УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Урош М. Ђурић

КВАНТИТАТИВНА ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА УМКА КОД БЕОГРАДА

докторска дисертација

Београд, 2020.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Uroš M. Đurić

QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT OF "UMKA" LANDSLIDE NEAR BELGRADE

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020

Ментор:

_____

Др Биљана Аболмасов, дипл. инж. геол, редовни професор
Ужа научна област: инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Чланови комисије:

_____

Др Гордана Хаџи-Никовић, дипл. инж. геол, ванредни професор
Ужа научна област: инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

_____

Др Зоран Радић, дипл. инж. геол, ванредни професор
Ужа научна област: инжењерска геологија
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Датум одбране: _____

ЗАХВАЛНОСТ

Докторска дисертација „Квантитативна процена ризика од клизишта Умка код Београда“ урађена је у оквиру пројекта ТР 36009 под називом „Примена GNSS и LIDAR технологије у мониторингу стабилности инфраструктурних објеката и терена“, који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у периоду од 2011-2020 године.

Посебну захвалност дугујем:

- Бранку Јелисавацу и Светозару Миленковићу из Института за путеве – Београд, за уступање и увид у стручно-техничку документацију документацију, савете током истраживања и подршку у раду;
- Грађанима, власницима и корисницима објеката на клизишту „Умка“, за несебичну подршку приликом евидентирања објеката и датим сагласностима за обраду података као и за све скуване кафе и разговоре;
- Председници Нашег удружења „Умка“ – Славици Дацић, за подршку приликом реализације теренских истраживања 2017. и 2018. године;
- Војногеографском институту – Београд за уступљене архивске аероснимке ширег подручја клизишта „Умка“ и помоћ при обради истих;
- Компанији *Mapsoft* из Београда за уступљене дигиталне архивске аероснимке ширег подручја клизишта „Умка“;
- Ј.П. Путевима Србија, за уступљене податке о саобраћају на подручју клизишта „Умка“;
- Наставном особљу и студентима катедре за геотехнику Рударско-геолошког факултета, за подршку током рада и савете приликом израде дисертације као и током теренског рада;
- Наставном особљу и студентима волонтерима катедре за геодезију и информатику Грађевинског факултета Универзитета у Београду за теренски, кабинетски рад и обраду геодетских података;
- Наставном особљу катедре за грађевинску геотехнику Грађевинског факултета, за подршку током рада и саветима приликом израде дисертације;
- Daniele Perissin-у за уступљен софтвер *SarProz* за анализу радарских снимака и веома корисне савете током њихове обраде и анализе (www.sarproz.com);
- „Јантар групи“ из Београда за техничку подршку;
- Компанији Vekom Geo d.o.o. из Београда за техничку подршку око функционисања и одржавање GNSS станице на клизишту „Умка“;
- Весни Тахов и Ивици Торњанском из Урбанистичког завода Београда за омогућен увид у планску документацију;
- Члановима комисије проф. др Зорану Радићу и проф. др Гордани Хаџи-Никовић за све сугестије и примедбе које су побољшале крајњу верзију дисертације;
- Николи Росићу за помоћ око хидролошког моделовања нивоа Саве и Николи Тошићу за корисне савете током израде рада;
- Менторки, проф. др Биљани Аболмасов хвала за деценију успешног заједничког рада, од почетка до краја;
- Ненаду, Јови, Мими, Јелки, Марку, Петку, Милошу … хвала вам од срца за све сате и дане које сам вам одузео да бисте ми несебично помогли да истраживања и рад приведем крају.

Највећу захвалност дугујем мојој Драгани и породици без чије вишегодишње подршке израда ове тезе не би била могућа.

КВАНТИТАТИВНА ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА УМКА КОД БЕОГРАДА

Сажетак

Квантитативна процена ризика од клизишта, у зависности од размере истраживања, представља својеврстан истраживачки изазов, који се огледа у потреби да се на аналитички начин, уз примену различитих комплексних метода мултидисциплинарног и интердисциплинарног осматрања, инжењерскогеолошког и геотехничког моделовања природних параметара и узрочника нестабилности терена, изврши процена хазарда и ризика од клизишта. Квантитативном анализом ризика од клизишта се, приликом дефинисања и одређивања меродавних параметара који на њега утичу, примењују детерминистички и пробабилистички модели динамике чиме се делимично елиминише могућност појаве грешака услед субјективности истраживача.

За студију случаја је одабрано познато клизиште „Умка“, код Београда, које активношћу већ читав век угрожава стамбене објекте и објекте инфраструктуре, који преко њега прелазе, тако и становништво, које и даље живи на њему. „Умка“ је активно, дубоко, споро и комплексно клизиште, са периодима веће и мање активности које проузрокују значајну штету по угрожене елементе који су изложени ризику. Дисертацијом је приказан поступак дефинисања и израде 3D модела комплексног, дубоког и спорог клизишта „Умка“ са пратећим анализама стабилности и приказане су процедуре за евидентирање елемената у ризику. Процењена је физичка угроженост елемената у ризику на клизишту „Умка“, на основу поступака и образаца, први пут дефинисаних овом дисертацијом и на крају, извршена је процена хазарда и ризика од клизишта „Умка“, са проценом штете, која може настати приликом реализације различитих сценарија хазарда.

У Србији постоје бројна клизишта која се простиру на десним обалама Саве и Дунава а која имају сличне услове генезе и динамике, на које могу бити примењени поступци и резултати приказани у овој дисертацији.

Кључне речи: хазард, геотехнички модел, рањивост, објекти, инфраструктура, изложеност, моделовање, штета, становништво, саобраћај

Научна област: геолошко инжењерство

Ужа научна област: инжењерска геологија, геомеханика и геотехничко инжењерство

УДК: 624.131.542:005.334(497.11)(043.3)

QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT OF “UMKA” LANDSLIDE NEAR BELGRADE

Abstract

Quantitative landslide risk assessment, considering the area and scale of investigation, represents a research challenge, that is reflected by need to analyse, in an analytical manner, using various complex methods. Those methods of multidisciplinary and interdisciplinary observation, engineering geological and geotechnical modelling of natural parameters and causes of terrain instability are performed for landslide hazard and risk assessment. The deterministic and probabilistic dynamics models are applied to define and determine the relevant parameters that affect the quantitative landslide risk assessment. This eliminates the possibility of errors due to the subjectivity of the researcher.

“Umka”, near Belgrade, is chosen as a case study. This landslide is known as a very active landslide that for a century threatens housing and infrastructure facilities, as well as the population that still lives on it. The “Umka” landslide is active, deep, slow and complex landslide with periods of higher and lower activity, which causes significant damage to the exposed elements at risk. The dissertation presents the process of defining and designing a 3D model of a complex, deep and slow landslide "Umka" with stability analyses and described procedures for inventorying elements at risk. The physical vulnerability of risk elements at the “Umka” landslide was assessed based on the procedures and questionnaires that are first time defined in this dissertation. At the end, the hazard and risk assessment of the “Umka” landslide was defined as well as damage, which may occur from realization of the various hazard scenarios.

The methods and results, represented within this dissertation could be applied onto numerous landslides that extends to the right bank of Danube and Sava River.

Keywords: hazard, geotechnical model, vulnerability, facilities, infrastructure, exposure, modeling, damage, population, traffic

Scientific field: geological engineering

Scientific subfield: engineering geology, geomechanics and geotechnical engineering

UDC: 624.131.542:005.334(497.11)(043.3)

Садржај

1. Увод ... 1
2. Теоријске основе ... 6
2.1 Теоријске основе квантитативне процене ризика од клизишта ... 7
2.2 Усвојен концепт за квантитативну процену ризика ... 9
2.3 Идентификација и процена хазарда (H) ... 10
2.4 Елементи у ризику (E) и њихова изложеност (Exp) ... 14
2.5 Угроженост од клизишта ... 15
2.5.1 Индекс отпорности објеката ... 16
2.5.2 Индекс рањивости објеката ... 17
2.5.3 Физичка угроженост објеката ... 17
2.6 Процена ризика и штете од клизишта ... 18
2.6.1 Специфични ризик по грађевинске објекте високоградње ... 18
2.6.2 Специфични ризик по грађевинске објекте нискоградње ... 18
2.6.3 Укупна штета по грађевинске објекте високоградње ... 19
2.6.4 Специфични ризик по становништво ... 19
2.6.5 Индиректна штета по покретне елементе у ризику ... 20
3. Опште карактеристике клизишта „Умка“ ... 21
3.1 Географске одлике ... 21
3.2 Климатске одлике ... 23
3.3 Геоморфолошке карактеристике и геолошка грађа ширег подручја ... 25
3.4 Узроци нестабилности терена на ободима неогених басена Србије ... 29
4. Методологија истраживања и улазни подаци ... 30
4.1 Студија случаја ... 30
4.2 Прикупљање и анализа литературних података ... 31
4.2.1 Преглед научне и стручне литературе о клизишту „Умка“ ... 31
4.2.2 Преглед техничке документације о клизишту „Умка“ ... 32
4.3 Методе даљинске детекције ... 36
4.3.1 Прикупљање и фотограметријска обрада архивских авиоснимака и ортофотоа ... 36
4.3.2 UAV фотограметријско снимање ... 41
4.3.3 Фотограметријско процесирање авио и UAV снимака ... 42
4.3.4 Квалитативна анализа авио/UAV снимака и ортофотоа ... 45
4.3.5 Квантитативна анализа архивских, UAV снимака и ортофотоа ... 46
4.3.6 Сателитска радарска интерферометрија ... 48
4.4 Прикупљање и анализа теренских података ... 55
4.4.1 Инжењерскогеолошко картирање и рекогносцирање ... 55
4.5 Методе геодетског мониторинга ... 56

4.5.1 Мониторинг GNSS кинематским позиционирањем 57
4.5.2 Статички аутоматски GNSS мониторинг 60
4.6 Прикупљање и анализа климатских и хидролошких података 66
4.7 Прикупљање података о елементима у ризику 67
4.7.1 Прикупљање података о непокретним елементима у ризику 67
4.7.2 Прикупљање података о покретним елементима у ризику 78
4.8 Методе моделовања 79
4.8.1 Дигитални елевациони модел (DEM) 80
4.8.2 Климатски и хидролошки модели 84
4.8.3 3D анализа стабилности 86
4.8.4 Подела на квази-геотехничке блокове 90
5. Резултати истраживања 91
5.1 Резултати анализе литературних података и техничке документације 91
5.1.1 Морфометријске и геоморфолошке одлике 91
5.1.2 Хидролошка својства корита реке Саве 95
5.1.3 Хидрогеолошка својства терена 96
5.1.4 Анализа динамике клизишта инклинометарским осматрањем 98
5.1.5 Регионална и локална сеизмичка активност 99
5.2 3D модел клизишта „Умка“ 101
5.2.1 Геометризација и параметризација геолошког модела 101
5.2.2 Хидролошки и хидрогеолошки модел 112
5.2.3 Динамички модел 119
5.2.4 Квази-геотехнички блокови 151
5.3 Елементи у ризику 157
5.3.1 Непокретни елементи у ризику 157
5.3.2 Покретни елементи у ризику 171
6. Квантитативна процена ризика 173
6.1 Процена хазарда 173
6.1.1 Сценарији хазарда са вероватноћом реализације 173
6.1.2 3D прорачун стабилности на основу сценарија хазарда 174
6.1.3 Олеате хазарда 181
6.2 Процена физичке угрожености елемената у ризику 184
6.2.1 Прорачун индекса отпорности за објекте на клизишту (Ω) 185
6.2.2 Прорачун индекса рањивости за објекте на клизишту (Vu) 190
6.2.3 Прорачун физичке угрожености објеката (V_{f_tot}) 195
6.3 Процена ризика и штете 196
6.3.1 Специфични ризик по објекте високоградње 196
6.3.2 Специфични ризик по становништво 199

6.3.3 Укупна материјална штета за објекте високоградње 201
6.3.4 Специфични ризик по објекте нискоградње..... 204
6.3.5 Прорачун индиректне штете за покретне елементе у ризику (саобраћај) .. 206
7. Оцена добијених модела ризика и верификација.....208
8. Закључак.....218
9. Литература 224

Списак прилога:

Прилог 1.1. Информације и метаподаци о сателитским радарским снимцима *Sentinel 1a* мисије (узлазни режим);

Прилог 1.2. Информације и метаподаци о сателитским радарским снимцима *Sentinel 1a* мисије (силазни режим);

Прилог 2.1. Геотехнички профил истражне бушотине УМ-1;

Прилог 2.2. Фотографије језгра истражне бушотине УМ-1;

Прилог 3. Пример пописног листа за објекте нискоградње на клизишту „Умка“;

Прилог 4. Пример експертског анкетног листа за утврђивање физичке угрожености објеката на клизишту „Умка“.

Списак коришћених абревијација

QLRA – Квантитативна анализа ризика од клизишта/Quantitative Landslide Risk Assessment
GPS - Глобални позициони систем / Global Position System
GNSS - Глобални навигациони сателитски систем / Global Navigation Satellite System
GSM - Глобални систем за мобилну комуникацију /G lobal System for Mobile Telecomunications —
РГЗ - Републички геодетски завод
РГФ - Рударско-геолошки факултет (Универзитет у Београду)
ГРФ - Грађевински факултет (Универзитет у Београду)
АГРОС - Активна геодетска референтна основа Србије
ВГИ - Војногеографски институт генералштаба Војске Србије
ДОФ – дигитални ортофото
ГЛОНАСС - Глобални навигациони Спутњиков систем Руске федерације
ESA - Европска свемирска агенција / European Space Agency
SEO – специфична електрична отпорност / specific electrical resistance
ПГДС – просечан годишњи дневни саобраћај / Average Anual Daily Traffic
IPA - Инструменти за претприступну помоћ / Instrument for Pre-Accession Assistance
AASHTO - Америчка асоцијација за државне ауто-путеве и транспорт /American Association of State Highway and Transportation Officials
USCS - Систем јединствене класификације тла /Unified Soil Classification System
LiDAR - технологија ласерског скенирања терена / Light Detection and Ranging
InSAR - интерферометријски радар са синтетичком блендом / Interferometric Synthetic-Aperture Radar
D-inSAR - диференцијална интерферометрија / Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar
PsInSAR - радарска интерферометрија са фазно стабилним радарским метама Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
SM – ускопојасни режим снимања / Stripmap
IW – Интереферометријски широки захват/ Interferometric Wide swath
EW – Екстра широки захват / Extra-Wide swath
WV – таласни режим снимања / Wave mode
LOS – правац погледа скенирања / Line of Sight
DEM– дигитални елевациони модел / Digital Elevation Model
DSM - дигитални модел површина / Digital Surface Model
TIN – метода генерисања дигиталног модела терена у форми неправилних троуглова / Triangular Irregular Network
CAD - дизајнирање рачунаром / Computer-Aided Design
GIS - геоинформациони систем / Geographic Information System
GCP – контролна тачка на површини / Ground Control Point
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
APS - Atmospheric Phase Screen
IDW – Тежина инверзне удаљености/Inverse Distance Weighting
UAV – Беспилотни ваздухоплов (дрон)/ Unmanned aerial vehicle

1. Увод

Хазарди се, у најширем смислу могу сврстати у две групе: природне и вештачке. Природним хазардима се сматрају они хазарди који су настали природним путем (деловањем искључиво природних сила и закона) и који у значајној мери угрожавају живи свет, природно и људско окружење. Природни хазарди се могу поделити у три велике групе: геолошке, климатске и биолошке. Геолошки хазарди представљају скуп геолошких појава и процеса који могу угрозити становништво и/или живи свет.

Клизишта су сврстана у геолошке хазарде, која могу имати последице на природна, материјална и културна добра, али и људске животе. Спадају у ред најраспрострањенијих геолошких хазарда на свим континентима, али се могу јавити и у подводним срединама. Србија је држава која спада у категорију угрожених од стране клизишта и на чијој територији су активна бројна клизишта. Као таква, клизишта су један од веома заступљених савремених геолошких егзодинамичких процеса. Клижење, као процес се може јавити спонтано у природним условима који владају у тлу или стенској маси, или као последица антропогене активности. Најчешћи узрочник клизишта услед људске активности јесте немарност приликом изградње објеката и то у току извођења земљаних радова тј. током промене морфологије терена за потребе урбанизације и изградње. Најчешће се јављају на падинама брежуљкастих, брдских и брдско-планинских терена уколико се појављују у природним условима, или у косинама засека, усека и насипа уколико су последица антропогене активности. Клизишта, као таква, представљају глобални феномен и спадају у природне хазарде који изазивају значајну материјалну штету која износи више милијарди долара на годишњем нивоу, док неретко изазивају жртве са фаталним исходом и у значајној мери могу утицати на социоекономске одлике региона/државе где су честа појава.

Учесталост појава и све веће материјалне штете од клизишта, проузроковало је и повећано интересовање за процену хазарда и ризика од клизишта, како на глобалном нивоу, тако и у Србији, чија је територија у знатној мери захваћена процесима клижења у току претходних деценија. Наиме, територија Србије је у веома кратком временском периоду од само једне деценије (2006. до 2015. године), била захваћена активирањем, интензивирањем или реактивирањем већег броја клизишта услед обилних падавина, па су државне институције, стручна и шира јавност биле додатно заинтересоване за овај природни процес.

Предмет докторске дисертације је био израда квантитативне анализе ризика (QLRA), спорог, дубоког, блоковског клизишта са комбинованим блоковским кретањем, па самим тим моделовање таквог клизишта и анализа ризика је представљало својеврстан научни изазов. Непосредни предмет и тема овог рада је била квантитативна процена ризика клизишта „Умка“ код Београда, на десној обале реке Саве, у југозападном делу насеља Умка - на државном путу IB26 (Београд – државна граница са БиХ - г.п. Мали Зворник). Основни циљ истраживања је био да се испита могућност моделовања и процене ризика комплексног клизишта, које у значајној мери угрожава објекте и државну саобраћајницу, применом савремених технологија и метода моделовања.

Основни мотиви и разлози за одабир овог клизишта као студије случаја за дефинисање квантитативног модела процене ризика су били следећи:

- за клизиште „Умка“ постоји обимна стручна документација раније изведених детаљних инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања за различите нивое пројектовања и намене;
- домаћи аутори и стручњаци су објавили велики број стручних и научних радова који се баве проблематиком клизишта „Умка“ из домена различитих дисциплина;
- за клизиште „Умка“ постоје израђене разноврсне подлоге: од урбанистичких, геолошких, инжењерско геолошких, геодетских и геотехничких, које су могле да се искористе приликом процене ризика;
- за шире подручје „Умка“ постоје доступни архивски авиоснимци и сателитски радарски снимци за различите временске периоде у распону од неколико деценија до данас;
- клизиште угрожава више од 340 објеката високоградње различите намене, као и значајне објекте линијске инфраструктуре, укључујући деоницу државног пута IB26 која је посебно добила на значају као веза са аутопутем „Милош Велики“;
- на клизишту постоји вишегодишњи систематски геодетски мониторинг у виду GNSS перманентне станице, док је претходним фазама детаљних геотехничких истраживања вршен и геотехнички мониторинг осматрањем инклинометара и пијезометара;
- статус клизишта „Умка“ није решен у стручној пракси, где и даље постоје неслагања у вези инжењерског и техничког решења санације;
- иако је на клизишту „Умка“ забрањен сваки вид градње објеката, на телу клизишта је изграђено неколико десетина нових објеката док се и даље користе објекти за које постоји решење о забрани коришћења, чиме и даље постоји значајан ризик по становништво, имовину и инфраструктуру;
- на клизишту „Умка“ постоји могућност непосредне провере резултата јер је клизиште активно и највећим делом приступачно за рекогносцирање;
- до сада у Србији није рађена комплексна квантитативна процена ризика од клизишта;
- у Београду и Србији, постоје бројна клизишта која имају сличне услове и механизме формирања и динамике за чију би процену ризика могао бити коришћен усвојен модел ризика од клизишта „Умка“.

Како би била извршена квантитативна анализа ризика, истраживања су изведена у неколико фаза, која се могу сматрати појединачним циљевима у склопу истраживања:

- просторно дефинисање геометрије клизишта и његових основних карактеристика (геометризација);
- класификација клизишта према савременој међународној литератури;
- дефинисање активатора процеса - анализе падавина, нивоа подземних вода и потенцијалне сеизмичке активности;
- инструментално одређивање брзине клизишта у времену на основу примена метода геотехничког и геодетског мониторинга;
- процена хазарда са анализом вероватноће тј. прогноза понашања процеса приликом реализације усвојених сценарија;
- усвајање 3D модела клизишта „Умка“ и анализа стабилности новоусвојених квазигеотехничких блокова клизишта „Умка“;

- квантитативна процена ризика свих елемената у ризику (просторно-узрочна процена угрожености елемената ризика који су директно или индиректно угрожени) са проценом могуће штете која том приликом може настати.

Досадашњим комплексним инжењерскогеолошким и геотехничким истраживањима није у потпуности просторно дефинисан, нити усвојен комплетан 3D модел који би могао бити коришћен за процену хазарда приликом реализације различитих сценарија. Коначно дефинисање и усвајање 3D модела је теоретски омогућено на основу успостављеног вишегодишњег аутоматског геотехничког мониторинга, чиме су се стекли услови за 3D анализу стабилности, а тиме и процену хазарда, ризика и на крају процену штете за све елементе у ризику.

На основу изложеног, полазне хипотезе дисертације су биле следеће:

- Да ли је могуће 3D моделовање и анализа стабилности комплексног, дубоког, спорог клизишта „Умка“ уз помоћ доступних софтверских решења?
- Да ли је могуће извршити квантитативну анализа и процену хазарда од таквог клизишта на основу постојећих података истраживања?
- Да ли је могуће извршити квантитативну процену ризика таквог клизишта на основу процене хазарда и свих података који су прикупљени на терену?
- Које су могућности добијених модела ризика за потребе пројектовања и процене евентуалне сврсисходности санације/превенције процеса?
- Које су предности, а који недостаци предложеног приступа процене хазарда и ризика код сложеног дубоког клизишта, уз осврт на ограничења пружених решења?

До сада у Србији ни за једно клизиште није постојао такав обим података, који укључује вишегодишњи континуирани мониторинг, нити је познато да је до сада неко клизиште у Србији анализирано на овако комплексан начин. Моделовање клизишта је обухватило не само физичко-механички модел на основу резултата теренских истраживања и лабораторијских опита већ и корелацију тих резултата са другим методама осматрања као што су даљинска детекција, геодетски и геотехнички мониторинг итд.

Резултати дисертације се огледају у надградњи досадашњих сазнања о примени квантитативне анализе ризика код комплексних, спорих, дубоких клизишта, која угрожавају значајан број стамбених и објеката инфраструктуре са проценом тј. прогнозом могућих последица. Основни резултат су дефинисани меродавни параметри за процену ризика клизишта „Умка“ и дефинисан поступак 3D моделовања.

Дисертацијом је приказана могућност софтверског моделовања комплексног клизишта у 3D окружењу, применом различитих програма и 3D анализом стабилности клизишта „Умка“ приликом различитих хидролошких, хидрогеолошких и сеизмичких услова који су представљени сценаријима реализације.

Са практичног аспекта, стечена су нова сазнања о узроцима интензивирања клизишта „Умка“ и његовом геодинамичком инжењерскогеолошком и геотехничком моделу, која се могу применити на друга слична, дубока клизишта у неогеним седиментима дуж десних обала Дунава и Саве. Сазнања о геодинамичком и геотехничком моделу понашања могу омогућити да се у будућности, за потребе различитих нивоа пројектовања објеката, саобраћајница или урбанистичког планирања, предвиди развој процеса у одређеним сценаријима реализације хазарда. На тај начин, било би могуће предвидети и економске последице, које би биле пресудне за преиспитивање

сврсисходности санације или превенције процеса, што до сада није рађено на подручју Републике Србије (за поменути тип клизишта).

Научни допринос дисертације се огледа у следећем:

- израђене су олеате специфичног ризика по објекте, становништво, процењена је потенцијална штета и ризик по саобраћајнице на клизишту „Умка“;
- дефинисан је и усвојен 3D модел клизишта, са новом поделом на квазигеотехничке блокове и пратећим 3D анализама стабилности приликом реализације различитих сценарија;
- надограђена је постојећа методологија инжењерскогеолошког моделовања и процене ризика за комплексна, дубока и спора клизишта, која се може применити за слична, дубока неогена клизишта на десним обалама Саве и Дунава у Србији;
- формирана је геобаза постојећих и нових података, која се може применити за друге потребе, попут урбанистичког и просторног планирања, доношења одлука, измену постојећих урбанистичких и просторних планова итд;
- створена је могућност имплементације резултата у пракси у виду сарадње са локалном самоуправом и другим доносиоцима одлука.

Текст ове дисертације је подељен у девет логичких поглавља, у складу са организацијом при писању научних радова, у оквиру којих је обухваћена анализа расположивих инжењерскогеолошких и геотехничких података као и података који су добијени током теренског истраживања клизишта „Умка“.

У поглављу **Теоријске основе** приказан је сажет преглед теоријских основа процене ризика од клизишта, са појашњењем усвојених терминолошких одредница и методолошких поступака процене ризика, уз осврт на коришћену научну литературу.

Општи део садржи кратак приказ општих географских, климатских, геолошких, геоморфолошких и других одлика на подручју клизишта „Умка“ и непосредне околине, а које су биле од значаја за израду ове дисертације.

Поглавље **Методологија истраживања и улазни подаци** приказује методологију и поступке који су примењени за прикупљање података од значаја процену хазарда и ризика од клизишта „Умка“, са кратким освртом на коришћене улазне податке. Методологија обухвата опис примене неколико међусобно садржајно повезаних метода, које се увелико примењују приликом савремених инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања.

У потпоглављу „Прикупљање и анализа литературних података“, дат је синтетски приказ свих расположивих и анализираних инжењерскогеолошких и геотехничких података од значаја о клизишту „Умка“, у виду стручне и научне литературе, као и постојеће техничке документације, чији су подаци искоришћени за израду ове дисертације. У потпоглављу “Даљинска детекција“ је дат приказ методолошких поступака који су коришћени за прикупљање, процесирање и анализу података о динамици клизишта „Умка“ на основу различитих сензора, од UAV снимања преко авиоснимања до сателитских осматрања. У потпоглављу “Прикупљање и анализа теренских података“ дат је приказ методолошких поступака који су корићени за теренско прикупљање података, а који су били неопходни за процену ризика од клизишта као што су: инжењерскогеолошко картирање, геодетски мониторинг, попис елемената у ризику и анализа климатских и хидролошких података. У потпоглављу “Методе моделовања“ дат је кратак осврт на примењене методолошке поступке за инжењерскогеолошко и геотехничко моделовање клизишта „Умка“.

У поглављу **Резултати истраживања** дат је детаљан опис резултата, који су добијени на основу примењених методолошких поступака описаних у претходном поглављу. Прво су описани резултати анализе литературних података и техничке документације, потом су описани резултати оних истраживања на основу којих је формиран 3D модел клизишта „Умка“. Након тога су приказани резултати пописивања елемената у ризику, који су били од значаја за дефинисање њихове угрожености као једне од компоненте ризика.

Поглавље **Квантитативна анализа ризика од клизишта „Умка“** је конципирано тако да приказује резултате квантитативне анализе ризика од клизишта „Умка“ по редоследу који се у литератури назива од „хазарда до ризика“ (енг. *“From Hazard to Risk“).* У овом поглављу су приказани резултати процене ризика од клизишта на основу свих примењених методолошких поступака и на основу свих усвојених сценарија хазарда. Поглавље садржи детаљне резултате свих квантитативних прорачуна који су изведени за потребе коначне процене од ризика клизишта „Умка“.

Оцена добијених модела ризика и верификација приказује у кратким цртама критички осврт на добијене резултате и дискусију о њиховој валидности.

Последње поглавље обухвата закључке добијене на основу примењене методологије, добијених резултата истраживања и дискусије тј. оцене добијених модела.

2. Теоријске основе

Најпознатију општеприхваћену дефиницију ризика од клизишта је дао Varnes (1984) и она гласи: *"очекивани губитак људских живота, повређених особа, штете по имовину као и прекид комерцијалних и економских активности за одређено подручје и временски интервал".*

Последњих неколико деценија, ризик (R) од клизишта се одређује једноставним обрасцем (1) као производ хазарда (H), угрожености (V) и изложености елемената у ризику (E_r) (Varnes, 1981).

$$\boldsymbol{R = H \times V_{Er}} \qquad (1)$$

Хазард од клизишта (енг: *Landslide Hazard*) представља показатељ вероватноће активирања клизишта одређене магнитуде тј. интензитета, на одређеном подручју, у одређеном временском интервалу (Glade et al., 2005; Fell et al., 2008a). Хазард је у том смислу, функција просторне вероватноће која зависи од углавном статичких тј. стационарних (непромењливих) параметара са једне стране, и временске вероватноће која је у релативној вези са учесталошћу активатора клизишта (НПВ, земљотрес итд). Хазард од клизишта се може приказати општим обрасцем:

$$\boldsymbol{H_{KL} = p\,(M_{KL}) \times p\,(U_{KL}) \times PD} \qquad (2)$$

Где је:
H_{KL} - хазард од клизишта, изражен преко различитих компоненти;
M_{KL} - магнитуда клизишта;
U_{KL} - учесталост клизишта у одређеном временском периоду или интервалу;
PD - дистрибуција клизишта у простору;
p – вероватноћа;

Подложност терена ка клижењу (енг: *Landslide Susceptibility*) представља показатељ степена подложности терена ка активирању процеса клижења. Подложност терена ка клижењу се најчешће приказује картама тј. олеатама где су терени разврстани у неколико класа од најмање подложне до највише подложне ка клижењу. Слично као и код хазарда, подела процеса се врши на основу механизма и врсти покренутог материјала као и магнитуде, уколико је то могуће.

Изложеност елемената у ризику (енг: *Exposure*) представља показатељ присуства како људи, тако и покретне и непокретне имовине, који су представљени као елементи у ризику у зонама различитог степена хазарда. **Угроженост** (енг: *Vulnerability*) представља потенцијални степен губитака које би претрпели или трпе елементи у ризику уколико би били, или су већ изложени хазарду. Код хазарда, угроженост је у директној зависности од карактеристика елемената у ризику.

Ризик од клизишта (енг: *Landslide Risk*) представља показатељ очекиваних негативних последица на људе и њихова покретна и непокретна материјална добра. Може се изразити квалитативно или квантитативно преко социо-економских показатеља који се прорачунавају поменутим обрасцем (18). Процена ризика се увек врши за сваки појединачни елемент у ризику (или групу) и тада представља специфичан ризик (Rs). Примера ради, клизиште Умка угрожава неколико стотина стамбених објеката, део државног пута IB26 и пловни пут реке Саве који се морају посматрати као засебни елементи у ризику за које се ради прорачун. Укупни ризик (Rт) представља разматрање и процену ризика од свих могућих типова хазарда тј . појава нестабилности (клизишта, одрони, тецишта, бујице итд) у односу на све елементе у ризику који се налазе на одређеном подручју.

2.1 Теоријске основе квантитативне процене ризика од клизишта

Методолошки, процена ризика од клизишта се може поделити (Australian Geomechanics Society (AGS), 2000; Lee & Jones, 2014) на основу нивоа квантификације на:

Квалитативне методе, код којих се вероватноћа и губици изражавају у квалитативним терминима (мало, средње, много). Код примене квалитативне методе, присутна је велика доза субјективности али услед релативно једноставне примене представља најчешће примењивану методу приликом процене ризика од клизишта (Lee & Jones, 2014). Резултати добијени оваквим методама представљају поједностављен модел реалног проблема и могу садржати бројне грешке или могу бити погрешно протумачени, нарочито уколико се тумачењима добијених резултата не приступи критички.

Квази-квантитативне методе, које укључују индикативну вероватноћу тј. опсеге квантитативних вредности који се комбинују са квалитативним терминима (нпр: од 0-0,3 : мало; од 0,3 – 0,7: средње; преко 0,7 - много).

Квантитативне методе, код којих су вероватноћа и губици једнозначно и детаљно квантификовани за сваки елемент у ризику или његов сегмент, као и за сваку могућу појаву нестабилности на посматраном подручју. Основни задатак ове методе, јесте исказивање ризика нумерички тј. математичким изразима и бројчаним вредностима. Примена ова методе представља један од тежих задатака у инжењерскогеолошкој и геотехничкој пракси (van Westen et al., 2006) и захтева прикупљање и обраду већег броја различитих података (Lee & Jones, 2014). Процена ризика се увек изражава у распону вредности од 0 – 1, где 0 представља најмањи ризик тј. његов изостанак, док вредност један представља највећи ризик.

Правилан избор методе за процену ризика, зависи на првом месту од квалитета и квантитета улазних података док на другом месту зависи од размере и величине истражног подручја. На тај начин је условљена објективна прецизност коначне процене тј. модела док субјективна прецизност зависи од знања и искуства онога који примењује методологију.

Концепт квантитативне анализе ризика од клизишта (QLRA) подразумева комплетну процену и анализу ризика. Том приликом се користе сви расположиви подаци како би се извршила процена ризика у односу на елементе који су њему изложени (становништво, објекти, животна и радна средина). Основни кораци за успешно спровођење QLRA-а подразумевају следеће (Corominas et al., 2014): идентификацију и процену хазарда (клизишта), прикупљање података о елементима у ризику и анализу њихове изложености хазарду, процену угрожености, рањивости и на крају процену ризика.

Последњих деценија, бројни аутори су објавили на десетине научних радова који се баве дефинисањем и описивањем QLRA методологије. Већина тих радова се односи на приказ методолошких поступака за потребе регионалне размере док свега неколико радова укључује приказ поступака детаљне анализе на нивоу студије случаја. У наставку, следи кратак приказ најзначајнијих радова који су послужили као полазна основа за дефинисање теоријских основа и методлошких поступака који су коришћени за потребу израде ове дисертације.

У раду Corominas et al. (2014) су дате препоруке за: примену QLRA методологије, процену угрожености елемената у ризику за различите размере истраживања (од студије случаја до регионалне) као и приказ процедура које је неопходно применити за валидацију и проверу добијених резултата. Аутори су описали методе за процену вероватноће

појављивања најчешћих механизама кретања (на основу међународне класификације) као и методе одређивања њихове просторне дистрибуције и интензитета клизишта, карактеризације елемената у ризику, процене њихове штете и на крају квантификације ризика. Један од важнијих закључака до којег су дошли аутори, а који је примењен за израду ове дисертације тичу се дискусије о односу магнитуде и интензитета клизишта. У наведеном раду аутори, на основу анализе бројне литературе, истичу да је приликом процене ризика од клизишта, у зависности од механизма клижења код којих је крајњи резултат израђена крива штете, пожељније приступити дефинисању и квантификацији хазарда код активних клизишта, уместо уобичајене праксе која подразумева комбинацију анализе магнитуде и фреквенције (magnitude–frequency).

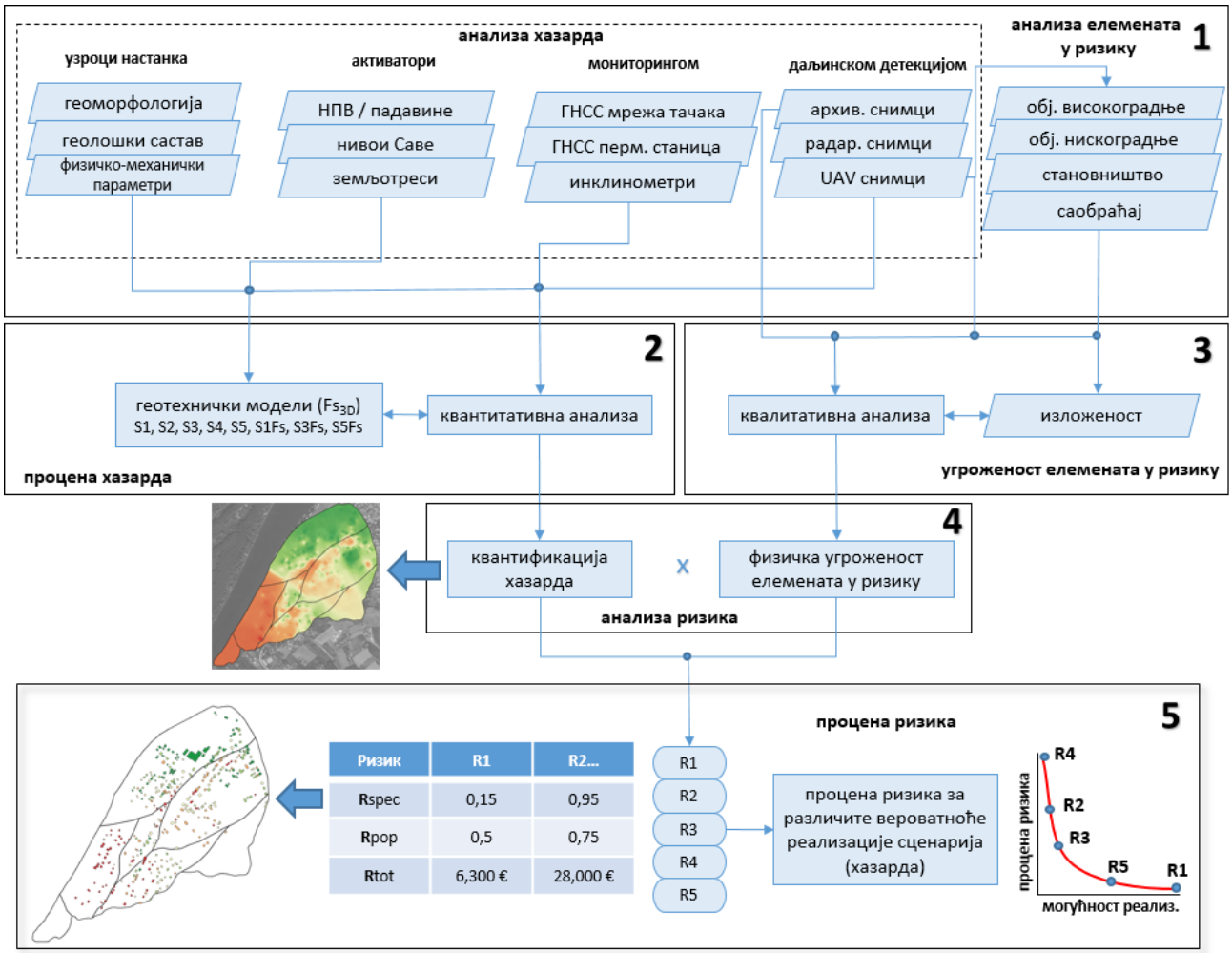
Van Westen et al. (2008) су у свом раду, иако се претежно баве анализама ризика регионалне размере, утврдили да квантификација хазарда и ризика од клизишта представља нарочит изазов у инжењерскогеолошкој и геотехничкој пракси. Најбитнији резултати рада су: прикази могућности примене топографских и урбанистичких подлога за просторно-временску процену хазарда и ризика, као и методолошки поступци за дефинисање и усвајање климатских сценарија који се користе приликом детерминистичке процене хазарда и касније ризика. Поред наведеног, аутори су приказали ограничења и комплексност наведених методолошких поступака.

Uzielli et al. (2015a, 2015b) су у својим радовима приказали детаљан поступак анализе података инструменталног вишегодишњег мониторинга великог, спорог и дубоког клизишта Анкона (Италија) са поступцима за квантификацију његовог хазарда и ризика за више од 70 угрожених објеката који су представљали елементе у ризику. Аутори су приказали могућност примене методе даљинске детекције (радарске интерферометрије) за случај када је потребно допунити податке о инструменталном мониторингу клизишта за потребе утврђивања хазарда од клизишта. Такође, у раду је детаљно приказан методолошки поступак за квантификацију угрожених елемената у ризику (стамбених објеката) на основу типолошке карактеризације тј. прорачуна усвојених индекса отпорности и угрожености који су зависили од грађевинских карактеристика самих објеката и услова у околном терену. Описан методолошки поступак у наведеним радовима је усвојен, уз делимичну измену и прилагођавање специфичностима које владају на клизишту „Умка“.

Del Soldato et al. (2017) у свом раду су приказали методолошки поступак за брзу и једноставну класификацију и карактеризацију оштећења на објектима која су настала као последица активног клижења а која зависе од односа величине померања тј. интензитета клизишта и утицаја на елементе у ризику (стамбене објекте). Аутори су предложили изглед пописног листа са свим елементима које је неопходно да такав лист садржи, како би резултати теренског евидентирања могли правилно да буду употребљени за процену хазарда и ризика од клизишта. Поред наведеног, у раду су описана оштећења на објектима на основу којих је могуће извршити њихову правилну категоризацију. Резултати приказани у овом раду су искоришћени као полазна основа за израду пописног листа за евидентирање елемената у ризику на клизишту „Умка“.

2.2 Усвојен концепт за квантитативну процену ризика

Алгоритам усвојеног концепта процене ризика за потребе израде ове дисертације је подељен у неколико различитих фаза које се међусобно допуњују или местимично преклапају (Слика 1).



Слика 1. Шематски приказ усвојеног модела за квантитативну анализу ризика од клизишта „Умка“

У првој фази (Слика 1-1) је анализиран хазард од клизишта „Умка“ на основу узрока настанка и активатора који су утврђени на основу изведених резултата истраживања, мониторинга и примењених метода даљинске детекције. На првом месту, анализирани су геолошки фактори и активатори који директно утичу на хазард клизишта „Умка“ (ниво Саве у кориту и НПВ), док је за екстремне сценарије разматрана и могућност појаве умереног земљотреса који би могао да додатно неповољно утиче на стабилност, а самим тим и на величину деформација на терену.

На основу мониторинга клизишта добијени су подаци о годишњим померањима тј. деформацијама на површини терена за најчешће хидрогеолошке и хидролошке услове чиме је дефинисан хазард клизишта „Умка“. На основу анализе радарских снимака добијени су подаци о динамици клизишта који су послужили за верификацију успостављеног концепта. На основу анализе архивских авиоснимака утврђена је динамика клизишта у виду праћења деформација на површини терена док су UAV снимци искоришћени за фотограметријске анализе и процесирања. У овој фази је активно вршен и геодетски мониторинг GNSS пријемницима и снимање површине тела клизишта тако да су прикупљени подаци били међусобно упоредиви са могућношћу

корелисања и успостављања узрочно-последичних односа. На крају прве фазе изведено је детаљно инжењерскогеолошко картирање и пописивање свих елемената у ризику.

Друга фаза (Слика 1-2) је обухватила процену хазарда од клизишта „Умка“ која је подразумевала детерминистички приступ комбинован са пробабилистичким сценаријима. Геотехничким моделом је обухваћено блоковско клижење комплексног клизишта као што је „Умка“, где је сваки блок моделован као независно мање клизно тело са различитом динамиком и условима интензивирања приликом реализације сваког сценарија. Ова фаза је подразумевала процену вероватноће реализације усвојених сценарија, који су дефинисани на основу геотехничког, и геодетског мониторинга (осматрања).

У трећој фази (Слика 1-3) усвојеног концепта процене ризика било је неопходно анализирати све прикупљене податке о физичкој угрожености покретних и непокретних елемената у ризику. Дефинисани су меродавни индекси отпорности објеката и индекси рањивости преко којих је изражена физичка угроженост објеката приликом изложености хазарду, у овом случају деформација од клизишта и штета које могу наступити током вишегодишње изложености хазарду.

Четврта фаза (Слика 1-4) је подразумевала анализу ризика по угрожене елементе у односу на усвојене сценарије хазарда. Специфични ризици су срачунати за угрожено становништво као и за угрожене објекте, док је укупни ризик подразумевао грубу процену штете која може да настане приликом реализације усвојеног сценарија хазарда.

Пету фазу (Слика 1-5) су чиниле процене ризика у односу на могућност реализације сваког сценарија хазарда. За сваки предвиђени сценарио изведене су статистичке анализе са проценом могућности реализације. На крају су израђене криве ризика у односу на вероватноћу реализације као и одговарајуће олеате са приказом дистрибуције угрожених покретних и непокретних елемената у ризику.

2.3 Идентификација и процена хазарда (H)

За сваку процену ризика од клизишта, неопходно је првобитно идентификовати хазард. Клизишта се у најширем смислу могу дефинисати као гравитациона кретања стенских маса и тла низ падину. Према међународним стандардима и класификацијама она обухватају велики број различитих типова кретања (Табела 1) од којих се у Србији у инжењерској пракси најчешће јављају: клижења (клизишта), одроњавања (одрони), течења (тецишта) и сложена (комплексна) кретања. Правилна идентификација и класификација клизишта представља основу за детаљнију процену хазарда, јер ће одабир методе у највећој мери зависити од механизма и брзине самог клизишта.

Поред наведеног, правилно и јединствено класификовање клизишта током каснијих фаза процене ризика омогућава добру комуникацију са другим повезаним струкама (грађевинска, урбанистичка итд) као и са јавним предузећима која одржавају или управљају објектима који могу бити или су елемент у ризику (путеви, железнице, електромрежа) и на крају са представницима локалне самоуправе чији су делови територије и становништво угрожени од клизишта и који на тај начин могу једноставније и поузданије да одлучују о евентуалном расељавању, планирању простора, надокнади штете и сл.

Табела 1. Класификација клизишта која је заснована на неколико критеријума: механизму кретања и врсти покренутог материјала (Varnes, 1978; Cruden & Varnes, 1996).
* - су означени најчешћи механизми клизишта у Србији.

Механизам кретања		**Врста покренутог материјала**		
		чврсто везана стена	невезане и полувезане стенске масе	
			дробина	тло
одроњавање*		одрон	одрон дробине	одрон тла
превртање		превртање стене	превртање дробине	превртање тла
клижење	**ротационо***	клижење стене	клижење дробине	клижење тла
	транслаторно*	клижење стене	клижење дробине	клижење тла
бочно ширење		бочно ширење стене	бочно ширење дробине	бочно ширење тла
течење*		течење/дубоко пузање стене	течење дробине	течење тла
			пузање тла	
комплексно кретање*		комбинација најмање два или више механизама кретања		

Анализа хазарда од клизишта представља најзначајнији сегмент и први корак приликом процене ризика од клизишта. Управо од правилне и квалитетне анализе хазарда као и резултата добијених том приликом, зависиће и сви остали пратећи сегменти процене и касније, управљања ризиком од клизишта. Анализа хазарда такође захтева прикупљање велике количине различитих статичких и динамичких података који су од значаја за настанак и развој процеса.

Приликом анализе хазарда од клизишта на нивоу студије случаја, неопходно је прикупити податке о свим релевантним активаторима и узрочницима клизишта. Неки од битнијих података о појединачној појави нестабилности су: локација и датум и тип појаве, класификација појаве према међународном стандардима, прецизно дефинисана геометрија, геолошка својства, узроци настанка, настале штете као и информације о претходним истраживањима и испитивањима терена. Приликом анализе хазарда од клизишта, најважније је идентификовати параметре који имају највећи утицај тј . значај на развој и активности процеса.

Приликом процене хазарда од клизишта, у зависности од размере истраживања, начелно се примењују неколико основних приступа: пробабилистички, хеуристички, статистички и детерминистички (Aleotti & Chowdhury, 1999; Guzzetti et al., 1999; Castellanos Abella & Van Westen, 2008). На основу наведене литературе, најчешће коришћени и препоручени приступи за процену хазарда у крупној-детаљној размери су детерминистички и пробабилистички.

Детерминистичке методе су оне код којих се користе прецизне, једнозначне вредности параметара који се користе приликом анализе и том приликом се добијају јединствене вредности као резултат. Код пробабилистичке методе користе се променљиви параметри који улазе у прорачун, док се уједно разматра и осетљивост коначног модела у зависности од промене тих параметара. Резултати добијени на такав начин имају одређени опсег вредности што зависи од варијанте нежељених исхода (Lee & Jones, 2014).

У зависности од размере и подручја истраживања, врсте појаве и нивоа процене тј. употребе коначних резултата, зонирање хазарда може се изразити на различите начине

и у различитим јединицама. На тај начин разликују се: просторно, линеарно и објектно зонирање (Corominas & Moya, 2008). За потребе регионалних истраживања, најчешће се примењује зонирање хазарда које се изражава као број појава унутар једног полигоналног објекта или пиксела по јединици времена (N клизишта/по пикселу (km^2)/годишње). Линеарно зонирање се најчешће врши за потребе процене хазарда на линијске инфраструктурне објекте као што су: путеви, железничке пруге, гасовод итд) и том приликом се хазард изражава као број појава које угрожавају одређену стационажу или деоницу линеарног објекта по јединици дужине и времена (N клизишта/100 m/годишње). Објектно зонирање се по правилу спроводи за појединачне студије случаја, за конкретни елемент или групу угрожених објеката. Приликом оваквог зонирања, хазард може бити изражен у релативним терминима као код регионалног или линеарног зонирања или као број појава које досежу до истражног подручја у јединици времена (N пута/годишње) (Corominas & Moya, 2008).

Магнитуда клизишта представља меру интензитета процеса и може се изразити потенцијалном масом или запремином, брзином покренутог материјала и даљином до које би покренути материјал могао да доспе (Crozier & Glade, 2012). За разлику од осталих дисциплина, попут сеизмологије, где магнитуда представља директну везу са потенцијалном ослобођеном енергијом земљотреса, магнитуда клизишта не представља увек једнозначан показатељ потенцијалног утицаја па се за процену хазарда од клизишта препоручује коришћење интензитета уместо магнитуде (Fell et al., 2008a).

Интензитет клизишта представља параметар који је неопходно правилно дефинисати приликом процене угрожености и очекиваних губитака који могу настати као последица процеса клижења (Solari et al., 2020). У својој књизи Hungr (2018) дефинише интензитет као процену потенцијално негативног дејства процеса клижења који зависи од његовог механизма, динамике и геометријских карактеристике. Даље, Uzielli et al. (2008) у свом раду наводе да процена интензитета клизишта представља комплексан, нелинеаран задатак и да не постоји јединствена методологија која се може применити на сва клизишта, већ да је увек неопходно радити прилагођавање начина одређивања и процене интензитета за свако појединачно клизиште. Већина аутора се слаже да се магнитуда клизишта углавном везује за запремину, дубину или даљину до које би покренути материјал могао да доспе, док се интензитет најчешће везује за брзину кретања. У савременој литератури се не поставља јасна граница између термина и оба се подједнако користе, зависно од механизма кретања. Савремене методе мониторинга клизишта, било применом геодетских ин ситу опажања или методама даљинске детекције су омогућиле једноставнију и поузданију процену интензитета клизишта у времену него што је то било могуће раније.

Клизиште „Умка“ представља познато, старо клизиште са различитим фазама активности (динамике). Под тим се подразумева да је цело тело клизишта, или његови поједини делови, обухваћено новим померањима дуж постојеће клизне равни која је са параметрима резидуалне чврстоће (Lee & Jones, 2014). Код оваквих клизишта, фазна динамика је изражена најчешће у виду спорих померања и мањих деформација појединих делова клизишта док се приликом одређених сценарија могу појавити значајно већа померања и деформације терена. Динамика клизишта „Умка“, у том смислу, најчешће зависи од активатора, у овом случају, нивоа Саве за приобалне делове клизишта и НПВ-а у телу клизишта за хиспонометријски више делове терена. Управо услед различите динамике у појединим деловима, тело клизишта је подељено у мање блокове (тзв. „блоковско клижење“) који су са различитом динамиком и активаторима (Brunsden & Jones, 1972). Честа промена интензитета појединих делова клизишта има за последицу промену морфолошких показатеља деформација на површини терена, па

тако у појединим временским оквирима на једном делу клизишта могу постојати изражени и видљиви секундарни ожиљци који касније могу бити маскирани истрбушењима и обрнуто.

На основу наведеног, као мера хазарда клизишта „Умка“ је усвојен однос величина померања тј. деформације на површини терена на годишњем нивоу (D_y) и фактора сигурности (Fs) блокова клизишта који су добијени 3D анализом стабилности. На овај начин је одговорено на неколико важних питања која се јављају приликом процене хазарда од клизишта: шта се може десити, када и под којим условима? Овде је важно напоменути да приликом одабира и примене ма ког начина процене хазарда, постоји одређени степен несигурности што је последица изразите хетерогености и просторно-временске променљивости бројних параметара који улазе у геолошки модел процеса и утичу на динамику а самим тим и интензитет клизишта. Услед наведеног, процени хазарда потребно је потребно приступити са одређеном дозом критичности.

Хазард од клизишта „Умка“ је у овој дисертацији представљен показатељем вероватноће интензивирања клизишта у оквиру тела клизишта, у односу на усвојени сценарио његове реализације и као такав има следеће компоненте које се могу изразити обрасцем (3):

$$H_{KL} = \{D_{Y1} \cdot [(Fs_{max} + Fs_{min}) - Fs]\} \quad (3)$$

Где је:
H_{KL} –хазард од клизишта „Умка“;
D_{Y1} –интензитет вектора деформације површине терена (за 1. годину);
Fs_{max} – максимална вредност 3D фактора сигурности за све сценарије;
Fs_{min} – минимална вредност 3D фактора сигурности за све сценарије;
Fs – фактор сигурности блока клизишта „Умка“ за усвојени сценарио.

Хазард од клизишта „Умка“ је, на овај начин, процењен на основу производа инверзног прорачунатог 3D фактора сигурности сваког блока клизишта по усвојеним сценаријима реализације активатора (нивоа Саве, НПВ-а и утицаја могућег земљотреса на стабилност блокова клизишта) и интензитета вектора деформација површине терена који су добијени GNSS опажањем тачака клизишта за једну годину. У геотехничкој пракси мања вредност фактора сигурности означава мању стабилност потенцијалног клизног или клизног тела, док се код процене ризика већим бројем означавају ризичнији делови. У складу са наведеним, за прорачун ризика према усвојеном моделу било је неопходно инвертовати све вредности фактора сигурности блокова које су добијене за сваки усвојен сценарио. Такође, за потребе процене ризика, све вредности фактора сигурности су након инверзије морали бити сведени на распон вредности од 0-1 (нормализовани).

Приликом утврђивања и потом анализе вероватноће реализације сценарија ризика, претходно је неопходно правилно дефинисати хазард од клизишта (Pascale et al., 2010; Crozier & Glade, 2012). Код активних великих и дубоких клизишта као што је „Умка“, с обзиром да је већ активан процес клижења, вероватноћу треба изразити као могућност реализације одређеног сценарија у једној години/месецу/дану који укључују активаторе који ће изазвати промену интензитета клизишта у виду деформација на површини терена а самим тим и утицати на штету на објектима. Код активног клизишта „Умка“ процена вероватноће реализације сценарија је подразумевала анализу могућности и комбиновања више различитих активатора.

На основу прегледа литературе, техничке документације, општих геолошких, геоморфолошких, инжењерскогеолошких својстава и података мониторинга о клизишту „Умка“ утврђена су три најчешћа активатора чије појединачно или удружено деловање

утиче на динамику и хазард клизишта „Умка“: ниво Саве у подножју, количина падавина које индиректно утичу на НПВ у телу клизишта „Умка“ и сеизмичко оптерећење клизишта приликом земљотреса.

На клизишту „Умка“ јединична вероватноћа (p) појављивања ма ког догађаја - активатора је израчуната помоћу следећег обрасца (4):

$$p = \frac{\text{број догађаја током осматраног времена}}{\text{укупно време осматрања}} \tag{4}$$

Годишња вероватноћа реализације удружених различитих догађаја у исто време тј. у истом тренутку (5) је добијено множењем годишње вероватноће сваког од појединачних догађаја:

$$p_{a,b,c} = p_a \cdot p_b \cdot p_c \tag{5}$$

где је за клизиште „Умка усвојено:
$p_{a,b,c}$ – Производ вероватноће реализације свих догађаја
p_a – вероватноћа нивоа Саве код клизишта „Умка“
p_b – вероватноћа појављивања падавина које утичу на НПВ
p_c – вероватноћа појаве земљотреса одређеног интензитета

Вероватноће које су прорачунате за реализације свих комбинација догађаја на клизишту „Умка“ су искоришћене приликом квантитативне процене ризика од клизишта.

2.4 Елементи у ризику (E) и њихова изложеност (Exp)

По дефиницији, **елементи у ризику** представљају све оне елементе који су изложени негативним утицајима и последицама хазарда (Lee & Jones, 2014). Елементи у ризику су веома разноврсни и могу се поделити у неколико опште прихваћених скупова. Очекивана штета на елементима у ризику као и фактори који утичу на одређивање ризика у највећој мери зависе од типа хазарда, физичких тј. грађевинских карактеристика елемента у ризику и њихове локације у односу на саму појаву и параметара који дефинишу ризик (Lee & Jones, 2014). У пракси се приликом процене од штете од елементарних непогода и надокнаде штете најчешће анализирају само директне штете које се огледају у количини насталог оштећења (број уништених кућа, зграда, погинулих итд.) док се последице индиректне штете ретко када анализирају а још ређе надокнађују. Индиректном штетом се сматрају последице и трошкови који су настали прекидом неког процеса који је угрожен клизиштем, као што су: прекиди саобраћаја, обустављање производње у неком погону, утицаји на животну средину итд. У том смислу за правилну процену ризика од клизишта, неопходно је прикупити о податке о свим елементима у ризику.

У смерницама за процену хазарда и ризика од клизишта за потребе просторног планирања, Fell et al. (2008) наводе да је приликом основне анализе елемената у ризику неопходно прикупити податке о: становништву које живи, ради или је у транзиту преко терена угроженог хазардом, свим врстама инфраструктурних и услужних објеката али и возилима која пролазе кроз угрожено подручје. Том приликом све наведене објекте је неопходно класификовати и категорисати према типу, намени и величини. За средњи ниво анализе, горе наведене елементе у ризику је потребно евидентирати са већим нивоом детаљности и са укључивањем економских последица док се за напредни ниво предлаже и анализа индиректних трошкова који могу настати као последица хазарда од клижења. Како су сви наведени елементи у ризику подложни брзој промени, прикупљене податке је неопходно освежавати и допуњавати па тако Van Westen et al. (2008) препоручују допуњавање података о елементима у ризику у периоду од једне до

највише 10 година што зависи највише од динамике клизишта и промене у урбанизацији и намени простора.

За потребе ове дисертације, елементи у ризику су подељени у две групе: покретне и непокретне. Оваква подела је аналогна подели имовине у праву, па тако непокретне елементе у ризику представљају они елементи који су стационарни тј. који се не могу премештати с једног места на друго и који су увек изложени хазарду (грађевински објекти), док су покретни елементи у ризику они који се брзо и лако премештају са једног места на друго и изложени су хазарду од клизишта само док се налазе на њему (становништво и возила у саобраћају). Оваква подела је оправдана и чињеницом да се разликује методлошки приступ процене ризика за покретне и непокретне елементе у ризику. Приказ елемената у ризику са изворима података и главним дескрипторима њихове штете који су анализирани за приликом израде ове дисертације су приказани у табели 2. Како је дисертацијом обрађено клизиште на нивоу студије случаја, усвојено је да су сви елементи у ризику били изложени хазарду.

Табела 2. Пример анализираних елемената у ризику са изворима података и главним дескрипторима штете

група елемената у ризику	елементи у ризику	извори података	главни дескриптори штете
покретни	становништво	попис и анкете	могућност губитка живота
	саобраћај	ПГДС	индиректна штета
непокретни	објекти високоградње	пописи и анкете, порески подаци	директна и индиректна штета
	објекти нискоградње	катастар	директна и индиректна штета

2.5 Угроженост од клизишта

Угроженост од клизишта представља степен губитака (физичког, друштвеног или социјалног) елемената у ризику који може настати као последица његовог присуства (изложености) у зони одређене класе тј. категорије хазарда (Crozier & Glade, 2012; Lee & Jones, 2014). По правилу, угроженост као и ризик од клизишта се увек изражава квантитативно на скали од 0-1 где: 0 представља елементе за које није утврђена штета приликом процене, док вредност 1 представља тоталну штету приликом процене изложености хазарду (Crozier & Glade, 2012; Lee & Jones, 2014).

Угроженост од клизишта је уопштено сврстана у три категорије (Lee & Jones, 2014):

1. **физичка,** која подразумева угроженост физички постојаних објеката. У ову групу спадају нпр. сви грађевински објекти;
2. **друштвена,** која подразумева угроженост друштва и економије у целини у шта спадају нпр. индустријска производња, туризам, угоститељство, саобраћај итд;
3. **социјална,** која подразумева угроженост на нивоу појединца или домаћинства.

Приликом примене QLRA-а најчешће се анализира физичка угроженост док се друштвена и социјална ређе анализирају услед немогућности да се прибаве сви релевантни подаци. За потребе ове дисертације под појмом физичке угрожености се сматра степен губитака на грађевинским објектима високоградње и нискоградње који трпе штету услед хазарда коме су изложени. Физичка угроженост је одређена зависношћу отпорности и рањивости елемента у ризику који је изложен штетном дејству хазарда. Отпорност елемента у ризику представља његову могућност да се одупре деформацијама које настају као последица хазарда док његова рањивост

представља изложеност инжењерскогеолошким и геотехничким условима који могу редуковати отпорност. Инжењерскогеолошки услови и геотехнички услови у том смислу су: начин регулисања површинских и отпадних вода, нагнутост и слегање, физичко стање (оштећеност) итд.

За клизиште „Умка“ су вршене процене све три категорије угрожености. Физичка угроженост је анализирана у односу на објекте високоградње и нискоградње, друштвена угроженост је анализирана на основу индиректних штета које настају као последица обустављања саобраћаја и социјална која је подразумевала процену ризика по становништво. Физичка угроженост објеката нискоградње је процењена на основу односа успостављеног индекса отпорности и рањивости објекта.

2.5.1 Индекс отпорности објеката

Индекс отпорности показује могућност објекта да се одупре деформацијама које могу наступити или ће наступити као последица хазарда и у директној је зависности од грађевинских карактеристика самог објекта. За индикаторе који утичу на отпорност објеката на клизишту „Умка“ су усвојени: година изградње, надоградња, тип конструкције, материјал зидова, врста и материјал темеља итд.

За клизиште „Умка“, примењен је образац за прорачун индекса отпорности (6) којег је дефинисао Uzielli (2012):

$$\Omega = \sum_{j=1}^{m} (\delta_j \cdot \rho_j \cdot \Theta_j) \tag{6}$$

$$\rho_j = \frac{\varphi_j}{\sum_{j=1}^{m} \varphi_j} \tag{7}$$

Где је:
Ω – индекс отпорности објекта;
m – укупан број индикатора отпорности који улазе у прорачун;
Θ_j – индикатор отпорности у оквиру категорије/типа;
φ_j – коефицијент релевантности (значај) индикатора;
ρ_j – рекласификација[1] коефицијената релевантности (сума = 1);
δ_j – бинаризација производа φ_j и Θ_j тако да:
ако је $\phi_j \cdot \Theta_j = 0$; онда је $\delta_j = 0$ у супротном $\delta_j = 1$

Индикатори отпорности и њихови коефицијенти релевантности су дефинисани искуствено, тако да се крећу у распону вредности од 0-1 према значају. Код индекса отпорности вредности су расподељене тако да мања вредност индикатора (0) означава мањи утицај на укупну отпорност док број 1 означава индикатор који дефинише већу отпорност. Коефицијент релевантности је дефинисан тако да већи број означава већи значај у односу на остале. У пракси, не постоји јединствени образац нити препорука за одређивање вредности индикатора отпорности и коефицијената релевантности већ се они морају прилагођавати за сваку појединачни случај, на основу расположивих података о карактеристикама објеката и динамике и типа клизишта. За случају дубоког и спорог клизишта као што је „Умка“ примарно је разматран утицај деформација терена на објекте као последица хазарда.

Индекс отпорности са годинама опада услед старења самог објекта и његовог приближавања пројектованом веку, међутим, како у дисертацији није вршена дугорочна прогноза хазарда клизишта „Умка“ већ процена ризика у случају реализације одређеног

[1] Рекласификација подразумева прерасподелу вредности нпр. груписање низа неких вредности у одређени или жељени број класа тј. група вредности према унапред усвојеној класификацији

сценарија хазарда, редукција индекса отпорности услед експлоатације објекта није прорачуната нити анализирана.

2.5.2 Индекс рањивости објеката

За разлику од индекса отпорности објекта који приказује могућност објекта да се одупре деформацијама које су последица клижења, индекс рањивости објекта указује на рањивост објекта од услова који владају у непосредној околини а који могу утицати на његову стабилност и редуковати индекс отпорности.

Као и код индекса отпорности, примењен је сличан образац (8) за прорачун индекса рањивости којег је дефинисао Uzielli (2012):

$$V_u = \sum_{k=1}^{m} (\varepsilon_k \cdot \eta_k \cdot \Gamma_k) \tag{8}$$

$$\eta_k = \frac{\psi_k}{\sum_{k=1}^{m} \psi_k} \tag{9}$$

Где је:
m – укупан број индикатора рањивости који улазе у прорачун;
Γ_k –индикатор рањивости унутар категорије/типа;
ψ_k – коефицијент релевантности (значај) индикатора;
η_k – рекласификација коефицијената релевантности (сума = 1);
ε_k – бинаризација производа ψ_j и Γ_j тако да:
ако је $\psi_j \cdot \Gamma_j = 0$; онда је $\varepsilon_j = 0$ у супротном $\varepsilon_j = 1$

Индикатори који утичу на рањивост објекта су одређени према истом поступку као и за процену индекса отпорности, с том разликом да је већа вредност (1) означавала индикатор који објекат чини рањивијим.

2.5.3 Физичка угроженост објеката

За сваки објекат на клизишту „Умка“ је на крају израчуната укупна физичка угроженост која је подразумевала производ инверзног индекса отпорности (Ω) и индекса рањивости (V_u) на основу обрасца (10).

Под појмом физичка угроженост у овој дисертацији је подразумевана угроженост објеката приликом инжењерскогеолошког картирања и која је коришћена приликом прорачуна ризика услед реализације сценарија, уз претходно усвојену претпоставку да у међувремену није дошло до значајнијих промена инжењерскогеолошких и геотехничких услова у његовој непосредној околини као и да није дошло до већих измена на грађевинској конструкцији тј. да су објекти редовно одржавани.

За потребе прорачуна физичке угрожености у дисертацији усвојен је следећи образац (10):

$$V_{f_tot} = \{[(\Omega_{max} + \Omega_{min}) - \Omega_n] \cdot V_u\} \quad (10)$$

где је:
V_{f_tot} – физичка угроженост елемента у ризику;
Ω – индекс отпорности објекта израчунат према обрасцу (6);
Ω_{max} – максимална израчуната вредност индекса отпорности објекта;
Ω_{min} – минимална израчуната вредност индекса отпорности објекта;
V_u – индекс рањивости објекта израчунат према обрасцу (8).

2.6 Процена ризика и штете од клизишта

На основу општих образаца за прорачун ризика (1) и хазарда (2) усвојен је образац који је примењен за квантитативну процену ризика клизишта „Умка“ (11):

$$R = p\{H_{KL}\}_{[0,1]} \cdot \{V_{f_tot}\}_{[0,1]} \cdot \{Exp\}_{[0,1]} \quad (11)$$

где је:
R –ризик;
p - вероватноћа реализације хазарда;
H_{KL} – сценарио хазарда;
E_{f_tot} – физичка угроженост елемента у ризику;
Exp – изложеност елемента у ризику;
[0,1] – нормализоване вредности на распон од 0-1

2.6.1 Специфични ризик по грађевинске објекте високоградње

Специфични ризик по објекте високоградње представља производ хазарда од клизишта за сваки усвојени сценарио са физичком угроженошћу објеката и представљен је обрасцем (12):

$$R_{Sobj} = \{H_{KL}\}_{[0,1]} \cdot \{V_{f_tot}\}_{[0,1]} \quad (12)$$

где је:
R_{Sobj}– специфични ризик по објекте нискоградње за сваки усвојени сценарио;
H_{KL} – хазард од клизишта са вероватноћом реализације;
V_{f_tot} – укупна угроженост изложених објеката;
[0,1] – нормализоване вредности на распон од 0-1

Специфични ризик представља параметар који пружа приказ могућег оштећења објекта израженог у процентима за сваки срачунати и моделовани сценарио у јединичном временском периоду. На пример, ако је за неки објекат m срачуната вредност специфичног ризика 0,15, он указује да постоји могућност оштећења тог објекта у износу од 15% за сценарио s_n по јединици времена.

2.6.2 Специфични ризик по грађевинске објекте нискоградње

Како је за потребе ове дисертације усвојена студија случаја на примеру једног спорог клизишта којем је магнитуда једнозначна кроз време (геометрија клизишта се споро мења) и како не постоје систематични подаци о вредности и стању осталих саобраћајница (осим за пут IB26), као ни подаци о саобраћају на њима, за процену ризика директно је усвојен хазард клизишта у односу на изложеност саобраћајница. Теоријски, на основу таквих карата, у будућем раду, је могуће израчунати и друге параметре као што је укупна штета која настаје на саобраћајницама приликом реализације сценарија

итд. На овај начин су добијене олеате које показују који делови саобраћајница су више или мање угрожени услед изложености хазарду од клизишта „Умка“ приликом реализације различитих сценарија.

2.6.3 Укупна штета по грађевинске објекте високоградње

Релативни прорачун укупне штете представља збир производа интензитета на положају елемента у ризику, његове прорачунате физичке угрожености и апроксимативне вредности свих за сваки усвојени сценарио, и може се представити обрасцем (13):

$$R_{tot_s} = \sum \{H_{KL}\}_{[0,1]} \cdot \{V_{tot_f}\}_{[0,1]} \cdot \{E_{vred}\}_{€} \tag{13}$$

где је:
R_{tot_s} – укупна штета на елементима у ризику;
H_{KL}– хазард клизишта на основу усвојених сценарија;
V_{f_tot} – физичка угроженост елемената у ризику;
E_{vred}– апроксимација вредности појединачног елемента у ризику

[0,1] – нормализоване вредности на распон од 0-1

Груба процена вредности објекта је представљена као производ корисне површине и пореске вредности квадрата на основу пореских решења који су достављени становницима „Умке“ у току године када су вршена теренска осматрања и евидентирања. Вредност објеката је посматрана искључиво као апроксимација која искључује важне параметре за реалну процену вредности објекта као што су бонитет самог објекта и локације на којој се налази.

2.6.4 Специфични ризик по становништво

Специфични ризик по становништво представља производ хазарда за сваки усвојени сценарио, физичке угрожености објеката и изложености становништва и може се представити обрасцем (14):

$$R_{Spop} = \{H_{KL}\}_{[0,1]} \cdot \{V_{f_tot}\}_{[0,1]} \cdot \{E_{pop}\}_{[0,1]} \tag{14}$$

где је:
R_{Spop}– специфични ризик по становништво за сваки усвојени сценарио;
H_{KL} – хазард од клизишта на основу усвојених сценарија;
V_{f_tot} – укупна угроженост елемената у ризику;
E_{pop} – изложеност популације у угроженим елементима

[0,1] – нормализоване вредности на распон од 0-1

За квантификовање изложености становништва у овој дисертацији је усвојена нормализована вредност броја укупних становника по објекту на распон од 0-1, са напоменом да је викенд објектима додељена вредност 0,05 на основу усвојене претпоставке да се такви објекти користе највише једном у току две недеље (26/365). Ниже вредности означавају објекте који су мање ризични за становништво услед реализације сценарија, док сходно томе, веће вредности представљају ризичније објекте. На овај начин су добијене олеате које показују у којим објектима су више или мање угрожени његови становници услед изложености хазарду од клизишта „Умка“ приликом реализације различитих сценарија.

2.6.5 Индиректна штета по покретне елементе у ризику

Прорачун индиректне штете од клизишта по покретне елементе у ризику „Умка“ је могуће исказати као количину индиректне штете која се генерише у виду финансијских губитака који могу настати као последица повећане потрошње горива приликом коришћења алтернативног правца. Сценарио се реализује приликом потребе за рехабилитацијом горњег слоја коловозне конструкције који се у пракси најчешће одвија простом заменом хабајућег слоја и пресвлачењем новог битуменозног слоја који је претходно оштећен услед деформација које су последица клизишта и одвијања тешког и обимног саобраћаја преко поменуте деонице. Том приликом се не изводе трајне мере геотехничке санације осим местимичне поправке носећег слоја у виду насипања. Приликом реализације таквог сценарија, саобраћај се обуставља на одређено време и то правилу у току вршних часова саобраћајног оптерећења што проузрокује значајне гужве на прилазним деоницама и преусмеравање саобраћаја на алтернативни правац преко Мале Моштанице и Руцке. Иако на самом клизишту „Умка“ постоје мање локалне саобраћајнице, које су краће по дужини у односу на алтернативну саобраћајницу, оне се не могу том приликом користити због малог профила саобраћајница и немогућности да приме целокупни преусмерени саобраћај а нарочито возила веће категорије која у знатном проценту учествују у истом.

Индиректна штета услед повећане потрошње горива коришћењем алтернативне саобраћајнице је израчуната на основу образаца (15) и (16):

$$GG = GG_{rsd1} - GG_{rsd2} \tag{15}$$

$$GG_{rsd} = \frac{PPV}{100} \cdot CG \cdot PGDS \tag{16}$$

где је:
GG – разлика потрошње горива (рсд) услед коришћења алтернативног путног правца;
$GG_{rsd1,2}$ – потрошња горива (рсд) приликом коришћења уобичајеног (1) и алтернативног (2) путног правца;
PPV – просечна потрошња возила Б категорије у комб. условима (l/100km);
CG– просечна цена безоловног бензина (1l);
PGDS – просечан годишњи дневни саобраћај на деоници.

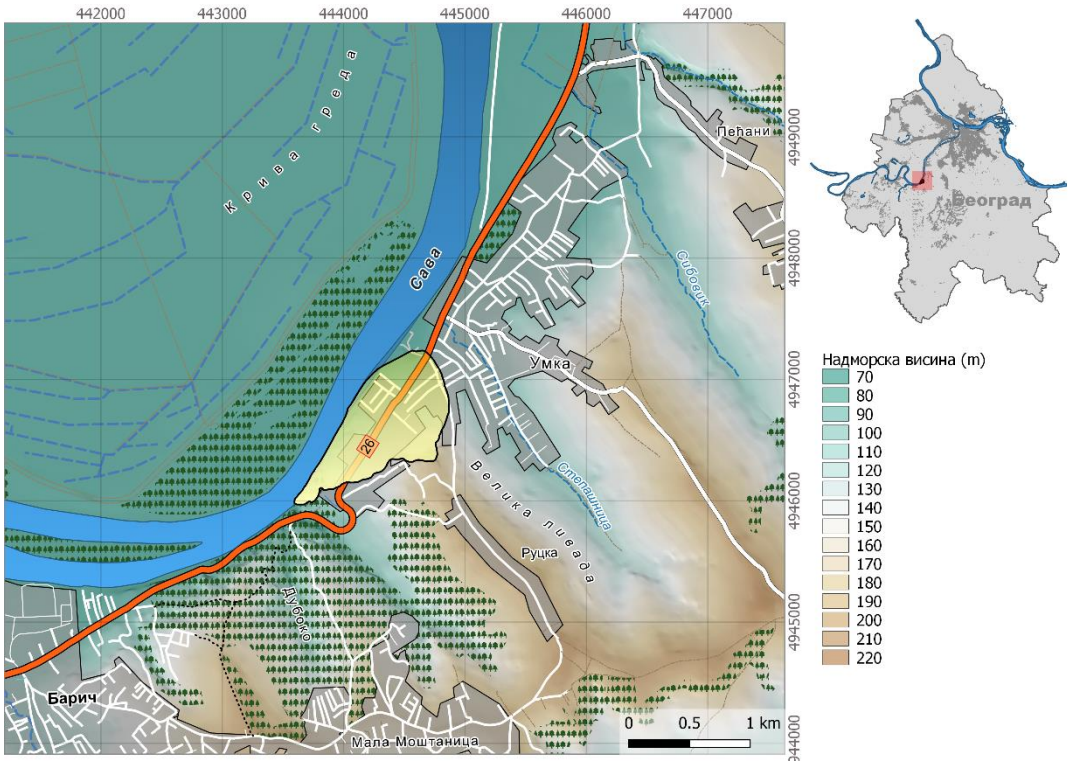
На овај начин су израчунате приближне вредности индиректне штете која настаје приликом обустављања и преусмеравања саобраћаја на клизишту „Умка“ услед потребе за рехабилитацијом коловоза који је оштећен услед изложености хазарду.

3. Опште карактеристике клизишта „Умка“

3.1 Географске одлике

Насеље Умка спада у посавска београдска насеља и простире се у југозападном делу општине Чукарица, на самој граници са општином Обреновац и чини њен најистуренији југозападни део, који је 20 km удаљен од центра Београда (Слика 2). Насеље Умка се простире дуж десне обале Саве, која је пловна у том делу, док само насеље пресеца државни пут IB26[2], што га сврстава у ред фреквентних саобраћајница са великим протоком просечног дневног саобраћаја. Већи део насеља је уз саму обалу Саве и државног пута IB26, док се мањи делови насеља пружају ка оближњим брдима Сибовик и Степашница.

Према последњем попису становништва (2011) спада у велика насеља са преко 5200 становника (Слика 3). Специфични историјски, географски и геолошки услови имали су за последицу развој насеља Умка које се временом проширило и на нестабилне делове терена савског побрђа и на истоимено клизиште.



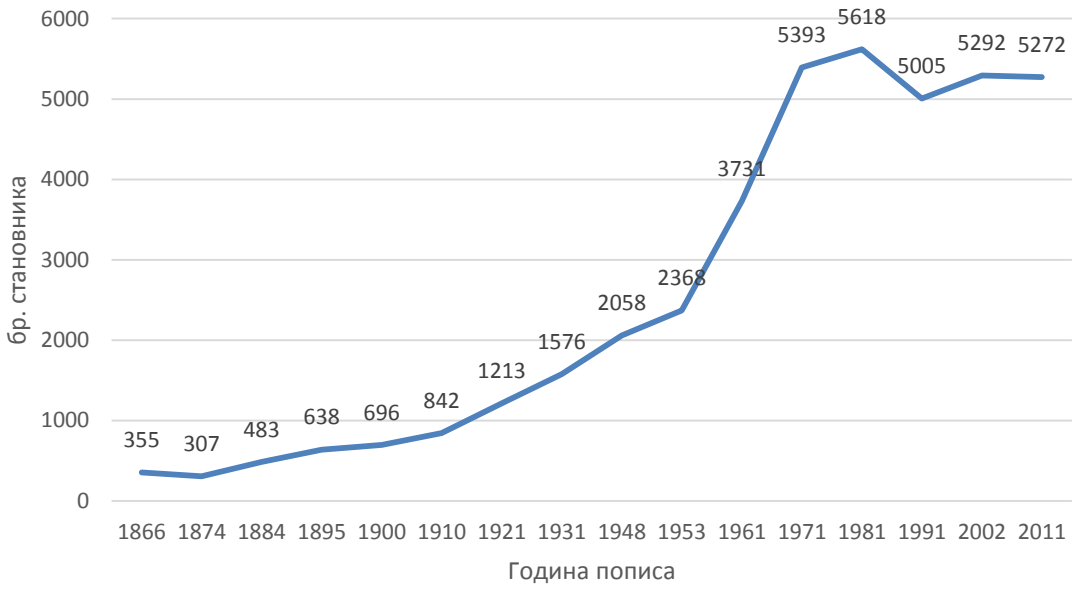
Слика 2. географски положај насеља Умка са позицијом истоименог клизишта (жуто)

Пре прве половине XIX века Умка је било насеље класичног сеоског типа и зависило је од положаја главног друма ка Обреновцу, док су сами објекти били скромне градње и налазили су се махом на вишим деловима терена. Геолошки састав терена, који чине махом дебели слојеви непропусних глина и лапора, су условили немогућност формирања издани, па самим тим и немогућност водоснабдевања насеља, што је такође допринело миграцији становништва и трансформацији насеља током времена, па се још тада јављају и прве куће које су ближе Сави. Развој модерног насеља Умка креће од друге

[2] Београд – Обреновац – Шабац - Лозница - државна граница са Босном и Херцеговином

половине XIX века од када се постепено, у више фаза развија у савремено приградско насеље.

Након формирања варошице и околног села Умка, у периоду пре Првог светског рата рата, косина ка Дубоком бива просечена друмом Београд – Обреновац, чиме насеље добија на значају. Објекти који се граде у то време били су од бољих материјала са уређенијим окућницама и баштама, док је проблем водоснабдевања довео до силаска насеља ка Сави, где почињу да се граде први стамбени објекти (Ђурић, 1953).



Слика 3. Број становника насеља Умка на основу пописа становништва од 1866-2011 године, са назначеним периодима развоја насеља. Римским бројевима су обележени периоди развоја насеља. Бројеви на дијаграму означавају број становника према попису становништва

Између два велика рата, насеље доживљава преображај, нове прилике и развој индустрије имају за последицу развој транспортних веза са Београдом. Ово је кулминирало изградњом железничке пруге Београд – Обреновац (1928 године) са станицом у Умци. Поред, до тада претежно пољопривредног становништва, почиње досељавање градског становништва (претежно из Београда) који су близину Саве искористили за развој викенд насеља, док се насељавају и прве колонистичке породице из Далмације и Лике. Умка постаје локални трговачки, индустријски и административни центар за околна села попут Руцке, Мале и Велике Моштанице. Током 30-тих година XX века граде се и отварају прве фабрике попут „Зеленгоре“ (текстил) и „Лепенке“ (картон), док до почетка Другог светског рата Умка бележи приближно 2000 становника.

Недостатак простора у градској урбаној средини, као и нагли развој Београда у послератном периоду од 1945-1990 године, условили су неминовно и убрзан развој београдских приградских насеља међу којима је Умка. У овом периоду завршено је вишедеценијско поступно силажење насеља ка Сави (Ђурић, 1953), па су некадашње њиве и пашњаци сада под објектима. Стари објекти су срушени и претворени у њиве, вођњаке и пашњаке, априближавање насеља ка Сави умањило је и недостатак снабдевања водом.

Миграције становништва унутар СФР Југославије су утицале и на Умку која ће до 1980-тих година имати преко 5500 становника (Слика 2) што је уједно и највећи забележен број становника. Међутим, током овог периода укинута је пруга Београд – Обреновац

(1968. године) и дефинишу се први планови за изградњу аутопута пуног профила ка Обреновцу, који треба да прође преко насеља. Овај потез у значајној мери утиче на судбину насеља и клизишта „Умка“.

Од Чукарице до Умке је 1980-тих изграђена једна трака аутопута пуног профила, која данас представља брзу саобраћајницу. Са градњом аутопута ка Обреновцу се стало услед интензивирања процеса клижења током 1990-тих и на почетку 2000-тих година.

Услед природних утицаја, на првом месту снабдевања водом, али и друштвено - политичких односа у држави, насеље Умка је доживело преображај из разбијеног насеља шумадијског типа у градско насеље Београда. Само насеље са околних побрђа у целости је спуштено ка Сави, формира се и део насеља, које има карактер викенд насеља, што је имало за последицу градњу знатног броја објеката на инжењерскогеолошки неповољним деловима терена, који су од раније захваћени процесима клижења.

3.2 Климатске одлике

Клима Умке и околних насеља је умерено континентална са четири годишња доба и одговара климатским карактеристикама ширег подручја Београда: кратке зиме за снежним покривачем и 20 ледених дана у просеку, пролећа су кратка и кишовита док лета могу бити сушна са температурама преко 40° C. Јесен је претежно топла са више сунчаних дана.

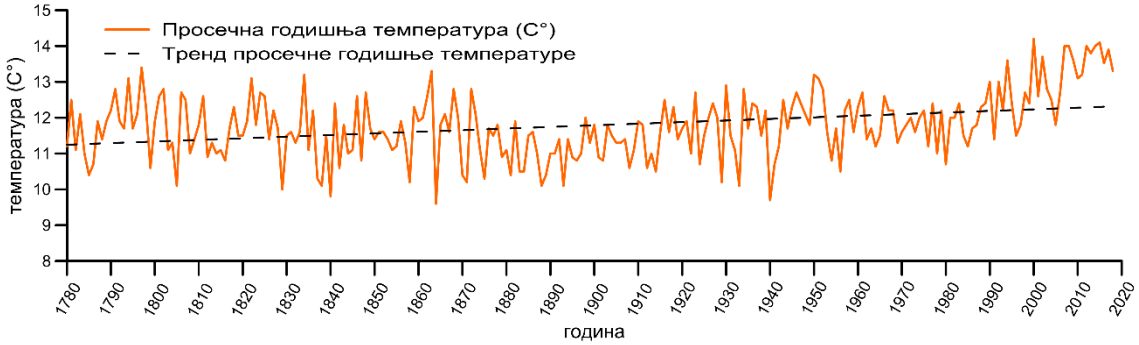
Према Еколошком атласу Београда[3], насеље Умка спада у прву топоклиматску зону, чији су карактеристични параметри приказани у табели 3.

Табела 3. карактеристични параметри београдске топоклиматске зоне 1 – Сурчин плато (Еколошки атлас Београда, карта бр. 17)

Карактеристични параметар	вредност
Годишња сума падавина	610 mm
Средња годишња температура	11.5° C
Средња максимална температура за јануар	- 3.0° C
Средња максимална температура за јул	27.2° C
Карактеристика магле	претежно радијациона

На основу података осматрачке станице Београд - опсерваторија[4], средња годишња температура за подручје Београда износи 11,8 C°, најхладнији је месец јануар са просечном температуром ваздуха од 0,2 C°, док је најтоплији месец јул са просечном температуром ваздуха од 22,6 C°. Дијаграм просечне годишње температуре ваздуха за поменуту осматрачку станицу је дат на слици 4.

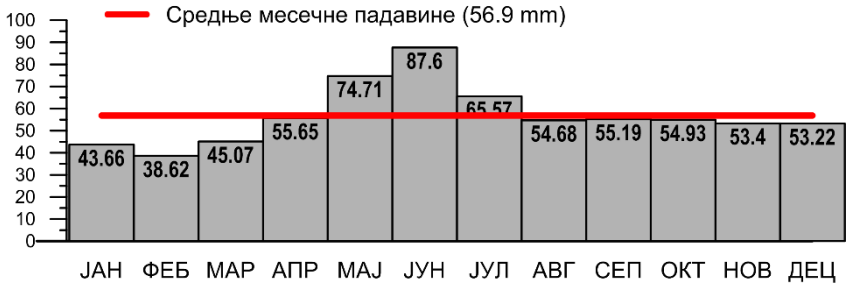
[3] Еколошки атлас Београда www.zdravlje.org.rs/ekoatlas (приступљено 29.04.2018.)
[4] http://www.hidmet.gov.rs (приступљено 14.03.2019.)



Слика 4. Просечна годишња температура ваздуха за осматрачку станицу Београд-опсерваторија у периоду од 1780. - 2018. године, са приказаним трендом пораста

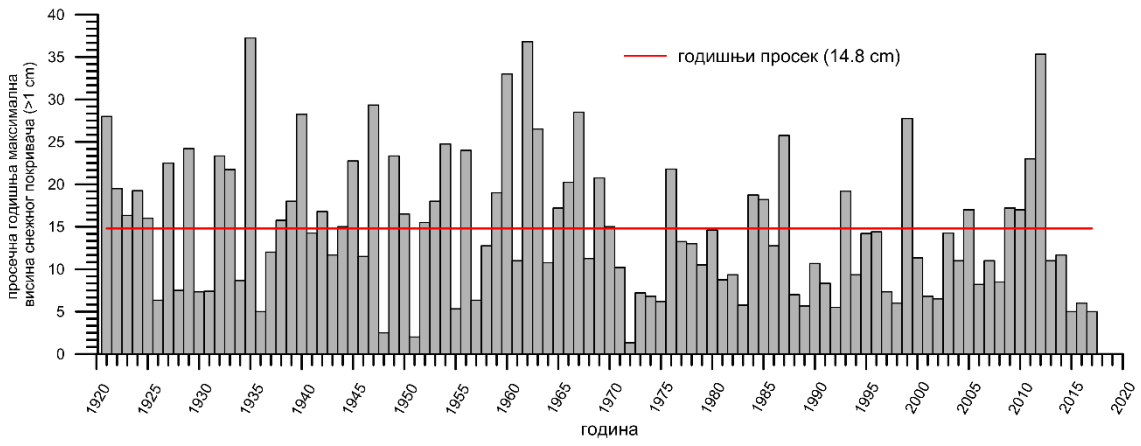
Средња годишња количина падавина на метеоролошкој станици Београд-опсерваторија за период од 1876. – 2018. године износи 682 mm. Годишње суме падавина за период од 1878-2018. године су приказане на слици 5, док су средње месечне падавине за исти период приказане на слици 6.

Слика 5. Приказ годишњих сума падавина за метеоролошку станицу Београд-опсерваторија за период од 1876. до 2018. године. Недостају подаци за 1914., 1915. и 1918. – 1920. годину



Слика 6. Приказ средњих месечних падавина падавина за метеоролошку станицу Београд-опсерваторија за период од 1876. до 2018. године

На слици 7 је приказан дијаграм просечне годишње максималне висине снежног покривача (> 1 cm) за период од 1920. – 2017. године.



Слика 7. Дијаграм просечних годишњих максималних висина снежног покривача (>1 cm)

3.3 Геоморфолошке карактеристике и геолошка грађа ширег подручја

Генерално посматрано, на подручју клизишта „Умка“ и непосредне околине, заступљен је равничарски и брдски тип рељефа. Између потока Степашница и Дубоко, на неједнако урбанизованој падини, чији нагиби у зони очуваних ожиљака досежу и више од 25°, формирано је клизиште „Умка“. Вододелнички превоји падине, на којој је образовано клизиште, удаљени су од локалне ерозионе базе реке Саве (са кота дна 52-57 m) од 350 - 1050 m, са максималном висинском разликом од приближно 135,0 m. Падине које су захваћене процесом клижења су местимично заталасане, са израженим појавама удолина, узвишења, секундарних ожиљака и забарења које су dm-m реда величине (Ђурић, 2011). На ширем простору брежуљкастог побрђа истражног подручја, развијен је интензиван процес клижења, који има променљиву динамику, као и речно-поточна ерозија. Простране појаве нестабилности су захватиле све речне и поточне долинске стране. У деловима простора где је ерозија водотока заустављена, а у ножици падина наталожен дебели речни нанос, процеси су смиренијег карактера, и обрнуто. Велика распрострањеност клизишта на ширем подручју је у тесној вези са карактеристичном геолошком грађом терена. Већина падина са нагибом > 8°, захваћена је активним процесом клижења.

