Овај ниво размјере је адекватан за јасно дефинисање зона потребних за квалитетно урбанистичко планирање. Такође, на овом нивоу могуће је процјене користити и за израду развојних и акционих планова, система раног упозорења и сл.

Уколико су обезбијеђени адекватни улазни подаци високе резолуције (минимум као за наведени примјер) могуће је и радити процјене за нивое регулационих планова, процјене ризика за инфраструктуре објекте, становиштво и сл. На тај начин могуће је дефинисати приоритетна подручја за евентуалну санацију и рационалну одбрану од овог природног хазарда. Процјенама у овој размјери могуће је дати и јасне препоруке за сваку подручје под ризиком, рангирати приоритете за санацију, али и процјенити оквирне трошкове који су неопходни за даљи развој и припрему пројектне документације.

Ипак, прво и основно јесте потреба увођења оваквих процјена у законску и подзаконску регулативу да би оне биле видљиве доносиоцима одлука, а након тога и биле рађене приликом израде просторно планске документације.

\*\*\*

Управљање ризицима се у свијету заснива у општем смислу на подизању нивоа свијести сваког појединца, јачању отпорности надлежних институција и адекватној законској регулативи и подзаконској регулативи коју је могуће спровести на терену. Све то значи да се могућност управљања ризицима прије свега огледа у смањивању степена опасности кроз свијест о постојању исте, могућностима спровођења мјера превентивног дјеловања и ублажавања евентуалних посљедица, планског дјеловања институција, али и спровођења законских, често непопуларних репресивних мјера уколико се несавјесно подстиче могућност изазивања опасности.

## **11. ЗАКЉУЧЦИ**

Република Српска спада у категорију држава гдје се у наредном периоду очекује нагла изградња инфраструктурних објеката, нових насеља, индустријских и стамбених објеката итд., па је самим тим потребно мислити на рационално искоришћење простора, сигурну, али и закониту градњу.

С обзиром на тај брз и велики развој у коме је процес изградње веома велики, могућност активирања процеса нестабилности терена се веома повећава.

Многе општине у Републици Српској су подложне процесима нестабилности јер територија Републике Српске има сложену геолошку и инжењерскогеолошку грађу. Због тога су истраживања геолошке средине веома значајна приликом сагледавања могућности планирања простора за градњу. То се прије свега огледа у израдама адекватних процјена склоности/хазарда и ризика од клизишта зависно од расположивости података али и нивоа планирања.

Кроз ову дисертацију дат је преглед како савремених термилошких појмова, тако и методолошких приступа који се користе у процјенама хазарда и ризика од клизишта.

Као полазна основа за процјену на било ком нивоу обавезно је постојање базе података о клизиштима, са обавезном просторном референцом, а пожељно је да има и компоненту времена. У дисертацији обрађена је и ова тематика уз формирање базе података о клизиштима за територију Републике Српске према савременим смјерницама и препорукама. На основу тога створени су и формални услови за процјене склоности, хазарда и ризика од клизишта, али и могућности бољег разумјевања самог механизма догођених клизишта, узорка њиховог појављивања, величине, интензитета и сл., али и штета које она наносе.

Први ниво процјене, на највишем нивоу, обрађивао је простор цјелокупне територије Републике Српске. Рађена је процјена склоности терена ка клижењу према експертској, веома често коришћеној АНР методологији. Адекватна размјера на овом нивоу је 1:100.000, што одговара и просторно-планским документима на ентитетском нивоу Републике Српске.

На основу извршене процјене, закључује се да подручја изграђена од неогених и флишних седимената са дебелом кором површинског распадања и нагибом терена од 5-15° имају највећу предиспонираност ка развоју процеса клижења. Класе високе и веома високе склоности заузимају око 21% територије Републике Српске.

То су подручја планине Козаре, подручја Бања Луке преко Челинца до Котор Вароши, између Модриче и Дервенте и планине Требавац, затим обронци Мајевице око Лопара, Угљевика и Зворника, источни дио Републике Српске, прије свега простор око Вишеграда и Рудога. Такође, у подручја предиспонирана ка развоју процеса клижења спадају и дијелови Сарајевске регије са нешто већим нагибима, као и подручја око Фоче и Чемерног. Треба истаћи да је и дио ових подручја ненасељен и неурбанизован те су ризици по материјална добра и људе далеко мањи од урбанизованих и насељених подручја.

