

# ГЕОХАЗАРД У СРБИЈИ У 21. ВЕКУ – ЗНАЊЕ ЈЕ НАЈБОЉИ БЕДЕМ ПРОТИВ СТИХИЈЕ

ГЕОХАЗАРД У СРБИЈИ У 21. ВЕКУ  
– ЗНАЊЕ ЈЕ НАЈБОЉИ БЕДЕМ ПРОТИВ СТИХИЈЕ

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

---

LECTURE SERIES

Book 5

GEOHAZARD IN SERBIA  
IN THE 21<sup>st</sup> CENTURY

– KNOWLEDGE IS THE BEST BASTION  
AGAINST THE NATURAL DISASTERS

Accepted at the 4<sup>th</sup> meeting of the Department of Mathematics,  
Physics and Geosciences on 24 May 2019

Editor  
VLADICA CVETKOVIĆ  
Corresponding Member of SASA

BELGRADE 2019

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

---

ЦИКЛУС ПРЕДАВАЊА

Књига 5

ГЕОХАЗАРД У СРБИЈИ  
У 21. ВЕКУ

– ЗНАЊЕ ЈЕ НАЈБОЉИ БЕДЕМ  
ПРОТИВ СТИХИЈЕ

Примљено на IV скупу Одељења за математику, физику и гео-науке  
од 24. маја 2019. године

Уредник  
ВЛАДИЦА ЦВЕТКОВИЋ  
дописни члан САНУ

БЕОГРАД 2019

Издаје  
*Српска академија наука и уметности*  
Београд, Кнеза Михаила 35

Лектура и коректура  
*Невена Ђурђевић*  
*Снежана Крсчић-Букарица*

Превод резимеа  
*Аутори*

Технички уредник  
*Никола Стевановић*

Тираж 350 примерака

Штампа  
ЈП *Службени гласник*

ISBN 978-86-7025-844-0

© Српска академија наука и уметности 2019

## САДРЖАЈ

|   |    |
|---|----|
| Владица Цветковић, <i>Уводна реч</i> .....  | 7  |
| Ана Младеновић, Славица Радовановић, <i>Сеизмички hazard у Србији</i> .....               | 11 |
| Ana Mladenović, Slavica Radovanović, <i>Seismic hazard in Serbia</i> .....                | 22 |
| Зоран Стевановић, <i>Процена ризика од несигурности воде за пиће у Србији</i> .....       | 25 |
| Zoran Stevanović, <i>Risk assessment of drinking water shortage in Serbia</i> .....       | 44 |
| Славиша Трајковић, <i>Просторно-временске карактеристике суша у Србији</i> .....          | 45 |
| Slaviša Trajković, <i>Spatiotemporal characteristics of droughts in Serbia</i> .....      | 64 |
| Биљана Аболмасов, <i>Hazard од клизавица у Србији у 21. веку</i> .....                    | 65 |
| Biljana Abolmasov, <i>Landslide hazard in Serbia in the 21<sup>st</sup> century</i> ..... | 87 |
| Видојко Јовић, <i>Загађење земљишта – узроци и последице</i> .....                        | 89 |
| Vidojko Jović, <i>Soil pollution – causes and consequences</i> .....                      | 97 |

|  |     |
|--|-----|
| Дејан Прелевић, <i>Да ли је вулкански хазард њрејња<br/>за њодручје Балканској њолуосѡрва?</i> . . . . . | 99  |
| Dejan Preleviћ, <i>Is volcanic hazard a threat for the area<br/>of Balkan Peninsula?</i> . . . . .       | 119 |
| Слободан Марковић, <i>Климајске ѡромене – ѡеѡерсѡекѡива</i> . . . . .                                    | 121 |
| Slobodan Markoviћ, <i>Climate changes – geoperspective</i> . . . . .                                     | 129 |

## УВОДНА РЕЧ

Зборник радова под насловом: „Геохазард у Србији у 21. веку – знање је најбољи бедем против стихије“ представља резултат истоименог циклуса предавања, који је у периоду од априла до јуна 2018. године одржан у Српској академији наука и уметности. Посебним циклусима предавања САНУ показује жељу да појача своју друштвену улогу тиме што би, поред великог броја активности у којима се промовишу искључиво врхунски научни резултати, организовала скупове посвећене неким од најважнијих проблема савременог српског друштва. Садржај предавања ових посебних циклуса подједнако је усмерен како експертима тако и широком аудиторијуму, другим речима, најсавременија научна знања пласирају се на начин да њихов значај за заједницу буде највидљивији.

У оквиру циклуса „Геохазард у Србији у 21. веку – знање је најбољи бедем против стихије“ одржано је укупно седам предавања. Њима су тематски обухваћени ако не сви, онда сигурно најважнији геолошки хазарди с којима се наш простор може суочити у овом веку. Неки од ових геохазарда су нам нажалост и „блиски“ и познати, попут земљотреса и клизишта, неки нам тек „куцају на врата“, као што су проблеми недостатка квалитетне воде или озбиљног загађења земљишта, док неке од приказаних гео-опасности доживљавамо мање узнемирујућима зато што су (само привидно) далеко од нас, било у простору, на пример вулкани, или у времену, као што су глобалне промене климе.

У првом раду Зборника, А. Младеновић и С. Радовановић приказују најважније аспекте сеизмичког хазарда у Србији. На разумљив, али научно савремен начин, у раду се објашњава зашто се код нас догађају релативно јаки земљотреси, премда подручје Србије није близу места генерисања највеће количине тектонске енергије у региону. Посебна пажња поклања се чињеници да је штета коју ови земљотреси праве несразмерно велика. Рад пружа и осврт на проблеме у дефинисању сеизмичког хазарда на територији наше земље, наглашавајући притом који се стандарди морају поштовати при прикупљању података и примењивању методологије за ваљану процену хазарда.



У раду „Процена ризика од несташице воде за пиће у Србији“ аутор З. Стевановић описује тренутно стање водних ресурса у Србији, при чему многе податке приказује и у историјском контексту. На тај начин из рада је могуће сазнати не само какав је *status preasens* већ и о каквим трендовима је реч, као што је, на пример, дуготрајно повећање капацитета централизованог водоснабдевања у последњих шездесет година или осетно смањење учешћа подземних вода у снабдевању водом у Србији. Аутор закључује да Србија „припада групи земаља Европе са довољним ресурсима подземних и површинских вода за дугорочно задовољавање потреба становништва у пијаћој води, као и потреба у области индустрије, енергетике, наводњавања пољопривредних површина.“

Вода је и у фокусу трећег прилога у овом Зборнику. У оригиналном раду „Просторно-временске карактеристике суша у Србији“ аутор С. Трајковић истиче да су штете од суше по правилу веће од оних које настају другим природним хазардима у Србији. На пример, штета од суше из 2012. године процењена је на милијарду и осамсто милиона евра, што за сто милиона евра надмашује ону изазвану колосалним поплавама из 2014. године. Аутор приказује резултате вишегодишњих истраживања на развоју хидроинформационог система за праћење и правовремену најаву суше. На основу приказаних података, у Србији су издвојена три региона: северни, западни и јужни, који се међусобно разликују према угрожености од суше, као и по мерама за ублажавање последица суше.

Четврти прилог се бави клизиштима. У свом прегледном раду под насловом „Хазард од клизишта у Србији у XXI веку“ ауторка Б. Аболмасов даје процену „да је 16–20% територије Србије под активним или умиреним процесом клижења“, при чему детаљно образлаже најважније узроке ових природних појава. У раду се даје критички осврт на тренутну праксу која се тиче уношења података у национални катастар клизишта, и изводи закључак да због незадовољавајућег стања у вези с катастром, тренутно није ни могуће дати најтачнију процену хазарда од клизишта у Србији.

Рад „Загађење земљишта – узроци и последице“ академика Видојка Јовића тиче се све присутнијег проблема загађења земљишта у нашем подручју. У раду су приказане информације о основним узроцима и типовима загађења (рударство, индустрија и друго) и дати примери угроженог земљишта у различитим подручјима Србије.

У прилогу под насловом „Да ли је вулкански хазард претња за подручје Балканског полуострва?“ Д. Прелевић најпре пружа основне информације о унутрашњој динамици наше планете, а затим, без непотребних детаља, али уз излагање најважнијих научних чињеница, објашњава како вулкани настају и зашто се појављују само у (геолошки) одређено време и на одређеном месту. Из ових информација следи приказ тренутне ситуације хазарда од вулканских ерупција за подручје Србије, да би у закључном делу била описана три могућа сценарија по којима би подручје Балканског полуострва могло да буде угрожено вулканским ерупцијама.