Доминантни геоморфолошки процеси који обликују падину, на којој је формирано клизиште „Умка“, су флувијални процес реке Саве са израженом бочном ерозијом десне обале, пролувијални, делувијални и колувијални. Генеза клизишта „Умке“ је поред геолошке предиспонираности, у тесној вези са ерозијом десне обале и еволуцијом меандра Саве. Ово клизно подручје је једно од највећих и најдубљих у Републици Србији. У савременим условима, од велике важности на развој геодинамичких процеса има и негативан антропогени утицај, који се огледа: урбанизацијом, изградњом водоводних система без пратеће адекватне канализације, сечом шума, неодржавањем канала и др. Сви полулучни прегиби, улегнућа (локално забарена), истрбушења, ожиљци и пукотине, који се могу уочити на ширем подручју, карактеристични су морфолошки показатељи присуства клизишта, која су се развила на десној долинској страни реке Саве и долинским странама потока Степашница и Дубоко. Најистакнутије форме рељефа су Сагића Брдо (коте 185 - 191 мнв.) и гребен Руцка (коте 188 - 299 мнв).

Геолошка истраживања клизишта „Умка“ започела су још крајем XIX века. Писани радови о изведеним истраживањима засновани су претежно на резултатима инжењерскогеолошког рекогносцирања и картирања истражног подручја непосредно око клизишта Умка. Геолошку грађу непосредног подручја клизишта „Умка“ чине неогени и квартарни седименти.

Неоген

Доминантну улогу у геолошкој грађи терена ширег истражног подручја клизишта Умка имају неогени седименти сарматске и панонске старости који су покривени релативно тањим квартарним седиментима.

Панон - глиновити лапорци, глинци, пескови и шљункови (M_3^2)

Седименти панонске старости су (уколико се изузме лес, који је изостављен на централним деловима ОГК листа Београд), од Саве и Дунава на северу, до Бањице на југу најраспрострањенија формација на територији Београда. У Сремчици и Рипњу (између Рушња и Беле реке) су представљени готово искључиво песком, а у Великој Моштаници наизменично глинама и песком док су на Умци представљени лапорима и алевролитима. Дебљина седимената панонске старости варира у зависности од конфигурације палеорељефа и креће се у распону од 10 – 170 m (Filipović & Rodin, 1980; Marković et al., 1984).

Понт - сивоплавичасте, лапоровите и гвожђевите глине (Pl_1)

Понтијски седименти имају најмање распрострањење. Источно од Умке, а јужно од Велике Моштанице сачували су се на развођу између Степашничке и Баричке реке Представљени су лапоровитим и местимично гвожђевитим глинама, алевритима и ситнозрним песком.

Доњопонтски седименти, који леже непосредно преко панона, документовани су код места Дубоко, у близини Умке, конкордантно преко панонских седимената, леже сиве, жућкасте и плавичасте лапоровите глине са прослојцима гвожђевитих глина. Дебљине ових седимената су релативно мале и износе до 10 m (Filipović & Rodin, 1980; Marković et al., 1984).

Квартар (Q)

Квартар је представљен доњим и средњим плеистоценом, горњим плеистоценом и холоценом који су депоновани на различитим нивоима. Творевине плеистоцена заступљене су како на површини терена тако и у бушотинама лоцираним дуж обала Саве. Холоценске творевине распрострањене су у оквиру алувијалне равни Саве и представљене су седиментима флувијалног генетског типа и делувијално-пролувијалним седиментима (Filipović & Rodin, 1980; Marković et al., 1984).

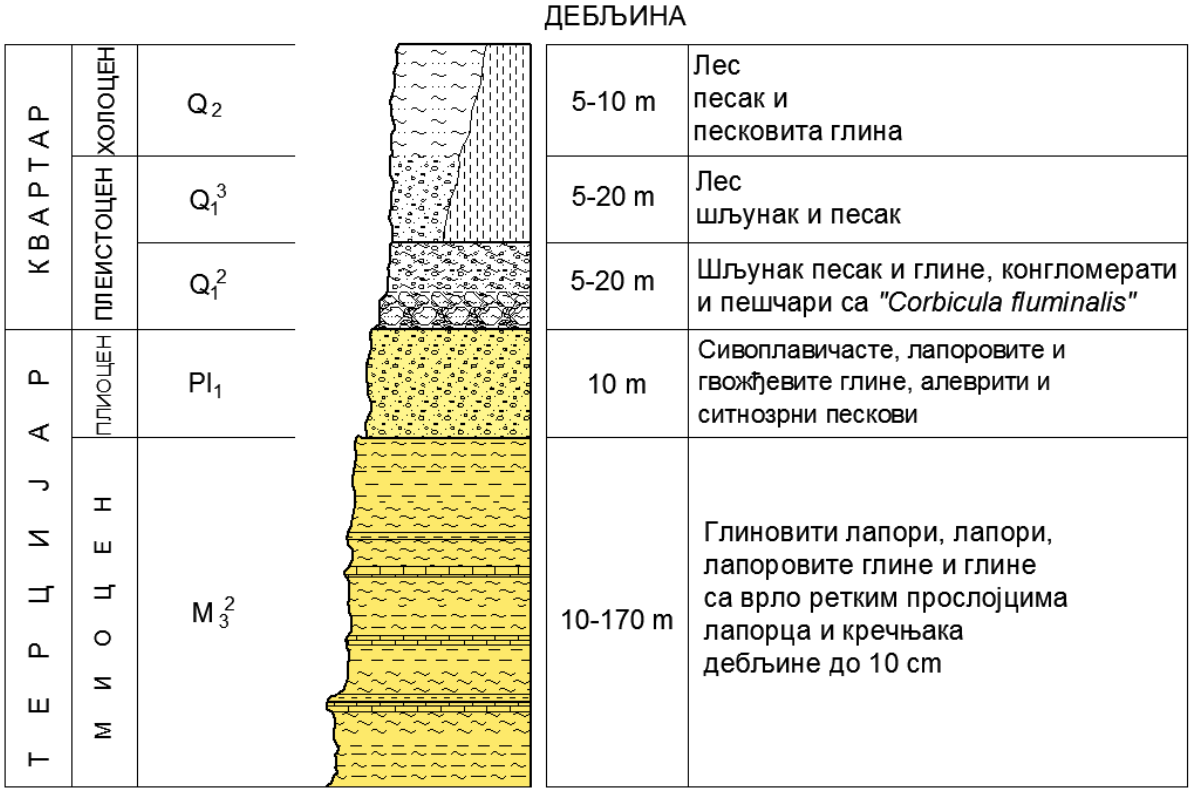
Холоцен - флувијални седименти Саве

Творевине овог дела квартара су распрострањене у оквиру алувијалне равни реке Саве. Представљене су седиментима флувијалног генетског типа у којима су на основу морфогенетских и геолошких карактеристика издвојене речне терасе (t), фација мртваја-старача (am), фација поводња (ap) и фација корита (a). Већи део ових седимената се простире са леве обалне стране Саве док се мање партије јављају и на десној обали.

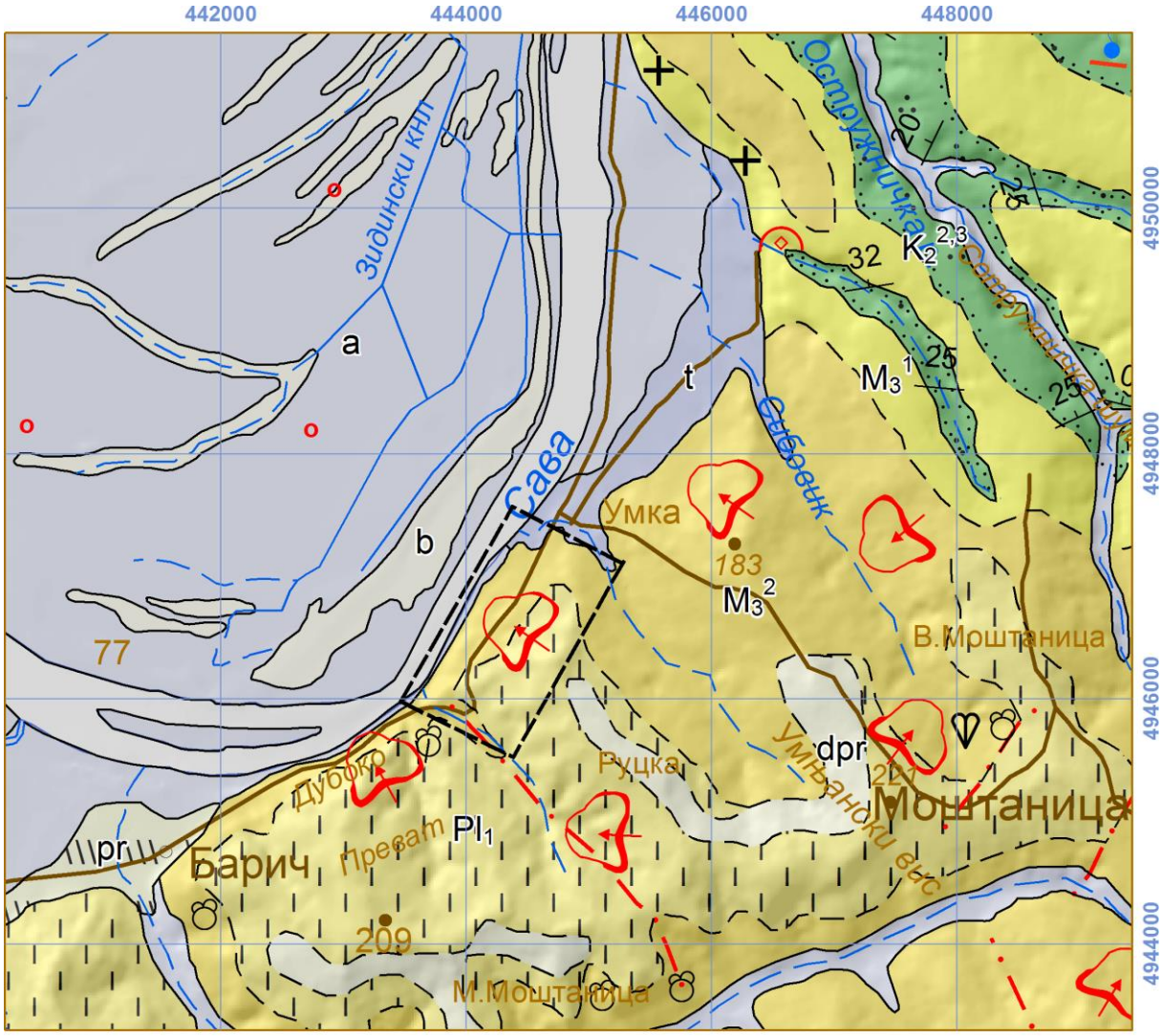
Холоцен – делувијално-пролувијални седименти (dpr)

Ови седименти се најчешће појављују у виду застора на падинама са блажим нагибима. Најчешће су представљени суглинама са карбонатним и лимонитским садржајем. Поред наведеног, може се уочити и шљунковити детритус који је у хипсонометријски нижим деловима ситнији и прерађен, што указује на турбулентна, пролувијална преталожавања. На истражном подручју се простиру дуж гребена Руцке као и на гребенским деловима Мале Моштанице (Filipović & Rodin, 1980; Marković et al., 1984).

Прегледни геолошки стуб ширег истражног подручја клизишта „Умка“ је приказан на слици 8, док је прегледна геолошка карта ширег подручја насеља Умка приказана на слици 9.



Слика 8. Генерални геолошки стуб неогених и квартарних наслага на ширем истражном подручју клизишта „Умка“ (Božinović, 1979, измењено)



Легенда картираних јединица

- dpr — Делувијално-пролувијални седименти
- a — Песковн и глиновити песковн
- pr — Песковн и лесолике глине
- b — Песковн и алевролити
- t — Лесолике глине, суглине и супескови
- Pl_1 — Сивопластичне лапоровите и гвожђевите глине (панон)
- M_3^2 — Глиновити лапорци, глинци, пескови, шљункови (панон)
- M_3^1 — Кречњаци, глине и песковите глине (сармат)
- $K_2^{2,3}$ — Флиш; пешчари и глинци

Картографске ознаке и симболи

- Подручје клизишта "Умка"
- Река
- Мањи потоци
- Повремени водоток
- Важније саобраћајнице и путеви
- 209 Кота терена

Преглед листова ОГК СФРЈ

Легенда стандардних ознака

- Бочатна микрофауна
- 25 Елементи пада слојевитости
- Хоризонтална слојевитост
- Извор
- Каменолом
- Већа клизишта
- Микрофауна
- Плитке бушотине
- Нормална граница, утврђена
- Нормална граница, покривена
- Расед, покривен
- Расед, фотогеолошки осматран
- Трансгресивна граница, сигурна
- Трансгресивна граница, покривена

Слика 9. Прегледна геолошка карта ширег истражног подручја Умке.
(на основу Filipović et al., 1976; Marković et al., 1985, измењено)

3.4 Узроци нестабилности терена на ободима неогених басена Србије

Опште карактеристике, генеза, механизам и динамика клизишта, које су настале на ободима неогених басена Србије, међу које спада и клизиште „Умка“, условљене су специфичном геолошком грађом терена (састава, старости и склопа). Комплексност геолошког састава је у директној вези са палеогеографским и палеоекеолошким условима који су владали током неогена и квартара. Током неогене фазе касно-алпске тектонике (пре 20 - 25 милиона година) на подручју панонског басена наступила су стална слегања терена, која су уједно обележила ову фазу. Управо услед ових слегања, простори данашње територије Србије су у то време налазили углавном испод нивоа Паратетиса. Седименти неогена су потом започели трансгресију преко палеозојско-мезозојске основе. Највећи развој ових седимената је уследио након баденске трансгресије (M_2^2) која је трајала све до плиоцена (Pl). Јужни обални обод тадашњег Панонског мора је био подложан веома честим променама у то време, што је условило значајне разлике у самом развоју неогених седимената у Србији. Ови седименти су, углавном, представљени органогеним кречњацима, лапорима, глинама, песковима и шљунковима уз различите прелазе и комбинације између њих .

Однос између неогених седимената различите старости је углавном конкордантан са израженим фацијалним и фаунистичким прелазом у оба правца (хоризонтално и вертикално). На крају плиоцена и нарочито током плеистоцена ниво воденог басена је опадао што је условило обалску седиментацију која је постала доминантна. Копнени развој, који је потом уследио, имао је за резултат почетак флувијалних, колувијалних и еолских процеса који су формирали одговарајуће акумулационе геоморфолошке облике. Како су се велики водени правци развили нагло, флувијални процес је постао најдоминантнији процес, што је уједно означило почетак формирања данашњих река, Саве и Дунава. Њихова данашња речна корита су под утицајем кориолисовог ефекта, што може делимично објаснити зашто су се процеси и правци ерозије развили углавном само на њиховим десним обалама. Продубљивање и миграција речних корита као и интензивирање нестабилности њихових падина су потом били у синхронизацији са таложењем лесних наслага током касног плеистоцена и током холоцена. Пре него што је лес исталожен, процеси распадања су захватили изложене седименте неогена. Као резултат наведеног, формирана је кора распадања, дебљине од 5 - 20 m, у свим неогеним седиментима који су били подложни распадању, а нарочито у глиновитим лапорима (Rokić, 1997; Rokić et al., 1998; Rokić & Vujanić, 2002).

Услед наведеног, клизиште „Умка“ се може сматрати репрезентативним клизиштем у неогену Србије, због: геолошке грађе (састава, старости и склопа), механизма активатора (подсецање ножице речном ерозијом), величине, положаја (десна обала реке) и геометрије (Rokić, 1997).

4. Методологија истраживања и улазни подаци

4.1 Студија случаја

Студија случаја (енг. *Case Study*) представља облик научног истраживања, које се примењује у науци приликом истраживања процеса или појава. Истраживања се изводе за ограничен број случајева или само за један случај, када су продубљена, обимна, интензивна и у реалној вези са истраживаном појавом или процесом, за разлику од других метода као што су апстракција, синтеза или дедукција. За потребе студије случаја користе се резултати претходних истраживања чиме је омогућено разумевање комплексних појава, па тако студија случаја представља снажну истраживачку методу за потребе свеобухватних истраживања неког феномена, процеса или појаве (Zainal, 2007).

Студијом случаја се обухватају садржајне и везане анализе ограничених броја догађаја (случаја) као и њихових међусобних односа и зависности (Yin, 1983). Као истраживачка метода, користи се већ неколико деценија у различитим научним дисциплинама. Иако је метода коју углавном користе истраживачи у друштвено-политичким и економским наукама, последњих година се све више користи и у природним наукама за изучавање специфичних појава и процеса, нарочито за потребе истраживања клизишта као и анализе хазарда и ризика од клизишта (Walstra et al., 2007a; Yalcin, 2007; Prokešová et al., 2010a; Mahalingam et al., 2016).

У својој књизи, Johnson & Stake (1996) предлажу шест неопходних корака, којих би истраживач требало да се придражава приликом спровођења методе студије случаја:

1. одређивање и дефинисање истраживачких питања;
2. одабир случаја и одређивање метода за прикупљања података и метода које ће бити коришћене за њихову анализу;
3. припреме за прикупљање података;
4. прикупљање података на терену;
5. евалуација и анализа прикупљених података;
6. доношење закључака на основу изведених истраживања и анализа.

Главне предности примене методе студије случаја се огледају у чињеници да подаци прикупљени на тај начин имају снажну везу са стварним случајем и појавом, затим да резултати могу бити искоришћени за различите потребе и на крају, јер пружа увид у друге сличне случајеве, који се могу догодити или одиграти по сличном сценарију. Главни недостатак ове методе је да није поновљива. Разлог је што је у питању јединствен случај, који се десио на ограниченом простору и у одређеном времену. Подаци добијени на тај начин тешко могу бити директно корелисани са подацима са другог подручја, па постоји могућност да интерпретација подлеже субјективности и пристрасности. На крају, резултати се тешко могу генерализовати на друге појаве или популацију, док само прикупљање података може трајати годинама.

Основни разлози за одабир клизишта „Умка“ ,као студије случаја за процену ризика од клизишта, су били: доступност обимне стручне, научне и техничке документације, постојање вишегодишњег константног мониторинга, присуство већег броја елемената у ризику (становништва, објеката и саобраћајница), као и актуелност самог процеса у друштвеном и социјалном смислу.

4.2 Прикупљање и анализа литературних података

Прикупљање и анализа података представљају основне карактеристике научног или истраживачког рада (Miljević, 2007). Конкретно, за потребе ове дисертације, прикупљање података је представљало анализу, синтезу, класификацију, дедукцију и генерализацију података о свим расположивим геолошким, инжењерскогеолошким и геотехничким својствима истраживаног терена и појавама. Анализом је вршено рашчлањавање процеса на појединачне делове, који су потом детаљно проучени и истражени. Синтеза је подразумевала повезивање и обједињавање свих релевантних сазнања о клизишту „Умка“.

4.2.1 Преглед научне и стручне литературе о клизишту „Умка“

Клизиште Умка представља једно од највише истраживаних и најдуже осматраних клизишта у Србији. У овом поглављу је приказан кратак преглед литературе и документације, која је објављена о клизишту „Умка“, као инжењерскогеолошком феномену уз осврт на истраживања чији подаци су делимично коришћени за израду ове дисертације. Литература, која се односи на клизиште „Умка“ је обимна и може се начелно, поделити на научну и стручну литературу и техничку документацију.

У радовима на српском језику, Ј. Цвијић (1909) у сепарату „Језерска пластика Шумадије“ први пут помиње клизишта „Умка“, па се може сматрати да је сам процес био познат локалном становништву и годинама пре него што га је Цвијић први пут записао. У периоду између два велика рата, поједини српски географи, такође, наводе клизиште код Умке, али без дубље анализе самог процеса или описа његових геоморфолошких и геолошких карактеристика.

Први детаљнији приказ клизишта објавио је, у свом раду *„Важнији типови наших клизишта и могућности њиховог санирања“,* М. Луковић (1951) где клизишта Дубоког код Умке сврстава у групу „Клизишта у терцијарним и квартарним формацијама“. Луковић даље наводи да је управо због клизишта „Умка“ железничка пруга Београд - Обреновац морала бити пројектована тако да пролази тунелом око клизишта уместо природно најкраћим путем, док наводи да из истих разлога није решено ни питање трасе колског пута до Обреновца. У раду се први пут описује геолошки састав самог клизног тела и стабилне подлоге, оријентација клизне равни као и оцена дебљине колувијума. Иако је Луковић описивао клизиште Дубоко и Умку, наводи да је у ствари најопаснији и најтежи за санацију *„онај низводни који се Дубокоī и сресkoī расадника“*, који у ствари представља опис локације клизишта „Умка“. Први пут се описује и механизам клижења, као и да ножица клизишта исклињава испод нивоа Саве, чиме је дефинисан активатор самог процеса клижења. Наводи се да, иако су изведена бројна истражна бушења (сондирања) терена, до тада нису рађена никаква геомеханичка испитивања таквог материјала ради утврђивања физичких својстава која су неопходна за предлагање евентуалних мера санације. Поред тога, констатује да је извођење потпорних зидова као мере санације клизишта „Умка“ у овом случају несврсисходно.

Уопштено, о клизиштима која су настала на десним обалама Саве и Дунава, а где се помиње и клизиште „Умка“, у својим радовима су писали: Perić (1970), Božinović et al., (1982), Vujanić et al. (1984), Lokin et al. (1988), Rokić et al. (1998), Rokić & Vujanić (2002). О клизиштима која су формирана у неогеним глинама и њиховим геотехничким карактеристикама са освртом на клизиште „Умка“ у својим радовима су писали: Božinović et al. (1993), Ćorić et al. (1994, 1996), Hadži-Niković (1995), Dangić et al. (1997), Abolmasov et al. (2015). О геотехничким проблемима који су се јављали приликом

пројектовања и извођења саобраћајница у Југославији а где се помиње клизиште „Умка“ може се пронаћи у раду Šutić & Božinović (1978), док се први резултати детаљних геотехничких истраживања на клизишту „Умка“ наводе у раду Vujanić et al. (1995). Детаљне 2D анализе стабилности клизишта „Умка“ методом коначних елемената и методом граничне равнотеже приказане су у магистарској тези Hadži-Niković (1995) док су резултати напредне сеизмичке анализе стабилности клизишта „Умка“ приказане у раду Garevski et al. (2013). Примењене методе и резултати вишегодишњег континуалног мониторинга клизишта „Умка“ су описани у радовима: Abolmasov et al. (2012b, 2013, 2014, 2018), Erić et al. (2015, 2017). Опис геотехничког модела и динамике клизишта „Умка“ је приказан у раду Abolmasov et al. (2015). Примена GIS-а за праћење динамике и за дефинисање тродимензионалне геометрије клизишта „Умка“ је приказана у дипломском раду Ђурић (2011) док су могућности 3D моделовања у оквиру GIS-а приказане у раду Đurić et al. (2011).

4.2.2 Преглед техничке документације о клизишту „Умка“

Инжењерскогеолошка и геотехничка истраживања на подручју клизишта „Умка“ извођена су више пута у периоду од 1978 – 2010. године (Табела 4), од којих су најобимнија и најобухватнија, она, која су изведена од стране Института за путеве - Београд и то за потребе Идејног пројекта аутопута Е-763 Београд - Љиг - Пожега, Деоница 2 Умка – Обреновац која су изведена у три временска периода и то: 1980, 1990-1991 и 2005 године.

Резултати наведених обимних теренских инжењерскогеолошких, геотехничких и лабораторијских истраживања током 1990 - 1991. године на подручју клизишта „Умка“ и „Дубоко“ су у великој мери проширила дотадашња сазнања о клизиштима формираним у неогену. Поред наведеног, омогућила су интерпретацију структуре клизног тела, праћење промена порозности, влажности, водопропустљивости, генезу, положај и значај свих дисконтинуитета, прецизно утврђивање облика, димензија и дубине свих активних и потенцијалних клизних површина али и карактеристике самог бедрока. Како су изведена и истражна окна, практични значај наведених резултата је увећан с обзиром да су истраживања изведена „in situ“ и омогућила су узимање непоремећених и меродавних узорака за лабораторијске анализе (Vujanić et al., 1995).

Резултати детаљних инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања током 2005. године представљали су својеврсну допуну и реинтерпретацију истраживања изведених током 1990-1991. године. Од великог значаја су истражне бушотине, које су изведене у оним деловима клизишта „Умка“, која нису била обухваћена претходним истраживањима. Том приликом, утврђен је висок степен корелација са дубинама до клизних површина утврђених током 1990 - 1991. године, док су највеће промене утврђене за нивое подземних вода и у геоморфолошким одликама на површини тела клизишта. Уједно, добијена су нова сазнања о динамици самог клизишта на основу осматрања великог броја инклинометара (Jelisavac et al., 2006).

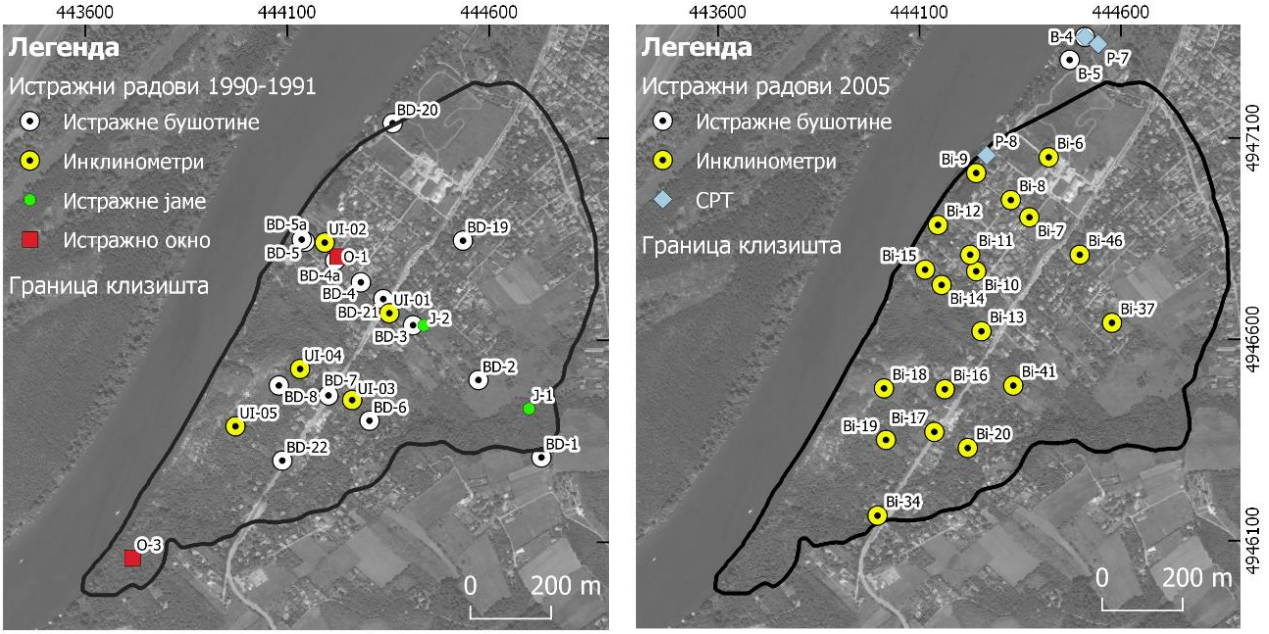
Табела 4. Преглед техничке документације о изведеним инжењерскогеолошким, геотехничким, хидролошким и геофизичким истраживањима клизишта „Умка“ за период од 1958-2010. године

Бр.	Назив техничке документације	Година	Теренска истраживања	Доступност
1	Извештај о сондирању и геолошком саставу терена на пољопривредном добру "Умка"	1958	изведена	доступна
2	Детаљна хидрогеолошка истраживања терена за водоснабдевање Београда	1973	изведена	доступна
3	Инжењерскогеолошки услови терена за ниво детаљног урбанистичког планирања насеља Умка	1978	изведена	доступна
4	Геотехничке подлоге за израду пројекта аутопута Београд-Обреновац на деоници Остружница-Умка 9+000 до 16+711	1978	изведена	доступна
5	Геотехнички услови изградње аутопута Београд-Обреновац преко клизишта Умка и Дубоко km 17+000 до 21+000	1980	изведена	не
6	Катастар клизишта и нестабилних падина на територији општине Чукарица	1984	изведена	доступна
7	Идејни пројекат уређења реке Саве на потезу од Умке до Барича у склопу изградње аутопута Е-76, Књиге 1-4	1990	нису планирана	доступна
8	Геотехничка истраживања у зони клизишта Умка и Дубоко за ниво Идејног пројекта аутопута Е-76 Београд-Обреновац км 15+500 до 19+750	1990-1991	изведена	доступна
9	Инжењерскогеолошка истраживања терена за ниво измене и допуне ДУП-а насеља Умка	1992	изведена	доступна
10	Геотехнички елаборат о условима санације клизишта на путу Београд-Обреновац (код клизишта Умка) и Главни пројекат санације	1996	нису планирана	доступна
11	Идејни пројекат аутопута Е763 (Београд-Љиг-Пожега), сектор 1, Београд-Љиг, Београд (Остружница) - Умка	2005	изведена	доступна
12	Елаборат о геофизичким истраживањима и дефинисању сеизмичког хазарда и инжењерских параметара сеизмичности; Аутопут Е – 763 Београд – Јужни Јадран, Сектор: 1 Деоница 2: Умка – Обреновац; km: 6 + 450 – km:14 + 100	2005	изведена	доступна
13	Идејни пројекат: „Хидротехничко уређење корита реке Саве и приобаља на сектору Умка – Дубоко у функцији изградње аутопута Е 763 Београд - Јужни Јадран“ (2005).	2005	изведена	доступна
14	Истраживања терена за израду катастра клизишта подручја Генералног плана Београда	2010	изведена	доступна

Табеларни приказ свих изведених теренских истраживања и опита током 1990. - 1991. и 2005. године од стране Института за путеве – Београд, дат је у табели 5, док је њихов просторни положај приказан на слици 10.

Табела 5. Преглед изведених инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања и опита која су изведена од стране Института за путеве – Београд, током 1990-1991. и 2005. године. У табели је дат обим радова који је изведен само на подручју клизишта „Умка“

Врста истраживања и опита	Геотехничка истраживања у зони клизишта Умка и Дубоко за ниво Идејног пројекта аутопута Е-76 Београд-Обреновац км 15+500 до 19+750 (1992)	Идејни пројекат аутопута Е763 (Београд-Љиг-Пожега), сектор 1, Београд-Љиг, Београд (Остружница) – Умка (2005)
	обим изведених радова и опита у телу клизишту „Умка“	
Инжењерскогеолошко картирање терена	Детаљно инжгеол. картирање оба клизишта на 5 km² у размери 1:1000	Детаљно инжгеол. картирање оба клизишта на 3 km² у размери 1:500
Истражно бушење	14 бушотина са картирањем језгра укупне дужине 334 m’	19 бушотина са картирањем језгра укупне дужине 339 m’
Истражна окна	2 окна са картирањем, укупне дужине 78 m’	-
Стандардни пенетрациони опити	2 опита укупне дужине 20 m’	-
Статички пенетрациони опит	-	1 опит до дубине од 13,6 m
Инклинометарске конструкције	5 конструкција са мониторингом, укупне дужине 77 m’	20 конструкција са мониторингом, укупне дужине 388 m’
Пијезометарске конструкције	16 конструкција са очитавањем до дубине од 27 m, укупне дужине од 430 m’	-
Картирање објеката	438 зиданих објеката различите категорије и намене	-
Картирање бунара	164 бунара	-
Геодетске тачке	65 тачака са осматрањем	-
Електрометријска томографија	Профилирање укупне дужине 2 km	-
Ехосондирање корита Саве	37 профила	-
Лабораторијски опити узорака језгра истражних бушотина	170 узорака за идентификационо-класификационе опите и 20 узорака за геомеханичке параметре	66 узорака за идентификационо-класификационе геомеханичке параметре
Палеонтолошка анализа узорака	15 узорака за стратиграфско-палеонтолошке анализе	-
Геохемијске анализе	15 узорака за минералошке и геохемијске анализе	-
Хемијске анализе	20 узорака подземних вода и реке Саве	-
Истражне јаме	2 јаме укупне дубине 5 m’	-



Слика 10. Положај истражних радова и опита изведених од стране Института за путеве – Београд, током 1990. - 1991. године (лево) и током 2005. године (десно)

Резултати анализе наведених литературних података и техничке документације са критичким освртом су приказани у поглављу „Резултати истраживања“.

4.3 Методе даљинске детекције

4.3.1 Прикупљање и фотограметријска обрада архивских авиоснимака и ортофотоа

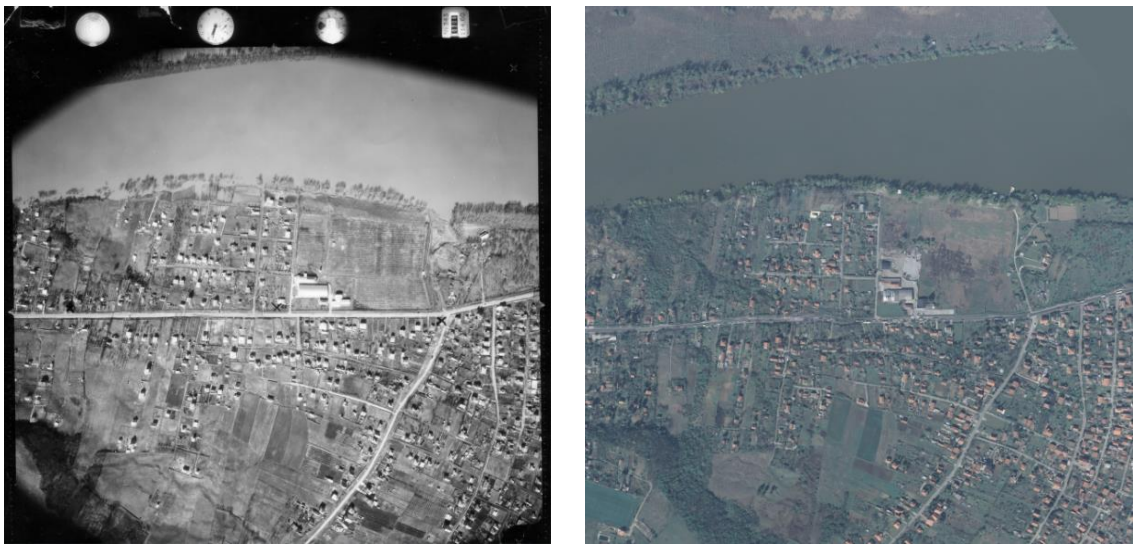
Анализом и интерпретацијом историјских авиоснимака могу се добити како квалитативни тако и квантитативни показатељи развоја и динамике неког клизишта (Марковић, 1984; Walstra et al., 2007a). Квалитативном анализом авиоснимака добијају се подаци о геоморфолошким појавама и облицима, који су карактеристични за клизиште, као што су: чеони и секундарни ожиљци, истрбушења, депресије, појаве јаружања, забарења итд.

Могућности анализе историјских авионсимака за потребе реконструкције динамике клизишта приказане су у бројним радовима, од којих се може издвојити рад Van Westen & Lulie Getahun (2003). У раду су анализирали авиоснимке из седам временских епоха у периоду од 1954. – 1998. на основу којих су направљене детаљне геоморфолошке карте развоја клизишта Тесина у Италији. Анализом историјских авиоснимака и фотограметријским мерењима на њима, Dewitte et al. (2006) су успешно реконструисали геоморфолошке карактеристике и проценили померања на чак 13 дубоких клизишта у западној Белгији, између три временска периода (1952, 1973 и 1966). Prokešová et al. (2010) су користили авиоснимке различите размере из четири епохе (1969, 1977, 1988 и 1998) на основу којих су реконструисали динамику једног од највећих клизишта у Словачкој у близини насеља Љубјетова. На простору Републике Србије, Марковић и др. (1995) су анализирали појаве нестабилности, руптурни склоп и неотектонску активност клизишта на десној обали Дунава код Новог Сада користећи архивске авио и сателитске снимке. Abolmasov et al. (2012) су анализирали стереоснимке из 1970. и 2007. године, као и ортофотоснимке из 2001. и 2010. године за потребе геоморфолошке анализе, интерпретације и фотограметријска мерења померања објеката на површини клизишта „Умка“.

Стереоснимци су неопходни за генерисање дигиталног елевационог модела терена (DEM), па уколико постоје DEM-ови из више епоха, њиховим поређењем успешно се могу прорачунати промене запремине земљаних маса између два периода, услед нестабилности терена (Casson et al. 2003).

Проблеми и недостаци који се могу јавити приликом анализе историјских снимака у Србији у највећој мери зависе од формата самих снимака, који могу бити у аналогном или дигиталном формату (Слика 11). Већина снимака из XX века су у аналогном, док су снимци сачињени после 2000. године у дигиталном формату.

Уколико се обрађују старији снимци у аналогном формату, на првом месту се јавља проблем доступности истих заинтересованој стручној јавности. Све до 1990-тих година је ВГИ био задужен за снимање територије државе из ваздуха па је за прибављање тих снимака неопходно подношење захтева и добијање одобрења од Министарства одбране. Други проблем код аналогних снимака јесте, да скоро по правилу, изостају параметри спољашње оријентације снимака који би били корисни за георeференцирање снимака у савременим софтверским пакетима, док је и за добијање унутрашњих параметара оријентације неопходна кореспонденција са ресорним министарством одбране.



Слика 11. Аналогни авиоснимак клизишта Умка из 1970. године (лево) и дигитални снимак истог подручја из 2007. године (десно)

Изостанак параметара спољашње оријентације се може делимично превазићи коришћењем савремених фотограметријских софтвера, као што су *IMAGINE Photogrammetry* (стари назив: *LPS* и *Leica Photogrammetry Suite*) и *Agisoft Metashape*. Важно је напоменути да се, код дигиталних снимака, параметри спољашње и унутрашње оријентације, у већини случајева, налазе у метазапису самог снимка. Све ово захтева да истраживач има велико искуство са препроцесирањем снимака као и да буде упознат са функционисањем специјализованих софтвера за анализу. Уколико у архивама и постоје временске серије снимака једног истражног подручја, они могу бити различите размере, снимани у другим годишњим добима, са различитим степеном присутности вегетације, као и са присутним атмосферским утицајем (облачност, магла итд), што знатно отежава или чак онемогућава процесирање и анализу самих снимака.

Аерофотограметрија је техника даљинске детекције, која омогућава реконструкцију топографских карактеристика терена, који је претходно снимљен из ваздуха. Након успешне оријентације снимака применом савремених алгоритама у оквиру комерцијалних софтвера могуће је генерисање густог облака тачака високе резолуције на основу којег је потом могуће генерисање DMT-а, DEM-а, DMP-а и одговарајућег ортофотоа. Фотограметријским поступцима је могуће процесирати и архивске снимке без параметара унутрашње оријентације, уколико су снимци претходно скенирани у високој резолуцији и уколико је могуће идентификовати довољан број оријентационих тачака на снимцима, а чије су координате данас познате. Савременим програмским пакетима, поступцима самокалибрације је могуће добијање наведених параметара, тако да је неопходно познавање само иницјалних параметара камере. На овај начин се могу делимично или у потпуности реконструисати топографске карактеристике неког терена кроз време, док је генерисањем стереопарова могућа успешна његова квалитативна геоморфолошка анализа. Корелацијом тако добијених ортофотоа, применом савремених алгоритама, као што је *Coss-Corr,* могућа је квантитативна анализа вектора померања пиксела. Потребно је испунити условда су ортофотои сачињени на основу секвенци снимања која не прелази 10-ак година, нарочито у урбанизованим подручјима због могућих сметњи, које се могу јавити услед изградње на осматраном простору.

Подручје насеља Умка је снимано аналогним камерама у неколико епоха (1959 - 1988), са различитим параметрима лета и преклопима. У табели 6 је дат приказ свих расположивих аналогних архивских авиоснимака за подручје Умке, са најважнијим

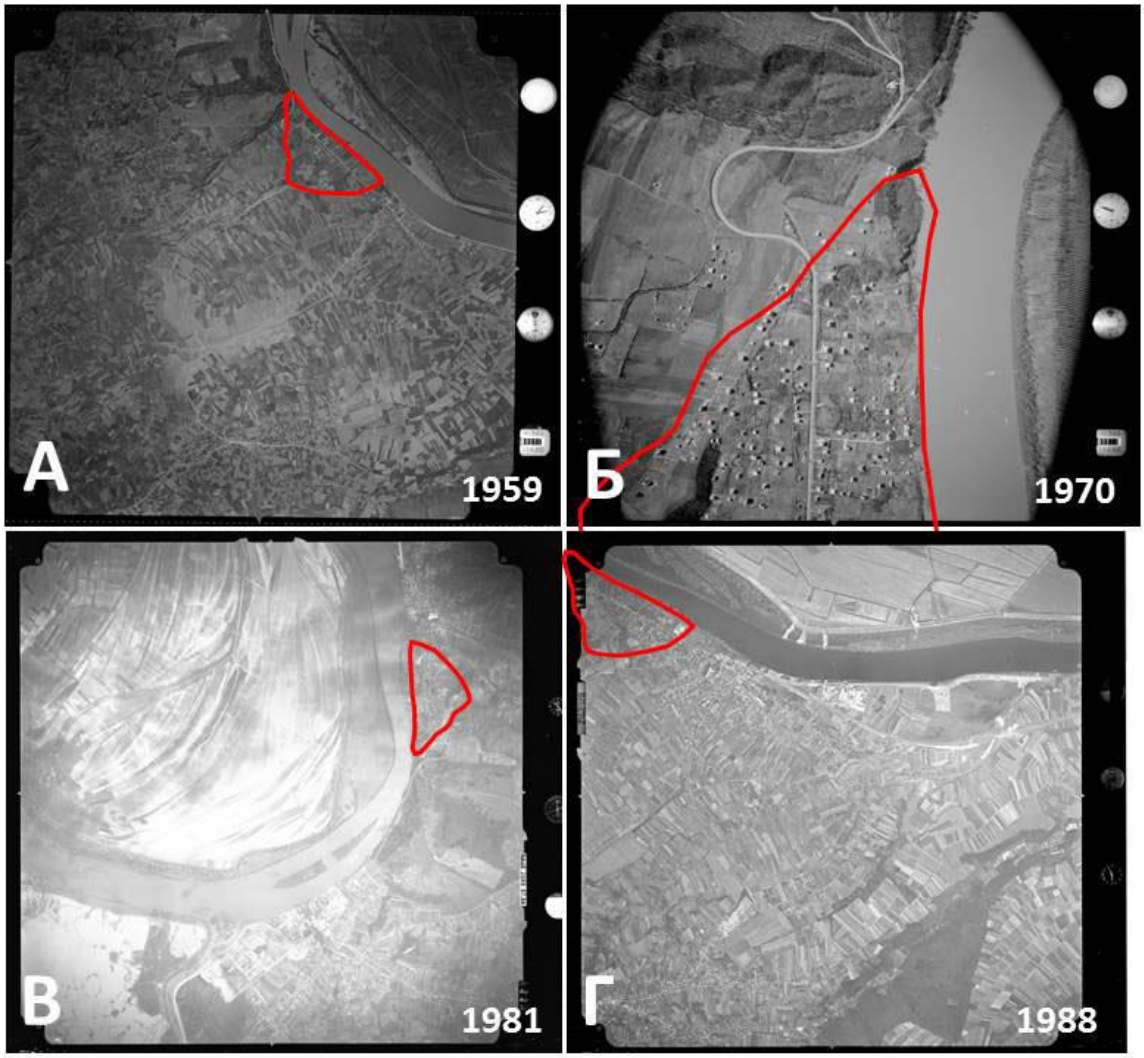
информацијама, као што су: подужни преклоп, размера снимања, висина лета, жижна даљина камере и оцена могућности примене снимака за QLRA. Од укупно седам расположивих временских серија снимања, свега две имају могућу примену (1959 и 1962) и једна серија има одличну могућност примене (1970). Остале серије имају ограничену или веома ограничену примену и то најчешће или услед разлике у тоновима између преклопних снимака, који онемогућују аутоматску идентификацију везних тачака, или је подручје клизишта „Умка“ на рубу снимака па чак и пресечено.

Квалитет самих снимака као и одговарајућих скенова су били добри до одлични, осим једне серије из 1967. године на чијим снимцима се уочавају беле тачке које су последица физичког оштећења самих снимака. У табели 6, **одлична** могућност примене авиоснимака дефинише снимке из серије који се могу користити за фотограметријску анализу са великом поузданошћу и без већих потешкоћа и потребе за процесирањем снимака (Слика 12 - Б). **Могућа** примена дефинише снимке који су нешто нижег квалитета и неповољније размере, али се ипак могу користити за фотограметријску анализу нешто ниже поузданости (Слика 12 - А). **Ограничена** примена дефинише снимке који се уз додатно процесирање могу користити за фотограметријску анализу клизишта Умка, код ових снимака се клизиште налази на самом рубу снимака па су могуће деформације и грешке код фотограметријских производа. Снимке оваквог квалитета би требало избегавати (Слика 12 - В). **Веома ограничена** примена дефинише снимке као неупотребљиве за фотограметријску анализу и израду фотограметријских производа услед неповољне размере, преклопа квалитета снимка као и положаја клизишта, док им је примена сведена углавном на визуелну идентификацију и преглед подручја истраживања (Слика 12 - Г).

Табела 6. Могућност примене архивских аналогних авиоснимака за фотограметријску и квантитативну QLRA клизишта „Умка“ * - означава сетове снимака који су коришћени приликом израде дисертације

Година снимања	Подужни преклоп (%)	Приближна висина лета (m)	Жижна даљина (mm)	Ср. размера снимка	Могућност примене за QLRA
1959*	70	4980	114.6	1 : 43.500	могућа
1960	60	3640	114.6	1 : 31.800	в. ограничена
1962	/	3820	115.24	1 : 33.150	могућа
1967	60	4120	115.24	1 : 35.750	ограничена
1970*	80	815	114.6	1 : 7100	одлична
1981	60	2710	87.98	1 : 30.200	ограничена
1988	60	3880	152.88	1 : 25.300	в. ограничена

Поред наведених аналогних снимака, за потребе израде дигиталног ортофотоа (ДОФ) Београда и Србије, извршено је неколико серија снимања дигиталном камером из ваздуха (MapSoft – Београд). У табели 7 је дат приказ дигиталних архивских авиоснимака којима је покривено подручје клизишта „Умка“, са најважнијим информацијама као што су: величина и број пиксела, просечна висина лета, жижна даљина камере, размера и на крају оцена могућности примене снимака за QLRA. За разлику од аналогних снимака, све наведене дигиталне снимке је било могуће користити за процену хазарда и ризика од клизишта док су за потребе израде ове дисертације изабрана само два сета снимака за анализу и то из 2007. и 2018. године.



Слика 12. Аероснимци подручја Умке из различитих временских епоха, са уцртаним границама клизишта Умка (црвена линија). А) авионсимци из 1959. године које је могуће искористити за QLRA Б) авиоснимци из 1970. године који имају одличну могућност примене за QLRA В) авиоснимци из 1981. године који имају ограничену примену за QLRA, услед високих вредности осветљења појединих снимака из серије Г) авиоснимци из 1988. са веома ограниченом применом за QLRA, услед неповољног положаја клизишта на преклопу снимака

Табела 7. Могућност примене архивских дигиталних авиоснимака за фотограметријску и квантитативну анализу ризика од клизишта Умка (MapSoft - Београд). * су означени сетови снимака који су коришћени приликом израде ове дисертације

Година снимања	Величина пиксела (mm)	Димензија слике (pix)	Приближна висина (m)	Жижна даљина (mm)	Ср. размера снимка	Могућност примене за QLRA
2007*	12	7680x13824	2500	120	1 : 20,000	могућа
2010	12	7680x13824	2700	120	1 : 22,500	могућа
2018*	0,0406	8708x8708	1800	51.7	1 : 35,000	могућа

ДОФ као коначни производ се може користити за различите потребе: као квалитетна и референтна подлога за пројектовање, за идентификацију новоизграђених или порушених објеката, за утврђивање промене намене и коришћења земљишта. Уколико је ДОФ веома високе резолуције, он може бити коришћен и као квалитетна подлога за картирање оштећења на саобраћајницама али и за картирање деформација откривених терена. Процесирањем и анализирањем ДОФ-ова из два различита временска периода, могуће је утврдити величине померања објеката или деформације на површини

снимљеног терена, а који су представљени пикселима чије је праћење могуће (Walstra et al., 2007b). ДОФ је погодан за интеграцију са свим другим врстама и типовима просторних података унутар GIS и CAD софтверских пакета. Главне предности употребе ДОФ-а у односу на класичне топографске подлоге су: убрзана израда и уштеда у изради, као и већа количина информација, јер представљају потпун приказ садржаја снимака са различитих сензора на основу којих су израђени. Недостаци су: могућност појаве сенки и мртвих углова уз високе објекте, као и чињеница да ДОФ у правном смислу нема снагу и карактер службености, за разлику од катастарског плана.

Одабрани квалитетни аналогни архивски стереоснимци су адекватно скенирани и након фотограметријске обраде пружили су могућност израде DEM-ова и ортофотоа који су потом фотогеолошки анализирани и на основу којих су прикупљене информације о морфологији клизишта „Умка“. Применом савремених алгоритама и алата као и поређењем одабраних парова ортофотоснимака добијени су релевантни квантитативни подаци о динамици клизишта „Умка“ у виду вектора и интензитета померања идентификованих пиксела. На основу таквих података израђене су карте површинских деформација, које су потом коришћене за реконструкцију динамике клизишта „Умка“ при морфолошким и динамичким условима, који су владали током анализираног периода. Ово је било од велике важности за периоде пре успостављања аутоматске GNSS мониторинг станице на клизишту „Умка“. Резултати су, такође, послужили за дефинисање блокова, који су касније употребљени приликом 3D анализе стабилности клизишта „Умка“.

Проблеми који су се јавили приликом фотограметријске анализе наведених снимака су били бројни. Највећи недостаци су биле потешкоће, које су јавиле приликом идентификације оријентационих тачака на архивским аналогним снимцима. Делови терена, а нарочито урбаних делова Умке и околних насеља су се током више деценија значајно променили, што је у онемогућило идентификацију оптималног броја оријентационих тачака. Грешке, које су се јавиле приликом процесирања и ректификације таквих снимака, су код процесирања појединих сетова биле велике, док је прецизна реконструкција висина била скоро немогућа, па је и примена DEM-ова добијених на тај начин била ограничена углавном за потребе генерисања ортофотоа задовољавајуће тачности. Анализа и процесирање дигиталних снимака су били значајно лакши услед чињенице, да је у метаподацима самих снимака, по правилу, постојао запис спољне и унутрашње оријентације (висина са које је сачињен снимак, величина сензора, резолуција, експозиција итд). Међутим, за постизање високе тачности висина DEM-а, на основу дигиталних снимака, била је потребна идентификација барем неколико релевантних оријентационих тачака.

4.3.2 UAV фотограметријско снимање

Како би снимци клизишта сачињени UAV системом били употребљиви за фотограметријску анализу и израду картографских подлога, примењен је следећи начин рада:

- дефинисано је истражно подручја и жељена резолуција пиксела ортофотоа;
- прорачунати су параметри лета (надморска висина, путања, стајне тачке...);
- дефинисан је % неопходног подужног и бочног преклопа снимака;
- прибављене су неопходне дозволе за лет и снимање из ваздуха;
- дефинисане су и обележене оријентационе тачке на површини терена;
- геодетски су опажане контролне тачке;
- изведен прелет истражног подручја беспилотном летелицом са снимањем терена на основу две летачке мисије;
- фотограметријски су процесирани одабрани снимци;
- класификован је облак тачака површине терена;
- израђени су дигитални елевациони модели и ортофотои клизишта „Умка“.

Током марта и априла 2018. и марта 2019. године извршено је UAV фотограметријско снимање површине тела клизишта „Умка“. Том приликом је у високој резолуцији снимљена целокупна површина блокова А и В док блок С није сниман услед присуства вегетације и неприступачности терена за постављање контролних тачака. За снимање површине тела клизишта „Умка“ коришћен је професионални хексакоптер *DJI MATRICE 600 PRO* са гимбалом на који је била монтирана камера *Canon EOS 6D*, са резолуцијом од 20,2 мегапиксела и жижном даљином од 24 mm (Слика 13).

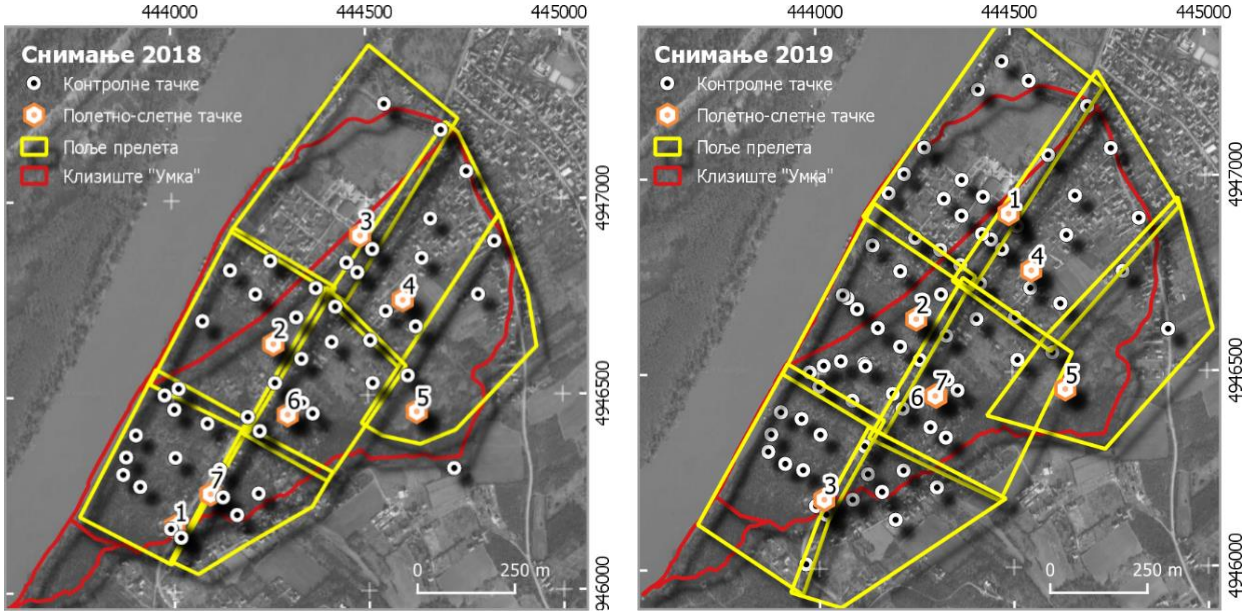
Слика 13. UAV - хексакоптер DJI MATRICE 600 PRO са монтираним гимбалом и камером EOS 6D (20,2 Mpix)

Основни технички подаци о летачким мисијама фотограметријског UAV снимања клизишта „Умка“ и процесирања коришћених снимака су приказани у табели 8, док је положај оријентационих и полетно-слетних тачака са пољем прелета за летачке мисије приказан на слици 14.

Табела 8. Технички подаци о летачким мисијама фотограметријског UAV снимања клизишта „Умка“ и процесирања корићених снимака

	прва летачка мисија	друга летачка мисија
период снимања	април 2018.	март 2019.
број одабраних снимака	1982	2082
подужни преклоп снимака	≈ 90%	≈ 90%
бочни преклоп снимака	> 60%	> 60%
просечна висина лета током снимања	80 m	80 m
број узлетања/слетања	7	7
снимани блокови	А, В	А, В
бр. искоришћених пакета батерија за снимање	7 (x6 бат.)	7 (x6 бат.)

Без обзира са које платформе су сачињени авиоснимци (авион, UAV, сателит итд), на основу њих било је могуће извршити две врсте анализе које су имале примену приликом QLRA: квалитативну и квантитативну фотогеолошку анализу.



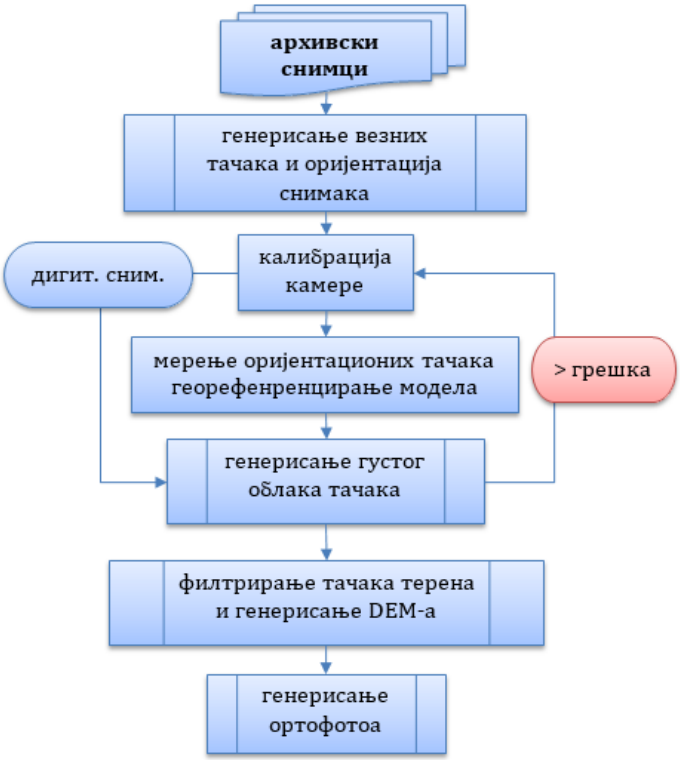
Слика 14. Положај оријентационих и полетно-слетних тачака са пољем прелета на клизишту „Умка“ за летачке мисије 2018. године (лево) и 2019. године (десно)

4.3.3 Фотограметријско процесирање авио и UAV снимака

За фотограметријско процесирање авио и UAV снимака коришћен је *AgiSoft Metashape* софтверски пакет, који је омогућио квалитетно и једноставно процесирање архивских снимака чак и за случајеве када су снимци били сачињени различитим камерама или ако су били различите резолуције. Још једна предност коришћења савремених фотограметријских пакета као што је *AgiSoft Metashape* је била једноставност коришћења и погодан кориснички интерфејс. Поступак фотограметријског процесирања који је примењен за аналогне и за дигиталне снимке је приказан на слици 15.

За оријентацију аналогних архивских снимака идентификоване су карактеристичне тачке на архивским снимцима и на савременим ортофото снимцима, који су били доступни на сајту Геосрбија[5] и Геомреже[6].Њихове координате су преузимане и потом коришћене за геореференцирање снимака. На наведеним сајтовима су преузети само подаци о положају карактеристичних тачака по правцу севера и истока, док су изостајали подаци о висинама, које су биле неопходне за правилну оријентацију и израду DEM-а. Овај недостатак је превазиђен преузимањем коригованог 12,5 метарског DEM-а Alos PALSAR сателитске мисије за шире истражно подручје клизишта „Умка“. Преузети DEM је проверен на тачност у зони преклапања са DEM-ом, који је добијен на основу UAV фотограметријског снимања, а који је оријентисан на основу прецизних GNSS мерења. Том приликом су утврђена одступања за насумично одабране пикселе од око 0,5 m.

[5] https://geosrbija.rs/
[6] http://www.geomreze.rgz.gov.rs/



Слика 15. Алгоритам примењених поступака приликом фотограметријског процесирања архивских и UAV снимака клизишта „Умка“

За сет снимака из 1959. године идентификовано је осам карактеристичних тачака на три снимка, које су могле бити препознате на савременим ортофотоима и које нису биле у познато нестабилним зонама. Из наведених разлога, био је отежан одабир и идентификација тачака, на првом месту јер је време протекло између две епохе износило скоро 60 година, као и услед чињенице да су снимци сачињени са висине од преко 5.000 m, камером жижне даљине од 114,6 mm и приближном размером 1:43.000, То је значајно умањило могућност препознавања детаља на снимцима. Управо зато су идентификоване углавном раскрснице путева које су могле бити недвосмислено препознате на архивским или савременим ортофотоснимцима. Архивски снимци из 1970. године, приближне размере 1:7.000, су били значајно квалитетнији, првенствено јер их је било значајно више у сету (11) са бољим преклопом и јер су снимани са ниже висине лета (око 900 m). Наведени снимци су били чистији и јаснији, са израженим карактеристичним детаљима и тачкама, које су могле бити идентификоване на савременим ортофотима. Насупрот томе, снимци ситније размере обухватали су мањи део истражног подручја, што је имало за последицу могућност одабира мање поузданих тачака које су биле стабилне током времена.

Код дигиталних снимака се усваја да су параметри унутрашње оријентације константни тј. координате главне тачке снимка су увек исте код једног сензора. За потребе процесирања усвајају се параметри калибрације камере, који су дати од стране произвођача. Дигитални снимци су, по правилу, билигеореференцирани тако да се приликом њиховог фотограметријског процесирања одмах могло приступити генерисању облака тачака, ДЕМ-а, ортофотоа итд. Основни параметри фотограметријског процесирања коришћених снимака попут: броја снимака у сету, броја иницијалних везних тачака, броја тачака густог облака, врсте снимака и метода оријентације као и грешака добијених приликом процесирања дати су у табели 9. Оријентациони приказ просторног положаја камера приликом снимања из ваздуха и фотограметријског модела у односу на подручје истраживања, са генерисаним густим

облаком тачака за одабране сетове, дат је на слици 16. На истој слици се уочава разлика у броју и распореду снимака изнад истраживаног подручја, као и разлика у величини генерисаног густог облака тачака, што је у значајној мери утицало на могућност примене добијених података. Након процесирања снимака и добијања густог облака тачака над којим је извршено филтрирање тачака терена, за сваки сет је генерисан одговарајући DEM, на основу којег је, потом, израђен дигитални ортофото. Сви добијени растери су затим извежени за даљу анализу и обраду.

Табела 9. Основни подаци фотограмтеријског процесирања коришћених архивских снимака (А-аналогни; D - дигитални; Ман. - мануелни; Аут. - аутоматски)

Година снимања	Бр. снимака у низу	Бр. генерисаних везних тачака	Бр. тачака густог облака (милиони)	Просторна резолуција DEM-а (pix)	Просторна резолуција ортофотоа (pix)	Врста снимка	Начин обраде оријентационих тачака	Вел. грешке након оријентације (m)
1959.	3	3.313	2,8	1,67	83,4	A	Ман.	1,9 (8)
1970.	11	13.380	80,6	19,2	9,61	A	Ман.	0,6 (9)
2007.	7	11.297	35,1	47,2	23,6	D	Аут.	0,46
2010.	7	11.548	41,2	51,5	25,8	D	Аут.	0,53
2018.	24	24.767	211,6	28,2	14,1	D	Аут.	1,43

На основу UAV фотограметријских снимака, израђени су дигитални ортофотои ултрависоке просторне резолуције (< 2,5 cm) и високе тачности, што би било тешко изводљиво на основу снимака који су сачињени са других сензора. Поред ортофотоа, на основу облака тачака, израђени су DEM-ови високе резолуције који су по правилу били мање просторне резолуције од ортофотоа. На прецизност DEM-а, израђеног на основу снимака, утицао је и број тачака које су класификоване као површинске тачке терена, а којих услед присуства вегетације, било у значајно мањој мери, што је директно утицало на вредности добијене приликом интерполације у DEM. Ортофотои високе резолуције су успешно коришћени за прецизно премеравање, картирање угрожених објеката и снимање стања површине коловозне конструкције. Такође, на основу таквих снимака и фотограметријских поступака изведена је успешна геоморфолошка анализа деформације терена, као и прорачунавање вектора померања пиксела на основу њихове прецизне корелације. Карта интензитета померања пиксела на основу корелације је успешно коришћена као олеата хазарда за процену ризика од клизишта. То је било од кључног значаја услед недостатака или услед непотпуних података, који су добијени другим методама, као што је нпр. радарска интерферометрија.

Главно ограничење приликом снимања, и касније анализе и интерпретације ових снимака, је била зависност од временских услова и вегетације, која је делимично утицала на видљивост оријентационих тачака, резултате процесирања као и комплексне и временски захтевне процедуре за добијање неопходних дозвола за снимање из ваздуха. За потребе георeференцирања снимака са високом прецизношћу апсолутно је било неопходно снимање оријентационих тачака GNSS-ом субцентиметарске прецизности, што је захтевало ангажовање већег броја људи и више сати теренског рада.

4.3.4 Квалитативна анализа авио/UAV снимака и ортофотоа

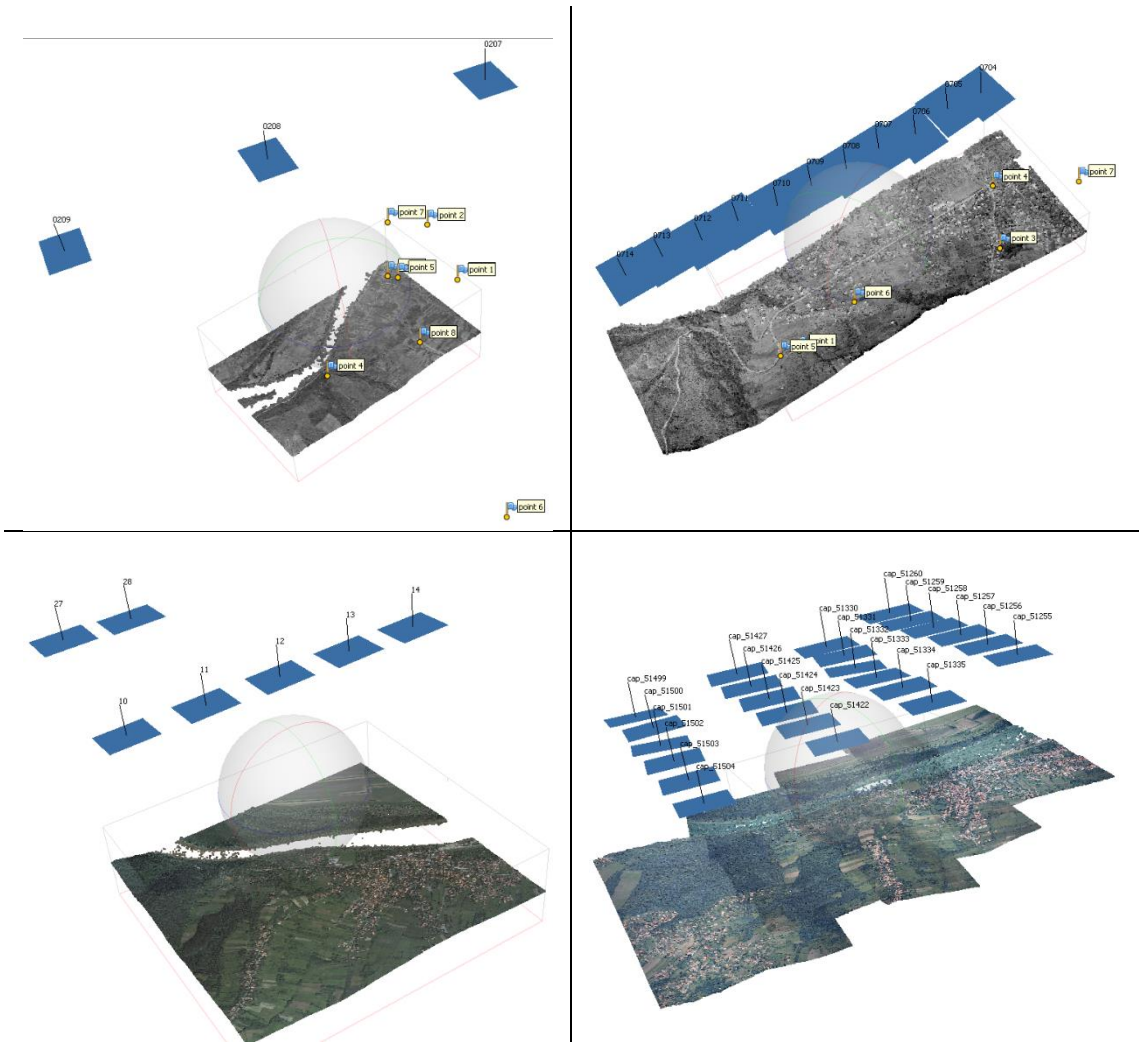
Квалитативно анализирање архивских и савремених снимака клизишта „Умка“ је омогућило брзо и лако пребројавање угрожених и потенцијално угрожених објеката клижењем терена али је стечен и увид у динамику и развој процеса кроз време. Сви подаци добијени даљинском детекцијом имплементирани су у јединствену базу података са резултатима теренских инжењерскогеолошких истраживања. Ако се узме у обзир да је фотогеолошка анализа претходила теренским истраживањима и да се након завршене анализе, на основу њених резултата, приступило фази теренских истраживања, може се закључити да без примене ове методе није било могуће рационално извођење теренских истраживања.

За креирање и фотогеолошку анализу UAV фотограметријских снимака коришћен је бесплатан GIS софтвер *ILWIS 3.31 Academics* [7], који је развијен од стране Универзитета *Twente* из Холандије. У наведеном GIS програму постоји модул *Stereo pair from DTM* који омогућава симулацију стерео пара на основу ортофотоа и њему одговарајућег DEM-а. Тако направљени стереопар је унутар истог окружења приказан у анаглифном приказу ради тродимензионалног приказа уз помоћ анаглифних наочара.

Квалитативном анализом снимака крупније размере јасно су уочене следеће појаве, које су последица клизишта „Умка“: чеони и секундарни ожиљци (на основу скока и сенке), крупније пукотине у тлу са зевовима, велики одвојени блокови унутар клизног тела, истрбушења, забареност, евентуално присуство воде у депресијама итд. За потребе прикупљања података са оба стереопара, направљени су линијски *Shape* фајлови, унутар којих су били дефинисани засебни домени којима су разврстани присутни облици. Том приликом су у оквиру *Shape* фајлова дефинисани следећи облици и појаве: граница клизишта (сигурна и несигурна тј. претпостављена), чеони ожиљак, секундарни ожиљак, трбух клизишта (истрбушење), речна обала угрожена подлокавањем и обрушавањем и граница насипа. За сваки облик је дефинисана одговарајућа симбологија у складу са важећом инжењерскогеолошком праксом. Потом је над оба стереопара извршено прикупљање информација о истим појавама и облицима, при чему је за обе карте била важећа иста симбологија (легенда).

За потребе анализе хазарда и ризика од клизишта „Умка“, ортофото је представљао незаменљиву подлогу, на основу које је омогућено утврђивање прецизних просторних положаја и површина елемената у ризику. Поређењем снимака из више различитих временских периода добијени су подаци о динамици површине тела и промене границе клизишта, што је било нарочито важно за периоде када није постојао перманентни геотехнички мониторинг GNSS станицом.

[7] https://www.itc.nl/ilwis/



Слика 16. Приказ просторних положаја камера приликом снимања из ваздуха (*Metashape*) у односу на подручје истраживања и фотограметријски генерисан густ облак тачака. **горе лево -** снимци епохе из 1959. године; **горе десно -** снимци епохе из 1970. године; **доле лево -** снимци епохе из 2007. године; **доле десно -** снимци епохе из 2018. године

4.3.5 Квантитативна анализа архивских, UAV снимака и ортофотоа

На основу дигиталних ортофотоа идентичног координатног система, резолуције и величином пиксела, било је могуће је извршити њихову софтверску корелацију на нивоу пиксела ради утврђивања деформација тј. померања на површини терена. Програм, који је коришћен приликом анализе дигиталних и аналогних снимака клизишта „Умка“, је *Cossi-Corr*, развијен од стране истраживача Опсерваторије за тектонику на Калифорнијском институту за технологију *„Caltech“*[8]. Више о могућностима и теоријским основама примене ове методе може се прочитати у раду Ayoub et al. (2009a). Сви кораци препроцесирања снимака и поступци који су примењени за квантитативну анализу података за потребе израде ове дисертације су урађени у складу са корисничким упутством програма *Cossi-Corr* (Ayoub et al., 2009b).

Постојало је неколико ограничења приликом овакве анализе:

- на свим снимцима су морали да буду присутни препознатљиви објекти;
- квантитативном анализом је било могуће детектовати померања која су зависила од резолуције и која су била већа од величине пиксела ортоснимака;

[8] http://www.tectonics.caltech.edu

- било је могуће утврдити само померања по x и y координати;
- прецизност мерења је зависила од тачности ортоснимка.

За потребе израде ове дисертације, били су доступни и коришћени архивски ортоснимци из 2003., 2010. и 2018. године, без пратећих DEM-ова, који су генерисани накнадно на основу расположивих георефeренцираних снимака и описаних поступка. Осим тога, коришћени су и ортомозаици високе резолуције, који су креирани на основу UAV фотограметријских снимака из 2018 и 2019. године са пратећим DEM-овима.

Квантитативна анализа архивских ортофото снимака

На основу описаних метода, применом софтвера *Cossi Corr* извршена је прецизна корелација фотограметријски креираних ортофотоа ради утврђивања деформација тј. померања на површини терена, на основу промена положаја карактеристичних пиксела. За квантитативну анализу формирана су два пара снимака који су корелисани. Први пар су чинили архивски ортофото снимци за 2003. и 2010. годину, док су други пар чинили ортофото снимци за 2010. и 2018. годину. На овај начин су добијени подаци о површинском дводимензионалним величинама померања за период пре успостављања перманентног GNSS мониторинга. Ортофотои коришћени за анализу су били нешто ниже резолуције са присуством значајних делова терена под вегетацијом. На основу упутства Ayoub et al. (2009b), коришћен је статистички корелатор са прозором претраге од 64x64 пиксела што је омогућило регистровање померања већих од 1 m која су била очекивана за анализиране временске периоде.

Квантитативна анализа UAV ортофото снимака

Квантитативна анализа је извршена на основу ортофото мозаика клизишта „Умка“ из 2018. и 2019. године, који су претходно сведени на исту величину пиксела од приближно 2,5 cm и који су опсечени на идентични полигон, који је обухватио делове оба снимка и потом процесирани применом два алгоритма за корелацију: *Frequency* и *Statistical* и са различитим параметрима корелације. Како су оба ортофотоа сачињена на основу квалитетних UAV фотограмтеријских снимака ултра високе резолуције, примарно је примењен *Frequency Correlator* на основу Ayoub et al. (2009a).За иницијални прозор претраге усвојена је вредност прозора претраге од 128 x 128 пиксела јер је претходним анализама GNSS мониторинга, утврђено је да се на клизишту „Умка“ могу догодити површинска померања у распону од 2,5 до 60 cm док је величина пиксела ортофотоа износила 2,5 cm (однос 1:25). За коначни прозор претраге остављене су подразумеване вредности (32 x 32 пиксела).

Подручје клизишта „Умка“ је оптерећено густом и бујном вегетацијом па је одрађено више узастопних корелација са вредностима иницијалне претраге прозора од 32x32, 64 x 64, 128 x 128 и 256 x 256 пиксела применом *Frequency Correlator* –а. Након анализе података из сетова који су добијени применом *Frequency Correlator*-а изабране су две величине прозора иницијалне претраге које су генерисале најмањи шум и потом је поновљено процесирање снимака применом статистичког корелатора (*Statistical Correlator*). На овај начин је креирано укупно шест сетова података, при чему су четири добијена применом *Frequency Correlator* -а и са иницијалном претрагом прозора од 32 x 32, 64 x 64, 128 x 128 и 256 x2 56 пиксела (Сет32Ф, Сет64Ф, Сет128Ф и Сет256Ф), а два сета су добијена применом статистичког корелатора и са иницијалном претрагом прозора од 32 x 32, 64 x 64 (Сет32С, Сет64С). Сетови су потом анализирани и поређени са резултатима GNSS мониторинга тачака клизишта ради верификације с обзиром да имају идентичне периоде аквизиције као коришћени UAV фотограметеријски снимци и да су уједно били и оријентационе тачке за њихово референцирање.

Валидација добијених резултата је извршена на два начина: визуелно и статистички. За визуелну валидацију, плотовани су, на основу азимута смера, вектори померања, који су добијени на основу два одабрана сета (Сет64Ф и Сет64С). Ови вектори померања су поређени са векторима померања добијеним на основу резултата GNSS опажања тачака клизишта. За статистичку анализу усвојен је Сет64С чији су интензитети и азимути вектора померања поређени са подацима добијеним GNSS опажањем тачака клизишта (валидациони сет). Ради поређења, било је неопходно креирати парове блиских вектора из одабраног и валидациног сета који су били на мањој удаљености од 5 m чиме је креирано укупно 33 пара за поређење.

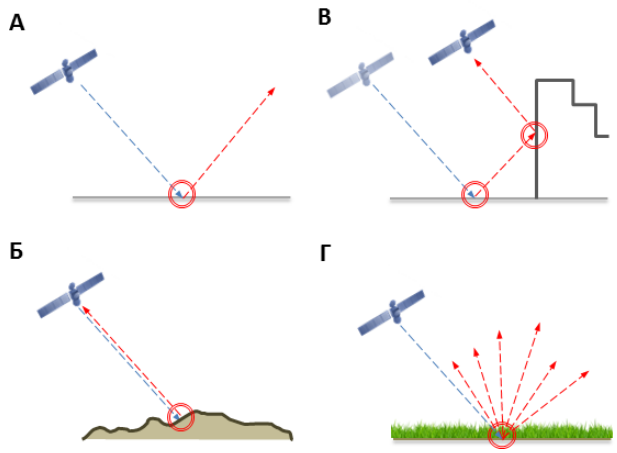
4.3.6 Сателитска радарска интерферометрија

Сателитска радарска интерферометрија (*InSAR*) се заснива на примени активних сензора и представља савремену методу за прикупљање података за потребе различитих специфичних анализа, међу којима је и анализа деформације површине терена са милиметарском прецизношћу. Како прикупљање података не зависи од временских и климатских услова, и услед чињенице да постоје снимци сателитских мисија који су бесплатни и доступни за преузимање корисницима, ова метода је нашла велику примену за потребе мониторинга деформација површине терена, које су последица процеса клизања, нарочито у урбаним срединама.

За наведене потребе, тренутно су присутне следеће технологије (Sušić, 2014):

1. *SAR* – радар са синтетичком блендом;
2. *InSAR* – SAR интерферометрија, тј. интерферометријски радар са синтетичком блендом;
3. *PSInSAR* - сателитска радарска интерферометрија са фазно стабилним радарским метама, представља напредну верзија InSAR технике која решава проблеме временске и геометријске декорелације.

Процесирање сигнала са SAR сензора, се суштински своди на реконструкцију рефлектованих сигнала са природних и вештачких површина (радарске мете), које су се нашле на удару одаслатог сигнала. Након емитовања усмерених сигнала са сензора, електромагнетни таласи путују до Земље и том приликом они се одбијају тј. рефлектују од природних или вештачких површина на различите начине (Слика 17).



Слика 17. Могући начини рефлексије упадних зрака са SAR сензора. Плаве стрелице представљају упадне зраке, црвене рефлектоване док црвени круг представља место рефлексије: А) Спекуларна рефлексија, Б) Површинска рефлексија, В) Двострука рефлексија, Г) Запреминска рефлексија (модификовано према: eo-college.org)

Принцип рада SAR и InSAR технологије за мониторинг деформација (DInSAR – диференцијална SAR интерферометрија) је детаљно описан и објашњен у радовима Bamler & Hartl (1998) и Y. K. Chan & V. C. Koo (2008), док се више о истраживањима и методолошким приступима на тему примене SAR технологије за мониторинг клизишта може прочитати у радовима Colesanti & Wasowski (2006) и Del Ventisette et al. (2014), као и у дисертацији Sušića (2014), где је описана могућност примене наведених технологија за мониторинг нестабилности терена регионалног карактера.

За разлику од InSAR и DInSAR технике, где је за детектовање разлика довољно имати најмање два различита скена са приближно истих позиција сензора, који деле блиску орбиту, PSInSAR захтева велики број скенова који су временски корелисани. PSInSAR у том смислу представља надоградњу DInSAR технике, која на основу рефлексије фазно стабилних радарских мета реконструише њихову фазну историју. Технологија под називом *Permanent scatterer* је развијена и патентирана од стране Ferretti-ја (2001), док се нешто измењена технологија али са истим резултатима назива *Perisistant scatterer* или *Coherent Target Monitoring* и може се наћи под таквим именом у стручној и научној литератури.

PSInSAR техника користи више скенова који су сачињени у једнаком временском интервалу и њиховим преклапањем слагањем (енг. *stack*) омогућава систематско праћење померања природних и вештачких објеката на одређеном подручју од интереса, са тачношћу од свега неколико милиметара и високом просторном резолуцијом (Ferretti et al., 2001; 2007).

PSInSAR техником се може, веома успешно, вршити мониторинг клизишта. Неки од значајнијих радова који приказују веома успешну примену ове технологије за мониторинг клизишта су приказани код: Meisina et al. (2006), Uzielli et al. (2015), Ciampalini et al. (2016), Gullà et al. (2016). Шематски приказ процесирања снимака *PSInSAR* техником коришћењем SarPROz програма дат је на слици 18.

Одређивање величине и брзине померања применом *PSInSAR* технике је могуће само у смеру линије видљивости сензора (LOS)[9]. Уколико су на располагању скенови који су сачињени из оба режима прелета (узлазног и силазног), могуће је прорачунавање свих компоненти[10] 3D вектора померања на основу литературних корелација (Programme, 2012):

$$\boldsymbol{d}_{\text{и-з}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\left(\frac{\boldsymbol{d}_{\text{сил.}}\cos\boldsymbol{\theta}_{\text{узл.}} - \boldsymbol{d}_{\text{узл.}}\cos\boldsymbol{\theta}_{\text{сил.}}}{\boldsymbol{sin\theta}_{\text{сил.}}\cos\boldsymbol{\theta}_{\text{узл.}} - \boldsymbol{sin\theta}_{\text{узл.}}\cos\boldsymbol{\theta}_{\text{сил.}}}\right) \tag{17}$$

$$\boldsymbol{d}_{\text{г-д}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\left(\frac{\boldsymbol{d}_{\text{узл..}}\sin\boldsymbol{\theta}_{\text{сил.}} - \boldsymbol{d}_{\text{сил.}}\sin\boldsymbol{\theta}_{\text{узл.}}}{\boldsymbol{sin\theta}_{\text{сил.}}\cos\boldsymbol{\theta}_{\text{узл.}} - \boldsymbol{sin\theta}_{\text{узл.}}\cos\boldsymbol{\theta}_{\text{сил.}}}\right) \tag{18}$$

Где су:
$\boldsymbol{d}_{\text{узл.}}$ и $\boldsymbol{d}_{\text{сил.}}$ – деформације у правцу линије видљивости сензора у зависности од режима летења (*LOS*);
$\boldsymbol{\theta}_{\text{узл.}}$ и $\boldsymbol{\theta}_{\text{сил.}}$ – упадни углови сензора у зависности од режима летења;
$\boldsymbol{d}_{\text{и-з}}$ – пројекција вектора деформације у правцу исток-запад;
$\boldsymbol{d}_{\text{г-д}}$ – пројекција вектора деформације у правцу вертикално навише (горе) и наниже (доле)

По правилу, техника представља својеврсну допуну GNSS мониторингу јер има високу прецизност вертикалних померања. Уколико се на тај начин врши мониторинг у

[9] енг. Line of Sight (LOS)
[10] померање у правцу истока и запада, промена висина

урбаним подручјима, може се добијена густа мрежа података, која би конвенционалним геодетским методама била тешко остварива на рационалан начин.

За потребе ове дисертације коришћен је софтвер који је развијен од проф. др Данијела Перисина (SarPROz[11]), који је био једноставан за коришћење, са прегледним корисничким интерфејсом. Радарски снимци Сентинел 1а и 1б сателита истог подручја, са временским размаком од 6 дана су били доступни за бесплатно преузимање .

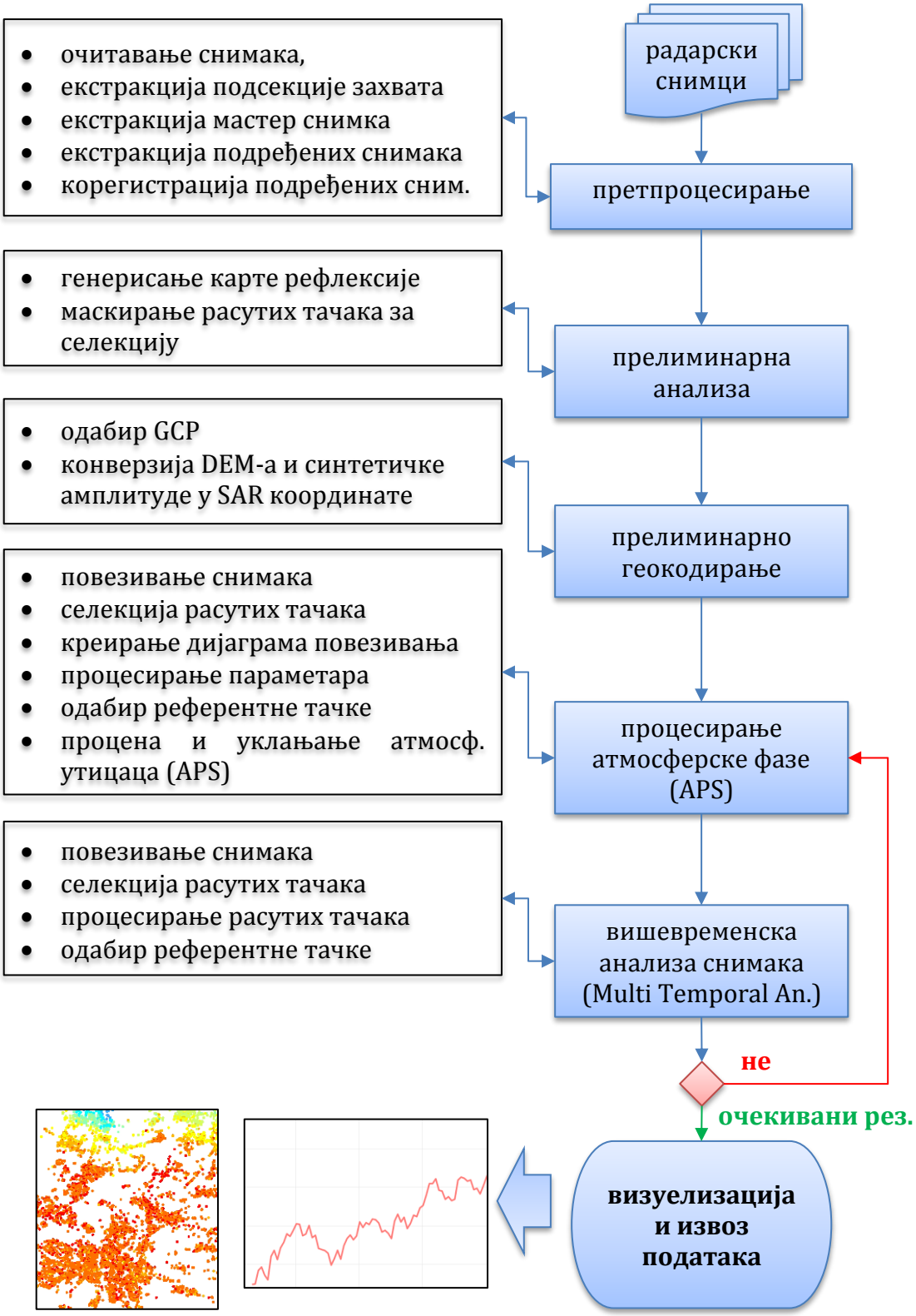
Приликом коришћења наведеног софтвера било је неопходно урадити следеће:

1. претражити и преузети одговарајуће радарске снимке;
2. применити поступке претпроцесирања као припрему снимака;
3. применити поступке прелиминарне анализе радарских снимака;
4. применити поступке прелиминарног геокодирања;
5. применити поступке процесирања атмосферске фазе;
6. извршити вишевременску анализу снимака;
7. извршити визуелизацију добијених резултата.

Наведени поступци су приказани шематски на слици 18, док се више о самим поступцима, који су примењени приликом израде ове дисертације, може пронаћи у радовима: Perissin et al. (2011), Lazecky et al. (2015), Perissin (2016).

На подручју клизишта „Умка“ издвојено је 29 стабилних радарских мета из узлазног сета података и свега 15 радарских мета из силазног сета података. Разлика у броју регистрованих мета се јавила услед више разлога, на првом месту зато што снимци имају различите геометрије упадних зракова и правце снимања док се, на другом месту, код оба сета разликују вредности прагова за одабир расутих тачака. Приликом одабира тачака мора се водити о рачуна да нису све тачке идеални кандидати за анализу што је случај и код клизишта „Умка“. Већина радарских мета у овом подручју су регистроване у зони магацина компаније „Магнат“ (11 из улазног и 6 силазног сета) што је оправдано чињеницом да је овај објекат најдоминантнији по висини, површини и материјалима од којих је направљен кров и који имају снажну рефлексију према сигналу. Кров и облик магацина су подложни термичким дилатацијама услед сезонских температурних колебања чиме ове тачке нису пожељни кандидати за анализирање померања која су последица клижења и што знатно сужава број радарскх мета, које могу бити анализиране.