Поред визуелне верификације рађена је и квантитативна провјера добијених резултата гдје је показано да у класе „висока“ и „веома висока склоност“ спада 55% догођених клизишта, у средњу 35%, док у ниску и веома ниску класу спада само 10% клизишта. За ниво ове размјере подударност је задовољавајућа уз напомену да је преклапање рађено са тачкастим подацима о клизиштима, што свакако умањује број погодака, те се са сигурноћу може рећи да је реална слика подударности знатно и већа, односно да је модел прецизнији.

Пошто је процјеном склоности за ниво Републике Српске, Град Зворник окарактерисан као подручје са веома високом склоношћу ка клижењу, те усљед формирања базе података о догођеним клизиштима, за ову територију, рађена је процјена склоности у размјери 1:25.000. На овом нивоу вршена је процјена уз употребу два различита методолошка приступа: експертске АНР методе и статистичке LSA методе. Коришћене методе представљају стандардне, препоручене методе за овај ниво процјене, те њихово поређење доприноси квалитету и провјери добијених резултата.

Након извршених процјена, према АНР методи, 26% заузимају категорије „висока“ и „веома висока склоност“, наспрам 22% према LSA методи. Показано је да је на основу истих параметара, са двије потпуно различите методе добијена релативно слична, тј. за ову размјеру, прецизна и тачна карта склоности терена на клижење. Ипак, треба истаћи да је LSA метода нешто „строжија“ и прецизнија те се карте дјелимично разликују у детаљима што је било и за очекивати.

Валидација, односно оцјена добијених резултата извршена је помоћу ROC кривих које спадају у једне од најобјективнијих видова оцјене неког просторног модела. Генерално се може видјети да су оба модела веома слична у смислу могућности предвиђања клизишта. Добијене вриједности AUC-а су задовољавајуће јер се модели чије су вриједности AUC од око 0.7-0.8 сврставају у моделе који добро предвиђају.

Детаљна процјена ризика, у размјери 1:5.000 рађена је за дио територије урбаног дијела Града Добоја. Процес процјене пратио је све кораке, почевши од израде карте склоности/хазарда, израде катастра елемената под ризиком, срачунавања угрожености на

основу њихове изложености потенцијалном процесу клижења и на крају процјени ризика од клизишта.

За процјену склоности ка клижењу на овом нивоу коришћен је напреднији детерминистички приступ, уз процјену базирану на методи бесконачне косине (SINMAP модел) у GIS окружењу. Овакав приступ може се користити само уколико имамо терене са активираним плитким и транслаторним клизиштима, што је у овом подручју доминантан случај.

Карта ризика која је резултат процјене на детаљном нивоу добијена је суперпонирањем процјене склоности (квази-хазарда), изложености и угрожености елемената ризика.

Може се закључити да је 6,26 % територије истражног подручја под високим ризиком од клизишта. Такође, 3460 становника је под високим ризиком од клизишта, што представља око 13% популације која живи на овом подручју.

Кроз дисертацију показано је да разумијевање узрока настанка и активирања клизишта, а на крају и израда адекватних подлога представља немјерљив значај за стратешко планирање простора у смислу правилног развоја инфраструктуре, заштите животне средине и материјалних добара. Створена је полазна основа и сви потребни улазни фактори за развој, провјеру и компарацију напреднијих нивоа и метода процјене хазарда и ризика од клизишта, прије свих детерминистичких метода, односно метода машинског учења.