Последњи рад у Зборнику носи наслов: „Климатске промене – геоперспектива“, а његов аутор је С. Б. Марковић, дописни члан САНУ. У свом прегледном раду аутор анализира климатске варијабилности на нашој планети у односу на концентрацију гасова који изазивају такозвани ефекат стаклене баште, и то за читав период кенозоика (последњих 65,5 милиона година). Аутор закључује да се „тренутно налазимо у последњој топлој фази (интергласијалу) квартарног леденог доба, која је још увек далеко хладнија од палеоценско-еоценског климатског максимума“. У својим закључним поглављима аутор даје и низ личних осврта на тренутне проблеме у сагледавању будућих климатских промена.

Према свему што је садржано у наведеним прилозима овај Зборник у потпуности испуњава мисију посебних циклуса предавања у САНУ. У њему су разматрана научна питања од чијих одговора не зависи само напредак једне струке нити читаве науке, већ опстанак свих нас, и зато то знање никако не сме да остане само експертима. На тај начин, САНУ доприноси путу Србије ка модерној заједници, у којој научници слушају једни друге и раде заједно на најважнијим питањима, а знање до којих они долазе бива употребљено на прави начин.

Два аспекта овог Зборника желим посебно да истакнем. Први се тиче његове актуелности. Довољан је и летимичан поглед на неко од средстава информисања да би се видело да је оно што наши најпозванији научници тематизују у овом Зборнику најтешње повезано с нашим свакодневним животом. О томе сведоче наслови, попут: „Zrenjanin: Zašto je voda žuta?“ (<https://www.danas.rs/drustvo/zrenjanin-zasto-je-voda-zuta/>), „Klimatske promene: Nivo mora porašće za dva metra“ (<https://www.bbc.com/serbian/lat/svet-48349291>) или „Italijanski vulkan Etna se ponovo aktivirao“ (<https://www.slobodnaevropa.org/a/29976226.html>). Чак и када узмемо у обзир да вести у данашњој, интернетом контролисаној медијској комуникацији, имају увек нешто драматичнији тон, остаје утисак изражене актуелности. Најзад, истовремено с приређивањем за штампу овог зборника у којем се као пример подручја угроженог клизиштима приказује карта Крупња (стр. 74, слика 2), исто подручје бива поново директно погођено бујичним поплавама, а на територији Крупња је на снази ванредна ситуација и влада непрестана опасност од активирања клизишта.

Други аспект је везан за чињеницу да се Зборник одликује високим нивоом критичког мишљења. Осим тога што се у многим радовима указује на лоше стање у Србији када је реч о предусловима за процену хазарда, Зборник доноси и контрастне погледе на једну од данас најосетљивих друштвено-научних тема као што је човеков утицај на климатске промене.

Иако ни као научници нисмо у стању да спречимо, па ни да у детаљима предвидимо велике поплаве и земљотресе, постоји велики број чињеница које су нам веома добро познате, на пример, да се не сме градити свуда и на било који начин. Знамо да ће и вода и обрадиво земљиште бити стратешки ресурси у блиској будућности и да се то мора узети у обзир у одлукама које

доносимо данас, а чије ћемо последице осетити већ сутра. Познато нам је да у Србији нема вулкана који могу бити активни у наредним миленијумима, али истовремено знамо шта се може очекивати од веома јаких ерупција у свету, које ће неминовно уследити. Од седам великих ерупција од последњег леденог доба до данас само се једна догодила када је на земљи живело више од једне милијарде људи, а постоје предвиђања да ће само до краја овог века на земљи живети 12 милијарди људи. Ако би се поновила само једна колосална ерупција, попут оне на месту данашњег језера Тоба на Суматри од пре око 74 хиљаде година, то би људску расу могло да врати на предцивизацијски ниво.

Све што знамо као научници и истраживачи мора бити што пре усвојено од стране целокупне заједнице. Овај Зборник представља само једну од многих активности Српске академије наука и уметности које имају за циљ да научна знања што пре допру до свих, а нарочито до оних који доносе најважније одлуке за читаво друштво.

Владица Цветковић,  
дописни члан САНУ

# ХАЗАРД ОД КЛИЗИШТА У СРБИЈИ У 21. ВЕКУ

БИЉАНА АБОЛМАСОВ\*

**А п с т р а к т.** – У раду су приказани основни појмови везани са процес клижења и појаву клизишта као савременог геодинамичког процеса, али и као природног, геолошког хазарда. Основе процене хазарда и ризика од клизишта приказане су у складу с најсавременијом теоријом и праксом у свету, на примерима који илуструју поједине методе процене из наше земље и региона. Потом је разматран могући утицај промена климатских параметара на стабилност терена и хазард од клизишта у смислу прогнозираних регионалних/локалних, дугорочних/краткорочних и директних/индиректних могућих последица, имајући у виду национални модел промене параметара климе. Резултати процене подложности на клижење за садашње стање у терену, а потом уз увођење у модел процене и промене климатских параметара по националном моделу до 2070. године, дати су на примеру Западне Србије. С обзиром на комплексност и актуелност проблематике, поједине слике у раду су биле предмет скоријих публикација и јавних презентација.

*Кључне речи:* клизишта, хазард од клизишта, промене климе

## 1. УВОД

Клизишта у Србији су присутна у готово свим административним, географским, морфолошким, геолошким, климатским и другим целинама. Процена је да је 16–20% територије Србије под активним или умиреним процесом клижења [1]. Тачан број клизишта, њихова просторна дистрибуција, као и њихове карактеристике за сада нису у потпуности познати, јер је израда националног катастра још увек у току. Узроци настанка, као и услови и узроци активирања процеса клижења и клизишта су бројни, како природни тако и антропогени. Као узроци настанка клизишта у природним условима најчешће се наводе неповољна геолошка грађа терена (литолошки састав и склоп), затим неповољне инжењерско-геолошке и физичко-механичке карактеристике стенских маса, геоморфолошке карактеристике терена (поједини морфолошки параметри), хидролошке, хидрогеолошке и друге карактеристике. С друге стране, највећи број клизишта и других појава нестабилности на подручју Србије изазвано је (активирано) ексцесним падавинама (било

---

\* Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, имејл: biljana.abolmasov@rgf.bg.ac.rs

да се ради о дуготрајним или интензивним падавинама или наглом топљењу снега и слично), и/или антропогеним деловањем. О појединим карактеристичним механизмима кретања, условима и најчешћим узроцима настанка појединачних клизишта у Србији постоји веома обимна литература, како научна тако и стручна [2].

Методологија истраживања клизишта је комплексан, интердисциплинарни и мултидисциплинарни поступак, који зависи од намене истраживања има различите циљеве, задатке, поступке и резултате. Сложени односи и зависности појединих параметара и њиховог утицаја на стабилност терена (падина и косина), представљају разлог зашто се клизишта истражују и на регионалном и на детаљном нивоу. Код регионалних истраживања основни циљеви и поступци су усмерени ка дефинисању услова коришћења простора, док су код детаљних истраживања циљеви и поступци усмерени ка дефинисању услова и могућности санације клизишта. Резултати регионалних истраживања клизишта приказују се на различитим подлогама/картама на којима се прецизније дефинишу услови и ограничења коришћења простора – као што су на пример карте хазарда од клизишта или карте стабилности терена. Тиме су резултати регионалних истраживања саставни део планске документације одређеног нивоа планирања (регионалног и урбанистичког). Детаљна истраживања имају за циљ услове санације појединачних појава – клизишта, те је њихов резултат инкорпориран у пројекат санационих мера (слика 1).

Процес клижења и појава клизишта убрајају се у природне геолошке хазарде, пре свега због чињенице да изазивају евидентне негативне последице на људе и њихова материјална добра. Процена хазарда од клизишта има за циљ да се негативне последице овог процеса предвиде и умање у мери у којој је то реално и могуће, како кроз научни и стручни тако и кроз оквир законске регулативе у области планирања и пројектовања. То су уједно и циљеви Уједињених нација промовисани кроз последњу Сендаи декларацију [3], чији је потписник и наша земља.

Због изузетно обимне материје, у раду ће бити дата основна терминологија везана за процес клижења и клизишта, методологија и поступци везани за процену хазарда од клизишта, а потом ће бити разматрани потенцијални утицаји промена климе на процену хазарда од клизишта. Наиме, промене у количини, интензитету и фреквенцији појединих климатских параметара имале су најчешће утицаја на активирање процеса клижења у прошлости, те се очекује да ће имати утицаја и на хазард од клизишта у Србији и до краја 21. века.