[11] https://www.sarproz.com (приступљено 03.10.2018. године)



Слика 18. Шематски приказ процесирања снимака PSInSAR техником у оквиру SARPROZ програма

За анализу добијених резултата, изабрани су подаци који су добијени са две радарске мете из оба сета података које се налазе у непосредној близини аутоматске перманентне GNSS станице. За валидацију трендова дефромација коришћени су подаци GPS геодетског мониторинга и подаци аутоматске GNSS станице. Табела 10 приказује основне податке о одабраним радарским метама: положај мете у односу на блок

клизишта, да ли су добијене из узлазног или силазног сета података, са којим подацима су корелисани за потребе валидације и њихово међусобно растојање.

Табела 10. Одабрани парови тачака (радарских мета) који су коришћени за анализу и валидацију добијених резултата

Бр. радарске мете	Блок	Режим снимања	Валидација	Раст.
764	B	Узлазни	GNSS	24m
3954		Силазни	GNSS	

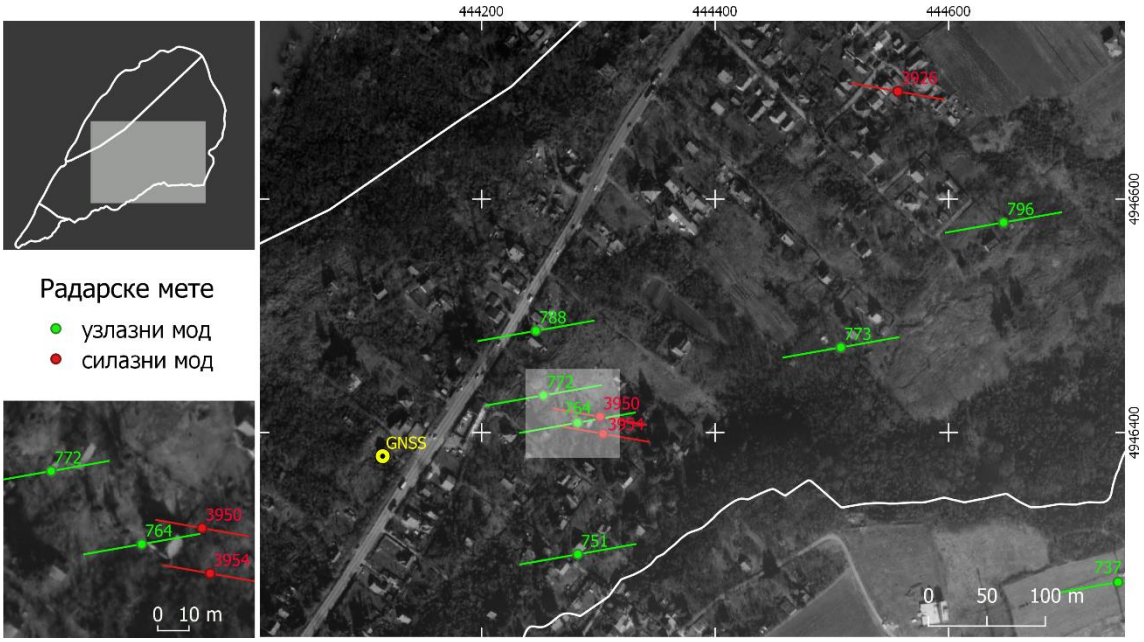
Како су приказане вредности кумулативних деформација иницијално дату у односу на правце линије видљивости сателита, пре поређења било је неопходно кориговати њихове вредности и разложити их на вертикалну компоненту (z) применом следећег обрасца (Lazecky et al., 2015):

$$D_z = D_{LOS}\cos(\theta_{inc}) \qquad (19)$$

Где је:
D_z -вертикална кумулативна деформација;
D_{los} - кумулативна деформација у правцу видљивости сензора;
θ_{inc}- упадни угао зрака са сензора приликом опажања.

Услед скоро супротних праваца линије видљивости, поред примене наведеног обрасца, било је неопходно вредности кумулативних деформација из узлазног сета помножити са -1 како би се добиле вредности у одговарајућем знаку који би потом могли да буду међусобно упоређени.

Издвојени пар тачака за анализу се налазио у блоку B у непосредној близини перманентне GNSS станице чији су подаци о померањима по z оси коришћени за валидацију и корелацију (Слика 19).



Слика 19. Положај одабраног пара радарских мета бр. PS764 из узлазног и PS3954 из силазног сета података унутар блока B на клизишту „Умка“. Црвене и зелене линије приказују правац линије видљивост сензора у тренутку опажања. Жутом тачком је приказан положај перманентне GNSS станице

Након анализе свих расположивих радарских мета, приступило се њиховом интерполовању у дводимензионалне карте дистрибуције кумулативних деформација. Моделовање је вршено у оквиру ArcGIS© софтверског пакета и то применом радијалне базисне функције, као методе интерполације (Uzielli et al., 2015a) и то за сваки сет

података посебно (узлазни и силазни). Након тога су модификацијом образаца (17) и (18), у оквиру растер калкулатора, израчунате компоненте померања за сваку појединачну ћелију по правцу исток – запад, као и вертикалних померања. На тако добијеним картама негативне вредности померања по правцу исток-запад, представљају померања у правцу запада, док на плотованој карти вертикалних померања негативне вредности представљају слегања.

Теоретски, на овај начин је могуће вршити мониторинг клизишта у Србији чија брзина не прелази 42,6 cm/год ако се анализирају снимци Сентинел 1а и 1б сензора истовремено или 21,3 cm/год ако се анализирају снимци само са једног од наведених сензора (Crosetto et al., 2016).

Основни технички подаци Сентинел 1а сателитске мисије

За потребе израде ове дисертације преузето је укупно 69 снимака Сентинел 1а мисије, који су сачињени у узлазном режиму и 74 снимака, који су сачињени у силазном режиму скенирања (укупно 143). Сви снимци су преузети у отвореном режиму користећи ESA-ин *Copernicus Open Access Hub*[12] - платформу за појединачне снимке. За преглед и претрагу снимака коришћен је *Vertex*[13] портал развијен од стране NASA-е (*Allaska Satelite Facility),* који уједно омогућава масовно преузимање података (*bulk download*) генерисањем и коришћењем *Python* скрипте, за разлику од *Copernicus Open Access Hub-а,* који нема ту могућност. Основне карактеристике преузетих снимака по режиму прелета приказане су у (Табела 11), док су детаљније информације и метаподаци по појединачним снимцима приказани у прилозима 1.1 и 1.2.

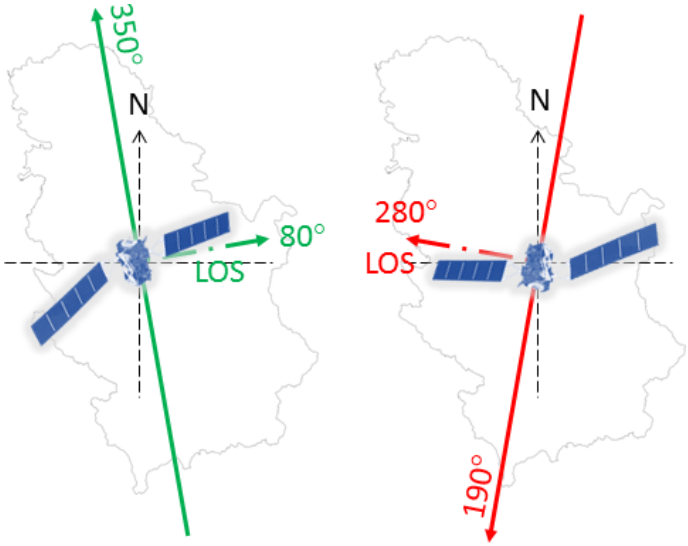
Табела 11. Основне карактеристике преузетих сателитских снимака Сентинел 1а сателитске мисије за потребе мониторинга деформација на клизишту Умка. **Подебљане** вредности представљају упадне углове на подручју клизишта Умка

Режим прелета	Узлазни	Силазни
Број снимака	74	69
Степен процесирања	1- Ниво (SLC)	1- Ниво (SLC)
Компримована величина снимака	330.00GB	303.00 GB
Распакована величина снимака	565.00 GB	514.00 GB
Режим аквизиције	IW	IW
Режим поларизације	VV + VH	VV + VH
Подсекција захвата (*Subswath*)	2	2
Период аквизиције	03.05.2016. - 31.12.2018	02.05.2016.- 30.12.2018.
Азимут летне линије (*heading angle*)	350°	190°
Азимут линије видљивости (*LOS*)	80°	280°
Ширина захвата (*swath*)	250 km	250 km
Резолуција скенирања (*spat. res.*)	5 x 20 m	5 x 20 m
Упадни угао сензора (*Incident angle*)	39,2° - **40,3°**	39.1° - **39,5°**
Редни број путање (*Track*)	175	153
Редни број правца летне линије (*Line*)	142	440-445

На основу горе описаног, и на основу литературе (Ferretti et al., 2007; Perissin, 2016; Zalite & Voormansik, 2016), а за потребе мониторинга нестабилних копнених подручја, где су активни процеси слегања или клизања терена, прикупљен је задовољавајући број радарских скенова, који су сачињени у правилном временском размаку. Преузети снимци су производи са 1-нивоом процесирања (SLC), који су сачињени у IW режиму аквизиције са двоструком поларизацијом *VV+VH*. Генерално посматрано, на територији

[12] https://scihub.copernicus.eu (21.06.2019.)
[13] https://vertex.daac.asf.alaska.edu (21.06.2019.)

Србије, применом ове технологије могу се пратити померања у све три димензије оних клизишта, која имају доминантан правац кретања у правцу исток - запад (клизиште Умка, клизиште код моста Слободе, клизишта на десној обали Дунава на потезу од Винче до Гроцке), док се могу пратити померања вертикалне компоненте оних клизишта, која имају доминантан правац пружања север - југ (клизишта на десној обали Дунава на потезу од Гроцке до Смедерева итд). Разлог овом ограничењу је у чињеници да сателит Сентинел 1а мисије у прелету изнад Србије заузима приближан правац летења од 350° у узлазном режиму летења и правац од 190° у силазном режиму. На тај начин се могу регистровати само промене које се дешавају у правцу видљивости сензора који су попречни у десно у односу на правац лета и износе 80-260° за узлазни режим и 100-280° за силазни режим летења (Слика 20).



Слика 20. Шематски приказ приближних вредности азимута правца летења узлазног режима скенирања (зелено) и силазног (црвено) као и одговарајућих праваца видљивости изнад територије Србије

Израђене карте и олеате на основу метода даљинске детекције су коришћене за утврђивање динамике клизишта „Умка“ као и за корелацију и валидацију података добијених са статичке аутоматске GNSS станице „Умка“ (од 2015 - 2018 године).

4.4 Прикупљање и анализа теренских података

4.4.1 Инжењерскогеолошко картирање и рекогносцирање

За потребе израде ове дисертације спроведено је детаљно инжењерскогеолошко картирање клизишта „Умка“. Том приликом је утврђено присуство и положај нових ожиљака, појаве забарења и дифузних процеђивања воде на површини терена, констатовани су нивои воде у активним бунарима, а извршено је и пописивање оштећених објеката тј. угрожених елемената у ризику. Картирање је вршено до суседних вододелница у циљу сагледавања ширег подручја клизишта „Умка“. Подаци картирања су допуњени на основу резултата добијених квалитативном анализом података, који су прикупљени даљинском детекцијом, а на основу постојеће техничке документације као и података добијених извођењем једне контролне истражне бушотине. Уколико је , приликом картирања, утврђено присуство функционалних бунара за водоснабдевање, вршено је евидентирање нивоа воде у њима на основу чега је утврђен оријентациони ниво подземне воде у току картираног периода.

Резултати картирања су представљали допуну постојећим истраживањима, јер је обим претходних истраживања био задовољавајући. Међутим, како је прошло 12 година од претходних истраживања јавила се потреба за поновним картирањем.

Поред наведеног, изведена је једна истражна бушотина (УМ-1) у коју је уграђена инклинометарска конструкција, са идејом да се добију подаци померања клизне површи на локацији која је била најближа аутоматској GNSS мониторинг станици „Умка“ у циљу корелације. Бушотина је пројектована и изведена за потребе дисертације у сарадњи са Институтом за путеве из Београда, током априла месеца 2017. године, у зони блока B, уз државни пут IB26. Бушотина је изведена машински, ротационо са сржном цеви (ø141 - 116 mm) до дубине од 21 m. Након тога је уграђена инклинометарска конструкција дужине 20 m за потребе инклинометарских осматрања. Током бушења, и непосредно након, нису евидентиране појаве подземних вода, док је утврђен мањи прилив отпадних вода из околних објеката у бушотину. Утврђено је да геолошки састав тла и дубина до клизне равни нове бушотине у потпуности корелише са подацима из техничке документације претходних истраживања, па су они и на овај начин додатно потврђени. Фотографије бушаће гарнитуре, набушеног језгра, сандука за паковање и евидентиране клизне површине приказане су на слици 21. Геотехнички профил бушотине са фотографијама језгра приказан је на прилозима 2.1 и 2.2, који су дати у апендиксу, док је локација изведене истражне бушотине приказана на слици 30.

Слика 21. **Горе лево** – бушаћа гарнитура; **Горе десно -** фотографија набушеног језгра; **Доле лево** - фотографија сандука за паковање језгра; **Доле десно** - фотографија евидентиране клизне равни

Резултати картирања су нанети на топографску основу, размере 1:5000 (листовима Обреновац 6 и Обреновац 16), на којој су, поред издвојених инжењерскогеолошких јединица, нанети и подаци о свим уоченим инжењерскогеолошким облицима и појавама. Картирана је површина од 1,5 km^2 чиме је обухваћена површина терена која представља тело клизишта „Умка“.

4.5 Методе геодетског мониторинга

Геодетско осматрање површине терена клизишта „Умка“ је вршено за потребе инструменталног одређивања хоризонталних и вертикалних померања, тј. њихове величине и брзине. Да би се успешно вршио геодетски мониторинг клизишта било је потребно првенствено поставити задовољавајући број тачака осматрања клизишта на површини терена или на вештачким објектима. Такве тачке је било неопходно стабилизовати тј. осигурати од уништења. Након њихове стабилизације, извршено је прво опажање (март 2018) којим је добијено фактичко тј. „нулто стање“ у односу које је вршено поређење свих следећих осматрања. Опажање тачака је потом поновљено након два пута, у децембру 2018. и марту 2019. године. Геодетски инструмент којим је вршено опажање тачака и одређивање апсолутних и релативних координата опажаних тачака је био GNSS систем база – ровер (Слика 22). Прецизност опажања је варирала и зависила је од начина на који је вршено као и трајности тачака.

Слика 22. Опажање стабилизоване тачаке на клизишту „Умка“ GNSS пријемником (2018)

4.5.1 Мониторинг GNSS кинематским позиционирањем

Код ове методе мерења су заснована на мерењу дужина од констелације сателита у свемиру до пријемника на земљи методом пресецања. Применом савремених геодетских инструмената, који су базирани на GPS/GNSS технологији, омогућено је да се стабилизоване тачке клизишта опажају уз помоћ пријемника. Применом GPS/GNSS пријемника елеминисана је потреба догледања тачка, које се опажају применом класичних геодетских метода, док су координате и дужине директно прерачунаване и очитаване на самом пријемнику.

Приликом теренског опажања на клизишту „Умка“ пријемник је очитавао координате у два режима рада. Први режим (база-пријемник) је захтевао да базни пријемник буде позициониран на стабилном делу, ван тела клизишта, и да буде на довољној удаљености како би успоставио радио везу са пријемником коме је слато исправке у реалном времену (RTK – Real Time Kinematics). Други режим рада је подразумевао коришћење једног пријемника који је, потом уз помоћ GPRS протокола преко мреже мобилне телефоније, био повезан са сервисом активне геодетске референтне основе Србије (АГРОС) од које јепримао корекције, које су биле такође у реалном времену. Поред задовољавајуће тачности, главне предности примене ових инструмената је била њихова мобилност и једноставно позиционирање изнад опажане тачке, јер нису захтевали монтажу додатне опреме попут статива, призми итд. Такође је постојала и могућност опажања у условима смањене видљивости и коришћење више независних пријемника истовремено. На основу техничких спецификација коришћених уређаја и примењених поступака процесирања података добијених применом геодетског мониторинга регистрована су померања између два периода која су била већа од 5 mm.

Као тачке опажања клизишта приликом геодетског мониторинга најчешће су коришћени челични клинови (болцне) и ређе дрвени кочићи. Челичне болцне су биле поузданије и трајније након стабилизације и лакше за поновно лоцирање у терену. Позиција тачака је зависила од више фактора: морфологије, присутних деформација у терену, динамике клизишта, приступачности и доступности терена. Након анализе претходних фактора, успостављена је правилна мрежа тачака опажања која је обухватила целокупну површину клизишта „Умка“, уз постављање неколико контролних тачака у делове терена који су били ван клизишта. Како је на основу анализе и резултата претходних истраживања динамика клизишта била позната, већи броја тачака је стабилизован у зонама и блоковима клизишта који су активнији. Све тачке клизишта, које су биле опажане су биле стабилизоване, чиме је обезбеђено да тачка не може бити једноставно уништена, уклоњена или померена услед деловања атмосферских падавина или активношћу локалног становништва. Металне болцне се најчешће побијане у асфалт, бетон или камен (Слика 23), док су дрвени кочићи побијани у тло. Уколико су делови терена били слабо приступачни и уколико су изостајали погодни делови терена за стабилизацију тачака, изузетно, коришћени су дрвени клинови, с тим што је њихова трајност била веома ограничена и није било могуће њихова идентификација на UAV фотограметријским снимцима.

Слика 23. Стабилизација тачке клизишта опажања на телу клизишта Умка (2018)

Почетком 2018. године пројектована је и успостављена мрежа тачака на подручју активног клизишта „Умка“. Мрежа је имала двоструку функцију - као мрежа сталних тачака за мониторинг деформација на површини терена и као мрежа оријентационих тачака за прецизно георефeренцирање UAV снимака.

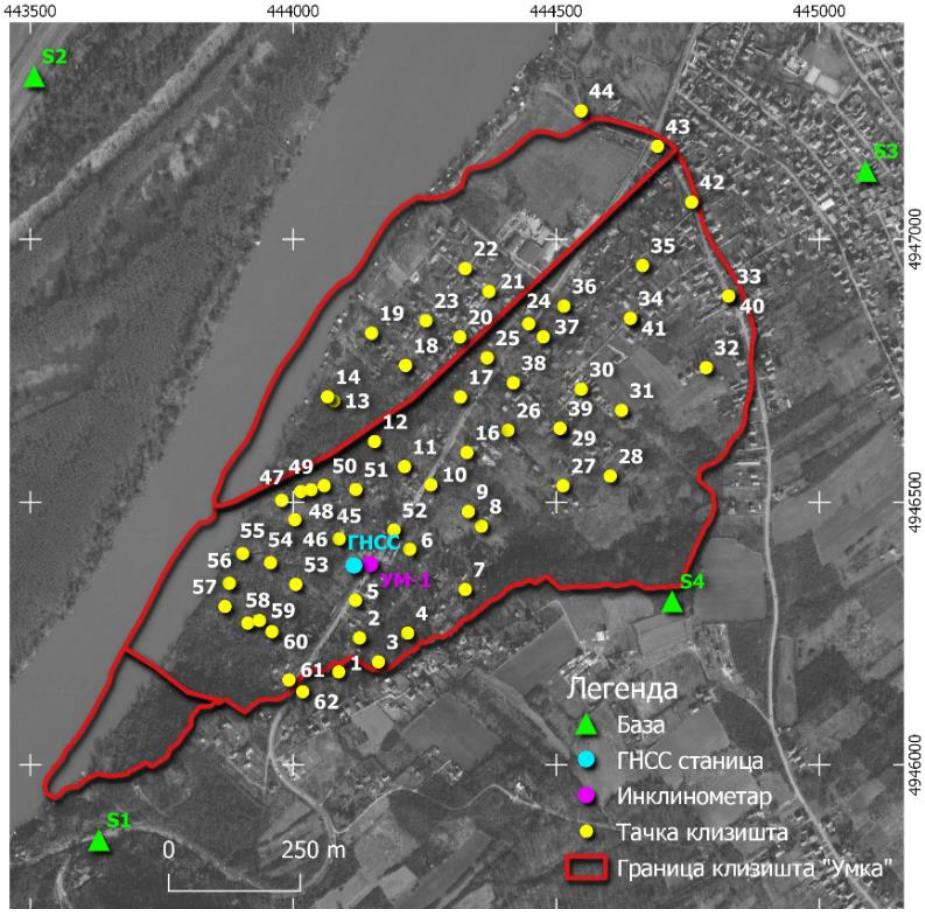
Приликом пројектовања мреже тачака клизишта било је неопходно:

- да се дефинише и стабилизује оптималан број тачака клизишта чије тродимензионалне позиције могу бити одређене у једном дану;
- да тачке буду хомогено распоређене на подручју активности (уколико то прилике на терену допуштају);
- да тачке буду трајно стабилизоване без могућност лаког испадања из лежишта или померања;
- да тачке имају добру видљивост према отвореном небу због положаја сателита и снимања терена из ваздуха.

Иницијална мрежа тачака успостављена је почетком марта месеца 2018. године, када је стабилизована 61 тачка. Основне карактеристике просторног распореда тачака су следеће: девет тачака је било стабилизовано унутар блока А, 49 тачака је било стабилизовано унутар блока Б, док су три тачке биле стабилизоване уз саму границу клизног тела (Слика 24). Стабилизација тачака клизишта унутар блока С није била могућа услед веома неприступачне конфигурације терена и присуства бујне и густе вегетације. У циљу тродимензионалног позиционирања тачака клизишта успостављена је мрежа од 4 стабилне тачке, које су служиле као базе релативног кинематичког GNSS позиционирања (Слика 25). Најближа и највећа удаљеност сваке базе од тачке клизишта је приказана у табели 12.

Табела 12. Приказ минималне и максималне удаљености тачака клизишта од успостављених база

	минимална удаљеност		**маскимална удаљеност**	
База↓	[m]	ознака тачке	[m]	ознака тачке
S1	472	61	1694	43
S2	807	19	1393	32
S3	337	42	1474	57
S4	266	28	949	44



Слика 24. Положај тачака за осматрање клизишта „Умка“ са положајем база, GNSS перманентне станице и инкилинометарске конструкције

База S1 *База S2* *База S3* *База S4*

Слика 25. Фотографије двоканалних GNSS уређаја који су коришћени као базе

Иницијално опажање (тродимензионалног GNSS позиционирања) тачака клизишта је извршено паралелно са стабилизацијом („0 епоха“), док је један мањи број морао да буде опажан 10 дана након уградње. Након „0 епохе“, извршене су још две епохе опажања и то: „1. епоха“ (23.11.2018) и „2. епоха“ (04.04.2019). Након сваке епохе опажања вршено је и UAV фотограметријско снимање. Позиције тачака клизишта одређене су накнадном обрадом кинематичког GNSS позиционирања у односу на све четири стабилне (базне) тачке, при чему је свака од тачака клизишта одређена два пута. Између вишеструких решења за позицију једне тачке вршено је упоређивање и осредњавање. Коришћени су GPS/GLONASS пријемници. Решења кинематичког позиционирања у реалном времену од

базне станице S2 имала су за циљ убрзање поступка као и поузданости позиционирања тачака клизишта.

За опажане тачке у свим епохама израчуната су решења за тродимензионалне позиције коришћењем свих података мобилног GNSS пријемника и све четири базе. За неке тачке, решење у задатим условима није било могуће. Након добијања положајних координата сваке тачке клизишта у појединачној епохи, израчуната су решења за тродимензионалне позиције померaја тачке у правцу истока, севера и по правцу вертикале. Након тога, израчунате су в вектора померања и азимута његовог правца и на тај начин су добијени релевантни подаци о кинематици сваке тачке у две временске серије.

Подаци који су добијени применом ове методе и технике представљају поуздане резултате геодетског мониторинга клизишта са великом густином тачака на основу којих којих је било могуће извршити репрезентативну интерполацију. Прецизност мерења и резултата процесирања је већа за хоризонтална (<10 mm) него за вертикална померања (<20 mm). ово је условљено карактеристикама GNSS позиционирања, односно чињеницом да је прецизност GNSS позиционирања по висини и до три пута била слабија него по хоризонталном положају. Главни недостатак примене ове методе је слабија поновљивост. Једна епоха опажања захтева велики број особа које морају бити ангажоване на терену, што је свакако изазов у финансијском и логистичком смислу. Поред наведеног, GNSS пријемници, који се користе ради постизања високе прецизности мерења су веома скупи (и до 10.000 € по јединици), што представља значајно ограничење ако се користи више уређаја. Предност примене ове методологије и поступка је висока поузданост и прецизност као и могућност коришћења података за друге примене нпр. георeференцирање старијих топографских карата, архивских авиоснимака или за потребе процесирања дигиталних снимака сачињених аерофотограметријским снимањем.

4.5.2 Статички аутоматски GNSS мониторинг

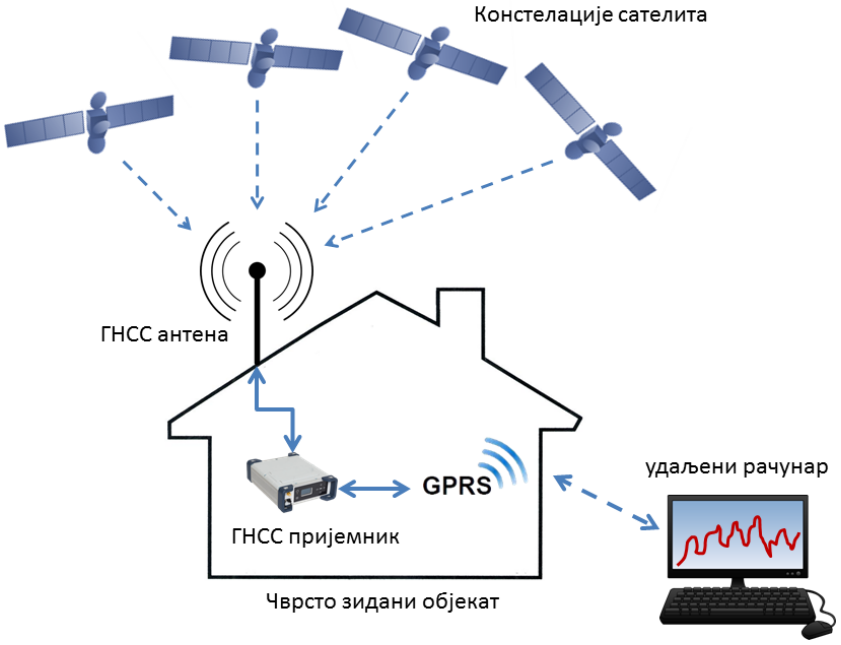
GNSS представља заједнички назив за четири позната навигациона система чији су подаци делимично доступни научној, стручној и широј јавности (Табела 13).

Табела 13. Преглед сателитских констелација које тренутно чине глобални навигациони сателитски систем

Сателитски систем	Држава оператор	Година првог лансирања	Број сателита у орбити
GPS	С.А.Д.	1978	31
ГЛОНАСС	Руска Федерација	1982	24
GALILEO	Европска Унија	2011	30
COMPASS	Н.Р. Кина	2000	23

Систем статичког мониторинга GNSS уређајем се заснива на принципу континуалног, статичког, тродимензионалног дефинисања позиције пријемника на основу сигнала са најмање четири сателита из система. На овај начин је омогућен перманентни мониторинг осматране тачке са тродимензионалним координатама у WGS84 координатном систему (Слика 26). Главне предности GNSS мониторинга јесу континуално опажање тачке (24/7), прецизност и могућност очитавања података на даљину (путем GPRS протокола мобилне телефоније). Недостаци су: цена уређаја, могућност оштећења или крађе уређаја, као и проблеми са напајањем и стабилношћу рада софтвера и самог пријемника. Прецизност пријемника зависи од неколико фактора, међу којима су најзначајнији број и позиција опажаних сателита, као и квалитет GNSS уређаја. У идеалном случају пожељно је имати што више GNSS пријемника, који ће

покрити активне делове клизишта, уз постављање барем једног контролног GNSS пријемника у стабилном делу, изван клизишта.



Слика 26. Шематски приказ перманентног GNSS система

Постоје бројни успешни примери статичког геотехничког мониторинга клизишта GNSS-ом у свету, док би од истих пројеката у региону требало издвојити: мониторинг клизишта Костањек (Хрватска) са инсталираних 15 пријемника (Županović et al., 2012), мониторинг клизишта „Трифон зарезан“ (Бугарска) са инсталираних 8 пријемника (Atanasova-Zlatareva & Nikolov, 2017), мониторинг клизишта „Корошка Бела“ (Словенија) са инсталираних 5 пријемника (Komac et al., 2015) и мониторинг клизишта „Умка“ (Србија) са инсталираним једним перманентним пријемником (Abolmasov et al., 2011; 2012a).

У недостатку средстава или у случају добро истражених клизишта, могуће је и инсталирање само једног GNSS пријемника, који у том случају мора бити постављен у најактивнијем делу клизишта, како би се добиле најконзервативније вредности померања тела клизишта. Резултати мониторинга се очитавају софтверски у виду дијаграма који показује померања X, Y и Z координате пријемника у односу на иницијалну позицију. Такве податке је могуће корелисати са осталим резултатима истраживања и опажања попут: мерења падавина, нивограма оближњих водотокова, инклинометарских, пијезометрских, пресиометријских, екстензиометријских резултата осматрања, InSAR итд.

Аутоматски систем за перманентно праћење клизишта „Умка“ је инсталиран у марту 2010. године, као донација VekomGeo-а из Београда, док је функционисање система омогућено кроз пројекат TP36009. Инсталиран систем представља први аутоматски мониторинг систем клизишта у Србији (Abolmasov et al., 2013), док данас представља систем који је у Србији најдуже у функцији (скоро десет година). Систем се састоји од GNSS мреже и пакета софтверског решења за подршку. Генерално, GNSS мрежу чине референтне GNSS станице и једна перманентна GNSS станица. Применом методе релативног статичког GNSS позиционирања врши се тродимензионално праћење померања перманентне GNSS станице, лоциране на подручју клизишта, у односу на позицију референтних станица, лоцираних ван подручја клизишта. Коришћене

референтне станице припадају мрежи Активне геодетске референтне основе Србије (АГРОС), која представља перманентни сервис за прецизно сателитско позиционирање на територији Републике Србије.

Други део система се састоји од два *Leica Geosystems* софтверска решења, Leica GNSS Spider[14] и Leica Geo-MoS[15] (Geodetic Monitoring System). Ови системи служе за даљинску контролу, складиштење, евалуацију и накнадну обраду података, као и за извођење анализе добијених резултата мерења у реалном времену. Поред Leica GNSS Spider софтвера, који се користи за прикупљање података, користи се и Leica Geo-MoS, којег чине два главна модула, GeoMoS Monitor и GeoMoS Analyzer. Сва извршена мерења са фреквенцијом од 30 секунди се прикупљају уз помоћ GNSS Spider софтвера у RINEX формату, а потом се прослеђују у GeoMoS Monitor и GeoMoS Analyzer на обраду и анализирање. Више техничких детаља о самом систему и коришћеном софтверу може се пронаћи у раду Erić et al. (2017).

Током десет година рада, систем је претрпео две велике измене, али је методолошки приступ рада остао непромењен. Прва измена је подразумевала промену броја референтних тачака и фунцкионисања самог АГРОС система, док је друга промена захтевала комплетно измештање станице.

На клизишту „Умка“ је, првобитно, у марту 2010. године инсталирана аутоматска GNSS мониторинг станица, којој је додељена ознака GNSS1. GNSS пријемник је постављен на кров објекта за који је претпостављено да може да подржи неометан рад станице и то првенствено у смислу снабдевања електричном енергијом, док је остатак система (напајање, процесор и модем) постављен у једној од просторија у унутрашњости објекта (Слика 27 - лево). Станица је том приликом постављена непосредно испод саме саобраћајнице М-26 у зони блока В, за коју је процењено, на основу дотадашњих истраживања, да представља најактивнији део клизишта „Умка“ (Слика 28; ознака GNSS1).

Од опреме, инсталиран је GNSS систем са двофреквентним пријемником и антеном произвођача Leica (Leica SR530 GPS L1/L2 System 500, AT502, TR500) и дефинисаним очитавањем позиције сателитских констелација на сваких 30 секунди (Слика 27 - лево). Систем је био подешен да скупља податке на сваких 30 секунди, њихова обрада је вршена на сваких 12 сати, док је GSM модем коришћен за „удаљени приступ“ процесној јединици и за преузимање података на локални рачунар. У то време сигнал мобилне телефоније на подручју клизишта „Умка“ је био веома слаб, што је представљало значајно ограничење удаљеном приступу аутоматске станице. Прорачуни 2D и 3D координата су вршени на сваких 12 часова на основу података референтних АГРОС станица у Лазаревцу и Београду (Слика 28; ознаке А36 и LAZ), док је за мониторинг у реалном времену и пост процесирање коришћен лиценциран софтвер Leica GNSS Spider. У тренутку уградње нису постојале финансијске могућности за уградњу додатних пријемника који би били део система нити је постојала могућност за извођење додатних геотехничких и инжењерскогеолошких истраживања као што су бушотине, инклинометри, пијезометри или флувиометри чији би подаци могли да буду корелисани са аутоматском станицом.

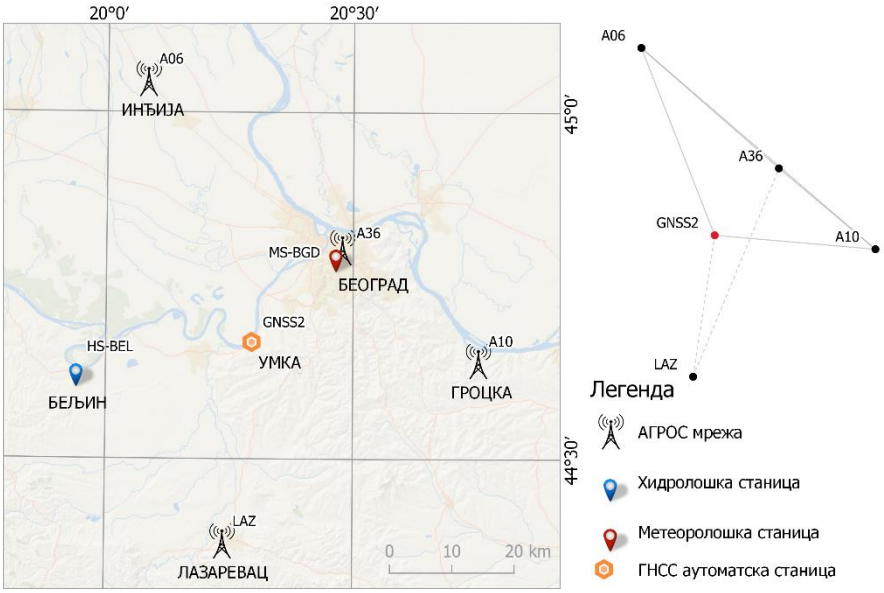
Станица је након уградње калибрисана и започела је са мерењем положаја од 28.03.2010. и радила је са мањим или краћим прекидима до краја 2013. године када је морала да буде у потпуности измештена на другу локацију (Слика 28; ознака GNSS2).

[14] https://leica-geosystems.com/products/gnss-reference-networks/software/leica-gnss-spider
[15] https://leica-geosystems.com/products/total-stations/software/leica-geomos

Слика 27. Leica SR530 (лево) и референтна АГРОС перманентна станица А36-Београд, на Грађевинском факултету Универзитета у Београду (десно)

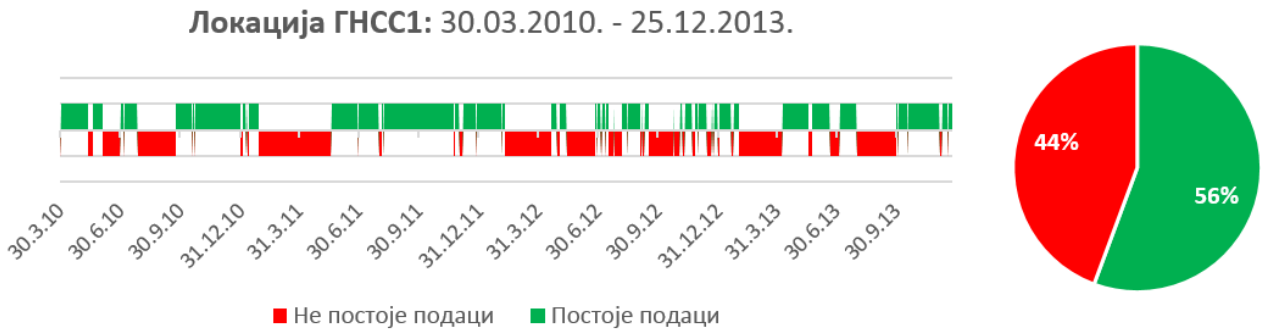
Од почетка рада система, у марту 2010. године, па све до јуна 2011. године, за тродимензионално праћење померања перманентне GNSS станице, коришћене су две референтне станице АГРОС мреже Београд (Слика 27-десно) и Лазаревац, док РГЗ није увео измене у и укинуо перманентну станицу Лазаревац.

Нова редефинисана АГРОС мрежа је почела са радом у децембру 2011. године и тада су додате нове две референтне GNSS станице - Инђија и Гроцка (Слика 28; ознаке А06 и А10). Све референтне тачке су се налазиле на стабилним теренима што је од суштинске важности за функционалност и и меродавност добијених резултата (Erić et al., 2017).



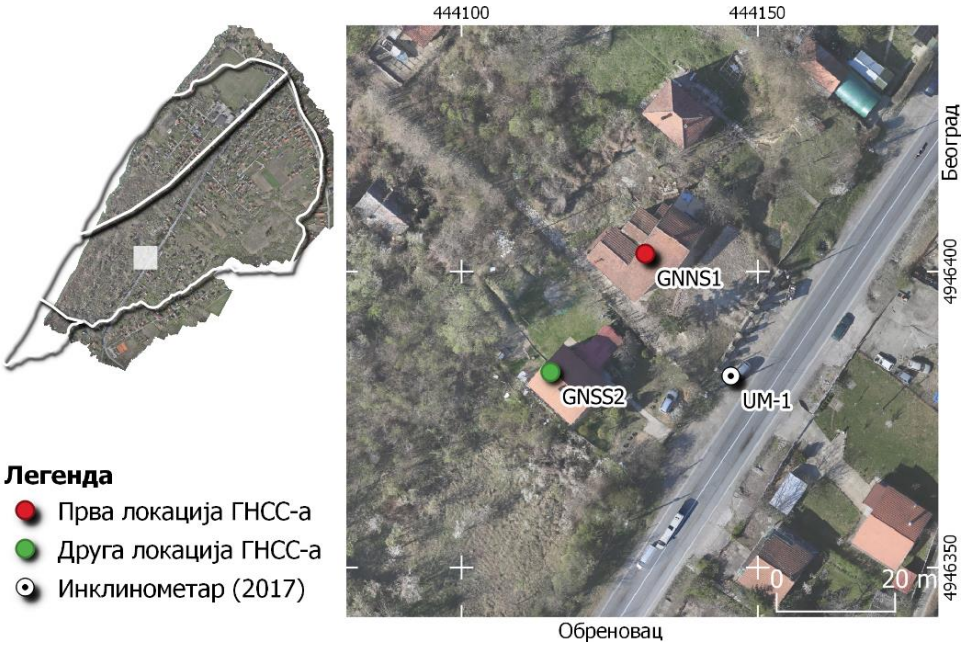
Слика 28. Приказ локације GNSS референтних станица АГРОС мреже, хидролошке и метеоролошке станице које су коришћене за корелацију и GNSS станице на Умци. Испрекидане линије представљају линкове између станица који више нису у функцији (горе десно).

Како из техничких разлога једно време није било могуће преузимање корекција са две нове референтне станице створио се прекид у осматрању у периоду од скоро шест месеци. Постојала је могућност да се добију подаци за постпроцесирање али на жалост није било финансијских средстава да се таква активност реализује (Abolmasov et al., 2018). Перманентна GNSS1 станица клизишта „Умка“ је на овој локацији била постављена укупно 1367 дана од чега за 761 дан (56%) постоје подаци о померању док за 606 дана не постоје подаци (44%). Преглед периода када је станица била ван функције и у функцији, односно за које дане постоје подаци о померању или не постоје, приказан је на слици 29.



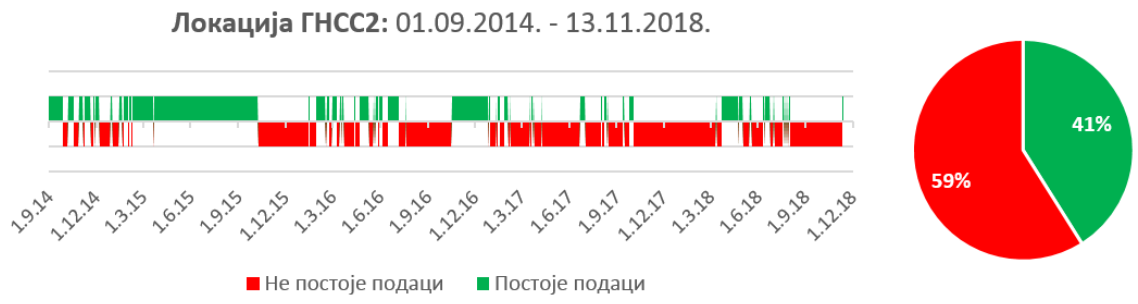
Слика 29. Временски периоди када су за станицу на првој локацији (GNSS2) постојали или изостајали подаци о померању

Друга велика промена у раду станице система се огледала у физичком измештању перманентне GNSS станице клизишта „Умка“, што је проузроковало прекид у континуитету мониторинга у периоду од више месеци. Систем је, у мају 2014. године, морао да буде физички измештен са првобитне локације, услед промене власника самог објекта, који није више давао сагласност за рад станице. Систем је измештен у суседни објекат за индивидуално становање и физички се налази на удаљености од 25 m југозападно у односу на стару локацију (Слика 30). На овај начин је осигуран континуитет у осматрању динамике клизишта, услед чињенице да се објекат са новом локацијом налази у идентичним геометријским условима клизишта у односу на стару локацију (надморска висина, положај секундарних ожиљака, дубина до клизне равни итд). Промењеној локацији перманентне GNSS станице је додељена је нова ознака GNSS2.



Слика 30. Прва и друга локација GNSS станице „Умка“ са положајем изведене истражне бушотине и инклинометра „УМ-1“

GNSS2 станица је на овој локацији, до тренутка прављења пресека (31.12.2018.), укупно била постављена 1537 дана од чега за 631 дан (41%) постоје подаци о померању док за 906 дана не постоје подаци (59%) . Преглед периода када је станица била ван функције и у функцији приказан је на слици 31.



Слика 31. Временски периоди када су за станицу на другој локацији (GNSS2) постојали или изостајали подаци о померању

GNSS станица су је на обе локације радила укупно 2904 дана од којих за 1392 постоје (48%), док за 1512 дана не постоје подаци о померању (58%).

Методолошки посматрано, GNSS аутоматска станица представља оправдан приступ за геотехнички мониторинг клизишта. На основу података са ових станица било је могуће добити поуздане вредности померања у времену и то за часовне вредности што ретко која друга метода мониторинга може да пружи. Међутим, овакав приступ, као што је описано, има и своје недостатке. Највећи проблеми су техничке природе услед чињенице да је неопходно обезбедити обезбеђен простор у коме ће опрема бити монтирана уз правилно снабдевање уређаја електричном енергијом као и услед могућности хаварије тј. квара самог система, што потом проузрокује сервисирање и калибрацију уређаја. Услед наведеног, јављају се временски прекиди у мониторингу, који онемогућују правилну корелацију добијених података са резултатима других примењених поступака и метода. Стандардни поступак приликом примене ове методе подразумева постављање неколико (па чак и десетине) оваквих уређаја, који заједно чине систем за мониторинг. Ово, на жалост, услед недостатака финансија није било могуће и за клизиште „Умка“, где је било пожељно поставити још неколико GNSS пријемника у различитим блоковима.

Без обзира на наведено, GNSS перманентна станица „Умка“ представља прву и тренутно једину станицу за континулани мониторинг клизишта у Србији, која ради, са већим или мањим прекидима, скоро већ десет година и чији подаци су свакако од значаја за анализу динамике клизишта.

4.6 Прикупљање и анализа климатских и хидролошких података

Према општој дефиницији, падавинама се сматрају сви облици кондензоване и сублимиране водене паре у ваздуху, који се на земљиној површини појаве у течном или чврстом облику. Подаци о падавинама представљају један од главних улаза за хидролошко моделовање, док се у инжењерскогеолошкој пракси падавине сматрају за једним од најзначајнијих активатора[16] процеса клижења (Polemio & Petrucci, 2000). Према устаљеној истраживачкој пракси, анализирају се прагови минималног и максималног нивоа падавина као активатора. Поред падавина, анализирају се и температуре ваздуха, што је нарочито важно за дубока и спора клизишта. Тада активатор може бити велика суша, која доводи до промене порних притисака у тлу (McSaveney & Griffiths, 1987), док су нивои водотокова који врше ерозију подножичних клизишта значајни параметар њихове динамике и активности након иницијалне фазе активирања (Abolmasov et al., 2015). Под минималним прагом падавина се сматрају најмање количине падавина, које могу покренути, интензивирати или реактивирати процес клижења. Максималним прагом падавина сматрају се оне падавине, које ће сигурно изазвати, интензивирати или реактивирати процес клижења (Glade, 1998). Исти принцип се аналогно примењује и за нивое водотокова, који се опажају и анализирају као могући активатор процеса клижења.

Polemio & Petrucci (2000) предлажу два приступа за анализу климатских прилика и падавина:

1. просторну анализу;
2. анализу временске зависности настанка процеса клижења у односу на климатске променљиве.

Први приступ је примењљив код анализе већих подручја, која су подложна клижењу тј. за регионалне анализе дистрибуције клизишта у зависности од падавина. Други приступ је адекватнији за студије случаја или локалне појаве нестабилности, које подразумевају уска подручја истраживања (са релативно малим простирањем).

Подаци о падавинама и хидрологији (стања површинских вода) су преузети из годишњака, који за државне потребе води и публикује Републички хидрометеоролошки завод Србије на својој интернет презентацији[17]. У годишњацима су табеларно приказане просечне дневне падавине за мерну станицу за сваки дан у години. Предност коришћења ових података се огледао у томе да су они прикупљени систематски и стандардизовано, редовно публиковани и да су били бесплатни за преузимање. Главни недостаци приликом коришћења ових података су се огледали у чињеници да су сви подаци били у аналогном тј. машински нечитљивом облику и да је било потребно њихово превођење у дигитални запис. Осим тога, постојала је и чињеница да је било могуће само коришћење података са мерних станица, које су фиксне и које су удаљене и по неколико десетина километара од клизишта „Умка“. Подаци о нивоима водотокова су потом екстраполовани на основу два најближа мерна места са истог слива, чиме су добијени релевантнији подаци о нивограмима у зони клизишта „Умка“. Прикупљени подаци су потом анализирани и корелисани са подацима, који су добијени другим методама попут мониторинга или даљинске детекције како би се добили подаци о релевантним активаторима клизишта „Умка“.

[16] енг. *triggering factor*
[17] http://www.hidmet.gov.rs (приступљен: 16.10,2018.)

4.7 Прикупљање података о елементима у ризику

4.7.1 Прикупљање података о непокретним елементима у ризику

Cooper (2008) је у свом раду дао преглед неколико различитих приступа за картирање оштећених објеката од клизишта и слегања тла, са предлогом нове хибридне верзије методологије. Опште смернице за формирање упитника у односу на размеру истраживања могу се пронаћи у раду Corominas et al. (2014), док се нешто детаљнији опис методологије за процену штета од клизишта методом анкетног истраживања може пронаћи у раду Palmisano et al. (2016). Неки од успешнијих примера процене штете на објектима од клизишта могу се пронаћи у радовима Uzielli et al. (2015), Peduto et al. (2017).

За Републику Србију не постоји званичан образац тј. пописни лист на основу којег би могла да се изврши брза и јединствена идентификација оштећених објеката од клизишта (са класификацијом). Овај проблем није присутан само у Србији већ и у међународној пракси, за разлику од типизације оштећења објеката од земљотреса која је веома добро установљена и прихваћена у светској стручној пракси (Cooper, 2008).

Примера ради, након катастрофалних и обилних падавина и поплава, које су се догодиле у Србији током маја месеца 2014. за категоризацију оштећења је коришћено важеће упутство о јединственој методологији за процену штете од елементарних непогода СФРЈ из 1987. године. Тим упутством, сви објекти, без обзира на њихову намену су сврстани пет категорија оштећења, која су последица земљотреса. Допуна истог упутства извршена за оштећења настала од поплава, док су оштећења од клизишта изостала, иако је велики број објеката био погођен управо процесом клижења.

Непокретни елементи у ризику су, у складу са општом поделом у грађевинарству, подељени у две подгрупе: објекте високоградње (стамбени и комерцијални објекти) и објекте нискоградње (саобраћајнице).

4.7.1.1 Пописивање оштећених објеката високоградње

Пописи објеката високоградње се могу вршити на више начина, али је за потребе израде ове дисертације усвојен метод анкетног истраживања на основу којег су подаци о објектима сакупљани директно на терену. Спроведено је комбиновано усмено (лице у лице) и писмено анкетирање.

Последње евидентирање тј. анкетирање становништва извршено је 1989 – 1990 године од стране Института за путеве из Београда, када је урађена и карта оштећених објеката са типом темеља и зидова, као и намене објеката. Том приликом је евидентиран и картиран локални водовод, док је на основу пописа извршена процена броја становника. Како је прошло 25 година од тада и како клизиште и поред израђене пројектне документације није санирано, проблем угроженог становништва је остао актуелан, док је у неким деловима интензивиран. Све то је последица експанзије непланске и нелегалне градње током 60-тих и 70-тих година XIX века, када је и изграђен највећи број објеката.

Током 2006. године, годину дана након последње веће активности клизишта „Умка“ која је изазвала бројна оштећења извршено је вештачење 40 објеката од стране Градског завода за вештачење из Београда, када је извршена прописна и систематска процена вредности сваког објекта. Међутим, вештачење је извршено само за одабране објекте и није обухватило значајан број других објеката, који су били већ оштећени или напуштени и/или за које власници или корисници нису поднели пријаву за вештачење.

Подаци добијени вештачењем из 2006. године су коришћени за проверу података који су прикупљени током 2017. године и том приликом нису утврђена већа одступања у процени габарита и вредности самог објекта, док су утврђења одступања у насталој штети, што је оправдано чињеницом да је протекло 12 година од вештачења до последњег евидентирања. Подаци, који су добијени евидентирањем од стране Института за путеве из Београда, су свакако значајни и од велике важности, али они нису дигитализовани и систематизовани у базу података ради анализирања у GIS-у. Након евидентирања 1990-тих година, на подручју клизишта „Умка“ је изграђено више од 50 нових објеката, што представља значајан пораст, али је уједно евидентирано и рушење значајног броја објеката. Узимајући све наведено у обзир, за потребе ове дисертације било је потребно поново евидентирати све грађевинске објекте високоградње, који се катастарски налазе унутар граница клизишта.

Поступак анкетирања на клизишту „Умка“ се заснивао на осматрању оштећења на чврсто зиданим фундираним објектима: мањим индивидуалним стамбеним, викендицама, помоћним објектима итд. Подаци, које је било неопходно прикупити за ниво студије случаја клизишта „Умка“, су морали бити погодни за ниво напредне анализе коју су предложили Fell et al. (2008b), а на основу којих је било могуће извршити, поред процене ризика и процену директне и индиректне штете.

Према Palmisano et al. (2016) главни циљ ових истраживања је био следећи:

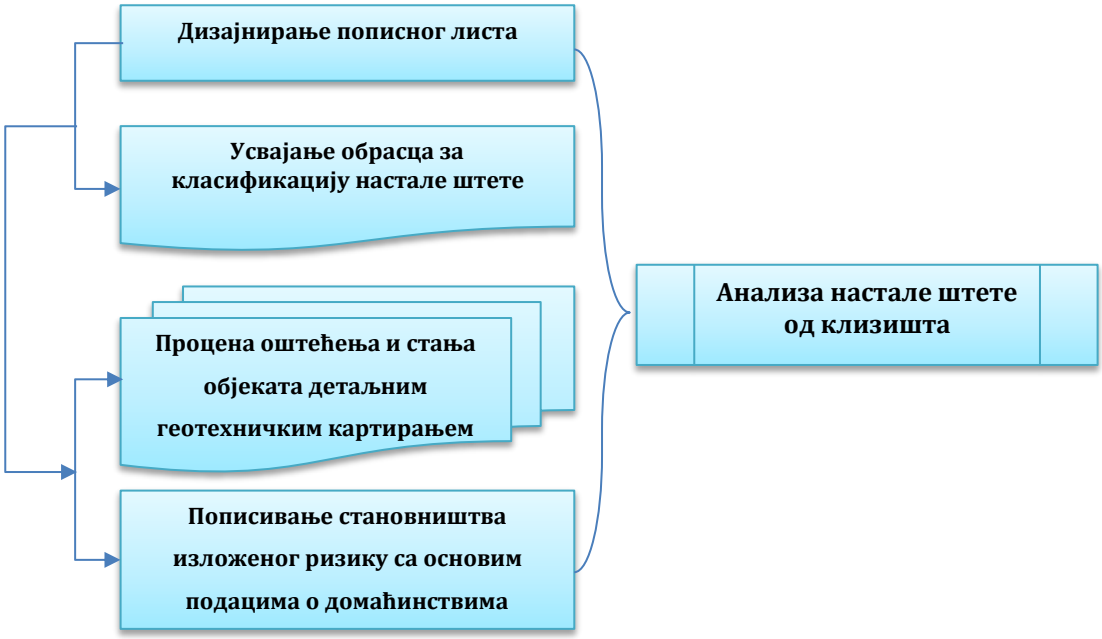
a) релативно брзо прикупљање објективних информација која су у комбинацији са подацима мониторинга и геодинамичких одлика терена представљали основу за процену хазарда од клизишта;
b) формирање базе података за анализу и процену ризика и штете од клизишта.

Главне предности примене анкете за евидентирање оштећења на објектима се огледају у томе да су на тај начин добијени меродавни подаци о конструкцији, величини и габариту објеката, као и степену оштећења, што није било могуће применом других метода истраживања (попут даљинске детекције код које су добијени само подаци о просторном положају елемената у ризику). Поред тога, паралелно са анектирањем оштећења вршен је и попис становништва са прикупљањем података о основним радним навикама. Разговором са локалним становништвом су прикупљени подаци о годинама већих активности клизишта као и други значајни подаци које није било могуће прикупити само опажањем (положај затрпаних бунара, флуктуације нивоа воде у бунарима, присуству и стању дренажне мреже и подаци о изведеним санационим мерама). Главни недостаци за спровођење анкете били су: немогућност да се приликом анкетирања истовремено ангажују стручњаци одговарајуће струке (грађевинарство, инжењерска геологија и геотехника) који би заједничким теренским радом могли да сагледају и евидентирају све неопходне информације о конструкцији и оштећењима објеката као и о релевантним деформацијама терена. Током анкетирања, поједини објекти су били неприступачни или расељени, док су поједини власници и корисници одбијали сарадњу. Приликом пописивања објеката који су имали нове власнике није увек било могуће извршити реконструкцију догађаја и прикупљање података који су од значаја за стање објекта (нпр: година адаптације, санације, стање темеља итд).

Пописивање је обављено од септембра до новембра 2017. године на основу пописног листа који је креиран за потребе израде дисертације.

Креирање пописног листа за евидентирање елемената у ризику

За потребе процене ризика од клизишта „Умка“, је креиран пописни лист, чија је шематска методологија израде приказана на слици 32, а на основу поступака, који су приказани и објашњени у радовима Cooper (2008) и Palmisano et al. (2016). Као основа за израду новог катастарског листа послужио је пописни лист из 1989. године (креиран од стране Института за путеве - Београд). Пример креираног непопуњеног пописног листа за потребе израде ове дисертације је приказан на прилогу 3, који је дат у апендиксу.



Слика 32. Шематски приказ методолошког поступка за анализу штете од клизишта на основу упитника и визуелне идентификације. На основу Palmisano et al. (2016) – измењено.

За сваку групу питања је дефинисан одабир неколико типолошког параметра (атрибута). Већина атрибута је било квалитативног типа (категорички) док су квантитативни били они атрибути који су се односили на површину објекта, процену директне и индиректне штете итд. Претходним анкетирањем нису постојала питања која се односе на чланове домаћинства и њиховим радним и животним навикама (попис), што је било неопходно за анализу ризика по становништво.

Пописни лист који креиран за потребе истраживања садржао је 11 група питања:

1) Општи подаци о објекту;
2) Подаци о конструкцији објекта;
3) Деформисаност објеката;
4) Подаци о темељу објекта;
5) Подаци о члановима домаћинства;
6) Процена штете;
7) Хитне и привремене интервенције;
8) Санација настале штете;
9) Подаци о водама;
10) Скица оштећености објеката и евидентирање деформације околног терена
11) Остале напомене.

(1) Општи подаци о објекту

Ову групу су чинила питања општих информација о самом објекту попут: власника (уколико је пристао на обраду података), адресе, парцеле, године изградње објекта, да ли објекат има дозволу за градњу, положају тј. координатама објекта, тип објекта према намени, корисну површину, број возила домаћинства, спратности и информације о износу пореза по m^2. Класификација објеката према намени је вршена на основу примарне или претежне намене објекта. Спратност објекта је процењивана визуелно и у одговарајуће поље је уношена комбинација стандардних ознака (**Сут.**-сутерен, **Под.**-подрум, **П** – приземље, **Пот.** - поткровље, **Ман.** – мансарда, **1,2,3** … - број спрата). Корисна површина (нето) је одређивана на основу анкетирања власника (корисника) објекта, али се у пракси показало да власници пријављују мању квадратуру, нарочито уколико су нелегално доградили неки део објекта, па је у таквим случајевима квадратура процењивана приближно на основу габарита самог објекта или са ортофотоснимка (бруто). На неколико одабраних локација прикупљене су информације о износу пореских решења за годину која је претходила анкетирању и на тај начин је утврђено да је просечна цена опорезованог квадрата у зони клизишта „Умка“ износила 52,630.00 рсд (430 €). Ова вредност је усвојена као оријентациона, груба тржишна вредност квадрата стамбеног објекта за потребе процене штете. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 14.

Табела 14. Приказ групе питања „Општи подаци о објекту“ на креираном пописном листу

1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ОБЈЕКТУ							
Име и презиме власника				Тип објекта по намени			
				Стамбена јединица	☐	Пластеник	☐
Адреса и број објекта				Викендица	☐	Штала	☐
				Гаража	☐	Шупа	☐
Бр. кат. парцеле				Надстрешница	☐	Летња кухиња	☐
Год. изградње		Проц. век		Комерцијални	☐	Привремени	☐
Дозвола за градњу	Да ☐	Не ☐		Сакрални	☐	Помоћни / Остало	☐
X координата				Корисна површ.	m^2	Порез	РСД
Y координата				Спратност			
Дограђиван објекат	Да ☐	Не ☐		Бр. возила			

(2) Општи подаци о конструкцији објекта

Ову групу су чинила питања са унапред понуђеним одговорима, а која су се односила на конструкцију објекта (изнад земље). Уколико је објекат био комбиноване конструкције или са мешовитим материјалом зидова увек је уношен као крајњи избор који је био претежан или доминантан у време пописивања. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 15.

Табела 15. Приказ групе питања „Општи подаци о конструкцији објекта“ на креираном пописном листу

2. ПОДАЦИ О КОНСТРУКЦИЈИ ОБЈЕКТА					
Носећи зидови	☐	Кров		Зидови су претежно	
Серклажи са испуном	☐	Раван	☐	Цигла - опека	☐
Бондрук систем	☐	Коси	☐	Гитер блок/Блок	☐
Челична конструцкија	☐	Закривљени	☐	Дрво	☐
Монт./префаб.	☐	Плоча без крова	☐	Камен	☐
АБ скелет	☐	Без крова	☐	Трска/блато	☐

(3) Деформисаност објеката

Деформисаност објекта је вршена визуелном проценом на терену приликом анкетирања и увек је вршена на основу две квалитативне описне категоризације које су биле у распону од „без оштећења“ до „срушен-урушен“ објекат. Прва категоризације је преузета од стране Института за путеве – Београд и која је већ коришћена током анкетирања објеката 1990. године (3А), док је за другу коришћена категорија и степен оштећења на основу важећег Упутства о јединственој методологији (3Б) за процену штете од елементарних непогода[18]. Како је наведено у Упутству, поменута категоризација се односи примарно на објекте који су оштећени приликом земљотреса, али се може користити у случају свих организованих процена штета изазваних различитим узроцима већих размера.

Као објекти без оштећења су класификовани они објекти код којих нису евидентирана оштећења, која су последица клижења. Као објекти са мањим оштећењима су класификовани они објекти код којих су евидентирана мања оштећења у виду ситнијих пукотина и оштећења кровног покривача, малтера, фасаде и димњака. Као средње оштећени објекти су класификовани они објекти код којих постоје умеренија оштећења кровног покривача, стакла, димњака и на којима се уочавају оштећења фасаде или малтера који је местимично испуцао док се уочавају пукотине или делимично смицање носећих и преградних зидова и осталих конструктивних елемената. Као тешко оштећени објекти су класификовани они објекти код којих су евидентирана већа оштећења и деформације појединих или свих елемената конструкције објекта. Код ових објеката, приликом евидентирања су уочена оштећења у виду пукотина које зјапе и које су смакнуте, са значајним деловима фасаде или малтера који су отпали док су уочена и већа оштећења преградних и носећих зидова. Као урушени или срушени објекти су класификовани они објекти код којих је делимично или у целости разорен конструктивни систем или његови делови. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 16.

Табела 16. Приказ групе питања „Деформисаност објеката“ на креираном пописном листу

	ЗА ДЕФОРМИСАНОСТ ОБЈЕКТА Инстит за путеве	
	Срушен	☐
	Склон паду	☐
	Средње оштећен	☐
	Слабо изражене деформације	☐
	Без деформација	☐

ЗБ ДЕФОРМИСАНОСТ ОБЈЕКТА ЈЕДИНСТВЕНА МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЕНУ ШТЕТЕ СФРЈ		
V	Објекат са оштећењима конструкције	☐
IV	Објекат са обимнијим оштећењима	☐
III	Објекат са већим оштећењима	☐
II	Знатно оштећени објекат	☐
I	Објекти са мањим оштећењима	☐
Објекат без оштећења		☐

[18] „Службени лист СФРЈ”, број 27 од 10. априла 1987

(4) Подаци о темељу објекта

Ова група је била подељена на две подгрупе, које су садржале понуђене одговоре за типизацију темеља објекта. Прва група је одговора је дефинисала врсту темеља (тракасти, самац, плоча, шипови), док је друга група дефинисала материјал од ког је направљен темељ (камен, опека, бетон, дрво). У случају комбинованих врста или материјала темеља, увек је евидентиран преовлађујући материјал. Информације о врсти и материјалу темеља су прикупљане на терену током евидентирања, у разговору са власницима или индиректно опажањем на лицу места обилажењем подрумских просторија где је то било могуће. Уколико је објекат био напуштен, вршена је процена на основу спољних габарита објекта, процене годишта објекта и општег стања, у противном за обе подгрупе је уношено „непознато“. Дубина фундирања представља важан параметар у геотехничким прорачунима моделима, међутим како за већину објеката није било могуће меродавно и објективно одређивање њене вредности она није евидентирана, нарочито ако је познато да је већина објеката на подручју клизишта „Умка“ представљена објектима за индивидуално становање код којих дубина фундирања ретко прелази 1,5 m. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 17.

Табела 17. Приказ групе питања „Подаци о темељу објекта“ на креираном пописном листу

4. ПОДАЦИ О ТЕМЕЉУ ОБЈЕКТА			
Врста темеља		Материјал	
Тракасти	☐	Камен	☐
Самци (стопа)	☐	Опека	☐
Плоча	☐	Бетон	☐
Шипови	☐	Дрво	☐
Непознато	☐	Непознато	☐

(5) Подаци о члановима домаћинства

У оквиру ове рубрике су прикупљане информација о подацима чланова домаћинства, њиховим радним навикама и њиховом сећању на године већих активности клизишта „Умка“, тј. периоде када су приметили појаву нових, израженијих деформација на објекту и околном терену. За објекте који су класификовани као викендице или напуштени, по правилу је увек уношена вредност 0 за број чланова домаћинства, без обзира да ли је власник објекта био присутан током евидентирања или не. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 18.

Табела 18. Приказ групе питања „Подаци о члановима домаћинства“ на креираном пописном листу

5. Подаци о члановима домаћинства		
Чланова домаћинства		Запосленост (1/3 ...)
0	☐	
1	☐	Млађих од 18 г.
2	☐	
3	☐	Радно неспособних
	☐	
Сећања на веће активности клизишта (година? датум?)		

(6,7,8) Процена штете, хитне и привремене интервенције и санација штете

Током евидентирања објеката, у разговору са власницима/корисницима објеката су прикупљане информације о процењеној директној и индиректној штети. Под директном штетом је подразумевана она штета која је настала као последица клижења на самом објекту и која је изражавала укупну тренутну штету изражену у новчаном износу (€), који је неопходан да би се објекат довео у првобитно стање. Под индиректном штетом је подразумеван новчани износ, који је утрошен да би се објекат обезбедио и одржавао на минимуму функционалности. Индиректва штета је обухватала трошкове расељавање субјекта, подразумевајући новчани износ, који је био неопходан да би се обезбедио привремени смештај члановима домаћинства. Овај износ је, теоретски, могао и да и превазиђе износ директне штете, ако је посматран кумулативно, јер је био изражен у односу на једну календарску годину. Уколико је власник објекта поседовао документацију о вештачењу, та информација је евидентирана као „документована процена штете“, док је у осталим случајевима евидентирана информација да је „процена вршена релативно“.

За хитне и привремене интервенције вршена је груба процена, да ли је неопходно расељавање и рушење објеката, да ли су потребни већи грађевински и земљани радови или су неопходна допунска геотехничка и инжењерскогеолошка истраживања ради процене.

За санацију настале штете вршена је груба процена на који начин је могуће извршити исту: применом већих грађевинских радова уз употребу механизације, применом умеренијих грађевинских радова уз примену мање механизације, санација извођењем мањих грађевинских захвата применом ручних алата или текуће одржавање. Том приликом је вршена и груба процена вредности санације изражена у еврима. Овде се подразумевала само привремена санација објекта и његово довођење у функционално (безбедно) стање док се не приступи трајном решењу клизишта „Умка“. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 19.

Табела 19. Приказ групе питања „Процена штете, хитне и привремене интервенције и санација штете“ на креираном пописном листу

6. Процена штете			
Метод процене	Релативан ☐	Докум. ☐	
Процењена директна штета (€)			
Процењена индиректна штета (€/год.)			
7. Хитне и привремене интервенције			
Расељавање и рушење објекта			☐
Већи грађевински и земљани радови			☐
Додатна ИГ и ГТ истраживања			☐
Процена интервенција (€)			
8. Санација настале штете			
Санација није могућа	☐	Мањи грађев. захвати	☐
Већи грађев. радови	☐	Текуће одржавање	☐
Умеренији. гр. радови	☐	Без потребе за санац.	☐
Процена санације (€)			

(9) Подаци о водама

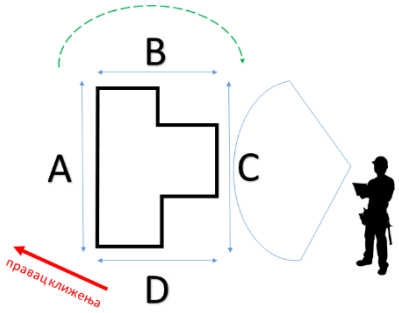
Приликом евидентирања објеката на терену, нарочита пажња је посвећена прикупљању података о површинским и подземним водама као и присутности дренажних и система за одвођење и каналисање отпадних и техничких вода, које се сматрају, поред нивоа Саве, једним од главних покретача и интензивирања процеса клижења на подручју клизишта „Умка“. За сваки објекат су прикупљани подаци о томе да ли се објекат снабдева водом и на који начин, затим на који начин се одводе техничке и отпадне воде и да ли постоји бунар у непосредној околини објекта, као и у ком је стању. Уколико је био могућ увид у стање бунара евидентирана је и дубина до нивоа воде и дубина до оштећења (уколико је била постојала). По потреби су уношена и друга опажања попут: оштећења водоводних система, да ли су изведени по површини или подземно и да ли су присутне појаве забарења или појаве засићености тла водом. Уколико је било могуће евидентиране су и координате функционалних и затрпаних бунара. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 20.

Табела 20. Приказ групе питања „Подаци о водама“ на креираном пописном листу

9. ПОДАЦИ О ВОДАМА					
Снабдевање домаћинства водом		Стање бунара			
☐	Из градског водовода	☐	Активно се користи		
☐	Из бунара	☐	Зарушен је (затрпан)		
☐	Не постоји	☐	Оштећење бунара на дубини од _____м		
Одлагање отпадних и техничких вода из домаћинства		X координата бунара			
		Y координата бунара			
☐	Градска канализација	Ниво у бунару на дан анкетирања _____м			
☐	Септичка јама	Површинске воде	регулисане ☐	нерегулисане ☐	
☐	Сенкруп / директно одвођење у тло	Друга запажања о водама:			

(10) Скица оштећења објеката и евидентирање деформације околног терена

За сваки објекат на коме су биле уочљиве значајније деформације у виду пукотина формирана је скица главних страна које су означене са A, B, C и D. Стране објекта су оријентисане тако да је страна A увек била она која је у правцу клижења (према Сави) док су остале странице именоване у правцу казаљке на сату у односу на страницу A (Слика 33).



Слика 33. Пример означавања страна објеката неправилне основе за процену оштећености зидова

Ради лакшег евидентирања свака страна објекта је на обрасцу представљена као правоугаоник без обзира на облик објекта на којима је скициран положај, простирање и димензије оштећења. Поред наведеног, вршено је и евидентирање нагнутости објекта на једну од четири наведене стране док је за сваки обејекат извршена процена оштећења изражена у процентима, од 0 % (без оштећења) до 100 % (срушен објекат), као и податак да ли је објекат утонуо у тло и за колико. Од деформација околног терена (окућнице)

евидентиране су појаве ожиљака, истрбушења, „пијаног дрвећа“ или пукотина у тлу. Приказ питања на пописном листу из ове групе је приказан у табели 21.

Табела 21. Приказ групе „Скица оштећења објеката и евидентирање деформације околног терена“ на креираном пописном листу

10.Скица оштећења објекта							
Стрелицом означити правац клижења који уједно показује А страницу објекта. Остале странице именовати у правцу казаљке на сату у односу на А страницу.				**Скицирати просторни положај оштећења на страницама објекта**			
				A		B	
				C		D	
Оштећење објекта	%						
Нагнутост према	A B C D			Објекат тоне	Не ☐	Да ☐	Потонуо _____ m
Деформације терена	Нема ☐	Ожиљци ☐	Истрбушења ☐	“Пијано” дрвеће ☐	Пукотине у тлу ☐		
11.Остале напомене							

(11) Остале напомене

У овој рубрици су уношена сва остала опажања везана за објекат и околни терен, која су остала непокривена претходним рубрикама, а које би могле бити од значаја за утврђивање меродавних инжењерскогеолошких и геотехничких својстава објеката и терена.

Креирање експертске анкете за утврђивање физичке угрожености објеката

На основу пописа, који је изведен током 2017. и 2018. за потребе израде ове дисертације, креирана је експертска анкета која је послужила за дефинисање коефицијената релевантности параметара, који улазе у прорачун индекса отпорности, индекса рањивости и на крају укупне угроженост објеката. Пример непопуњеног експертског анкетног листа је приказан у прилогу бр. 4, у апендиксу. Експертску анкету је попунило шест дипломираних инжењера грађевинарства и геологије, са експертизом из области грађевинске геотехнике. Анкетом су биле понуђене одабране групе типолошких параметара - индикатора којима је дефинисан индекс отпорности објекта, као и одабране групе индикатора који утичу на рањивост и физичку угроженост објекта. За индикаторе отпорности објеката су усвојени: година изградње објекта, надоградња и доградња објекта, тип конструкције, материјал зидова, начин фундирања и преовлађујући материјал темеља.

У првој табели на анкетном листу било је потребно међусобно рангирати према утицају наведене индикаторе од 0 до 10, при чему је 0 мањи утицај, а 10 већи утицај. За сваку групу је дата подела унутар које је било неопходно извршити рангирање према

отпорности, где је мањи број означавао индикатор који објекат чини мање отпорним док је већи број означавао индикатор, који објекат чини више отпорним у случајевима када је изложен хазарду. Експерти су приликом попуњавања анкете били у могућности да одређеним групама индикатора доделе подједнаке вредности уколико нису били сигурни који од њих имају већи утицај на отпорност објекта.

Као и код индикатора отпорности, за индикаторе рањивости дефинисане су групе индикатора, чије су вредности биле сведене на распоне од 0-1, с том разликом да је већи број означавао већу рањивост објекта. За индикаторе рањивости су усвојени подаци о непосредном окружењу у ком се налази објекат, а који могу утицати на његову дугорочну стабилност и трајност попут: постојања дренаже површинских вода око објекта, начина и типа одвођења отпадних вода од и око објекта, да ли је објекат нагнут или је потонуо услед клижења итд. Анкетом су биле понуђене одабране групе инжењерскогеолошких и геотехничких индикатора који владају у непосредној околини објекта или на самом објекту, а који утичу на рањивост, па самим тим и физичку угроженост елемента у ризику, у случају да је изложен деформацијама, које су последица клижења. За наведене индикаторе су одабрани следећи: одвођење површинских вода од објекта, нагнутост објекта, тоњење објекта, присутност система за одвођење отпадних вода, оштећење зидова објекта у тренутку пописивања.

У првој табели друге колоне на анкетном листу (Прилог 4) било је потребно међусобно рангирати према утицају наведене групе индикатора (0 – мањи утицај – 10 већи утицај), након чега је за сваку групу дата подела унутар које је било неопходно извршити рангирање према рањивости, где је мањи број означавао индикатор који је објекат чинио мање рањивим, док је већи број означавао параметар који објекат чинио више рањивим у ситуацијама када је изложен хазарду. Као и код индикатора отпорности, експерти су приликом попуњавања анкете могли да одређеним групама индикатора доделе подједнаке вредности уколико нису били сигурни који од њих имају већи утицај на рањивост објекта.

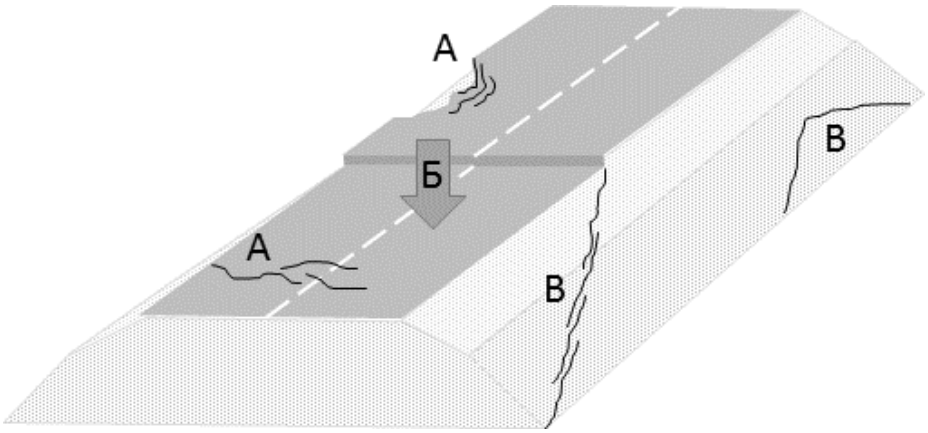
На основу експертске анкете одређене су просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0-1) коефицијента релевантности за све групе индикатора које су дефинисале отпорност и рањивост које су потом искоришћене за прорачун физичке рањивости објеката.

4.7.1.2 Картирање оштећених објеката ниско̄градње

Саобраћајнице поред објеката за становање и боравак људи представљају други важан елемент у ризику од клизишта, који нарочито зависи од категорије саобраћајнице.

Прекид или отежан саобраћај на путевима доводи до повећаних директних и индиректних трошкова у виду додатних финансијских средстава за ревитализацију саобраћајнице, повећане потрошње горива услед коришћења алтернативних саобраћајних праваца или веће потрошње возила при кретању мањим брзинама и степеном преноса возила. Индиректна штета у таквим условима се огледа и у отежаном функционисању и обављању свакодневних активности локалног становништва као и смањеним радним капацитетима и приходима компанија или услужних објеката, који раде уз или у непосредној близини угрожене или оштећене саобраћајнице. Потпуни или делимични прекид саобраћаја на некој деоници, може животно угрозити становништво, коме је потребна хитна медицинска помоћ или нега. Транзитне кориснике угрожава услед могућности наиласка возила на неочекивано оштећење, које може имати за последицу саобраћајни удес са тешким повредама или смртним исходом.

Картирање оштећења на објектима нискоградње на клизишту „Умка“ је изведено на два начина: теренски и методама даљинске детекције. За потребе брзог теренског картирања било је неопходно утврдити категорију саобраћајнице (државни или локални пут), врсту коловозног застора (битумен, шљунак, калдрма, макадам, туцаник) и потом евидентирати уочљива оштећења на самој коловозној конструкцији или насипу. Уочљива оштећења од клизишта која су евидентирана на саобраћајницама су: пукотине и оштећења битуменозног застора (Слика 34-А), улегнућа застора која нису последица тешког саобраћаја („колотрази“, Слика 34-Б), оштећења и улегнућа насипа и банкине (Слика 34-В). Приликом картирања било је неопходно утврдити да ли је саобраћајница проходна или непроходна за возила која су предвиђена категоријом самог пута. Саобраћајнице су потом биле третиране у GIS-у као линијски објекти и били су сегментрани и класификовани у више категорија према степену оштећења у распону од „без оштећења“ до „непроходна“ тј. „уништена“. Уколико је било могуће, вршено је утврђивање генезе оштећења, тј. да ли је настало као последица развоја примарног и секундарног ожиљка или на други начин. Ради уштеде времена и организовања теренских истраживања, картирање оштећења на саобраћајницама примарно вршено методама даљинске детекције на основу UAV ортофото снимака високе резолуције.



Слика 34. Најчешћа оштећења на саобраћајницама и коловозним конструкцијама услед појава нестабилности терена изазвана клижењем А) Пукотине и оштећења застора Б) Слегање и улегнућа застора В) Оштећења насипа и доњег строја

Како су постојали делови клизишта у којима су деформације терена биле толике да није било могуће препознавање некадашње коловозне конструкције или постојање било каквог застора, паралелно са дигитализацијом ортофотоа, на основу катастарских парцела доступних на сајту Геосрбија[19] идентификоване су јавне парцеле, које су имале облик и форму саобраћајница, чији је положај потом и верификован на старим плановима детаљне регулације. Таквих саобраћајница је било највише у делу клизишта „Умка“ испод државног пута IB26 (у зони блока B).

Предности и недостаци примене ове методе су углавном исти као и код евидентирања оштећених објеката, с тим што код евидентирања оштећења на саобраћајницама оштећења су могла настати и као последица лоше изведених радова и неадекватних материјала који су уграђени у доњи строј или у саму коловозну конструкцију. Иако је у пракси пожељно да се приликом картирања раздвоје оштећења која су последица клизишта и оштећења, која настају експлоатацијом возила то у пракси није било могуће. Разлог томе је што су деформације терена, а самим тим и саобраћајница које су ослоњене

[19] https://geosrbija.rs

на тело клизишта, толико велике на годишњем нивоу да управљач пута (држава или локална самоуправа) нужно мора приступити мерама рехабилитације. Рехабилитација државног пута IB26 се обавља неколико пута на годишњем нивоу, док местимично саобраћајнице нижег ранга санира локална самоуправа или локално становништво. Услед наведеног није било могуће издвојити деформације застора у виду колотрага или слегања од динамичког утицаја возила веће категорије па су све деформације које су картиране сматране као последица клижења терена.

На основу ортофото снимака високе резолуције било је могуће извршити задовољавајућу класификацију и категоризацију саобраћајница на основу успостављених критеријума. За саобраћајнице које су уништене у потпуности није било могуће утврђивање њихове локације већ је она преузета из планова детаљне регулације. Није била могућа ни класификација на основу категорије пута и врсте коловоза. Подаци добијени на овај начин су искоришћени приликом процене специфичног ризика.

4.7.2 Прикупљање података о покретним елементима у ризику

4.7.2.1 Попис становништва

Попис становништва представља статистичко истраживање, које се спроводи у одређеним временским интервалима и резултује прикупљањем података о броју и основним географским и другим карактеристикама свих основних јединица пописа, у овом случају становништва које живи на клизишту „Умка“. Попис обезбеђује потпуне, квалитетне упоредиве статистичке податке, који су од великог значаја за планирање друштвеног - економског развоја и процену ризика.

Подаци о члановима домаћинства и њиховим радним навикама нису прикупљани претходним евидентирањем од стране Института за путеве, па је било неопходно током теренских истраживања 2017. године предвидети и спровести њихово прикупљање. Попис је спроведен на основу претходно креираног пописног листа, методом анкетирања на терену и представљао је временски захтевну методу прикупљања података.

Број чланова домаћинства је увек евидентиран у односу на објекат, што је био случај и код објеката у којима је живело више домаћинстава. Током евидентирања прикупљане су информације о укупном броју чланова домаћинства који имају стално пребивалиште (у том објекту), као и број запослених, број малолетних и радно неактивних чланова домаћинства. Поменуте категорије чланова домаћинства су евидентиране у укупном броју, без података информација о личности. Ове информације су нарочито биле важне приликом процене ризика, јер чланови домаћинства, који су у радном односу или који су малолетни, током одређеног дела дана нису у објекту, чиме се степен ризика може диференцирати током једног дана. Ово је оправдано чињеницом да је њихова изложеност хазарду мања у односу на радно неактивне чланове домаћинства (незапослени или пензионери), за које се претпоставља да су током већег дела дана у објекту.

4.7.2.2 Бројање саобраћаја

На деоници пута Умка – Барич (бр. 02602) укупне дужине 8 km, на самом уласку у насеље Барич, из правца Београда, 2010. године је уграђена једна аутоматска станица за бројање саобраћаја са ознаком АБ 1059 (Слика 35). У периоду од 2005 - 2010. године процена просечног дневног годишњег саобраћаја је вршена на основу интерполације података са најближих аутоматских бројача. Збирни подаци у виду извештаја су доступни за преузимање на интернет презентацији[20] Ј.П. „Путеви Србије“ за период од претходних пет година, док су детаљни подаци о дневном и часовном саобраћајном оптерећењу добијени на захтев од стране Ј.П. „Путева Србије“.

Слика 35. **Лево:** фотографија аутоматске станице за бројање саобраћаја АБ1059 на деоници Умка – Барич државног пута IB26; **Десно:** мапа са положајем станице АБ1058

4.8 Методе моделовања

Према општој научној дефиницији, моделовање представља истраживање на моделима при чему се полази од претпоставке да ће све појаве, сличне у неким својствима, бити сличне и у неким другим (Miljević, 2007). Под моделом се подразумева систем уређених структура и односа аналогних предмета истраживања. За потребе научних истраживања и инжењерске праксе модели могу бити: физичке репродукције оригинала у размери, цртежи, компјутерски прорачуни, симулације итд.

Комисија C25[21] је усвојила дефиницију модела у инжењерској геологији која гласи: *„Модел је апроксимација стварности која је креирана за потребе решавања проблема“* (Parry et al., 2014a). У свом раду, Knill (2003) је унутар инжењерскогеолошке праксе дефинисао три могуће врсте модела:

- геолошке моделе, који су већински засновани на општем геолошком знању;
- инжењерскогеолошке моделе, који садрже геолошко знање са укљученим инжењерским параметрима;

[20] http://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/brojanje-saobraćaja (19.06.2019.)
[21] Комисија C25 за „Примену инжењерскогеолошких модела“ Међународне асоцијације за инжењерску геологију (IAEG)

- геотехничке моделе, који су формирани на основу математичких или физичких анализа.

Комисија C25 је усвојила поделу на два фундаментална приступа за развој инжењерскогеолошког модела (Parry et al., 2014b), која су независна од фазе и нивоа пројектовања и то: концептуални и опсервациони приступ. Код концептуалног приступа, модел је заснован на међусобном односу инжењерскогеолошких јединица, њихове могуће геометрије и очекиване дистрибуције, док се код опсервационог приступа модел заснива на инструментално опажаним и мереним вредностима инжењерскогеолошких јединица или процеса на њиховој површини или унутар њих. Концептуални модели се не заснивају на реалној тродимензионалној дистрибуцији у простору и времену, већ се ослањају на интерпретацију или реинтерпретацију постојећих геолошких података и информација. Опсервациони модели су у корелацији са просторном и временском дистрибуцијом и засновани су на актуелним мерењима и опажањима површине или потповршине терена методама геотехничког мониторинга и подацима који су прикупљени инжењерскогеолошким и геотехничким истражним радовима.

4.8.1 Дигитални елевациони модел (DEM)

DEM представља специјални случај интерполоване непрекидне континуалне површи и представља суштински податак о морфологији неког терена, и као такав, спада у ред најважнијих података, неопходних за анализу хазарда од клизишта (Fell et al., 2008a; van Westen et al., 2008). У литератури се може пронаћи и термин дигитални модел рељефа (DMR) који представља синоним за DEM.

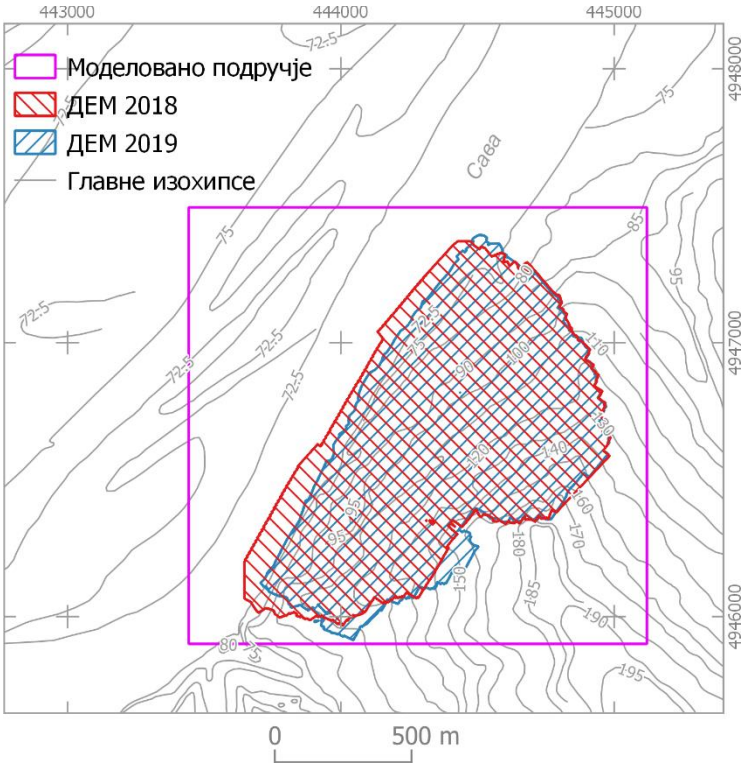
Неке од најчешћих примена DEM-а као и његових продуката за потребе анализе хазарда и ризика од клизишта су:

- израда дигиталног ортофотоа;
- статистичко анализирање и поређење различитих типова терена;
- генерисање карата: нагиба и осунчаности површине терена, експозиције падине према странама света, хидролошког слива итд.;
- праћење динамике клизишта (на основу поређења DEM-ова из различитих временских епоха);
- израда стерео модела за тродимензионално анализирање рељефа терена;
- у даљинској детекцији за корекцију геометрије сателитских и других сензора који прикупљају податке о површини терена у односу на локални рељеф и за генерисање њихових одговарајућих геокодираних података;
- као улазна 3D геометрија приликом геостатичких прорачуна методом коначних елемената или граничне равнотеже.

У савременој пракси DEM представља правилну мрежу (енг. *grid*) тј. матрицу висина, док може бити представљена и као неправилна триангулациона мрежа (енг. *Triangular Irregular Network - TIN*). Доступним GIS софтверима је могућа једноставна конверзија из DEM-а у TIN и обрнуто, уз напомену да је за растерску анализу и прорачуне унутар GIS – а једино валидан матрични (растерски формат). За потребе дисертације, коришћен је TIN приликом 3D анализе стабилности, у софтверимакоји су захтевали податке о морфологији терена у једноставнијем облику.

DEM површине терена клизишта „Умка“

За креирање DEM-а површине терена одабране су топографске подлоге Института за путеве, које су коришћене за израду техничке документације и интерпретацију резултата истраживања из 2005. године (Jelisavac et al., 2006). Недостајуће изохипсе, нарочито са сремске стране, су допуњене на основу постојећих топографских карата размере 1:5000 (листови: Обреновац 5,6,15 и 16). Са топографских основа, које су биле у CAD формату, извежени су сви линијски ентитети са надморским висинама који су представљали изохипсе (Слика 36) након чега је извршена њихова интерполација у DEM применом алгоритма *TopoToRaster*[22] у оквиру *ArcGIS*-а. Наведени алгоритам је изабран зато што генерише хидролошки правилан DEM (Hutchinson, 1989) са нешто бољим перформансама него *TIN* интерполација (Šiljeg et al., 2015), као и због чињенице да интерполацију може да врши и на основу линијских ентитета за разлику од алгоритама, који се уобичајено примењују у пракси. Сви растери су креирани са резолуцијом од 1 x 1 m, која је касније по потреби ресемплована на мање. Фотограметријским поступцима у оквиру AgiSOFT пакета, на основу свих обрађених фотографија, израђена су два DEM-а са просторном резолуцијом од 50 cm, на основу којих су, потом, израђени ортофотои веомависоке резолуције од 2,3 cm.