Приступ и процјене наведени у овој докторској дисертацији представљају полазну основу за даљи развој савремених процјена хазарда и ризика, развој система управљања ризицима од клизишта, а све у циљу побољшања спремности државних институција, локалних заједница, па и становништва за правилан и адекватан одговор у борби са овим природним непогодама.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аболмасов, Б. (2007). Вредновање параметара геолошке средине за оцену хазарда клизања терена, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет Београду. Београд. 258 стр.
- Аболмасов, Б. (2012). Хазард и управљање ризиком од клизишта. Геолошки гласник 33 - Нова серија 1, Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске. Зворник. 173-189 стр.
- Аболмасов, Б. (2016). Студија управљања ризиком од клизишта у Босни и Херцеговини. UNDP Босна и Херцеговина. Сарајево. 82 стр.
- Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999). Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 58: 21-44.
- Alexander, D. (2004). Vulnerability to Landslides. *Landslide Hazard nad Risk*. Eds. By Thomas Glade, Malcolm Anderson and Michael J. Crozier. John Wiley & Son, Ltd.: 175-199. ISBN: 0-471-48663-9.
- Anderson, M.G. & Holcombe, E. (2013). *Community-Based Landslide Risk Reduction: Managing Disasters in Small Steps*. Washington, D.C.: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0. 385p. ISBN 978-0-8213-9456-4. DOI 10.1596/978-0-8213-9456-4.
- Australian Geomechanics Society (AGS). (2007). Guideline for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, *Australian Geomechanics*, Vol 42 No 1, March 2007. 13-36. ISSN 0818-9110.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T. (2005). Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparasion of results from two methods and verification. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 81: 432-445.
- Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1): 43-69.
- Bell, R. and Glade, T. (2004). Quantitative risk analysis for landslides? Examples from Bildudalur, NW-Iceland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Copernicus Publication on behalf of the European Geosciences Union: 117-131.
- Bishop, A.W., (1955). The use of the slip circle in the stability of slopes. *Geotechnique*, Vol. 5, No.1.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M., Salvati, P. (2002). A geomorphological approach to the estimation fo landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2: 57-72.
- Castellanos, E.A., Van Westen, C.J. (2007). Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: a case study from San Antonio del Sur, Guantanamo, Cuba. *Geomorphology* (3-4): 453-466.
- Cascini, L. (2008). Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology*, 102 (3-4): 164-177.
- Cascini, L., Bonnard, Ch., Corominas, J., Jibson, R., Montero-Olarte, J. (2005). Landslide hazard and risk zoning for aurban planning and development. State of the Art Report. Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. Hungr, Fell, Couture&Eberhart (Eds), A.A. Balkema Publishers: 199-235.

- Colesanti, C., Wasowski, J. (2006). Investigating landslides with space-born Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 88 (3-4): 173-199.
- Corominas, J., Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M. G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., Smith, J.T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 73: 209–263, DOI 10.1007/s10064-013-0538-8.
- Crozier, M.J. (2005). Multiple occurrence regional landslide events in New Zealand: hazard management issues. *Landslides*, 2: 247-256.
- Crozier, M.J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review. *Geomorphology* 124, 260–267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.009>.
- Cruden. D. and VanDine. D.F. (2013). Classification, Description, Causes And Indirect Effects- Canadian Technical Guidelines and Best Practices related to Landslides: a national initiative for loss reduction, Geological Survey Of Canada Open File Report 7359.
- Cruden, D.M, Varnes, D.J (1996). Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslide investigation and mitigation*, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. 1996, Chapter 3: 36-75.
- Чубриловић, П. (1969). Тумач инжењерскогеолошке карте СФР Југославије мјерила 1:500.000. Савезни геолошки завод Београд – Завод за геолошка и геофизичка истраживања Београд. 136 стр.
- Ђорић, С. (2008). Геостатички прорачуни (треће издање). Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет и часопис „Изградња“ Савеза инжењера и техничара Србије и Савеза архитектата Србије. 460 стр. ISBN: 978-86-82307-16-7.
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., (2005), Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology* 66: 327–343.
- European Environment Agency (2017). Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe. Enhancing coherence of the knowledge base, policies and practices. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-9213-893-6. ISSN 1977-8449. doi:10.2800/938195.
- Fawcett, T. (2005). An Introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27. Elsevier: 861-874.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Bulletin of Engineering Geology* 102 (3,4): 85–98.
- Glade, T., Anderson M., Crozier M. (eds.) (2004). *Landslide Hazard and Risk*; John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, pp. 793. ISBN: 0-471-48663-9.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P., and Foltz, R.B. (2000). Spatial prediction of landslide hazard using discriminant analysis and GIS. *GIS in the Rockies 2000. Conference and Workshop: applications for the 21st Century*, Denver, Colorado, September, 25 – 27.
- Гојгић, Д. (1971). Регионална инжењерскогеолошка истраживања слива ријеке Гомјенице. Институт са геолошка истраживања Сарајево и Геозавод Београд. 81 стр.