Слика 1. Методологија истраживања клизишта

## 2. ОСНОВНА ТЕРМИНОЛОГИЈА

Под појмом клизишта (*Landslides*) се у међународној терминологији подразумева читав низ савремених геодинамичких процеса и појава који ма је заједничко да нарушавају стабилност терена и представљају фактор ограничења коришћења простора [4], [5], [6]. Основу класификације, која је прихваћена од свих међународно релевантних удружења, чини подела по механизму кретања и по врсти покренутог материјала. Разликује се пет основних механизма кретања: одроњавање, претурање, клижење, експанзионо бочно ширење и течење, односно три врсте покренутог материјала: стена, дробина и тло. Сложена кретања која настају као комбинација два или више механизма описују се као комплексна, а у називу процеса–појаве означавају се присутни механизми кретања (табела 1). Ближе поделе материјала који је покренут могу се наћи у [5] и [6]. У овом раду биће разматран само механизам–процес клижења и клизишта (у ужем смислу), односно хазард од клизишта.

Дакле, под клизиштима подразумевамо део терена који се транслаторно или ротационо помера преко стабилне подлоге по јасно испољеној зони или површи клижења, односно то је део терена у којем су сачувана структурна и рељефна својства терена настала процесом клижења [7].

Табела 1. Класификација процеса по [4] [5]

| Механизам кретања<br>(енг. <i>type of movement</i> )  |              | Врста покренутог материјала (енг. <i>type of material</i> )                         |  |   |
|---|--------------|---|--|---|
|   |              | Стена (енг. <i>rock</i> )   | Тло (енг. <i>soil</i> )                              |   |
|   |              |   | Дробина (енг. <i>debris</i> )                        | Тло (енг. <i>soil</i> )                         |
| Одроњавање (енг. <i>falling</i> )                     |              | Одрон стене/ст. масе<br>(енг. <i>rock fall</i> )                                    | Одрон дробине<br>(енг. <i>debris fall</i> )          | Одрон тла<br>(енг. <i>earth fall</i> )          |
| Превртање (енг. <i>toppling</i> )                     |              | Превртање стене<br>(енг. <i>rock topple</i> )                                       | Превртање дробине<br>(енг. <i>debris topple</i> )    | Превртање тла<br>(енг. <i>earth topple</i> )    |
| Клижење (енг. <i>slide</i> )                          | Ротационо    | Клижење стене/ст.<br>масе (енг. <i>rock slump</i> )                                 | Клижење дробине<br>(енг. <i>debris slump</i> )       | Клижење тла<br>(енг. <i>earth slump</i> )       |
|   | Транслаторно | Клижење стене/ст.<br>масе (енг. <i>rock slide</i> )                                 | Клижење дробине<br>(енг. <i>debris slide</i> )       | Клижење тла<br>(енг. <i>earth slide</i> )       |
| Бочно ширење (енг. <i>lateral spreading</i> )         |              | Бочно ширење стене/<br>ст. масе (енг. <i>rock spread</i> )                          | Бочно ширење<br>дробине (енг. <i>debris spread</i> ) | Бочно ширење<br>тла (енг. <i>earth spread</i> ) |
| Течење (енг. <i>flowing</i> )                         |              | Течење/дубоко<br>пузање стене/ст. масе<br>(енг. <i>rock flow; rock deep creep</i> ) | Течење дробине<br>(енг. <i>debris flow</i> )         | Течење тла<br>(енг. <i>earth flow</i> )         |
|   |              |   | Пузање тла (енг. <i>soil creep</i> )                 |   |
| Комплексно кретање<br>(енг. <i>complex movement</i> ) |              | Комбинација два или више механизма кретања  |  |   |

Савремени приступ процени хазарда и ризика од клизишта подразумева у термилошкоком, теоријском и практичном виду низ јасно дефинисаних

процедура и метода које, пре свега, зависе од намене, величине подручја и захтеване тачности процене [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15] и [16].

У наредном тексту биће изложене само основне дефиниције за процену хазарда и ризика од клизишта, оне које су најбитније да би се процес сагледао у целини.

У публикацији [8] ризик од клижења терена дефинисан је као производ следећих чланова:

$$R = H \times V(E_R) \quad (1)$$

где су:  $R$  – укупан ризик,  $H$  – хазард,  $V$  – угроженост и  $E_R$  – изложеност елемената у ризику.

Хазард од клизишта (*Landslide Hazard*) представља показатељ вероватноће активирања клизишта одређене магнитуде на одређеном подручју, у одређеном временском интервалу. Дакле, хазард од клизишта има компоненте које се могу изразити следећим обрасцем:

$$H_L = p(A_L) \times p(N_L) \times S \quad (2)$$

где су:  $H_L$  – хазард од клизишта изражен преко компоненти,  $A_L$  – магнитуда,  $N_L$  – учесталост у одређеном временском периоду и  $S$  – дистрибуција у простору.

Подложност терена ка клижењу (*Landslide Susceptibility*) представља показатељ подложности терена ка активирању процеса клижења. Као резултат процене добијају се карте на којима је приказана просторна дистрибуција класа подложности, али за разлику од процене хазарда, компонента временске вероватноће није укључена у процену. Као и код процене хазарда извршена је подела процеса по механизму и врсти покренутог материјала, а уколико је могуће и по магнитуди.

Изложеност ризику (*Exposure*) представља показатељ присуства људи и материјалних добара (као елемената у ризику) у подручјима која могу бити изложена хазарду/подложности од клизишта.

Угроженост (*Vulnerability*) представља показатељ потенцијалног степена губитака које би претрпели елементи у ризику уколико би били изложени хазарду од клизишта одређене магнитуде. Угроженост зависи од карактеристика самих елемената у ризику.

Ризик од клизишта (*Landslide Risk*) представља показатељ очекиваних негативних последица на људе и њихова материјална добра. Изражава се квалитативним или квантитативним социо-економским показатељима и срачунава се као производ хазарда од клизишта, изложености и угрожености елемената у ризику. Процена ризика ради се појединачно за сваки поједини елемент у ризику и суштински представља специфичан ризик ( $R_C$ ).



### 3. ОСНОВЕ ПРОЦЕНЕ ХАЗАРДА ОД КЛИЗИШТА

Процена хазарда од клизишта је најзначајнији сегмент од чијег квалитета и резултата зависе сви наредни сегменти процене и управљања ризиком од клизишта. Процена хазарда захтева широк спектар података којима су окарактерисани параметри који утичу на процес, а који могу бити различити у погледу просторне и временске променљивости. Поједини параметри се током процене сматрају практично стационарним, попут геолошких или геоморфолошких услова–параметара, али има и оних чија се променљивост може пратити у дужим или краћим периодима, па и на дневном нивоу, попут климатолошких параметара (на пример, интензитет падавина). Осим параметара који се доводе директно у везу с процесом и који се сматрају узрочницима процеса или активаторима, потребно је познавати просторну дистрибуцију и учесталост саме појаве, што у нашој земљи представља највећи проблем.

Са становишта нивоа података евидентираних појава нестабилности, у Србији је стање такво да за највећи број појава до сада унетих у национални катастар нема тачног датума или часа активирања (или реактивирања) процеса. Због тога смо у пракси приморани да искључимо временску димензију из анализе и да се уместо хазардом бавимо подложношћу на клижење, која разматра само просторну вероватноћу појаве, махом на основу стационарних параметара (поглавље 2). Из овога се може закључити да је у Србији тренутно готово немогуће проценити хазард од клизишта, већ само спровести процену подложности на клижење. За процену хазарда од клизишта, сходно међународној теорији и пракси, неопходно је успостављање јединствене, хомогенизоване базе података о клизиштима са тачним датирањем фаза активности процеса и анализом узрочника–активатора, а за то је потребно извесно време, систематичност, кадрови, али и фондови за вођење националног катастра.

У првом кораку је, дакле, потребно обезбедити довољно тачан, ажуран и поуздан катастар, односно базу података о клизиштима и другим појавама нестабилности, и то све сходно међународној класификацији. Што се тиче клизишта неопходно је да постоји следећи сет података о свакој појединачној појави:

- локација и датум појаве, при чему је појава представљена полигоном на одговарајућој топографској подлози;
- тип појаве са детаљном класификацијом према међународном стандарду од материјала и механизма, до садржаја воде, активности, брзине кретања, начина кретања и тренда кретања;
- детаљна геометрија (у зависности од типа појаве) и морфометрија појаве;
- својства геолошке подлоге (геолошки, геоморфолошки, инжењерско-геолошки и хидрогеолошки услови терена);

- узрок настанка појаве кроз процену најзначајнијих утицајних фактора и активатора;
- штета настала услед појаве која је категорисана према локалном и међународном стандарду;
- фотодокументација (фотографисање елемената појаве и детаља оштећених објеката и инфраструктуре са одговарајућим размерником);
- додатне скице и прогнозни пресеци, и
- подаци о извршеним истраживањима и њиховим резултатима (уколико их је било).