Слика 36. Шематски приказ контура DEM-а из 2018. и 2019. године који су добијени фотограметријским поступком (UAV снимци) у односу на шире подручје истраживања. Као подлога су приказане само главне изохипсе са топографских подлога које су коришћене за интерполацију DEM-а површине терена

DEM корита Саве у зони клизишта „Умка“

Приликом интерполације DEM-а површине терена није узето у обзир корито реке Саве, које је моделовано као засебан растер и које је потом спојено са DEM-ом површине терена у јединствени растер. За креирање DEM-а корита реке Саве у зони клизишта „Умка“ су одабране батиметријске подлоге из идејног пројекта Института за путеве (поглавље 4.2.2, бр. 11). Како је наведено у пројекту, током априла 2005. године, ехосондирањем је

[22] Базиран на основу ANUDEM методологији израде DEM-а (Australian National University DEM)

снимљено корито реке Саве, од Умке до ушћа Колубаре, и на основу тих података је израђен DEM корита реке Саве. Приликом израде ове тезе били су доступни CAD цртежи који су садржали само изохипсе корита Саве, па је било је неопходно поново извршити интерполацију DEM-а корита и његово спајање са DEM-ом површине терена.

Код подножичних клизишта као што је „Умка“ разлика која настаје када се моделује DEM без утицаја реке која еродује ножицу и обалу може у значајној мери утицати на резултате 3D анализе стабилности. Како је дубина Саве у зони клизишта и до 20 m а ширина корита 250 m, извршено је је уклањање еродованог материјала и формирање DEM-а са израженом морфологијом корита.

DEM клизне површи клизишта

DEM клизне површи клизишта „Умка“ („*Demklizne*“) је израђен на основу података истражних бушотина, које су изведене од стране Института за путеве – Београд. Интерполација DEM-а је извршена применом алгоритма *TopoToRaster* у оквиру ArcGIS-а. Након креираног DEM-а, било је неопходно извршити његову корекцију за DEM корита Саве („*DEMKoritaSave*“), с обзиром да је тај део клизишта еродован. Корекција је извршена тако што је од новоформираног DEM-а клизне површине одузет DEM корита Саве применом *RasterCaclulator* алата у оквиру ArcGIS-а. На тај начин је креиран нови, привремени растер, који је садржао разлику поменута два.

На основу DEM-а разлике применом *Raster Caclulator-a (ArcGIS)* извршен је условни прорачун коригованог растера на основу следећег обрасца:

$$Con(("DEMKoritaSave"-"Demklizne") < 0,"DEMkoritaSave", "DEMklizne") \quad (20)$$

Услед прогресивног лома, највероватније су наступиле промене у морфологији клизне површине, али за њено ажурирање потребна су веома скупа и дуготрајна геотехничка истраживања у виду нових истражних бушотина и инклинометарских осматрања, чија реализација услед економских разлога није била могућа. Најмање промене су очекиване у зони контакта са лапорима, тј. са повлатом бедрока за који се, по правилу, усваја претпоставка да је крут и да није подложан деформацијама. Наведене чињенице би требало узети у обзир и усвојене моделе би требало посматрати као апроксимативне и упрошћене за потребе геотехничких прорачуна.

DEM повлате миоценских лапора у зони клизишта „Умка“

Истражно бушење које је изведено током 1992. и 2005. године изведено је углавном у оквиру граница клизишта „Умка“ и „Дубоко“ и местимично у зони савског приобаља. Њихов просторни распоред није омогућио да се изврши квалитетна тродимензионална интерполација ширег подручја клизишта „Умка“, па су подаци морали да буду допуњени на основу архивских бушотина[23]. Списак документације на основу које су допуњени подаци о дубинама до лапоровитих седимената из истражних бушотина дат је у табели 4. На основу расположиве документације прикупљени су подаци за 69 истражних бушотина, међутим, у свега 40 бушотина су постојали подаци о дубини до лапоровитих седимената. Како су коришћени подаци били у форми тачкастих ентитета, за алгоритам интерполације је коришћен IDW метод са стандардним, предифинисаним опцијама у оквиру *ArcGIS*-а. DEM кровине лапора („DEMLapora“) генерисан на овај начин је коригован за дубину корита Саве у зони контакта, која је еродована.

[23] Градска управа града Београда, Секретаријат за урбанизам и грађевинске послове, Сектор за опште послове, геологију и документацију, Одељење за геологију и документацију

Корекција је извршена по истом принципу као и код корекције клизне површине, применом следећег обрасца:

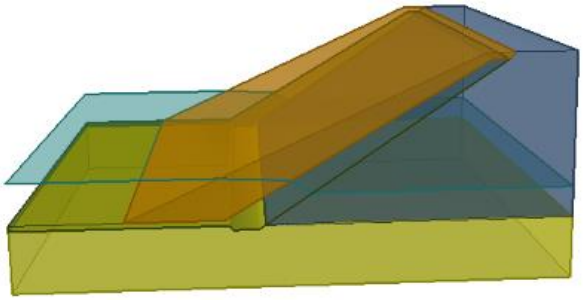
$$\text{Con}((\text{"DEMKoritaSave"}-\text{"DemLapora"}) < 0,\text{"DEMkoritaSave"}, \text{"DEMLapora"}) \qquad (21)$$

Како би са сигурношћу било избегнуто пресецање DEM-ова у геотехничком моделу, коначни DEM кровине лапора је применом *RasterCalculator (ArcGIS)* умањен систематски за 0,5 m.

DEM нивоа подземних вода и нивоа Саве у зони клизишта „Умка“

Претходним истраживањима и анализама, утврђено је да ниво Саве има велики утицај на динамику клизишта „Умка“, нарочито у приобалним деловима клизишта и доњим деловима испод државног пута IB26. У геотехничкој пракси је познато да нивои подземне воде у тлу имају велики утицај на редукцију фактора сигурности и да неповољно утичу на стабилност терена, нарочито са повећањем нивоа ка површини терена. Ово је веома чест случај у телу клизишта „Умка“, услед нерегулисане и неисправне канализације и дренажних канала.

У складу са корисничком упутством програма *Slide3*, уколико је ниво воде представљен у моделу са надморском висином, која се налази изнад површине терена, програм аутоматски узима у прорачун тежину воде изнад површине терена до површине самог терена (Слика 37). Уколико је ниво подземне воде испод површине терена програм све геолошке средине испод тог нивоа третира као засићене. Приликом прорачуна стабилности, програм узима у обзир све силе које делују када је вода агенс: тежину и хоризонталне хидростатике притиске на косину, док за ниво подземне воде у тлу узима у обзир и прорачунава засићену запреминску тежину за средине испод нивоа подземне воде. Наведени софтвер дозовољава уношење и дефинисање само једне површине, која ће представљати ниво подземне воде, што је условило да се површине, које представљају ниво Саве и нивое подземних вода, морају моделовати као једна површина.



Слика 37. Шематски приказ упрошћеног 3D геометријског модела нестабилне косине са нивоом воде изнад површине и испод површине терена у оквиру *Slide3* порграма
(преузето са: www.rocscience.com)

На основу усвојених НПВ-а, креирани су мозаични растери, који су представљали комбинацију карактеристичних нивоа Саве и НПВ-а за хидролошке сценарије. Растери су извежени у .dxf формат, који је компатибилан са *Slide3* програмом.

4.8.2 Климатски и хидролошки модели

Како су код геотехничког моделовања комплексних подножичних клизишта, као што је Умка, утицаји речне ерозије на ножицу и ниво подземне воде у тлу падине од великог значаја на стабилност, било је неопходно извршити додатне анализе расположивих хидрогеолошких и хидролошких података и резултата осматрања.

Модел водноī биланса

Модел водног биланса приказује и анализира распоред воде у различитим хидролошким компонентама, користећи сумарне месечне податке о падавинама, просечне месечне температуре ваздуха и информацију о дужини дана, на основу географске ширине истражног подручја, за прорачун евапотранспирације (McCabe & Markstrom, 2007). Анализа водног биланса је представљала једноставан начин за приказ и прелиминарну анализу падавина, евапотранспирације, капацитета прихрањивања тла водом и отицаја површинских вода на подручју клизишта „Умка“. На основу литературе, до краја XX века, због практичности, се највише користио Торнтвајтов модел прорачуна и класификације водног биланса (Thornthwaite, 1948), који је услед утицаја климатских промена претрпео више модификација и корекција.

За потребе анализе водног биланса клизишта коришћени су доступни подаци о месечним падавинама и просечним температурама, са метеоролошке станице Врачар, који су преузети из климатских годишњака са сајта РХМЗ-а. За прелиминарни прорачун водног биланса корићен је програм *Thornthwaite Monthly Water Balance Model,* који је развијен од USGS-а и јавно доступан за преузимање на њиховом сајту[24]. Програм је једноставан за коришћење и захтева само три параметра: месечне просечне температуре (°C), месечне суме падавина (mm) и географску ширину за жељену локацију за коју се врши прорачун. Остала подешавања су била програмски подразумевана, док је смањена вредност капацитета задржавања влажности у тлу (soil moisture storage capacity) са 200 на 150 mm на основу препорука аутора програма (McCabe & Markstrom, 2007). На основу података, доступних на сајту РХМЗ-а, прикупљени су и анализирани подаци о падавинама на подручју Београда, за период од јануара 2003. до децембра 2018. године.

Моделовање нивоа Саве

Од 2005. године нису вршена нова систематска осматрања нивоа Саве у зони клизишта „Умка“, па је за потребе различитих прорачуна и представљања нивоа Саве најчешће усвајан ниво хидролошке станице Сава-Бељин. Ако се узме у обзир чињеница да је замишљена попречна оса клизишта „Умка“ у пресеку са током Саве удаљена 23 km од ушћа у Дунав, прорачуном растојања хидролошких станица из табели 22, добија се податак да је клизиште „Умка“ удаљено више десетина па и стотина километара од станица са којих постоје подаци. У том смислу, поставља се питање оправданости директног преузимања и усвајања података са њих за подручје самог клизишта.

На сајту РХМЗ-а су доступни климатски али и хидролошки годишњаци за најважније речне сливове у Србији, који су преузети, и одакле су у машински читљив облик преведени подаци о нивоу Саве и протицају на хидролошким станицама Сава-Сремска Митроивца, Сава-Бељин и Сава-Београд у периоду од 01.01.2003. – 01.01.2019. године (Табела 22).

[24] https://wwwbrr.cr.usgs.gov (прситупљено 24.12.2019.)

Табела 22. Основни подаци о хидролошким станицама РХМЗ-а чији подаци су коришћени за анализу и валидацију водостаја Саве у зони клизишта „Умка“

Назив хидролошке станице на Сави	Кота "0" (mnv)	Удаљеност од ушћа (km)	Проток	Водостај	Удаљеност од клизишта „Умка“ (km)
Сремска Митровица	72,2	139,2	Да	Да	116,2
Бељин	69,5	67,5	Не	Да	44,5
Београд	68,28	0,8	Не	Да	22,2

Како би се проверила таква оправданост, било је неопходно урадити прорачун нивоа Саве у зони клизишта „Умка“, у програму *HEC-RAS*[25]. Улазни подаци, који су коришћени су добијени на основу профила корита Саве од зона клизишта „Умка“ до ушћа у Дунав и протока са станице Сремска Митровица, као и протока на основу архивске документације београдског слива Саве. За профиле корита дуж Саве, од Остружнице до ушћа Саве у Дунав, коришћени су профили из доступне техничке документације[26], док су протоци за прорачун преузети са прве станице узводно од Умке, која прикупља такве податке (Сремска Митровица).

Применом *HEC-RAS* програма прорачунати су карактеристични нивои Саве код Умке, за четири одабрана профила (EP-22, EP-23, U-31 и PR-18), који су приказани на слици 40. За потребе анализе, извршена је и линеарна интерполација водостаја на основу удаљености клизишта „Умка“ и података добијених са станица Сава-Бељин и Сава-Београд. На основу удаљености клизишта „Умка“ од мерних станица од ушћа у Дунав по матици тока Саве, извршена је интерполација нивоа Саве код Умке у *Microsoft Excel*-у применом следећег обрасца:

$$N_{int} = (N_{BE} - N_{BG}) * \frac{1}{(D_{BE} - D_{BG})/D_{UM}} + N_{BG} \qquad (22)$$

Где је:

N_{int} – Интерполовани ниво Саве код клизишта „Умка“;
N_{BE} – Ниво Саве на мерној станици Сава-Бељин;
N_{BG} – Ниво Саве на мерној станици Сава-Београд;
D_{BE} – Удаљеност мерне станице Сава-Бељин од ушћа у Дунав;
D_{BG} – Удаљеност мерне станице Сава-Београд од ушћа у Дунав;
D_{UM} – Удаљеност клизишта „Умка“ од ушћа у Дунав.

На овај начин, софтверски прорачун и линеарна интерполација дневних нивоа Саве код клизишта „Умка“ урађени су за период од јануара 2003. до децембра 2018. године и потом су упоређени са нивоима Саве на мерним станицама Бељин и Београд.

[25] https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/
[26] Техничка документација обалоутврде реке Дунав и реке Саве на ширем подручју Ушћа Саве у Дунав; Хидролошко-хидрауличка студија; Инвеститор: „Дирекција за грађевинско земљиште и изградњу Београда Ј.П“; Пројектанти: Хидрозавод дтд Нови Сад и Универзитет у Београду - Грађевински факултет (2017)

4.8.3 3D анализа стабилности

Анализа стабилности се користи приликом решавања проблема из домена раванских напона и деформација стенског материјала по одређеном геотехничком или инжењерскогеолошком пресеку терена. Међутим, већина геотехничких истраживања и проблема, који се решавају, су тродимензионални проблеми, па се 2D моделима сматрају упрошћавања или свођења реалног 3D простора на решавање проблема из домена раванске деформације. Ова чињеница нарочито долази до изражаја ако се узме у обзир да већина сложених клизишта нема идеалну клизну раван, већ је у питању 3D клизна површ неправилног облика. Тиме је у инжењерској пракси створена потреба за 3D анализама стабилности, уместо већ устаљене и разрађене 2D анализе по задатом пресеку. Први радови, који приказују примене неке од стандардних метода за 3D анализу стабилности косина, су се појавили почетком 70-тих година XX века, да би права експанзија објављивања радова са том тематиком почела 80-тих година (Chen & Chameau, 1983; Leshchinsky et al., 1985; Hungr et al., 1989; Lam & Fredlund, 1993).

Софтверски пакети развијани крајем XX и почетком XXI века су углавном били базирани на решавању проблема применом 2D приступа за анализу стабилности косина, који је већ био прихваћен као стандардни за анализирање и прорачун фактора сигурности базираних на методама граничне равнотеже. Поред поменуте методе, у геотехничкој пракси се са развојем рачунарских компоненти и софтверских пакета све више користе и методе које примењују теорију пластичности, као и методе коначних елемената, које су доста комплексније како за прорачуне, тако и за оптимизацију улазних параметара и калибрацију модела.

Приликом примене методе граничне равнотеже за прорачун стабилности морају бити усвојене следеће претпоставке (Ćorić, 2008):

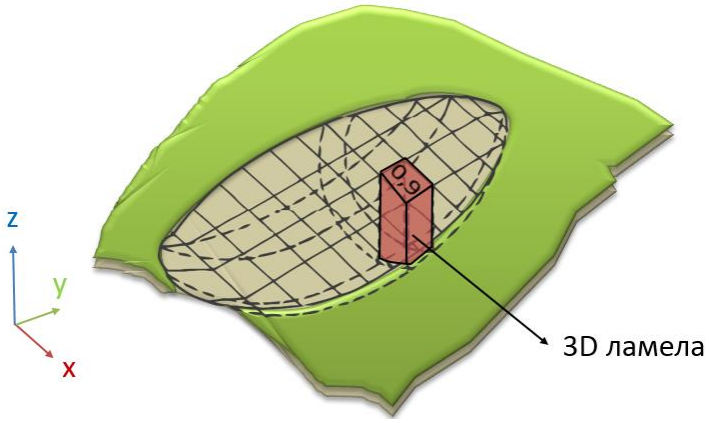
1. механизам лома је дефинисан дуж стварне или потенцијалне клизне површине;
2. дуж клизне површине мора бити усвојен услов лома;
3. усваја се претпоставка да је лом круто-пластичан;
4. постављају се услови статичке равнотеже клизног тела;
5. прорачунава се претходно дефинисана вредност фактора сигурности.

Фактор сигурности (Fs), који се прорачунава анализом стабилности приказује однос чврстоће смицања тла и смичућих напона који су потребни за одржавање равнотеже клизног тела. Иако вредности Fs>1,0 одређују да је косина у стабилном стању, у инжењерској пракси, у зависности од поузданости и релевантности улазних података коришћених за анализу стабилности, као и нивоа пројектовања и значаја проблема који се решава, усвајаја се да су вредности Fs у распону 1,2 - 2,0 стабилне.

У инжењерској пракси се често поставља питање тачности примене дводимензионалне анализе за решавање тродимензионалног проблема, па су тако Duncan & Wright (2005) приказали да вредности Fs који су добијени применом 3D анализа већи од оних које су добијене 2D анализом. Оваква тврдња је била оправдана претпоставком да се приликом примене 2D анализе, оне увек врше по најкритичнијем пресеку тј. по оном пресеку који је најдужи по правцу клизања и на коме су највеће дубине до реалне или потенцијалне клизне површи. Исти аутори наводе да разлике добијене 2D и 3D анализом се углавном крећу до 10%. За разлику од 2D анализе стабилности, која са собом носи проблем одређивања положаја и међусобних односа међуламералних сила, као и начина коришћења услова из једначина равнотеже, применом 3D методе граничне равнотеже се отклањају наведени проблеми.

Савремени софтвери, који омогућују 3D анализу применом методе граничне равнотеже се заснивају на методи ламела (Слика 38), које се дискретизују и потом се врше прорачуни за сваку појединачну ламелу унутар клизног тела (померајући тачку претраге по x, y и z осама), којих може бити и више милиона. Овај број зависи од поставки претраге и прорачуна, као и резолуције ћелије ламеле за коју се врши прорачун. У зависности од софтвера који се примењује, могуће је приликом прорачуна узети у разматрање утицај топографије терена коришћењем DEM-а (Reid et al., 2015), као и остале факторе који могу бити пресудни за активирање клизишта као што су: промене порних притисака, утицај земљотреса итд. Такође, могуће је за сваку ламелу извршити неколико итерација прорачуна са различитом геометријом клизне равни (кружна, елипсаста, неправилна), док се за коначни Fs, усваја најнижи срачунати. Резултати анализе се потом могу приказати растерски, као карта дистрибуције глобалног фактора сигурности за цело клизно тело или за анализиране мање сегменте (блокове) и потом могу бити коришћени за анализе и корелације са подацима који су добијени другим методама.

На овај начин је било могуће прорачунати релативну стабилност терена на клизишту „Умка“, у зависности од морфологије терена, усвојених геотехничких параметара, хидролошких и хидрогеолошких услова. Наведено је било од великог значаја приликом процене хазарда, јер је на тај начин било могуће, у зависности од карактеристика примењеног софтвера и коришћених улазних података, срачунати факторе сигурности блокова клизишта „Умка“ приликом реализације усвојених сценарија (Reid et al., 2015). Ограничења, која су се јавила приликом примене 3D анализе стабилности и прорачуна фактора сигурности, су се огледале у условима које је било потребно испунити по наведеним теоријским поставкама, а на којима су засновани прорачуни, као и немогућности вршења напонско-деформацијске анализе, за шта би морали бити коришћени софтвери који су базирани на методама коначних елемената.



Слика 38. Шематски приказ 3D анализе по ламелама применом методе граничне равнотеже (Chen & Chameau 1983, измењено)

Применом метода даљинске детекције добијени су DEM-ови високе резолуције, који су били примењени за 3D анализу стабилности. Том приликом су се јавили проблеми манипулације 3D геометрије, услед ограничења рачунарске конфигурације, која је коришћена за прорачуне, као и постојање великог броја елемената и ламела за које је било неопходно извршити прорачун. Из тих разлога, такве моделе терена је претходно било потребно оптимизовати, тј. упростити (смањењем резолуције и конверзијом у TIN) тако да је смањена прецизност модела у најмањој могућој мери (Wang et al., 2017).

Највећи изазов приликом припремања података за 3D анализу стабилности клизишта „Умка“ представљала је геометризација спољних и унутрашњих граница (грађе и облика клизне површи, НПВ-а, геолошких средина итд). Како би свака геолошка средина била адекватно моделована било је неопходно познавање дубине до подине и повлате свих геолошких средина. Такав приступ је захтевао систематско прикупљање и обраду података значајног броја геометријски равномерно заступљених истражних радова. За правилно моделовање НПВ-а за 1992. и 2005. годину, коришћени су резултати већег броја равномерно распоређених, уграђених пијзометарских конструкција, које су осматране током израде техничке документације. Моделовање НПВ-а за 2017. годину је извршено на основу резултата инжењерскогеолошког рекогносцирања и картирања нивоа воде у активним бунарима на клизишту „Умка“.

Код клизишта „Умка“, које је са подножичним утицајем ерозије и хидролошком везом са Савом, било је неопходно редовно вишегодишње праћење нивоа водостаја ради правилног успостављања различитих сценарија, за потребе анализе стабилности. Пошто је утицај ерозије подножичног тока био велики, за потребе правилне геометризације терена било је неопходно анализирати батиметријске податке о дубини тј. морфологији речног корита у зони клизишта „Умка“. Поред геометризације (тј. дефинисања граница модела) било је неопходно дефинисати параметре који су коришћени за прорачун стабилности (опште физичке параметре чврстоће). Од физичких параметра дефинисане су запреминске тежине геолошких средина у сувом, природно влажном и засићеном стању, док су од параметара чврстоће усвојене вредности кохезије (c) и угла унутрашњег трења (φ). Наведене параметре је било могуће усвојити једино на основу резултата лабораторијских опита, који су вршени на непоремећеним узорцима из сваке појединачне геолошке средине и клизне зоне. Реално 3D геолошко моделовање је услед хетерогености геолошких својстава изузетно комплексно, па је за потребе оптимизације прорачуна рачунарском конфигурацијом, било неопходно поједноставити модел. Поједностављење је постигнуто упрошћавањем геометрије и усвајањем претпоставке да су вредности физичких параметара исте у сваком делу исте геолошке средине.

Приликом анализе активних или реактивираних клизишта, за која је претходним детаљним инжењерскогеолошким и геотехничким истраживањима утврђена дубина и облик клизне површи, прорачун Fs се спроводи за ту исту површину која, потом, улази у састав геотехничког модела, најчешће као слаби слој (енг. *weak layer*). Такође, приликом прорачуна се усваја претпоставка да је дуж клизне површи остала само резидуална чврстоћа, која се супротставља клизању, тако да је прорачун сведен на повратну анализу са одређивањем резидуалног угла унутрашњег трења, који је усвојен условима граничне равнотеже (Hadži-Niković, 1995). Наведени принцип и претпоставке су усвојене за потребе анализе стабилности клизишта „Умка“.

Код примене метода прорачуна граничне равнотеже Fs се сматра константним дуж целе клизне површи, што је представљало значајно ограничење и упрошћавање, нарочито за потребе процене хазарда клизишта „Умка“. Да би се наведено ограничење превазишло, приликом 3D анализе стабилности клизишта „Умка“, клизно тело је подељено на мање блокове и прорачун фактора стабилности је вршен за сваки блок појединачно (Tiwari & Douglas, 2012; Wang et al., 2013). На овај начин је створена могућност за процену хазарда од клизишта „Умка, али је поступак био комплекснији и временски захтевнији, јер је подразумевао више прорачуна у односу на класичан приступ, када се клизиште анализира као целовито.

За потребе 3D прорачуна методом граничне равнотеже, анализирана је могућност примене више различитих софтвера као што су: SVSlope[27], Scoops3D[28] и Slide3[29]. Услед недостатака меродавних и релевантних параметара за напонско-деформациону анализу (деформационих карактеристика и стања примарних напона геолошких средина), нису разматрани нити коришћени програми који се заснивају на примени метода коначних елемената. На основу неколико итерација и пробних прорачуна применом наведених софтвера, као најпогоднији је одабран Slide3.

DEM-ови подине и повлате геолошких средина, који су коришћени за 3D геометризацију и анализу стабилности клизишта „Умка“, добијени су IDW методом интерполације. На тај начин, добијени DEM-ови који били су у растерском формату и било је потребно конвертовати их у TIN формат који је потом на једноставан начин увежен у Slide3.

За потребе геометризације 3D геотехничког модела клизишта „Умка“ било је неопходно израдити више DEM-ова који су коришћени приликом анализе стабилности:

- DEM површине терена клизишта „Умка“ и шире околине;
- DEM корита Саве у зони клизишта „Умка“;
- DEM клизне површине клизишта „Умка“;
- DEM повлате миоценских лапора у зони клизишта „Умка“ и шире околине;
- DEM нивоа подземних вода и нивоа Саве у зони клизишта „Умка“.

Повратна анализа

За клизиште „Умка“ анализу стабилности је било могуће вршити, не само за прорачун фактора сигурности на основу познатих физичких параметара тла, већ је било могуће и одређивање истих у тренутку и зони лома, применом методе повратне анализе. Код активних клизишта, са познатим обликом и димензијом клизне површине, као што је „Умка“, методом повратне анализе било је могуће израчунати резидуални угао унутрашњег трења (φ’), уз усвајање да је кохезија једнака нули, јер је већ дошло до губитка чврстоће некретане стенске масе и уз усвајање претпоставке да је том приликом вредност Fs = 1.

На основу бројних лабораторијских испитивања, које се вршене на узорцима из тела клизишта и клизне зоне од стране Института за путеве из Београда, одређене су репрезентативне вредности физичко-механичких параметара (Jelisavac et al., 2006), које су приказане у табели 23. Повратном анализом, након неколико стотина прорачуна на 2D пресецима, усвојена је вредност $\phi_r' = 9°$ за $c_r' = 0$.

Табела 23. Репрезентативне вредности физичко-механичких параметара за потребе пројектовања и 2D моделовања на основу архивске документације (Abolmasov et al., 2015)

Инж. геол јединица	Ознака	φ_r'(°)	c_r'(°)	I_c ; ω
Тело клизишта „Умка“	($Ко_a^{gl}$)	7-13	0	I c ≤ 0,5; w = 30–45 %
Глине лапоровите	(M_3^2GL)	7-22	15 - 30	I c = 0,5–1,2; w = 20–45 %
Лапори	(M_3^2L)	18-28	50 - 200	I c >> 1; w ≤ 30 %

Како је за потребе израде ове дисертације била извршена 3D анализа стабилности клизишта „Умка“, дефинисана је нова клизна површ која је коригована за утицај ерозије Саве. Услед наведеног, било је неопходно извршити нову повратну анализу, али овога

[27] https://www.bentley.com/en/products/brands/soilvision (приступљено 21.02.2020.)
[28] https://www.usgs.gov/software/scoops3d (приступљено 21.02.2020.)
[29] https://www.rocscience.com/software/slide3 (приступљено 21.02.2020.)

пута у 3D окружењу, па су добијене нешто другачије вредности параметара чврстоће у односу на оне које су приказане у табели 23.

4.8.4 Подела на квази-геотехничке блокове

Резултатима претходних истраживања клизиште „Умка“ је дефинисано као комплексно блоковско клизиште са различитом динамиком, и интензитетом, степеном деформација терена и оштећења објеката (Vujanić et al., 1992; Jelisavac et al., 2006; Abolmasov et al., 2015). На делове клизишта који су ближи Сави, њен ниво имати већи утицај на стабилност тих делова, него ниво подземне воде, који ће имати већи утицај на хиспонометријски вишим деловима терена. Ова претпоставка се издвојила јер је разлика надморске висине од коте Саве, у ножици клизишта, у односу на зону чеоног ожиљка, преко 100 m, и улед постојања значајне разлике у дубинама и нагибу клизне површине унутар клизног тела. .

У геотехничкој пракси, приликом 3D моделовања и анализе стабилности комплексних клизишта, клизно тело је могуће поделити на основу: морфологије, дубине до клизне равни и инструментално утврђене динамике на квази-геотехничке блокове, који ће имати сличну или исту динамику за сваки одређени сценарио у моделу (Tiwari & Douglas, 2012; Wang et al., 2013). Такви квази-геотехнички блокови се посебно анализирају и прорачунава се глобални фактор сигурности за сваки од њих.

Услед наведеног, јавила се потреба за ревизијом већ дефинисаних блокова, која је оправдана и чињеницом да су извршена нова инструментална опажања и допунске теренске опсервације динамике. За потребе диференцирања квази-геотехничких блокова на основу утврђене динамике клизишта „Умка“ креиране су различите олеате које су потом експертски анализиране како би се утврдила делинеација између блокова. Коришћене су следеће инжењерскогеолошке и геотехничке подлоге: карта нагиба, карта експозиције према странама света, које су добијене на основу DEM-а клизне површине, карта дубине до клизне површине, геоморфолошка карта, добијена на основу теренске опсервације из 2017. године, карта вектора померања, добијенана основу инклинометара и геоморфолошка карта, добијена на основу фотограметријске анализе UAV снимака из 2019. Све наведене олеате су коришћене за формирање нових квази-геотехничких блокова.

Блокови су формирани на основу следећих критеријума:

- сваки блок је садржао делове клизне површине сличне морфологије, на првом месту дубине, нагиба и експозиције нагиба;
- сваки блок је садржао приближно исте азимуте вектора укупног померања на основу инклинометарских осматрања;
- сваки блок је садржао или био оивичен морфолошким облицима карактеристичним за клизишта попут секундарних ожиљака и истрбушења у логичном распореду;
- приликом формирања блокова узета је у обзир и деформисаност као и оштећеност постојећих објеката високоградње и нискоградње.

На основу наведених критеријума, који су на посредан начин узети у обзир, сви релевантни инжењерскогеолошки и геотехнички параметри од значаја за дефинисање комплексног тродимензионалног геотехничког модела, формирано је седам квази-геотехничких блокова. У односу на претходно усвојени геотехнички модел клизишта „Умка“ највеће промене су се односиле на редефинсање границе између Блока А и Блока В (Слика 39), док је сам Блок В подељен на пет мањих квази-блокова.

5. Резултати истраживања

У овом поглављу дат је детаљан опис свих резултата, који су добијени на основу примењених методолошких поступака описаних у претходном поглављу. Прво су дати резултати анализе литературних података и техничке документације, са критичким освртом и њиховом реинтерпретацијом. Затим су приказани резултати свих истраживања на основу којих је формиран 3D модел клизишта „Умка“. На крају су приказани резултати пописивања елемената у ризику, који су били од значаја за дефинисање њихове угрожености као једне од компоненте ризика. Редослед потпоглавља је формиран по концепту „од хазарда до ризика“.

5.1 Резултати анализе литературних података и техничке документације

У наставку следи приказ анализе и интерпретације литературних података и техничке документације о клизишту „Умка“ са критичким освртом и њиховом применом приликом израде ове дисертације.

5.1.1 Морфометријске и геоморфолошке одлике

На основу до сада извршених инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања терена (Vujanić et al., 1992, 1995; Jelisavac et al., 2006), клизиште „Умка“ је класификовано према: облику клизне површи, површини, запремини и механизму кретања. На основу резултата мониторинга (Jelisavac et al., 2006; Abolmasov et al., 2012a, 2015; Erić et al., 2015) клизиште је класификовано и према брзини кретања. Сходно наведеном, клизиште „Умка“ према међународној IAEG класификацији (“Suggested nomenclature for landslides,” 1990), као и према Crudenu и Varnes-у (1996) спада по механизму кретања у клизишта док према врсти покренутог материјала припада клизиштима формираним у тлу тј. распадини. Према активности класификовано је као активно тј. са активним (акутним) процесом клижења, док је на основу места формирања и начину увећања тела клизишта, сврстано у клизишта, чије се кретање након реактивирања одвија као секундарно кретање унутар тела клизишта (енг: dimishing). Према брзини кретања спада у врло спора клизишта (до 1,6m/год), и то ако се посматра брзина највише померене тачке у блоку B (на основу резултата мониторинга).

Генерални нагиб падине је просечно 8°, са локалним одступањима јер је падина заталасана са изразитим појавама удолина и мањих узвишења, метарских до декаметарских димензија. Сви полулучни прегиби, улегнућа која су локално забарена, истрбушења, секундарни ожиљци и пукотине у тлу, карактеристични су морфолошки показатељи присуства клизишта која су се развила на десној долинској страни реке Саве и долинским странама потока Степашница и Дубоко (Ђурић, 2011). Најистакнутије географске форме рељефа су Сагића Брдо (на котама 185-191 m) и гребен Руцка (са распоном кота од 188-299 m).

Клизиште са својим границама формира неправилни облик троугласте лепезе. Западна граница клизишта исклињава испод нивоа реке Саве и прати њен ток (правац југозапад-североисток), западна граница се простире дуж пута за Руцку тј. Улице Душана Дамјановића (правац северозапад - југоисток) и потом конвергира испод шумарка Карауле, где формира нови правац југозапад – североисток преко Улице липик.

Генерално посматрано, на подручју је заступљен равничарски и брдски тип рељефа. Између потока Степашница и Дубоко, на неједнако урбанизованој падини, чији нагиби у зони очуваних ожиљака досежу локално и преко 25°, формирано је клизиште „Умка“. Вододелнички превоји падине, на којој је образовано клизиште, удаљени су од локалне

ерозионе базе реке Саве (кота дна 52 - 57 m) 350 - 1050 m, са максималном висинском разликом око 135 m. Падине које су захваћене процесом клижења су заталасане, са изразитим појавама удолина, узвишења и забарења метарско - декаметарских димензија. Геоморфолошки процеси који доминантно обликују падину су: флувијални процес реке Саве, пролувијални, делувијални, колувијални и рецентни антропогени.

На основу свих до сада изведених истраживања, и вишегодишњег мониторинга, Jelisavac et al. (2006) су предложили механизам клижења терена клизишта „Умка“ и суседног клизишта „Дубоко“. На основу сличности механизама кретања и брзине клижења, цела нестабилна зона је подељена у више блокова. Jelisavac et al. (2006) су клизиште „Умка“ поделили у три блока (A,B,C), који се разликују према површини и дубини клижења, механизму клижења дуж клизне површи али и смера и брзине кретања (Слика 39). Блоковска подела клизишта је након тога више пута потврђена допунским геотехничким радовима, вишегодишњим перманентним геодетским мониторингом (Abolmasov et al., 2018), методама осматрања даљинском детекцијом (Abolmasov et al., 2012a) и повременим геодетским опажањем тачака клизишта.

Блок А се простире у северозападном делу клизишта „Умка“ и оивичен државним путем IB26 и коритом реке Саве и Улицом. Захвата приближно 1/3 од укупне површне клизишта „Умка“. Граница са блоком B се протеже у правцу југозапад-североисток. У доњем делу, ова граница исклињава у кориту реке Саве док је изражена у виду стрмих секундарних ожиљака испод самог пута бр. 26. Хипсонометријски посматрано, овај блок је са нижом надморском висином површине терена која варира од ~ 67 m до 100 m (Слика 39-А). Претходним истраживањима је утврђено да у овом блоку највећа дубина до клизне површине местимично иде и преко 25 m (Слика 39-Б). Током 2005. године, осматрањем уграђених 10 инклинометара од стране Института за путеве из Београда регистрована су укупна померања од 6 cm за период од марта до маја месеца 2005. године. Према Јелисавцу и осталима (2006) померања се у овом блоку одвијају транслаторно све до контакта деградираних лапоровитих глина и чврстих лапора који се налазе у подини. У севернијем, низводном делу блока, процесом клижења је обухваћен и мањи глиновито - муљевити нанос Саве. У зони чеоног дела овог блока, присутни су бројни стрми одсеци и ожиљци као и депресије које се стварају услед тоњења терена где се потом сабирају површинске и отпадне воде које потом чине овај блок водозасићеним. Деформације објеката у овом блоку су биле мањег интензитета током картирања 1992. и 2017. године, потпуно урушени објекти су веома ретки док има свега пар објеката који су са озбиљнијим оштећењима конструкције и то у зони границе са блоком B.

Блок B се простире у облику појаса дуж правца југозапад – североисток, који је променљиве ширине од 300 m, а местимично и до 500 m. Површински заузима највећи део клизишта „Умка“, чинећи приближно 2/3 његове укупне површине. Источна граница овог блока се пружа путем за Руцку, па се потом преко гребена и шумарка Карауле, спушта ка југоистоку настављајући испод пута бр. 26 до корита реке Саве. Хипсонометријски посматрано, у овом блоку надморске висине варирају од ~ 67 m до 185 m (Слика 39-B). Дубина клизишта у овом блоку је променљива и варира од 4 до 21 m (Слика 39-Г). Према претходним истраживањима (Vujanić et al., 1992; Jelisavac et al., 2006) само тело блока B оплићава на контакту са блоком A на дубине од 4 - 8 m. Као и код блока A, и овде се померања реализују на контакту деградираних лапоровитих глина са свежим лапорима у подини. Механизам померања је транслаторан, док сама ножица исклињава у самом еризионом базису Саве. Блок B представља најактивнији блок клизишта, са великим померањима која иду и до неколико десетина cm на годишњем нивоу. Оштећења објеката у овом блоку су најизраженија и најбројнија и то у зони контакта са блоком A, као и на делу клизишта, који се налази испод државног пута IB26 и који пада

према кориту реке Саве. На скоро свим инклинометрима, који су били уграђени током 2005. године дошло је до брзог и наглог пуцања инклинометарских конструкција, док инсталирана перманентна GNSS станица указује на константно померање (Erić et al., 2015). Терен је са израженим бројним деформацијама у виду: секундарних и чеоних ожиљака, депресија, истрбушења и пукотина у терену. Поред наведеног, присутни индикатори процеса клижења су и „пијано дрвеће“, присуство раставића и забарења на самој површини терена. Блок има нешто другачију динамику у зони изнад и испод државног пута IB26.

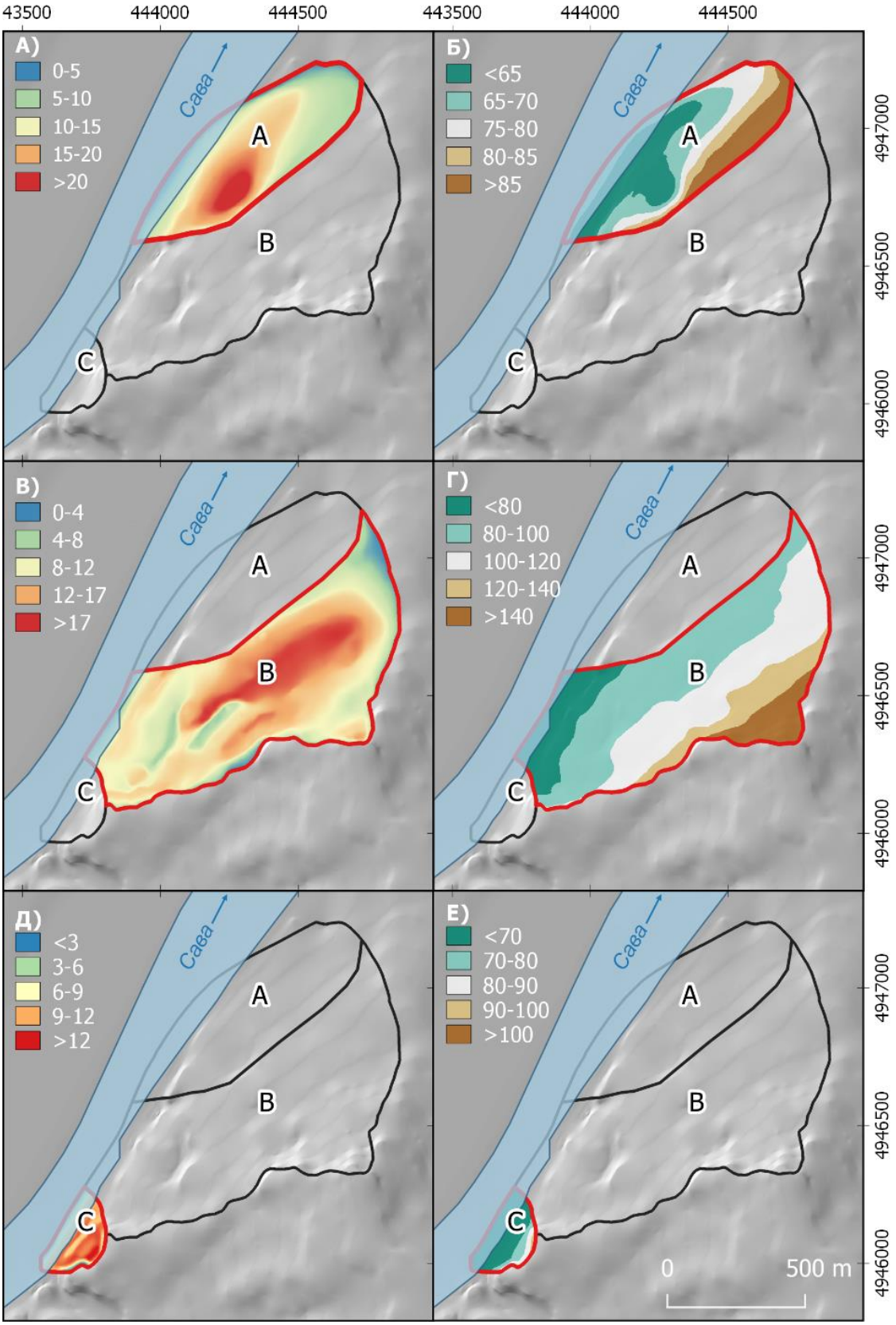
Блок C се простире у самом узводном делу клизишта „Умка“ у његовом југозападном делу и заузима неправилан, лепезасти облик. Релативно је малих димензија и површински је најмањи блок који обухвата свега 5% од укупне површине клизишта. Хипсонометријски посматрано, у овом блоку надморске висине варирају исто као код блока А, од ~ 67 m до 102 m (Слика 39-Д), док је дубина до клизне површине у овом блоку највероватније и до 15 m (Слика 39-Е). Према претходним истраживањима (Vujanić et al., 1995; Jelisavac et al., 2006) бокови чеоног ожиљка су лучни и са висинама од преко 10 m који се стрмо спуштају ка Сави што сам блок чини изузетно неприступачним. Сава је у зони овог блока са највећом дубином од преко 20 m и најужом ширином од свега 200 m са израженом десном бочном ерозијом, која је усмерена ка ножици блока. Изражена ерозија Саве доводи и до колапса бочних граничних делова самог блока. Блок је обрастао густом вегетацијом, што га чини непогодним за било коју методу мониторинга или истраживања. Ипак, током 1991. године Институт за путеве из Београда је у самом блоку извео једно истражно окно дубине од 18,6 m (O-3, Слика 10) и тада је утврђена зона смицања на 10 m дубине, такође у зони контакта деградираних лапоровитих глина и сивих лапора у подини као код блока А и В. У блоку нема угрожених стамбених нити инфраструктурних објеката.

Површина сваког блока појединачно, изражена у различитим јединицама за површину, као и процентуалним уделом сваког блока у односу на укупну површину клизишта „Умка“ је дата у табели 24.

Табела 24. Површина клизишта „Умка“ и његових блокова, изражена у најчешће коришћеним јединицама за површину, са процентуалним уделима учешћа у укупној површини клизишта

	Површина			
Блок	**m²**	**km²**	**ар**[30]	**%**
A	249368	0.249368	2493.68	30.02
B	537227	0.537227	5372.27	64.67
C	44167	0.044167	441.67	5.32
Клизиште „Умка“	**830762**	**0.83**	**8307.62**	

[30] Иако ар (као и хектар) више није у употреби у међународном систему јединица (SI), и даље се користи у значајној мери код локалног становништва, у медијима и коресподенцији појединих државних органа (нпр. за потребе експропријације итд.)



Слика 39. Инжењерскогеолошки модел клизишта „Умка“са приказом дубине до клизне површи и апсолутних надморских висина клизне површи. А и Б) Блок А; В и Г) Блок В; Д и Е) Блок С, на основу података (Jelisavac et al., 2006)

5.1.2 Хидролошка својства корита реке Саве

Хидролошка истраживања су изведена у више фаза и то за потребе регулације тока реке Саве у непосредној зони клизишта Умка и Дубоко. Истраживања су изведена у оквиру израде идејног и главног пројекта аутопута Београд – Јужни Јадран. Истраживања су поверена Институту за водопривреду Јарослав Черни из Београда[31] и том приликом су дефинисани сви релевантни хидрометеролошки и хидрографски параметри шире зоне клизишта Умка и Дубоко која је обухваћена коридором тада пројектованог аутопута.

Резултати истраживања су пружили најзначајније климатске елементе истраживаног подручја као и све неопходне хидролошке параметре који су били од значаја за пројектовање. Пројектована траса аутопута је, поред Саве пресецала и неколико значајнијих водотокова: Колубару, Тамнаву, Љиг и бројне друге притоке, које су, такође, биле предмет тадашњих истраживања. Главни закључак ових истраживања је, да је корито Саве од Умке до Барича нетипично по свом облику и димензијама, у односу на просечне морфолошке одлике у нешто удаљенијем узводном делу тока. У непосредној зони клизишта „Умка“ и „Дубоко“, а након завршетка Баричке аде, корито се у значајној мери сужава са просечних 400 m ширине за скоро 50% на свега 200 m, да би се након Умке поново проширило на 400 m. Наведена аномалија се одражава и на дубину тока, који износи на сливу Саве просечних 9 m, док се на потезу између Умке и Барича оно продубљује на 19 m што је условило остале атипичности значајнијих хидролошких параметара, као што су протицај, ниво речног тока итд. Даље се закључује да у поменутој зони деснообална инудација није изражена и да чак ни не постоји, већ је корито реке Саве формирано непосредно уз само побрђе на десној обалској страни. Лева долинска страна је питома, равничарска, са просечних 73 m надморске висине и са изграђеним водоодбрамбеним насипом просечне висине 5 m. Аутори студије су такође потврдили претходна истраживања да су геоморфолошки и савремени геодинамички процеси, који се одвијају на десној обалској страни у директној вези са процесима који се дешавају у кориту реке Саве. Ниво Саве је делимично регулисан услед изградње Х. Е. Ђердап, али је сама обала у зони насеља нерегулисана, тј. без заштитног насипа па са почетка пролећа Сава надолази и плави приобаље. Најближи насип је од старе железничке пруге Београд – Обреновац, који брани само део насеља иза насипа.

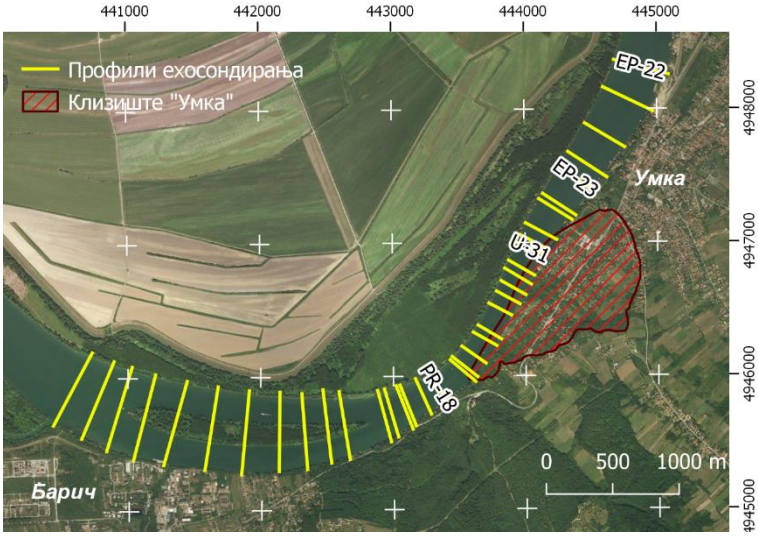
Од битнијих истраживања, која су изведена од стране Института Јарослав Черни, важно је напоменути да је за потребе израде пројекта из 1991. године током јула месеца 1990. изведено ехосондирање, тј. снимање попречних профила основног корита реке Саве у дужини од 10 km. Снимање корита ехосондирањем је поново изведено током априла 2005. године, од Умке до ушћа реке Колубаре у Саву. На основу тих снимања и укупно 37 профила израђени су дигитални модели речног корита који су потом искоришћени за остале фазе пројектовања. Четири од 37 профила су искоришћена за потребе прорачуна нивоа Саве код клизишта „Умка“ за потребе израде ове дисертације (Слика 40).

На основу изведених истраживања, институт Јарослав Черни је утврдио меродавне параметре, нивое који су од посебног значаја за пројектовање и извођење регулационих радова у истражном подручју, а који су коришћени за израду ове дисертације (Табела 25).

[31] Идејни пројекат: „Хидротехничко уређење корита реке Саве и приобаља на сектору Умка – Дубоко у функцији изградње аутопута Е 763 Београд - Јужни Јадран“ (2005).

Табела 25. Меродавни нивои реке Саве, који су од значаја за пројектовање (на основу истраживања Института Ј. Черни, Београд)

Меродавни ниво	Протицај Q [m³/s]	опис
Z_1% = 76.90	6511	стогодишња велика вода реке Саве која наилази на стогодишњу велику воду Дунава
$Z_{свв}$ = 73,30	3000	средња велика вода оријентационо пуно основно корито, највероватнији услови на ушћу
$Z_{св}$ = 71,70	1570	средња вода, највероватнији услови на ушћу
$Z_{мв}$ = 69,90	400	мала вода реке Саве, при условима депресије на ушћу и минимални ниво за пловидбу



Слика 40. Позиција извршених снимања профила речног корита Саве ехосондирањем. Словно-бројчане ознаке показују профиле који су коришћени за прорачун нивоа Саве код Умке

5.1.3 Хидрогеолошка својства терена

Хидрогеолошка својства стенских маса и околног терена су таква, да на највећем делу подручја истраживања, посебно на подручју тела клизишта „Умка“, постоје акумулације подземних вода у водоносним срединама ниже пропусности. Изузетак је мањи део терена, који је изграђен од алувијалних наслага реке Саве, где се у прашинасто-глиновитим песковима формирају субартеске издани.

Квартарне наслаге са кором површинског распадања неогених седимената, која се простире непосредно у зони клизишта „Умка“ представљају хидрогеолошке колекторе. Алувијални пескови, који су најчешће прашинасто-глиновити са међузрнском суперкапиларном порозношћу у хидрогеолошком смислу представљају колекторе у којима је формирана стална издан. Ови пескови се у непосредној зони клизишта „Умка“ већински простиру дуж леве обале Саве, док се мања простирања дуж десне обале налазе у зони Баричке аде и заравни код фабрике картона. Делувијалне наслаге, кора распадања и лесни покривач су у значајној мери издељени микро прслинама, док је лес са очуваном цевастом суперкапиларном структуром, што их чини слабим хидрогеолошким колекторима спроводницима. Кроз ове седименте се углавном из чеоних и ободних делова падина подземне воде процеђују ка телу клизишта (Vujanić et al., 1992; 1995; Jelisavac et al., 2006).

Са друге стране, глинене компоненте алувијалних наслага које су забележене углавном по ободним деловима клизишта „Умка“ као и комплекс масивних, компактних горње-панонски лапора (M_3^2L) представљају средине које су слабо водопропусне до водонепропусне, па се у хидрогеолошком смислу сматрају изолаторима. Водопропусност издвојених инжењерскогеолошких јединица дата је у табели 26.

Ниво подземне воде на клизишту „Умка“ је генерално неуједначен унутар хидролошки изолованих акумулација – издани са слободним нивоима се налазе на дубинама до 8 m од површине терена, где је и зона пражњења, што је и потврђено осматрањем пијезометара током 1990. – 1991. године (Vujanić et al., 1995). Високи нивои подземних вода су забележени у пијезометрима и бунарима током детаљних геотехничких истраживања у периоду од јануара до августа 2005. године (Jelisavac et al., 2006). Детаљним хидрогеолошким истраживањима и анализама које су изведена током 1990-1991 године, добијени су следећи подаци о коефицијенту филтрације (Kf) и ефективне порозности (μ) за различите инжењерскогеолошке и литолошке средине (Табела 26):

Табела 26. Хидрогеолошки параметри издвојених инжењерскогеолошких јединица на клизишту „Умка“; (Kf) – коефицијент филтрације; (μ) – ефективна порозност
(Vujanić et al., 1992)

стенска маса	ознака	Kf (m/s)	μ	водопропусност	везаност
колувијум	Ko_a^{gl}	$1x10^{-7}$ - $1x10^{-5}$	0,08 - 0,12	пропусна	полувезана
алувијалне наслаге	$al^{p,pg}$	$1x10^{-5}$	0,12	добро пропусна	невезана
лесоидна глина	dl-l	$1x10^{-7}$ - $1x10^{-6}$	0,08 - 0,10	слабо пропусна	полувезана
песковито-прашинаста глина	dl-pg	$1x10^{-8}$ - $1x10^{-6}$	0,06 - 0,10	слабо пропусна	полувезана
глина лапоровита	M_3^2GL	$1x10^{-7}$ - $1x10^{-6}$	0,08 - 0,10	слабо пропусна	полувезана
лапор	M_3^2GL	$1x10^{-8}$	/	непропусна	полувезана

Од осталих хидрогеолошких параметара и својстава, након анализе резултата, утврђено је следеће: у зони клизних површина коефицијент филтрације износи Kf = $3x10^{-8}$, док је ефективна порозност μ = 0,12. Колувијум карактерише знатно нижа водопропусност у хоризонталном него у вертикалном смеру, под утицајем климатских фактора, што условљава врло висок хидраулички градијент (Vujanić et al., 1992).

На основу резултата хидрогеолошких истраживања и осматрања уграђених пијезометара и бунара током 1990. - 1991. и 2005. године, закључено је да подземне воде, као један од основних и непосредних узрока за формирања, активирања и развоја самог процеса клижења, егзистирају у подручју „Умке“ као хидраулички неповезане акумулације подземних вода као (Vujanić et al., 1992, 1995):

- акумулације подземних вода са слободним нивоом, које су најчешће формиране у горњем делу тела клизиште до дубине 6 - 8 m;
- акумулације подземних вода субартеског типа које су формиране у „здробљеним“ зонама уз најдубље зоне смицања и клижења.

Акумулације подземних вода са слободним нивоом на подручју клизишта „Умка“ налазе се у целом телу клизишта и њихова основна карактеристика је да се оне формирају инфилтрацијом од атмосферских падавина и од комуналних отпадних вода (из оштећених делова водоводне мреже, септичких јама, сенкрупа, бунара и запуштених дренажних ровова и канала у насељеним деловима). Изузетак од наведеног је приобални појас уз Саву и поток Степашница, где су промене водостаја реке и потока основни фактор формирања режима подземних вода. У зони појединих секундарних ожиљака, као и дубоким отвореним пукотинама у тлу, повремено се формирају изоловане акумулације подземних вода.

5.1.4 Анализа динамике клизишта инклинометарским осматрањем

Инклинометарске конструкције су у тело клизишта „Умка“ уграђиване и осматране у три различите временске епохе. Првих пет конструкција је уграђено током 1991. године и оне су осматране са већим или мањим прекидима до 1995. године. Приликом интерпретације података добијених очитавањем, утврђено је да постоји више типова померања унутар тела клизишта „Умка“, чиме је први пут показано да динамика клизишта није једнозначна. Утврђено је да се у телу клизишта јављају четири типа померања: равномерна транслаторна, равномерна транслаторна са накнадним активирањем плиће клизне површи, сложено померање дуж више клизних површина и неравномерна померања по дубини која се могу окарактерисати као пужења.

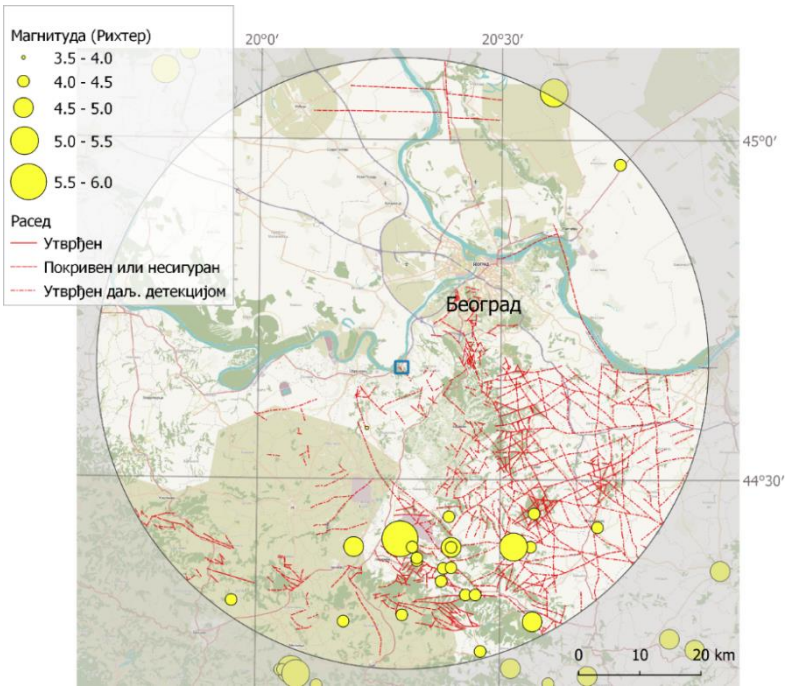
Током 2005. године у тело клизишта „Умка“ уграђено је укупно 19 инклинометарских конструкција. Током периода осматрања, од фебруара до јула месеца 2005. године, само у једној (Bi-34) нису констатована померања, која би могла да се карактеришу као последица клижења, док су у једној померања била толика, да је инклинометарска конструкција била уништена до следећег очитавања (Bi-58). Након анализирања података са инклинометара, највећа померања су забележена на дубинама око 10 m (Bi-15), док се јасно издвајају три карактеристичне клизне равни на дубинама од 10 (d_{10}), 16 (d_{16}) и 20 (d_{20}) метара. Сви смерови померања су срачунати за сваки инклинометар у интервалу од 2 m, на основу вектора укупног померања очитаваних праваца и сви имају вредности у опсегу од 260° - 360°. Варијације азимута вектора померања по дубини унутар истог инклинометра су незнатна (±10°) и највероватније су последица руковања инструментом и очитавањем од стране различитих оператера.

За потребе провере постојећих података и добијања новијих релевантних сазнања о динамици клизишта Умка, средином априла месеца 2017. године, након извођења истражне бушотине, уграђена је инклинометарска конструкција дубине 20 m. Нулто мерење је извршено седам дана након уградње (25.04.2017), потом је уследило шест епоха очитавања (07.05., 12.05., 19.05., 25.05. и 25.06.2017) након чега је инклинометар ликвидиран, услед трајног уништавања и затрпавања шутом од стране непознатог лица. Положај инклинометра UM-1 је приказан на слици 41.

Слика 41. Инклинометарска конструкција уграђена након истражног бушења током 2017. године. са **лева на десно** – **1.** заштитна капа инклинометра; **2.** инклинометар са кабловима (SysGeo) коришћен за очитавање података; **3.** инклинометарска цев са адаптером за каблове; **4. -** затрпана инклинометарска конструкција грађевинским шутом

5.1.5 Регионална и локална сеизмичка активност

На основу јавно доступног каталога земљотреса за Републику Србију[32], може се закључити да је епицентрална зона између Лазаревца и Рудника доминантна и најближа клизишту „Умка“. Највећи број земљотреса на овом подручју се односи на главни удар и афтершокове Лазаревачког потреса из 1921. године, док се од рецентних појава догодио само један потрес магнитуде 3,9 по Рихтеру у околини Обреновца (село Дражевац), чији је епицентар био на удаљености од 12 km од клизишта „Умка“ (Слика 42, Табела 27).



Слика 42. Локације епицентара снажнијих земљотреса у кругу од 50 km од клизишта „Умка“ (плави квадрат), са уцртаним положајем важнијих раседа на основу ОГК

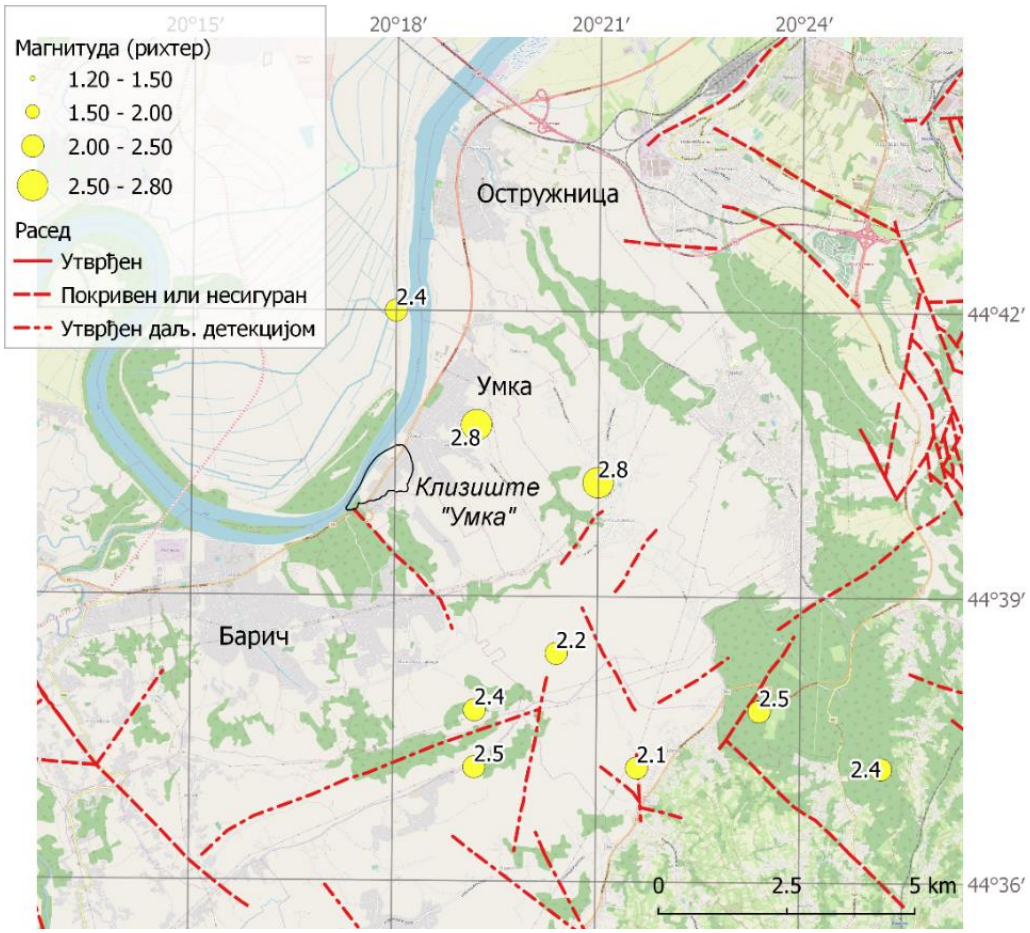
Табела 27. Приказ снажнијих земљотреса (M_w>3.5) који су се догодили од 1922-2010. године у радијусу од 50 km од клизишта „Умка“ са приказом важнијих информација

Датум	С.Г.Ш.	И.Г.Д.	Дубина (km)	Магнит. (M_w)	Општина	Локалност	Удаљеност (km)
24.3.1922	44.412	20.295	24	**5.7**	Лазаревац	Медошевац	29
24.3.1922	44.4	20.4	20	**4.8**	Лазаревац	Стрмово	31
25.3.1922	44.401	20.563	12	**4.5**	Аранђеловац	Раниловић	37
25.3.1922	44.33	20.43	6	**4.5**	Аранђеловац	Даросава	39
29.3.1922	44.38	20.33	6	**4.3**	Лазаревац	Дрен	32
1.4.1922	44.4	20.32	6	**4.5**	Лазаревац	Зеоке	30
16.4.1922	44.33	20.45	7	**4.4**	Аранђеловац	Даросава	40
3.6.1922	44.4	20.4	5	**4.4**	Лазаревац	Стрмово	31
4.9.1922	44.3	20.3	8	**4.3**	Лазаревац	Брајковац	41
4.9.1922	44.35	20.38	6	**4.3**	Лазаревац	Трбушница	36
30.9.1922	44.384	20.33	10	**4.4**	Лазаревац	Дрен	32
8.1.1923	44.369	20.384	9	**4.3**	Лазаревац	Трбушница	34
8.1.1923	44.29	20.18	12	**4.4**	Лајковац	Врачевићи	43
10.8.1923	44.445	20.395	8	**4.4**	Лазаревац	Араповци	26

[32] http://www.seismo.gov.rs (приступљено, 14.02.2020.)

Датум	С.Г.Ш.	И.Г.Д.	Дубина (km)	Магнит. (M_w)	Општина	Локалност	Удаљеност (km)
16.4.1924	44.37	20.4	6	**4.3**	Лазаревац	Рудовци	34
19.5.1926	44.401	20.528	20	**5.2**	Аранђеловац	Раниловић	35
15.5.1927	44.45	20.57	10	**4.5**	Младеновац	Космај	33
15.5.1927	44.4	20.2	18	**4.8**	Лајковац	Јабучје	31
19.7.1929	44.291	20.567	10	**4.6**	Аранђеловац	Арнђеловац	47
22.9.1932	44.247	20.461	11	**4.4**	Аранђлеовац	Јеловик	49
30.8.1974	44.43	20.7	5	**4.5**	Младеновац	Младеновац	42
1.2.1988	44.964	20.745	4	**4.3**	Качарево	Качарево	48
15.3.2001	44.575	20.225	15	**3.9**	Обреновац	Дражевац	12

Подаци о локалној сеизмичкој активности су доступни на *webgis* порталу Републичког сеизмолошког завода Србије. где је евидентно да су локално забележени потреси слабијих до мањих интензитета (од 2,0 – 3,0 јединица по Рихтеру) присутни у радијусу од 15 km од самог клизишта. Таквих појава је било свега десетак од 1900. године. Наведени земљотреси немају утицаја на постојеће објекте и инфраструктуру, те само указују на потенцијалну сеизмичку активност на овим просторима. Локације епицентара ових земљотреса са назначеним магнитудама су приказани на слици 43.



Слика 43. Локације слабијих земљотреса у непосредној околини клизишта „Умка“ за период од 1909. године до 2018., са уцртаним положајем важнијих раседа на основу ОГК

5.2 3D модел клизишта „Умка“

У овом поглављу је дат приказ свих резултата истраживања, који су били неопходни за дефинисање и усвајања 3D модела клизишта „Умка“, који је потом коришћен за потребе 3D анализе стабилности, процену хазарда и на крају, ризика. Потпоглавља су груписана и приказана по сукцесивном редоследу који је био неопходан за коначно усвајање 3D модела.

5.2.1 Геометризација и параметризација геолошког модела

У овом потпоглављу су приказани резултати истраживања, који су коришћени за геометризацију и параметризацију геолошког модела клизишта „Умка“ као основни улазни подаци за анализу стабилности и процену хазарда. На првом месту су приказани резултати инжењерскогеолошког картирања, на основу којих су дефинисане актуелне морфометријске површинске карактеристике клизишта „Умка“ (границе, облике, дужина, ширина, нагиб површине терена итд), затим су приказани резултати истраживања, на основу којих су дефинисани модели потповршине клизишта „Умка“ (геолошких средина и клизне површи). На крају је дат приказ усвојених иницијалних физичко-механичких параметара геолошког модела, који су коришћени за потребе 3D анализе стабилности.

5.2.1.1 Резултати инжењерскогеолошког картирања и рекогносцирања

Резултати инжењерскогеолошког картирања подручја клизишта „Умка“ су приказани на инжењерскогеолошкој карти (Слика 46) са описом картираних јединица, који је дат у наставку. На основу резултата ових истраживања утврђене су основе за морфометријску дефиницију модела.

Насип (n) на подручју клизишта „Умка“ чини труп коловозне конструкције државног пута IB26 као и локалних саобраћајница. Уколико се налази као део коловозне конструкције, по правилу садржи: глину, дробину, песак и шљунак. Од утврђених карактеристика требало би издвојити добру збијеност и променљиву дебљину, која се креће у распону од 0,5 - 8 m. У зонама државног пута, које су пресечене секундарним ожиљцима, насип је у знатној мери деформисан или оштећен. На коловозној конструкцији су уочене пукотине и улегнућа, као и девијација осовине пута. У појединим деловима насипа је уочено више различитих слојева коловозне конструкције и неколико заштитних ограда које нису уклоњене након рехабилитације, већ су остале да клизе са трупом.

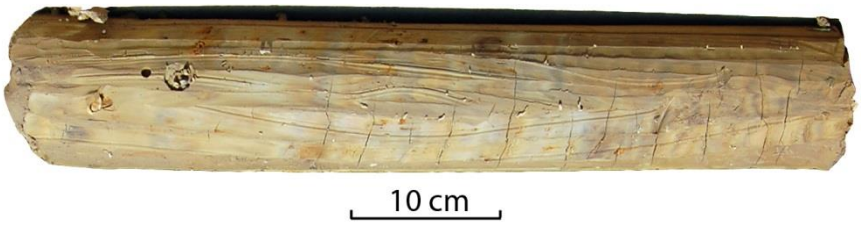
На локалним и некатегорисаним саобраћајницама насип је, претежно, сачињен од дробине и шљунка, растрешен је без везујућег слоја и сабијања. Местимично се појављују и насипи на плацевима у приватном власништву као хетерогени, неравномерни и растрешени набачај грађевинског отпада, нарочито на парцелама које су у значајној мери слегле и којима више није омогућен функционалан приступ. Једини уређени, плански насип за потребе објеката је изведен у дворишту некадашње компаније „Магнат“ на самом улазу у клизиште „Умка“ (у северном делу). Стабилност насутих слојева примарно зависи од начина на који је изведен и удаљености од секундарних ожиљака клизишта.

Глине муљевите (al^{gm}) су на терену евидентиране као повлатни слој мање инудационе заравни наноса десне обале Саве код насеља Умка (Расадник). Дебљина ових слојева износи приближно од 2 - 5 m, и представљене су најчешће прашинасто до песковито-глиновитим фракцијама, смеђе - сиве боје. Углавном су гњечиве, пластичне са израженом стишљивошћу и представљају тло са недовољно ниском носивошћу.

Лесолики делувијум (d-l) се простире изнад зоне чеоног ожиљка клизишта „Умка“ и у потпуности покрива гребен Руцке са прогнозном дебљином до 7 m. У овим јединицама су макроскопски уочене конкреције $CaCO_3$ у облику праха услед чега су најчешће светло-браон до жућкасте боје са приметном порозношћу. Стенске месе ове јединице су средње консолидоване са прслинско - цевастом макроскопском порозношћу, приближно средње водопропусности, која је израженија у вертикалном правцу. Природно влажне, ове стене су стабилне, док се услед наглог расквашавања могу јавити деформације терена у виду слегања и проламања леса.

Прашинсто - глиновити делувијум (d_{pg}) је углавном евидентиран на већим приповршинским деловима падина око клизишта „Умка“ према Дубоком и Степашници са променљивом дебљином 0,5 - 6 m. Углавном су представљене песковито-прашинастим глинама, које су у повлати обогаћене хумусом. Локално у подинским деловима су биле са ситнијим конкрецијама или прашине $CaCO_3$, што им је давало тамнију браон боју. Местимично су биле издељене неправилним системом прслина, чије су површине биле благо сјајне и дуж којих су се стубасто цепале, са средњом до високом пластичношћу, слабом водопропусношћу и сочивастом текстуром. У повољним климатским, хидролошким и хидрогеолошким условима, ове стенске масе се могу сматрати стабилним до условно-стабилним. У оквиру ове јединице, на ширем подручју, су евидентиране појаве мањих и плићих клизишта услед неконтролисаног упуштања атмосферских и отпадних вода или нестручног извођења грађевинских и земљаних ископа.

Лапоровите глине (M_3^2GL) се простиру, као прослојци, унутар глиновитих лапора, или су издвојене, као засебан литолошки члан, који залеже преко њих. На терену су евидентиране су углавном у хипсонометријски вишим деловима терена и по ободу клизишта, док мањи део исклињава код ножице у зони плављења реке Саве према Дубоком. Ова инжењерскогеолошка јединица представља кору распадања сивих интактних лапора, који се простиру у подини. На основу истражних бушотина утврђено је да дебљина ових слојева знатно варира и креће се у распону од 7 - 30 m, што је последица, на првом месту, деловања процеса ерозије или је захваћена процесом клижења и представља активне колувијалне наслаге. Слојевите су до сочивасте текстуре, док су равни слојевитости понекада биле пресвучене скрамама прашине и прослојака $CaCO_3$ у виду конкреција и праха. Боја им је претежно жута до жућкаста (Слика 44), местимично сива и браон са високом пластичношћу. Ако су уочене макроскопски, површине прслина су биле углачане и пресвучене скрамама са пигментима Mn, и хидроксида Fe, и биле су склоне волуменским променама. Углавном су биле масивне текстуре са прслинско - пукотинском издељеношћу у монолите и блокове, са крто - пластичним ломом. По, правилу су биле водонепропусне, али су могле бити периодично и сезонски са водозасићеним пукотинама.



Слика 44. Карактеристично језгро лапоровите глине делимично захваћене процесом клижења из истражне бушотине на клизишту „Умка“ са дубине од 13 m

Лапори (M_3^2L) нису евидентирани на површини терена, већ су евидентирани искључиво у истражним бушотинама. Претежно су били са прашинасто-песковитим саставом и присуством $CaCO_3$ у основној маси. Масивни су са слојевитом текстуром, и са присуством хоризонталних ламинација, које су садржале глиновиту компоненту, док су локално ређе биле присутне скраме и прослојци песковитих компоненти. Лапори су били масивни, преконсолидовани, веома тврди и крти са шкољкастим преломом и ретким прслинама, које су га делиле у мање блокове веома мале стишљивости. Повољних су физичко-механичких својстава, практично су водонепропусни, тамно сиве до светло сиве и плавичасте боје (Слика 45).

Слика 45. Карактеристично језгро лапора из истражне бушотине на клизишту „Умка“ са дубине од 20 m

Колувијум активног клизишта (Ko_a^{gl}) „Умка“ је испресецан пукотинама различите генезе, просторног положаја и димензија, које су формирале блокове различитих димензија и облика. Као последица сукције тла током сушних периода, у телу клизишта су се могле јавити и пукотине cm-dm реда величине до дубине од 5 m од површине терена. Ове пукотине су се делимично или у целости затварале након сушних периода и након што је тло повратило влажност (Abolmasov et al., 2015). Услед наведеног, у самом тлу је биле присутна значајна просторно-временска анизотропија геотехничких карактеристика, што је условило комплексност положаја и нивоа подземних вода. Тело клизишта је претежно пластично до крто-пластично, док је у зони клизне површине и зоне смицања унутар блокова веома меко. Водопропустљивост и оцедност колувијума је слаба док се кретање подземних вода одвија дуж поменутих пукотина. Инфилтрација површинских атмосферских и отпадних вода заједно са постојећим подземним водама додатно деградира стенску масу и умањује њена геотехничка својства и параметре. Водозасићење колувијума је израженије у приповршинским деловима терена на дубинама од 5 - 8 m, што одговара зони у којој је изведен највећи број постојећих и некадашњих бунара за снабдевање домаћинстава техничком водом (Vujanić et al., 1984; Jelisavac et al., 2006)

Дубина активног клизишта „Умка“ је променљива, плића је у зони изнад државног пута IB26, са клизном површином која је приближно паралелна површини терена и дубином од 3 - 10 m. Делови клизишта, који су испод државног пута IB26 и који падају према Сави су са већом дубином до клизне равни (> 20 m), која је конвексног облика.

На површини терена које је захваћено активним клижењем уочавају се бројне деформације терена у виду чеоног и секундарних ожиљака, истрбушења, пукотина, денивелација терена, земљаних одсека, локалних јаруга и „пијаног“ дрвећа. На већини зиданих објеката се уочавају бројне пукотине и оштећења, док су објекти инфраструктуре, као што су саобраћајнице и стубови за довод електричне енергије, такође, са великим степеном оштећења. Услед изражених померања, на већини парцела, секундарна водоводна мрежа, као и локална мрежа за одвод отпадних вода, је инсталирана на површини терена. Поједине шахте штрче изнад нивоа површине терена и до 1,5 m.

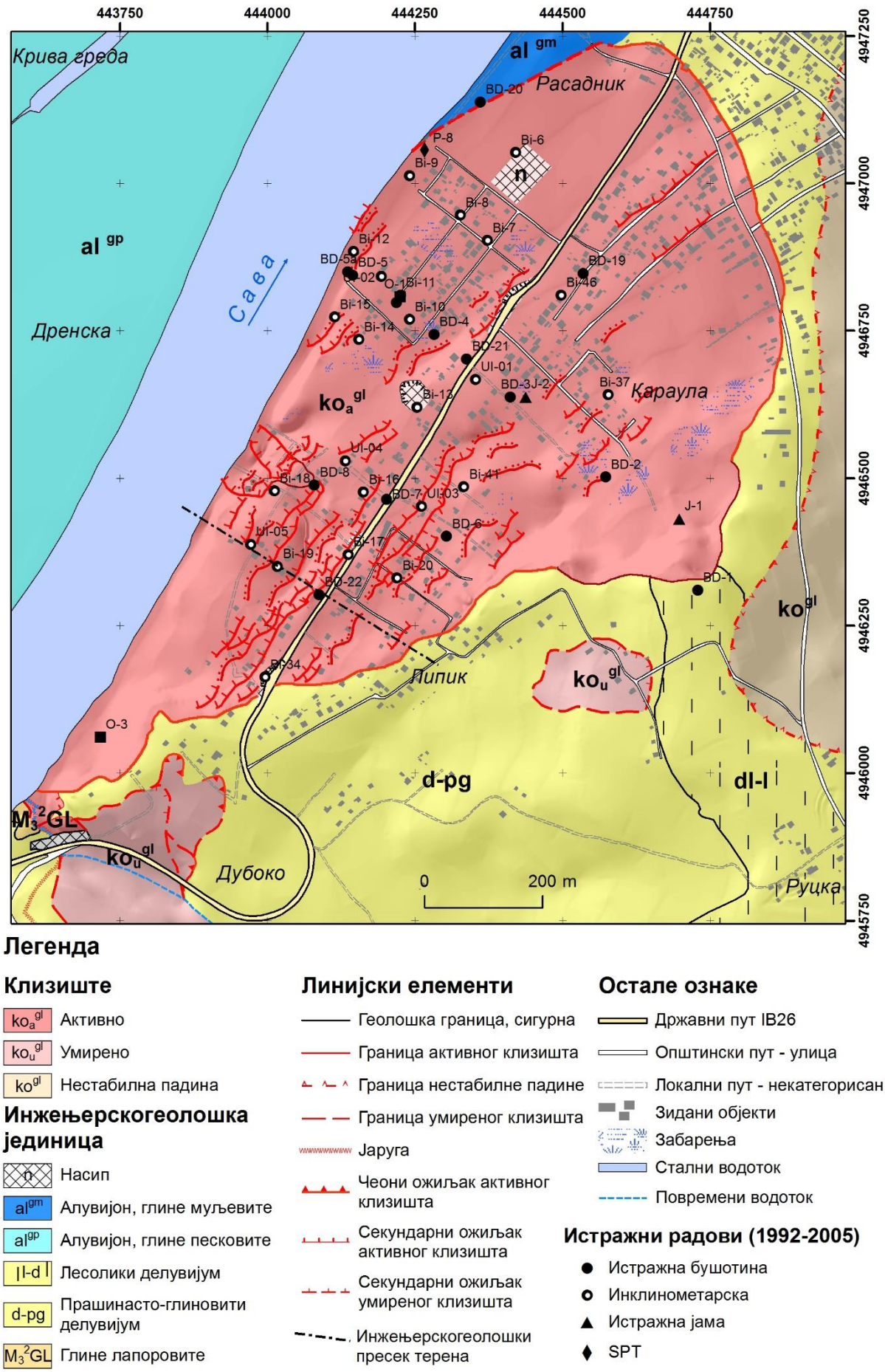
Стенске масе које чине колувијум клизишта „Умка“ су углавном издељене пукотинама, које су различитих димензија, генезе и простирања. По генези, преовлађују пукотине смицања и површинског распадања (Vujanić et al., 1992). Током сушних периода (јун - август), до дубина од 3-5 m, формирају се пукотине cm - dm реда величине, као последица исушивања. Поменуте пукотине се делимично или у целости затварају након кишних периода или услед инфилтрације других површинских вода. Поменута својства и карактер пукотина су условиле просторну али и временску променљивост пропусности стенских маса које чине колувијум клизишта „Умка“ (Vujanić et al., 1995).

Колувијум умиреноī клизишīа (Ко$_u^{gl}$) је углавном изграђен од делова старих клизишта, која су се смирила услед деловања природних процеса. На овим теренима, током теренских истражних радова и рекогносцирања, нису уочени трагови савремене активности тј. померања, док су деформације терена делимично или у потпуности замаскиране и тешко уочљиве.

Несīабилне īадине (Ко^{gl}) обухватају оне делове терена на истражном подручју, у коме су силе отпора, потребне за одржавање равнотеже напонског стања, блиске граничним силама отпора. Непланско засецање и нестручно извођење грађевинских захвата, расквашавање или оптерећивање у овим теренима може изазвати појаву клизања, као и друге деформације рељефа и склопа терена. На истражном подручју нестабилне падине су представљене делувијално глиновито прашинастим наслагама, релативно благог нагиба, које се простиру у источном делу истраживаног подручја и имају правац пружања супротан од клизишта „Умка“. Поједине падине, које се пружају јужно од клизишта „Умка“ према Дубоком, су сврстане у ову категорију.

Картирањем је утврђено да је клизиште „Умка“ облика троугласте лепезе, дужине уз падину до 900 m, ширине у ножици до 1.450 m, укупне површине око 100 ha, са просечном дубином клижења од 14 m и запремином[33] клизног тела од приближно 7.800.000 m^3, док нагиб површине терена износи у просеку 8° - 9°, са локалним одступањима, јер је падина заталасана са изразитим појавама удолина и мањих узвишења, метарских до декаметарских димензија. Инжењерскогеолошки пресек клизишта „Умка“ је приказан на слици 47.

[33] запремина клизишта је израчуната у GIS-у, на основу разлике DEM-а површине терена и клизне површи



Легенда

Клизиште

- ko_a^{gl} Активно
- ko_u^{gl} Умирено
- ko^{gl} Нестабилна падина

Инжењерскогеолошка јединица

- n Насип
- al^{gm} Алувијон, глине муљевите
- al^{gp} Алувијон, глине песковите
- dl-l Лесолики делувијум
- d-pg Прашинасто-глиновити делувијум
- M_3^2GL Глине лапоровите

Линијски елементи

- Геолошка граница, сигурна
- Граница активног клизишта
- Граница нестабилне падине
- Граница умиреног клизишта
- Јаруга
- Чеони ожиљак активног клизишта
- Секундарни ожиљак активног клизишта
- Секундарни ожиљак умиреног клизишта
- Инжењерскогеолошки пресек терена

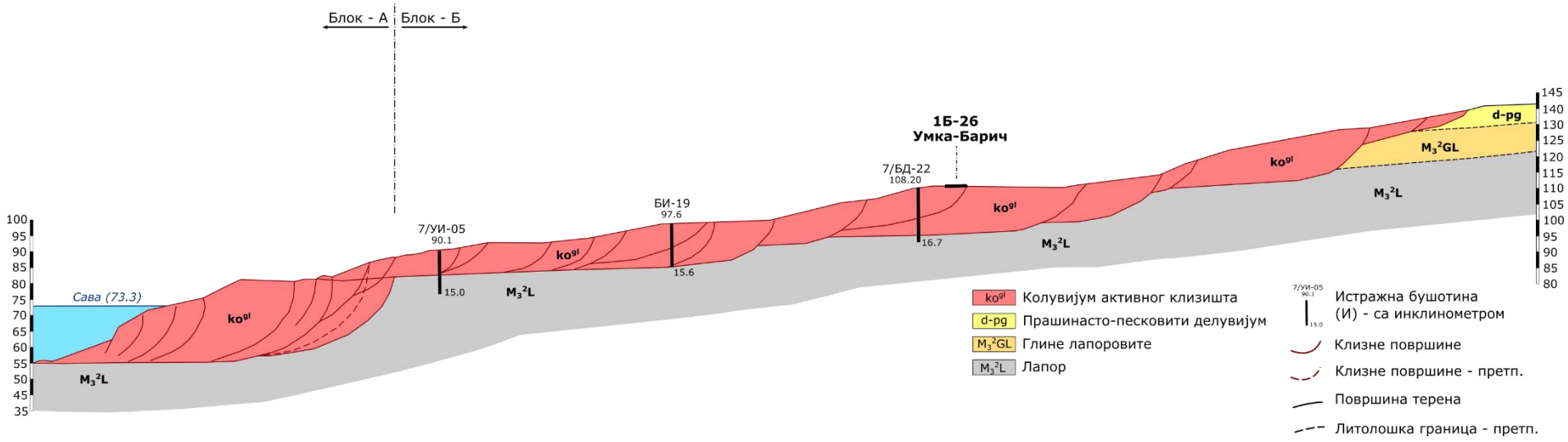
Остале ознаке

- Државни пут IB26
- Општински пут - улица
- Локални пут - некатегорисан
- Зидани објекти
- Забарења
- Стални водоток
- Повремени водоток

Истражни радови (1992-2005)

- Истражна бушотина
- Инклинометарска
- Истражна јама
- SPT

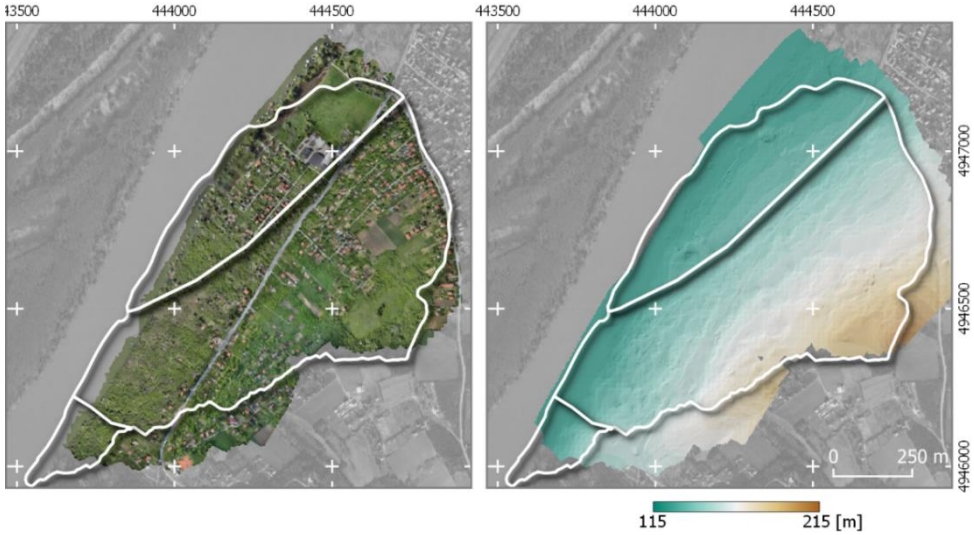
Слика 46. Инжењерскогеолошка карта клизишта „Умка“



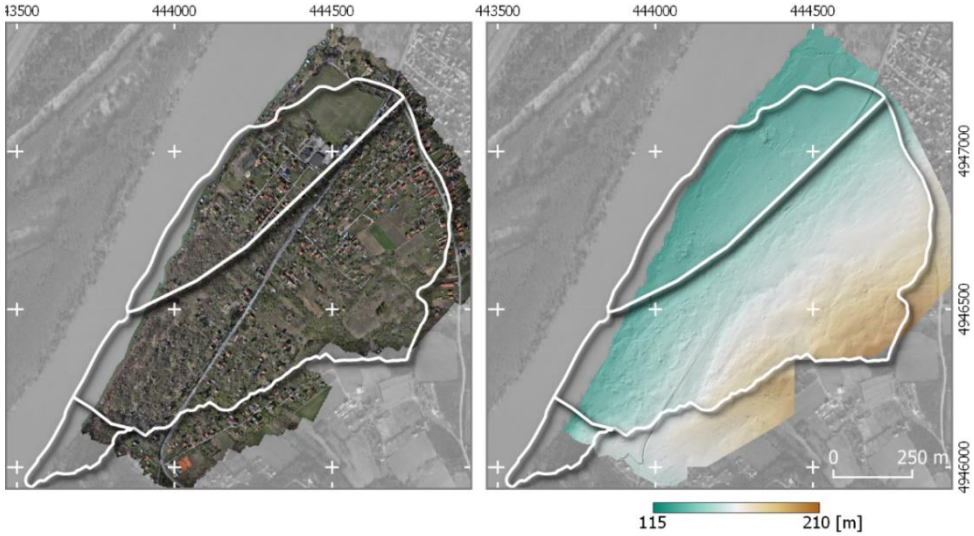
Слика 47. Инжењерскогеолошки пресек клизишта „Умка“ (на основу: Jelisavac et al., 2006., измењено)

5.2.1.2 DEM површине клизишта

DEM површине клизишта који је коришћен за анализу стабилности је креиран на основу резултата процесирања UAV снимака из 2019. године. На снимцима из 2018. године (Слика 48) уочава се присуство развијене вегетације, као последица снимања крајем месеца априла, док се на снимцима из 2019. године (Слика 49) она уочава у знатно мањој мери с обзиром да је снимање вршено на почетку марта месеца. Ово је уједно имало за последицу различите тачности фотограметријског модела и различити број тачака које су класификоване као површинске. У оба случаја је постигнута одлична покривеност површине клизишта „Умка“ од преко 95%. Нису били процесирани једино делови уз обалу реке Саве пошто је она имала другачије водостаје у току снимања 2018. и 2019. године, као и делови блока С и уз зону чеоног ожиљка, а у близини телекомуникационог репетитора мобилне телефоније. Распони висина код DEM-ова су у веома блиском опсегу што указује на мале промене рељефа током годину дана, а могу бити и последица различитог опсега површине терена, који су снимљени на тај начин. Међутим, највероватније су највеће разлике настале као последица снимања у два различита периода.