- Günther, A., Reichenbach, P., Malet, J.P., Van Den Eeckhaut, M., Hervás, J., Dashwood, C., Guzzetti, F. (2013). Tier-based approaches for landslide susceptibility assessment in Europe. *Landslides*, Volume 10, Issue 5: 529-546. DOI: 10.1007/s10346-012-0349-1.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31 (1-4): 181-216.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. and Carrara, A. (2000). Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, Volume 25, Issue 3: 247-363. DOI: 10.1007/s002679910020.
- Guzzetti, F., Stark, C. and Salvati, P. (2005). Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy. *Environmental Management* 36 (1): 15-36.
- Guzzetti, F., et. al. (2012). Landslide inventory maps. *Earth-Science Reviews* 112, Elsevier: 42-66.
- Hammond, C., Hall, D., Miller, S. and Swetnik, P. (1992). "Level I Stability Analysis (LISA). Documentation for Version 2.0". General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station.
- Haque, U., Blum, P., da Silva, P.F., Andersen, P., Pilz, J., Chalov, S.R., Malet, J.P., Auflič, M.J., Andres, N., Poyiadji, E., Lamas, P.C., Zhang, W., Pesevski, I., Pétursson, H.G., Kurt, T., Dobrev, N., Davalillo, J.C.G., Halkia, M., Ferri, S., Gaprindashvili, G., Engström, J., Keellings, D. (2016). Fatal Landslides in Europe. *Landslides*, Volume 13, Issue 6: 1545-1554. DOI: 10.1007/s10346-016-0689-3.
- Herrera, G., Mateos, R.M. Garcia-Davalillo, J.C., Grandjean, G., Poyiadji, E., Maftai, R., Podolszki, L., Trigila, A., Ladanza, C., Raetzo, H., Kociu, A., Przylucka, M., Kulak, M., Sheehy, M., Pellicer, X.M., McKeown, C., Ryan, G., Kopačková, V., Frei, M., Kuhn, D., Hermenns, R.L., Koulermou, N., Smith, C.A., Engdahl, M., Buxo, P., Gonzalez, M., Dashwood, C., Reeves, H., Cigna, F., Liščák, P., Pauditš, P., Mikulenas, V., Demir, V., Raha, M., Quental, L., Sandić, C., Fusi, B., Jensen, O.A. (2017). Landslide databases in the Geological Surveys of Europe. *Landslides*, First Online. DOI 10.1007/s10346-017-0902-z. ISSN: 1612-5118.
- 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.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland: pp 151.
- Jaiswal, P., van Westen, C.J. (2009). Estimating temporal probability for landslide initiation along transportation routes based on rainfall thresholds. *Geomorphology* 112: 96-105.
- Јањић, М. (1979). Инжењерска геодинамика. Рударско – геолошки факултет, Београд, 175 стр.
- Јовановић, Р., Ивић, М. (1982). Основна инжењерскогеолошка карта лист Сарајево 1:100.000. ФСД Геоинжењеринг Сарајево. Сарајево.
- Keefer, D.K. (2002). Investigating landslides caused by earthquakes – a historical review. *Surveys in Geophysics*. Volume 23, Issue 6: 473–510
- Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology* 74: 17-28. DOI 10.1016/j.geomorph.2005.07.005.
- Komac, M. and Ribičić, M. (2006). Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1:250.000. *Geologia* 49 (2): 295-309. DOI 10.5474/geologija.2006.022



- Leroi, E. (1996). Landslide hazard-risk maps at different scales: Objectives, tools and developments. *Proceeding of the VII International Symposium on Landslides*. Trondheim: 17-21.
- Марјановић, М., Ђурић, У., Петровић, Р. (2012). Моделовање хазарда од клизишта различитим методама у ГИС-у и њихова евалуација. XIV Симпозијум из инжењерске геологије и геотехнике. Београд. 496-478 стр. ISBN: 978-86-89337-01-3.
- Marjanović, M. (2013). *Conventional and Machine Learning Methods for Landslide Assessment in GIS*, Palacky University in Olomouc, Faculty of Science, Department for Geoinformatics. Olomouc-Belgrade. pp. 204. ISBN 978-80-244-4169-6.
- Marjanovic, M., Krautblatter, M, Abolmasov, B., Đurić, U., Sandić, C., Nikolić, V. (2018) The rainfall-induced landsliding in Western Serbia: A temporal prediction approach using Decision Tree technique. *Engineering Geology*. 232, pp. 147-159. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.11.021.
- Morrissey, M.M., Wieczorek, G.F., Morgan, B.A. (2001). *A Comparative Analysis of Hazard Models for Predicting Debris Flow in Madison Country*. Virginia. USGS (eds.) Washington, D.C., USA, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Митровић, Д., Олујић, Ј., Главаш, С., Гајић, Љ. (2012). Геолошка карта Републике Српске, 1:300.000, Републички завод за геолошка истраживања. Зворник. ISBN 978-9926-406-00-4.
- Митровић, Д., Лека, К., Сандић, Ц. (2020). Инжењерскогеолошка карта Републике Српске, 1:300.000, Републички завод за геолошка истраживања. Зворник. ISBN 978-9926-406-12-7.
- Otteman, R., (2001). *Using GIS to model debris flow susceptibility for the Bent Creek Experimental Forest near Asheville*. North Carolina: M.S. Thesis, East Carolina University, Greenville, North Carolina. 181 pp.
- Pack, R.T., Tarboton, D. (2004). *Stability Index Mapping (SINMAP) Applied to the Prediction of Shallow Translational Landsliding*. *Geophysical Research Abstracts* (6).
- Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N. (1998). SINMAP - A stability index approach to terrain stability hazard mapping.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin: C.N. (2001). *Assessing Terrain Stability in a GIS using SINMAP*. In: *GIS 2001. 15<sup>th</sup> annual GIS conference*. Vancouver, British Columbia: 1–9.
- Pack, R.T., Tarboton, D.G., Goodwin, C.N., Prasad, A. (2005). *SINMAP 2 – A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping*. <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/sinmap.html>
- Petely, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology* (2012) 40 (10): 927-930. <https://doi.org/10.1130/G33217.1>.
- Републички завод за статистику (2014). *Попис домаћинства, становништа и станова у БИХ у 2013. години – Прелиминарни резултати*. Бања Лука.
- Рокић, Љ. (1975). *Инжењерскогеолошке одлике територије Средње Босне, Грађевински факултет Универзитета у Сарајеву*. Сарајево. 272 стр.
- Roberds W., Ken Ho, and Leroi E. (2002). *Quantitative Risk Assessment for Landslides; Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1786: 69-75.
- Saaty, T.L. (2003). *Decision – making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary*. *European Journal of Operational Research* 145: 85-91.