Формат катастра треба да буде просторна база података, која се за даље потребе из векторског може преbacити у растерски формат.

Надаље, у процесу процене подложности или хазарда, неопходно је идентификовати оне параметре који имају највише утицаја на сам процес клижења и одабрати одговарајуће изворе података како би се исти моделивали. У процени се параметри могу раздвојити на узрочнике процеса (геолошке, геоморфолошке, параметре животне средине и антропогене) и покретаче–активаторе (падавине, земљотресе и друго).

У групи геолошких параметара свакако је најутицајнији литолошки састав и инжењерско-геолошка својства стенских маса које изграђују терен, јер у зависности од врсте стенских маса разликујемо различита механичка својства, односно њихово понашање. Идеално је користити инжењерско-геолошку карту одговарајуће размере у којој је критеријум инжењерско-геолошких својстава стенске масе већ инкорпориран. Такође је могуће укључити у процену и податке о педолошкој подлози која носи статистичке податке о појединим параметрима тла, између осталих и запреминске тежине у површинским деловима, као и типове тла према међународној класификацији.

Геоморфолошки параметри углавном подразумевају утицај различитих морфометријских параметара попут нагиба, закривљености рељефа, разуђености рељефа, експозиције падина, удаљености од сталних или повремених водотока, релативних висина и тако даље. Физичка зависност ових параметара доводи се у непосредну везу с процесима нестабилности, јер је, на пример, јасно да су стрмије падине подложније појединим типовима нестабилности, баш као и падине са израженим микрорељефним облицима, или оне окренуте влажнијој северној страни (због способности да дуже задржавају воду у тлу).

Параметри животне средине уско су везани са антропогеним утицајима и најчешће се приказују картама употребе земљишта, које дају распоред вегетације, пољопривредног земљишта, али и распоред урбаних подручја, инфраструктуре и других елемената.

Најчешћи активатори процеса клижења јесу падавине, земљотреси, ерозиони процеси, нагле осцилације нивоа подземних и површинских вода (поплаве) и антропогени утицаји. Антропогени утицаји се често свODE на

изолиране случајеве који немају законитост појављивања и тешко их је посматрати на ширем простору; на детаљном нивоу могуће их је укључити у анализу у случају када постоје документовани подаци. Подаци о земљотресима као активаторима и условима активирања процеса нестабилности ретки су на просторима Србије, с обзиром на историјски забележене максималне јачине догођених земљотреса.

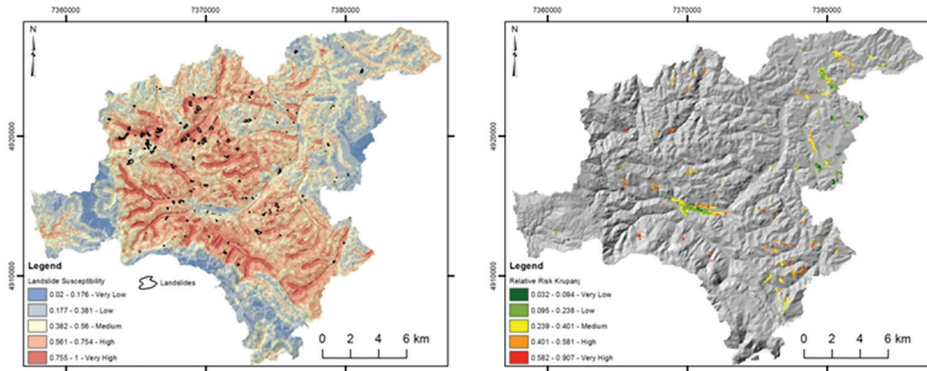
Падавине су, дакле, најчешћи активатор процеса клижења, али и један од најпроменљивијих фактора у простору и времену. За идентификовање екстрема неопходно је пратити кумулативне дневне количине падавине, а у зависности од тачности података о времену активирања клизишта понекад и часовне падавине. Кумулативне падавине треба анализирати у кратком временском интервалу 5–10–15 дана, јер су то периоди у којима се при спреченом дренарању могу сукцесивно погоршати параметри чврстоће стенске масе (тла и стена). Идентификовањем таквих екстрема добија се њихов просторни распоред и временска учесталост.

Величина подручја посматрања и захтевани ниво детаљности опредељују избор методе процене, а тиме и избор параметара који ће бити основа за израду различитих просторних модела (табела 2). Битно је такође напоменути да се све методе просторних анализа раде у тзв. *GIS* окружењу – програму који омогућава да се параметри–атрибути и њихове међусобне релације у простору различитим методама анализирају, квантификују, моделирају и приказују. Као што је наведено, литература је обимна, те се заинтересовани упућују на радове [12], [14], [16] и [17], или литературу с примерима с подручја Балкана [18], [19], [20], [21], [22] и [23]. Примери процене подложности на клижење и ризика по становништво општине Крупањ за ниво 1 : 25.000 размере (подручје око 350 km<sup>2</sup>) дати су на слици 2, док је пример процене релативног хазарда дат за пример урбаног подручја града Тузле у БиХ на слици 3 (размера 1 : 5000, подручје 100 km<sup>2</sup>). Први модел је урађен на основу АНР методе [18], док је други урађен на основу методе напредног машинског учења (*Support Vector Machine – SVM*) [21].

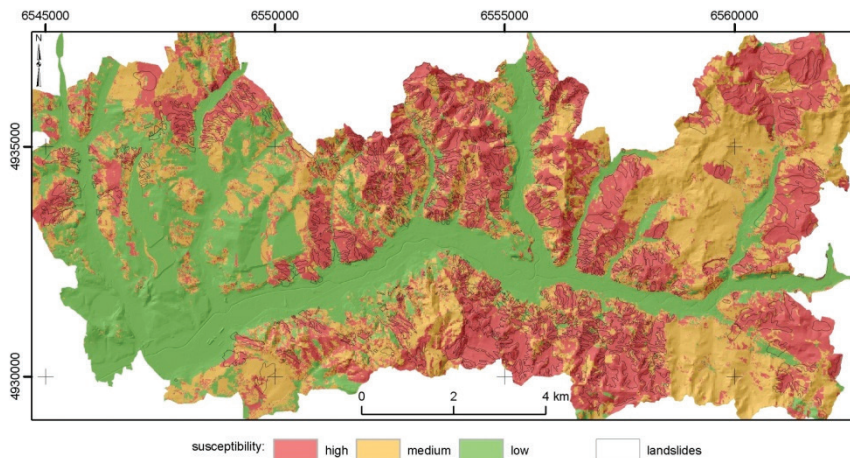
За валидацију модела обавезно се користе реални подаци прикупљени на терену, који су организовани у одговарајуће просторне базе података (са свим припадајућим атрибутима). При валидацији се примењују различите методе као што је матрица контингенције (*Confusion Matrix* или *Contingency table*) [18], која указује на различите типове грешака добијених модела у односу на реално стање. Такође, модели се могу оценити и на основу *ROC* кривих (*Receiver Operating Characteristic*), које спадају у најобјективније видове оцене модела, како квантитативно, на основу вредности параметра површине испод криве (енг. *area under curve – AUC*) тако и квалитативно, на основу карактера и облика криве [18].