Слика 48. Ортофото ултрависоке резолуције од 2,3 cm (лево) и DEM клизишта „Умка“ са резолуцијом од 0,5 m (десно) генерисани на основу снимака из 2018. године



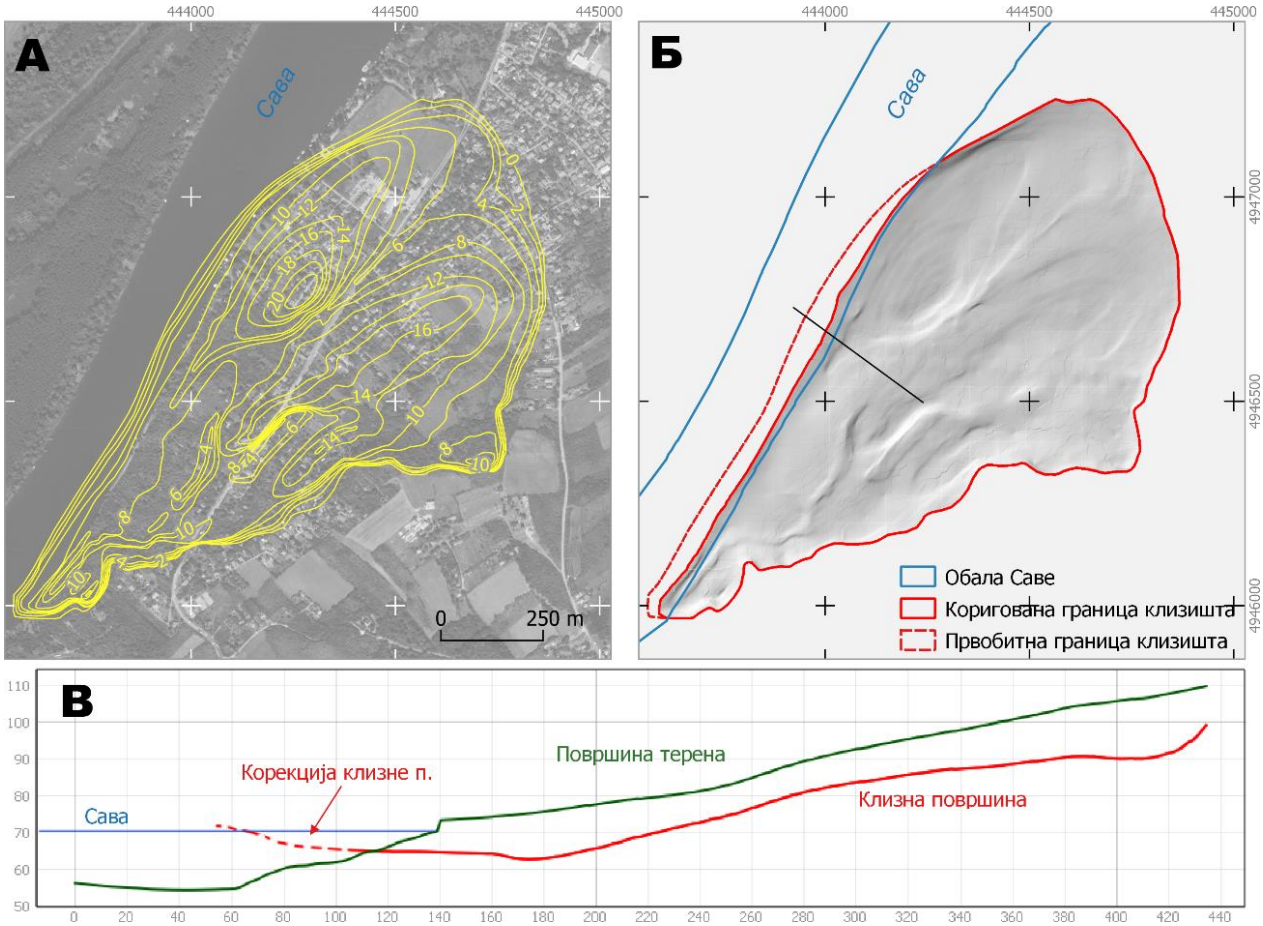
Слика 49. Ортофото ултрависоке резолуције од 2,3 cm (лево) и DEM клизишта „Умка“ са резолуцијом од 0,5 m (десно) генерисани на основу снимака из 2018. године

Разлика у одабраном детаљу снимка из 2018. и 2019. године у поређењу са јавно доступним ортофото снимком је приказана на слици 50, где се поред промене у вегетацији уочава и промена стања објекта на клизишту.

Слика 50. Детаљи ортофотоа једног уништеног стамбеног објекта на клизишту „Умка“. Детаљ снимка у размери 1:300 из 2018. године (горе лево); детаљ снимка у размери 1:300 из 2018. године (горе десно); детаљ комерцијално доступног ортофотоа у размери 1:300 из 2019. године (доле десно); локација детаља у односу на границе клизишта „Умка“ (доле лево)

5.2.1.3 DEM клизне површи

Анализом података техничке документације, у GIS-у су креиране изолиније дубине до клизне површи. Изолиније које су потом интерполоване у DEM (и касније у TIN) са назначеним дубинама су приказане на слици 51-А. За потребе реалистичнијег приказа израђен је сенчени рељеф, на основу DEM-а клизне површине (Слика 51-Б), док је разлика између профилних линија терена по одабраном профилу са и без корекција за корито Саве приказана на слици 51-В. Негативне вредности таквог растера су представљале „вишак“, тј. еродовани део услед утицаја Саве и приказане су испрекиданом црвеном линијом на слици 51-В. Наведени DEM клизне површине је потом коришћен као модел слабоносећег слоја приликом 3D анализе стабилности.

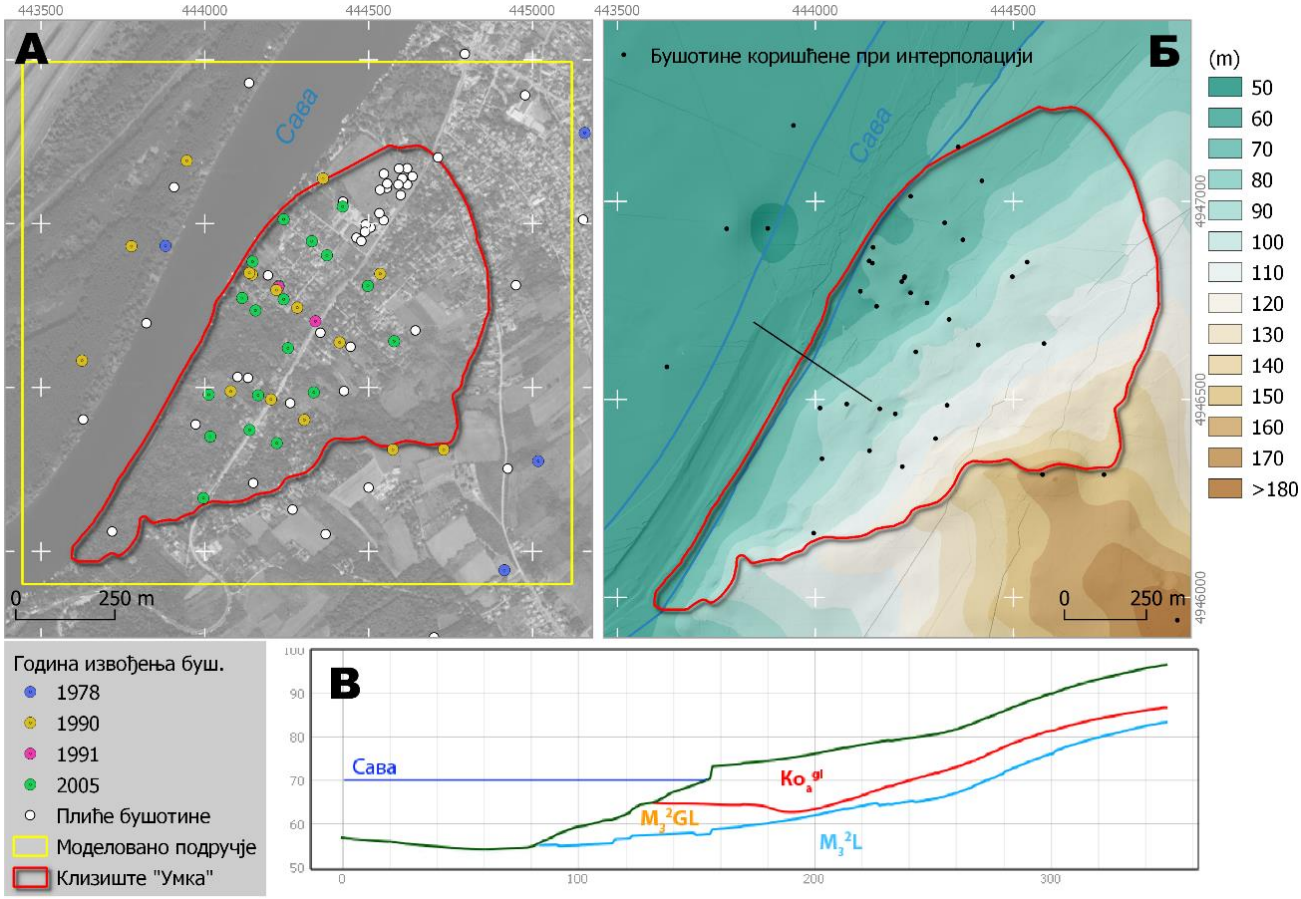


Слика 51. **А)** Изолиније дубине до клизне површине на основу којих је вршена интерполација у DEM са назначеним дубинама, у метрима, **Б)** Сенчени рељеф клизне површине генерисан на основу DEM-а са профилном линијом приказаном на В, **В)** Разлика у профилним линијама клизне површине са и без корекције за утицај корита Саве са профилном линијом терена и најчешћим нивоом Саве. Хоризонтални и вертикални размерник је у метрима

Као што се види на слици 51, морфометрија и облик клизне површине, са и без корекције за корито Саве, се у значајној мери разликују и могле приликом анализе стабилности дати значајне разлике вредности фактора сигурности, тако да је био оправдан приступ корекције клизне површине за утицај корита.

5.2.1.4 DEM повлате миоценских лапора

На основу података истражних бушотина из техничке документације (Слика 52-А) креиран је DEM повлате миоценских лапора интерполацијом у GIS-у. DEM је, употребљен за формирање геолошког модела (Слика 52-Б), који је коришћен приликом 3D анализе стабилности. Упрошћени геолошки профил, са положајем клизне површине, кровином лапора и површином терена на основу свих претходно креираних DEM-ова приказан је на Слика 52-В.



Слика 52 **А)** Просторни положај архивских истражних бушотина корићених за интерполацију DEM-а кровине лапора. Плиће бушотине означавају бушотине у којима није било података о дубини до кровине лапора **Б)** DEM кровине лапора са положајем искоришћених истражних бушотина за формирање модела **В)** Упрошћени геолошки профил са положајем клизне површине, кровином лапора и површином терена на основу генерисаних DEM-ова. *Ко$_a^{gl}$ - колувијум активног клизишта; M$_3^2$GL миоценски глиновити лапори; M$_3^2$L - миоценски лапори*

5.2.1.5 Параметризација геолошког модела

Инцијални параметри геолошког модела, који су усвојени за 3D анализу стабилности су дефинисани на основу техничке документације Института за путеве – Београд и резултата лабораторијских анализа око 60 узорака (Табела 28).

Табела 28. Приказ резултата лабораторијских опита на узетим узорцима из геолошких средина који су коришћени као улазни параметри приликом 3D анализе стабилности (Jelisavac et al., 2006)

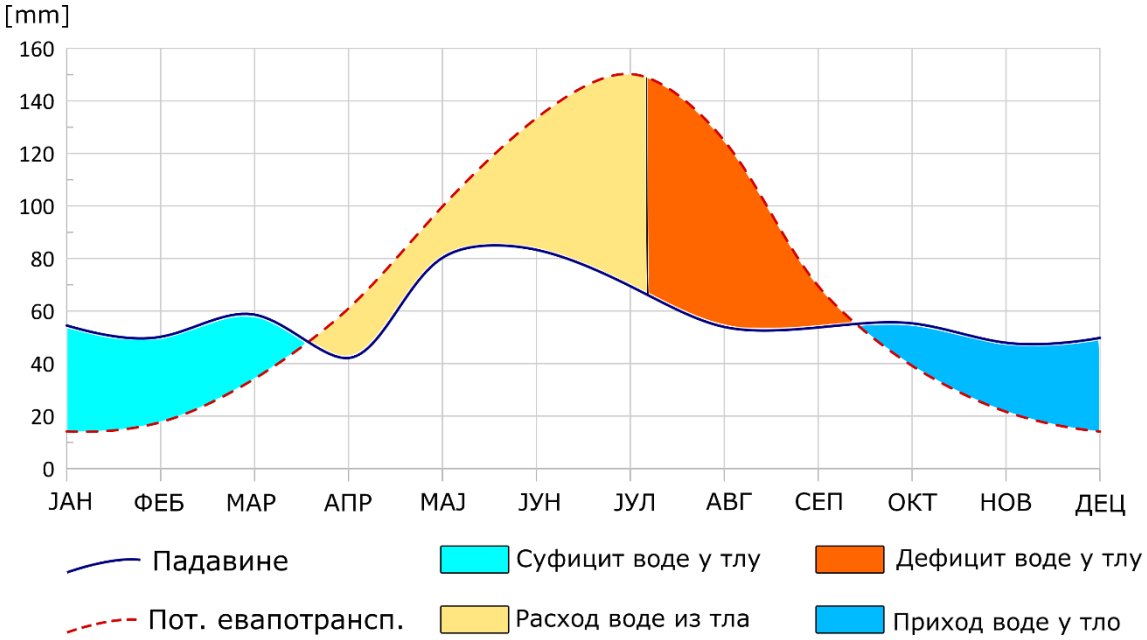
Опис	Озн.	ko_a^{gl}			M_3^2GL			M_3^2L		
Гранулометријски састав	/	од	до	ср.	од	до	ср.	од	до	ср.
- глина	/	9	36	17	11	27	/	6	34	17
- прашина	/	36	87	70	30	85	/	13	83	55
- песак	/	3	49	13	6	43	/	3	79	27
Граница течења (%)	W_l	24	68	53	35	93	/	44	67	52,8
Граница пластичности (%)	W_p	20	34	24,8	15	35	/	21	34	26,2
Индекс пластичности (%)	I_p	7,8	37	28,3	15	62	/	20	41	26,6
Индекс консистенције	I_c	0,09	1,24	0,77	0,9	1,1	/	0,7	1,16	1,0
USCS класиф.	/	CH-CL-ML			CH-CL			ML		
AASHTO класиф.	/	A 7-6			A 7-6			A 7-5		
Природна влажност (%)	w	21,1	43,2	30,3	16	36	/	20	36,7	29,3
Запреминска тежина (kN/m³)										
- прир. влажна	γ	17,4	20,6	18,8	19	20	/	17,8	20,4	18,9
- сува	γ_d	12,4	16,7	14,5	14	17	/	13	16,4	16,4
Угао унутрашњег трења										
- вршни	φ	12,8	28	22	11	27	/	18	32	25,2
- резидуални	φ_r	7	13	11	/	/	/	/	/	/
Кохезија (kPa)										
- вршна	c	7,6	132	32	15	47	/	15	61	29,1
- резидуална	c'	0	/	/	/	/	/	/	/	/
Модул стишљивости $Mv_{\sigma\,(100\text{-}200)}$	Mv_σ	4300	18200	/	6900	18200	/	10000	20000	/

5.2.2 Хидролошки и хидрогеолошки модел

5.2.2.1 Водни биланс

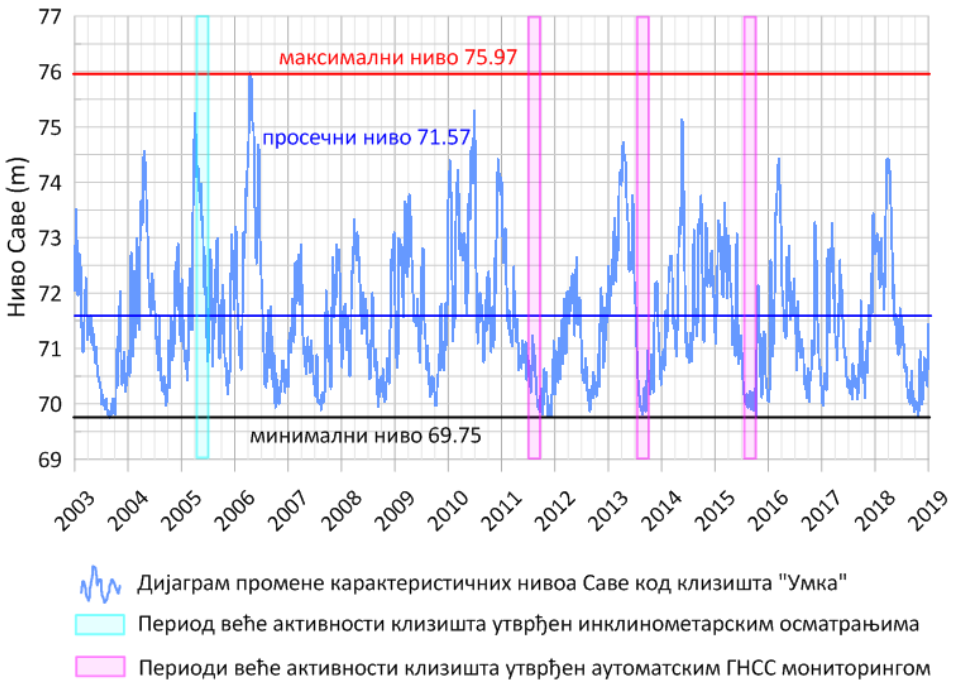
На основу података, доступних на сајту РХМЗ-а, прикупљени су и анализирани подаци о падавинама за период од јануара 2003. до децембра 2018. године. Дијаграм водног биланса за шире подручје Београда је приказан на слици 53, где су приказане осредњене месечне вишегодишње вредности потенцијала евапотранспирације (PET) и падавина (P) за анализирани период.

На дијаграму водног биланса за шире подручје Београда (Слика 53) јасно се издвајају четири различита режима прихрањивања тла површинским водама. Током првог квартала у години, тачније до средине марта P је израженији у односу на PET, чиме се стварају услови за суфицит воде у тлу. Од средине марта до почетка јула, P вредности расту, чиме се стварају услови за расход тј. трошење претходно акумулиране воде у тлу. Од почетка јула до средине септембра, P и PET вредности опадају, што доводи до дефицита воде у тлу и потом, од средине септембра, наступа период повећаних P у односу на PET вредности, што означава фазу приходовања тј. засићивања тла водом.



Слика 53. Месечни водни биланс за подручје шире околине Београда за (2003-2018) основу симулације по Торнтвајтовом моделу и података РХМЗ-а

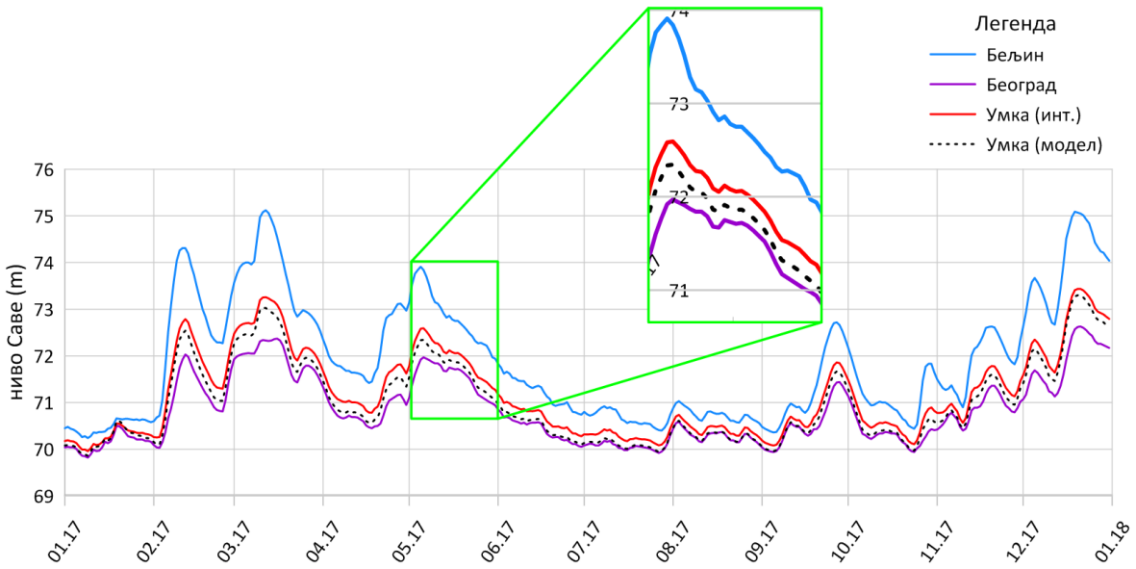
Овако добијени модел водног биланса, иако прегледног карактера, се доста добро уклапа у модел динамике клизишта „Умка“, који је утврђен на основу претходно описаних истраживања и мониторинга. На слици 54 је приказан дијаграм промене карактеристичних нивоа Саве код клизишта „Умка“ са екстремним и просечним вредностима водостаја и периодима већих активности клизишта „Умка“, на основу претходних истраживања. Јасно се уочава да су померања и деформације на телу клизишта била израженија у другом кварталу 2005. и трећем кварталу 2011., 2013. и 2015. године што се поклапа са периодима расходовања и дефицита воде у тлу и наглим падом водостаја Саве у зони клизишта.



Слика 54. Дијаграм промене карактеристичних нова Саве код клизишта „Умка“ (2003. - 2018.) са екстремним и просечним вредностима водостаја и периодима већих активности клизишта „Умка“

5.2.2.2 Хидролошки модел Саве

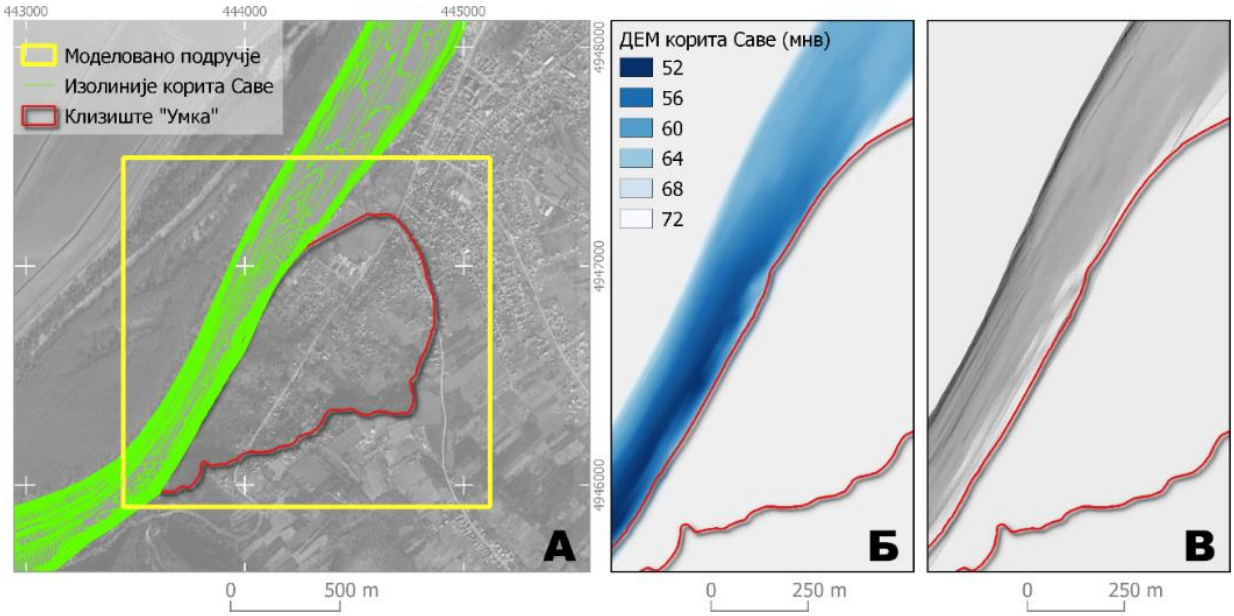
Анализом података утврђено је да су просечна одступања интерполованих вредности водостаја (N_{int}) код Умке у односу на мерну станицу Сава-Бељин око +0,7 m, док маскимална одступања износе и до 1,9 m. Просечна одступања моделованих вредности водостаја код Умке у односу на мерну станицу Сава-Бељин износе око +0,9 m, док маскимална одступања износе и до +2 m. Просечна одступања интерполованих вредности водостаја (N_{int}) код Умке у односу на мерну станицу Сава-Београд износе око -0,35 m, док маскимална одступања износе до -0,9 m. Просечна одступања моделованих вредности водостаја код Умке у односу на мерну станицу Сава-Београд износе око -0,2 m, док маскимална одступања износе до -0,75 m. Дијаграми интерполованих и програмски прорачунатих нивоа Саве код клизишта „Умка“, у односу на мерне станице Сава-Бељин и Сава-Београд, за 2017. годину приказани су на слици 55. На слици се јасно уочава снажна корелација између реалних, моделованих и прорачунатих вредности водостаја.



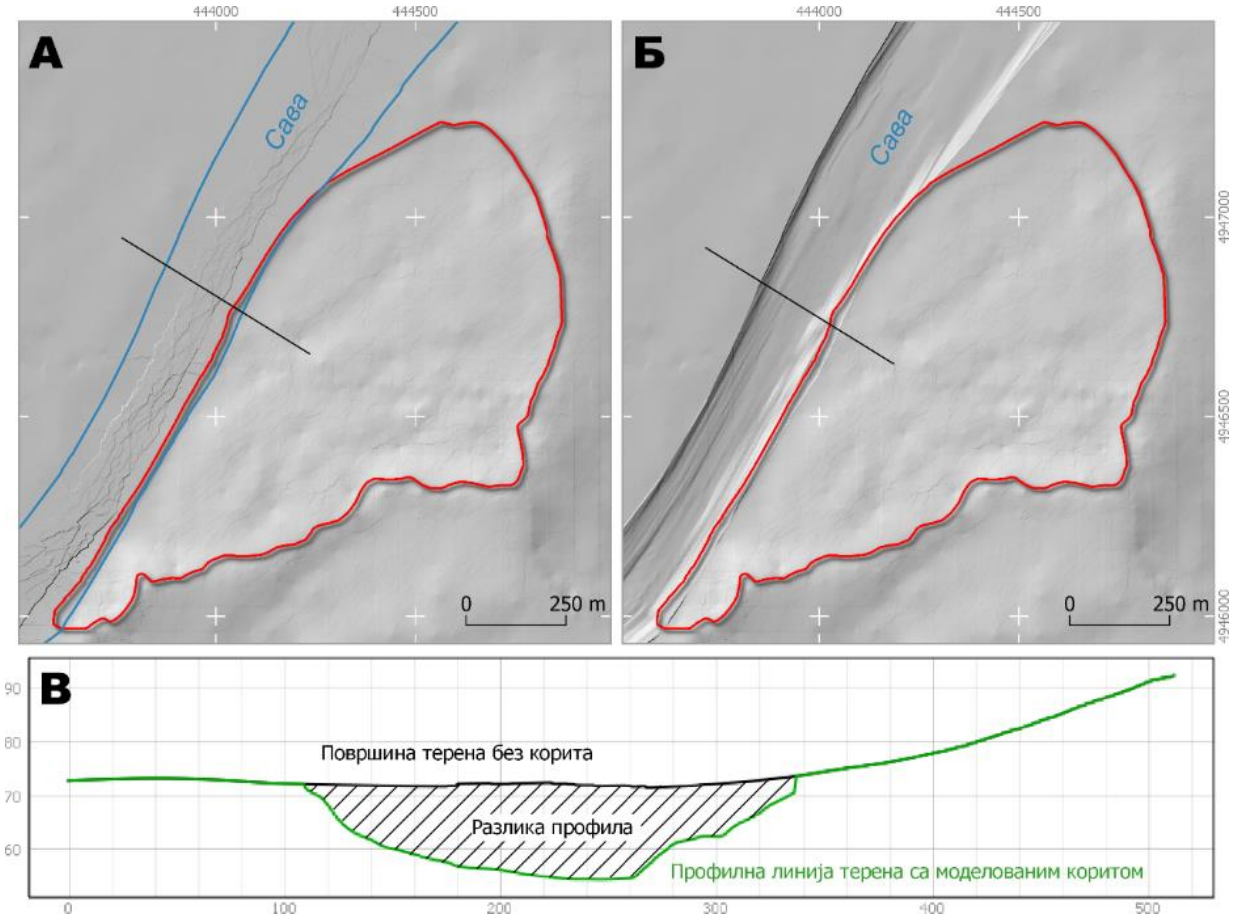
Слика 55. Дијаграми нивоа Саве током 2017. године на мерним станицама Бељин и Београд, срачунати ниво Саве код клизишта „Умка“ на основу линеарне интерполације (инт.) и прорачуна програмом HEC-RAS (модел)

Наведена одступања интерполованих и моделованих вредности водостаја у односу на мерне станице указују да није оправдан приступ преузимања и усвајања нивоа Саве са мерне станице Сава-Бељин и Сава-Београд, као референтне вредности водостаја Саве у подручју Умке. У случају када изостају подаци са просторно блиских мерних станица, могуће је добити нешто меродавније нивое Саве методом линеарне интерполације водостаја са прве узводне и низводне мерне станице, а на основу удаљености локације за коју се врши интерполација. Други оправдани приступ јесте прорачун уз помоћ програма попут *HEC-RAS*-а. Значајно ограничење у примени оваквог поступка јесте неопходност поседовања ажурних батиметријских података, у виду профила корита у зони слива, за који се врши прорачун. Одступања између интерполованих и програмски прорачунатих вредности су доста мала и износе просечно 0,18 m а максимално 0,28 m, па се могу занемарити нарочито за потребе геотехничког моделовања (Слика 55 – детаљ).

На основу коришћених изохипси, које су добијене батиметријским ехосоднирањем Саве (Слика 56-А), израђен је DEM и сенчени рељеф корита Саве, који су приказани на сликама 56- Б и 56-В. Сенчени рељеф DEM-а ширег истражног подручја клизишта „Умка“, који је моделован без корита реке Саве приказан је на (Слика 57-А) док је сенчени рељеф DEM-а ширег истражног подручја клизишта „Умка“, који је моделован са коритом реке Саве приказан на (Слика 57-Б). Разлика профилних линија површине терена добијених на основу DEM-а, без укљученог модела корита реке Саве и са укљученим моделом корита је приказана на (Слика 57-В). На наведеној слици приказана је разлика у геометрији модела са и без моделованог корита Саве, која је могла у значајној мери да утиче на резултате 3D анализе стабилности. За потребе анализа које су примењене у овој дисертацији усвојен је и коришћен модел површине терена, који је укључио утицај и морфометрију корита Саве. Карактеристични нивои Саве су моделовани у GIS-у као равне површине, које су комбиноване са DEM-овима НПВ-а за потребе усвајања хидролошко-хидрогеолошких сценарија.



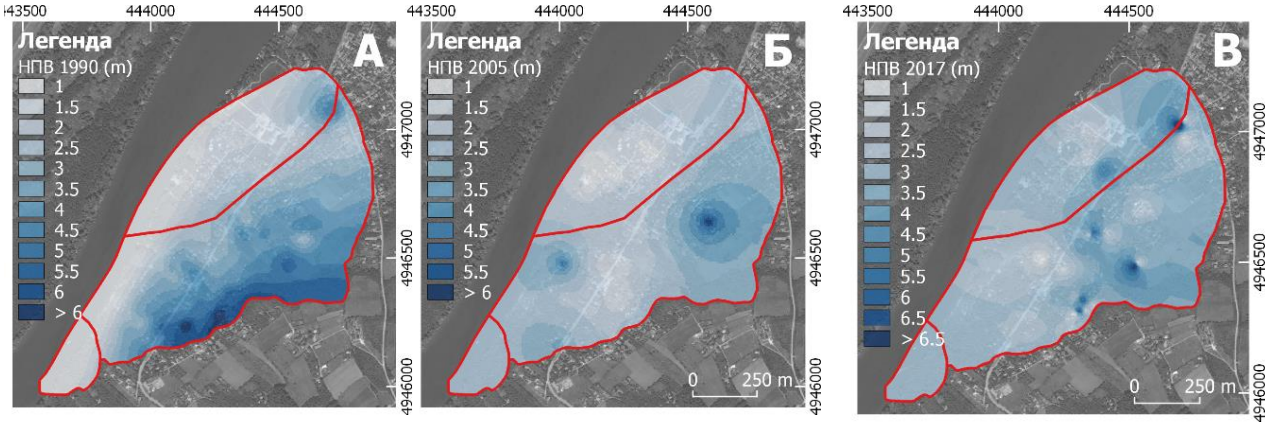
Слика 56. **А)** Коришћене изохипсе корита Саве за интерполацију DEM-а
Б) DEM корита Саве **В)** Сенчени рељеф корита Саве на основу DEM-а



Слика 57. **А)** Сенчени рељеф DEM-а ширег истражног подручја клизишта „Умка“ моделован без корита реке Саве **Б)** Сенчени рељеф DEM-а ширег истражног подручја клизишта „Умка“ моделован са коритом реке Саве **В)** Профилна линија површине терена на основу DEM-а без укљученог модела корита реке Саве и са укљученим моделом корита. Хоризонтални и вертикални размерник је у метрима

5.2.2.3 Хидроїеолошки модел

На основу резултата и података техничке документације као и резултата инжењерскогеолошког картирања клизишта „Умка“, методом интерполације, креирана су три различита DEM-а нивоа подземних вода (1990. – 1991., 2005. и 2017. год). Поред ова три DEM-а нивоа подземних вода, креиран је и један синтетички за потребе анализе хазарда приликом реализације екстремних сценарија, када је вода скоро на површини терена. Синтетички DEM нивоа подземне воде је креиран у оквиру GIS-а, тако што је од усвојеном DEM-у површине терена умањена вредност за 0,5 m. На слици 58 су приказане карте нивоа до дубине подземних вода, на основу података утврђених теренским истраживањима током 1990. - 1991. године (Слика 58-А), 2005. године (Слика 58-Б) и 2017. године (Слика 58-В), а које су искоришћене за израду одговарајућих DEM-ова нивоа подземних вода. Сва три добијена DEM-а су искоришћена за усвајање хидролошких сценарија приликом моделовања клизишта.



Слика 58. Карта нивоа подземних вода на основу истраживања током:
А) 1990. и 1991. године Б) 2005. године В) 2017. године

5.2.2.4 Хидролошки и хидроїеолошки сценарији

На основу расположивих података претходних истраживања и техничке документације (4.2.2 и 5.1.2) дефинисано је пет различитих сценарија нивоа Саве и НПВ-а (Табела 29), који су коришћени приликом 3D анализе стабилности и процене хазарда од клизишта „Умка“.

Табела 29. Усвојени сценарији модела нивоа Саве и НПВ-а у зони клизишта „Умка“ за геотехнички модел

Сценарио	Ниво 1 (Ј. Черни)	Ниво 2 (интерп.)	Режим биланса	Опис НПВ	Начин моделовања	НПВ
S1	76,9	75,3	Суфицит	при површини	синтетички	0,5 m
S2	76,9	75,3	Расход	висок	реалан	2005
S3	71,7	71,58	Приход	од 1-3 m	реалан	2017
S4	69,9	69,76	Дефицит	> 3 m	реалан	1992
S5	69,9	75,3	Расход	при површини	синтетички	0,5 m

S1 представља сценарио са стогодишњим нивоом Саве која наилази на стогодишњи ниво Дунава. Овај сценарио је могућ током периода суфицита водног биланса којег је могуће очекивати током пролећних месеци једном у 25 година (T_{25}). Ово је најнеповољнији сценарио за геотехнички модел јер узима у обзир стогодишње маскималне нивое Саве и случај када су подземне воде скоро на површини терена. За овај сценарио је генерисан растер у коме је ниво Саве на 76,9 m док је модел НПВ-а синтетички генерисан као површина која има вредности надморске висине које су за свега 0,5 m мање од реалне

површине терена. За овај сценарио очекивана је најмања стабилност клизишта у свим деловима терена и свим блоковима.

S2 представља, такође, неповољан сценарио за геотехнички модел са стогодишњим нивоом Саве, која наилази на стогодишњи ниво Дунава али са реалним нивоом подземних вода (Слика 58–Б), који су утврђени на основу пијезометара током истраживања терена 2005. године у почетном летњем периоду расхода по утврђеном билансом моделу вода и потом моделовани као DEM. S2 представља реалан сценарио када су забележене велика активност клизишта и бројне нове деформације објеката. За овај сценарио очекивана је мања стабилност клизишта у горњим деловима клизишта где је већи утицај НПВ-а у односу на ниво Саве.

S3 представља очекивани годишњи сценарио током јесењих периода, са просечним нивоом Саве од 71,7 m у режиму прихода по утврђеном билансом моделу вода и реалним моделом НПВ-а, који је утврђен на основу теренских осматрања нивоа у бунарима током 2017. године (Слика 58 - В) када није забележена већа активности клизишта нити нове, значајније, деформације на објектима. За овај сценарио очекивана је мања стабилност клизишта у појединим деловима клизишта, где је већи утицај НПВ-а у односу на ниво Саве.

S4 представља очекивани сценарио током летњих месеци, када наступа период дефицита по усвојеном водном билансу. Усвојен је најнижи ниво Саве од 69,9 m и реалан НПВ (Слика 58–А), који је евидентиран током истраживања 1992. године, када је и забележена већа активност појединих делова клизишта уз нове деформације на објектима. S4 представља неповољан сценарио у геотехничком моделу када се очекује мања стабилност делова клизишта, који су у зони утицаја Саве, у односу на више делове терена, где је већи утицај НПВ-а на стабилност.

S5 представља хипотетички најнеповољнији сценарио у геотехничком моделу, који се реализује када за релативно кратак временски период (неколико дана или недеља) при режиму пражњења, наступи опадање нивоа Саве, уз задржавање високог нивоа подземних вода, које су скоро при површини терена. За овај сценарио су усвојене екстремне вредности најнижег нивоа Саве и највећих просечних дневних падавина, које су у стварности мало вероватне.

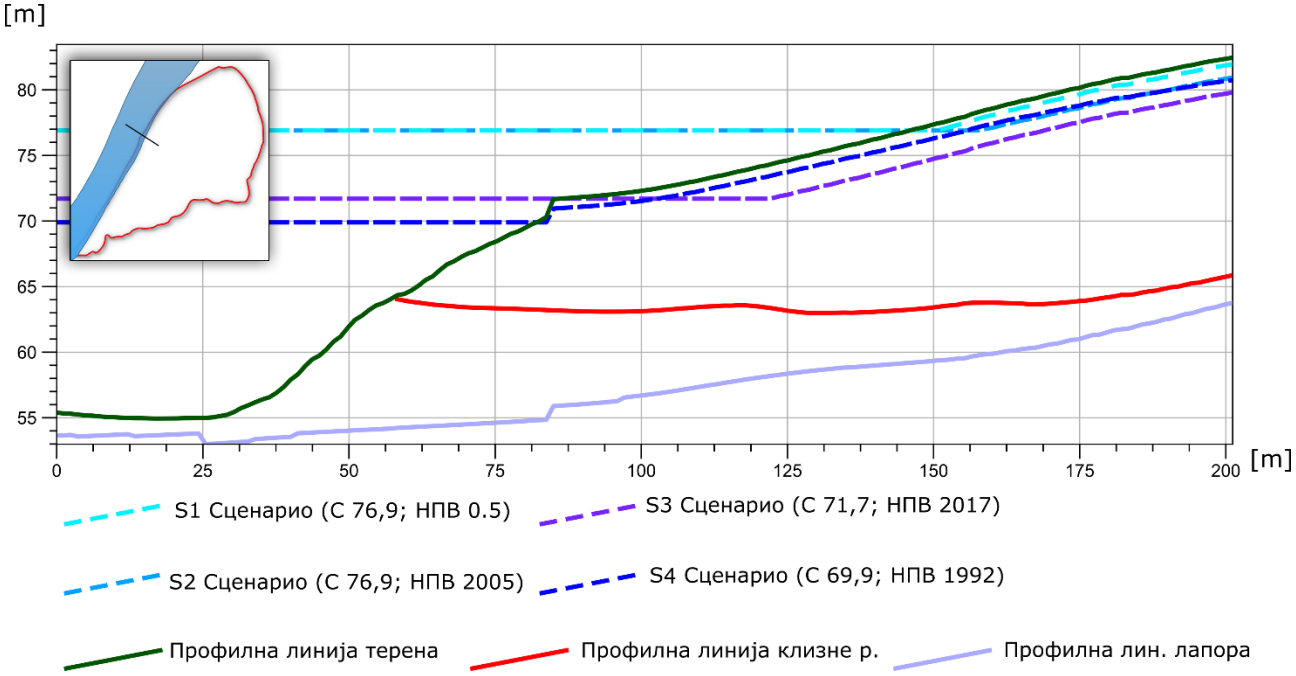
Поређењем пројектованих вредности (Табела 29 - Ниво 1) са просечним минималним, средњим и максималним интерполованим вредностима (Табела 29 - Ниво 2), описаним у претходном поглављу, утврђено је да су одступања за S3 и S4 сценарио, занемарљива, док је нешто веће одступање за сценарије S1 и S2 оправдано чињеницом да је Институт „Јарослав Черни“ разматрао максимални стогодишњи ниво Саве, који наилази на стогодишњи ниво Дунава, а који није евидентиран током прорачунског периода (2003 - 2019), тако да су сви меродавни нивои Саве од стране Института „Јарослав Черни“ усвојени као релевантни и на страни сигурности.

Усвојени сценарији су креирани експертски на основу наведених истраживања и апроксимација модела Саве, реалних нивоа подземних вода током 1992., 2005. и 2017. године и као такви представљају грубу апроскимацију. За релевантне податке о карактеристичним нивоима Саве и стању подземне воде на терену потребне су осматрачке летве на водотоку Саве у зони клизишта и задовољавајући број и дистрибуција пијезометара, који би били редовно очитавани. У геотехничкој пракси најчешће је могуће осматрање пијезометара током једног хидролошког циклуса (године), док вишегодишњи мониторинг представља скуп и теренски захтеван посао.

Поред наведеног, у пракси се јавља и проблем да одређени број пијезометара најчешће буде уништен или затрпан, чиме је онемогућено њихово правилно праћење. У случајевима када нису доступни релевантни подаци на основу осматрачке пијезометарске мреже, наведени приступ се може усвојити као груба апроксимација за потребе геотехничког модела и дефинисања екстремних сценарија.

Иако је за дефинисање сценарија S1 усвојена стогодишња вода Саве, која наилази на стогодишње воде Дунава, усвојен је повратни период понављања сценарија од свега 25 година, услед чињенице да је за дефинисање сценарија разматран и неповољан хидрогеолошки сценарио, у коме су воде на површини терена, а који се јавља у чешћим временским периодима. Вредности стогодишњих вода су претходно биле дефинисане током 2005. године, док је на подручју Србије, након 2010. године, било више неповољних климатских и хидролошких сценарија са поплавама и рекордним водостајима, који захтевају ревизију вредности стогодишњих нивоа водотокова и периоде њихове поновљивости. Усвојени повратни период од 25 година је на страни сигурности и подложан је ревизији након детаљних хидролошких и климатолошких анализа од стране релевантних стручних организација и агенција.

Упоредни приказ профилних линија НПВ-а и нивоа Саве за усвојене хидролошке сценарије за насумично одабрану профилну линију је приказан на слици 59. На слици није приказана профилна линија НПВ-а за сценарио S5 услед преклапања са профилним линијама осталих сценарија.



Слика 59. Упоредни приказ профилних линија НПВ-а и нивоа Саве за усвојене хидролошке сценарије за насумично одабрани профил терена

5.2.3 Динамички модел

У овом поглављу су приказани резултати добијени применом различитих метода геотехничког и геодетског мониторинга за потребе дефинисања динамичког модела клизишта „Умка“. На основу тако усвојеног динамичког модела, извршена је нова подела клизишта „Умка“ на квази-геотехничке блокове који су коришћени као улазни податак за 3D анализу стабилности и процену хазарда.

5.2.3.1 Интерпретација инклинометарских мерења

Интерпретација мерења из 2005. године

У табели 30 приказани су резултати инклинометарских осматрања изведених током 2005. године са општим подацима о инклинометарским конструкцијама (Jelisavac et al., 2006).

Табела 30. Основни подаци добијени на основу инклинометарских очитвања на клизишту „Умка“ током 2005. године. Брзина је изражена у cm/месечно, $\mathbf{d_{max}}$ означава максималну дубину на којој су регистрована померања, $\mathbf{d_{tot}^{max}}$ означана максималну очитану величину вектора померања. **Азимут** означава вредности азимута вектора померања
* су означени инклинометри за које су приказани дијаграми

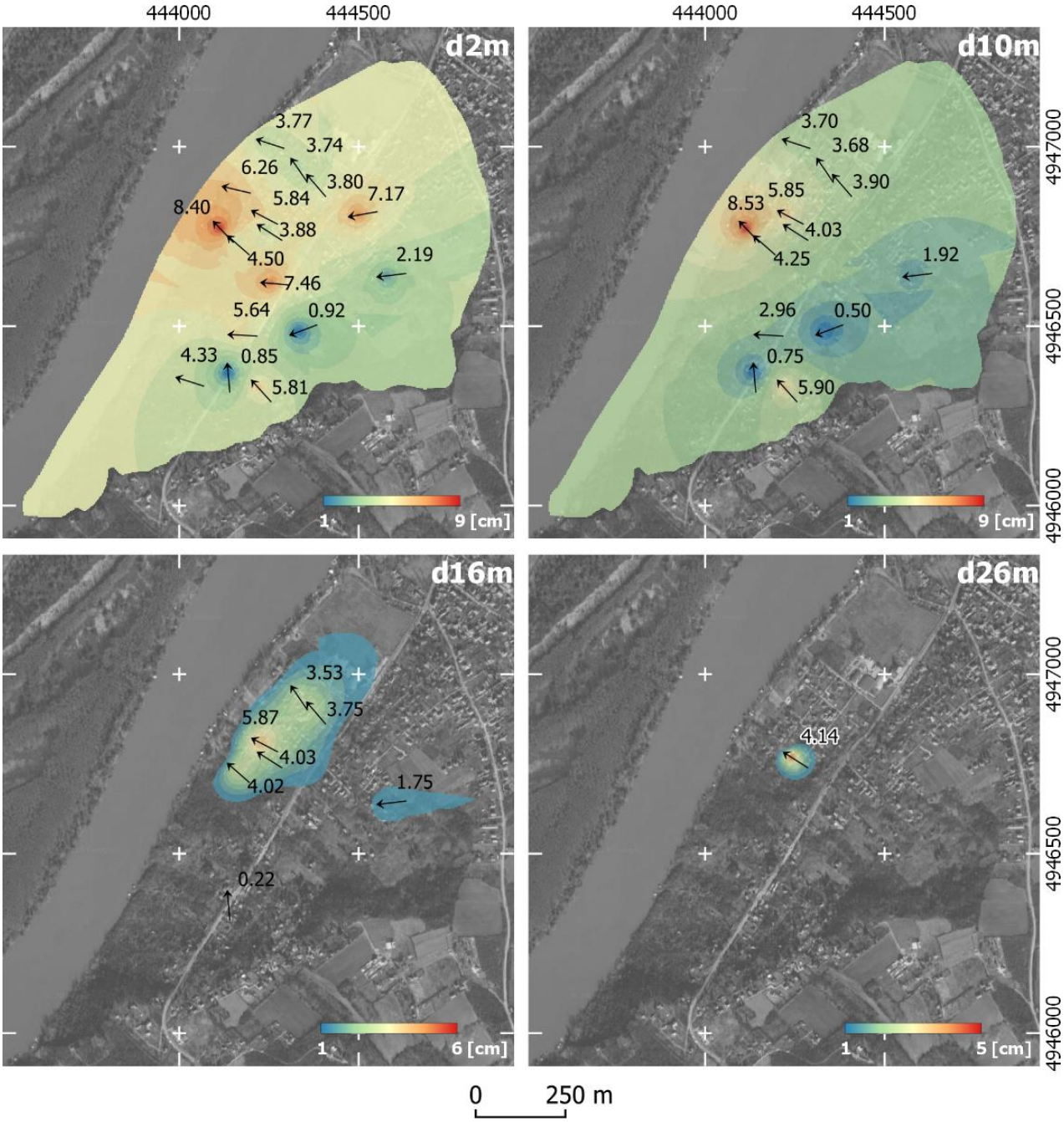
знака	дубина бушотине	датум првог очит.	бр. дана очитавања	брзина (cm/M)	d_{max} (m)	d_{tot}^{max} (cm)	азимут (°)
Bi-7	26,2	16.01.05.	152	0,8	20	3,9	320
Bi-8*	21,4	15.01.05.	152	0,76	16	3,7	325
Bi-9	14	16.01.05.	152	0,74	10	3,8	288
Bi-10	31,5	22.01.05.	63	1,97	26	4,1	302
Bi-11	22	20.01.05.	103	1,81	20	6,2	297
Bi-12	16	18.01.05.	85	2,3	8	6,3	283
Bi-13	19,5	21.01.05.	12	19,07	8	7,6	275
Bi-14	26,5	23.01.05.	30	4,53	20	4,5	311
Bi-15*	16	25.01.05.	146	1,76	12	8,55	316
Bi-16	12	23.01.05.	63	2,78	10	5,84	272
Bi-17	19	25.01.05.	271	0,12	16	1,02	355
Bi-19*	15,6	27.01.05.	26	4,99	2	4,33	287
Bi-20	17,3	05.02.05.	76	2,35	10	5,9	317
Bi-34	20	13.03.05.	/	/	/	/	/
Bi-37*	29,8	15.03.05.	41	1,66	20	2,2	263
Bi-41	30	18.03.05.	42	0,66	10	0,92	273
Bi-46	21	22.03.05.	91	2,36	4	7,17	259
Bi-58	14	02.04.05.	2	/	/	/	/

На слици 60 су приказане карте добијене RBF[34] интерполацијом са приказом вектора и вредностима померања за три карактеристичне дубине (d_{10}, d_{16} и d_{20}), које су утврђене на основу анализе података осматрања из 2005. године. Поред поменуте три, на истом прилогу је приказана и карта померања на дубини од 2 m (d_2), с обзиром да су на овој дубини утврђене највеће вредности вредности вектора померања. Током осматраног периода, највећа померања су регистрована до дубине од 10 - 12 m (d_{tot}2m = 8,4 cm и d_{tot}10m = 8,53 cm) и то у инклинометру Би-15, који се налазио у Блоку А, у непосредној близини обале Саве. Генерално посматрано управо у Блоку А су очитаване највеће вредности померања и највеће регистроване дубине до клизних равни, док су у оквиру Блока В сви инклинометри имали нешто мање вредности померања (до 6 cm) и то до дубина од 10 m. На дубинама већим од 16 m су регистрована померања углавном у

[34] енг: *Radial basis function*

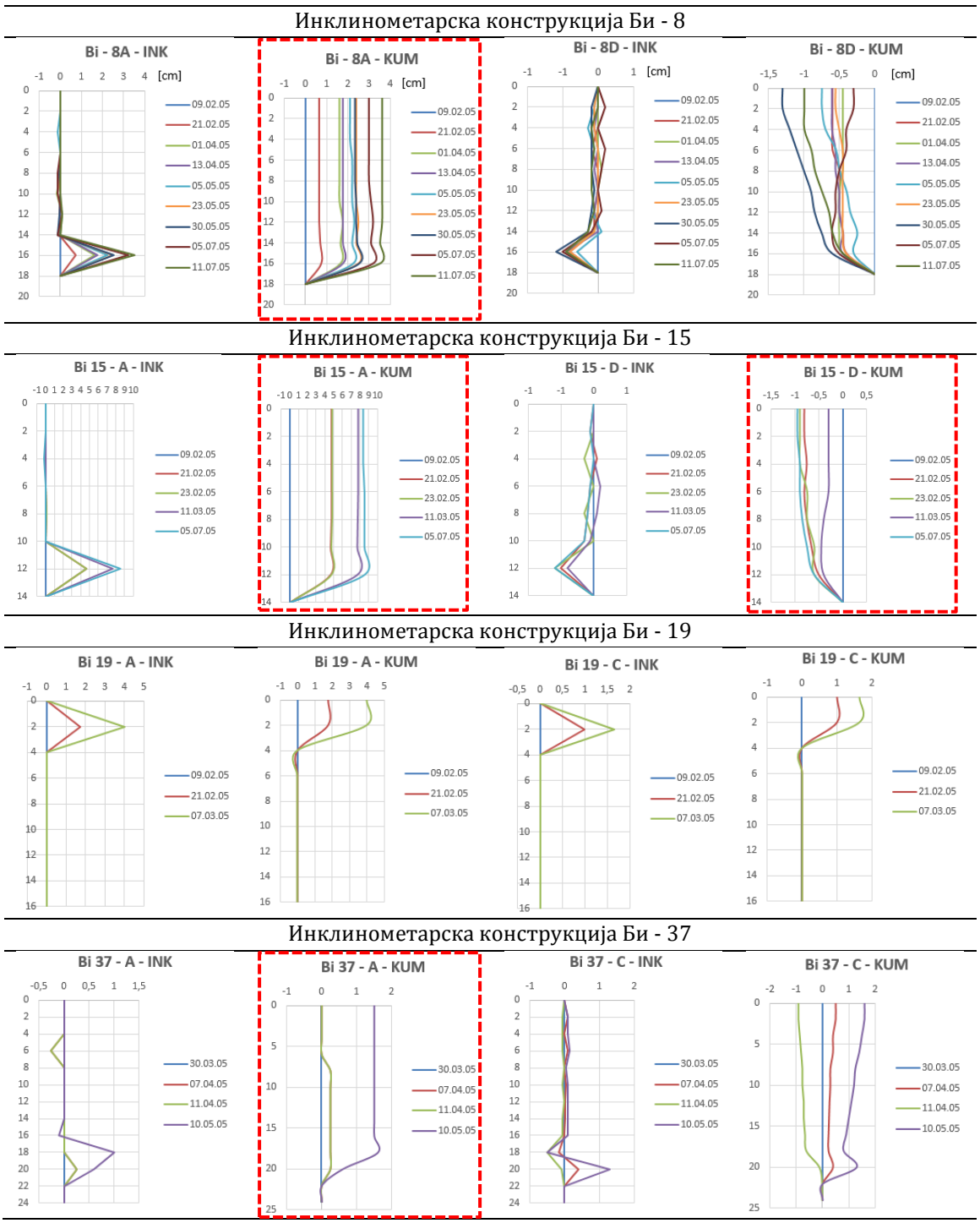
оквиру Блока А и нешто мање у оквиру Блока В и то у централном делу изнад државног пута IB26, што се јасно уочава на слици 60 - доле лево (d16m).

На основу наведених података из табеле 30, одабрана су четири инклинометра (Би-8, Би-15, Би-19 и Би-37) за која су приказани дијаграми кумулативних и инкрементaлних померања по дубини (Слика 61).



Слика 60. Карте (RBF) интерполације са приказом 2D вектора и вредности тоталних померања (cm) на основу података инклинометарских осматрања за четири карактеристичне дубине клизишта „Умка“ (d_2, d_{10}, d_{16} и d_{26}). На интерполованим картама су приказане само вредности померања које су веће од прецизности интерпретације очитавања (1 cm)

Инклинометри Би-8 и Би-15 су се налазили у средишњем делу блока А, инклинометар Б-19 се налазио у доњем делу Блока В испод државног пута, док се инклинометар Б-37 налазио у централном делу блокаВ изнад државног пута IB26.



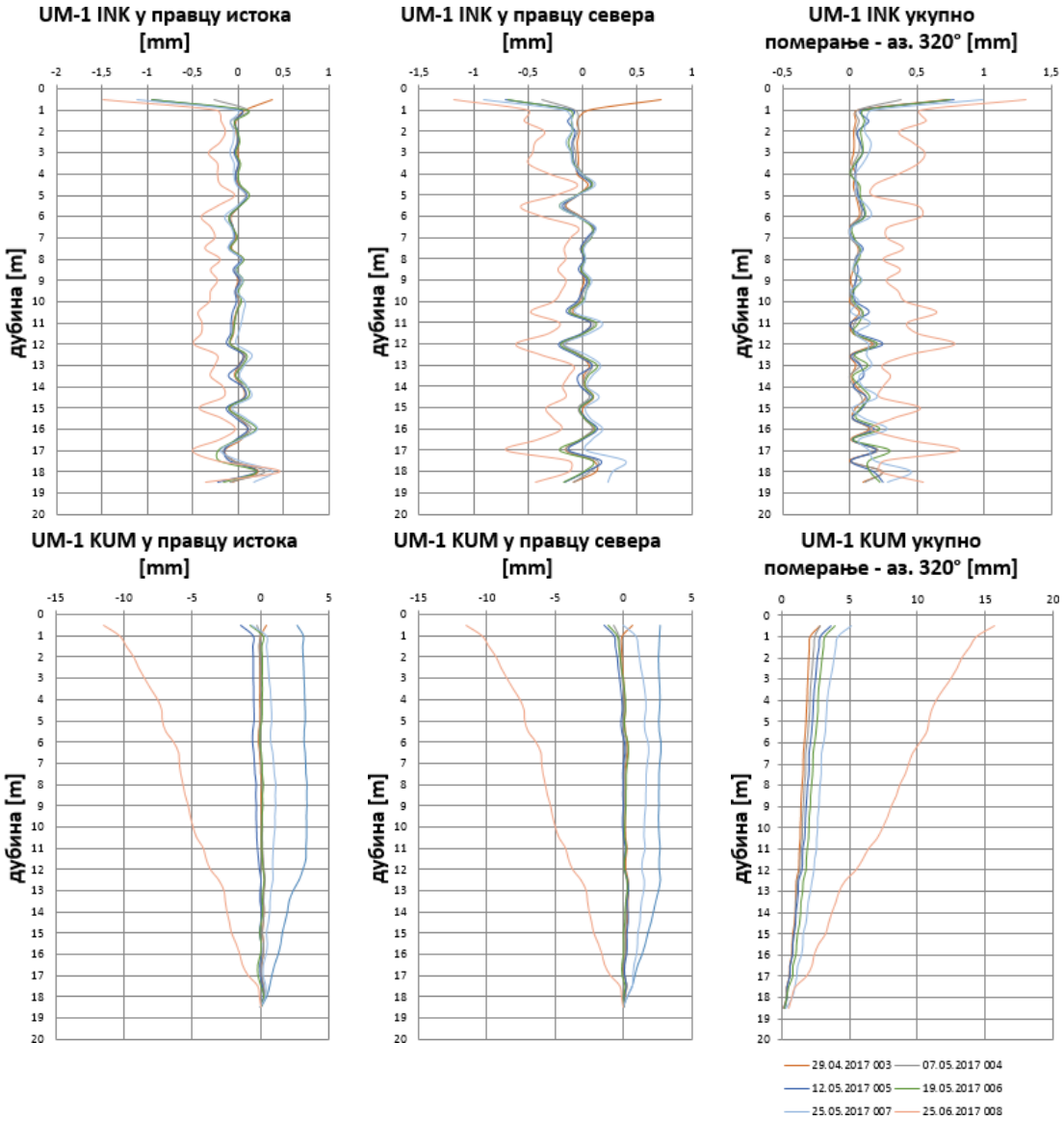
Слика 61. Дијаграми кумулативних **(KUM)** и инкрементaлних **(INK)** померања по смеровима оријентације за четири одабране инклинометарске конструкције. **Смер А** има вредност азимута од 220° и оријентацију према Сави, **Смер В** има вредност азимута од 40° и оријентацију према Београду, **Смер С** има вредност азимута од 130° и оријентацију према насељу Руцка док **смер D** има вредност азимута од 220° и оријентацију према Обреновцу

Дијаграми, који су уоквирени црвеном испрекиданом линијом на слици 61, имају исте износе померања за све дубине изнад клизне површи. На основу ових дијаграма је доказано да је на клизишту „Умка“ доминантно транслаторно кретање, на основу чега је усвојена претпоставка да су деформације на површини терена у сагласности и снажној корелацији са деформацијама на клизној површи. Ова чињеница је омогућила коришћење резултата геодетског мониторинга, као репрезентативних приликом моделовања и корелације. Свакако да постоје разлике у износима, карактерима и

правцима деформација, између поменутих резултата мониторинга. Међутим, услед финансијских услова, није било могуће обезбедити паралелни континуални мониторинг на нивоу клизне површи и на површини терена.

Интерпретација мерења из 2017. године

Сва очитавања са инклинометра су прерачуната у инкрементална и кумулативна за правац севера и истока и потом за укупна померања у смеру кретања (320°) на дубини до клизне површи која је евидентирана на 17 метру. На основу података закључено је да током периода осматрања није дошло до већих померања по дубини. У свим епохама инкрементална померања су износила око 1 mm, што је у границама мерне прецизности самог уређаја, док је на дијаграму укупних кумулативних померања уочено померање од свега 1,5 cm (Слика 62), што може бити тумачено као последица грешке очитавања или неадекватне уградње инклинометарске конструкције. Дијаграми укупних и кумулатинвих померања указују да постоји грешка очитавања, али су и такве вредности померања биле занемарљиво мале, па није вршена њихова корекција. Период осматрања инклинометра од свега два месеца није био довољан за утврђивање померања. Код клизишта, која су по динамици и морфологији као што је „Умка“, у зависности од локације самог инклинометра, потребан је период осматрања од најмање 6 - 12 месеци што није било могуће у овом случају због физичког уништавања инклинометра. Приликом израде ове дисертације није било финансијских услова за извођење нових бушотина и уградње других инклинометарских конструкција које би дале релевантније податке.



Слика 62. Дијаграми кумулативних (KUM) и инкрементaлних (INK) померања у правцу севера и истока и укупних кумулативних и инкрементaлних померања по правцу 320°

5.2.3.2 Резултати добијени применом даљинске детекције

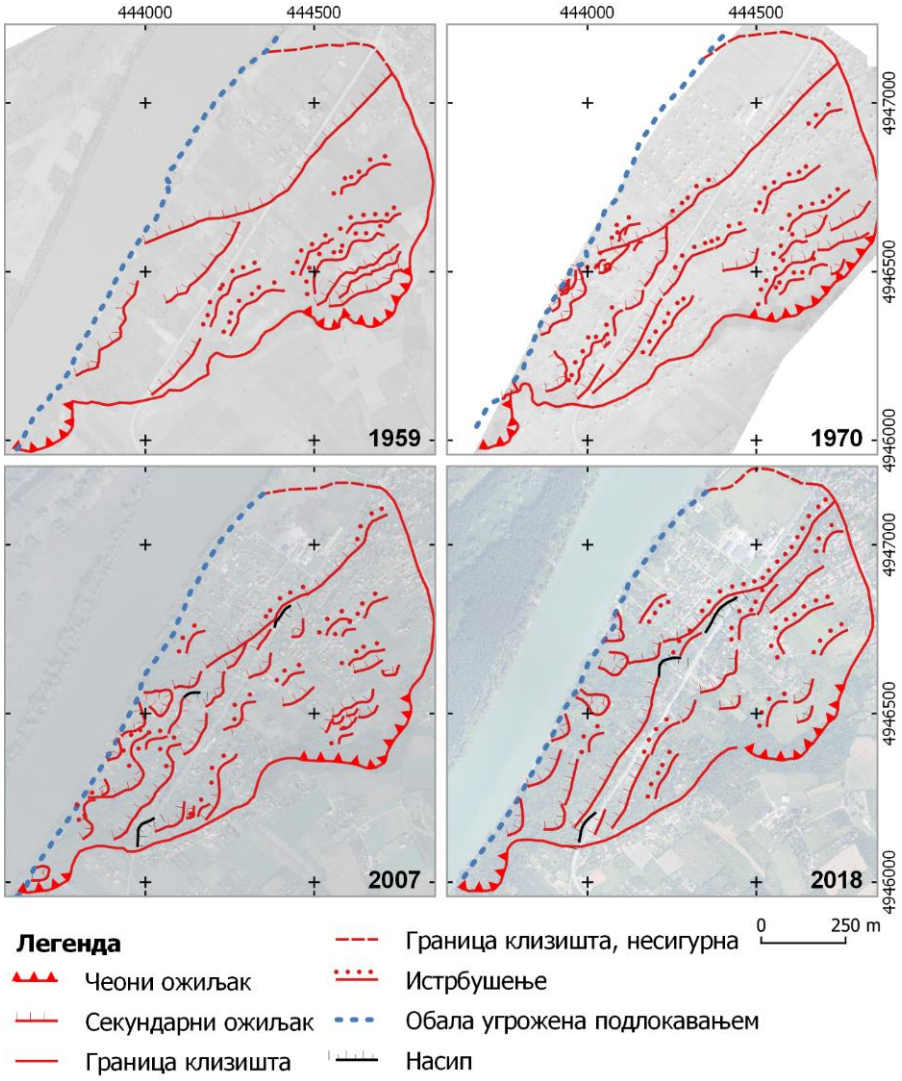
У овом поглављу је дат детаљан приказ анализе и интерпретације података који су добијени методама даљинске детекције, применом описане методологије. На основу ових резултата утврђене су промене у геоморфолошким карактеристикама на површини клизишта „Умка“, који су послужили за редефинисање његових блокова.

5.2.3.2.1 Резултати анализе архивских авиоснимака и ортофотоа

Резултати квалитативне фотогеолошке анализе (геоморфолошке промене)

За квалитативну фотогеолошку анализу снимака коришћени су сетови снимака из 1959., 1970., 2007. и 2018. године, како би се постигла уједначена временска разлика између истих. Фотогеолошком стереоскопском анализом претходно израђених ортофотоа и њихових DEM-ова различите резолуције за одабране сетове израђене су четири фотогеолошке карте егзодинамичких појава и облика, које су потом упоредно анализиране и на основу којих је извршена квалитативна анализа процеса клижења кроз временски период скоро 60 година, са израдом пратећих фотогеолошких карата.

Резултати квалитативне фотогеолошко анализе клизишта „Умка“ за различите временске периоде су приказани на слици 63.



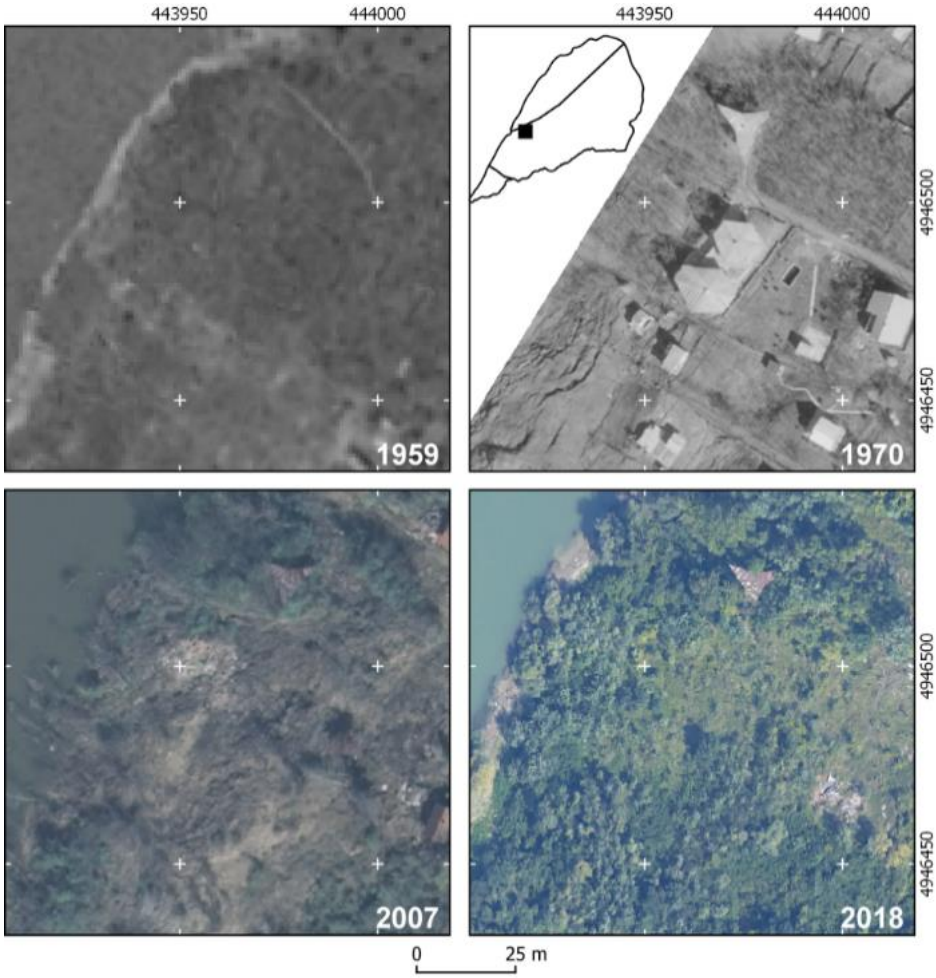
Слика 63. Фотогеолошке карте издвојених геоморфолошких облика на основу стереопарова генерисаних од ортофотоа и одговарајућих DEM-а за четири одабране епохе снимања (1959, 1970, 2007, 2018)

Након визуелне анализе извршена је статистичка обрада издвојених геоморфолошких облика за сва четири сета (Табела 31).

Табела 31. Статистички приказ издвојених геоморфолошких облика за четири временске епохе на основу архивских авиоснимака

Геоморфолошки облик	еп. 1959		еп. 1970		еп. 2007		еп. 2018	
	дужина [m]	%	дужина [m]	%	дужина [m]	%	дужина [m]	%
граница, сигурно утврђена	1448	17,9	1480,7	16,2	1449	15,9	1411,5	15,7
граница, претпостављена	426	5,3	372	4	342	3,8	355,3	3,9
чеони ожиљак	744	9,2	726,8	7,9	704	7,7	669,1	7,4
секундарни ожиљак	2661	32,8	3173,8	34,8	3541	38,9	2999,5	33,3
истрбушење	1317	16,3	2003,6	22	1383	15,2	1827,1	20,3
обала	1510	18,6	1356,3	1356	1435	15,8	1397,4	15,3
насип	0	0	0	0	230	2,5	337	3,75
укупно	8109,1		9113,8		9084		8998	

Визуелном и статистичком анализом геоморфолошких података закључено је да се процес клижења у значајној мери интензивирао током протеклих 60 година. Границе клизишта су остале су током времена остале непромењене док је распоред и величина деформација унутар тела клизишта (попут секундарних ожиљака и истрбушења) значајно варирао. На геоморфолошким картама јасно је уочено да су најмање промене забележене у оквиру ножице клизишта (Блок А), док су највеће промене и деформације претрпели сви остали делови клизишта „Умка“. Током времена су поједини секундарни ожиљци ишчезли или маскирани услед вегетације док су на месту појединих кроз време настала истрбушења и обрнуто. Наведено указује на изразиту активност и динамику клизишта чији је интензитет кулминирао током или након 1970. године прошлог века, што се поклапа са интензивном урбанизацијом и изградњом викенд објеката на телу клизишта. Прегледом снимака утврђено је да је су у појединим деловима, након 1970. године, нестали читави делови викенд насеља и да значајан број објеката више ни физички не постоји на површини клизишта слици 64.



Слика 64. Детаљи ортофотоа са подручја клизишта „Умка“ из четири различите временске епохе генерисаних на основу архивских авиоснимака. На детаљима из 2007. и 2018. године уочава се рушење и нестанак скоро свих објеката који су постојали током 1970. године

Резултати квантитативне анализе

Основни подаци о процесираним паровима ортофото снимака и резултатима на основу описане методологије су приказани у табели 32.

Табела 32. Основни подаци за два одабрана пара ортофотоа добијених на основу корелације архивских снимака из 2003 и 2010 и 2010 и 2018. године; $\overrightarrow{AB}$ - број вектора -

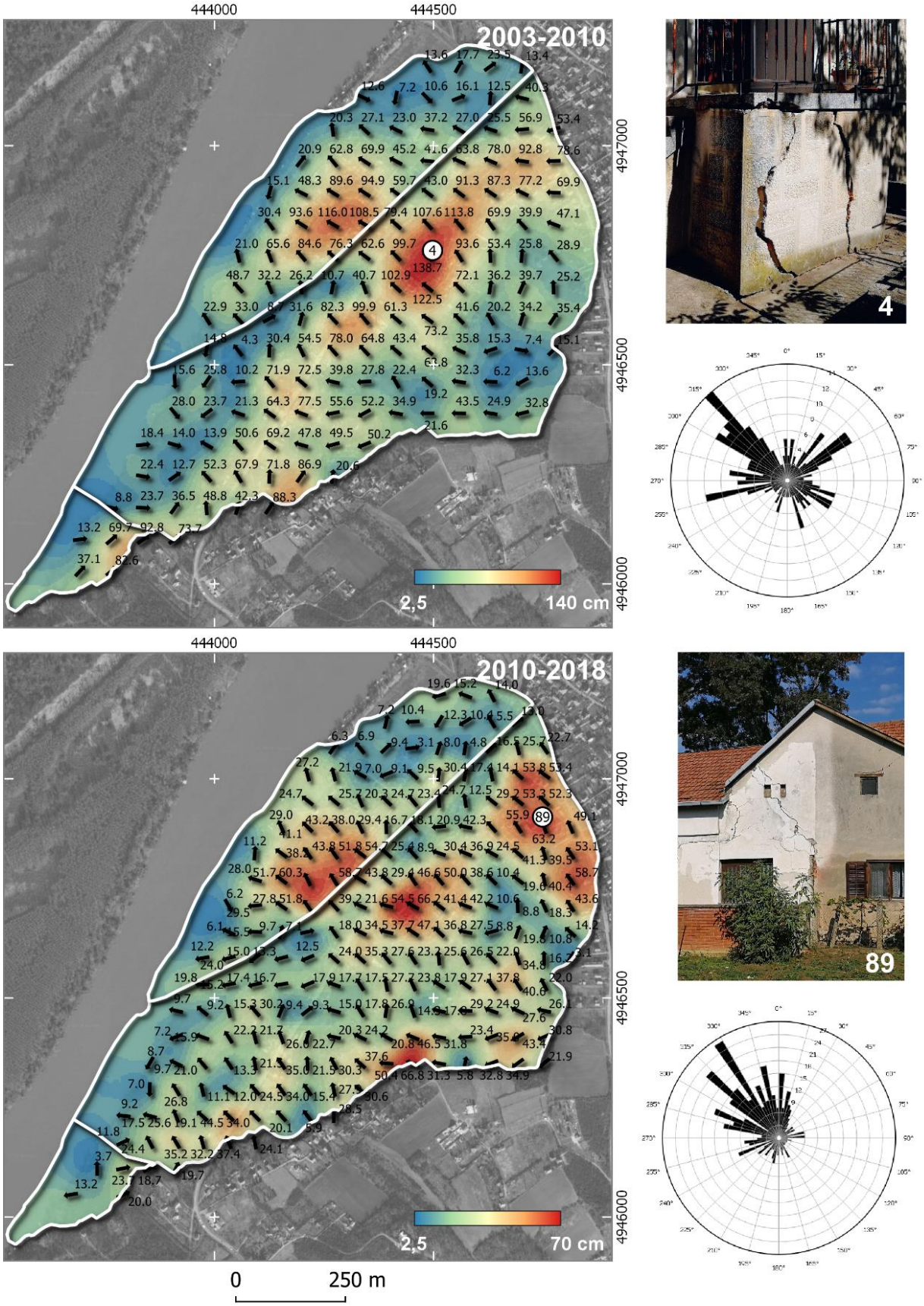
Назив сета	вел. прозора (pix)	добијена макс. померања (cm)	$\overrightarrow{AB}$ пре филт.	$\overrightarrow{AB}$ после филт.	примењен корелатор
2003-2010	64 x 64	138	290	284	Statistical
2010-2018	64 x 64	87	421	414	Statistical

Број вектора померања пре и после филтрирања је приказан у табели 32. Вектори и њихова RBF интерполација у виду растера приказани су на слици 65.

На основу квантитативне анализе архивских авиоснимака може се закључити да је на анализираним паровима снимака који представљају две временске серије дошло до значајне промене динамике површинских померања.

Током првог периода од 2003. - 2010. године највећа померања су забележена у широј зони граница блока А и В (у северном делу) где су регистрована померања од преко 1 m за седам година. Уједно, на том потезу су током геотехничких истраживања и обиласка терена као и вештачења објеката утврђена највећа оштећења на стамбеним и помоћним објектима, која се настављају и данас (Слика 65 - горе десно). Нешто мања померања су регистрована у средишњем делу Блока В испод државног пута и у зони пута уз Руцку. Делови Блока В испод државног пута IB26 су применом ове методе анализе остали „непокривени“ што је највероватније последица густе вегетације која је била присутна на том подручју током снимања и која је онемогућила јасно издвајање и праћење померања.

Током другог периода од 2010. - 2018. године поново су највећа померања забележена у широј зони граница блока А и В али овога пута са нешто мањом обухваћеном зоном померања. Регистрована су нешто већа померања у средишњем делу Блока В испод државног пута IB26 и у зони пута уз Руцку у односу на први анализирани пар што јасно указује на промену динамике самог клизишта током анализираног периода. Током картирања објеката 1990-тих година нису забележене значајније деформације у зони пута за Руцку, која су међутим, утврђена током картирања објеката 2007. и 2008. године, па се тако у зони највећих деформација у зони уз пут за Руцку издваја објекат бр. 89 на коме се јасно уочавају значајне деформације које су последица клизишта (Слика 65 - доле десно). Делови Блока В испод државног пута IB26 су применом и ове методе остали маскирани вегетацијом и без меродавних резултата.



Слика 65. Приказ просторне дистрибуције вектора померања добијених на основу поређења ортофото парова (горе – 2003. и 2010., доле 2010. и 2018.) са картом RBF интерполације као подлогом. Са десне стране обе карте приказан је један објекат из најугроженијег дела и дијаграм ружа свих вектора померања

5.2.3.2.2 Резултати анализе UAV фотограметријских снимака

UAV фотограметријски снимци клизишта „Умка“ (2018. и 2019. године) су процесирани, након чега су израђени DEM-ови и ортофотои, који су коришћени за квалитативну и кванитатативну анализу. На тај начин су добијени подаци о геоморфолошким променама током једне године, као и подаци о векторима померања на основу софтверске корелације пиксела, који су послужили за валидацију геодетског теренског GNSS кинематског осматрања. Технички подаци фотограметријског процесирања наведених снимака, на основу описане методологије су приказани у табели 33.

Табела 33. Технички подаци о процесирања корићених UAV снимака

	прва летачка мисија	друга летачка мисија
број оријентационих тачака за процесирање	45	59
време процесирања снимака (*Metashape* [35])	48 сати	72 сата
бр. генерисаних везних тачака снимака	894.923	1.579.615
бр. генерисаних тачака густог облака	188.103.597	96.520.149
бр. површинских тачака након класификације	4.896.664	31.480.029
добијена величина пиксела након процесирања	≈ 2,2 cm	≈ 2,2 cm
средња квадратна грешка оријентационих тачака	2,5 cm	5 cm

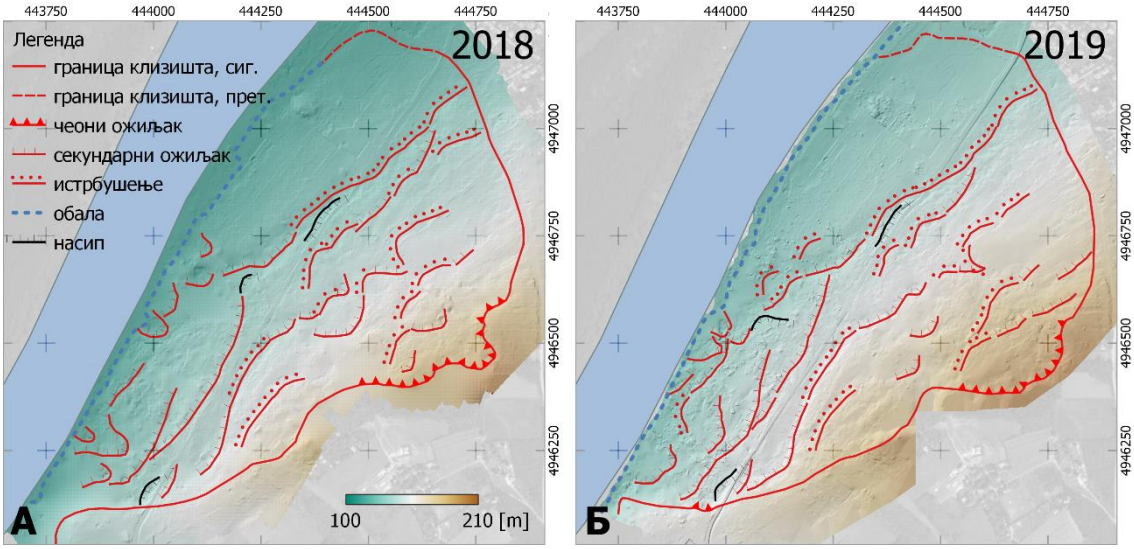
Резултати квалитативне фотогеолошке анализе (геоморфолошке промене)

Упоредни приказ фотогеолошких карата издвојених геоморфолошких облика квалитативном анализом UAV снимака је приказан на слици 66. Визуелним поређењем фотогеолошких карата за 2018. (Слика 66 - А) и 2019. годину (Слика 66 - Б) закључено је да није дошло до великих промена у геоморфолошким облицима који су могли да буду издвојени на основу стерео снимака, што је потврђено и једноставном упоредном анализом укупних дужина издвојених линеарних геоморфолошких облика за поменуте године (Табела 34). До највећих одступања приликом упоредне анализе снимака дошло је приликом издвајања чеоног ожиљка и обале, која је угрожена подлокавањем и обурвавањем од стране реке Саве. Ова разлика је оправдана услед више различитих чињеница. На првом месту, снимање је извршено у два различита периода бујања вегетације која у значајној мери може утицати на маскирање деформација (Слика 67 - А и А’), док је на другом месту разлика у дужини обале настала као последица различитог нивоа водостаја Саве код клизишта „Умка“. Како је Сава у овом делу небрањена, она има значајан утицај на морфолошки облик и дужину саме обале (Слика 67. - Б и Б’).

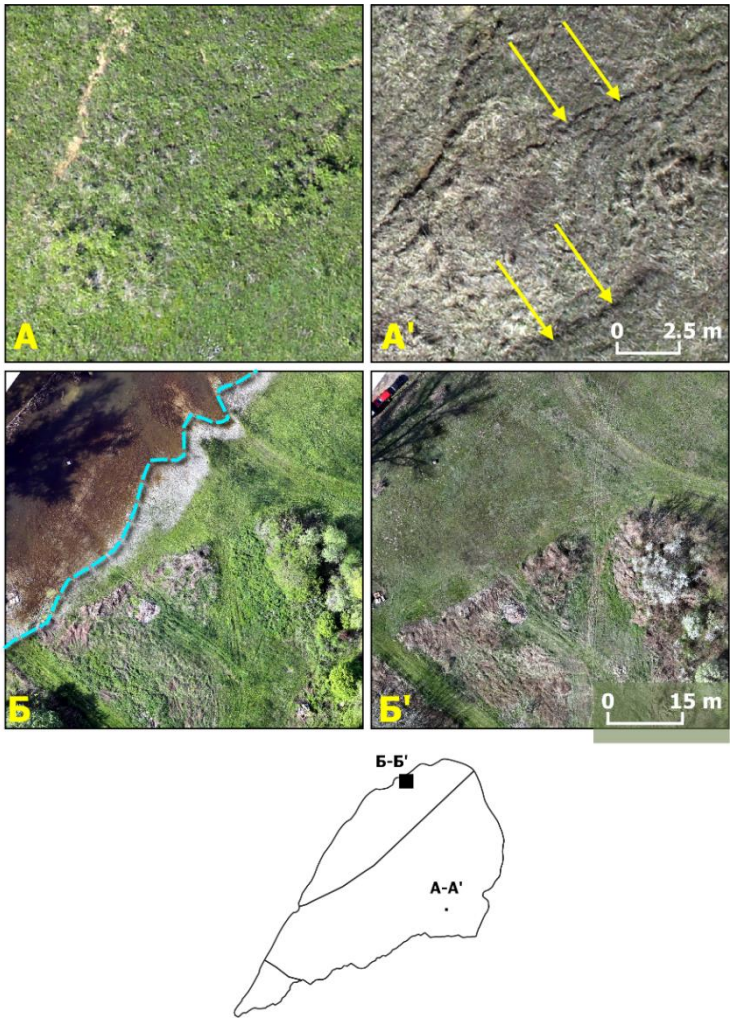
Табела 34. Статистички приказ издвојених геоморфолошких облика за 2018. и 2019. годину

	Стереопар 2018.		Стереопар 2019.	
Геоморфолошки облик	**дужина [m]**	**%**	**дужина [m]**	**%**
граница, сигурно утврђена	1503,6	16,9	1556,7	16,9
граница, претпостављена	322,2	3,6	351,0	3,8
чеони ожиљак	515,5	5,8	428,8	4,65
секундарни ожиљак	3065,2	34,5	3073,8	33,3
истрбушење	1877,0	21	1971,0	21,36
обала	1379,9	15,4	1540,7	16,7
насип	264,2	3	305	3,3
укупно	8927,9		9227,5	

[35] https://www.agisoft.com



Слика 66. Фотогеолошка карта издвојених геоморфолошких облика на основу стереопарова генерисаних од ортофотоа и одговарајућих DEM-а за 2018. годину **(А)** и 2019. годину **(Б)**



Слика 67. **(А)** - детаљ UAV снимка у зони чеоног ожиљка у току 2018. године и исти детаљ **(А')** током снимања 2019. године. Жутим стрелицама су издвојене деформације терена (секундарни ожиљци и истрбушења) која није било могуће издвојити на снимку из 2019. године **(Б)** - детаљ снимка обале у току снимања 2018. године и исти детаљ **(Б')** током снимања 2019. године. Цијан плавом испрекиданом линијом је приказана линија обале коју није било могуће издвојити на снимцима из 2019. године. На скици испод је приказана локација детаља снимака у односу на границе и блокове клизишта

Највеће деформације терена су евидентиране у зони блока B и то у горњем делу изнад државног пута IB26, док су у значајно мањој мери издвојене у доњим деловима терена, испод пута, услед присуства бујне вегетације, која је маскирала деформације терена које би иначе могле бити видљиве на снимцима. Најмање уочених деформација има у блоку A, док су оне које су издвојене углавном у граничним деловима са блоком B.

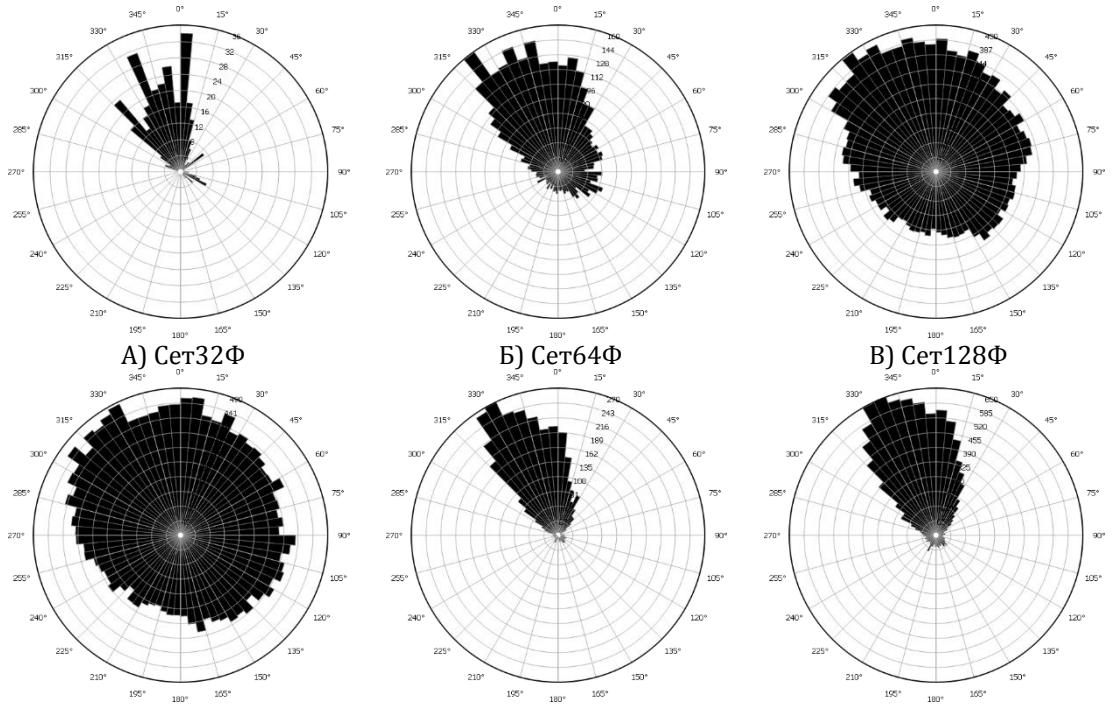
Резултати квантитативне анализе

Резултати корелације снимака начињених беспилотном летелицом из 2018. и 2019. године, приказани су у табели 35. Прелиминарном анализом азимута и интензитета вектора померања утврђено је да Сет128Ф и Сет256Ф (Слика 68 - B) садрже значајно више вектора који имају правце померања, која су супротна од очекиваних за клизиште „Умка“, док је њихов број значајно мањи код осталих (Слика 68 - A). Поређењем наведених сетова са подацима добијеним GNSS мониторингом, утврђена су одређена одступања, која могу указати да је присутан значајан утицај шума и да нису добијени меродавни резултати. Управо из наведених разлога нису ни креирани сетови са прозорима претраге од 128 x 128 и 256 x 256 пиксела применом статистичког корелатора.