- Savarenski, F. P. (1935). Experimental construction of landslide classification. *Geolog.Razvedochnyi Instit. (TSNICTRI)*: 29-37.
- Sandić C., Abolmasov B., Marjanović M., Begović P., Jolović B. (2017). Landslide Disaster and Relief Activities: A Case Study of Urban Area of Doboj City. In: M. Mikoš et al. (eds.), *Advancing Culture of Living with Landslides, Proceedings of 4th World Landslide Forum, Ljubljana 29 May-02 June 2017*. Vol. 3. Springer International Publishing: 383-393. DOI 10.1007/978-3-319-53487-9\_45.
- Smith, K. and Petley, D.N. (2009). *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster*. Routledge, London: pp. 383. ISBN: 0415428653.
- Shano, L., Raghuvanshi, T.K., Meten, M. (2020). Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. *Geoenvironmental Disasters* 7, Article 18. Springer Open. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>.
- Shuster, L.R. (1996). Socioeconomic Significance of Landslides. In: Turner K.& Shuster L.R. (Eds). *Landslides, Investigations and Mitigation. Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.*: 12-33.
- Токић, С. (1985). Студија кварталних наслага у Босни и Херцеговини. ФСД Геолошког завода Републике Српске. Сарајево 1-75. (непубликован материјал).
- Thiebes, B., Bell, R., Glade, T., Wang, J., Bai, S. (2016). Application of SINMAP Analysis of Model Sensitivity – Case Studies from Germany and China. *Romanian Journal of Geography*, 60 (1), Bucharest: 3-25.
- Van Dine D.F. (2012). *Risk Management-Canadian Technical Guidelines and Best Practices related to Landslides: a national initiative for loss reduction*, Geological Survey Of Canada Open File Report 6996.
- UNDP (2015). *Floods and Landslides Risk Assessment for the Housing Sector in Bosnia and Herzegovina*. EU Floods Recovery Programme. pp 125.
- UNDP (2016). *Detailed Flood and Landslide Risk Assessment for the Urban Areas of Tuzla and Doboj*. EU Floods Recovery Programme.
- van Westen C.J., Castellanos E., Kuriakose S.L (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering. Geology*, 102 (3): 112–131.
- van Westen C.J., van Asch C. J., and Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation - Why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2): 167–184. DOI 10.1007/s10064-005-0023-0.
- van Westen C.J. (2016). National Scale Landslide Susceptibility Assessment for Dominica. The World Bank CHARIM - Caribbean Handbook on Risk Information Management, The World Bank and GFDRR, ACP-EU Natural Disaster Risk Reduction Program: pp. 88. DOI: 10.13140/RG.2.1.4313.2400.
- Wilde, M., Günther, A., Reichenbach, P., Malet, J.P., and Hervás, J. (2018). Pan – European landslide susceptibility mapping: ELSUS Version 2. *Journal of Maps*, Volume 14, No. 2. 97-104. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1432511>.
- Witt, A. C. (2005). Using a GIS (Geographic Information System) to model slope instability and debris flow hazards in the French Broad River watershed, North Carolina. (Under the direction of Dr. Michael M. Kimberley.)