Табела 2. Могућност примене различитих метода процене хазарда у зависности од размере, подручја и врсте појаве [18]

| Размера                          | Подручје                     | Врста појаве  | Врста процене   | Методе процене  | Ниво процене/употреба  |
|----------------------------------|------------------------------|---|---|---|--|
| Ситна<br><1 : 100.000            | >10.000 km <sup>2</sup>      | клизишта и тецишта (генерално)  | подложност (просторна дистрибуција)                           | експертска, вишекритеријумска анализа (АНР)                         | базични ниво/информативни карактер за национални ниво                                      |
| Средња<br>1 : 100.000–1 : 25.000 | 1.000–10.000 km <sup>2</sup> | клизишта (генерално), тецишта   | подложност (просторна дистрибуција, магнитуда)                | вишекритеријумска анализа (нпр. АНР), статистичке методе (нпр. WoE) | базични до средњи ниво/информативни карактер за ниво регионалног планирања                 |
| Крупна<br>1 : 5.000–1 : 25.000   | 10–1.000 km <sup>2</sup>     | посебно клизишта класификована по дубини (плитка-дубока), тецишта, одрони | подложност/хазард (просторна дистрибуција, магнитуда, брзина) | статистичке и пробабилитичке  | средњи ниво до напредни/ ниво подлога за просторно и урбанистичко планирање и пројектовање |
| Детаљна<br>>1 : 5000             | <10 km <sup>2</sup>          | плитка клизишта, тецишта, одрони  | хазард (све компоненте)                                       | детерминистичке, пробабилитичке                                     | напредни/ниво подлога за урбанистичко планирање и пројектовање                             |



Слика 2. Подручје општине Крупањ – процена подложности на клижење (лево); процена ризика од клизишта за становништво (десно), 1 : 25.000 (извор: <http://geoliss.mre.gov.rs/beware/>)



Слика 3. Процена подложности на клижење урбаног подручја Тузле, 1 : 5000 (извор: [18])

#### 4. УТИЦАЈ ПРОМЕНА КЛИМАТСКИХ ПАРАМЕТАРА НА ХАЗАРД ОД КЛИЗИШТА

Клизишта нису наусмична појава, већ су последица међусобне интеракције многих физичких, али и антропогенних процеса, и механичких законитости у времену. Њихова интеракција у времену, посебно у тренутку активирања процеса, условљава просторни положај, геометријске карактеристике, механизам и динамику процеса клижења, односно клизишта као

појаве. За процену хазарда се, према принципу униформизма, очекује да ће се на подручјима на којима већ има појава клизишта активираних у прошлости под одређеним условима, до активирања нових или реактивирања старих у будућности, поновити слични или исти услови [7]. Из тог разлога се услови и узроци активирања клизишта у прошлости анализирају, да би се различитим логичко-математичким моделима дошло до модела процене подложности или хазарда од клизишта.



Слика 4. Шематски приказ могућих утицаја промена климе на стабилност терена (извор: [25], модификовано)

Поставља се питање који су то параметри физичких процеса и које њихове промене у будућности су значајне за прогнозу стабилности падина и косина, од појединачног до регионалног, тј. националног нивоа, а затим које од њих можемо укључити у модел, тј. у процену хазарда од клизишта и његове компоненте (просторна дистрибуција, магнитуда и учесталост) – при томе имајући у виду да варијације појединих параметара имају различите утицаје на различите механизме кретања и процесе који се под једним именом називају *landslides*. Како је већ наведено, најчешћи активатори клизишта у Србији јесу падавине, тако да је логично да се анализирају пројекције–промене климатских параметара у будућности. Пројекције промена климатских параметара заснивају се на могућим сценаријима, то јест ефектима који ће

бити последица прогнозираних емисија штетних гасова на глобалном нивоу, потом је неопходно извршити корекције да би се добио регионално-национални сценарио (енг. *dowscaling and bias correction*), у прихватљивој размери и поузданости модела. Шематски приказ релација које је неопходно узети у обзир приликом разматрања утицаја промена климе на стабилност терена, а тиме и на процену хазарда од клизишта, дат је на слици 4. У табели 3. дати су могући утицаји промена појединих параметара климе на терен у целини и ефекте које би такве промене изазвале на његову стабилност.

Утицај промена појединих параметара климе потребно је посматрати и са следећих аспеката:

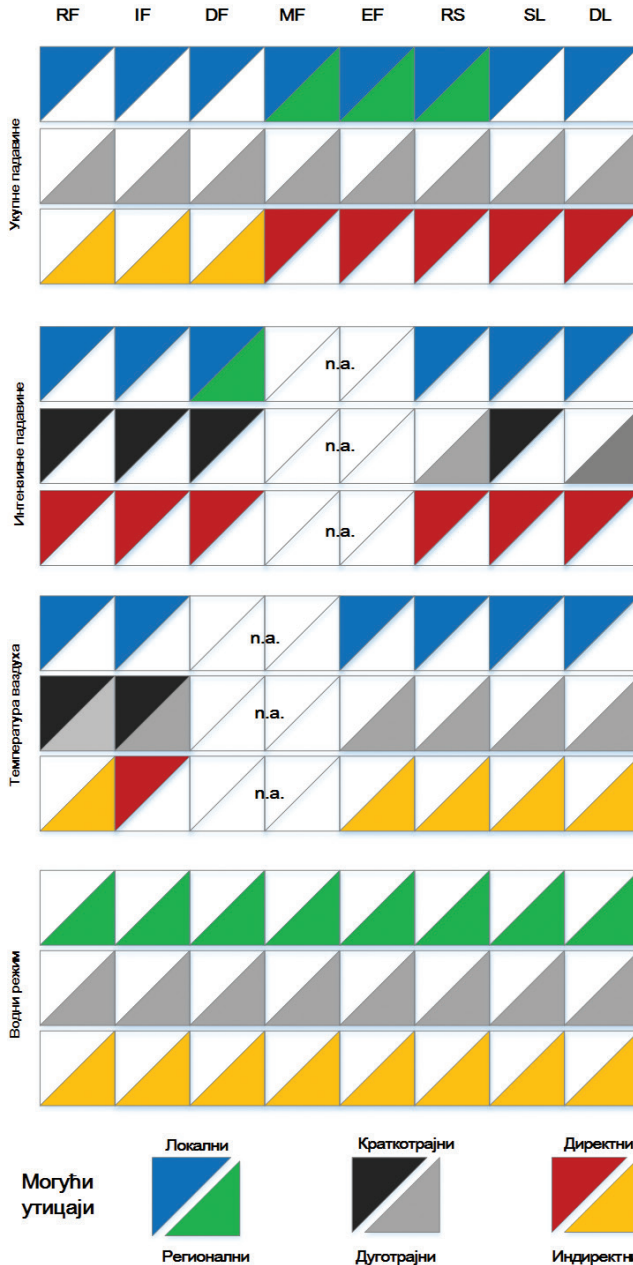
- 1) да ли је утицај регионалног или локалног карактера,
- 2) да ли су то дуготрајне или краткотрајне промене (нпр. у интензитету),
- 3) да ли су ефекти директни или индиректни и
- 4) на које механизме кретања утичу промене појединих климатских параметара.

Доводећи у везу све горе поменуте аспекте у публикацији [25] дата је „матрица“ могућих утицаја, узимајући у обзир и различите механизме и врсте материјала који могу бити покренути процесима који се по међународној терминологији називају *Landslides* (слика 5).

Табела 3. Могући утицаји промена климатских параметара на стабилност терена

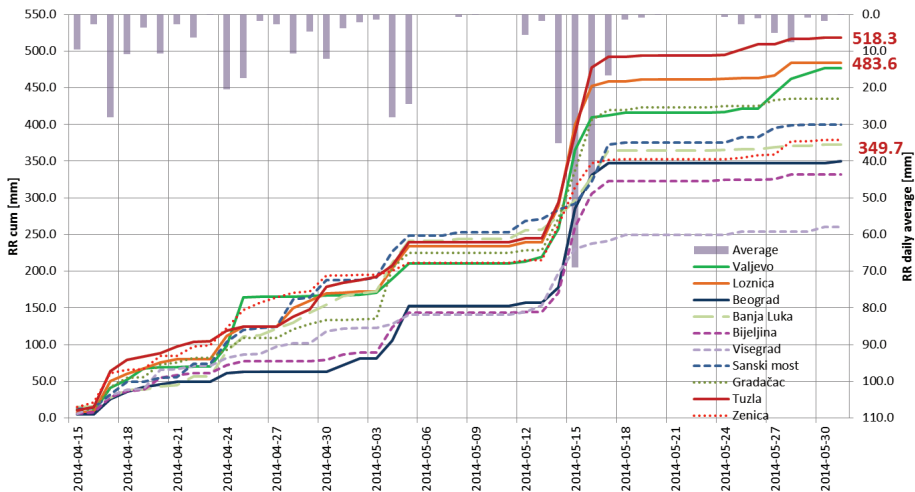
| Промене параметара климе                         | Могуће промене у терену   | Очекиван утицај на стабилност падина/косина   |
|--|---|---|
| Повећање укупне количине падавина                | Чешће критичне кумулативне падавине<br>Повећање тежине стенских маса<br>Виши нивои подземних вода<br>Повећање протицаја река                      | Мање интензивне падавине за постизање критичног садржаја воде<br>Смањење сила сукције и кохезије<br>Увећање запреминске тежине<br>Смањење параметара чврстоће<br>Појачано ерозионо дејство река<br>Виши ниво стајаћих вода<br>Чешћа нагла повећања/снижења нивоа подземне воде  |
| Повећање учесталости интензивних падавина        | Већа учесталост бујичних токова<br>Повећање протока<br>Повећање површинског отицаја   | Стварање изолованих издани<br>Смањење ефективних напона<br>Смањење чврстоће на смицање<br>Увећање хидрауличког градијента (суфозија)<br>Појачана површинска ерозија   |
| Повећање температуре ваздуха                     | Повећана евапоротранспирација<br>Промена вегетације<br>Повећање водопропусности<br>Чешћа нагла отапања снега<br>Смањење површина под снегом/ледом | Смањење критичних кумулативних падавина<br>Виши праг критичних количина падавина<br>Већа евапоротранспирација<br>Смањена инфилтрација воде<br>Већа кохезија корена вегетације<br>Бржа инфилтрација<br>Повећање отицаја и инфилтрације<br>Смањење параметара чврстоће (кохезије)<br>Смањење чврстоће код чврстих стена |
| Промене у брзини ветра и трајању ветровитих дана | Промена евапоротранспирације<br>Промене у кореновом систему<br>Промена интензитета абразије обала   | Смањење влажности тла<br>Повећање испуцалости, смањење кохезије и чврстоће<br>Смањење кохезивности кореновог система<br>Повећана дезинтеграција стена   |
| Учесталост варијација параметара климе           | Чешћи (или спорији) периоди влажног и сушног периода  | Повећање испуцалости<br>Проширење зева пукотина<br>Смањење кохезије и угла унутрашњег трења код чврстих стена   |