Табела 35. Основни подаци за шест различитих сетова података добијених на основу корелације UAV снимака из 2018. и 2019. године; $\overrightarrow{AB}$ - број вектора

Назив сета	вел. прозора (pix)	макс. померања			$\overrightarrow{AB}$ пре филт.	$\overrightarrow{AB}$ после филт.	примењен корелатор
		очекивана		добијена			
		(pix)	(cm)	(cm)			
Сет32Ф	32 x 32	4	12	7	51,465	344	Frequency
Сет64Ф*	64 x 64	8	24	26,58	51,465	3,844	Frequency
Сет128Ф*	128 x 128	15	45	35,1	51,465	19,318	Frequency
Сет256Ф	256 x 256	30	90	90,7	51,466	25,367	Frequency
Сет32С	32 x 32	/	/	30	26,900	3,572	Statistical
Сет64С*	64 x 64	/	/	27,5	26,970	11,384	Statistical
* су означени одабрани сетови за анализу и приказ							

Анализом вредности азимута вектора укупног померања свих сетова утврђено је да Сет64Ф и Сет64С генеришу значајну већину вектора са азимутима померања чији су правци у очекиваном домену за клизиште „Умка“ (Слика 68 - Б ,Ђ). Ова два сета имају равномернију заступљеност вектора по површини тела клизишта и оптималан број истих у односу на друге, па су они одабрани за детаљнију анализу и интерпретацију. Сет128Ф је одабран за приказ дистрибуције и количине шума који се том приликом генеришу. Оправданост оваквог приступа се огледа и у чињеници да Сет64Ф и Сет64С дају најприближнија максимална померања у односу на очекивана што је приказано у табели 35.

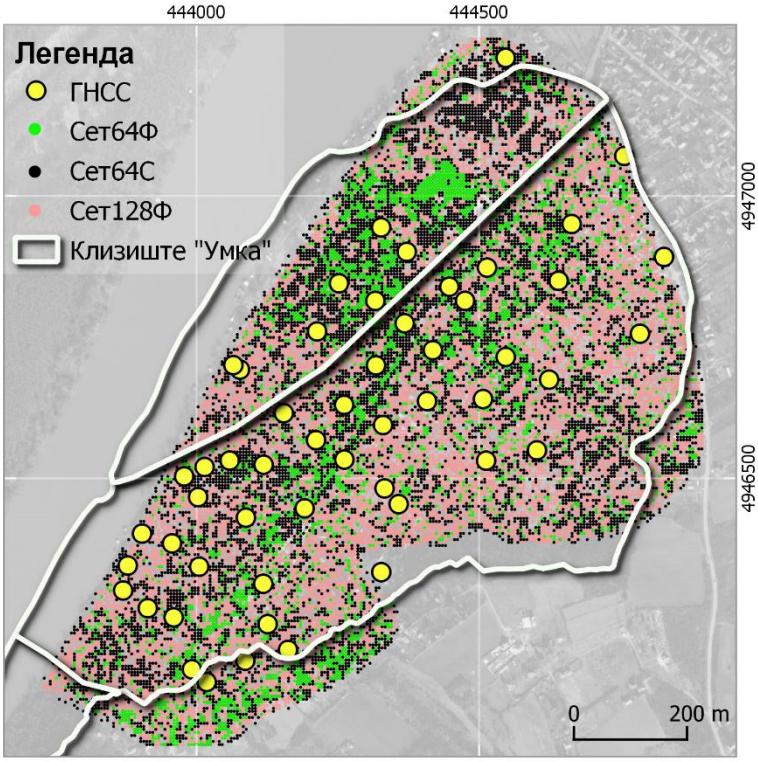


А) Сет32Ф Б) Сет64Ф В) Сет128Ф

Г) Сет256Ф Д) Сет32С Ђ) Сет64С

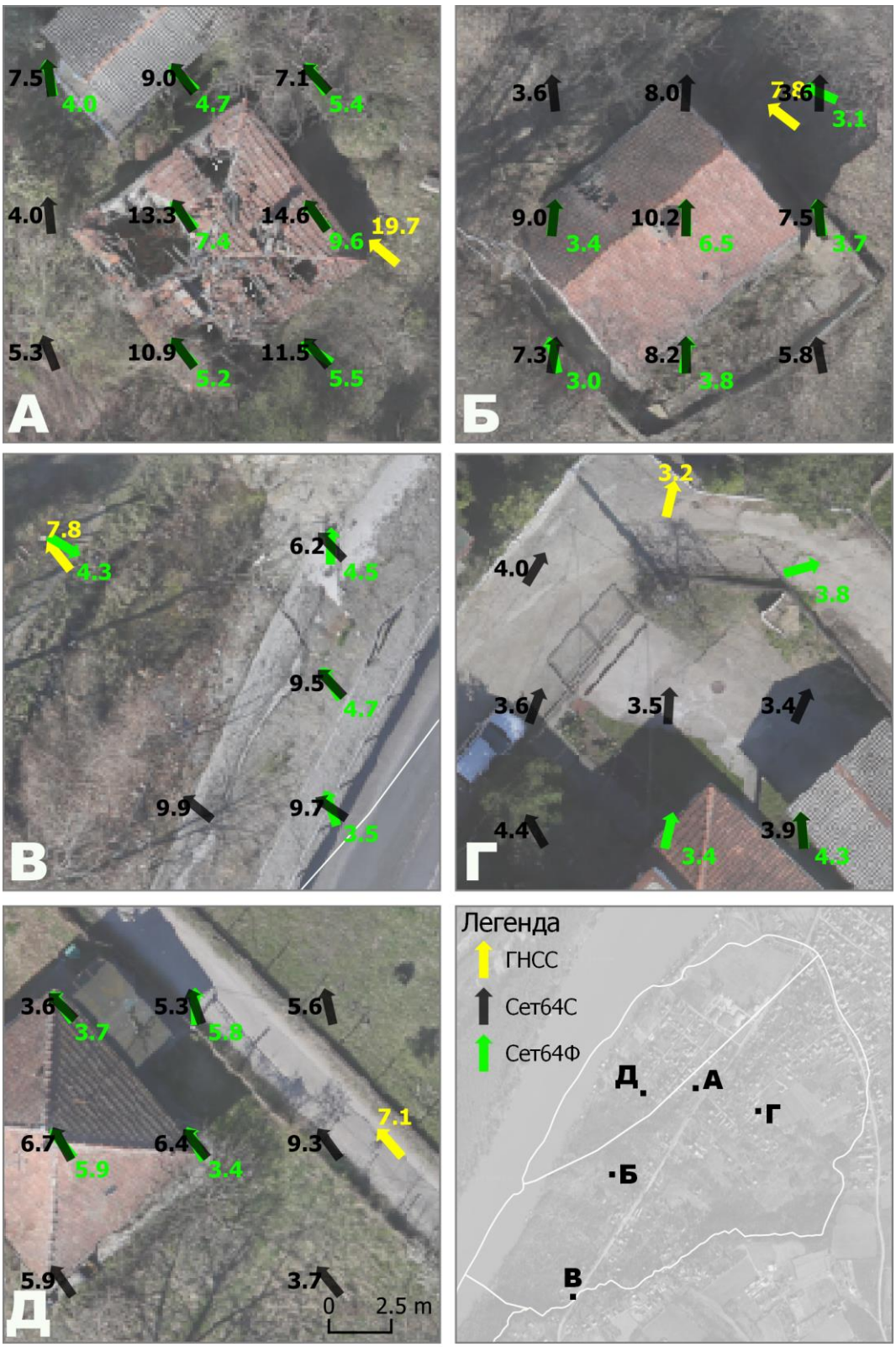
Слика 68. Дијаграм ружа вектора померања за шест различитих сетова података добијених на основу аутоматске корелације UAV снимака из 2018. и 2019. године

На слици 69 приказан је просторни положај вектора померања за три одабрана сета у односу на положај опажаних тачака клизишта GNSS-ом. Може се уочити да су вектори, који су генерисани на основу Сет64Ф, углавном распоређени у зони стамбених и инфраструктурних објеката, док изостају у зони вегетације. Вектори на Сет64С имају бољу и равномернију дистрибуцију по целој површини клизишта и обухватају како зоне стамбених и инфраструктурних објеката тако и делимично зоне покривене вегетацијом. Вектори код Сет128Ф скоро у потпуности покривају површину терена клизишта „Умка“ услед веома израженог присуства шума.



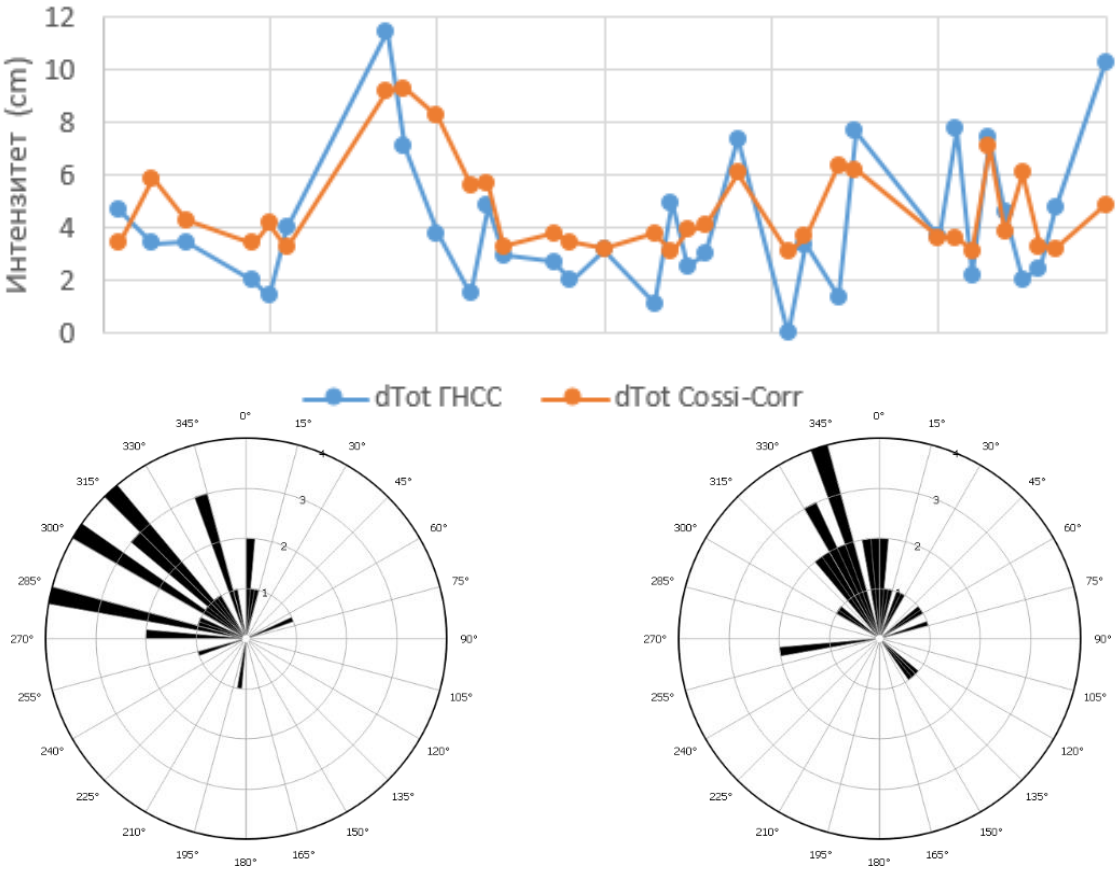
Слика 69. Просторни положај вектора померања добијених корелацијом UAV фотограметријских снимака из 2018. и 2019. године применом одабраних корелатора у односу на положај опажаних тачака клизишта GNSS-ом

На слици 70 су приказани детаљи за пет одабраних локација, где су на блиском подручју присутни вектори свих података одабраних за валидацију. На свим детаљима јасно се уочава доминација података из Сет64С у односу на Сет64Ф, како у правилнијој оријентацији азимута вектора тако и величинама померања, која су добијена на тај начин, а која се незнатно разликују у односу на податке добијене GNSS опажањем тачака клизишта.



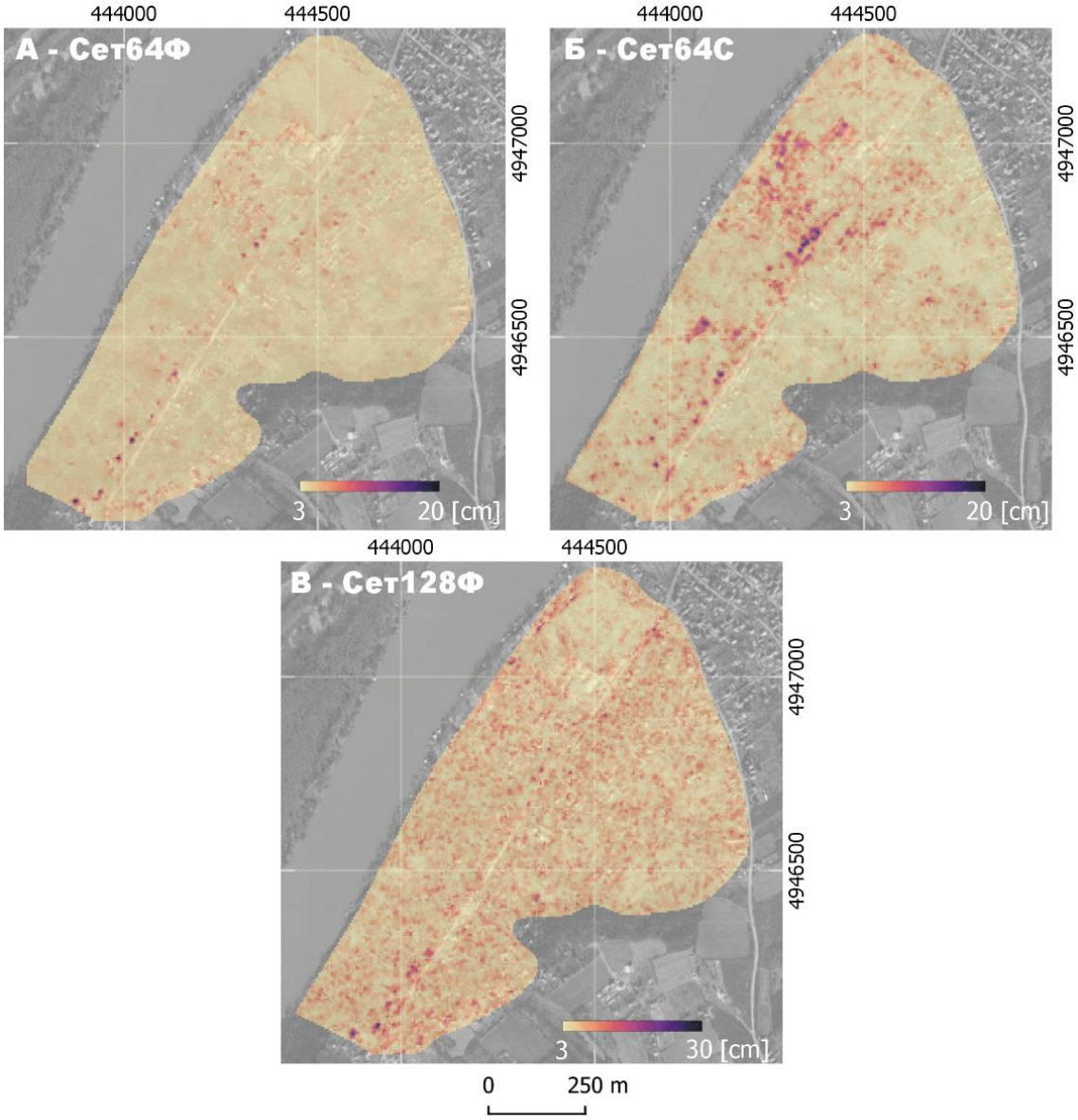
Слика 70. Приказ просторне дистрибуције и оријентације вектора померања добијених на основу Сет64Ф и Сет64С за пет одабраних локација у односу на векторе померања добијених опажањем тачака клизишта GNSS-ом. Бројеви приказују интензитет 2D померања у cm

Вредности парова вектора одабраних за валидацију су приказане на дијаграму (Слика 71 -горе), при чему се јасно уочавају мања одступања у вредностима које су добијене на основу две различите методе. Дијаграми азимута вектора померања одабраних парова који су добијени GNSS опажањем приказани су на слици 71 - доле лево, док је дијаграм азимута вектора померања, добијен корелацијом (Сет64С) приказан на слици 71 - доле десно. Оба дијаграма указују на нешто мања одступања вредности азимута одабраних парова која су у домену очекиваних вредности за клизишта „Умка“, док су иста мања одступања уочљива и на детаљима који су приказани на слици 70.



Слика 71. **горе** - Упоредни дијаграм вредности интензитета вектора померања за 33 пара из одабраног и валидационог сета; **доле лево** - дијаграми азимута вектора померања одабраних упарених вектора који су добијени GNSS опажањем; **доле десно** - дијаграми азимута вектора померања одабраних упарених вектора који су добијени корелацијом

На крају су применом RBF интерполације, плотоване карте на основу интензитета вектора померања, који су добијени корелацијом за три одабрана сета (Слика 72). На плотованим картама, јасно се уочава да Сет64Ф генерише податке померања, који немају равномерну дистрибуцију док Сет128Ф визуелно приказује количину генерисаног шума. Статистички је већ показано да Сет64С даје најбоље резултате што се уочава и на плотованој карти дистрибуције интензитета (Слика 72 - десно). Наведене карте су коришћене за потребе редефинисања динамике клизишта „Умка“.



Слика 72. Карте (RBF) интерполације вектора померања на основу корелације за одабране сетове

5.2.3.3 Резултати PSInSAR анализе

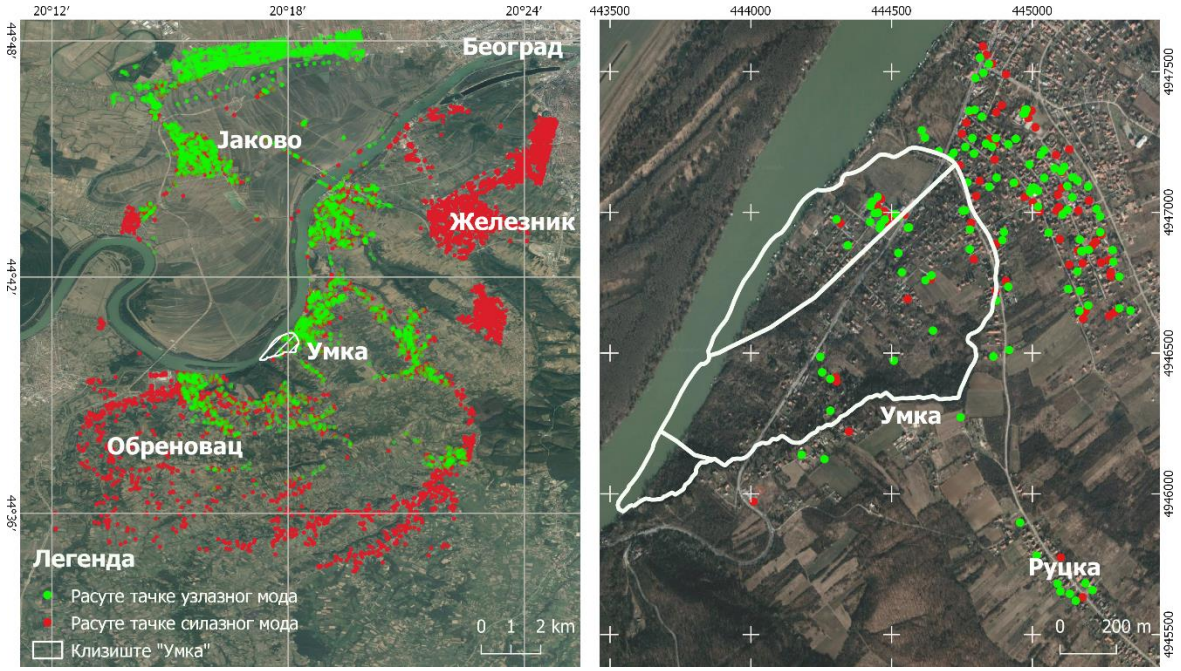
Резултати PSInSAR анализе, која је изведена за потребе ове дисертације, су коришћени за валидацију података, добијених на основу геодетског мониторинга. На тај начин су, посредно, искоришћени за усвајање динамичког модела и редефинисање блокова клизишта „Умка“, а за потребе 3D анализе стабилности и процене хазарда. Услед недовољног броја генерисаних стабилних тачака, применом ове методе, није било могућа процена хазарда која њен уобичајени резултат. Међутим, оваква анализа је први пут спроведена за потребе мониторинга клизишта у Србији, па је резултате било потребно приказати са критичким освртом и ограничењима.

На основу примене описане методологије PSInSAR анализе, укупан број генерисаних расутих тачака за узлазни мод је износио 4429, док је за силазни сет података тај број износио 5465 тачака (Слика 73-лево). Потребно је напоменути да је за уже подручје истраживања одабрано значајно мање тачака, па је за узлазни сет одабрано свега 113, а за силазни сет 71 тачка, док је унутар самог тела клизишта регистровано укупно 47 тачака и то 32 за узлазни и 15 за силазни мод (Слика 73 - десно). Прегледом расутих

тачака на ширем истражном подручју уочава се да су стабилне радарске мете коректно одабране. На пример, уочавају се појединачне мете у линеарном распореду поред Сурчина и Јакова, у непосредној близини саобраћајне петље у изградњи, што указује да су као стабилне мете препознати стубови јавне расвете на обилазници око Београда и регионалног далековода (Слика 74). Дистрибуција тачака на ширем подручју такође указује да се су све радарске мете махом у насељеним местима или уз велике инфраструктурне објекте.

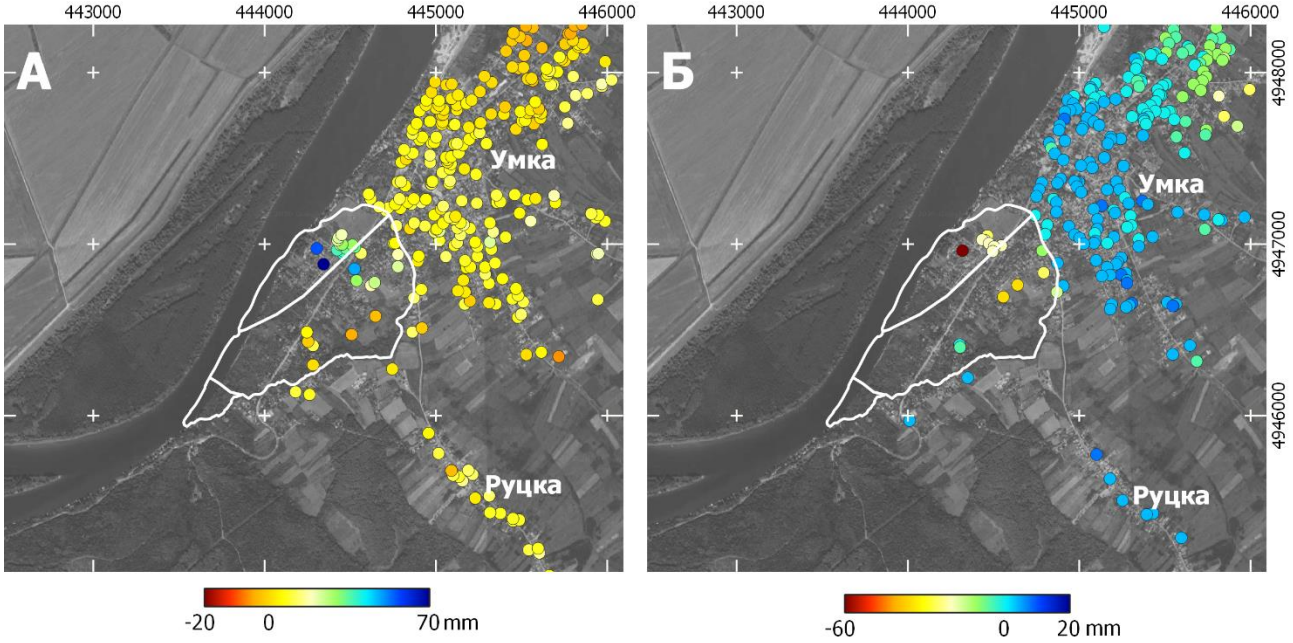
Унутар тела клизишта „Умка“ радарске мете нису хетерогено заступљене, већ се уочава већи број мета у зонама са гушћшом дистрибуцијом објеката. Највише мета је регистровано у Блоку А и то око магацина компаније „Магнат“, док се мањи број мета издваја у Блоку В изнад магистрале, а у доњем делу нема регистрованих мета, услед присуства бујне вегетације и одсуства вештачких објеката или објеката инфраструктуре.

Како би биле одабране репрезентативне и меродавне радарске мете, чији су подаци коришћени за анализу и валидацију, било је неопходно плотовати све податке на основу параметра кумулативне деформације. Кумулативна деформација у овом случају представља укупно (крајње) померање тачке, која је опажана у правцу линије видљивости сензора од првог до последњег анализираног снимка. Позитивне вредности указују на приближавање тачке сензору, док негативне вредности указују на удаљавање од сензора (Слика 75).



Слика 73. **лево** –препознате радарске мете за шире подручје истраживања;
десно – препознате радарске мете на ужем истражном подручју

Слика 74. Стубови јавне расвете на београдској обилазници и стубови регионалног далековода код Сурчина и Јакова правилно препознати као стабилне радарске мете
(црвено – силазни мод, зелено – узлазни мод)

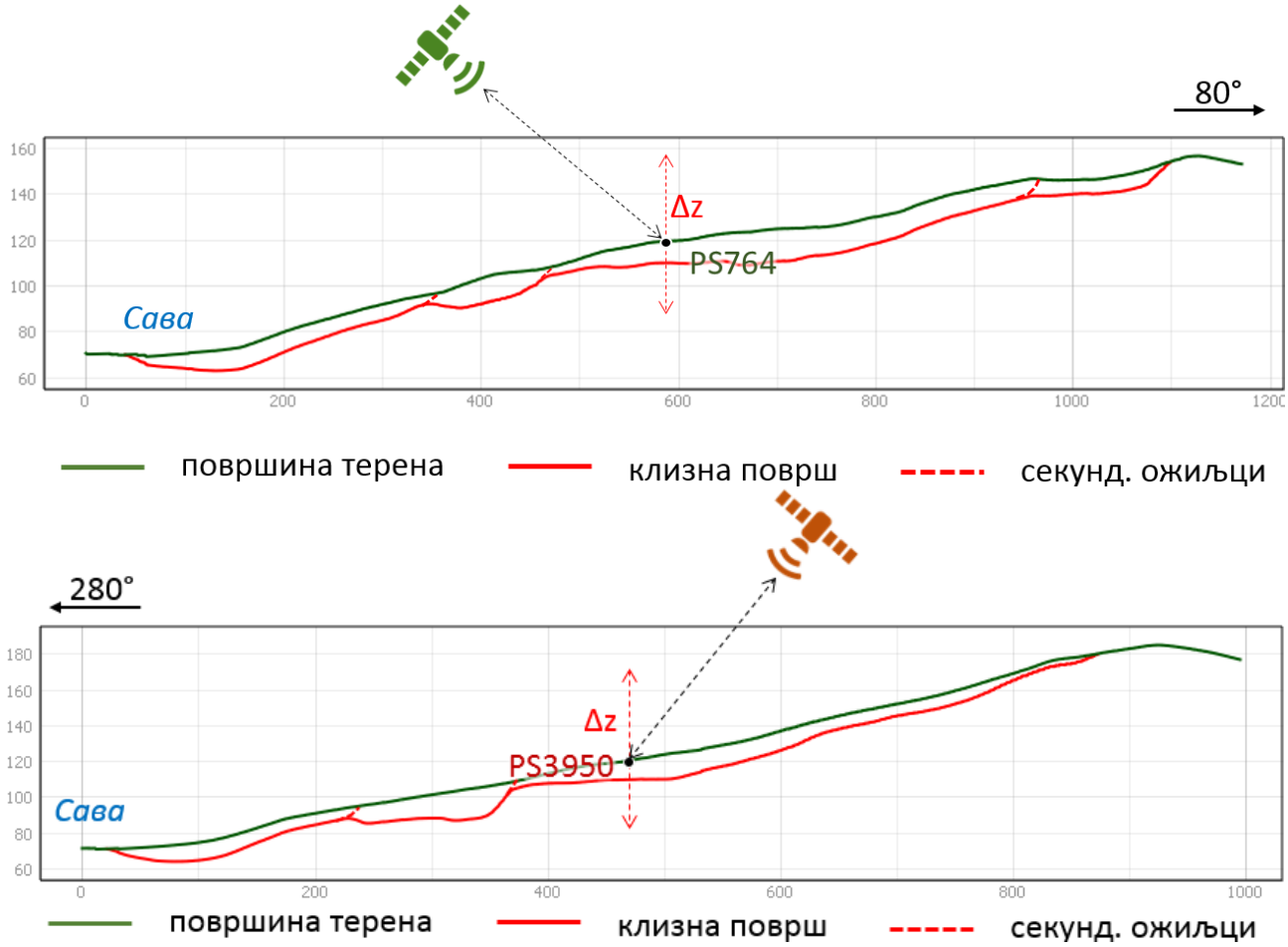


Слика 75. Радарске мете плотоване на основу параметра кумулативне деформације. Подаци добијени на основу узлазног сета података су приказани на слици лево, док су подаци добијени на основу силазног сета података приказани на слици десно. Белом линијом је приказана граница клизишта „Умка“ са блоковима

На слици 75 се може уочити да, радарске мете у зони клизишта „Умка“, одударају од осталих, које су забојене у складу са нормалном расподелом и чије су вредности кумулативних деформација већински у зони од +- 10 mm у односу на почетне вредности. Ова вредност се сматра горњом границом прецизности самог методолошког поступка.

Топографски профили по правцу линије опажања, са приказом клизне равни и геометријом сателита, су приказани за обе тачке на слици 76. На овим профилима се уочава да постоје две различите зоне, као и да постоје варијације у облику клизне равни и њене дубине. У овим деловима су на површини терена изражене деформације, како терена, тако и околних објеката. Постоје бројни секундарни ожиљци у чијим зонама оплићава дубина клизишта. Наведено има за последицу да клизиште „Умка“ у овом делу

има другачију динамику и механизам кретања од блока А, наочито ако се узме у обзир чињеница да је у овом делу клизишта доминантан транслаторни механизам клижења. Дијаграм кумулативних деформација за одабрани пар радарских мета (Слика 77-А) приказује веома добру међусобну корелисаност кумулативних деформација, што је очекивано услед њихове међусобне просторне блискости и стабилних фазних карактеристика.

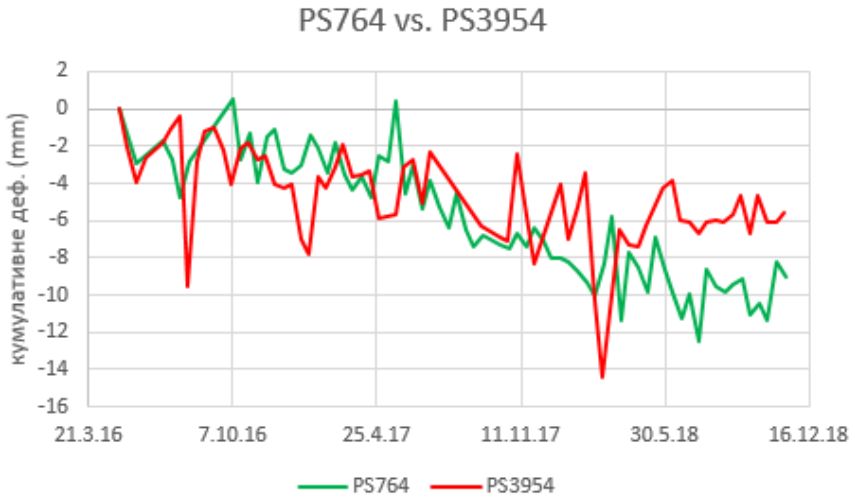


Слика 76.Топографски профили терена по правцу линије видљивости сензора са приказом геометрије сензора у односу на радарске мете бр. PS764 (горе) и PS3950 (доле).

Анализирани пар показује веома добру корелисаност са нивоом Саве, која се јасно уочава на дијаграмима на слици 77 Б и Г. Корелација кумулативних деформација и нивоа Саве је израженија код радарске мете PS3954, што се може оправдати чињеницом да је правац осматрања ове тачке скоро па паралелан са доминантним правцем клижења клизишта „Умка“.

Код свих анализираних радарских мета изостаје могућност корелације са падавинама. Ово још једном потврђује претходно успостављене претпоставке, да је клизиште „Умка“ заправо у корелацији са колебањем нивоа Саве, која врши еродовање ножице клизишта и која утиче на колебање порних притисака у телу колувијума.

Како се одабрани пар радарских мета бр. 2 налази на блиској удаљености од GNSS станице, било је могуће извршити статистичку анализу и корелацију ових мерења са кумулативним деформацијама.



А) Дијаграм кумулативних деформација радарских мета бр. PS764 и бр. PS3954

Б) Дијаграм деф. мете PS764 у корелацији са нивоом Саве

В) Дијаграм деф. мете PS764 у корелацији са падавинама

Г) Дијаграм деф. мете PS3954 у корелацији са нивоом Саве

Д) Дијаграм деф. мете PC3954 у корелацији са падавинама

Слика 77. Дијаграми кумулативних деформација радарских мета бр. PS764 из узлазног и PS3954 из силазног сета података и њихових корелација са падавинама и нивоом Саве током опажаног периода.

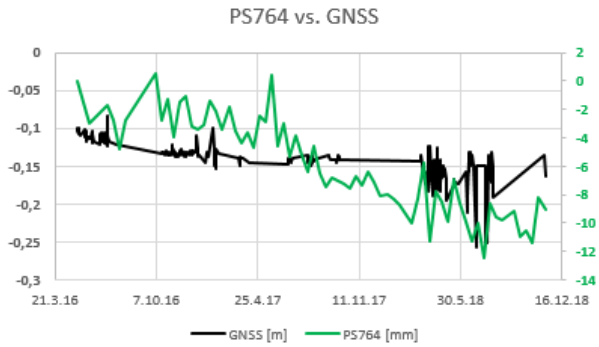
Како је одабрани пар тачака на удаљености од 150 m од перманентне GNSS станице, сви наведени резултати морају бити посматрани као поређење трендова. Прочишћене и прерачунате вредности померања по Z оси, добијене за време активног мониторинга са GNSS станице, су поређене са прерачунатим вредностима кумулативних деформација по Z оси са обе радарске мете према обрасцу бр. (19). Коефицијент корелације кумулативних деформација радарске мете PS764 са GNSS-ом за осматрани период се могао израчунати само за оне дане, за које постоје подаци и са радарских мета и са GNSS станице. Таквих дана је било укупно 20 и њихов коефицијент корелације износи 0,73, што представља јаку линеарну повезаност[36]. И поред тога што изостају дани када GNSS станица није била активна, јасно се уочава и визуелна корелација тренда на дијаграму са

[36] На основу интерпретације Пеарсновог коефицијента линеране корелације

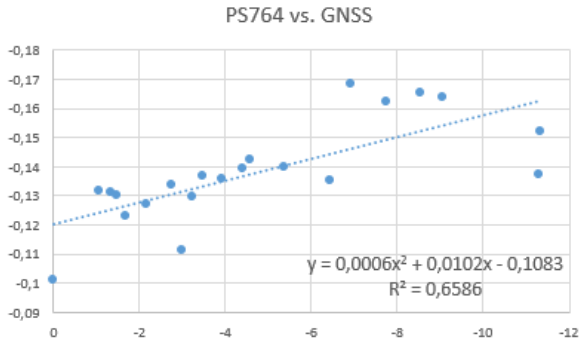
слике 78-А. Коефицијент детерминације радарске мете PS764са GNSS подацима је износио R^2 = 66% што указује на добро фитовање модела корелације (Слика 78 -Б).

Коефицијент корелације кумулативних деформација радарске мете PS3954 са GNSS, за осматрани период, се могао израчунати само за оне дане за које постоје подаци и са радарских мета и са GNSS станице. Таквих дана је било укупно 17 и њихов коефицијент корелације износи 0,67, што представља умерену линеарну повезаност. Поново се уочава, али овог пута нешто слабија визуелна корелација тренда на дијаграму са слике 78 - В. Коефицијент детерминације радарске мете PS3954 са GNSS подацима је износио R^2 = 45% што указује на осредње фитовање модела корелације (Слика 78 - Г).

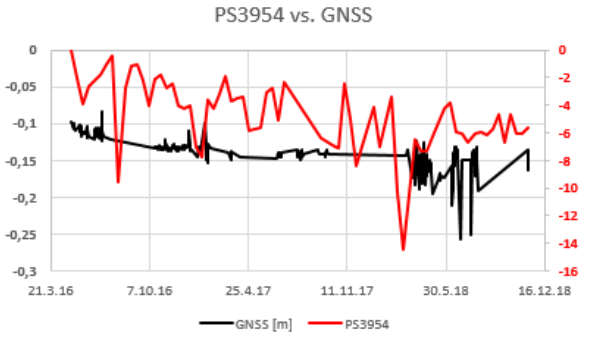
Најбољу корелацију са GNSS мерењима је дала радарска мета PS788, чија је локација такође, приказана на слици 19, с том разликом да ова мета нема свој блиски пар из силазног сета података. Њен коефицијент корелације од 0,88 указује на одличну линеарну корелацију са подацима са GNSS станице. Коефицијент детерминације R^2 = 76% указује, такође, на одлично поклапање линије модела корелације (Слика 79). Најбоље тумачење добре корелацију ове радарске мете јесте њен просторни положај у односу на GNSS станицу. Иако сама тачка није најближа станици, она има најмање вертикално растојање од ње, при чему се обе тачке налазе са исте стране секундарног ожиљка и на крају, имају сличне дубине до клизне равни (Слика 80).



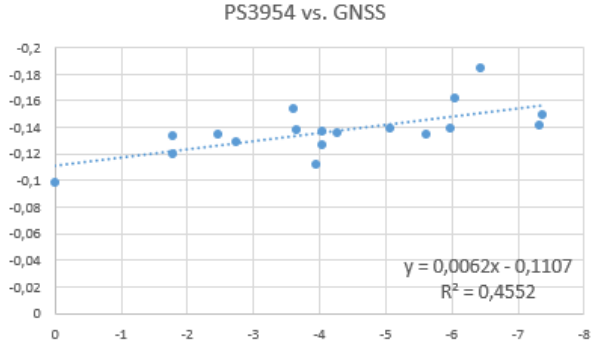
А) Дијаграм деф. мете PS764 у корелацији са GNSS станицом



Б) дијаграм расипања корелације деф. мете PS764 и GNSS-а

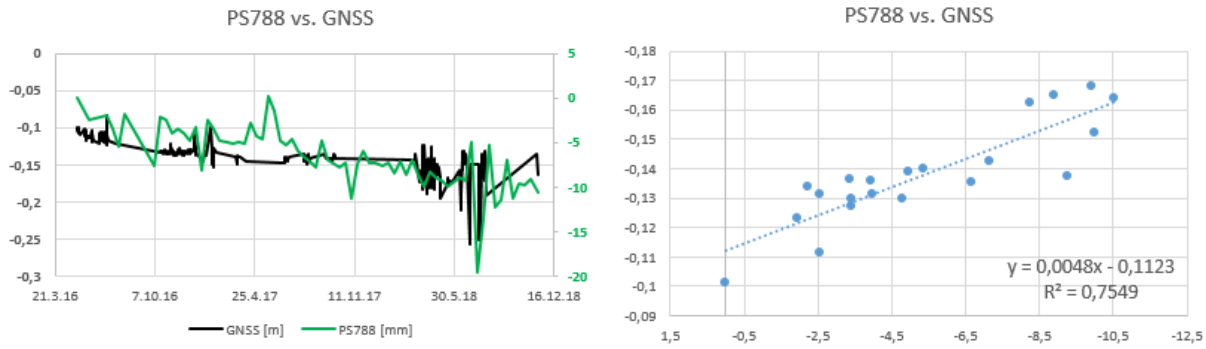


В) Дијаграм деф. мете PS3954 у корелацији са GNSS станицом



Г) дијаграм расипања корелације деф. мете PS3954 и GNSS-а

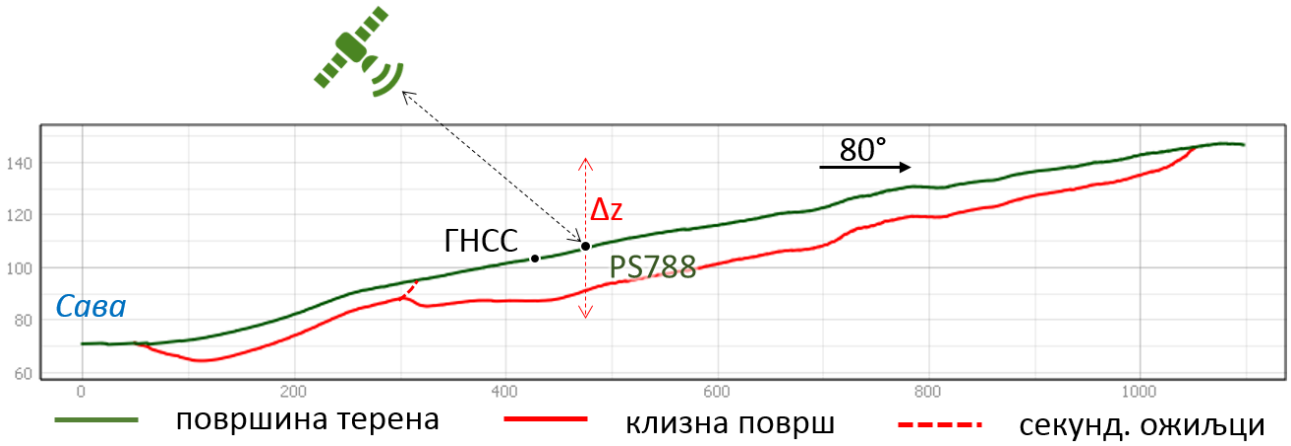
Слика 78. Дијаграм деформација радарских мета PS764 и PS3954 и њихова корелација са мерењима померања по Z на перманентној GNSS станици „Умка“. Равне линије на дијаграмима А и В показују прекид у раду GNSS станице



А) Дијаграм деф. мете PS788 у корелацији са GNSS станицом

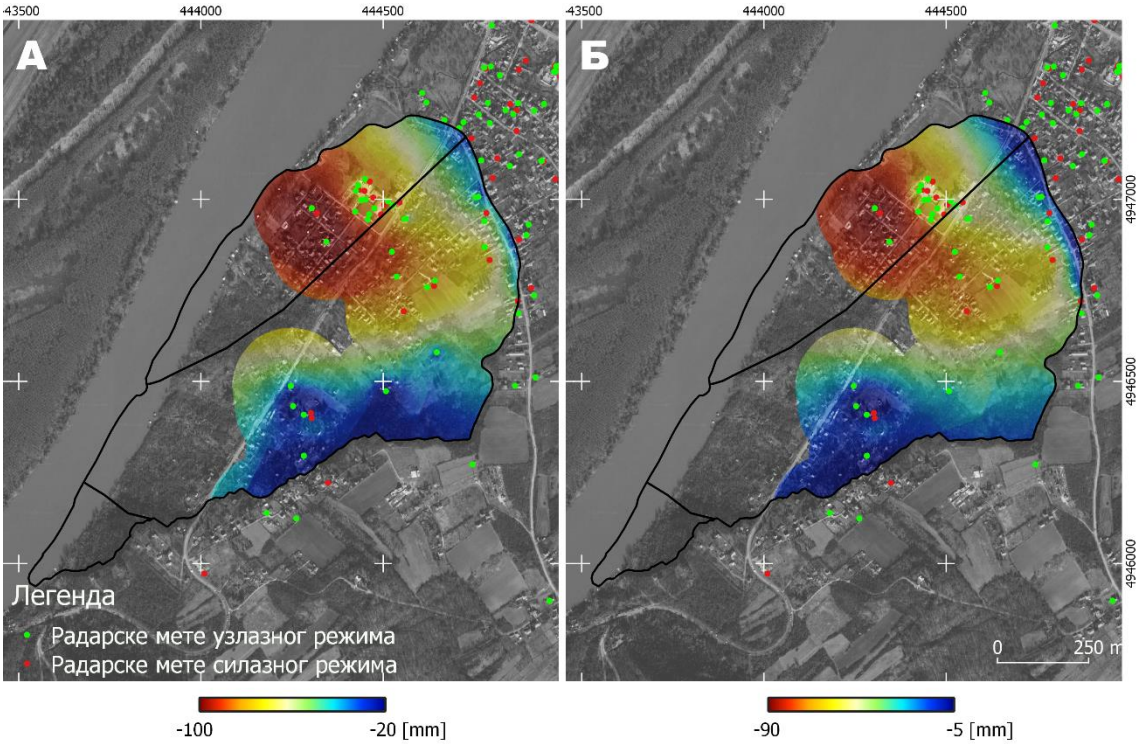
Б) дијаграм расипања корелације деф. мете PS788 и GNSS-а

Слика 79. Дијаграм деформација радарске мете PS788 и њихова корелација са мерењима померања по Z на перманентној GNSS станици „Умка“. Равне линије на дијаграму А означава прекид у раду GNSS станице



Слика 80. Топографски профили терена по правцу линије видљивости сензора са приказом геометрије сензора у односу на радарске мете бр. PS788

Као што је већ наведено у поглављу примењене методологије, све величине, које се добију на овај начин су дводимензионалне и односе се искључиво на вредности деформација по правцу линије видљивости сензора. Међутим, применом одговарајућих образаца унутар GIS-а било је могуће извршити декомпозицију тих померања по правцу исток-запад и по вертикалном правцу за сваку жељену тачку. Резултати таквог приступа приказани су као померања по правцу исток - запад (Слика 81-А) и вертикалних померања (Слика 81-Б) за сваку појединачну ћелију.



Слика 81. Карте интерполованих вредности кумулативних деформација по правцу исток-запад **(А)** и по вертикалном правцу **(Б).** Негативне вредности карте А представљају деформације (померања) у правцу запада, док негативне вредности на карти Б представљају слегање. Карте су сведене на бафер зону од 150 m око радарских мета

На картама са слика 81 А и Б примећује се да нема позитивних вредности, што указује да су преовлађујуће хоризонталне деформације терена на местима радарских мета биле у правцу запада. Све вертикалне деформације су имале негативан тренд, који указује да су доминантна била слегање терена на местима радарских мета што је у складу са претходним истраживањима и са чињеницом да је доминантни правац померања на површини терена у распону од 280° - 300°азимута (претежно западно кретање). Добијене карте добро корелишу међусобно,, тако да где има већих померања у правцу запада, очекивано се јављају и веће вредности слегања. Добијени распони деформација у правцу запада и слегања имају реалне вредности, које су очекиване у односу на већ утврђену динамику клизишта претходним истраживањима.

Главно ограничење примене на овај начин добијених резултата, у случају клизишта „Умка“, јесте да је највећи број радарских мета детектован у насељеним и изграђеним деловима клизишта. Ова чињеница је довела до нехомогене заступљености радарских мета по површини клизишта. Већина регистрованих деформација се односи на блок А, који је најгушће насељен и у коме постоје доминантни грађевински објекти (магацин компаније „Магнат“), услед тога је и највећи број фазно стабилних радарских мета управо унутар овог блока. Нешто слабија распоређеност радарских мета је добијена за горњи део блока В (изнад државног пута IB26), док фазно стабилне радарске мете, према примењеним критеријумима, нису детектоване за најактивнији и најугроженији део блока В, који се налази испод државног пута IB26. Услед слабе кохеренције, због густе и високе вегетације са великом сезонском променљивости, није постојала могућност детектовања стабилних радарских мета. Услед тога се велика већина одасланог сигнала са сензора распршава у свим правцима. Поред наведеног, неповољност се огледа и у чињеници да у овом делу клизишта постоји значајно мањи број чврсто зиданих стабилних објеката, који би имали добре карактеристике за одбијање упадних зрака. Добијене вредности кумулативних деформација у правцу линије видљивости сензора

показују у појединим деловима значајну корелацију са колебањем нивоа Саве, док радарске мете у непосредној близини перманентне GNSS станице показују јаку корелацију са трендовима померања, који се добијају са ње.

5.2.3.4 Резултати геодетског мониторинга

У овом поглављу је дат приказ резултата геодетског мониторинга клизишта „Умка“, на основу GNSS кинематичког позиционирања и аутоматске GNSS мониторинг станице „Умка“. Наведени резултати су коришћени за потребе дефинисања динамике клизишта и редефинисање блокова и представљали основну компоненту за процену хазарда.

Резултати мониторинга клизишта GNSS кинематичким позиционирањем

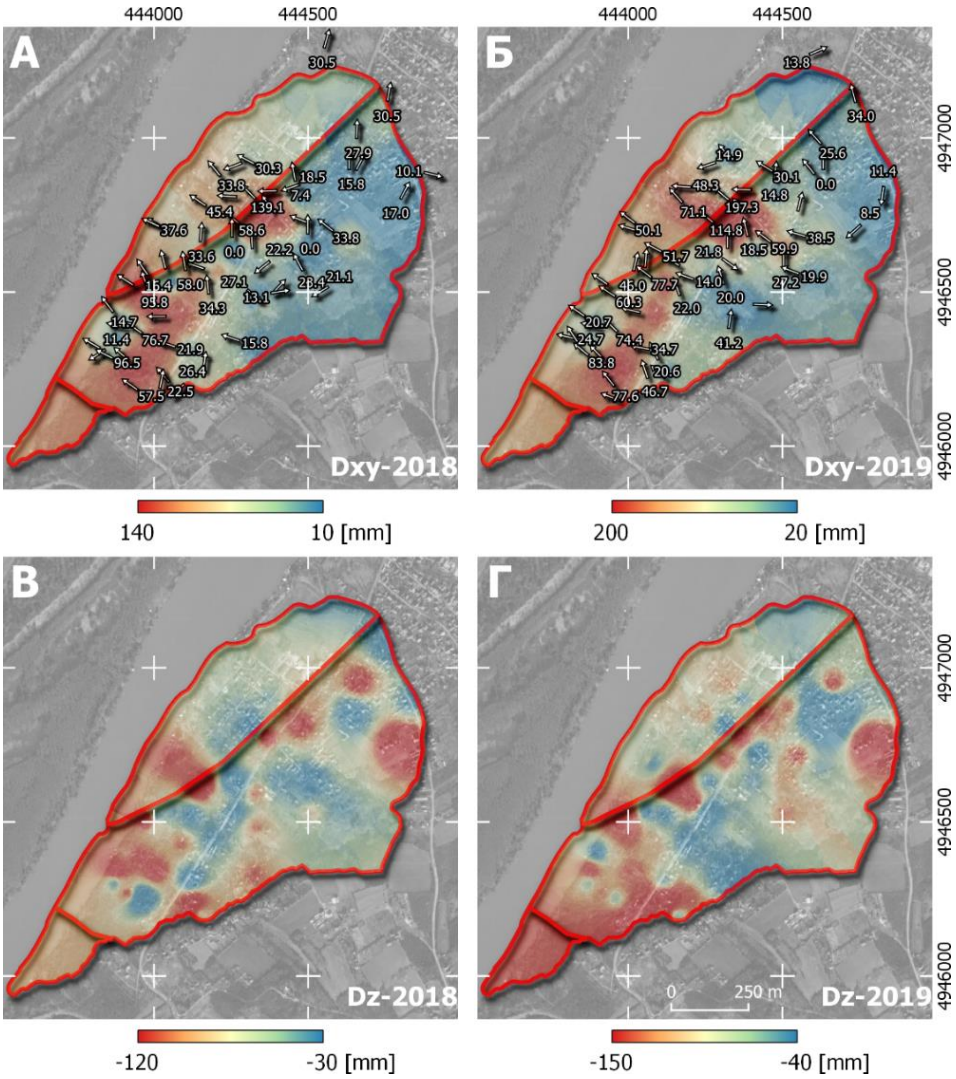
У табели 36 су приказани резултати прорачуна промене положаја опажаних тачака клизишта, чији је вектор померања након „2. епохе“ опажања био > 4 cm. Две тачке клизишта су имале интензитет вектора померања по N и E оси, који је био мањи од прецизности уређаја (<1 cm), док су све опажане тачке клизишта имала већа померања по вертикалној (h) оси, у односу на прецизност мерења (2 cm). За седам тачака клизишта није било решења ни у једној серији опажања или су биле уништене (бр. 6, 15, 19, 34, 40, 43 и 49). Једна тачка није имала решење након прве епохе опажања (бр. 20) и обраде података, док три тачке клизишта нису имале решење након друге епохе опажања и процесирања (бр. 29, 41 и 59). Након друге епохе опажања, укупно 56 тачака клизишта су имале решења положаја, која су могла да буду анализирана. Поред наведених тачака клизишта извршено је позиционирање и 20 оријентационих тачака за потребе UAV фотограметријског снимања.

Табела 36. Подаци о померањима одабраних тачака клизишта која су добијена опажањем у две епохе. (E) - почетна координата тачке у правцу истока; (N) - почетна координата тачке у правцу севера; (h) - почетна висина тачке; (ΔE) - разлика померања у односу на „0 епоху“ у правцу истока; (ΔN) - разлика померања у односу на „0 епоху“ у правцу севера; (D) - укупан вектор померања у односу на „0 епоху“; (ν) - азимут правца померања; (Δh) - висинска разлика у односу на „0 епоху“

„0 епоха“ - март 2018.				„1 епоха“ - децембар 2018.						„2 епоха“ - април 2019.					
Р.Б.	E [m]	N [m]	h [m]	Р.Б.	ΔE [mm]	ΔN [mm]	D [mm]	ν (°)	Δh [mm]	Р.Б.	ΔE [mm]	ΔN [mm]	D [mm]	ν (°)	Δh [mm]
1	444086,30	4946176,97	159,01	101	-15	17	22	320	-66	201	-15	44	47	342	-144
4	444125,85	4946241,79	154,29	104	-46	-47	66	225	-234	204	-72	-39	82	241	-301
7	444161,86	4946196,15	169,08	107	-15	5	16	289	-67	207	6	41	41	8	-79
12	444217,38	4946250,65	171,68	112	3	33	34	5	-120	212	-46	24	52	298	-155
13	444118,10	4946313,23	152,89	113	-34	19	39	299	-65	213	-58	18	61	287	-87
14	444221,32	4946410,42	157,86	114	-34	16	38	295	-79	214	-40	31	50	307	-104
16	444326,94	4946333,78	175,95	116	-1	22	22	356	-65	216	0	48	48	0	-98
17	444357,71	4946454,26	166,65	117	-46	36	59	308	-53	217	-87	75	115	311	-116
18	444332,76	4946482,01	162,84	118	-38	25	45	304	-39	218	-47	53	71	319	-98
23	444261,56	4946533,06	148,47	123	-21	26	34	321	-41	223	-48	4	48	274	-109
25	444211,53	4946567,51	143,47	125	-98	99	139	315	-83	225	-151	127	197	310	-128
34	444154,45	4946615,30	132,48	134	/	/	/	/	/	234	-31	39	50	322	-84
38	444076,83	4946692,38	120,66	138	-33	50	60	327	-44	238	-49	55	74	318	-78
39	444065,14	4946700,37	119,17	139	/	/	/	/	/	239	-48	36	60	306	-108
45	444330,09	4946594,22	151,97	145	-64	-1	64	269	-66	245	-74	18	77	284	-106
46	444317,60	4946700,01	143,10	146	-30	91	96	342	-52	246	-51	33	60	303	-120
47	444213,35	4946760,03	128,57	147	-82	53	97	303	-80	247	-35	24	43	305	-128
48	444316,52	4946814,18	132,93	148	-9	14	16	326	-38	248	10	45	46	13	-115

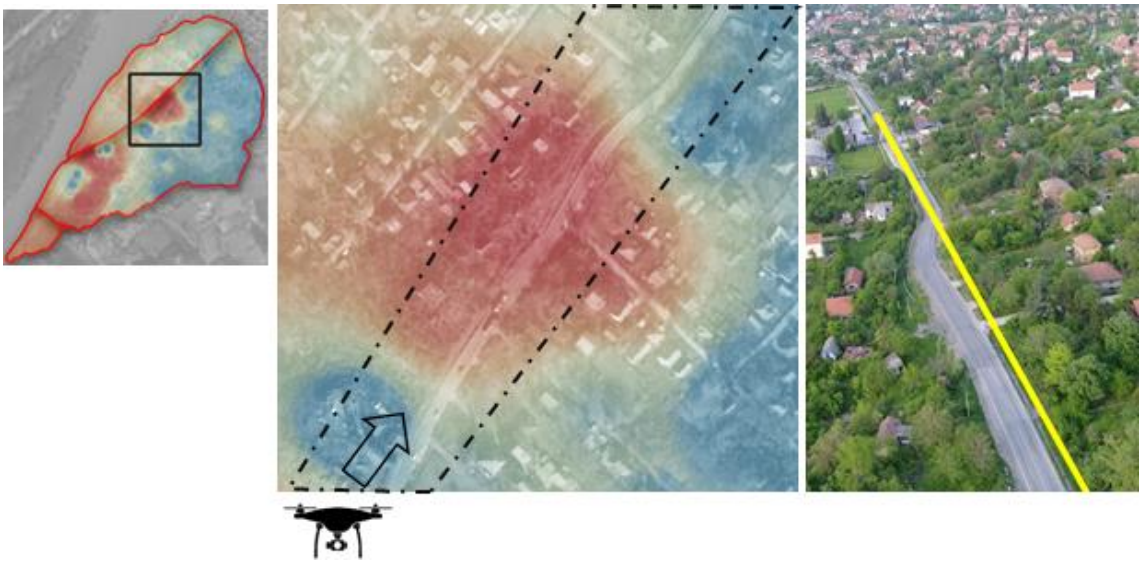
	„0 епоха“ - март 2018.			„1 епоха“ - децембар 2018.						„2 епоха“ - април 2019.					
51	444372,00	4946900,91	130,57	151	-10	57	58	350	-21	251	-62	47	78	308	-86
53	444326,70	4946944,29	126,13	153	-61	46	77	307	-85	253	-53	52	74	314	-115
54	444252,13	4946845,22	126,02	154	-36	8	37	282	-76	254	-45	10	46	282	-105
57	444447,49	4946839,23	137,20	157	-23	13	26	300	-40	257	-26	39	47	326	-99
58	444368,40	4946774,53	137,78	158	-86	44	96	297	-67	258	-64	54	84	310	-110
60	444407,92	4946636,60	153,95	160	-58	50	76	311	24	260	-72	73	103	315	-99
61	444512,56	4946531,18	171,56	161	-47	33	58	305	-49	261	-48	61	78	321	-130

Смерови вектора померања након „1. епохе“ опажања су приказани стрелицама на слици 82-А, док је испод сваке стрелице приказана вредност померања изражена у милиметрима. Исти подаци након „2. епохе“ опажања су приказани на слици 82-Б, док је, као подлога, приказана карта интерполованих вредности интензитета вектора померања. Како је постојао оптималан број тачака са оптималном дистрибуцијом, примењена је IDW метода интерполације интензитета вектора померања и промена по Z оси.



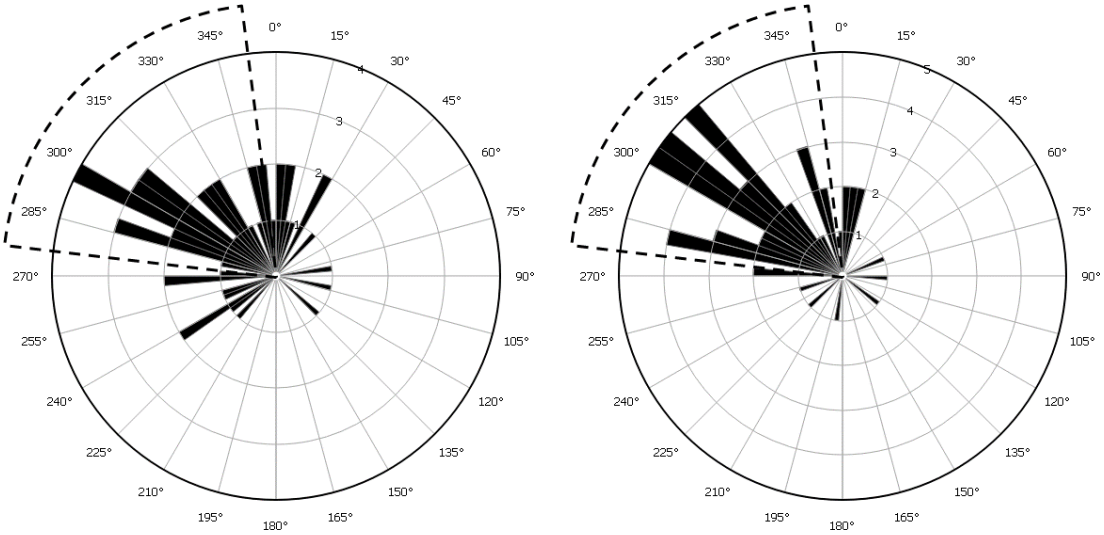
Слика 82. А) Интензитети вектора хоризонталних померања тачака клизишта након „1. епохе“ опажања са интерполованом картом као подлогом;
Б) Интензитети вектори хоризонталних померања тачака клизишта након „2. епохе“ опажања са интерполованом картом као подлогом;
В) Интерполована карта вертиклних померања терена након „1. епохе“ опажања;
Г) Интерполована карта вертикалних деформација терена након „2. епохе“ опажања

На свим картама са слике 82 уочава се логичан тренд деформација површине терена клизишта „Умка“. Највеће хоризонталне деформације су забележене у оквиру блока В и то у зони дуж саобраћајнице IB26 и непосредно испод ње, према Сави. На картама се правилно издвајају зоне дуж саобраћајнице IB26, код којих се често врши замена коловозног застора и где се јасно уочава девијација осе саобраћајнице од првобитно изведене и катастарски евидентиране.



Слика 83. У средини је приказан детаљ карте интерполованих интензитета хоризонталних померања након „2 епохе“ опажања (лево) и девијација осе државног пута IB26 у зони клизишта „Умка“, снимљен из ваздуха (десно). Распон вредности боја на карти је приказан испод слике 82-Б

Дијаграми ружа срачунатих азимута вектора померања опажаних тачака клизишта након 1. и 2. епохе приказани су на (Слика 84). Дијаграми показују да је велика већина срачунатих азимута померања у зони очекиваних азимута померања клизишта „Умка“ (270-360°), што указује на велику поузданост мерења и добијених резултата GNSS позиционирањем.



Слика 84. Дијаграм ружа који показује правце азимута вектора интензитета померања тачака клизишта на клизишту „Умка“ током 2018. (лево) и 2019. године (десно). Испрекиданом црном линијом су уоквирени доминантни смерови померања на клизишту

Резултати активности клизишта перманентним GNSS релативним статичким позиционирањем

Током аквизиције података, станица GNSS1 забележила је дводимензионално кретање у правцу северозапада од укупно 0,8 m, док је по вертикалној оси забележила слегање у износу од 0,22 m. Станица GNSS2 је забележила дводимензионално померање у правцу северозапада од укупно 0,6 m, док је по вертикалној оси имала слегање у износу од 0,16 m. Током функционисања станице GNSS1, осматрана тачка је имала просечну брзину кретања од 20 cm/год, док је та брзина код станице GNSS2 била нешто мања и износила је 15 cm/год. Остали подаци о векторима померања сваке станице и пратећих компоненти приказани су у табели 37.

Табела 37. Подаци о вектору померања станица GNSS1 и GNSS2

	Период	ΔY [m]	ΔX [m]	ΔZ [m]	2D XY [cm]	3D XY [cm]	ν (°)
GNSS1	03.'10- 12.'13	-0,67	0,45	-0,22	80	83	304
GNSS2	09.'14-11.'18	-0,56	0,29	-0,16	63	65	297

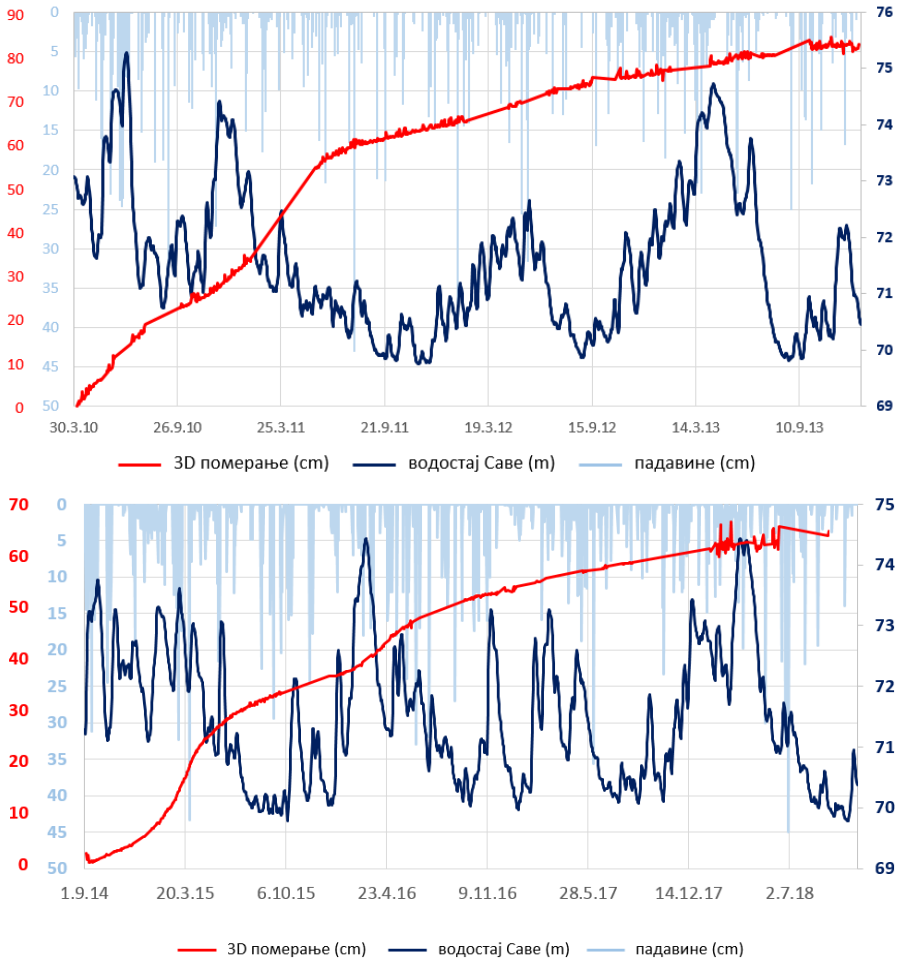
На основу података из табели 37 може се закључити да обе тачке имају веома сличне просечне брзине и, скоро, идентичне правце кретања, што је било и очекивано с обзиром на линеарну положајну блискост станица GNSS1 и GNSS2 и, скоро, идентичне геоморфолошке одлике које владају у непосредној околини.

На дијаграмима, који су приказани на слици 85, приказане су промене нивоа водостаја Саве код клизишта Умка, прикупљених података о падавинама за Београд и интензитета вектора тродимензионалног померања за положај станице GNSS1 и GNSS2. На жалост, током циклона „Тамара“, перманентна GNSS станица није била у функцији због прекида у њеном раду.

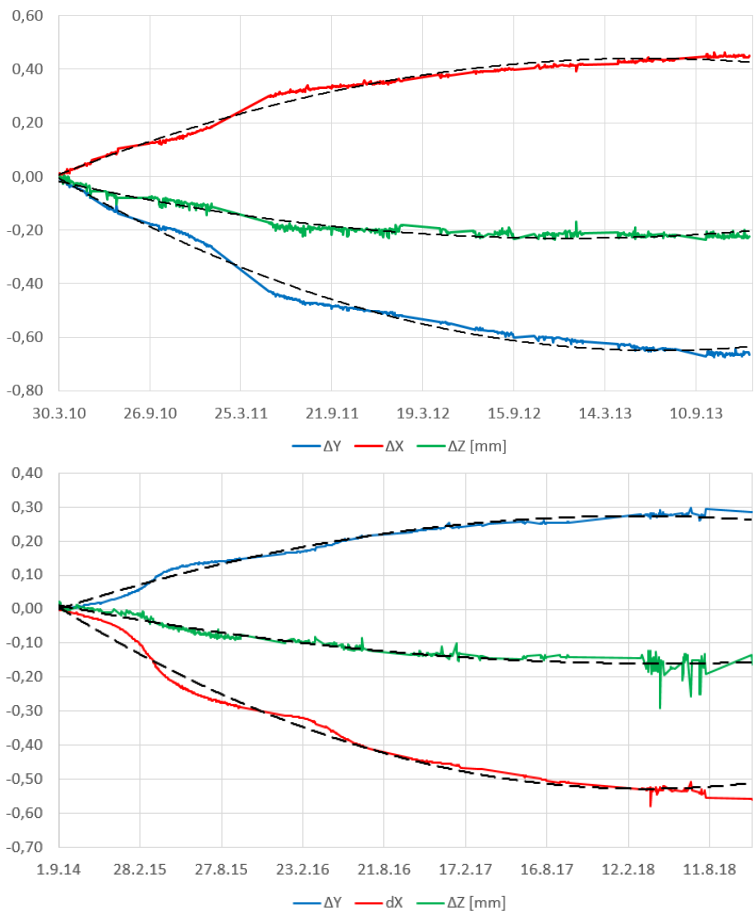
На оба дијаграма са слике 85, визуелно је уочено да постоји зависност између водостаја и померања GNSS станице. Како су постојали временски периоди током којих станице нису биле у функцији, корелације нивоа Саве код клизишта „Умка“ и интензитета 3D вектора померања су анализиране појединачно за сваку годину, тј. 2010., 2011., 2012. и 2013. годину, за станицу GNSS1 и 2014., 2015., 2016., 2017. и 2018. годину, за станицу GNSS2.

Дијаграми појединачних компоненти вектора померања у правцу севера (ΔX), истока (ΔY) и вертикалном правцу (ΔZ) су приказани на слици 86. На поменутим дијаграма се уочава да је кретање ових тачака на клизишту скоро уједначено и континуално уз мања, повремена одступања. Уочено је убрзање померања станице GNSS1 током јула 2010. године[37] и то након периода повишеног водостаја Саве, који је свој максимум током осматраног период достигао 29.06.2010. године и износио 75,3 m, па потом нагло пао у износу од 4 m за свега месец дана. Тренд повећаних померања се наставио и током 2011. године. Ову годину је обележила веома лоша хидролошка и климатолошка ситуација, као и чињеницада је Сава имала изражени негативан тренд водостаја током целе године, уз сушне периоде, који су трајали током целокупног вегетативног периода (Слика 87-лево).

[37] У периоду од маја до октобра 2010. године северну Земљину хемисферу је погодио талас врелине, укључујући и подручје Балканског полуострва током јуна и јула месеца.

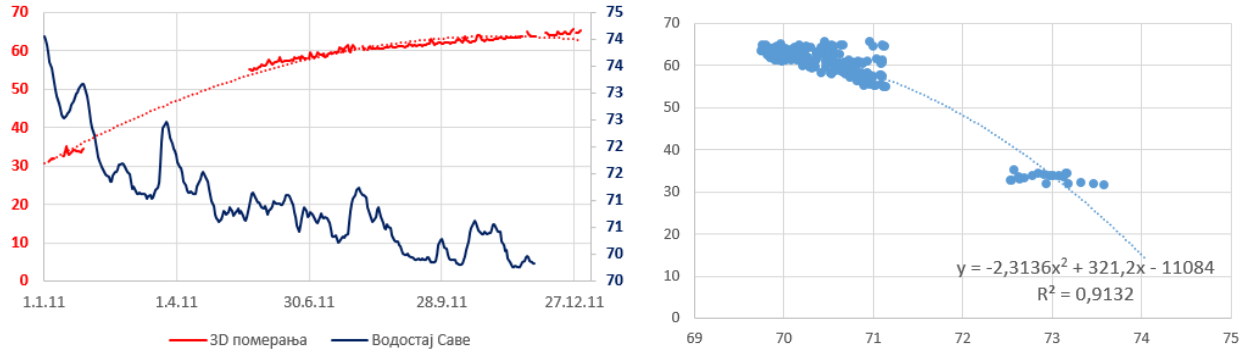


Слика 85. Дијаграми померања, водостаја и падавина за станице GNSS1 (горе) и GNSS2 (доле)



Слика 86. Дијаграми појединачних компоненти вектора померања станица GNSS1 (горе) и GNSS2 (доле) током периода мониторинга. ΔX - померања у правцу севера, ΔX - померања у правцу истока; ΔZ - вертикална померања

Највећи коефицијент негативне корелације водостаја Саве и интензитета вектора померања, на клизишту Умка, је забележен током 2011. године и он је износио -0,92 (Слика 87 - десно) по Пеарсону, што представља изузетно снажну корелацију. Коефицијент детерминације апроксимиране на полиномну линију тренда (другог реда) је износио R^2 = 0,9. Негативна корелација указује да са опадањем нивоа Саве расте интензитет деформација и обрнуто.

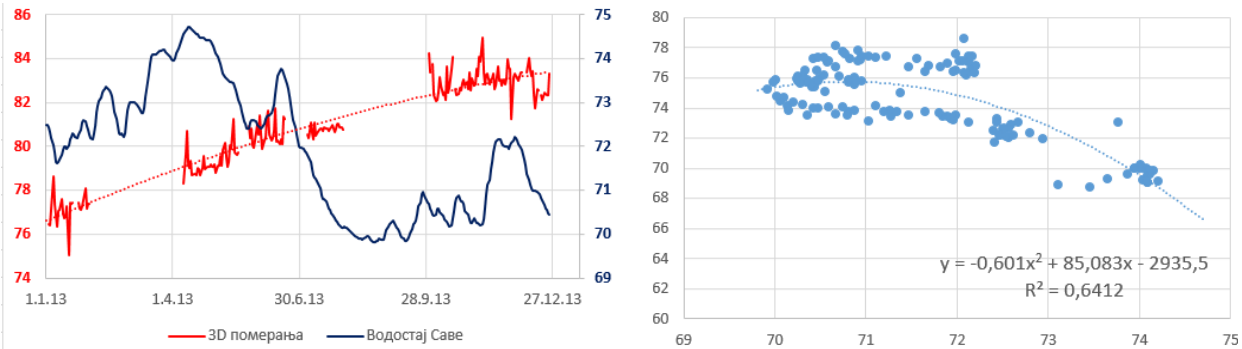


Слика 87. Дијаграм промене нивоа Саве код клизишта „Умка“ и интензитета 3D вектора померања станице GNSS1 (лево) током 2011. године и њихов дијаграм корелације (десно). Испрекидане линије представљају линије тренда

Осредња негативна корелација је уочена и током 2013. године. На основу извештаја РХМЗ-а[38], у првој половини 2013. године, протоци Саве код Сремске Митровице кретали су се у појасу вишегодишњег просека. Након поменутог периода дошло је до наглог

[38] http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/naslovna_analize.php

пораста вредности протицаја изнад вишегодишњих просека, који се задржао све до друге половине јуна, када поново опадају испод вишегодишњих просека, што се одразило свакако и на ниво водостаја Саве код Умке (Слика 88 - лево). Током 2013. године коефицијент негативне корелације водостаја Саве и интензитета вектора померања на клизишту Умка је износио -0,55 по Пеарсону, што представља осредњу до умерену корелацију. Коефицијент детерминације апроксимиране полиномне линије тренда (другог реда) је износио $R^2 = 0,6$ (Слика 88 - десно).



Слика 88. Дијаграм промене нивоа Саве код клизишта „Умка“ и интензитета 3D вектора померања станице GNSS1 (лево) током 2013. године и њихов дијаграм корелације (десно). Испрекидане линије представљају линије тренда

На основу анализе хидролошке ситуације на главним сливовима на територији Републике Србије за 2015. годину[39], која је израђена од стране РХМЗ-а, констатовано је да су просечни протоци на Сави код Сремске Митровице били око и изнад просека док је од средине априла до друге трећине маја месеца владао неповољни хидролошки режим са вредностима протока испод просека. Последње декаде маја је дошло до кратког пораста протока до изнад вишегодишњих просека и потом наглог пада у року месец дана до нивоа који су испод вишегодишњих просека и који су се наставили до средине октобра што се одразило и на водостај Саве код клизишта „Умка“. На основу поменутог извештаја хидролошка ситуација у 2015. години на сливу Саве се сматрала испод просека са смањеним дотоком воде (Слика 89).

За анализу 2015. године, издвојен је временски период од 01.03. - 09.10.2015. године тј. период када је станица радила скоро непрекидно. Уједно, у том периоду се на подручју клизишта Умка, догодио хидролошки екстрем, када је током маја месеца уследио нагли пораст нивоа Саве изнад просечних вредности. Анализом овог сета је уједно било могуће и утврдити, да нагли пораст нивоа Саве или опадања има утицај на динамику клизишта „Умка“.

За поменути период 2015. године коефицијент негативне корелације водостаја Саве и интензитета (3D) вектора померања на клизишту Умка је износио -0,89 по Пеарсону, што представља изразито јаку корелацију. Коефицијент детерминације линеарног тренда износио је $R^2 = 0,8$ (Слика 89 - доле лево). Дијаграми указују на снажну негативну корелацију ова два параметра, тако да са опадањем нивоа Саве расте интензитет вектора померања на клизишту „Умка“.

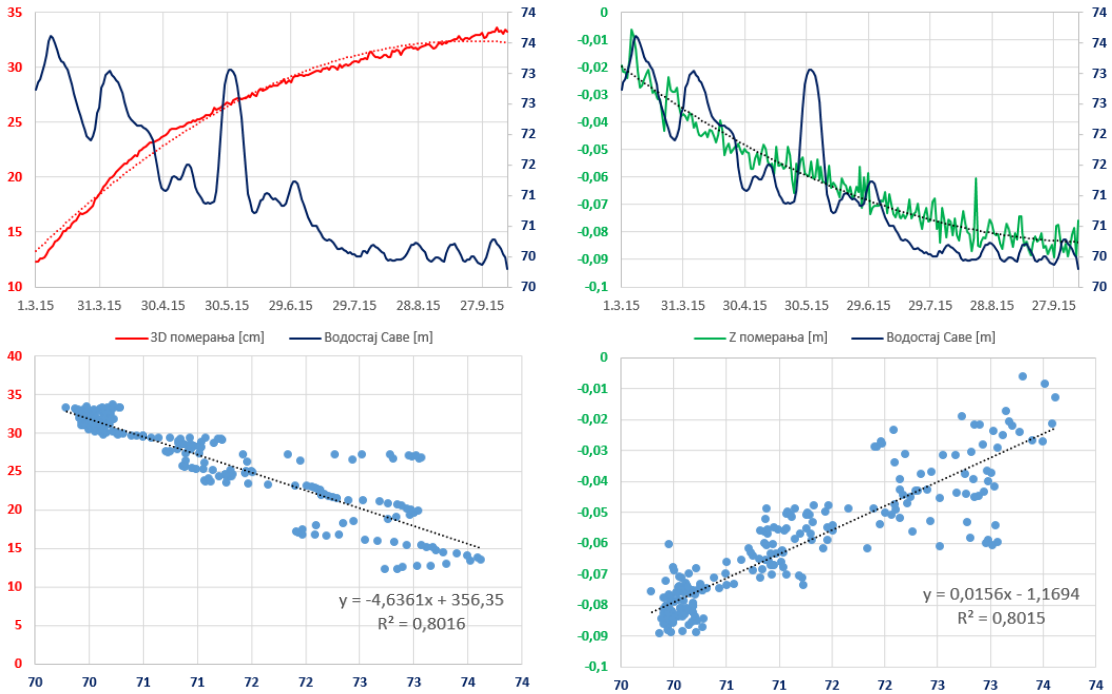
Коефицијент корелације водостаја са вертикалним померањима по Z оси за опажани временски период износио је 0,89 по Пеарсону, док је коефицијент детерминације линеарног тренда износио $R^2 = 0,8$ (Слика 89 - доле десно). Дијаграм вертикалних померања и нивоа Саве указују на веома снажну позитивну корелацију ова два

[39] http://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/naslovna_analize.php

параметра, тако да са опадањем нивоа Саве расту и померања по вертикалној оси наниже (Слика 89-горе десно).

На дијаграмима корелације 3D и Z померања, са слике 89, уочава се пик пораста водостаја, али се у истом периоду не уочава пораст интензитета померања нити битније величине слегања по Z оси.

За остале године током рада GNSS станице на првој и другој локацији није било сврсисходно вршити анализу услед значјаних прекида у раду самих станица тј. неједнаке и неравномерне заступљености података о померању у односу на један хидролошки једногодишњи циклус.



Слика 89. Дијаграм промене нивоа Саве код клизишта „Умка“ и интензитета 3D вектора померања станице GNSS1 (горе лево) током 2015. године и њихов дијаграм корелације (доле лево). Дијаграм промене нивое Сава код клизишта „Умка“ (горе десно) и износа вертикалног померања (доле десно). Испрекидане линије представљају линије тренда

Анализом података вектора померања са перманентне GNSS станице „Умка“, у односу на климатолошке и хидролошке податке (падавине и ниво Саве), закључено је да постоји јака до осредња корелација нивоа Саве и интензитета померања, Интензитет померања је израженији током негативних, екстремних хидролошких сценарија (смањеног протока и опадања водостаја). Највећа померања и убрзања су уочена у периодима наглог опадања нивоа Саве, док је корелација са падавинама веома слаба (Пеарсонов коеф. <0,1), што се може оправдати чињеницом да је за видљиве ефекте утицаја падавина на слив и хидролошке одлике Саве потребно да прође неколико дана или недеља. На овај начин једнозначно је утврђено да је један од главних активатора клизишта „Умка“ нагли пад водостаја Саве.

5.2.4 Квази-геотехнички блокови

Као полазна основа за усвајање блокова је коришћена подела и границе које су дефинисане претходним истраживањима од стране Института за путеве – Београд (Jelisavac et al., 2006). На основу описаних критеријума у методологији, формирано је укупно седам блокова. Блок С је због недовољних података о динамици и морфологији, на основу претходних истраживања и на основу сазнања да на њему не постоје стамбени и инфраструктурни објекти, одбачен. Основни морфометријски и динамички подаци за сваки моделовани блок су приказани у табели 38.

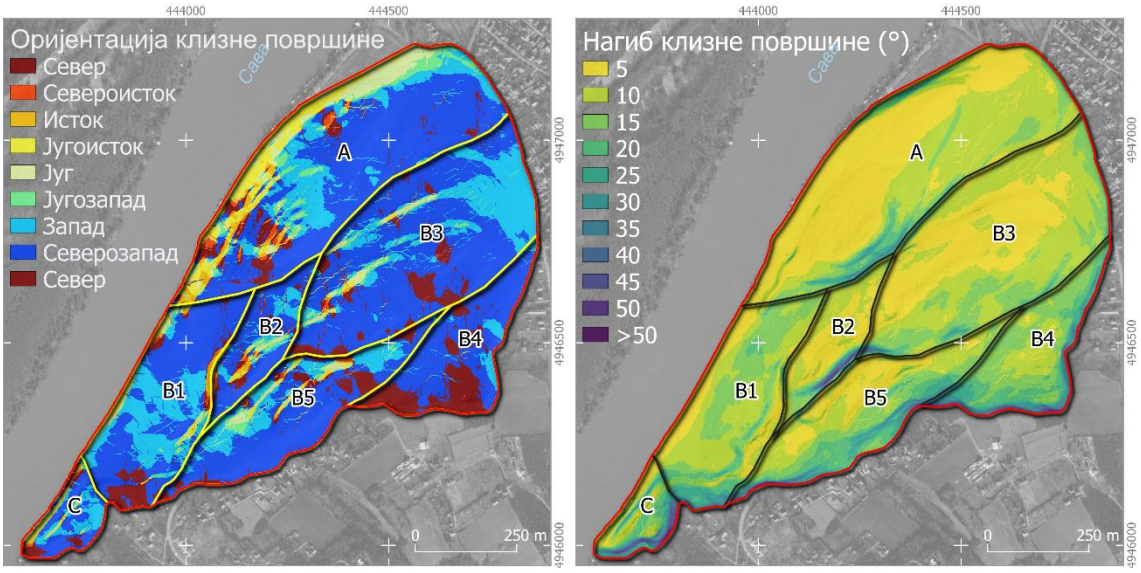
Табела 38. Основни морфометријски и динамички подаци о формираним квази-геотехничким блоковима. Легенда: **P** – површина блока; **Dp** –просечна дубина до клизне површине; **V_{3D}** – запремина блока на основу 3D прорачуна у GIS-у;
E_{kp} –просечна експозиција клизне површине у азимутима;
ν_{kp}CC18-10 – просечна вредност азимута тоталних вектора померања на основу квантитативне фотограметријске анализе ортофото снимака (2018-2010);
N_{kp} - статистички просечна вредност нагиба клизне површине

Блок	P (m^2)	D_p (m)	V_{3D} (m^3)	E_{kp} (°)	ν_{kp}CC18-10 (°)	N_{kp} (°)
A	225.509	10,2	2.263.965	258	248	6
B1	109.576	7,9	841.094	280	268	9,8
B2	44.888	11,4	511.248	279	259	8,2
B3	196.790	10,9	2.145.921	296	302	7
B4	73.969	7,3	538.898	314	244	15,7
B5	98.555	9	890.445	291	307	11
C	27.621	8,5	216.321	263	248	17
Цело клизиште	776.9	9,66	7.407.892	281	270	9

У наставку следи кратак приказ усвојених нових квази-геотехничких блокова клизишта „Умка“, који су коришћени приликом 3D анализе стабилности, на основу свих претходних резултата истраживања и описане методологије.

Квази-геотехнички блок А

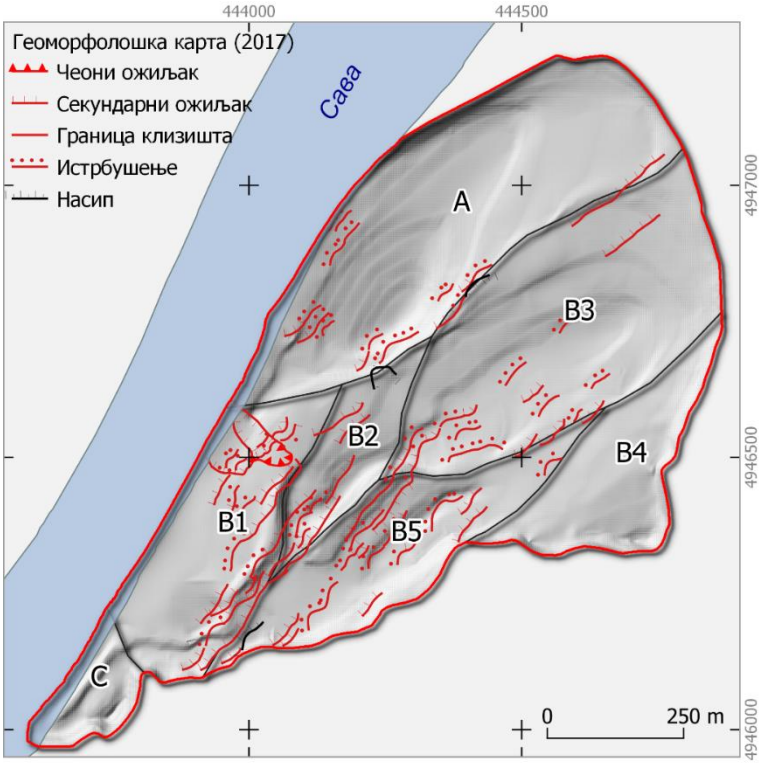
Квази-геотехнички блок Асе простире у северозападном делу клизишта уз Саву, и у великој мери се просторно поклапа са Блоком А, који је формиран на основу претходних истраживања. Експозиција клизне површине је претежно ка западу и северозападу, док је у зони савског приобаља према југоистоку што је последица оплићавања и исклињавања клизне површине, што се јасно уочава на слици 90 - лево. Нагиб клизне површине у овом блоку је претежно мали, са вредностима које су углавном у распону од 5-10° (Слика 90-десно). Мањи нагиби су утврђени у доњим деловима блока док се нагиб повећава према граници са блоком В, где локално достиже вредности и преко 35° и то у зони са израженим деформацијама и утврђеним највећим интензитетом инструментално опажаних померања. У оквиру овог блока, клизна површина је претежно елипсастог облика у пресеку, са ротационим кретањем, што се уочава на пресеку бр. 1 (Слика 93). Унутар овог блока су регистроване највеће дубине до клизне површине од преко 24 m, док су вектори тоталног померања са доминантном оријентацијом према северозападу што прати правац експозиције клизне површине (Слика 92). Иако су овом блоку инструменталним опажањем регистрована значајна померања, теренским опсервацијама су евидентиране најмање штете и деформације како терена (Слика 91) тако и објеката.