## БИОГРАФИЈА

Цвјетко Сандић, мастер инж. геологије рођен је 17.08.1987. године у Зворнику (Република Српска – Босна и Херцеговина). Основну и средњу школу са одличним успјехом завршио је у Зворнику. Основне академске студије студијског програма Геотехника уписао је школске 2006/2007. године. Завршни рад под називом „Геотехничка истраживања за изградњу бране Кушлат на реци Дрињачи“ одбранио је 2010. године са оцјеном 10 (десет) на дипломском испиту и просјеком 8,38 у току студија.

Мастер академске студије на Студијском програму за Геотехнику уписао је школске 2010/2011. године. Мастер рад под називом „Геотехнички услови регулације тока реке Мушнице у Гатачком пољу“ одбранио је 2012. године са оцјеном десет (10) и просјеком 9,50 на мастер студијама.

Докторске академске студије на Студијском програму Геотехника уписао је школске 2013/2014. године.

Од марта 2011. године запослен је у Геолошком заводу Републике Српске гдје се од 2019. године налази на позицији замјеника директора.

Учествовао на више међународних стручних семинара од којих вриједи истаћи међународну школу о клизиштима за студенте докторских студија "LAndslide Risk Assessment and Mitigation" - LARAM School, (Универзитет у Салерну, Италија, септембар 2013. год.) и стручном семинару „One Belt – One Road“, у организацији Геолошког завода НР Кине и Министарства земљишта и ресурса НР Кине, 2016. године.

За вријеме и након проглашења ванредне ситуације у мају 2014. године именован је за члана експертске групе за клизишта у Републици Српској.

Стални технички уредник часописа *Геолошки гласник – Нова серија*, кога издаје Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске.

Као самостални консултант у Босни и Херцеговини учествовао је у више пројеката чији је имплементатор UNDP у БиХ: Landslide Disaster Risk Management in Bosnia and Herzegovina, Disaster Risk Reduction in Bosnia and Herzegovina, Interlinking Disaster Risk Management in Bosnia and Herzegovina. Консултант Уједињених нација (UNEP) на програму Sustainable Development Goals у БиХ.

Из области сарадње са привредом као пројектант/сарадник учествовао је на изради бројних геотехничких елабората и пројеката за потребе изградње стамбених, инфраструктурних, водопривредних објеката и санације клизишта.

Има положен државни – стручни испит за рад у органима државне управе Републике Српске и стручни испит за обављање послова из области извођења, пројектовања, надзора и ревизије геолошких истраживања у Републици Српској и Републици Србији.

Члан је више међународних и националних стручних удружења: Члан Борда директора и Експертске групе за геохазарде у склопу Европског удружења геолошких завода (EuroGeoSurveys); Српског геолошког друштва (СГД); Друштва геолошких инжењера и техничара Републике Србије (ДГЕИТС); Удружења геолога у Босни и Херцеговини; Савеза инжењера рудара и геолога Републике Српске (СИРГРС);

Аутор је бројних стручних и научних радова, објављених у домаћим и свјетским стручним часописима, као и учесник бројних конференција и конгреса у земљи и иностранству.

Говори енглески језик.

Ожењен је супругом Христијаном са којом има синове Арсенија и Јована.

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Име и презиме аутора \_\_\_\_\_ Цвјетко Сандић \_\_\_\_\_

Број индекса \_\_\_\_\_ Г801/13 \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Процјена хазарда и ризика од клизишта за различите нивое просторног планирања

у Републици Српској, БиХ

---

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

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме аутора Цвјетко Сандић

Број индекса Г801/13

Студијски програм Геотехника

Наслов рада Процјена хазарда и ризика од клизишта за различите нивое просторног планирања у Републици Српској, БиХ

Ментор Проф. др Биљана Аболмасов

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

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

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

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

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

Процјена хазарда и ризика од клизишта за различите нивое просторног

---

планирања у Републици Српској, БиХ

---

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду 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 прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1. **Ауторство.** Дозвољава се 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.** Дозвољава се 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 прераде.** Дозвољава се 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.** Дозвољава се 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 прераде.** Дозвољава се 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.** Дозвољава се 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.