Слика 5. „Матрица“ могућих утицаја промена климе на различите типове процеса нестабилности: RF – одрони, IF – лавине, DF – течење дробине, EF – течење тла, MF – течење финозрног тла, RS – клижење стена, SL – плитка клизишта, DL – дубока клизишта (извор: [25], превод: Аболмасов, 2017)

На основу великог броја статистички обрађених података клизишта Италије [25], утврђено је да промене климе немају утицаја на магнитуду (као једну од компонената хазарда), међутим, имају утицаја на учесталост, као и на просторну дистрибуцију (друге две компоненте хазарда од клизишта). Полазећи од очекујућих утицаја, регионалне промене климатских параметара, како дуготрајне тако и оне краткотрајне, имају утицаја на хазард од клизишта тиме што се смањује критичан садржај воде у тлу, при коме интензивне падавине могу довести учесталијих појава клизишта и тецишта. Пример таквог догађаја код нас је активирање великог броја клизишта у мају 2014. године када су кумулативне и интензивне падавине довеле до масовне појаве плитких клизишта и тецишта у Западној Србији и Босни и Херцеговини. Дијаграм падавина за период 15. 4 – 30. 5. 2014. показује типичну криву критичних сума падавина карактеристичну за овакве догађаје [26] (слика 6).

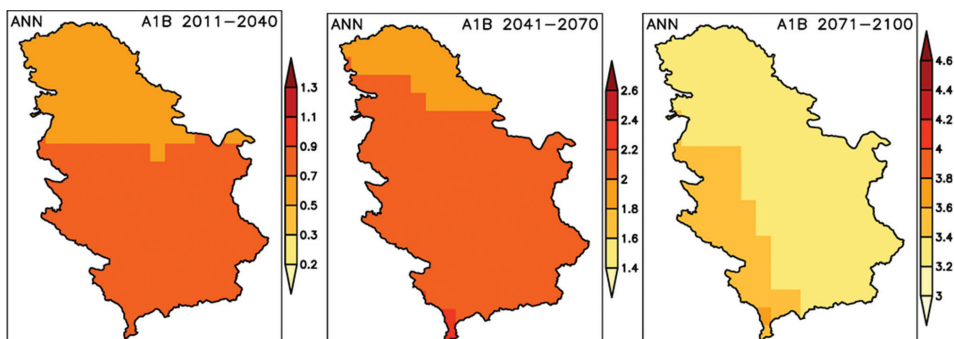


Слика 6. Дијаграм просечних дневних количина падавина за 10 климатолошких станица у Србији и БиХ, за период 15. 4 – 30. 5. 2014.

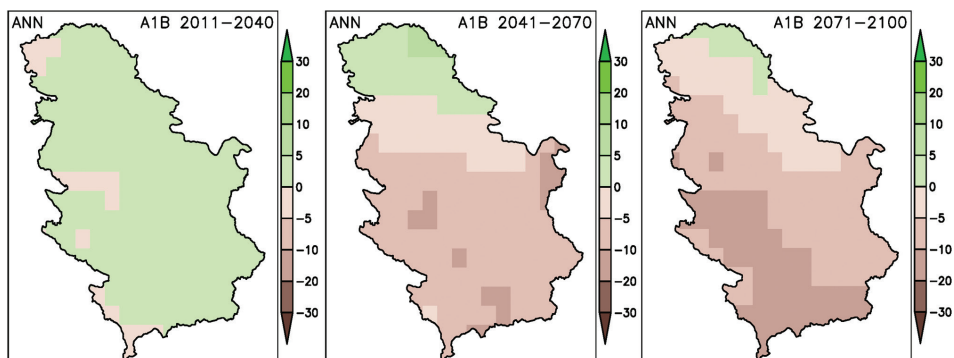
## 5. ХАЗАРД ОД КЛИЗИШТА У СРБИЈИ У 21. ВЕКУ

Промене климе су недвосмислене, како на глобалном тако и на регионалном нивоу, и то је чињеница потврђена инструменталним осматрањима. Последњи извештај Међународног панела за климатске промене (енг. *Intergovernmental Panel on Climate Changes*) указује на евидентан пораст концентрације гасова са ефектом стаклене баште и на измерен пораст глобалне температуре [27].

Према [28] и [29], за територију Србије регионализована су два климатска сценарија, А1Б и А2, за период 2001–2100. До краја овог века, сценарија промена климе указују на константан пораст температуре на целој територији Србије. Током летњих месеци у оба сценарија пораст летњих температура ће на крају овог века (2100) износити преко 4°C. Оба сценарија показују

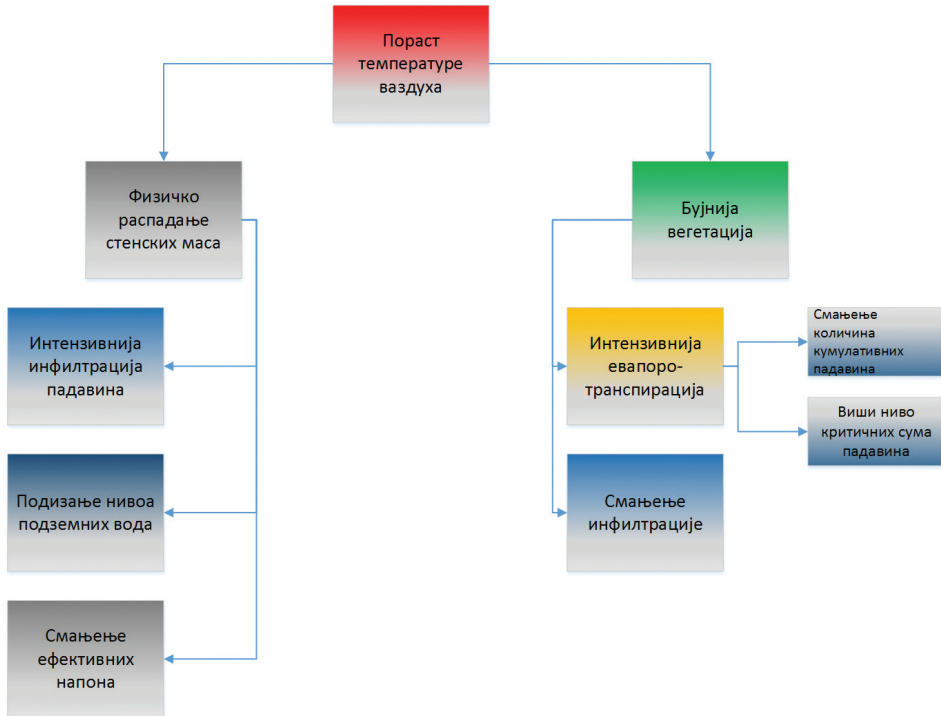


Слика 7. Пројекције дистрибуције просечних годишњих температура ваздуха за периоде (с десна на лево) 2011–2040, 2014–2070. и 2071–2100. по сценарију А1Б за територију Србије (просторна резолуција 0,25 x 0,25°) (извор: [29])



Слика 8. Пројекције дистрибуције просечних годишњих падавина за периоде (с десна на лево) 2011–2040, 2014–2070. и 2071–2100. по сценарију А1Б за територију Србије (просторна резолуција 0,25 x 0,25°) (извор: [29])

пораст укупних годишњих сума падавина током периода 2011–2040, у односу на вредности нормала 1961–1990. Међутим, за период после 2040. године, оба сценарија имају негативан тренд у годишњим сумама падавина, који се појачава идући ка 2100. години (слике 7 и 8).