Слика 90. Оријентација клзине површине према страна света (лево) и нагиб клизне површине клизишта „Умка“ са поделом на квази-геотехничке блокове

Квази-геотехнички блок B1

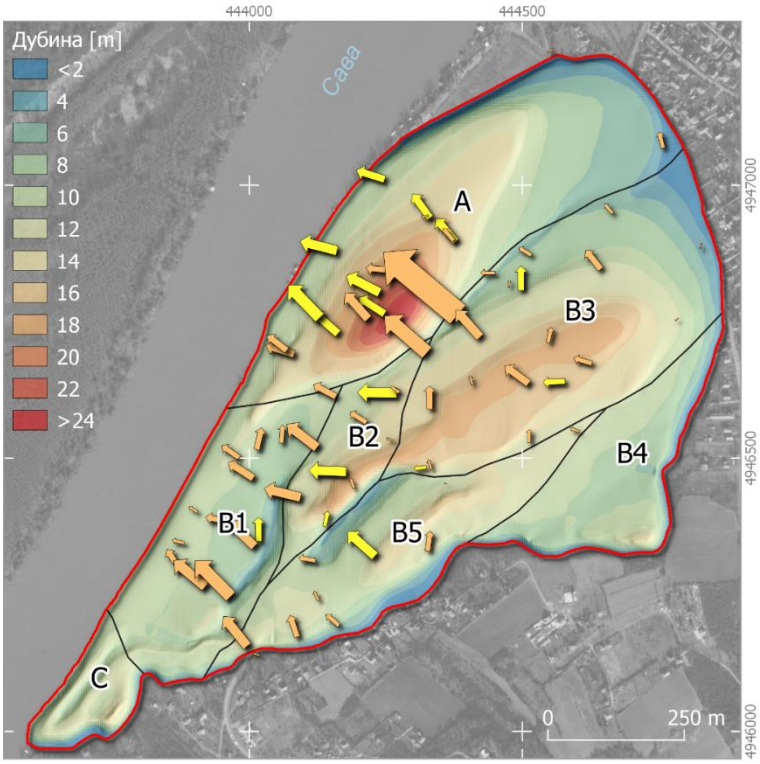
Квази-геотехнички блок B1 се простире у југозападном делу клизишта, док је експозиција клизне површине доминантно ка западу и северозападу (Слика 90 – лево). Нагиб клизне површине у овом блоку је претежно са вредностима у распону од 15-20° (Слика 90-десно), са локалним одступањима у зони секундарних ожиљака и до 40°. У оквиру овог блока, клизна површина је претежно паралелна са транслаторним кретањем, што се уочава на пресеку бр. 2 (Слика 93). Дубина до клизне површине је претежно 10 m, са местимичним оплићавањем према граници са блоком B2 и B5, док су вектори тоталног померања са доминантном оријентацијом према северозападу, који прати правац експозиције клизне површине (Слика 92). Унутар овог блока су, инструменталним опажањем, регистрована значајна померања, која су праћена бројним евидентираним деформацијама терена (Слика 91) и објеката. Највећи број срушених и уништених објеката се налази управо у оквиру овог блока.



Слика 91. Геоморфолошка карта клизишта „Умка“ на основу теренске опсервације 2017. године са поделом на квази-геотехничке блокове. У подлози је приказана карта сенченог рељефа клизне површине ради реалистичнијег приказа морфологије

Квази-геотехнички блок B2

Квази-геотехнички блок B2 се простире у средишњем делу клизишта и укљештен је између блокова A, B1, B3 и B5, док је експозиција клизне површине претежно северозападна. Нагиб клизне површине, у овом блоку, је са вредностима у распону од 5° - 10° (Слика 90 - десно) са локалним одступањима у зони секундарних ожиљака и до 40°. У оквиру овог блока, клизна површина је претежно елипсаста, са делимично ротационим кретањем што се уочава на пресеку бр. 3 (Слика 93). Дубина до клизне површине је претежно 12 - 14 m, са местимичним оплићавањем према граници са блоком A и B1. Вектори тоталног померања су са доминантном оријентацијом према западу, што одступа од експозиције клизне површине (Слика 92). То је уједно био један од главних критеријума за формирање овог блока и раздвајање од блока B1. Важно је напоменути да је слична оријентација вектора добијена и квантитативном анализом архивских снимака (Слика 65). Унутар овог блока су, инструменталним опажањем, регистрована значајна померања, која су праћена бројним евидентираним деформацијама терена (Слика 91) и објеката. Значајан број тешко оштећених објеката се налази у оквиру овог блока.



Слика 92. Карта дубине до клизне површине са правцима тоталних вектора померања на основу инструменталног опажања. Наранџасте стрелице означавају тоталне векторе померања GNSS опажањем (2018 – 2019) док су жутим стрелицама означени тотални вектори померања на основу инклинометарских опажања са дубине од 6m (2005). Величине стрелице су релативне у односу на укупан интензитет вектора померања и нису у размери

Квази-геотехнички блок B3

Квази-геотехнички блок B3 се простире у источном делу клизишта, са претежном оријентацијом клизне површине ка западу северозападу, уз местимична одступања ка северу (Слика 90-лево). Нагиб клизне површине је претежно 5° - 10°, са локалним одступањима од преко 20° (Слика 90 - десно), у зони теренских деформација (истрбушења). Дубина до клизне површине је претежно 14 - 16 m са оплићавањем према граници клизишта и суседних блокова (Слика 92). Вектори тоталног померања, који су регистровани инструменталним опажањем, су са доминантном оријентацијом према северозападу, што прати експозицију клизне површине. Локална одступања се јављају у виду оријентације према северу и то у зони граница са суседним блоковима што је био један од главних критеријума за њено дефинисање (Слика 92). У оквиру овог блока, клизна површина је претежно елипсаста са делимично ротационим кретањем, што се уочава на пресеку бр. 1. (Слика 93). Унутар овог блока су местимично регистораване веће деформације терена (Слика 91) као и бројни објекти са значајним оштећењима у зони према границама суседних блокова, док се број оштећених објеката смањује према североисточној граници клизишта.

Квази-геотехнички блок B4

Квази-геотехнички блок B4се простире у источном делу клизишта са доминантним правцем експозиције клизне површине према северозападу, уз локална одступања према северу (Слика 90 - лево) и то у зони чеоног ожиљка, који је маскиран шумском вегетацијом. Нагиби клизне површине су претежно већи, са вредностима у распону од 20-25° (Слика 90 - десно). Блок представља хипсонометријски највиши и најплићи део клизишта „Умка“, са просечном дубином до клизне површине у распону од 6 - 8 m (Слика

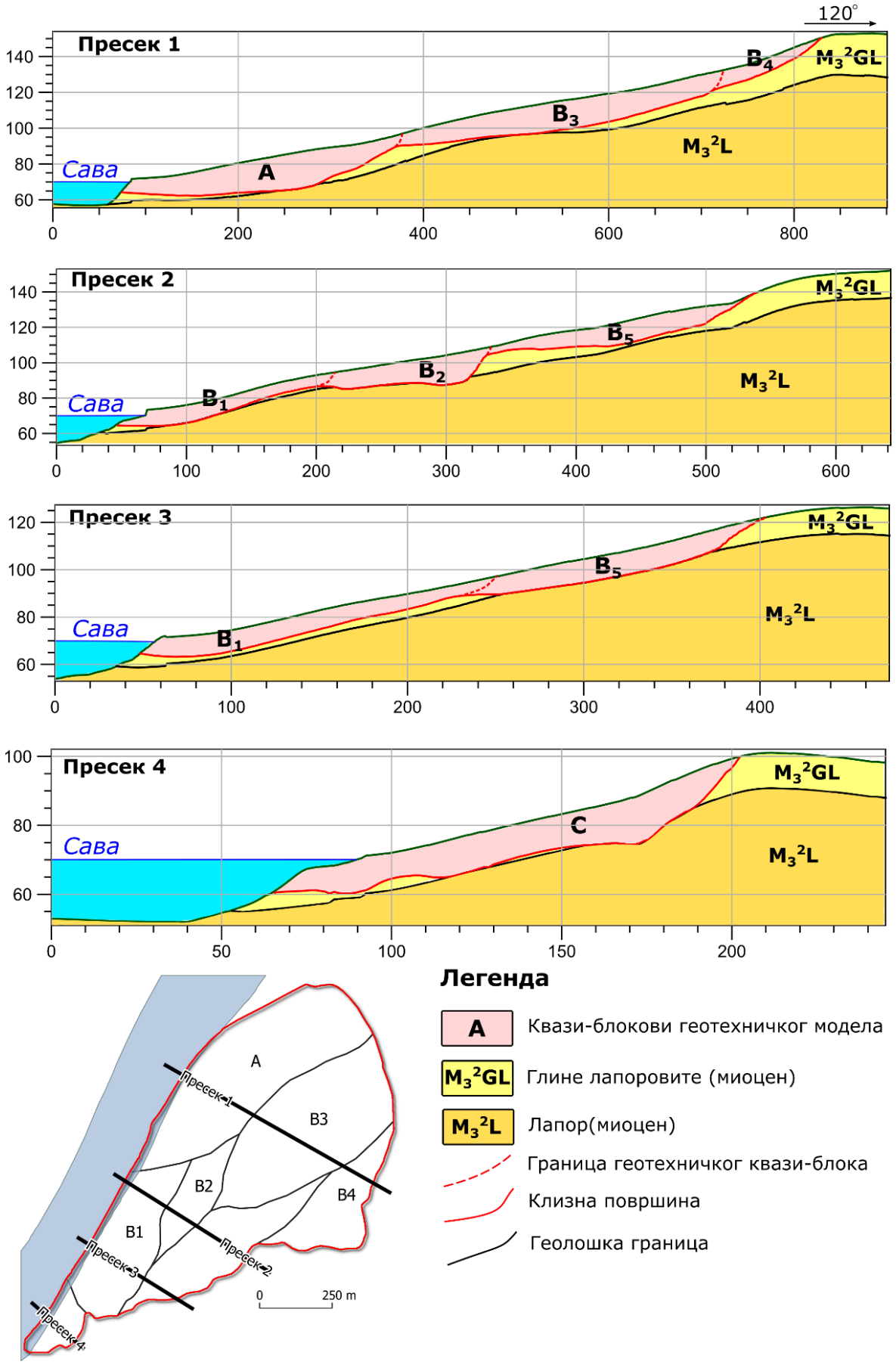
92). Клизна површина је претежно паралелна са површином терена и транслаторним померањима што се уочава на пресеку бр. 1 (Слика 93). Унутар овог блока нису евидентирана померања инструменталним опажањем, али је, квантитативном фотограметријском анализом архивских авиоснимака, закључено да су претежна померања у правцу северозапада (Слика 65). Овај закључак се поклапа са експозицијом клизне површине. Унутар блока B4 нема објеката, док су, током теренске опсервације, уочене пукотине и мањи секундарни ожиљци, који су били маскирани вегетацијом, али су евидентирани геоморфолошком квантитативном анализом снимака (Слика 63 и Слика 67-A).

Квази-геотехнички блок B5

Квази-геотехнички блок B5 се простире у јужном делу клизишта „Умка“, са доминантном оријентацијом клизне површине према северозападу (Слика 90 - лево). Нагиби клизне површине су у распону од 5° - 10° у зони границе према блоковима B1 и B2. Нешто већи нагиби, око 20°, су уз спољну границу клизишта (Слика 90 - десно). Дубина клизишта варира, оплићава уз границе ка суседним блоковима и спољним границама клизишта, док је највећа у средишњем делу блока и креће се у распону од 10 - 14 m (Слика 92). Унутар овог блока су инструментално евидентирана померања, која су претежно у правцу северозапада што се поклапа са експозицијом клизне површине (Слика 92). Клизна површина је претежно елипсастог облика у пресеку, са ротационим кретањем, што се уочава на пресецима 2 и 3 (Слика 93). Унутар блока B5 су евидентиране бројне деформације терена (Слика 91), као и бројни оштећени и уништени објекти.

Квази-геотехнички блок C

Квази-геотехнички блок Ссе налази у југозападном делу клизишта и поклапа се блоком који је утврђен претходним истраживањима. Овај блок је маскиран бујном вегетацијом и представља веома неприступачан и тешко деформисан терен. Унутар овог блока нису вршена нова истраживања од 1992. године и услед наведеног није било могуће анализирање нити рационално интерпретирање морфологије и динамике овог блока. Унутар блока не постоје објекти, па је блок као такав искључен из геотехничког модела. Блок је приказан само у виду пресека бр. 4 (Слика 93), због корелације са претходно успостављеним моделом клизишта „Умка“.



Слика 93. Шематски приказ четири карактеристична попречна инжењерскогеолошка пресека клизишта „Умка“ са назначеним квази-геотехничким блоковима.
Напомена: размерници нису у размери и приказане вредности су у метрима

5.3 Елементи у ризику

Приликом пописивања елемената у ризику на клизишту „Умка“, евидентирано је 375 објеката, у којима живи 495 становника. Сваки објекат је фотографисан и лоциран координатом централне тачке, уз претходну писмену или усмену сагласност анкетираног власника објекта. Више од 95% присутних власника и становника је дало сагласност за евидентирање, док је приметан и знатан број напуштених и запуштених објеката, који су само конструкцијски евидентирани. Објекти, којима није био могућ приступ, опажани су из даљине и вршена је груба процена свих типолошких параметара, који су дефинисани обрасцем. Како на подручју клизишта постоји 18 објеката, који се више физички не налазе на својим првобитним положајима, они су картирани применом даљинске детекције, на основу архивских авиоснимака. За такве објекте, атрибути су уношени до нивоа, који је био могућ на основу идентификације са снимака. На пример, код таквих објеката је било могуће препознати: тип кровног покривача, корисну квадратуру основе приземља и намену објекта, с обзиром да је већина таквих објеката била у тзв. викенд насељу. Није било могуће прецизно утврдити спратност објекта, тип темеља, материјал зидова и њихову оштећеност итд.

На овај начин је укупно картирано и евидентирано 375 објеката високоградње, од којих је 357 картирано директним опажањем и анкетирањем на терену, док је 18 објеката картирано применом даљинске детекције. Од наведеног броја објеката, за 226 је обављен и попис домаћинства, док за 149 објеката, који су напуштени, срушени или ненастањени попис, није било могуће извршити. У овом случају, вршена је само типолошка класификација на основу пописног листа. Прикупљени подаци су унети у формирану GIS базу података, у коју су унети сви подаци „по дубини“. На основу такве базе података било је могуће извршити статистичку анализу и израду карата, на основу свих појединачних типолошких параметра. Иако нису сви унети подаци били неопходни за анализу ризика од клизишта, они су прикупљени за потребе будућих анализа и истраживања. У дисертацији је дат приказ само оних меродавних и значајних параметара, који су коришћени за процену ризика од клизишта као и за преглед затеченог стања.

5.3.1 Непокретни елементи у ризику

На подручју клизишта „Умка“ заступљени су објекти високоградње и то углавном објекти за индивидуално становање са пратећим и помоћним објектима (попут гаража, остава итд.), док постоји и мањи број комерцијалних објеката (попут продавница, магацина и хала). Од објеката нискоградње, евидентиране су саобраћајнице регионалног и локалног карактера, као што су: државни пут, градске улице, општински и локални некатегорисани путеви. Објекти обе категорије су детаљно и прецизно евидентирани и класификовани за потребе процене ризика од клизишта.

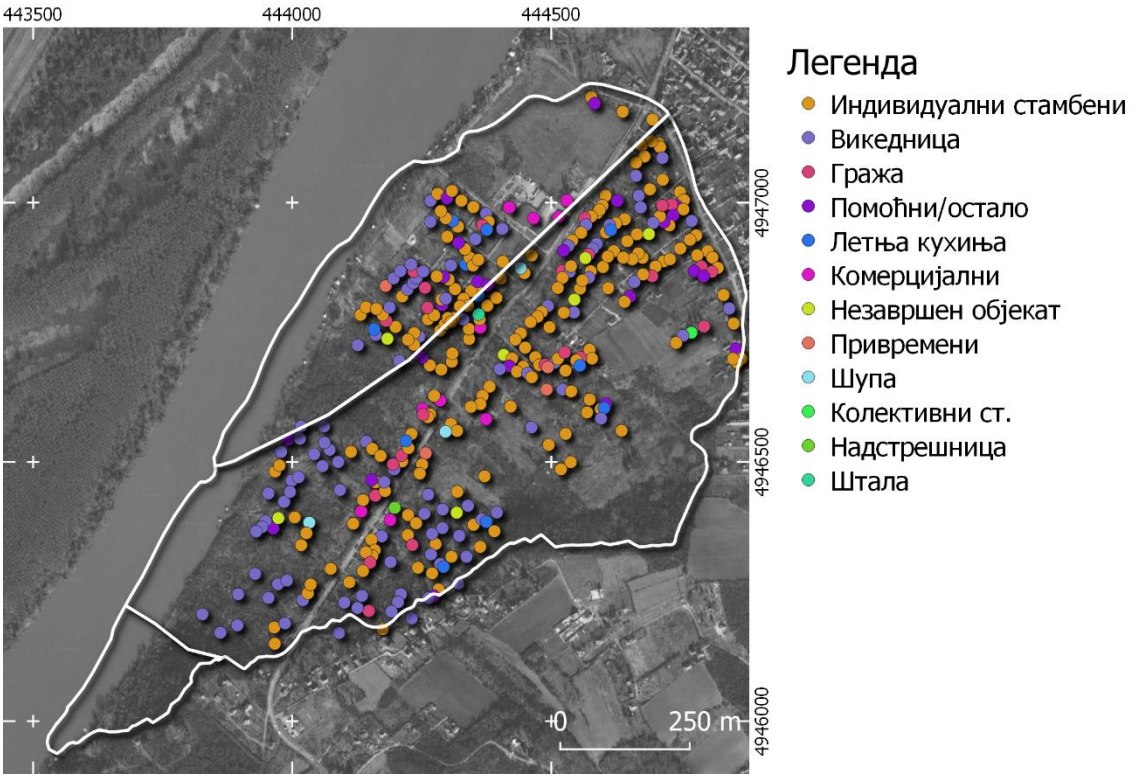
5.3.1.1 Резултати анализе података о објектима високоградње

На основу резултата пописивања и статистичке анализе, најзаступљенији су објекти који су намењени за индивидуално становање (51%), затим следе викендице (26%), гараже (6,4%) и помоћни објекти (6,1%). Комерцијални објекти су заступљени са свега 2,6%. Детаљан приказ свих пописаних и типолошки издвојених објеката према намени је приказан у табели 39, а њихова просторна дистрибуција је приказана на слици 94. Објекти, који нису могли да буду сврстани ни у једну од дефинисаних категорија, сврставани су у категорију „помоћно/остало“. У категорију „летња кухиња“ сврставани су сви помоћни објекти који су недвосмислено, на основу разговора са власницима и корисницима објекта, дефинисани као такви. На основу разговора са власницима,

процењено је да је за 62% објекта постоји грађевинска документација, у виду дозволе или одобрења за градњу (макар једног дела),.За 30% објеката не постоји таква документација, док за 8% није било могуће утврдити стање.

Табела 39. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према намени, на основу анкетирања из 2017. године

Тип објекта према намени	Број објеката	%
Индивидуални стамбени	191	50,93%
Викендица	99	26,40%
Гаража	24	6,40%
Помоћни/остало	23	6,13%
Летња кухиња	11	2,93%
Комерцијални	10	2,67%
Незавршен објекат	7	1,87%
Привремени	4	1,07%
Шупа	3	0,80%
Колективни стамбени	1	0,27%
Надстрешница	1	0,27%
Штала	1	0,27%
Укупно	**375**	**100 %**



Слика 94. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према намени на основу анкетирања из 2017. године

Процењено је да на 28% свих евидентираних објеката да постоји неки облик надоградње или адаптације првобитно изведеног стања, док је 70% остало непромењено.

У конструктивном смислу, најзаступљенији су објекти са масивним носећим зидовима са хоризонталним и вертикалним серклажима (60%), затим следе објекти са масивним носећим зидовима (27%) и потом бондрук системи (6%). Детаљан приказ евидентираних објеката према типу преовлађујуће конструкције је приказан у табели

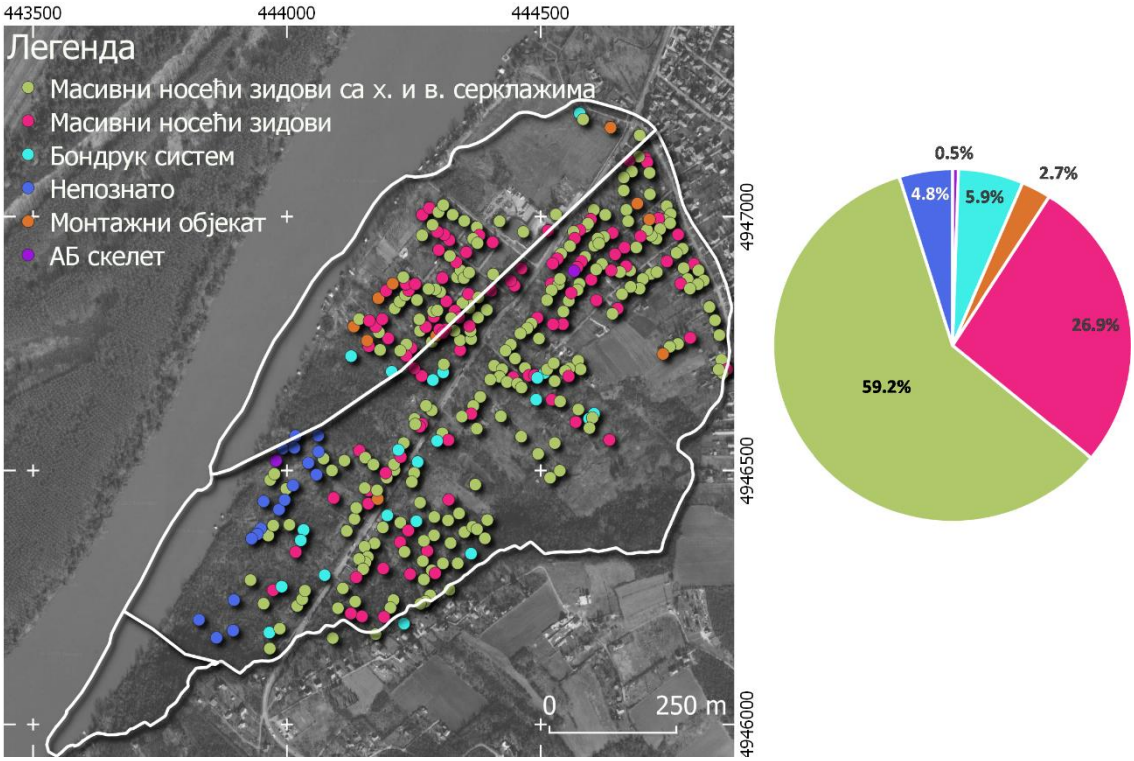
40. Дистрибуција ових објеката, са дијаграмом процентуалног учешћа у односу на укупан број објеката, приказан на слици 96.

Табела 40. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према преовлађујућем типу конструкције, на основу анкетирања из 2017. године

Тип конструкције	Број објеката	%
Масивни носећи зидови са хоризонталним и вертикалним серклажима	222	59.20%
Масивни носећи зидови	101	26.93%
Бондрук систем	22	5.87%
Непознато	18	4.80%
Монтажни објекти	10	2.67%
Армирано бетонски скелет	2	0.53%
Укупно	**375**	**100%**

На основу класификације евидентираних објеката према материјалу испуне зидова, закључено је да је најзаступљенији материјал опека (43%), затим следи гитер блок/блок (33%), потом шљака блок (4,8%) и сипорекс блок и дрво (по 3,7%). Приказ евидентираних објеката према материјалу испуне зидова је дат у табели 41, а њихова дистрибуција са дијаграмом процентуалног учешћа у односу на укупан број објеката приказана је на слици 97.

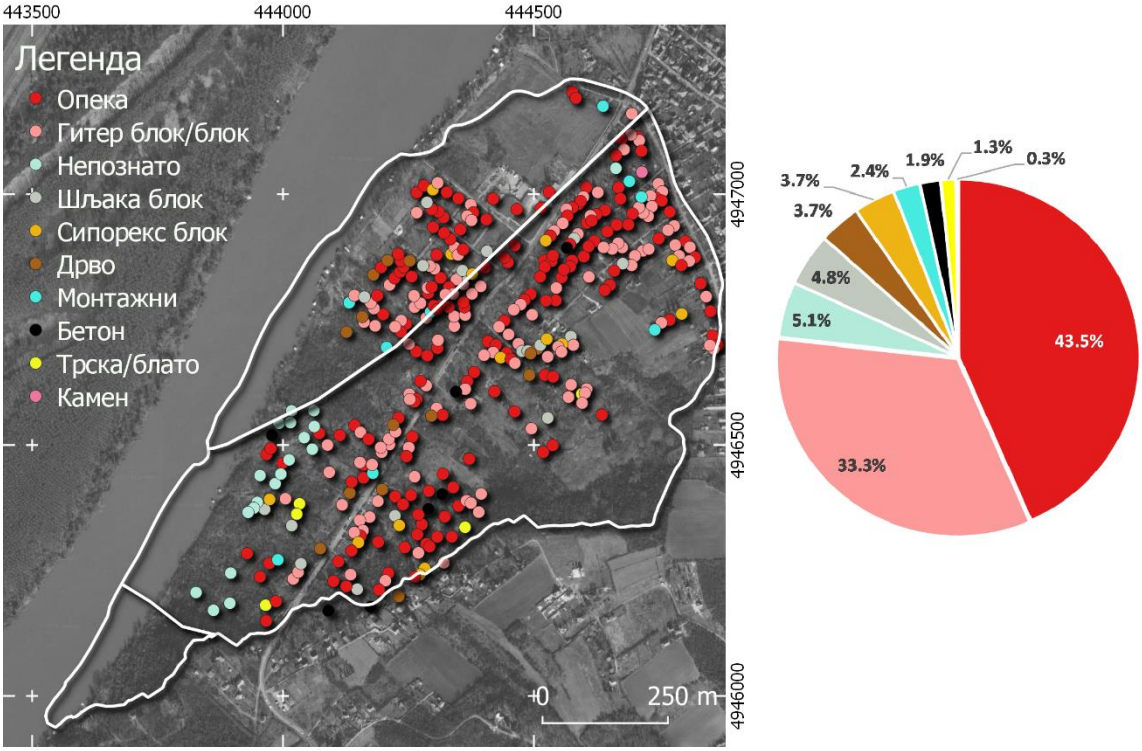
Слика 95. Текстуре најзаступљенијих врста зидова на клизишту „Умка“. С лева на десно: опека; гитер блок; шљака блок; сипорекс блок



Слика 96. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према типу конструкције (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

Табела 41. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према материјалу испуне зидова, на основу анкетирања из 2017. године

Материјал зидова	Број објеката	%
Опека	163	43,47%
Гитер блок/Блок	125	33,33%
Непознато	19	5,07%
Шљака блок	18	4,80%
Сипорекс блок	14	3,73%
Дрво	14	3,73%
Монтажни зидови	9	2,40%
Бетон	7	1,87%
Трска блато	5	1,33%
Камен	1	0,27%
Укупно	**375**	**100%**

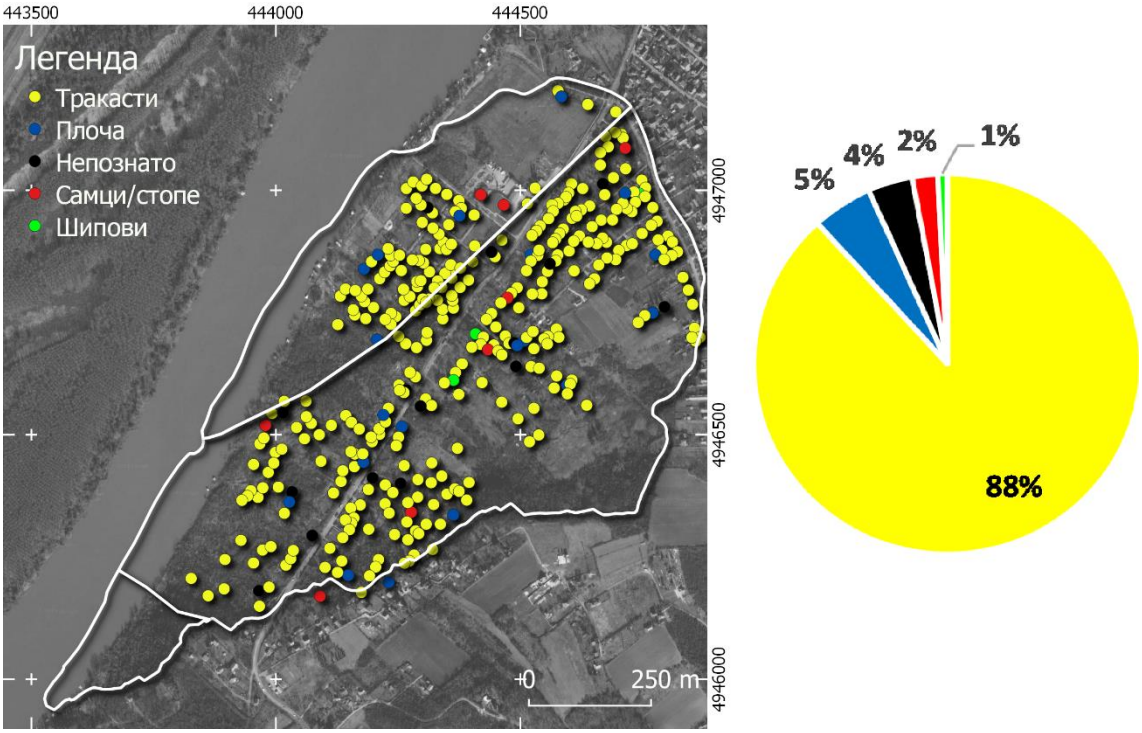


Слика 97. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према материјалу испуне зидова (лево), са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

На основу типа фундирања, најзаступљени су тракасти темељи (88%), што је било и очекивано, у односу на заступљеност типова објеката према намени. Затим, следе темељне плоче (5%), самци и стопе (2%) и шипови (1%). Детаљан приказ евидентираних објеката према начину фундирања (Слика 98) зидова је дат у таБели 42, док је њихова дистрибуција са дијаграмом процентуалног учешћа у односу на укупан број објеката приказана на слици 98. Темељне стопе и самци су евидентирани углавном код великих објеката попут магацина и појединих викенд објеката, док су шипови евидентирани код свега два индивидуална стамбена објекта и једног помоћног који су углавном накнадно изведени као мера санације. За укупно 14 објеката није било могуће поуздано утврђивање типа фундирања како у разговору са власницима, тако ни прегледом објекта.

Табела 42. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према типу фундирања, на основу анкетирања из 2017. године

Тип фундирања	Број објеката	%
Тракасти	331	88,27%
Плоча	19	5,07%
Непознато	14	3,73%
Самци/стопе	8	2,13%
Шипови	3	0,80%
Укупно	**375**	**100%**

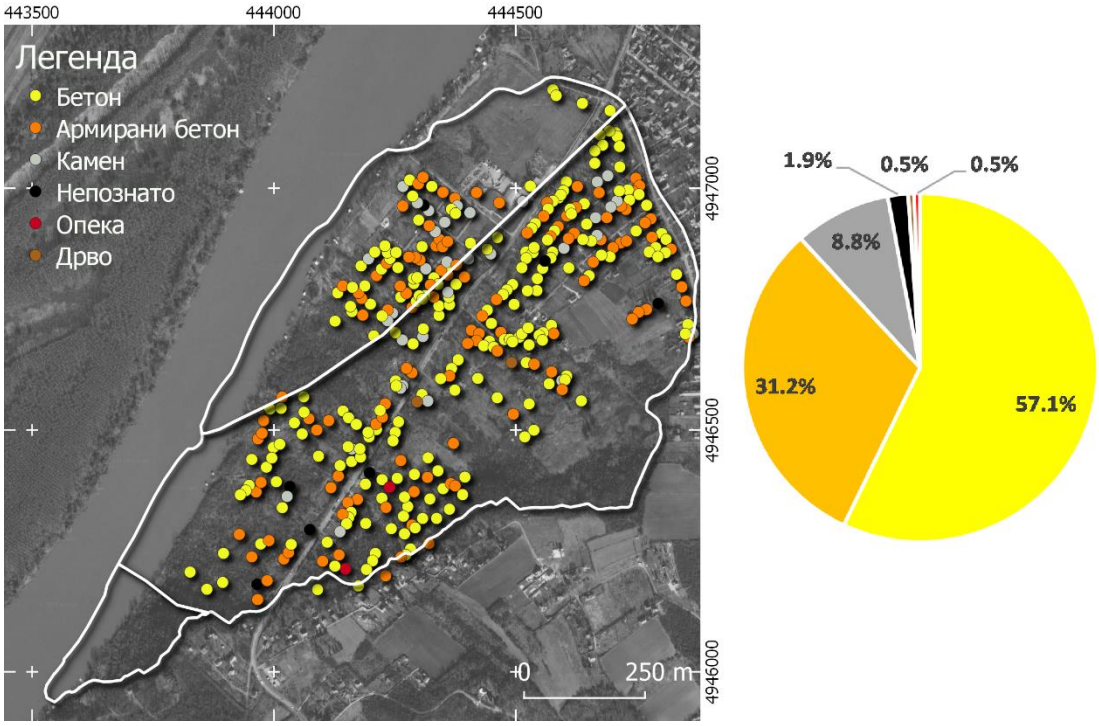


Слика 98. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према типу фундирања (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

Најзаступљенији материјал од којег је направљен темељ је наливени бетон (57%), затим следи армирани бетон (31%), потом камен (9%), док су најмање заступљени опека и дрво (<1%). Приказ објеката према материјалу темеља дат је у табели 43, док је њихова дистрибуција са са дијаграмом процентуалног учешћа у односу на укупан број објеката приказана на слици 99.

Табела 43. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према материјалу темеља, на основу анкетирања из 2017. године

Материјал темеља	Број објеката	%
Бетон	214	57,07%
Армирани бетон	117	31,20%
Камен	33	8,80%
Непознато	7	1,87%
Опека	2	0,53%
Дрво	2	0,53%
Укупно	**375**	**100%**

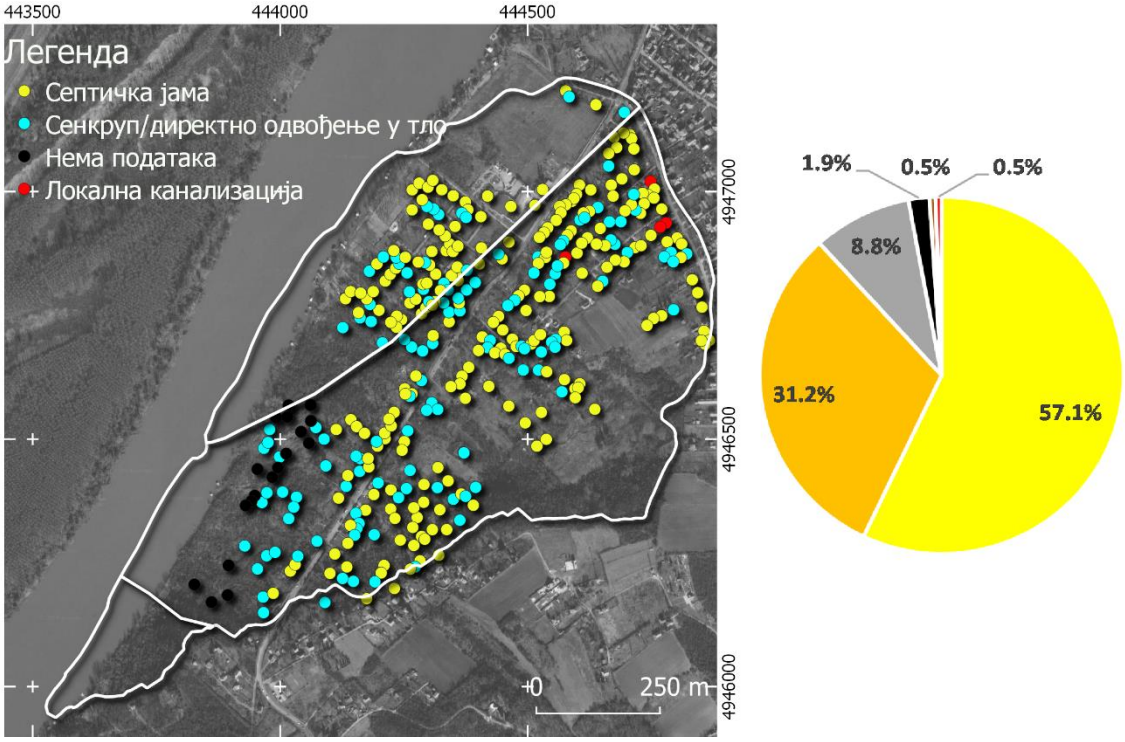


Слика 99. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према материјалу темеља (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

Код највећег броја објеката, отпадне и техничке воде се одводе у контролисану септичку јаму (61%). Директно одвођење воде у тло, тј. сенкруп (33%), док је свега пар објеката прикључено на локалну кишну канализацију. Приказ објеката према начину одвођења отпадних вода је дат у табели 44, а њихова дистрибуција са дијаграмом процентуалног учешћа у односу на укупан број објеката је приказана на слици 100.

Табела 44. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према начину одвођења отпадних вода из објекта на основу анкетирања из 2017. године

Одвођење отпадних вода	Број објеката	%
Септичка јама	228	60,80%
Сенкруп / директно одвођење у тло	125	33,33%
Нема података	18	4,80%
Локална канализација	4	1,07%
Укупно	375	100 %

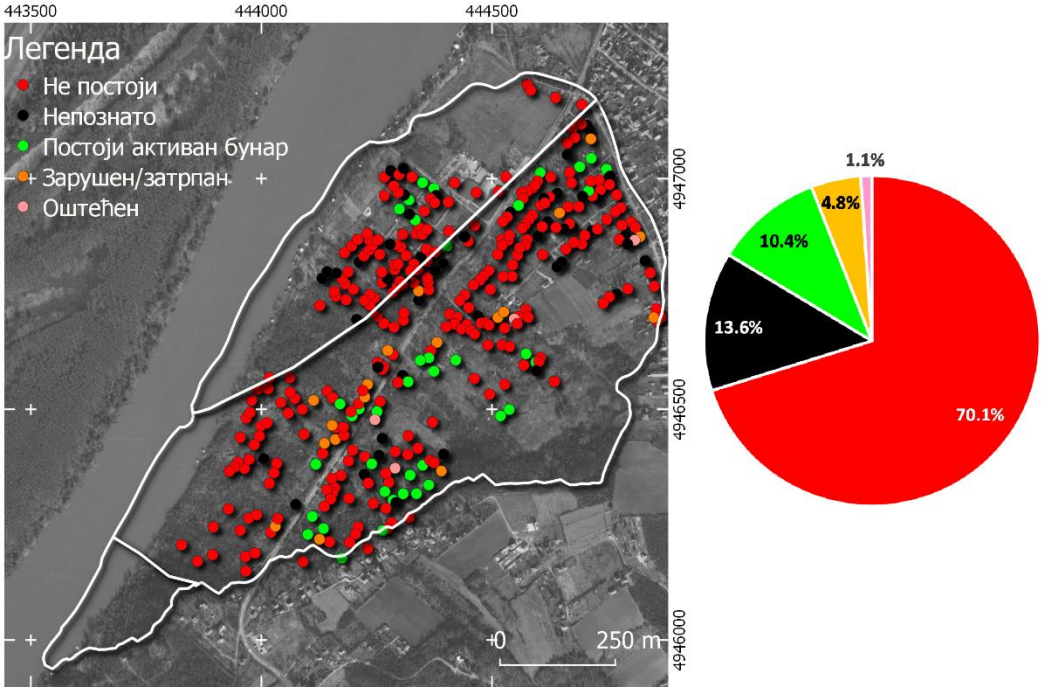


Слика 100. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према начину одвођења отпадних вода из објекта (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

У непосредној околини тј. на парцели објекта, евидентирано је свега 39 (10%) бунара, који се активно користе, за 51 објекат није било могуће утврдити да ли постоји бунар (14%), док у непосредној близини 263 објекта (70%) не постоји бунар. Укупно 22 бунара су зарушена или оштећена услед активности клизишта (6%). Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према стању бунара на парцели, где се налази објекат, дат је у табели 45. Њихова дистрибуција је са дијаграмом процентуалног учешћа у односу на укупан број објеката приказана на слици 101.

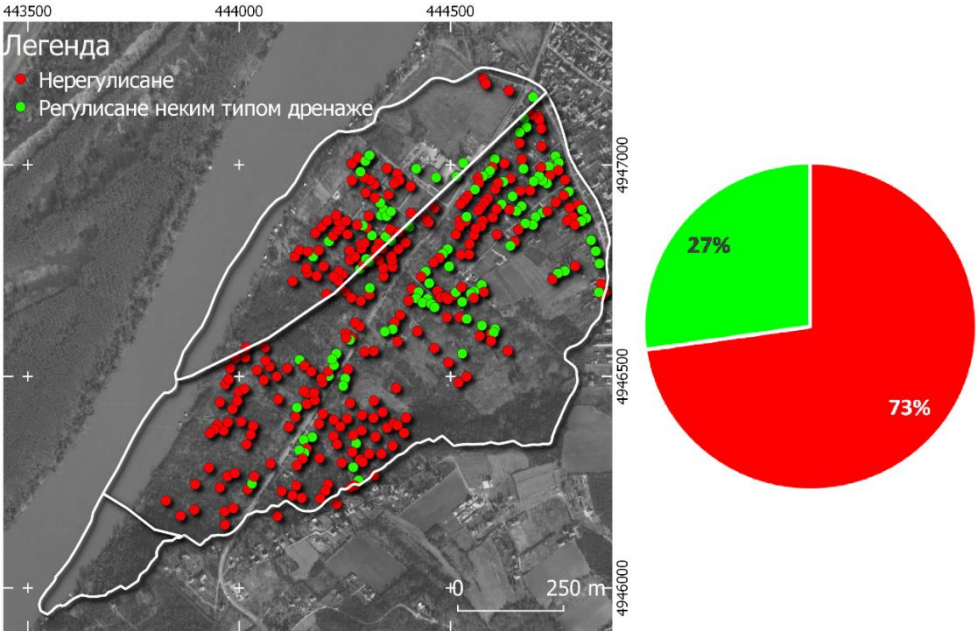
Табела 45. Детаљан приказ пописаних објеката на клизишту „Умка“ према стању бунара на парцели где се налази објекат, на основу анкетирања из 2017. године

Стање бунара на парцели објекта	Број објеката	%
Не постоји	263	70,13%
Непознато	51	13,60%
Активно се користи	39	10,40%
Зарушен је (затрпан)	18	4,80%
Оштећен	4	1,07%
Укупно	**375**	**100 %**



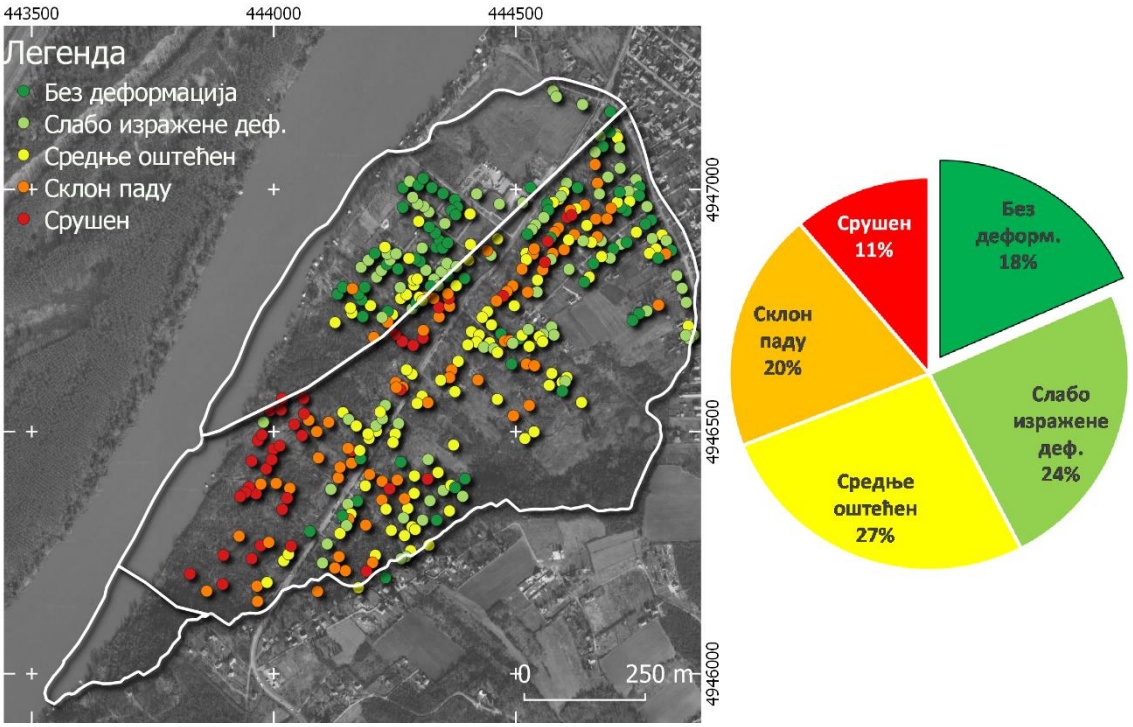
Слика 101. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према стању бунара на парцели где се налази објекат (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

Од евидентираних објеката, свега 102 (27%) имају неки облик прикупљања и контролисаног одвођења или дренирања површинских вода око објекта. Код 272 (73%) објекта не постоји никакав облик контролисаног прикупљања и одвођења површинских вода. Просторна дистрибуција објекта према начину регулисања и одвођења површинских вода око објекта са дијаграмом процентуалне заступљености приказана је на слици 102.



Слика 102. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према начину прикупљања и спровођења површинских вода (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

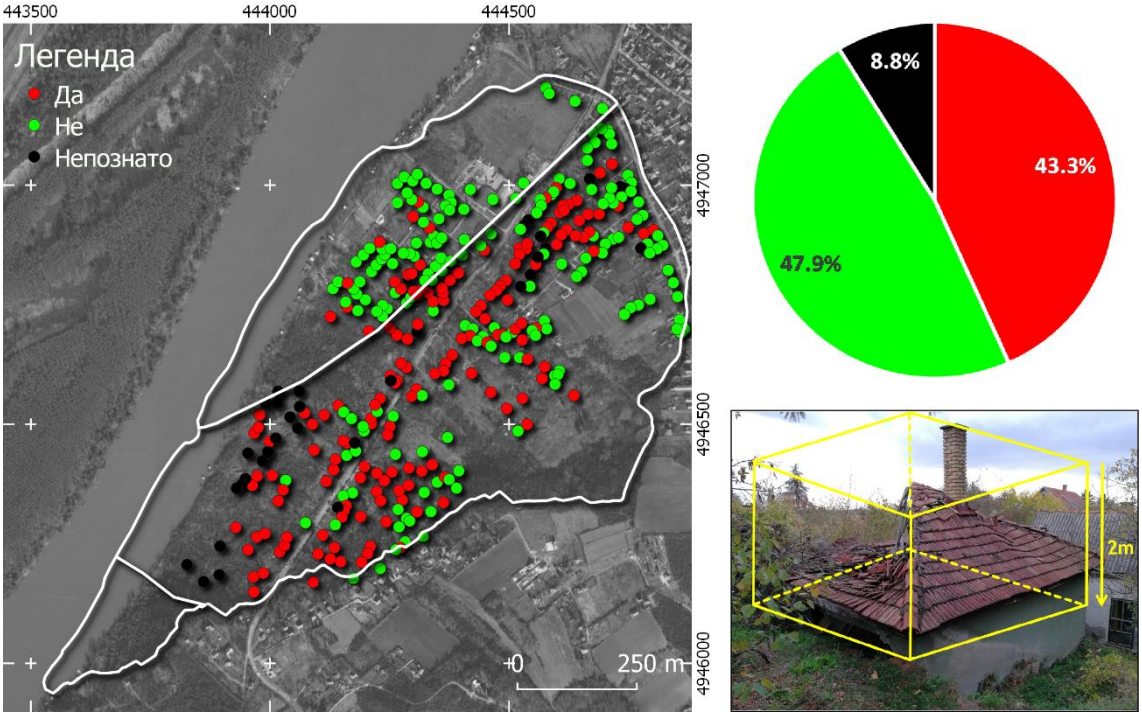
На основу деформисаности објеката, према класификацији Института за путеве, током 2017. године, евидентирано је свега 69 (18%) објеката без деформација, које су последица клизишта. Са слабо израженим деформацијама је било укупно евидентирано 90 објеката (24%), средње оштећених је било 100 објеката (27%), склоних паду 74 објекта(20%) и 42 срушена објекта (11%). Просторна дистрибуција објекта према деформацијама, која су последица клизишта, са дијаграмом процентуалне заступљености приказана је на слици 103.



Слика 103. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према деформацијама која су последица клизишта (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (десно) на основу анкетирања из 2017. године

Од свих евидентираних објеката, код 162 (43%) је уочено јасно изражено тоњење објекта (Слика 104, доле десно), док код 179 објеката (48%) тоњење објекта није било уочено. Просторна дистрибуција објеката, на основу деформација, које су последица клизишта, са дијаграмом процентуалне заступљености је приказана на слици 104.

Укупна тржишна вредност свих евидентираних објеката на клизишта „Умка“ је процењена на 13,5 милиона €. Ова вредност се може сматрати искључиво оријентационом (грубом) проценом, која је добијена простим множењем просечне вредности квадрата, на основу пореских решења из 2016. године, са процењеном бруто површином сваког објекта приликом евидентирања. За прецизну процену вредности сваког објекта неопходна је експертска процена од стране проценитеља, која ће укључити различите параметре, бонитет самог објекта и вредност плаца на коме се налази. Реална вредност објеката и плацева је свакако већа него процењена. Процењена директна штета на објектима је добијена множењем укупне вредности сваког објекта појединачно са процентом оштећења и на тај начин је добијена оријентациона вредност од 4,1 милиона €. Процењена индиректна укупна штета на годишњем нивоу износи око 100.000 €, и она подразумева износ, који власници свих објеката морају да уложе како би одржавали функционалност на минималном прихватљивом нивоу.

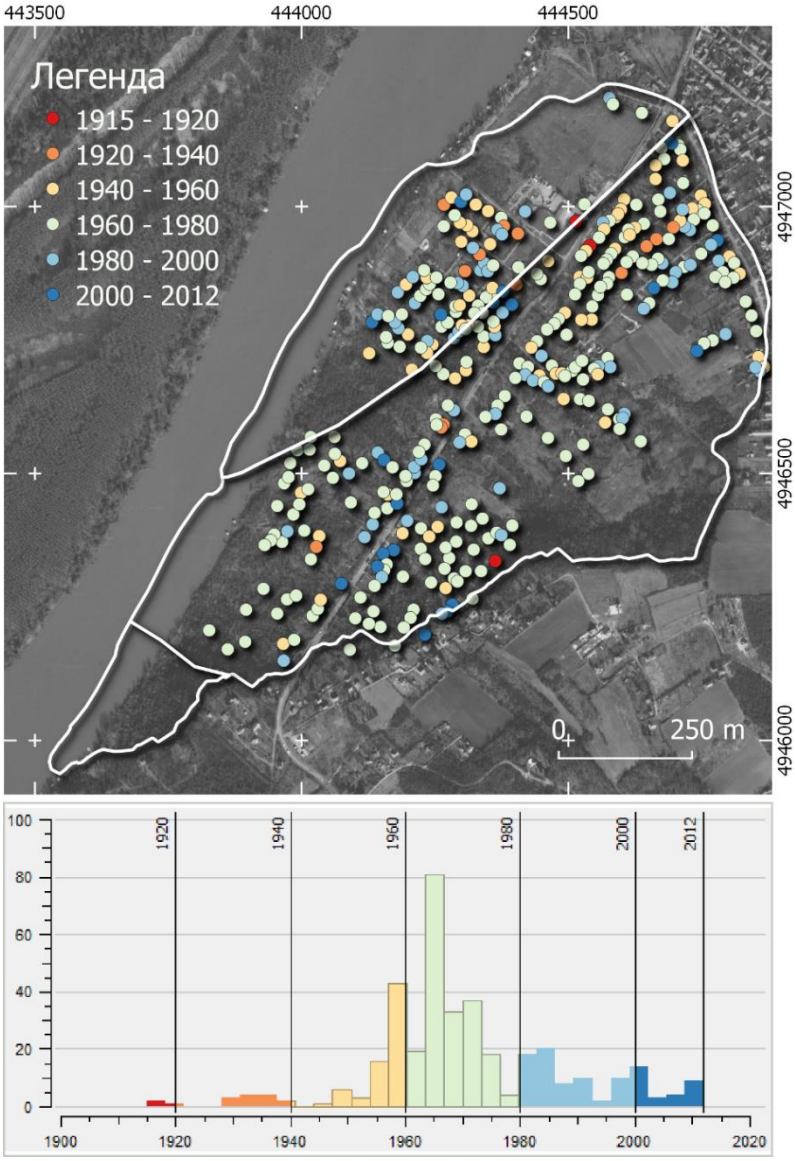


Слика 104. Просторна дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ на основу тоњења објекта (лево) са дијаграмом процентуалне заступљености (горе десно) са приказом једног објекта који је потонуо за скоро 2m (доле десно) на основу анкетирања из 2017. године

Један од значајнијих атрибута неког објекта приликом процене ризика али и општег стања самог објекта јесте година изградње објекта. Највећи број објеката на клизишту „Умка“ је саграђен у периоду од 1960. - 1980. године (228), када је уочен и највећи број новоизграђених викендица на овом подручју (Табела 46 и Слика 105).

Табела 46. Број објеката на клизишту према години изградње (на основу евидентирања из 2017. године)

Година изградње	Број објеката	%
1915-1920	2	0,5
1920-1940	13	3,5
1940-1960	34	9,1
1960-1980	228	60,8
1980-2000	68	18,1
2000-2017	30	8,0
Укупно	**375**	**100**



Слика 105. Дистрибуција објеката на клизишту „Умка“ према години изградње (горе) и хистограм расподеле (доле) на основу евидентирања из 2017. године

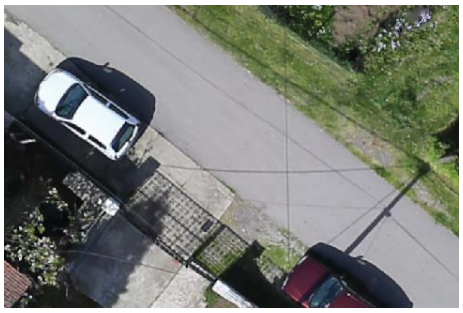
5.3.1.2 Резултати анализе података о објектима нискоградње

Саобраћајнице на клизишту „Умка“ су класификоване на основу категоризације у складу са Законом о путевима Републике Србије[40] као: државни пут 1В реда, улица (општински пут) и некатегорисан пут. Категоризација оштећења је вршена углавном на основу оштећења застора, које је било уочљиво са ортофото снимака (Слика 106), док је провером на терену контролисано стање саме коловозне конструкције, која у грађевинском смислу са свим елементима постоји само код државног пута IB26. Сваком издвојеном сегменту саобраћајница је додељена категорија у распону од „без оштећења“ до „трајно уништен“, на основу квалитативног описа, приказаног у табели 47. Потом је сваком издвојеном сегментну додељен атрибутни запис о типу коловозног застора. Класификација је извршена на основу литературе и идентификације материјала, током картирања на терену и то: бетонски, битуменозни, насути застор и земљани пут. Под појмом насути застор су обједињени шљунчани и туцанички застори.

[40] Сл. гласник РС", бр. 41/2018 и 95/2018 - др. закон

Табела 47. Класификација оштећења саобраћајница на клизишту „Умка“ са квалитативним описом и колорним кључем за картографски приказ

Категорија оштећења		Атрибутни опис
Без оштећења		Коловозни застор и конструкција су без видљивих оштећења или са мањим оштећењима која се могу занемарити
Оштећена у мањој мери		Коловозни застор и конструкција су са мање видљивим оштећењима која се карактеришу у виду мањих, уских пукотина у коловозу која не утичу битније на одвијање саобраћаја. Потребно је редовно одржавање.
Умерено оштећена		Коловозни застор и конструкција су са јасно видиљивим оштећењима која се карактеришу у виду пукотина и деформација коловоза која могу делимично утицати на одвијање саобраћаја. Потребна је санација.
Оштећена у значајној мери		Коловозни застор и конструкција су са израженим, тешким видиљивим оштећењима која се карактеришу у виду пукотина и деформација коловоза, са недостајућим деловима застора и оштећењима насипа. Ова оштећења представљају озбиљну претњу по безбедност свих учесника у саобраћају и захтевају хитне мере санације или реконструкције.
Трајно уништена		Коловози застор и конструкција више не постоје или су оштећени у толикој мери да није могуће одвијање било каквог облика саобраћаја на њему.



Саобраћајница без оштећења

Саобраћајница оштећена у мањој мери

Умерено оштећена саобраћајница

Саобраћајница оштећена у значајној мери

Трајно уништена саобраћајница

Слика 106. Детаљи саобраћајница са оротофотоа на основу којих је извршена класификација оштећења саобраћајница на клизишту „Умка“ на основу критеријума који је описан у табели 47

Класификација проходности возила је извршена теренски, на основу критеријума проходности возила свих категорија. Том приликом, под појмом „возила више категорије“ сматрана су возила за које је неопходно поседовање возачке дозволе за управљање следећих категорија према важећим прописима у Р. Србији: C1E, C, CE, D1E,D и DE. Под појмом „возила ниже категорије“ сматрана су возила за које је неопходно поседовање возачке дозволе за управљање следећих категорија: AM, A1, A2, B1, B, BE и C1. Под појмом „сепцијализована возила“ сматрана су возила за које је неопходно поседовање возачке дозволе за управљање следећих категорија: AM, F и M. Сегменти саобраћајница су класификоване у распону од „нормално проходна“ до „непроходна“ на основу квантитативног критеријума који је дат у табели 48.

Табела 48. Класификација проходности саобраћајница на клизишту „Умка“ са описом и колорним кључем за картографски приказ

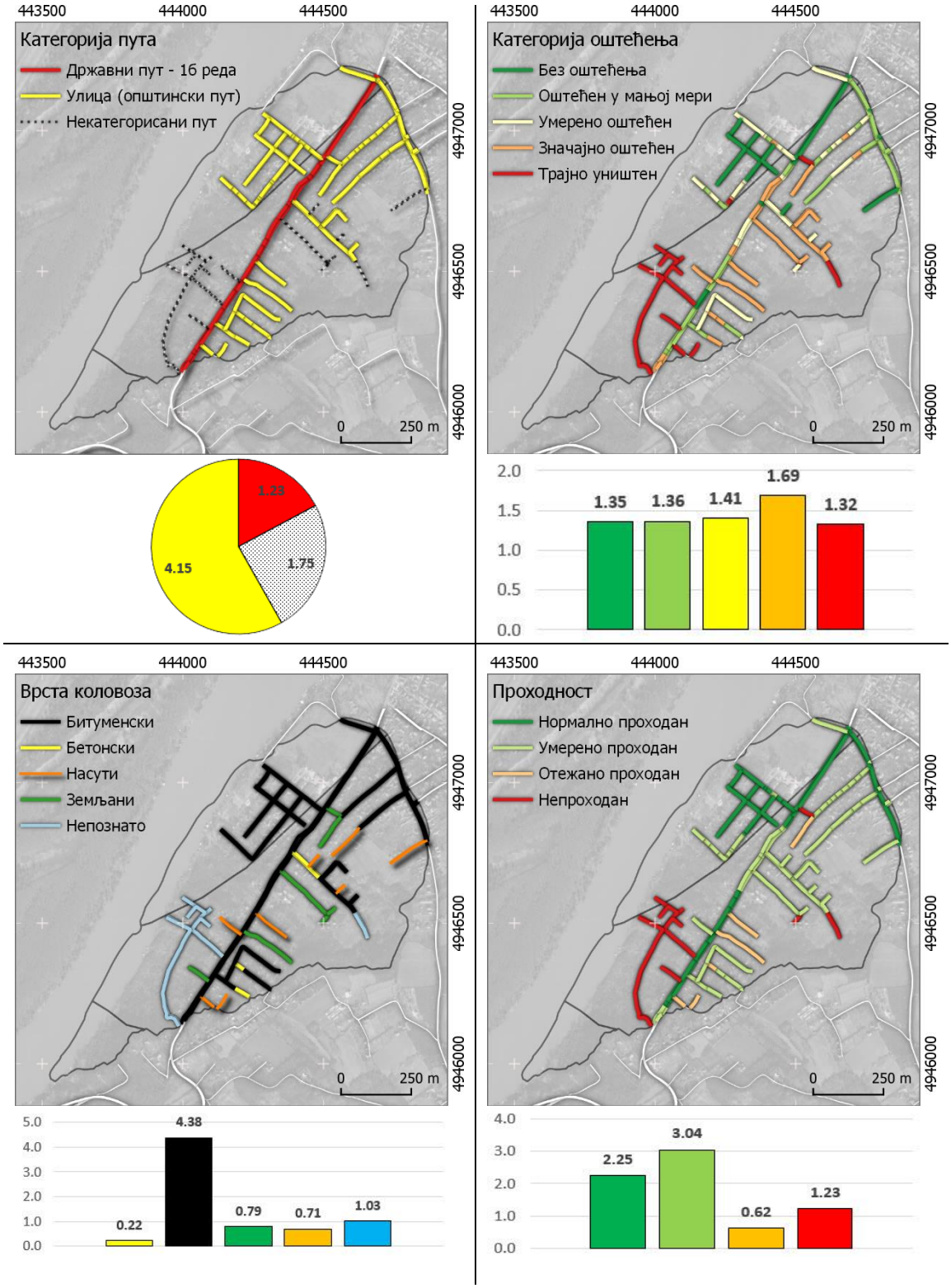
Процена проходности		Атрибутни опис
Нормално проходна		Саобраћајница је нормално проходна за све категорије возила која могу да јој неометано приступе. У идеалним условима, саобраћај се одвија без икаквих потешкоћа и задржавања
Умерено проходна		Саобраћајница је умерено проходна, углавном за возила ниже категорије, на оваквим деоницама потребно је прилагођавање брзине условима на путу. Присутне су деформације на коловозу које успоравају или делимично ометају саобраћај.
Отежано проходна		Саобраћајница је отежано проходна за возила свих категорија. Проходне су углавном за специјализована теренска возила или возила са високим одстојањем од тла. Одвијање редовног саобраћаја није могуће на овим деоницама.
Непроходна		Саобраћајница је у потпуности непроходна за све категорије возила, није могуће одвијање било ког вида саобраћаја. Приступ је могућ једино тешкој механизацији - гусеничарима.

Преко тела активног клизишта „Умка“ прелази укупно 7,1 km путева свих категорија (Слика 107 – горе десно), од којих су најзаступљеније улице (општински путеви),којих је 4,2 km (58%), потом следе некатегорисани путеви, којих је у укупној дужини 1,8 km (25%), док државни пут 1В реда бр. 26 прелази у укупној дужини од 1,2 km (17%).

Од укупне дужине свих картираних саобраћајница, без оштећења је 1,4 km (19%), оштећених у мањој мери је 1,4 km (19%), умерено оштећених је 1,4 km (20%), оштећених у значајној мери је 1,7 km (23%) и трајно уништених је 1,3 km (19%). Карта дистрибуције оштећења саобраћајница са дијаграмом је приказана на (Слика 107 – горе десно).

На основу материјала коловоза у оквиру клизишта „Умка“, саобраћајнице су у највећој мери од битумена (Слика 107 – доле лево) и то у укупној дужини од 4,4 km (61%). Земљани путеви чине 0,8 km (11%), потом следе насути путеви, којих има у укупној дужини од 0,7 km (9,9%). Унајмањој мери су заступљени бетонски коловози, 0,2 km (3,1%), док за уништене путеве није било могуће утврдити тип коловоза у укупној дужини од 1 km (15%).

Нормално проходних путева је у дужини од 2,2 km (31%), затим следе умерено проходни путеви са 3 km (43%), док отежано проходних путева има у дужини од 0,6 km (8,8%) и на крају, непроходних путева је у дужини од 1,2 km (17%). Карта проходности саобраћајница је приказана на слици 107 (доле десно).



Слика 107. Категоризација саобраћајница на клизишту „Умка“ на основу: категорије пута (горе лево), оштећењу коловозне конструкције (горе десно), врсти коловоза (доле лево), проходности (доле десно) са пратећим дијаграмима заступљености (km)

Анализом података добијених картирањем саобраћајница је показано да је највећа заступљеност улица и општинских путева, који су у надлежности локалне самоуправе. Главни саобраћајни правац је свакако државни пут IB26, на који се прикључује највећи број осталих саобраћајница нижег ранга.

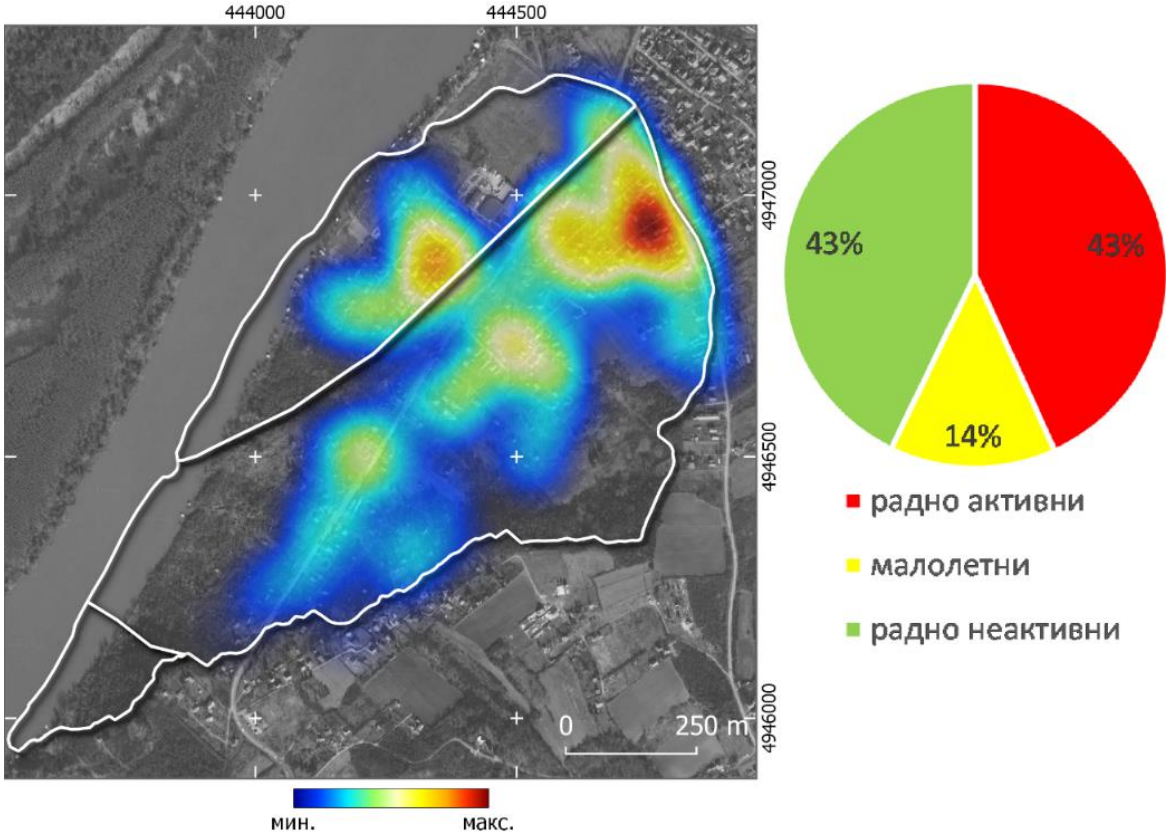
На клизишту „Умка“, свега 38% саобраћајница је без оштећења или са мањим оштећењима, док је 62% са оштећењима, која у значајној мери или у потпуности

онемогућава њихову регуларну примену. Највећи ризик представљају деформације државног пута IB26, које у значајној мери успоравају саобраћај и утичу на безбедност његовог одвијања. Већем делу локалног становништа је онемогућен безбедан приступ државном путу, као и коришћење уличне инфраструктуре.

5.3.2 Покретни елементи у ризику

5.3.2.1 Резултати анализе података о становништву и њиховим активностима

Унутар граница активног клизишта „Умка“, 2017. године је живело 495 становника, од којих је 214 (43%) радно активних лица, у сталном или привременом радном односу, 212 (43%) пунолетних радно неактивних лица, која нису у радном односу (незапослени, пензионери, радно неспособни) и 69 (14%) малолетних лица, која су на школовању. Највећа густина насељености је у североисточном делу клизишта (Блок B), у зони објеката уз пут за Руцку, где су махом заступљени већи и квалитетнији објекти за индивидуално становање. Поред наведене, издваја се и зона објеката унутар северног дела клизишта(Блок A), која је такође са објектима новије и квалитетније градње, али нешто мањом густином насељености. Мања густина становника се уочава дуж државног пута IB26, као и у зони блока B, испод. Ово су уједно зоне у којима су заступљени викенд објекти као и значајан број објеката који су у међувремену значајније оштећени или уништени услед активности клизишта. Графички приказ релативне дистрибуције (мин. - макс.) становништва на подручју клизишта „Умка“, са дијаграмом радне активности приказан је на слици 108. Приказ дистрибуције становништва по објектима није приказан, због заштите становништва. Такве карте је , међутим, могуће генерисати на основу израђене базе података, што је уједно и разлог приказивања само релативне дистрибуције густине становништва без квантитативних показатеља.



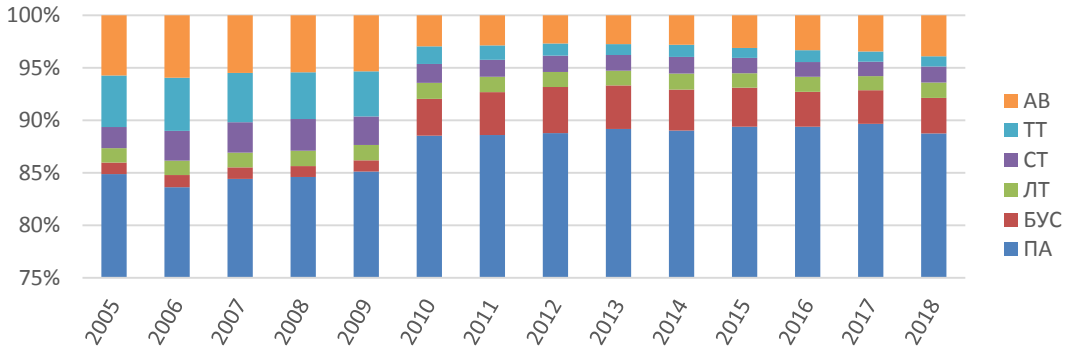
Слика 108. Графички приказ релативне дистрибуције становништва на подручју клизишта „Умка“ (лево), са дијаграмом радне активности (десно)

5.3.2.2 Резултати анализе саобраћајног оптерећења

На основу анализе прикупљених улазних података, евидентан је пораст броја возила, која учествују у просечном годишњем дневном саобраћају на анализираној деоници. Просечан годишњи дневни саобраћај (ПГДС) је током 2005. године износио преко 8.500 возила, док је тај број током 2018. године износио 13.970, што представља повећање од укупно 47% за период од 13 година, са тенденцијом даљег раста (Слика 109).

Слика 109. Просечан годишњи дневни саобраћај – укупан број возила свих категорија по годинама. Црвена линија означава годину пуштања у промет деонице аутопута Е-763 Љиг – Чачак

Аутоматским бројачем, инсталираним у непосредној околини клизишта „Умка“, а који функционише на принципу индукционе петље, процењена је категорија возила. Закључено је да је тако свих година на анализираној деоници најзаступљенија категорија путничких аутомобила (>80%), потом следе аутобуси чији је број у порасту од 2010. године, затим теретна возила (лака, средња и тешка) и ауто возови тј. возила са теретном приколицом (Слика 110). Од 2010. године, приметан је пад промета возила, која припадају групи тешких теретних (>12 t). Разлике у периоду од 2011. године треба посматрати у контексту преласка са интерполације на меродавније податке са аутоматске станице. Уколико се настави овакав тренд до краја 2020. године може се очекивати ПГДС са више од 14.500 возила. На могуће смањење броја возила може утицати најављено отварање аутопута Сурчин – Чачак. Међутим, чак и са тим смањењем броја возила, ПГДС ће тешко пасти испод 12.000, чиме ће поменута деоница остати једна од фреквентнијих приградских саобраћајница.



Слика 110. Процентуална заступљеност возила на деоници Умка – Барич према категорији: **ПА** – путнички аутомобили; **БУС** – аутобуси; **ЛТ** – лака теретна возила; **СТ** – средња теретна возила; **ТТ** – тешка теретна возила; **АВ** – аутовоз и теретна возила са приколицом

6. Квантитативна процена ризика

У овом поглављу дат је поступак и резултати квантитативне процене ризика за клизиште „Умка“. Анализа и процена ризика подразумевала је неколико корака: квантитативну процену хазарда за усвојене сценарије, процену угрожености елемената у ризику и на крају процене специфичних ризика и укупне штете.

6.1 Процена хазарда

На основу свих прикупљених података за клизиште „Умка“, за процену хазарда је одабран геотехнички приступ. Овакав приступ је подразумевао детерминистичку анализу прорачуна фактора сигурности, комбиновану са пробабилистичким приступом у виду дефинисања различитих сценарија, који утичу на хазард клизишта.

Повратном анализом су добијени физичко-механички параметри клизишта „Умка“. Параметри су, потом, коришћени за диференцијацију фактора сигурности услед реализације различитих сценарија хазарда.

6.1.1 Сценарији хазарда са вероватноћом реализације

На основу хидролошких и хидрогеолошких сценарија (S_1-S_5), као и могућих сеизмолошких догађаја на подручју клизишта „Умка“, дефинисани су сценарији хазарда, са проценом вероватноће реализације за јединични временски период.

На основу статистичке анализе хидролошких и климатолошких података за период од 16 година (2003 - 2018), утврђена је вероватноћа појављивања сваког од водостаја, који је коришћен приликом анализе стабилности. Моделом клизишта је усвојен есктремни водостај Саве од 76,9 m, који се није ни једном догодио током анализираног периода. Из тог разлога је, за потребе статистичке анализе, тај ниво редукован за 1 m, тако да је за максимални ниво Саве разматран водостај у износу од 75,9 m. Као што је и било очекивано, најчешћи ниво Саве од 71,1 m има јединичну вероватноћу појављивања 0,7, јер је забележен укупно 373 пута током осматраног периода. Затим следи низак водостај Саве <69,9 m, који има јединичну вероватноћу појављивања од 0,2 и на крају, најређи, екстремно висок ниво Саве (> 75,9m) са вероватноћом појављивања од 0,017 (Табела 49).

Табела 49. Статистичка анализа појављивања прорачунских нивоа Саве код клизишта „Умка“ за период од 2003. – 2018. са вероватноћом појаве сведену на јединични временски период

ниво Саве	бр. појава (2003-2018)	% појаве	вероватноћа у јединичном вр.
< 69,9 m	124	24,5	0,24
> 75,9 m	8	1,75	0,017
71,7 m	323	70,9	0,7

У моделу, коришћеном за 3D анализу стабилности, за падавине које могу проузроковати потпуно засићење тла и ниво подземних вода скоро при површини терена, усвојен је екстремни падавински и хидролошки сценарио, који се одиграо током априла и маја месеца 2014. године (циклон „Тамара“). Како се током осматраног и анализираног периода само једном одиграо такав догађај, на основу обрасца (4) је израчуната вероватноћа реализације у јединичном периоду у износу од 0,0625 (1/16). Све остале падавине су сматране редовним појавама, које нису имале утицаја на усвојени модел за анализу стабилности.

На основу анализе регионалне сеизмичке активности, утврђено је да су се догодила свега два земљотреса са магнитудом > 5 јединица по Рихтеру, а који су били на таквој удаљености да могу имати значајнијег утицаја на динамику клизишта „Умка“ (Лазаревац, 1922. и Аранђеловац, 1926. год). Детаљнији подаци о наведеним земљотресима, из каталога Републичког сеизмолошког завода Србије, приказани су у табели 27. У складу са наведеним, за повратни период је усвојено време од 100 година, па је тако вероватноћа реализације земљотреса на подручју клизишта „Умка“ сведена на јединични временски период у изнсоу од 0,02 (2/100).

На основу хидролошких и хидрогеолошких сценарија (S1 - S5) и на основу резултата локалне сеизмичке активности, усвојени су коначни сценарији хазарда од клизишта „Умка“ (RS1 – $RS5_{ks}$), за које је прорачуната укупна вероватноћа реализације сведена на јединични за јединични временски период (Табела 50). За моделе, који су у индексу означени са *ks,* је приликом 3D анализе коришћен усвојени коефицијент сеизмичности у случају одигравања земљотреса. Сценарио хазарда RS3 је дефинисан на основу параметара реалног сценарија, који се одиграо током инструментално опажаног периода и током периода евидентирања штете на објектима на терену као и на основу најчешћих услова нивоа Саве и падавина. Овај сценарио је усвојен као калибрациони и тзв. валидациони.

Табела 50. Вероватноћа појављивања одређеног нивоа Саве (p_a), са вероватноћом НПВ-а које су у зависности о екстремних падавина (p_b), вероватноћа појављивања земљотреса M>5 (p_c) и укупна вероватноћа комбинованих појава (p_a x p_b x p_c) сведена на јединични временски период. Зеленом бојом је означен валидациони модел

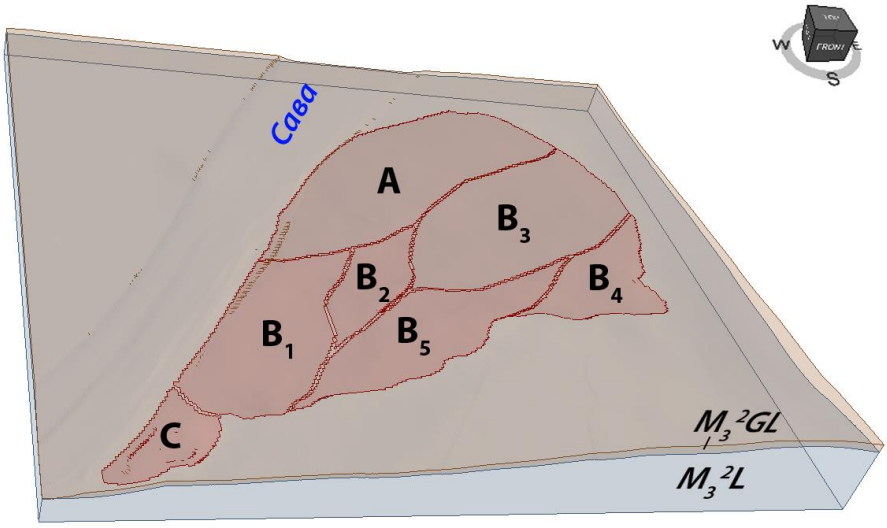
	Водостај Саве		Падавине и НПВ		Земљотрес	Ук. вер.
Сц.	**ниво [m]**	**(p_a)**	**опис**	**(p_b)**	**(p_c)**	**p_a x p_b x p_c**
RS1	> 75,9	0,0175	висок	0,0625	/	0,00109
RS2	> 75,9	0,0175	уобич.	1	/	0,0175
RS3	71,7	0,7	уобич.	1	/	0,7
RS4	< 69,9	0,27	уобич.	1	/	0,27
RS5	< 69,9	0,27	висок	0,0625	/	0,01688
$RS1_{ks}$	> 75,9	0,0175	висок	0,0625	0,02	0,00002
$RS3_{ks}$	71,7	0,7	уобич.	1	0,02	0,014
$RS5_{ks}$	< 69,9	0,27	уобич.	0,0625	0,02	0,00034

6.1.2 3D прорачун стабилности на основу сценарија хазарда

Последњих деценија, у геотехничкој пракси, постоје одређене несигурности и ризици приликом одабира меродавних параметара чврстоће, који улазе у модел за прорачун фактора сигурности. На основу бројних истраживања и повратних анализа стабилности, најчешће се приликом 2D анализе, као доња граница условно стабилног клизног тела, усваја Fs у распону од 1,1 - 1,3 у зависности од потреба и предвиђеног метода стабилизације. За трајну стабилизацију најчешће се усваја минимални фактор сигурности, који је са вредностима >1,5. Приликом тродимензионалне анализе фактора сигурности морају бити усвојене веће минималне вредности услед утицаја смичућих отпора дуж бочних страница клизне колоне, која је анализирана, а које нису разматране у 2D анализи. Stark & Ruffing (2017) у свом раду предлажу да се приликом 3D анализе усвоје веће минималне вредности Fs у односу на оне које су уобичајене приликом 2D анализе. Исти аутори, за клизиште код којег је приликом формирања 3D модела била мања несигурност одређивања параметара чврстоће и где постоји оправдан ризик по људске животе и инфраструктурне објекте, предлажу да се за минималну вредност Fs усвоји 1,7. На основу наведеног, за тродимензионалну анализу стабилности методом граничне равнотеже квази-геотехничких блокова клизишта „Умка“, усвојено је да се

вредности глобалног фактора сигурности >1,7 могу сматрати стабилним. За потребе диференцијације и процене ризика, усвојено је да се вредности глобалних Fs блокова у распону од 1,2 - 1,7 могу сматрати условно стабилним. Овде се могу очекивати деформације и померања услед неповољнијих хидролошких, хидрогеолошких или сеизмичких услова. Вредности, Fs < 1,2 сматране су нестабилним. Потребе за усвајањем већих вредности минималног фактора сигурности приликом тродимензионалне анализе могу бити и последица чињенице да се приликом усвајања геотехничког модела користе DEM-ови површине терена и клизне површине, који су утврђени након што је развијен процес клижења и након што је морфолошки формирано клизно тело, које је прерасподелом маса заузело условно стабилнији положај (Wang et al., 2013). Изостанак континуиниранoг мониторинга хидролошких и хидрогеолошких услова, који битно утичу на стабилност клизног тела, су такође допринеле потреби за усвајање већих вредности Fs који би били на страни сигурности.

DEM-ови површине терена и кровине лапора, кориговани за корито Саве, извежени су у GIS-у у TIN фајл, који је био погодан за увоз у Slide3 програм. DEM клизне површине кориговaн за корито Саве, је подељен на основу формираних квази-геотехничких блокова у засебне површине, које су потом по истом поступку извежене и учитане у Slide3 програм. Исто је примењено и на DEM-ове усвојених сценарија. Модел за анализу стабилности је креиран екструзијом између DEM-а кровине лапора и DEM-а површине терена. За доњу границу модела дефинисана је раван са надморском висином од 0 m, док је за горњу границу модела дефинисана раван са надморском висином од 400 m. Након тога је уследило разбијање на засебне слојеве, на основу описаног квадрата око површине клизишта, који је увећан за 100 m по x и y оси, чиме је обезбеђено да клизиште „Умка“ буде у целости унутар модела. На овај начин су формирана три геометријска комплексна тродимензионална тела, од којих је оно, које је се простирало изнад површине терена дефинисано као празан простор (ваздух) и искључено је из приказа и модела. Преостала два геометријска тела су представљала моделоване геолошке слојеве на подручју клизишта „Умка“ – лапоровите глине и лапоре чиме је коначно формиран 3D модел клизишта, у смислу геометрије (Слика 111).



Слика 111. 3D геотехнички модел клизишта у перспективном приказу (Slide3) са подељеном клизном површином на квази-геотехничке блокове.
M_3^2GL –лапоровите глине; **M_3^2L** – лапор; **црвени полигони** – квази-геотехнички блокови

Сваки квази-геотехнички блок је анализиран засебно у *Slide3* програму. Том приликом је у модел унета клизна површ, као слабоносећи слој (енг: *Weak layer*), са параметрима

чврстоће, који су добијени повратном анализом за целу клизну површину. За параметре чврстоће два геолошка слоја, такође су усвојене вредности, које су коришћене приликом повратне анализе. Површине нивоа Саве и НПВ-а су, у програму *Slide3,* дефинисане као *Water table,* с тим да су лапори третирани као водонепропусни на основу препорука и лабораторијских анализа узорака. У скалду са тим, утицај воде је био анализиран само у лапоровитим глинама и на површини терена (Сава).

Повратна анализа је извршена у софтверу *Slide3* за најнеповољнији хидролошко-хидрогеолошки сценарио S1 (Сава 76,9, НПВ 0,5 од површине терена). За физичко-механичка својства тла, у моделу су усвојене средње вредности које се биле у опсегу препоручених (Табела 23). За лапоровите глине је усвојена нешто нижа вредност C_r'=12, јер је од претходне анализе узорака прошло више од 15 година, па је усвојена претпоставка да је кохезија додатно смањена услед нових кретања и услова који су преовладали у терену. Приликом прорачуна методом повратне анализе у 3D окружењу за клизну површину, усвојена је она, која је моделована на основу резултата истражног бушења и која је коригована за утицај ерозије Саве по поступку описаном у поглављу 5.2.1.3. Клизна површина је у 3D модел у оквиру *Slide3* програма дефинисана као слабо носиви слој и додељене су јој вредности физичко-механичких параметара у опсезима, дефинисаним на основу резултата претходних лабораторијских истраживања. Инцијални параметри геолошког модела, који су усвојени за 3D анализу стабилности су усвојени на основу резултата лабораторијских анализа узорака из техничке документације Института за путеве – Београд (Табела 28).

За вредност резидуалне кохезије је усвојена вредност c_r'=0°, док је за резидуални угао унутрашњег трења ϕ_r' првобитно усвојена најмања вредност (7°), након чега је извршено неколико сукцесивних итерација прорачуна Fs, са инкрементом вредности од c_r' +2°, док није добијена вредност Fs ≈ 1. Како је у моделу коришћен слабо носиви слој, приликом прорачуна, параметри чврстоће тла изнад и испод клизне површине, нису у већој мери утицали на прорачун стабилности, већ је њихов утицај исказан преко запреминске тежине геолошких средина изнад клизне површине. Калибрација модела је проверена тако што је усвојен угао унутрашњег трења добијен повратном анализом (φ'_r=12°). Након овог корака, извршено је неколико прорачуна са различитим физичко-механичким параметрима надслоја и бедрока. Резултати таквих итерација су приказани у табели 51, где су подебљане и наранџастом бојом означене вредностиусвојене повратном анализом. На основу резултата примећено је да је осетљивост модела на промену физичко-механичких параметара надслоја и бедрока занемарљиво мала, тј. у опсегу друге децимале (Табела 51 - вредности испод наранџастог реда усвојених вредности).

Повратна анализа је, потом, са усвојеним параметрима поновљена за преостале хидролошке и хидрогеолошке сценарија (S2-S5) док су вредности 3D фактора сигурности приказани у табели 52.

Резултати повратне дали су могућност процене хазарда од клизишта за усвојене хидролошке и хидрогеолошке сценарије, уз напомену да је клизно тело третирано као јединствено. На поменути начин није било могуће извршити диференцирање стабилности по блоковима клизишта, који имају другачију динамику и релативни ниво хазарда за сваки предвиђени сценарио.

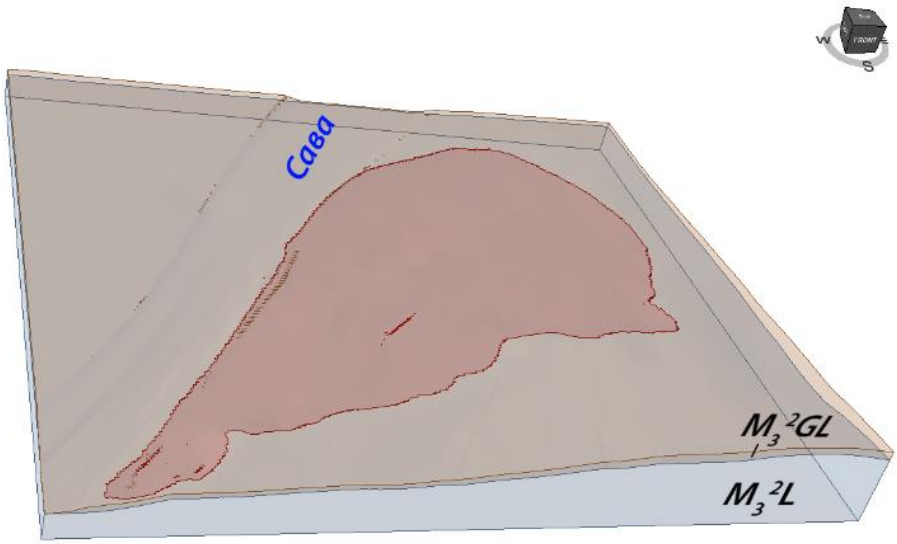
Табела 51. Фактори сигурности целог тела клизишта „Умка“ добијени 3D повратном анализом за хидролошки и хидрогеолошки сценарио S1 (Сава 76,9, НПВ 0,5 m). Наранџастом бојом су уоквирене усвојене вредности, док су резултати провере калибрације модела приказани испод црткасте линије

Колувијум			Глине лапоровите			Лапори			Геотехнички модел		
c'	φ'	γ	c'	φ'	γ	c'	φ'	γ	3DFs		
(°)	(°)	kN/m³	(°)	(°)	kN/m³	(°)	(°)	kN/m³	Јанбу	Бишоп	Спенсер
0	7	17,4	12	20	19	25	25	20	0,62	0,61	0,62
0	9	17,4	12	20	19	25	25	20	0,78	0,76	0,77
0	11	17,4	12	20	19	25	25	20	0,94	0,91	0,92
0	**12**	**17,4**	**12**	**20**	**19**	**25**	**25**	**20**	**1,02**	**0,99**	**1,00**
0	12	17,4	15	25	19	25	25	20	1,04	1,01	1,03
0	12	17,4	12	20	19	25	50	20	1,02	0,99	1,00
0	12	17,4	15	25	19	25	50	20	1,04	1,01	1,03

Табела 52. Фактори сигурности целог тела клизишта „Умка“ добијени 3D анализом за хидролошке и хидрогеолошке сценарије S1-S5, на основу параметара из повратне анализе. Ја – Јанбуова метода; Би. – Бишопова метода; Сп. – Спенсерова метода

Сценарио	3DFs		
	Ја.	Би.	Сп.
S1 (Сава 76,9 mnv; НПВ 0,5m)	1,02	0,99	1,00
S2 (Сава 76,9 mnv; НПВ 2005)	1,16	1,13	1,14
S3 (Сава 71,7 mnv; НПВ 2017)	1,20	1,18	1,20
S4 (Сава 69,9 mnv; НПВ 1992)	1,19	1,18	1,19
S5 (Сава 69,9 mnv; НПВ 0,5m)	0,99	0,97	0,98

Приликом тумачења резултата 3D анализе требало би узети у обзир чињеницу, да се вредности фактора сигурности повећавају у односу на 2D анализу, тако да се може тумачити да је модел калибрисан, на начин да се за сва три сценарија налази у стању лабилне равнотеже (1< Fs <1,2). На слици 112 је приказан успостављен 3D модел клизишта „Умка“ у оквиру програма Slide3



Слика 112. 3D геотехнички модел клизишта у перспективном приказу (Slide3)
M_3^2GL – глине лапоровите; M_3^2L – лапор; црвени полигон – клизна површина

За сваки усвојени квази-геотехнички блок је урађен прорачун стабилности на основу три различите, програмом понуђене, методе 3D анализе граничне равнотеже (Јанбу, Бишоп и Спенсер) и то за свака од пет претходно усвојених сценарија. На овај начин је извршено укупно 30 различитих прорачуна чиме је добијено 90 3D фактора сигурности (Табела 53).