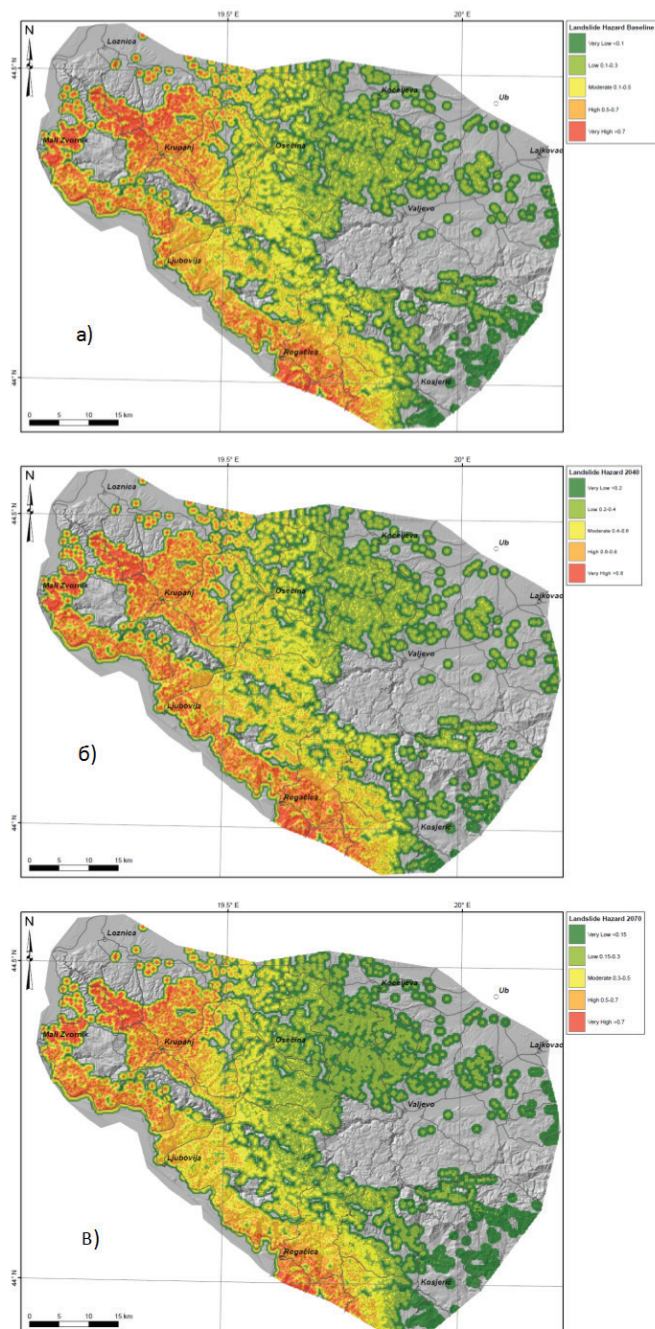


Слика 9. Могући утицаји промене просечних годишњих температура ваздуха на стабилност терена

Већ је наглашено да је у Србији готово немогуће проценити „прави“ хазард од клизишта, већ да се у највећој мери ради процена подложности терена на клижење (поглавље 3). Процена полази од тзв. стационарних параметара, од којих је свакако најзначајнији литолошки састав терена. У инжењерско-геолошки модел инкорпорирана су својства стенских маса, дакле и њихови параметри чврстоће, као и стање и подложност стенских маса ка физичко-механичком распадању, а тиме и ка промени својстава, односно ка промени параметара отпорности на смицање. Промене појединих климатских параметара (табела 3), имаће утицаја на површинско распадање (деградацију стенских маса), чиме ће параметри чврстоће (пре свега кохезија) бити промењени у односу на садашње параметре; ово ће створити услове за брже формирање коре површинског распадања, а познато је да највећи број клизишта настаје на контакту свеже стенске масе и коре површинског

распадања. Промене у вегетационом покривачу, а тиме, вероватно, и појачана ерозија, довешће до промене и микрорељефних облика, док ће поплаве и њима појачана ерозија обала река, у случају чешћих интензивних падавина, довести до промене геометрије падина. Уколико покушамо да пројектујемо све претпоставке на познате дијаграме динамике клижења, односно промене фактора сигурности током времена (и односа узрочника и активатора процеса) [30], долазимо до закључка да ће се временски период опадања фактора сигурности скратити, а да ће периоди реактивирања процеса бити све краћи. Интензитет деформација (тј. износи померања), могу показати и другачије односе између иницијалних и износа померања код реактивирања процеса. Нажалост, већину ових промена готово је немогуће квантитативно изразити у моделу процене подложности или хазарда од клизишта на националном или регионалном нивоу (осим семи-квантитативно или експертски), јер поједини ефекти не морају нужно бити негативни, као у примеру пораста температуре ваздуха (слика 9).

Прва анализа утицаја промена климатских параметара на подложност терена на клижење у Србији урађена је за подручје Ваљево–Лозница–Бајина Башта–Косјерић, у склопу пројекта који се бавио проценом ризика од природних хазарда на путној мрежи Србије. Анализа и процена урађене су за нулто стање (нормале 1981–2010, укључујући и период од 2011–2017) и за националне пројекције до 2040, односно 2070. године. С обзиром на то да се у том делу Србије очекује повећање укупних годишњих сума падавина за 5%, анализирани су просторне разлике у трендовима у односу на нормале и добијене су карте на којима су приказане промене просторне дистрибуције класа подложности на клижење у односу на нулто стање за оба сценарија (слика 10, а, б, ц). У периоду до 2040. године очекује се увећање територија које ће бити у класама врло високе и високе подложности. У периоду 2040–2070. године тај тренд ће опадати, те ће просторни распоред класа бити приближно исти као код нултог стања, с обзиром на то да се на основу националног модела очекује смањење укупних годишњих сума падавина после 2040. године. Нажалост, податке о трендовима краткотрајних интензивних падавина није било могуће анализирати због разлика у подацима нормала и пројекција.



Слика 10. а) Процена подложности на клижење до 2017; б) процена подложности на клижење за период до 2040; в) процена подложности на клижење за период 2041–2070.

## 6. ЗАКЉУЧАК

У раду је разматран утицај промена климе, односно појединих параметара климе на хазард од клизишта у Србији. Сложени односи појединих параметара климе, као на пример падавина, и њиховог утицаја на стабилност терена у будућности, указују да је неопходно спровести читав низ активности које би помогле у моделирању хазарда од клизишта како на националном тако и на регионалном, односно на детаљном нивоу. Један од првих корака је прикупљање релевантних података о процесима нестабилности у Србији, дефинисање узрочника, и посебно активатора, што подразумева датирање појава нестабилности, али и озбиљније анализе режима падавина са већег броја климатолошких или падавинских станица.

Регионалне пројекције промене просечних температура ваздуха и просечних сума падавина за период до 2040. године у Србији указују на пораст просечних температура ваздуха и незнатан пораст просечних сума падавина (посебно у западним деловима Србије). Међутим, климатски параметри за периоде нормала (1961–1990. и 1981–2010) не пружају довољно информација да би се просторно могли поредити са сценаријима за периоде до 2040, 2070, односно 2100, при чему се, пре свега, мисли на просторни распоред и учесталост екстремних падавина. Велики број аутора се слаже да су значајнији подаци о трендовима екстремних падавина него подаци о повећању или смањењу укупних сума на годишњем нивоу, јер су управо екстремни догађаји најчешћи активатор процеса клижења.

Пројекције промена климе су могући сценарији засновани на прогнозама емисије штетних гасова, с једне стране, док је, с друге стране, процена хазарда од клизишта такође пројекција будућег стања стабилности терена. Оба модела зависе од улазних података, али и од примењене методе моделирања, те су нивои грешака могући на различитим нивоима процене и израде модела, и ове чињенице обавезно треба имати у виду.

Велики проблем у прогнози представља недостатак поузданих података о клизиштима и узроцима и условима њиховог активирања. Како се процена хазарда заснива на претпоставци да се догађаји у будућности могу предвидети на основу података о условима и узроцима под којима су се десили у прошлости, јасно је да уколико нема података из прошлости, нема ни прогнозе догађаја у будућности.

## ЗАХВАЛНОСТ

Захваљујем се свим учесницима пројеката: ТР36009 – *Примена GNSS и LIDAR технологије у мониторингу стабилности инфрасруктурних објеката и терена* (Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике

Србије), *BEWARE (UNDP Serbia and People of Japan)* и *Mainstreaming climate resilience in the transportation sector in Serbia (World Bank)*, који су својим ангажовањем допринели да резултати пројеката буду значајан искорак у методологији истраживања и процени хазарда од клизишта у Србији и региону, како у научном тако и у стручном погледу. Такође се захваљујем члановима Српске академије наука и уметности на позиву за учешће у циклусу предавања „Геохазард у Србији у 21. веку – знање је најбољи бедем против стихије“.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dragičević S., Filipović D., Kostadinov S., Ristić R., Novković I., Živković N., Anđelković G., Abolmasov B., Šećerov V. & Đurđić S. (2011). Natural Hazard Assessment for Land-Use Planning in Serbia. *Int. J. Environ. Res.*, 5(2): 371–380.
- [2] Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Abolmasov, B., Mikoš, M., Komac M. (2013). The ICL Adriatic-Balkan Network: Analysis of current state and planned activities. *Landslides* 10(1):103–109.
- [3] Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030, UNISDR/GE/2015 – ICLUX EN5000 1<sup>st</sup> <http://edition.www.unisdr.org>
- [4] Cruden D. M., Varnes D. J. (1996). Landslide types and processes. 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. 36–75.
- [5] Cruden D., D. F. VanDine (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 7359, 2013.
- [6] Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. (2012). Varnes classification of landslides types, an update. *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International and 2<sup>nd</sup> American Symposium on Landslides and Engineered Slopes*, Banff, Canada, 3–8 June, 2012. Eds: Eberhardt E., Froese C., Turner K., Leroueil S., Taylor & Francis Group, London, Vol. 1, 47–58 p.
- [7] Јањић, М. (1979). Инжењерска геодинамика. Рударско-геолошки факултет, Београд, 175 стр.
- [8] Varnes D. J. (1984). Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. *Natural Hazards* 3. UNESCO Press, Paris. 63 pp.
- [9] Aleotti P., Chowdhury R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 58:21–44.
- [10] Guzzetti F, Carrara A, Cardinalli M, Reichenbach P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31:181–216.
- [11] Crozier M. & Glade T. (2005). Landslide hazard and risk: Issues, Concepts and Approach. In: Glade T., Anderson M. & Crozier M. (Eds) 2005. *Landslide hazard and risk*. John Wiley & Sons Ltd, England, February 2005. 1–40 p.



- [12] Van Westen C. J., Castellanos E., Kuriakose S. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102: 112–131.
- [13] Abolmasov B. (2007). Vrednovanje parametara geološke sredine za ocenu hazarda klizanja terena. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd. 258 str.
- [14] Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage WY. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* 102: 85–111.
- [15] Cascini L. (2008). Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology* 102: 164–177.
- [16] Corominas J., van Westen, Frattini P., Cascini L., Malet JP, Fotopolou S., Catani F., Van Den Eeclaut M., Mavrouli O., Agliardi F., Pitikalis K., Winter M., Pastor M., Ferlisi S., Tofani V., Hervas J., Smith JT. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulleting of Engineering Geology and Environment* 73:209–263.
- [17] Lee E. M., Jones D. K. C. (2004). *Landslide Risk Assessment*. Tomas Telford Ltd., UK. 454 pp.
- [18] Аболмасов Б., Крушић Ј., Андрејевић К., Марјановић М., Станковић Р., Ђурић У. (2017). Примена АНР и ВоЕ методе у процени подложности терена на клижење за подручје општине Крупањ. *Изградња* 7–10: 239–246.
- [19] Abolmasov B. (2016). *Landslide Risk Management Study in Bosnia and Herzegovina*, UNDP Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, BiH. pp 82. <http://www.ba.undp.org/>
- [20] Andrejev K., Krušić J., Đurić U., Marjanović M., Abolmasov B. (2017). Relative Landslide Risk Assessment for the City of Valjevo. In: M. Mikoš et al. (eds.), *Advancing Culture of Living with Landslides, Proceedings of 4<sup>th</sup> World Landslide Forum, Ljubljana 29 May – 02 June 2017*. Springer International Publishing, Vol. 3. 525–523p.
- [21] Marjanović M., Đurić U., (2016) From Landslide Inventory to Landslide Risk Assessment: Methodology, current practice and challenges. III Congress of Geologists of the Republic of Macedonia, September 30 – October 02, Struga Macedonia, 199–208 p.
- [22] Marjanović M., Abolmasov B., Đurić U., Zečević S. (2013). Impact of geo-environmental factors on landslide susceptibility using an AHP method: A case study of Fruška Gora Mt., Serbia. *Annales Geologiques de la Peninsule Balkanique* 74: 91–100.
- [23] Marjanović, M., Kovačević, M., Bajat B., Mihalić, S., Abolmasov, B. (2011). Landslide Assessment of Starča Basin (Croatia) Using Machine Learning Algorithms. *Acta Geotechnica Slovenica* 2011 (2): 45–55.
- [24] Аболмасов Б. (2017). Утицај промена климе на процену хазарда од клизишта на путној мрежи Србије. *Пут и саобраћај* 3: 21–34.
- [25] Gariano SL, Guzzetti F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth Science Reviews*, doi: 10.1016/j.earscirev.2016.08.011
- [26] Aleotti P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology* 73 (3/4): 247– 265.
- [27] IPCC, 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 [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. <http://www.ipcc.ch/> (приступљено 2. 8. 2017).
- [28] Kržić A., Tošić I., Djurdjević V., Veljović K.; Rajković B. (2011). Changes in climate indices for Serbia according to the SRES-A1B and SRES-A2 scenarios. *Climate Research* 49: 73–86, doi: 10.3354/cr01008.
- [29] Rajković B., Vujadinović M. and Vuković A. (2013). Report on revisited climate change scenarios including review on applied statistical method for removing of systematic model errors, with maps of temperature, precipitation and required climate indices changes; Second national communication of the Republic of Serbia under the United Nations framework convention on climate change. MERZ, Belgrade, Serbia (on-line) available at <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/>. (приступљено 5. 9. 2018).
- [30] Leroueil S., Locat J., Vaunat J., Picarelli L., Lee H., Faure R. (1996). Geotechnical characterization of slope movements. Special lecture. In: Senneset K. (Eds) *Proceeding of the VII International Symposium on Landslides*, Trondheim, 17–21. June 1996, Norway. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. Vol. I. 53–74.
- [31] Krušić J., Andrejev K., Abolmasov B., Marjanović M. (2017). Preliminary results of the Selanac debris flow modelling in RAMS – a case study. *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region – Advances in Landslide Research*, 11–13 October 2017 Ljubljana, Slovenia, Eds. Jemec Auflič M., Mikoš M., Verbovšek T., Geological Survey of Slovenia. Vol. 1:95–100.

*Biljana Abolmasov*

## LANDSLIDE HAZARD IN SERBIA IN THE 21<sup>st</sup> CENTURY

### S u m m a r y

In recent years, Serbia has been vulnerable to natural hazards, particularly floods, torrential floods and landslides. Landslides are one of the main geological hazards in Serbia (according to the international classification). Existing landslides or areas prone to landslides are covering more than 16% of the Serbian territory (according to a rough estimation and published scientific research). Depending on the type of movement more common types are slides, flows and falls. According to the type of material involved there are all types of material: rocks, debris, and earth-soil.

Landslides can be caused by one or more factors of which morphological, geological and engineering geological are main causal factors. Geomorphological terrain characteristics, further to lithological are their composition have a significant influence on the occurrence of instabilities. The most landslides in Serbia are triggered by precipitation – rainfall and snowmelt, or a combination of the two.

Landslide risk assessment unfolds gradually, starting from the appropriate inventory, selection of conditioning and triggering factors, landslide susceptibility or hazard assessment, mapping elements at risk, and landslide vulnerability assessment. All these segments and their techniques depend on the choice of working scale, complexity of the case, i.e. the type of the landslide phenomena and the purpose of analysis.

According to the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, an increase in the frequency and the intensity of extreme rainfall is expected in the south-eastern Europe. Among different impacts, this increase might result in a variation in the frequency and the spatial distribution of rainfall-induced landslides (landslide hazard). The influence of climate variables (precipitation) and its variations on landslide hazard should be analyzed by taking into account the Serbian National Climate Scenario Models up to 2100.