Табела 53. 3D фактор сигурности на основу четири усвојена сценарија нивоа Саве и НПВ-а у телу клизишта „Умка“ за квази-геотехничке блокове добијена прорачуном у програму Slide3. **Црвена боја** означава блок који је нестабилан, **наранџаста** означава блок у стању лабилне равнотеже, **жута** означава условно стабилан блок док **зелена** означава стабилан блок на основу 3D фактора сигурности.

сценар.	S1			S2			S3			S4			S5		
	Сава 76,9 mnv; НПВ 0,5m			*Сава 76,9 mnv; НПВ 2005*			*Сава 71,7 mnv; НПВ 2017*			*Сава 69,9 mnv; НПВ 1992*			*Сава 69,9 mnv; НПВ 0,5m*		
Блок	Ја.	Би.	Сп.	Ја.	Би.	Сп.	Ја.	Би.	Сп.	Ја.	Би.	Сп.	Ја.	Би.	Сп.
A	1,53	1,47	1,50	1,63	1,58	1,60	1,73	1,69	1,71	1,55	1,50	1,52	1,47	1,38	1,14
B1	0,95	0,91	0,96	1,10	1,06	1,10	1,03	1,00	1,04	0,99	0,97	1,00	0,91	0,88	0,96
B2	1,37	1,31	1,49	1,49	1,42	1,61	1,57	1,50	1,70	1,65	1,57	1,77	1,55	1,46	1,66
B3	1,21	1,16	1,12	1,44	1,38	1,43	1,50	1,44	1,48	1,49	1,43	1,47	1,27	1,22	1,27
B4	0,95	0,90	1,18	1,18	1,11	1,41	1,24	1,17	1,46	1,36	1,30	1,57	1,47	1,38	1,14
B5	1,09	1,07	1,14	1,25	1,22	1,30	1,36	1,33	1,41	1,57	1,53	1,63	0,91	0,88	0,96

Сви фактори сигурности,приказани у табели 53, су прорачунати за 3D моделе без утицаја могућег земљотреса на стабилност модела. Утицај земљотреса је прорачунат накнадно за два најнеповољнија (S1 и S5) и најчешће очекивани сценарио (S3) увођењем коефицијента сеизмичности.

Програм *Slide3* је пружио могућност увођења ефекта псеудо-статичког оптерећења од земљотреса преко коефицијента сеизмичности. Програмом је уведен коефицијент сеизмичности у сваку 3D колону као производ коефицијента сеизмичности и тежине саме колоне у њеном центроиду. Програмом су вршени прорачуни за вертикална и хоризонтална псеудо-статичка оптерећења колоне и то у правцу клижења, који је предодређен самим геотехничким моделом.

Прорачун стабилности клизишта „Умка“ са утицајем земљотреса је извршен на основу вредности за извођење стабилизационих мера, где је препоручено да се усвоји вредност k_s = 0,025 за убрзање од a= 100 cm/s^2 (Jelisavac et al., 2006). Ови параметри одговарају земљотресу који је регистрован на удаљености од 30 km, једному сто година (M=5,7; Лазаревац; 1922), са процењеним интензитетом од VI-VII јединица по MCS скали и сеизмичким параметрима за локално тло на подручју клизишта „Умка“.

На овај начин, формирана су три нова геотехничка модела S1$_{ks}$, S3 $_{ks}$ и S5 $_{ks}$, који у основи имају усвојене хидролошке и хидрогеолошке сценарије S1, S3 и S5, којима је додат ефекат хоризонталног псеудо-статичког оптерећења од земљотреса у правцу клижења. Нови модели су именовани са индексом $_{ks}$ како би се разликовали од модела од којих су изведени. Потом је, за сваки блок, поново, урађен прорачун стабилности на основу три различите, програмом понуђене методе 3D анализе граничне равнотеже и то за свака од три нових модела (сценарија). На овај начин је извршено укупно 18 различитих прорачуна и добијено је 54 3D фактора сигурности, са урачунатим оптерећењем од могућег стогодишњег земљотреса на удаљености од 30 km (Табела 54).

Табела 54. 3D фактор сигурности на основу три усвојена сценарија нивоа Саве и НПВ-а у телу клизишта „Умка“ за квази-геотехничке блокове добијена прорачуном у програму Slide3 са ефектом хоризонталног псеудо-статичког оптерећења од земљотреса у правцу клижења. **Црвена боја** означава блок који је нестабилан док **наранџаста** означава блок у стању лабилне равнотеже

сцен.	S1ks *Сава 76,9 mnv; НПВ 0,5m +ks*			S3ks *Сава 71,7 mnv; НПВ 2017 +ks*			S5ks *Сава 69,9 mnv; НПВ 0,5m +ks*		
Блок	Ја.	Би.	Сп.	Ја.	Би.	Сп.	Ја.	Би.	Сп.
A	1,18	1,14	1,16	1,38	1,35	1,36	1,09	1,06	1,07
B1	0,85	0,82	0,93	0,93	0,91	0,98	0,79	0,77	0,98
B2	1,27	1,21	1,41	1,43	1,37	1,58	1,27	1,21	1,41
B3	1,04	1,00	1,05	1,27	1,22	1,27	1,04	1,00	1,05
B4	0,96	0,92	1,28	1,20	1,14	1,50	0,96	0,92	1,28
B5	1,00	0,98	1,06	1,23	1,20	1,29	1,00	0,98	1,06

На основу извршених прорачуна, закључено је да блок B1 представља блок, код којег се приликом реализације свих сценарија хазарда добијају најмањи фактори сигурности (Слика 113). Унутар овог блока је, теренском опсервацијом и претходним истраживањима, утврђено да се јављају највеће деформације терена и објеката који се налазе унутар његових граница, као и највећи број уништених објеката. Овај блок је под директним утицајем нивоа Саве и НПВ-а.

B2 представља најмањи блок, у смислу површине и запремине, који је укљештен између суседних блокова. Блок је у смислу стабилност осетљивији на промену нивоа подземне воде, па се тако у приликом реализације сценарија хазарда са већим вредностима НПВ-а добијају фактори сигурности >1,2 (Слика 113). Унутар овог блока је, теренским и претходним истраживањима, утврђено да постоје бројни тешко до средње оштећени стамбени објекти, док се у зони граница са суседним блоковима јављају и оштећења саобраћајне инфраструктуре.

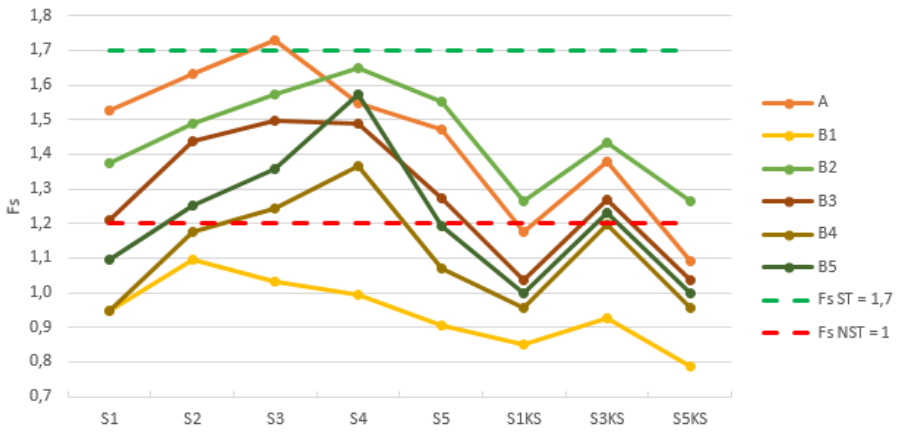
B3 представља блок који је, у смислу стабилности, осетљив на промену нивоа подземних вода. У сценаријима, када вредност НПВ-а расте, глобални фактор сигурности опада испод 1,2 (Слика 113), што је утврђено и теренским опсервацијама у виду евидентираних бројних деформација стамбених и инфраструктурних објеката.

B4 такође, представља блок, који је под утицајем искључиво НПВ-а у терену. У сценаријима, када је НПВ при површини терена, овај блок је вредностима Fs < 1 (Слика 113). На самом терену су уочене бројне деформације терена у виду секундарних ожиљака и истрбушења, која су била често маскирана вегетацијом.

B5 представља блок, који је био под утицајем НПВ-а ,код којег је приликом реализације већине усвојених сценарија хазарда са ниским вредностима НПВ-а, вредност Fs била > 1,2 (Слика 113), док је приликом реализације екстремних сценарија са НПВ-ом при површини терена, Fs опадала испод 1. Унутар овог блока су евидентирани бројни објекти са тешким и средњим оштећењима, као и бројне деформације терена.

A представља блок, који је делимично осетљив на промену нивоа Саве. Приликом реализације скоро свих сценарија блок је имао високе вредности Fs > 1,3 (Слика 113), при чему су чак добијене и вредности Fs>1,7, у најповољнијим сценаријима. Код овог блока, Fs је опадао испод 1,2 једино приликом реализације екстремних сценарија који су подразумевали и утицај од земљотреса преко коефицијената сеизмичности. Унутар овог блока је, током картирања, утврђен најмањи број оштећених и деформисаних објеката.

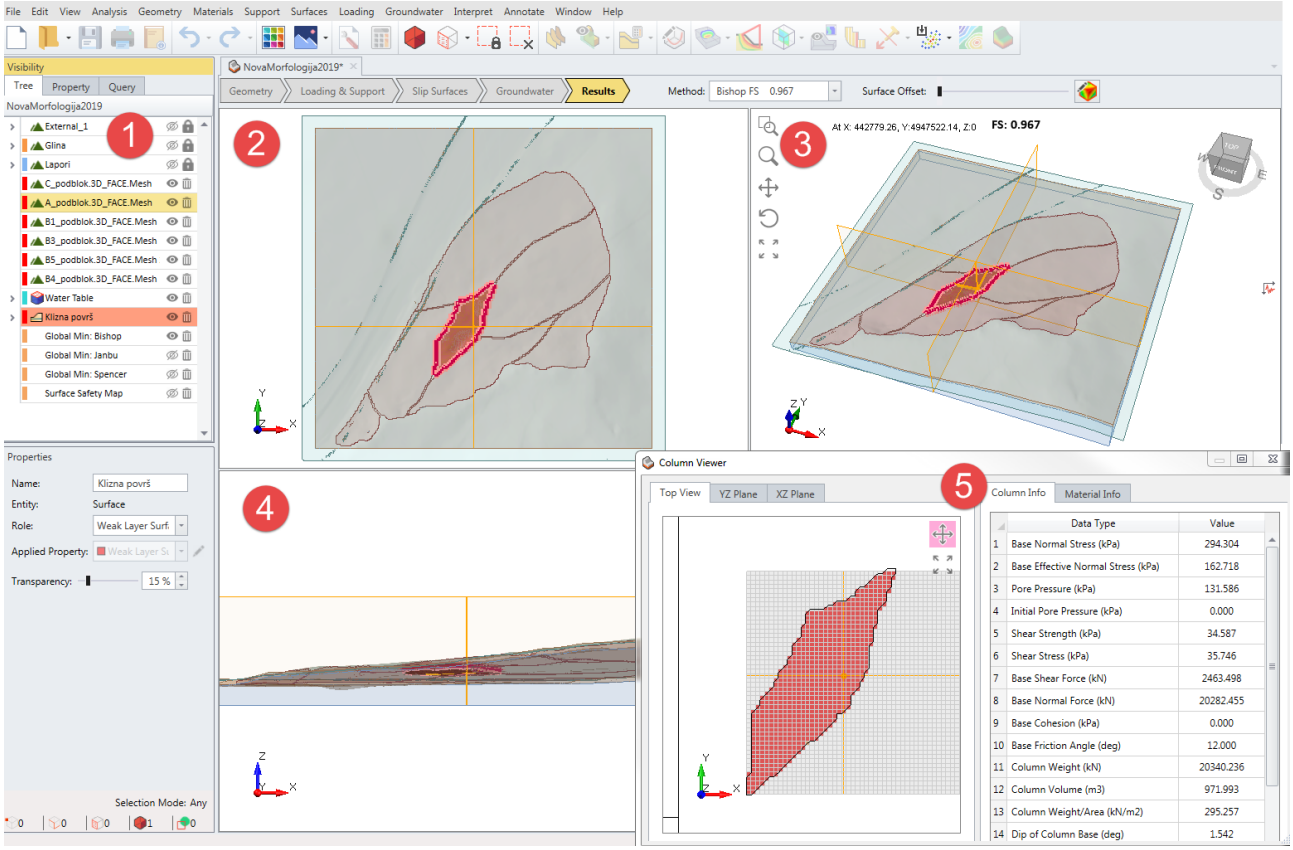
За одабране сценарије, који су анализирани са ефектом хоризонталног псеудо-статичког оптерећења од земљотреса у правцу клижења, добијени су знатно нижи фактори сигурности у односу на основне исте моделе без коефицијента сеизмичности. За блок А, вредности Fs опадају и до 26% у свим сценаријима, док вредности Fs опадају у просеку око 10% за блок В1, који су директно под утицајем колебања нивоа Саве. Најмања одступања се добијају за блок В4 приликом примене прорачуна за сценарије S1 и S3 (око 1%), при чему су већа одступања за исти блок приликом примене сценарија S5 (11%). Одступања вредности фактора сигурности за блокове В2 и В5 су од 9-16%. Збирни дијаграм промене фактора сигурности, по усвојеним блоковима 3D геотехничког модела за различите сценарије, је приказан на слици 113.



Слика 113. Збирни дијаграм промене фактора сигурности по усвојеним блоковима 3D геотехничког модела за различите сценарије

На крају су сви добијени фактори сигурности по предвиђеним сценаријима били инвертовани и нормализовани на распон од 0 - 1. Инверзија је била неопходна, јер се приликом процене ризика веће вредности сматрају неповољнијим, док је нормализација на распон вредности од 0 - 1 спроведена ради поређења са другим подацима, као и за потребе коначне процене од ризика, чије се вредности могу кретати само у наведеном опсегу, због услова у општим обрасцима за процену ризика и хазарда (1) и (2).

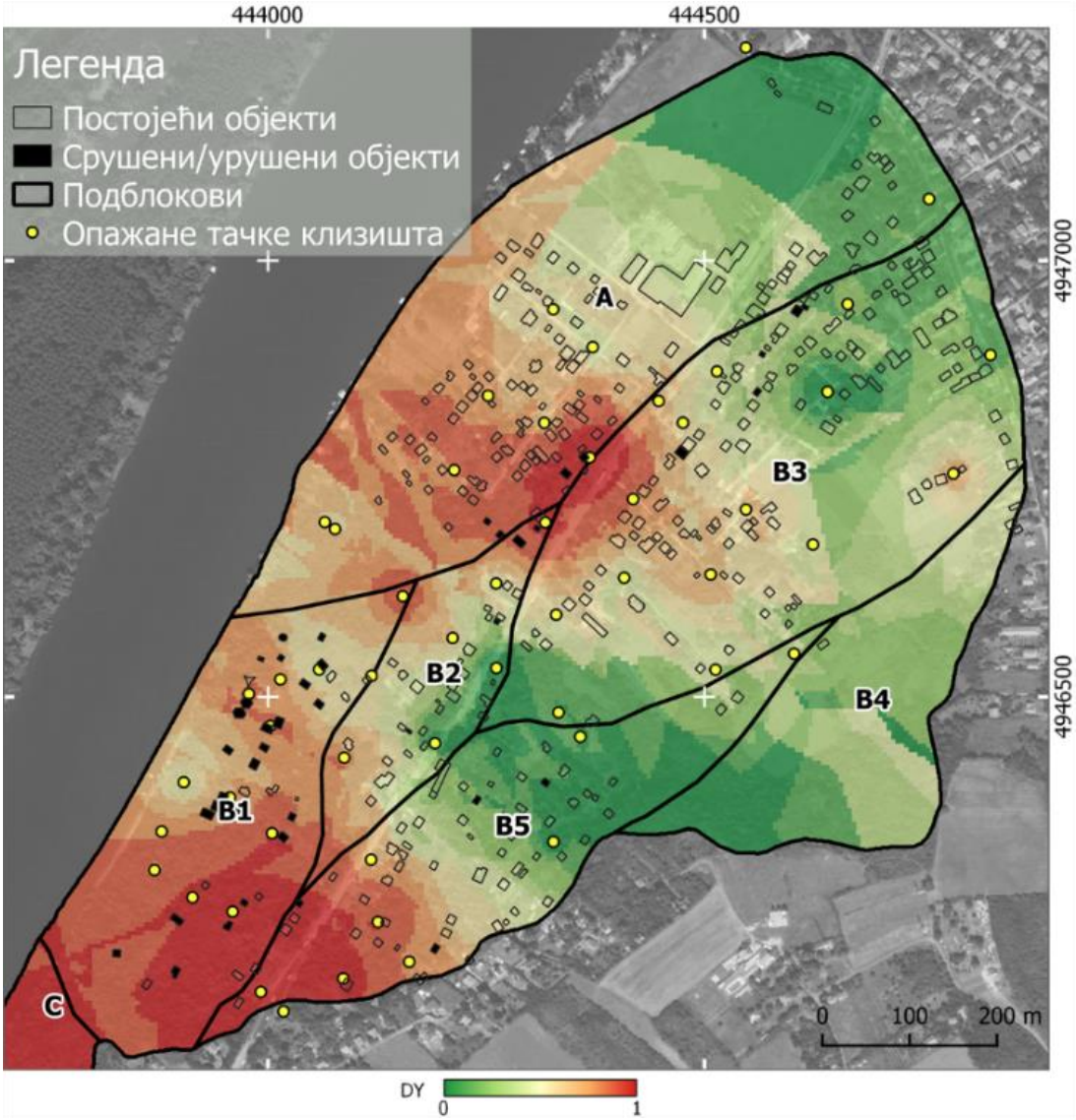
Програмско окружење *Slide3* са приказаним 3D моделом клизишта „Умка“ и основним радним прозорима је дат на слици 114.



Слика 114. Радно окружење *Slide3* програма са приказаним 3D моделом клизишта „Умка“ и основним радним прозорима. 1) Прозор са слојевима који улазе у модел 2,3,4) Прозори ортогоналне пројекције модела 5) Прозор са приказом резултата прорачуна за једну 3D колону.

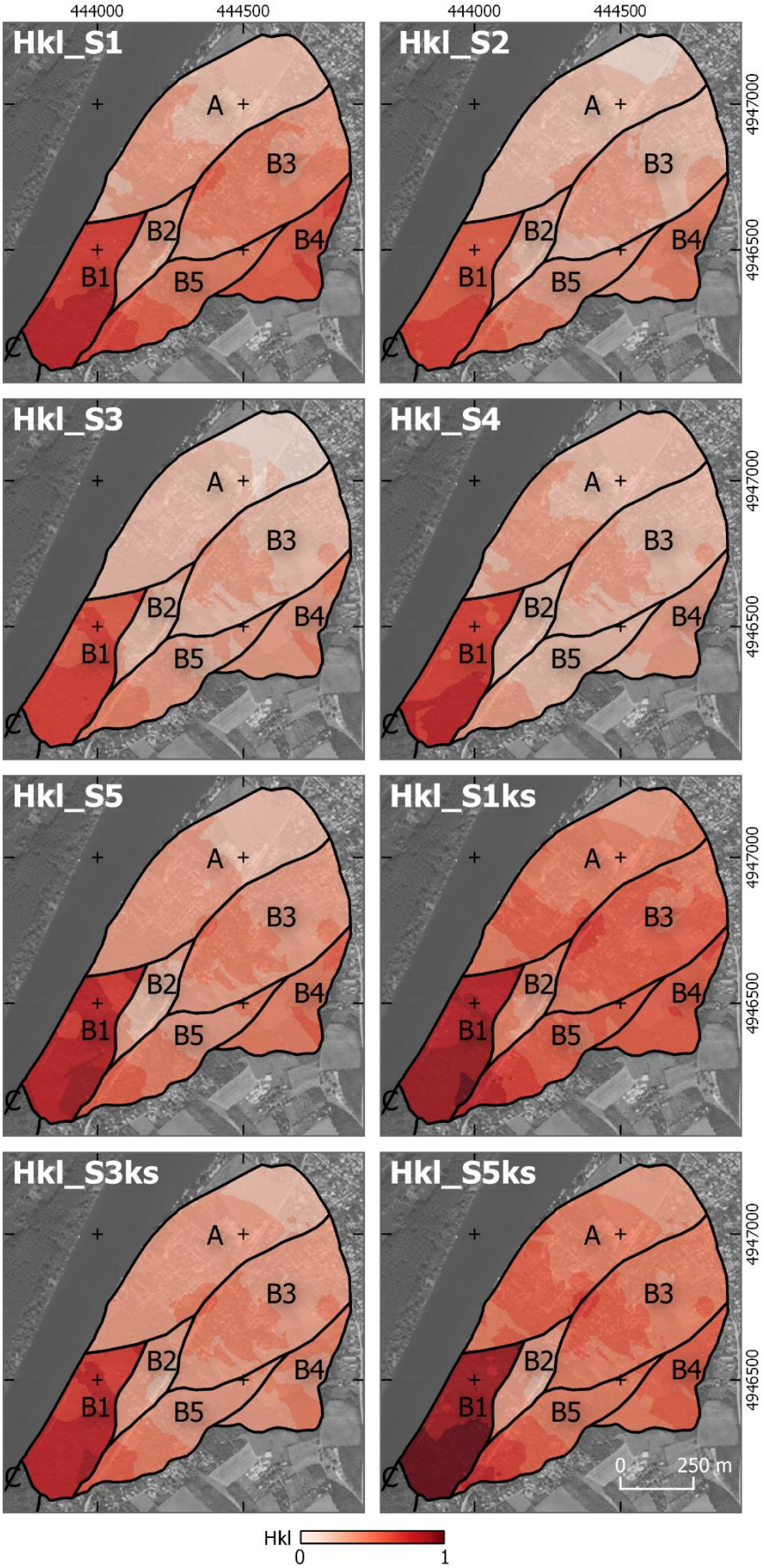
6.1.3 Олеате хазарда

На основу резултата геодетског мониторинга клизишта, срачунати су интензитети вектора укупних померања на површини терена по X, Y и Z оси (Слика 82). На основну зонарне статистике у оквиру GIS-а, сваком објекту који је био представљен полигоном, додељена је максимална вредност интензитета која је била обухваћена тим полигоном, како би коначни модел био на страни сигурности, односно како би у коначном прорачуну била разматрана најнеповољнија варијанта. Након прорачунатих 3D вредности интензитета вектора померања, на основу 56 тачака клизишта извршена је IDW интерполација унутар GIS-а, чиме је је добијена карта годишње дистрибуције хазарда клизишта „Умка“ за једну годину ($DY_{2018\text{-}2019}$), је приказана на слици 115. На слици је приказан и положај постојећих и срушених тј. урушених објеката који су евидентирани током теренске опсервације 2017. - 2018. године, као и положај тачака клизишта које су искоришћене за интерполацију. На карти се уочава да је већина срушених објеката у оквиру зоне већих померања терена, што се може сматрати видом валидације добијеног модела дистрибуције померања. Како би добијена олеата могла да буде коришћена за процену хазарда, било је неопходно све вредности нормализовати на распон вредности од 0 - 1, тако да је најмања вредност померања на површини терена добила вредност 0, а највећа 1.



Слика 115. Годишња дистрибуције хазарда клизишта „Умка“. Вредности су нормализоване на вредности од 0-1 и приказане су колорном шемом квантилне дискретне расподеле.

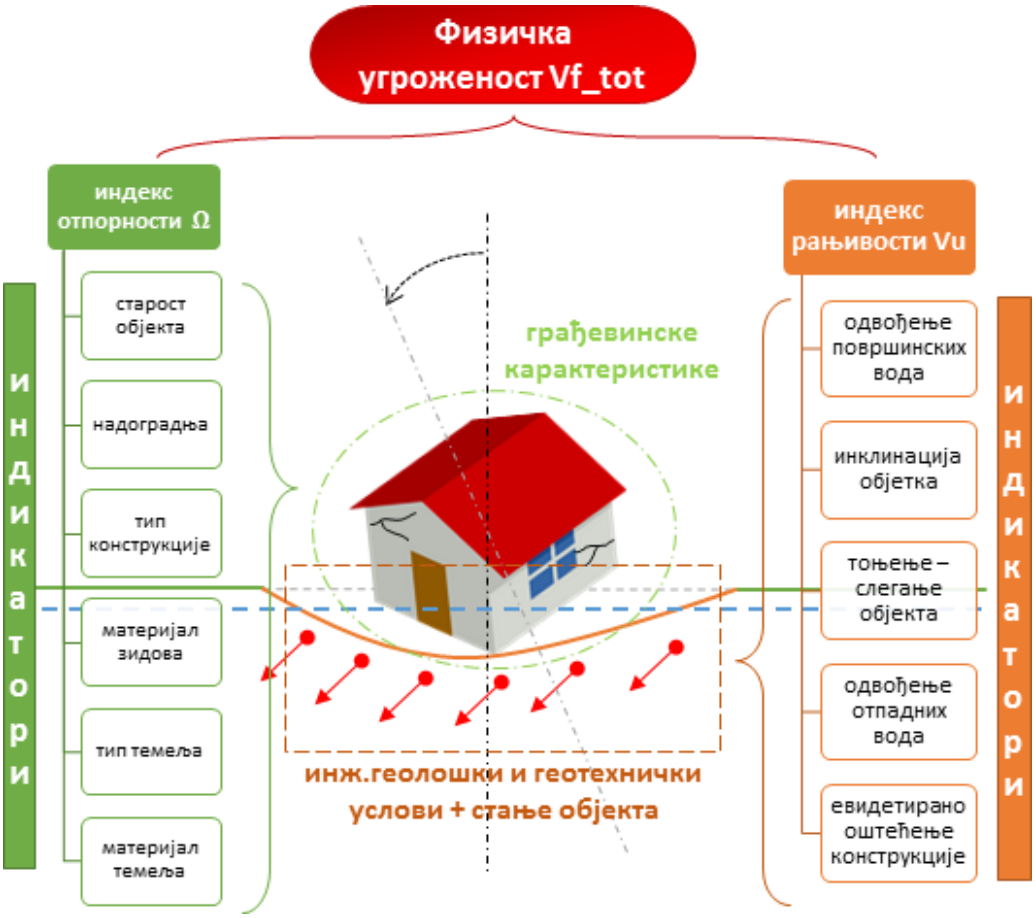
На слици 116. приказане су олеате хазарда клизишта за сваки превиђени сценарио према обрасцу (3), а које су коришћене као улазни податак за процену ризика од клизишта „Умка“. На основу увида у олеате, може се закључити да је највећи хазард од клизишта приликом реализације сценарија $S5_{ks}$ и $S1_{ks}$, док је најмањи приликом реализације сценарија S3. Такође, уочава се да је приликом реализације свих сценарија највећи хазард у оквиру квази-геотехничког блока B1, док је најмањи код блока A.



Слика 116. Олеате хазарда клизишта „Умка“ (H_{kl}_S1- H_{kl}_S5$_{kf}$) на основу реализације геотехничих сценарија. Већи број означава већи хазард од клизишта приликом реализације сценарија

6.2 Процена физичке угрожености елемената у ризику

Физичка угроженост сваког објекта на клизишту „Умка“ је процењена на основу поступака, описаних у теоријским основама и методологији, као и на основу производа вредности инверзног индекса отпорности и индекса рањивости (Слика 117). Прорачун је извршен у GIS-у, а на основу формиране базе података о елементима у ризику. Након прорачуна, плотоване су њихове олеате. Процењене вредности физичке угрожености су, затим, коришћене за процену ризика и штете од клизишта „Умка“.



Слика 117. Шематски приказ процене физичке угрожености (V_{f_tot}) на основу индекса отпорности (Ω) и индекса рањивости (V_u) на основу утврђених индикатора

6.2.1 Прорачун индекса отпорности за објекте на клизишту (Ω)

На основу експертске анкете, одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0 - 1) коефицијента релевантности за све групе индикатора које су дефинисале отпорност (Табела 55). Све вредности φ_j су, затим, рекласификоване на основу утицаја по обрасцу (7), тако да сума свих вредност ρ_j износи 1.

Табела 55. Додељене вредности коефицијента релевантности тј. значаја (φ_j) понуђених група индикатора отпорности објекта са нормализованим вредностима (ρ_j)

Индикатор отпорности	Ознака	ϕ_j	ρ_j
Година изградње објекта	(GOD)	0,7	0,14
Надоградња и доградња објекта	(NAD)	0,7	0,14
Тип конструкције	(NK)	1	0,21
Материјал зидова	(ZID)	0,8	0,21
Начин фундирања	(TTEM)	0,8	0,17
Преовлађујући материјал темеља	(MTEM)	0,6	0,12
	Σ	**4,2**	**1**

Година изградње објекта (GOD)

На основу пописа елемената у ризику, код објеката нискоградње дефинисано је пет категорија временских периода у току којих су грађени објекти на клизишту „Умка“. Приликом поделе и одређивања временских периода разматране су чињенице да је у такозваном „предратном“ периоду доминирала градња мањих објеката, који су били нешто слабијих грађевинских конструкција, односночињеница да су у том периоду најшешће грађени објекти са масивним носећим зидовима, без хоризонталних и вертикалних серклажа, претежно од скромнијих материјала. На основу претходног разговора за грађевинским инжењерима утврђено је да је најквалитетнија градња објеката била у периоду од 1960. – 1980. године, за разлику од објеката који су грађени током 1990-тих и након 2000-тих, што је, такође, утицало на одређивање временских периода који су понуђени у анкети. На основу експертске анкете одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0 - 1) међусобног значаја унутар групе индикатора (Θ_{GOD}) чије су вредности приказане у табели 56.

Табела 56. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора на основу године изградње објекта (Θ_{GOD}) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора (φ_{GOD})

Година изградње објекта (GOD)	Θ_{GOD}	φ_{GOD}
<1940	0,2	0,7
1940-1960	0,3	
1960-1980	0,8	
1980-2000	0,7	
>2000	0,6	

Надоградња и доградња објекта (NAD)

У грађевинској и геотехничкој пракси, на подручју Београда је, у периоду након 1990-тих година, надоградња и доградња објекта била у експанзији. Већина објеката је том периоду надограђено или адаптирано на већу квадратуру или габарит, без адекватно примењених поступака правила струке и мимо законске процедуре. Такве активности су имале за последицу да су ти објекти у већој мери угроженији и мање отпорни на инжењерскогеолошке и геотехничке утицаје, који су наступили након таквих интервенција, као што су додатна слегања или неконтролисани приливи површинских и изливи подземних вода. На основу резултата пописа угрожених објеката утврђено је да је значајан број објеката (30%) адаптиран или дограђен, мада је могуће да је у реалности

овај проценат и већи, јер је током анкетирања примећено да власници објеката најчешће не признају, чак и више него евидентну адаптацију или доградњу у страху од санкција надлежних органа или додатног опорезивања од стране пореских органа.

На основу експертске анкете одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0 - 1) међусобног значаја унутар групе индикатора (Θ_{NAD}), чије су вредности приказане у табели 57.

Табела 57. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора на основу надоградње или доградње објекта (Θ_{NAD}) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора (φ_{NAD})

Надоградња и доградња објекта (NAD)	Θ_{NAD}	φ_{NAD}
Изведена	0,4	0,6
Није изведена	0,7	
Непознато	0,5	

Тип конструкције (ТК)

Тип конструкције у значајној мери може предодредити отпорност неког објекта на деформације, које могу настати као последица клизишта. Објекти, који су са армирано-бетонским скелетом свакако имају већу отпорност на деформације од објекта, који има као конструкцију масивне зидове без хоризонталног или вертикалног серклажа. Како у пракси постоје објекти који су дограђивани и адаптирани и који имају комбиноване типове конструкције за потребе процене отпорности је увек усвајан доминантан тј. преовлађујући тип.

На основу експертске анкете је одређена просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0 - 1) значаја унутар групе индикатора (Θ_{TK}), чије су вредности приказане у табели 58.

Табела 58. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора на основу типа конструкције објекта (Θ_{TK}) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора (φ_{TK})

Тип конструкције (ТК)	Θ_{TK}	φ_{TK}
АБ скелет	0,8	0,9
Бондрук систем	0,4	
Монтажни објекти	0,6	
Масивни носећи зидови	0,4	
Масивни носећи зидови са хор. и верт. серклажима	0,6	
Непознато	0,3	

Преовлађујући материјал зидова објекта (ZID)

Слично као код типа конструкције, отпорност објекта да се на њему искажу деформације и оштећења које су последица клижења ће зависити и од преовлађујућег материјала испуне зидова. Код објеката од армирано-бетонски и бетонских зидова ће бити потребније да буду изложени знатно већим деформацијама и померањима, које би угрозиле саму конструкцију објекта, за разлику од објеката чији су зидови са испуном од опеке или камена. Како у пракси постоје објекти чији су зидови грађени од различитих материјала, за потребе процене отпорности је увек усвајан доминантан тј. преовлађујући материјал.

На основу експертске анкете, одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0-1) значаја индикатора унутар групе (Θ_{TK}) чије су вредности приказане у табели 59.

Табела 59. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора на основу преовлађујућег материјала зидова (Θ_{ZID}) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора (φ_{ZID})

Преовлађујући материјал зидова објекта (ZID)	Θ_{ZID}	φ_{ZID}
Бетон/Армирани бетон	0,8	0,9
Опека	0,5	
Монтажни	0,6	
Сипорекс блок	0,5	
Шљака блок	0,5	
Гитер блок	0,5	
Камен	0,4	
Трска/блато	0,2	
Непознато	0,3	

Начин фундирања (TTEM)

Код плићих клизишта може се усвојити претпоставка да, од начина фундирања, може у одређеној мери зависити његова отпорност у случају деформација терена, која су последица клижења. У том случају, објекти који су фундирани на шиповима могу имати већу отпорност, него објекти који су фундирани на самцима, тј. темељним стопама. Ова претпоставка има ограничења у случају већих и дубљих клизишта, као што је „Умка“, јер је већина објеката фундирана изнад клизне равни. Међутим, како постоје поједини делови клизишта, где клизна површина оплићава на свега 1-2 m од површине терена (нпр. у зони граница блокова), постојало је оправдање за примену оваквог приступа у дефинисању индикатора отпорности самог објекта.

На основу експертске анкете, одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0-1) значаја индикатора унутар групе (Θ_{TTEM}) чије су вредности приказане у табели 60.

Табела 60. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора на основу начина фундирања (Θ_{TTEM}) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора (φ_{TTEM})

Начин фундирања (TTEM)	Θ_{TTEM}	φ_{TTEM}
Плоча	0,7	0,7
Шипови	0,8	
Самци/Стопе	0,3	
Тракасти	0,5	
Непознато	0,4	

Преовлађујући материјал темеља (MTEM)

За одређивање индикатора отпорности, на основу материјала темеља, примењен је исти логички принцип, као и код преовлађујућег материјала зидова објекта (ZID). Усвојена је претпоставка да, објекти имају армирано-бетонске или бетонске темеље, имају већу отпорност на деформације од клизишта, у односу на објекте чији су темељи од опеке или камена. Као и код начина фундирања (TTEM), и овде постоје ограничења да, када се објекат налази у зони са већим дубинама до клизне површине овај индикатор губи на значају.

На основу експертске анкете одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0-1) значаја индикатора унутар групе (Θ_{MTEM}) чије су вредности приказане у табели 61.

Табела 61. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора на основу преовлађујућег материјала темеља (Θ_{MTEM}) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора (φ_{MTEM})

Материјал темеља (MTEM)	Θ_{MTEM}	ϕ_{MTEM}
Армирани бетон	0,9	0,5
Бетон	0,6	
Дрво	0,3	
Камен	0,4	
Опека	0,3	
Непознато	0,6	

На основу образаца (23) израчунат је индекс отпорности (Ω) за сваки објекат, који се налазио на површини активног тела клизишта „Умка“ :

$$\Omega = (\Theta_{GOD} \cdot \varphi_{GOD} \cdot \delta_{GOD}) + (\Theta_{NAD} \cdot \varphi_{NAD} \cdot \delta_{NAD}) + (\Theta_{TK} \cdot \varphi_{TK} \cdot \delta_{TK}) + (\Theta_{ZID} \cdot \varphi_{ZID} \cdot \delta_{ZID}) + (\Theta_{TTEM} \cdot \varphi_{TTEM} \cdot \delta_{TTEM}) + (\Theta_{MTEM} \cdot \varphi_{MTEM} \cdot \delta_{MTEM}) \quad (23)$$

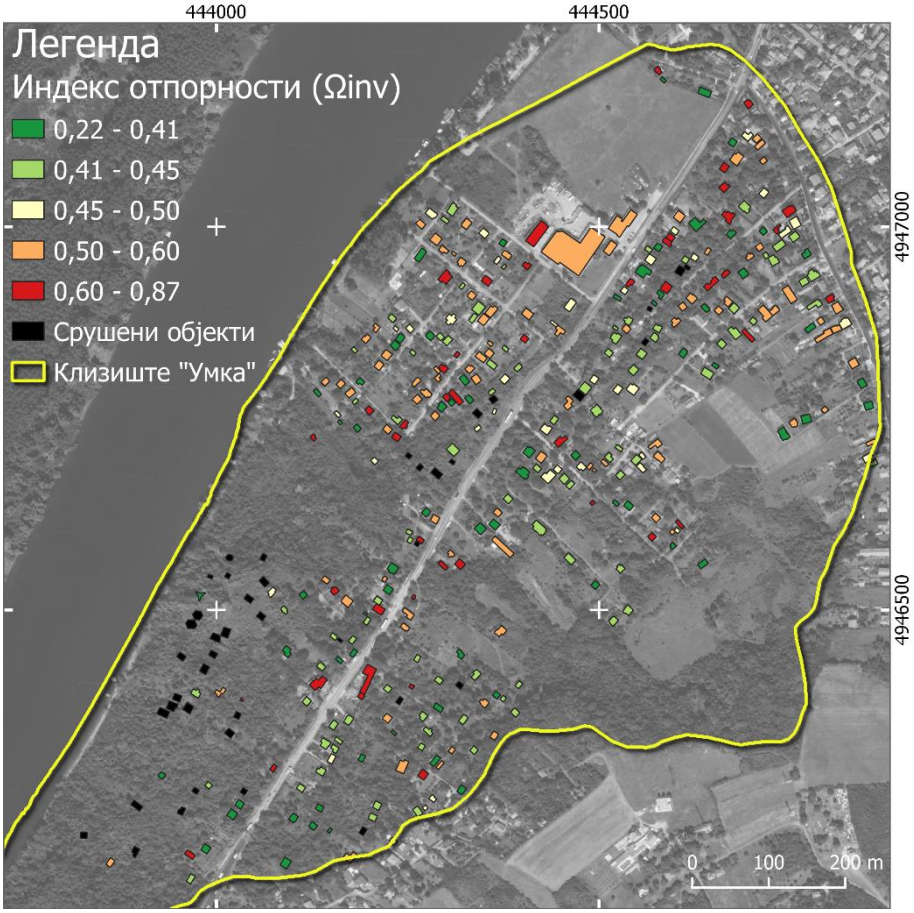
Пример израчунатих (Ω) за 10 насумично одабраних објеката на клизишту „Умка“ је дат у табели 62 док је дистрибуција инверзног индекса отпорности објеката на подручју клизишта „Умка“ приказана на слици 118.

Табела 62. Пример израчунатих индекса отпорности (**Ω**) на основу грађевинских индикатора за 10 насумично одабраних објеката на клизишту „Умка“. У последњој колони (**ΩINV**) су приказане инверзне вредности индекса отпорности. **Θ_{GOD} - δ_{GOD}**: индикатор отпорности објекта на основу године изградње и његова бинаризација; **Θ_{NAD} - δ_{NAD}**: индикатор отпорности објекта на основу доградње објекта и и његова бинаризација; **Θ_{TK} - δ_{TK}**: индикатор отпорности објекта на основу типа конструкције објекта и и његова бинаризација; **Θ_{ZID} - δ_{ZID}**: индикатор отпорности објекта на основу преовлађујућег материјала зидова и и његова бинаризација; **Θ_{TTEM} - δ_{MTEM}**: индикатор отпорности објекта на основу преовлађујућег материјала темеља и његов и његова бинаризација; **Θ_{MTEM} - δ_{TTEM}**: индикатор отпорности објекта на основу преовлађујућег материјала темеља и и његова бинаризација. Објекти обележени * су приказани на слици 119.

Објекат	Θ_{GOD}	Θ_{NAD}	Θ_{TK}	Θ_{ZID}	Θ_{TTEM}	Θ_{MTEM}	δ_{GOD}	δ_{NAD}	δ_{TK}	δ_{ZID}	δ_{TTEM}	Ω	Ω_{INV}
181P*	0,3	1	0,2	0,2	0,2	0,5	1	1	1	1	1	0,38	0,71
181	0,2	1	0,2	0,2	0,8	0,5	1	1	1	1	1	0,47	0,62
186	0,6	1	0,4	0,6	0,5	1	1	1	1	1	1	0,65	0,44
187	0,6	0	0,4	0,2	0,5	1	1	0	1	1	1	0,43	0,66
172	0,8	1	0,4	0,6	0,5	0,7	1	1	1	1	1	0,64	0,45
185P	0,8	1	0,6	0,6	0,5	0,7	1	1	1	1	1	0,69	0,40
185C*	0,6	1	0,7	0,7	0,8	0,7	1	1	1	1	1	0,75	0,34
185D	0,3	0	0,6	0,6	0,5	0,5	1	0	1	1	1	0,43	0,66
185	0,8	1	0,4	0,6	0,5	0,7	1	1	1	1	1	0,64	0,45
59	0,8	1	0,4	0,6	0,5	0,7	1	1	1	1	1	0,64	0,45

На слици 119 (лево) је приказан објекат, који је приликом пописа евидентиран под бројем 181P и који има срачунату ниску вредност индекса отпорности (Ω_{INV} = 0,38). На

истој слици – десно приказан је објекат бр. 185С, који има срачунату релативно високу вредност индекса отпорности (Ω = 0,75). Са фотографија се уочава да је објекат бр. 181Р, старији са скромнијом конструкцијом привременог карактера од скромнијих материјала, попут трске и блата у односу на објекат бр. 185С, који је новијег датума и који је саграђен од монтажних материјала, па је самим тим бољих отпорнијих карактеристика.



Слика 118. Дистрибуција инверзног индекса отпорности објеката на подручју клизишта „Умка“, мање вредности означавају отпорније објекте

Слика 119. Фотографије објеката пописаних током 201. и 2018. године са различитим вредностима индекса отпорности Ω. Објекат бр. 181Р (лево) и објекат бр. 185С (десно)

6.2.2 Прорачун индекса рањивости за објекте на клизишту (Vu)

На основу експертске анкете одређена је просечна нормализована вредност (сведена на распон од 0 - 1) коефицијента релевантности за сваку групу индикатора (Табела 63). Вредности индикатора рањивости објекта, Гj, су потом рекласификоване тј. рангиране по утицају на основу обрасца (9) тако да сума свих вредности η_j износи 1.

Табела 63. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) понуђених група индикатора рањивости објекта ($Г_j$) са рекласификованим вредностима (η_j)

Индикатор	Ознака	$Г_j$	η_j
Одвођење површинских вода од објекта	(OPV)	0,70	0,11
Нагнутост објекта	(NAOB)	0,80	0,12
Тоњење објекта	(TOB)	0,80	0,12
Одвођење отпадних вода	(OOV)	0,60	0,09
Оштећење зидова A-D	(OZA, OZB, OZC, OZD)	0,90 x 4	0,14
	Σ	**6,5**	**1**

Одвођење површинских вода од објекта (OPV)

У инжењерскогеолошкој и геотехничкој пракси, објекти, који немају регулисано одвођење површинских вода око објекта, у виду одржаваних ригола или функционалних дренажних канала и ровова имају већу могућност за појаву деформација и оштећења чак и у условима стабилног тла, која могу бити само израженије у ситуацијама нестабилности терена. У складу са наведеним објекти, који имају неки вид функционалног система за прихват и одвођење површинских вода од и око објекта су класификовани као мање рањиви, у односу на објекте који немају такав систем или чије постојање није могло да буде утврђено на терену (Табела 64).

Табела 64. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора рањивости објекта на основу одвођења површинских вода ($Г_{OPV}$) са коефицијентом релевантости за целу групу индикатора (ψ_{OPV})

Одвођење површинских вода (OPV)	$Г_{OPV}$	ψ_{OPV}
Да, постоји неки тип дренаже	0,2	0,7
Не, не постоји	0,8	

Нагнутост објекта (NAOB)

На клизишту „Умка“ већина објеката је са видљивом инклинацијом тј. нагнутости, која је последица клижења. Приликом обиласка терена утврђено је да постоје објекти, који имају добру отпорност у смислу грађевинских параметара, али су услед изложености деформација површине терена нагнути у одређеном правцу. За објекте, које је утврђена нагнутост тј. инклинација, усвојена је претпоставка да су више рањиви од деформација, јер су већ претрпели или трпе промену геотехничких услова, у односу на оне који су владали у тренутку изградње или непосредно након изградње. Самим тим је њихова изложеност утицајима и последицама, које наступају услед активног процеса клизања терена већа, у односу на оне који нису нагнути (Табела 65). Као вид ограничења примене овог индикатора, јавља се чињеница да је током теренског обиласка, на основу разговора са власницима и корисницама објеката, утврђено да је неколицина објеката на клизишту „Умка“ исправљана поткопавањем темељне конструкције и прерасподелом тла испод темеља.

Табела 65. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора рањивости објекта од инклинације тј. нагнутости ($Г_{NAOB}$) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора ($ψ_{NAOB}$)

Нагнутост објекта (NAOB)	$Г_{NAOB}$	$ψ_{NAOB}$
Да, на неку страну	0,8	0,8
Не, објекат није нагнут	0,1	

Тоњење објекта (TOB)

Поред нагнутости, за већи број објеката (43%) на клизишту „Умка“ је примећено да исти тону или су утонули за одређену величину у околно тло. Аналогно нагнутости објеката, примењен је принцип и усвојена је претпоставка да су више рањиви они објекти код којих је било евидентно слегање у тренутку евидентирања, јер су већ претрпели или трпе промену геотехничких услова у односу на оне који су владали у тренутку изградње или непсоредно након изградње (Табела 66).

Табела 66. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора рањивости објекта на основу тоњења објекта ($Г_{TOB}$) са коефицијентом релевантности за целу групу индикатора ($ψ_{TOB}$)

Тоњење објекта (TOB)	$Г_{TOB}$	$ψ_{TOB}$
Да, на неку страну	0,9	0,8
Не, објекат није нагнут	0,1	

Одвођење отпадних вода (OOV)

На основу претходних инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања клизишта „Умка“, утврђено је да су локалне нестабилност терена често узроковане непостојањем уређеног канализационог система на подручју насеља Умка. Свега неколико објеката има прикључак на кишни колектор, чија примарна намена и пројектовани капацитети нису предвђени за прихват отпадних вода. Код скоро свих објеката на клизишту „Умка“ стање и функционалност септичких јама је под знаком питања, па се отпадне воде махом стихијски испуштају у тло, што значајно доприноси локалној нестабилности, нарочито објеката који се налазе хипсонометријски ниже. За овај параметар је примењен исти принцип као и код одвођења површинских вода, па су објекти који нису прикључени на кишни колектор третирани као рањивији (Табела 67).

Табела 67. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатора рањивости објекта на основу начина спровођења отпадних вода од објекта ($Г_{OOV}$) са коефицијентом релевантости за целу групу индикатора ($ψ_{OOV}$)

Одвођење отпадних вода (OOV)	$Г_{INK}$	$ψ_{INK}$
Канализација	0,2	0,6
Сенкруп/дирек. одвођење у тло	0,7	
Септичка јама	0,6	
Непознато/не постоји	0,6	

Оштећење зидова A-D (OZA, OZB, OZC, OZD)

На објектима, који се налазе на клизишту „Умка“, су евидентирана приметна бројна оштећења зидова у виду мањих, умеренијих или већих пукотина, смицања конструктивних елемената или трајних деформација тј. урушавања. Приликом евидентирања оштећења на зидовима, усвојена је претпоставка да постоје четири главне стране објекта без обзира на облик основе. Све стране објекта су приликом евидентирања посматране као целина и процена стања је вршена релативна на основу

четири категорије у распону од „без оштећења“ до „урушени/срушени“. Објекти, код којих је већ присутна одређена деформација зидова, су сматрани рањивијим у односу на оне код којих приликом евидентирања није уочено оштећење (Табела 68). У укупном рангирању овај индикатор је разматран четвороструко за све стране објекта (A-D).

Табела 68. Додељене вредности коефицијента релевантности (значаја) унутар групе индикатор рањивости објекта у односу на опште стање оштећења зидова објекта (Γ_{OZ}) са коефицијентом релевантости за целу групу индикатора (ψ_{OZ})

Опште стање оштећења зидова објекта (OZ)	Γ_{OZ}	ψ_{OZ}
Без оштећења	0,1	0,9
Слабо изражено	0,3	
Средње оштећени	0,6	
Тешко оштећени	0,7	
Урушени/Срушени	0,9	

Прорачун индекса рањивости (V_u)

На основу образаца (24), израчунат је индекс рањивости за сваки објекат који се налази на површини активног тела клизишта „Умка“:

$$V_u = (\Gamma_{OPV} \cdot \eta_{OPV} \cdot \varepsilon_{OPV}) + (\Gamma_{NAOB} \cdot \eta_{NAOB} \cdot \varepsilon_{NAOB}) + (\Gamma_{TOB} \cdot \eta_{TOB} \cdot \varepsilon_{TOB}) + (\Gamma_{OOV} \cdot \eta_{OOV} \cdot \varepsilon_{OOV}) + (\Gamma_{OZA} \cdot \eta_{OZA} \cdot \varepsilon_{OZA}) + (\Gamma_{OZB} \cdot \eta_{OBZ} \cdot \varepsilon_{OZB}) + (\Gamma_{OZC} \cdot \eta_{OZC} \cdot \varepsilon_{OZC}) + (\Gamma_{OZD} \cdot \eta_{OZD} \cdot \varepsilon_{OZD}) \quad (24)$$

Пример израчунатих индекса рањивости (V_u) на основу описане методологије и усвојених индикатора, за 10 насумично одабраних објеката на клизишту „Умка“, је дат у табели 69. Дистрибуција индекса рањивости објеката на подручју клизишта „Умка“, у односу на претходно усвојене границе блокова клизишта, је приказана на слици 121.

Табела 69. Пример израчунатих индекса рањивости (V_u) на основу инжењерскогеолошких и геотехничких услова који владају у непосредној околини објеката и на њима за 10 насумично одабраних објеката на клизишту „Умка“. **Γ_{OPV} - ε_{OPV}**: индикатор рањивости објекта на основу одвођења површинских вода и његова бинаризација; **Γ_{NAOB}- ε_{NAOB}**: индикатор рањивости објекта на основу нагнутости и његова бинаризација; **Γ_{TOB}- ε_{TOB}**: индикатор рањивости објекта на основу слегања објекта и његова бинаризација; **$\Gamma_{OZA,B,C,D}$ - $\varepsilon_{OZA,B,C,D}$** индикатор рањивости објекта на основу оштећења зидова и и његова бинаризација; Објекти обележени * су приказани на слици 120

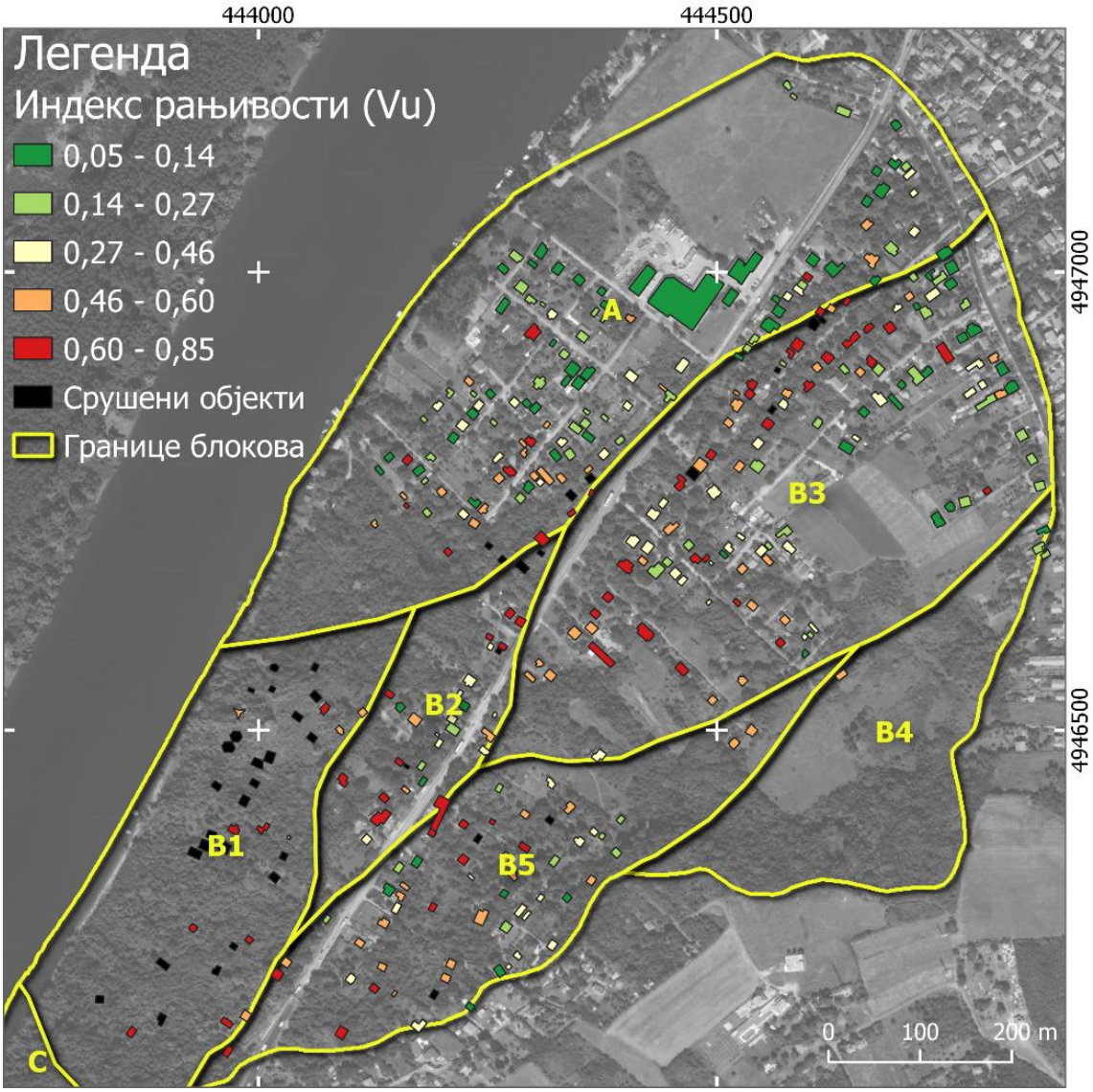
Објекат	Γ_{OPV}	Γ_{NAOB}	Γ_{TOB}	Γ_{OZA}	Γ_{OZB}	Γ_{OZC}	Γ_{OZC}	Γ_{OOV}	ε_{OPV}	ε_{NAOB}	ε_{TOB}	ε_{OZA}	ε_{OZB}	ε_{OZC}	ε_{OZC}	ε_{OOV}	Vu
29P*	0,9	1	1	0,5	0,75	0,75	0,75	0,6	1	1	1	1	1	1	1	1	0,78
52	0,2	1	1	1	1	1	1	0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	0,90
29R	0,9	1	1	0,25	0,75	0,5	0,75	0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	0,72
29	0,9	1	1	0,5	0,25	0,5	0,25	0,6	1	1	1	1	1	1	1	1	0,60
52P	0,9	0	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1	0	1	1	1	1	1	1	0,46
48	0,9	1	1	1	1	1	1	0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	0,96

Објекат	Γ_{OPV}	Γ_{NAOB}	Γ_{TOB}	Γ_{OZA}	Γ_{OZB}	Γ_{OZC}	Γ_{OZC}	Γ_{OOV}	ε_{OPV}	ε_{NAOB}	ε_{TOB}	ε_{OZA}	ε_{OZB}	ε_{OZC}	ε_{OZC}	ε_{OOV}	Vu
24	0,9	0	0,3	1	1	1	1	0,7	1	0	1	1	1	1	1	1	0,75
21	0,2	1	1	0,75	0,75	0,5	0,75	0,6	1	1	1	1	1	1	1	1	0,71
47	0,9	1	0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,6	1	1	0	1	1	1	1	1	0,69
225*	0,2	1	0	0	0	0	0	0,6	1	1	0	0	0	0	0	1	0,20

На слици 120 (лево) је приказан објекат, који је приликом пописа евидентиран под бројем 29Р и који има срачунату високу вредност индекса рањивости (V_u = 0,78). На истој слици – десно, приказан је објекат бр. 225, који има релативно ниску вредност индекса рањивости (V_u = 0,2). Са фотографија се уочава да је објекат бр. 29Р, старији са скромнијом конструкцијом од скромнијих материјала и са израженим деформацијама зидова у односу на објекат бр. 225, који је новијег датума и који је саграђен од квалитетнијих материјала и бољим инжењерскогеолошким условима у непосредној околини па је самим са мањом физичком угроженошћу од деформација које су последица клижења.

Слика 120. Фотографије објеката пописаних током 2017. и 2018. године са различитим вредностима индекса рањивости Vu. Објекат бр. 29Р (лево) и објекат бр. 225 (десно)

На основу анализе дистрибуције индекса рањивости (Слика 121) евидентно је да су објекти, који су са високом рањивошћу присутни унутар блокова В1, В4 и В5, док су објекти са нижом рањивошћу присутни у оквиру блока А. На истој слици се, такође, уочава је да већа рањивост објеката, који се налазе на граници усвојених блокова клизишта „Умка“ у односу на оне који се налазе дубље у оквиру блока и који су удаљени од граница.



Слика 121. Дистрибуција индекса рањивости (Vu) објеката на подручју клизишта „Умка“, мање вредности означавају мање рањиве објекте

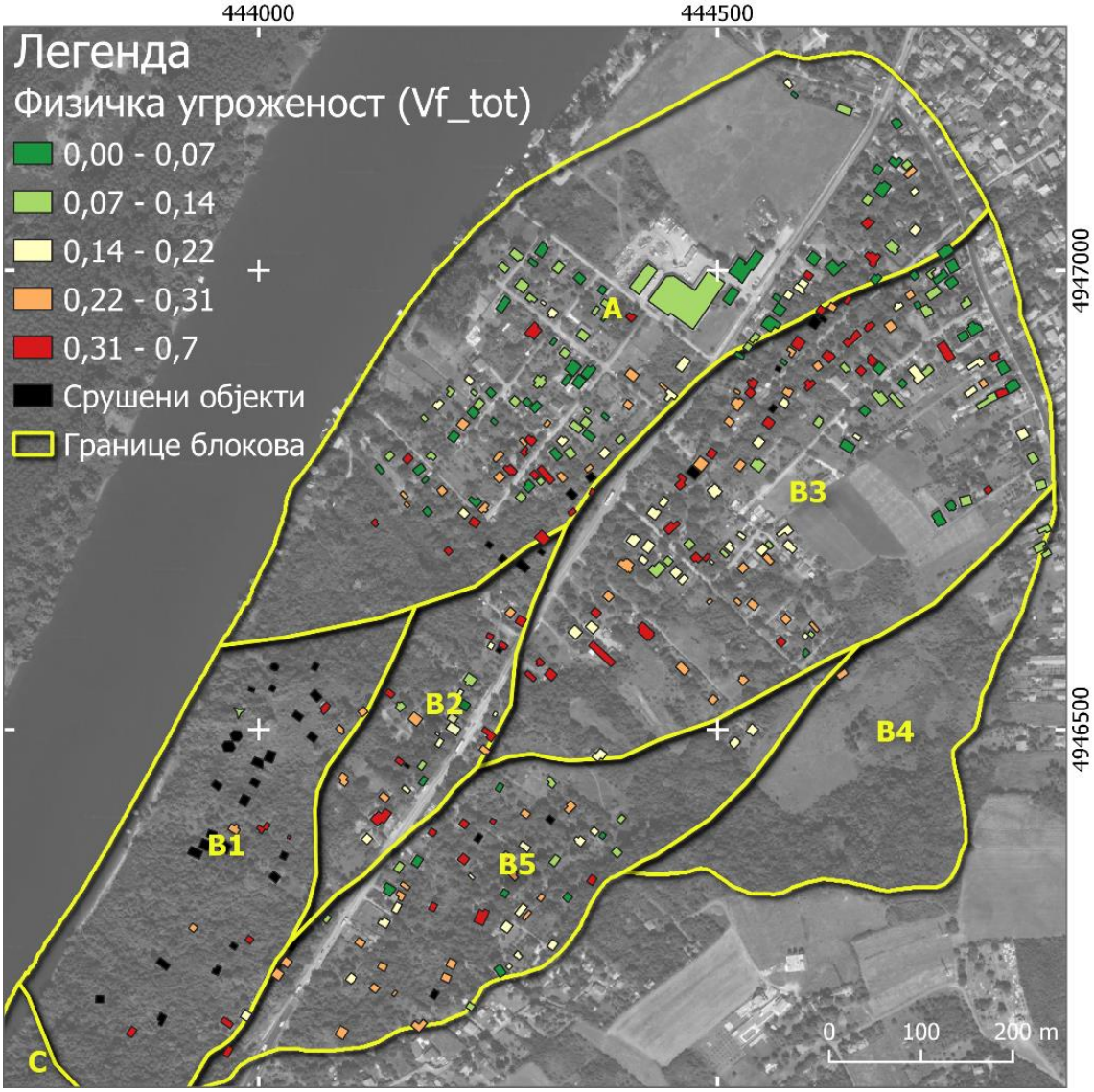
6.2.3 Прорачун физичке угрожености објеката (V_{f_tot})

Физичка угроженост за сваки објекат, који се налазио у телу клизишта „Умка“ је израчуната у оквиру GIS-а на основу поједностављеног обрасца који је појашњен у теоријским основама:

$$V_{f_tot} = \{\Omega_{inv} \cdot V_u\} \tag{25}$$

Где је:
V_{f_tot} - индекс физичке угрожености објекта;
Ω_{inv} - инверзни нндекс отпорности објекта;
V_u - индекс рањивости објекта.

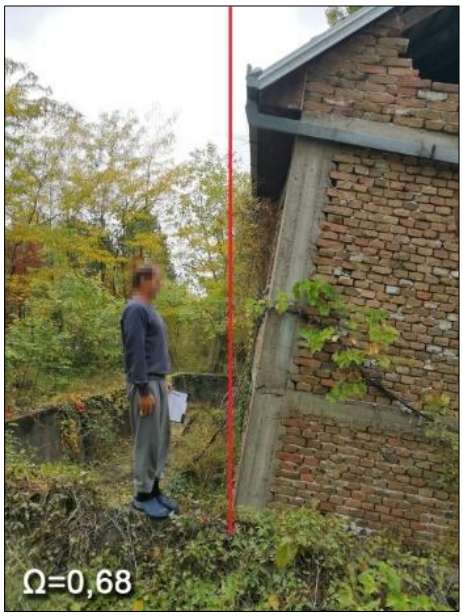
Дистрибуција индекса физичке угрожености објеката, на основу описане методологије, је приказана на слици 122.



Слика 122. Дистрибуција индекса физичке угроженост (Vf_tot) објеката на подручју клизишта „Умка“, мање вредности означавају мање угрожене објекте

Слично као и код карте индекса рањивости (Слика 121), уочава се присутност објеката који су са високом угроженошћу унутар блокова B1, B4 и B5, док су објекти са нижом угроженошћу присутни у оквиру блока A. На истој слици се, такође, уочава је да већа угроженост објеката који се налазе на граници усвојених блокова клизишта „Умка“ у односу на оне који се налазе дубље у оквиру блока и који су удаљени од граница.

На примеру објекта бр. 55, који је евидентиран пописом, јасно се показује потреба да је за одређивање укупног индекса физичке угрожености, поред индикатора отпорности неопходно познавати и индекс рањивости од инжењерскогеолошких и геотехничких услова, који владају у непосредној околини или испод самог објекта. Наиме, објекат бр. 55 има релативно високе вредности индекса отпорности (Ω=0,63), па у случају да је његова физичка угроженост дефинисана само на основу тог параметра, не би била приказана реална слика о његовој стварној угрожености, која је више него евидентна (Слика 123). Иако је поменути објекат грађен од солидних материјала, са носећом конструкцијом од армирано-бетонских хоризонталних и вертикалних серклажа, истом је нарушена стабилност и функционалност услед изражене нагнутости, која је последица активног процеса клизања.



Слика 123. Нагнутност објекта бр. 55 од вертикале који је са високим вредностима индекса отпорности (Ω)

6.3 Процена ризика и штете

У овом потпоглављу су приказани резултати процене ризика и штете од клизишта „Умка“, на основу усвојеног концепта и теоријских основа. За описане и дефинисане елементе у ризику, процењени су специфични ризици и директне материјалне штете док су приказани и резултати процењене индиректне штете.

6.3.1 Специфични ризик по објекте високоградње

Дистрибуција специфичног ризика по објекте на клизишту „Умка“, за све усвојене геотехничке сценарије, је приказана на слици 125. Сви објекти на клизишту „Умка“ су класификовани на основу квантилне расподеле срачунатог специфичног ризика на основу сценарија у коме су добијене највеће вредности (RSobj5ks) од „занемарљивог“ до „високог степена“ ризика. На приказаним картама (Слика 126) се јасно уочава да, на клизишту „Умка“ доминирају објекти у којима постоји средња до веома висока процена ризика по објекте. Такви објекти су заступљени у свим сценаријима унутар блокова B1 - B5, док се објекти са нижим ризиком уочавају углавном у оквиру блока А, што је и било очекивано на основу резултата мониторинга и процењеног хазарда клизишта.

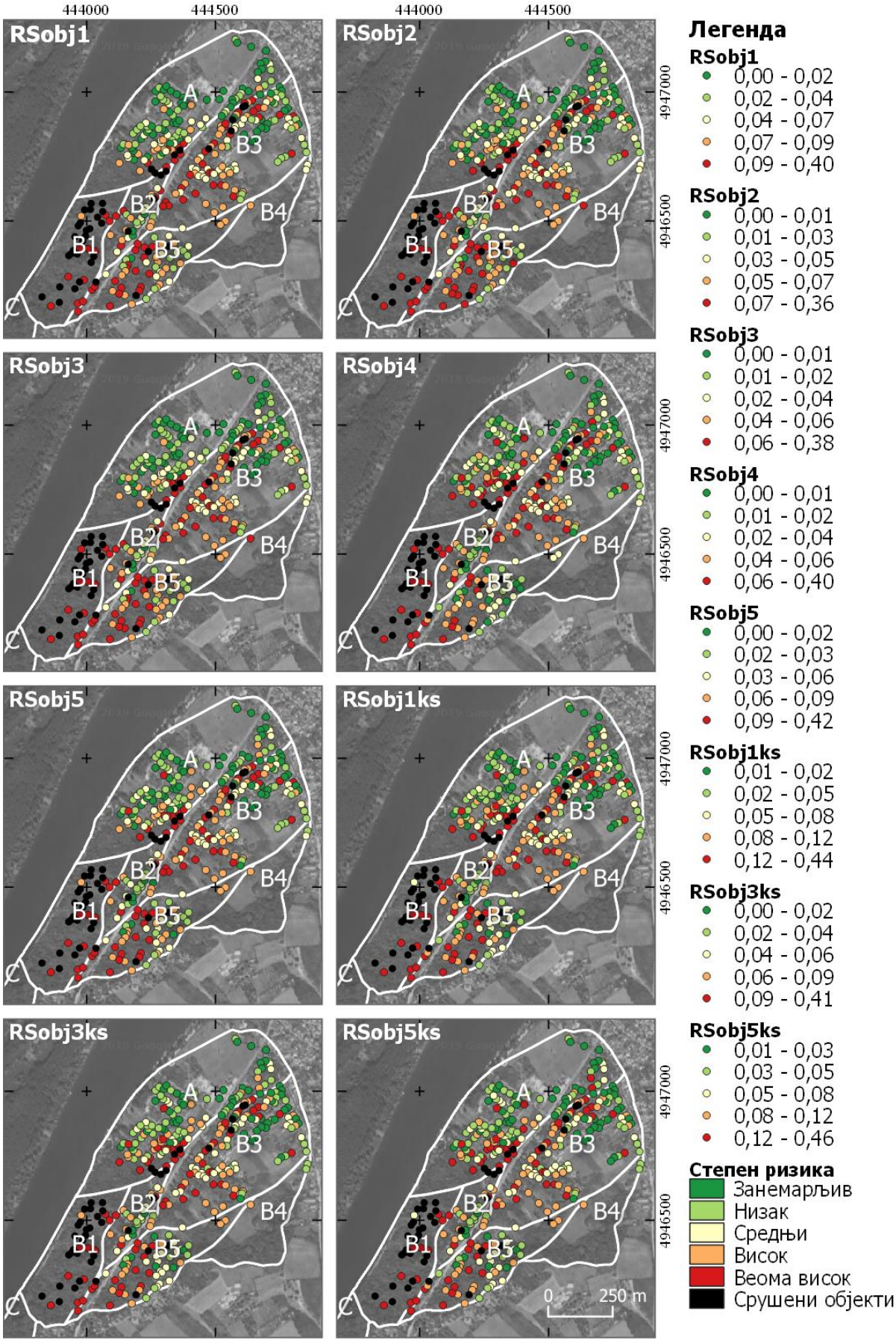
У табели 70 су приказане процењене вредности ризика за пет насумично одабраних објеката високоградње, за које је на терену утврђено да су са различитим степеном

оштећења, тј. деформација. Фотографије објеката, чије су вредности ризика по становништво приказане у табели 70, су приказане на слици 124. Визуелним поређењем добијених резултата са фотографијама, утврђен је висок степен корелације процењеног степена ризика и реалне угрожености посматраног објекта.

Табела 70. Приказ срачунатих специфичних ризика по објекте високоградње на основу усвојених сценарија за насумично одабране објекте високоградње. $\mathbf{V_{f_tot}}$ означава срачунат индекс физичке угрожености објекта.

			Специфични ризик по објекте високоградње на основу реализације сценарија (Robj_S)							
ID	деформисаност објекта	Vf_tot	S1	S2	S3	S4	S5	S1_Ks	S3_Ks	S5_Ks
74G	без деформација	0,05	0,01	0,009	0,008	0,008	0,01	0,02	0,012	0,016
78	без деформација	0,03	0,009	0,006	0,005	0,006	0,009	0,01	0,008	0,01
80	слабо изражене	0,06	0,012	0,008	0,006	0,007	0,01	0,01	0,011	0,016
4	средње оштећен	0,2	0,06	0,05	0,04	0,04	0,06	0,08	0,06	0,08
116	склон паду	0,33	0,1	0,07	0,06	0,06	0,09	0,12	0,09	0,12

Слика 124. Фотографије објеката високоградње чији су прорачуни ризика по становништво приказани у табели 71



Слика 125. Дистрибуција специфичног ризика (RSobj) по објекте на клизишту „Умка“ за свих усвојених геотехничких сценарија. Приказана је квантилна дискретна расподела сведена на пет категорија ради лакшег поређења добијених вредности

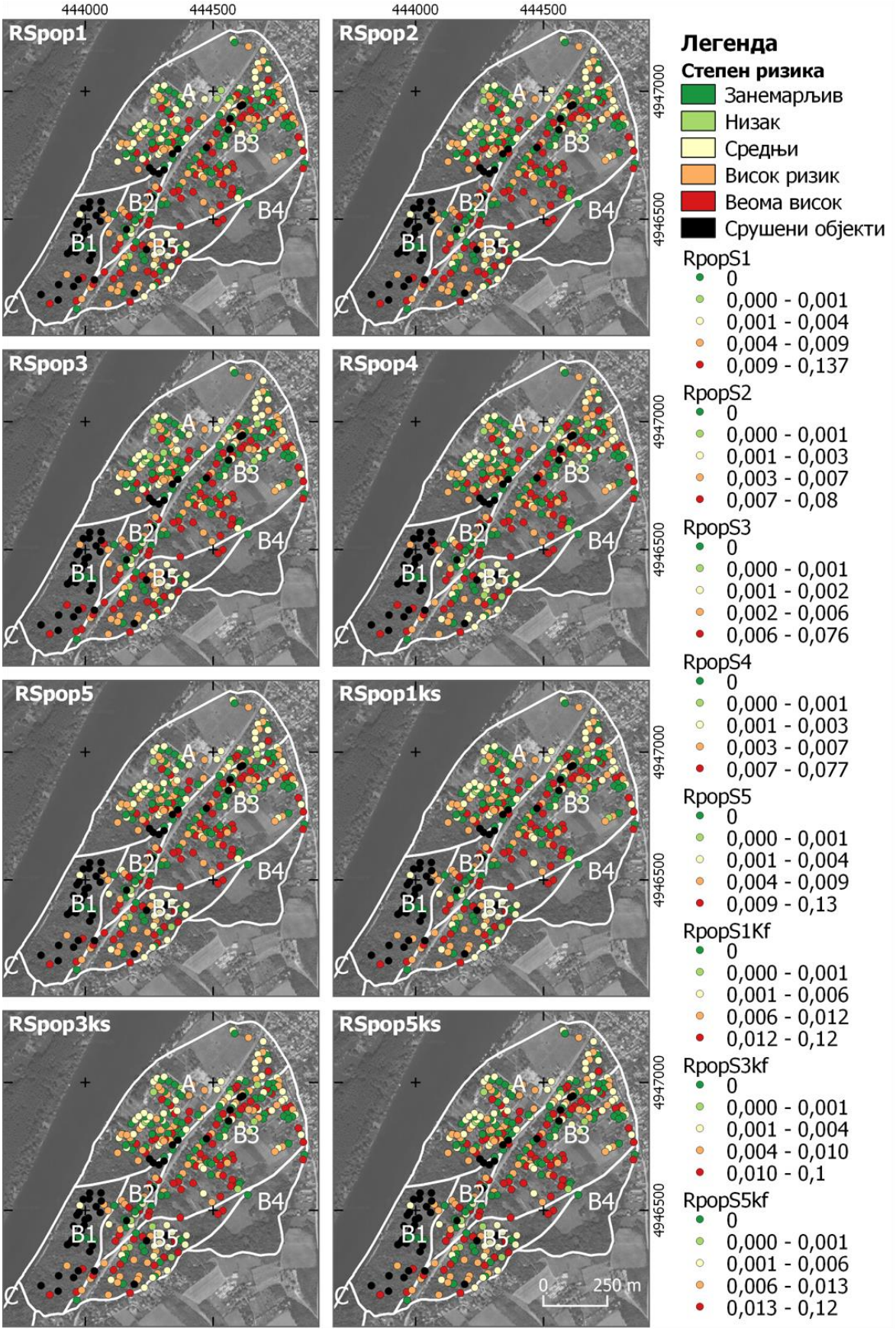
6.3.2 Специфични ризик по становништво

Дистрибуција специфичног ризика по становништво на клизишту „Умка“, за свих осам усвојених геотехничких сценарија, је приказана на слици 126. Сви објекти на клизишту „Умка“ су класификовани на основу квантилне расподеле срачунатог специфичног ризика на основу сценарија, у коме су добијене највеће вредности (RSpop5ks). Како су вредности специфичног ризика по становништво, који у геотехничкој пракси подразумева губитак живота веома ниске, све категорије ризика су изражене квалитативним описима од занемарљивог до веома високог ризика. Под „високим ризиком“ је подразумевана категорија објеката код којих је у значајној мери угрожен квалитет живота и функционисања његових резидената. На приказаним картама (Слика 126) се јасно уочава да на клизишту „Умка“ доминирају објекти у којима постоји средња до веома висока процена ризика по становништво. Такви објекти су заступљени у свим сценаријима унутар блокова B1 - B5, док се објекти са нижим ризиком по становништво уочавају углавном у оквиру блока А, што је и било очекивано на основу резултата мониторинга и процењеног хазарда клизишта.

У табели 71 су приказане прорачунате вредности ризика по становништво за пет насумично одабраних објеката високоградње за које је на терену утврђено да су са различитим степеном оштећења, тј. деформација. За објекте код којих је утврђено да су без резидената тј. становника (напуштени или помоћни) степен ризика је увек био 0, због услова у обрасцу за прорачун специфичног ризика (14). Објекти код којих је утврђена мања вредност укупне физичке угрожености, а који су били са мањим вредностима деформација су могли да имају већи ризик по становништво од објекта са већим индексом физичке угрожености (Табела 71, објекти 78 и 80), јер је у прорачун ризика улазио и број становника тј. резидената у оквиру објекта као и изложеност хазарду од клизишта. Очекивано, највеће вредности ризика су биле прорачунате за објекте, који су били са великим вредностима индекса физичке угрожености и који су имали већи број резидената као што је објекат бр. 116, у коме живи просечан број резидената за подручје „Умка“(Табела 71, објекат 116). Фотографије објеката, чије су вредности ризика по становништво приказане у табели 71 су дате на слици 124.

Табела 71. Приказ срачунатих специфичних ризика по становништво на основу усвојених сценарија за насумично одабране објекте високоградње. **рез.** означава нормализовану вредност резидената у оквиру објекта; **S1-S5$_{ks}$**: сценарији реализације хазарда

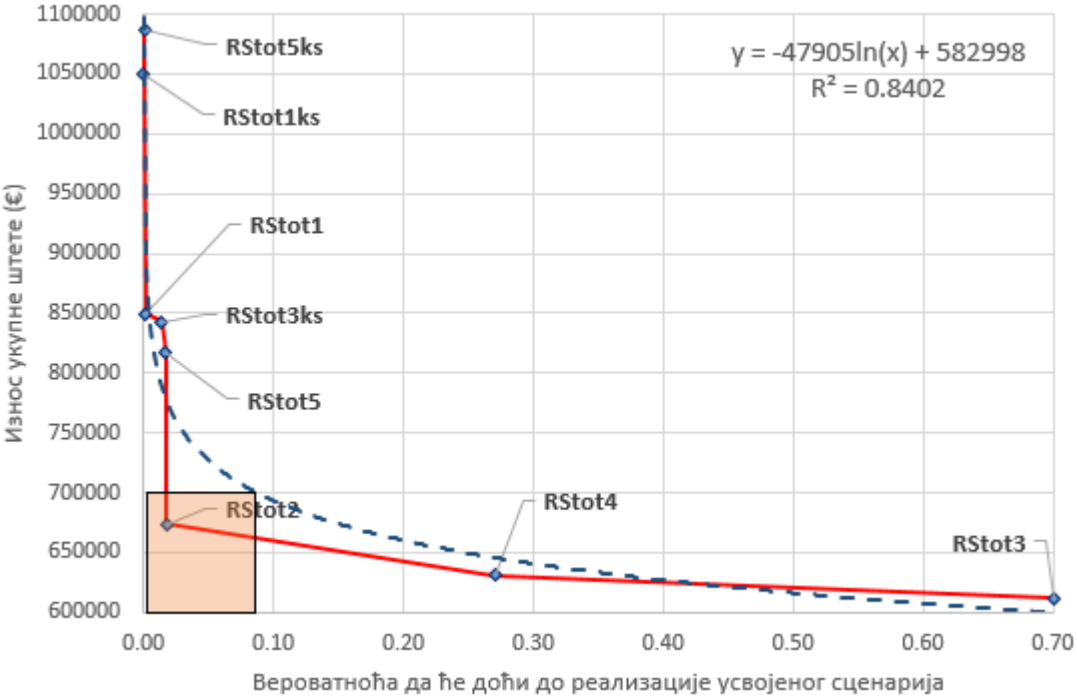
Специфични ризик по становништво (Rpop_S)									
ID	рез.	S1	S2	S3	S4	S5	S1$_{ks}$	S3$_{ks}$	S5$_{ks}$
74G	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0,8	0,008	0,005	0,005	0,005	0,007	0,009	0,007	0,009
80	0,3	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005	0,003	0,005
4	0,16	0,01	0,008	0,007	0,007	0,01	0,01	0,01	0,01
116	0,5	0,6	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,04



Слика 126. Дистрибуција објеката са срачунатим специфичног ризика (RSpop) по становништво на клизишту „Умка“ за усвојене геотехничке сценарије. Приказана је квантилна дискретна расподела сведена на пет категорија ради лакшег поређења добијених вредности

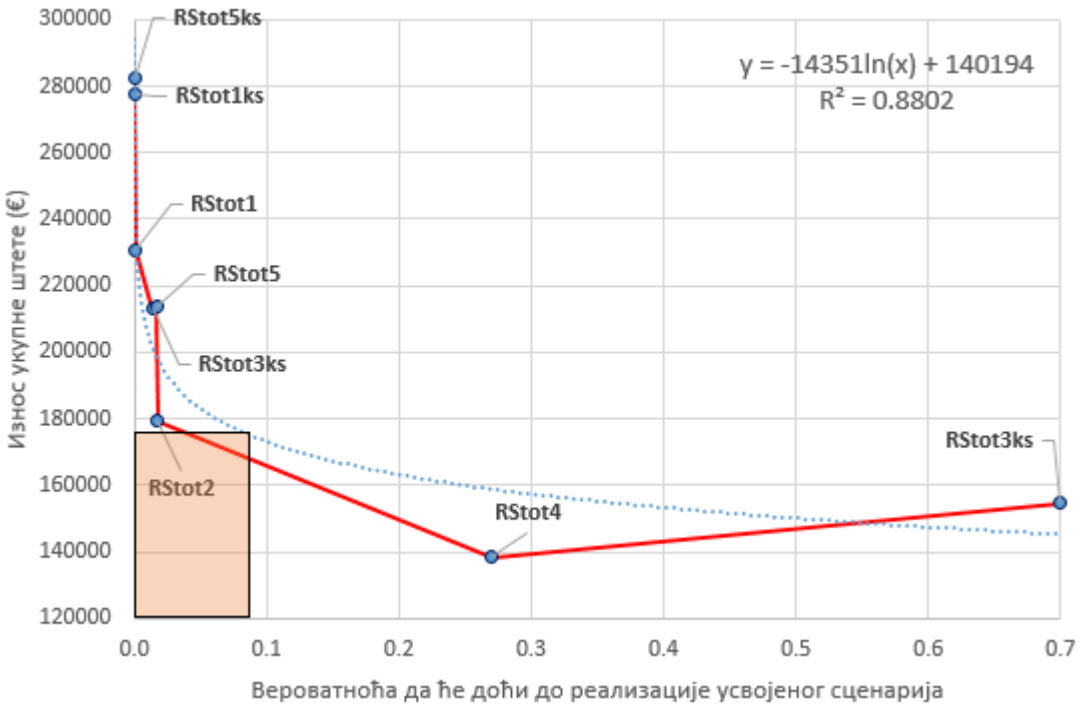
6.3.3 Укупна материјална штета за објекте високоградње

На основу података о добијеним вредностима штете на објектима израђене су криве штете, које су плотоване на основу „x-y“ дијаграма зависности укупне потенцијалне штете и њему одговарајуће вероватноће реализације сваког сценарија хазарда (Слика 127). На слици је приказана површина испод криве штете, која показује да ризик по јединичном времену од клизишта „Умка“ испод криве може да произведе укупну потенцијалну штету од 700.000 €. На основу израђене линије тренда у оквиру *Excel*-а је утврђено да су однос штете и вероватноће у логаритамској функционалној зависности, чија је једначина приказана на самом дијаграму.



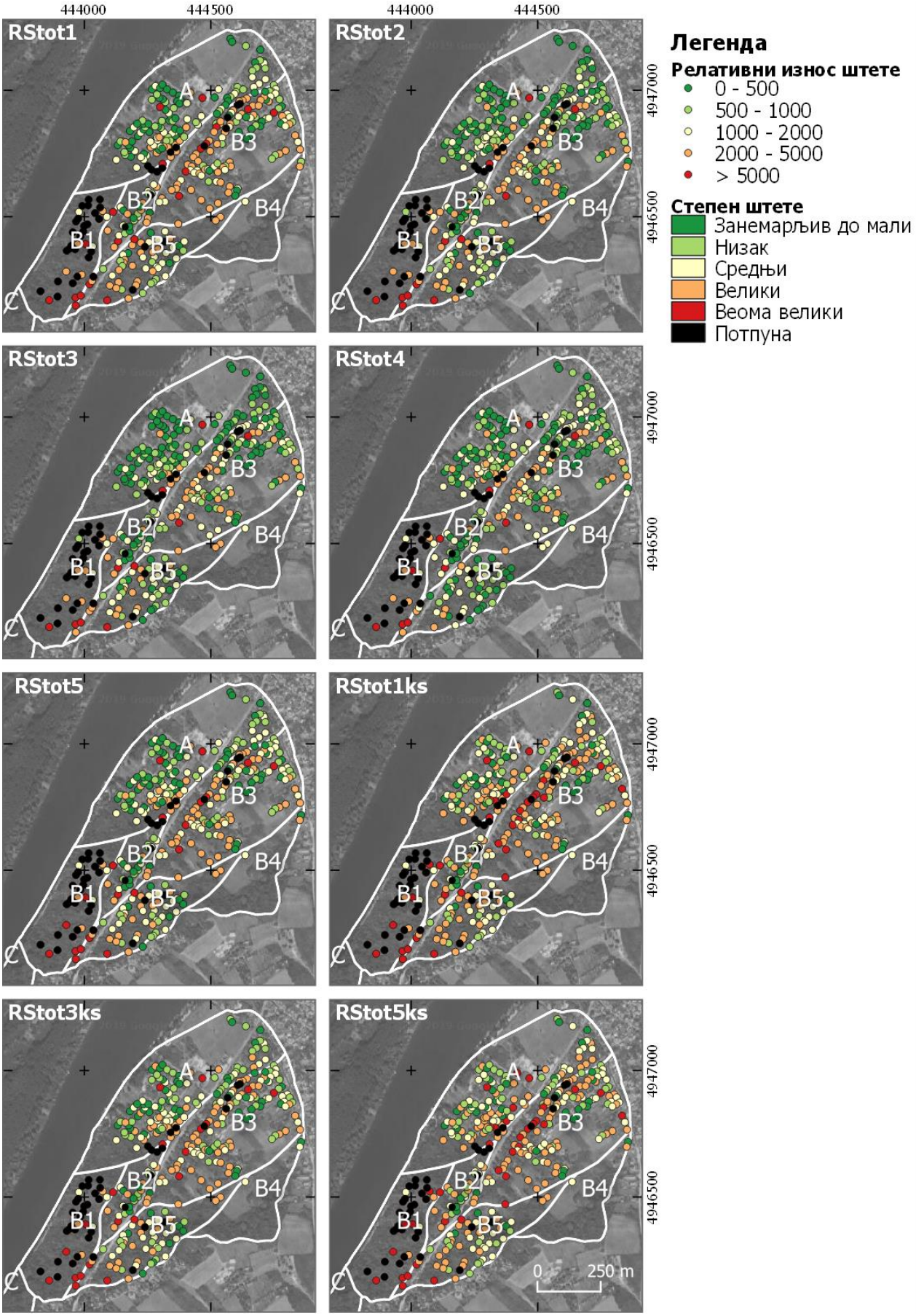
Слика 127. Крива штете од клизишта „Умка“ са вероватноћом реализације усвојеног сценарија. Црвени квадрат означава просечну вредност штете и вероватноће реализације сценарија испод криве.

Наведена крива показује укупну штету, која укључује и објекте, који су срушени а за које је приликом прорачуна ризика на основу описаног усвојеног концепта усвојено да су новоизграђени. Уколико се из прорачуна укупне штете искључе објекти, који су већ срушени, на основу свих расположивих података добија се нешто измењена крива штете која је приказана на слици 128 и која показује просечан ризик по јединичном времену од клизишта „Умка“ може да произведе штету од приближно 176.000 €.



Слика 128. Крива штете од клизишта „Умка“ са вероватноћом реализације усвојеног сценарија без срушених објеката. Црвени квадрат означава просечну вредност штете и вероватноће реализације сценарија испод криве

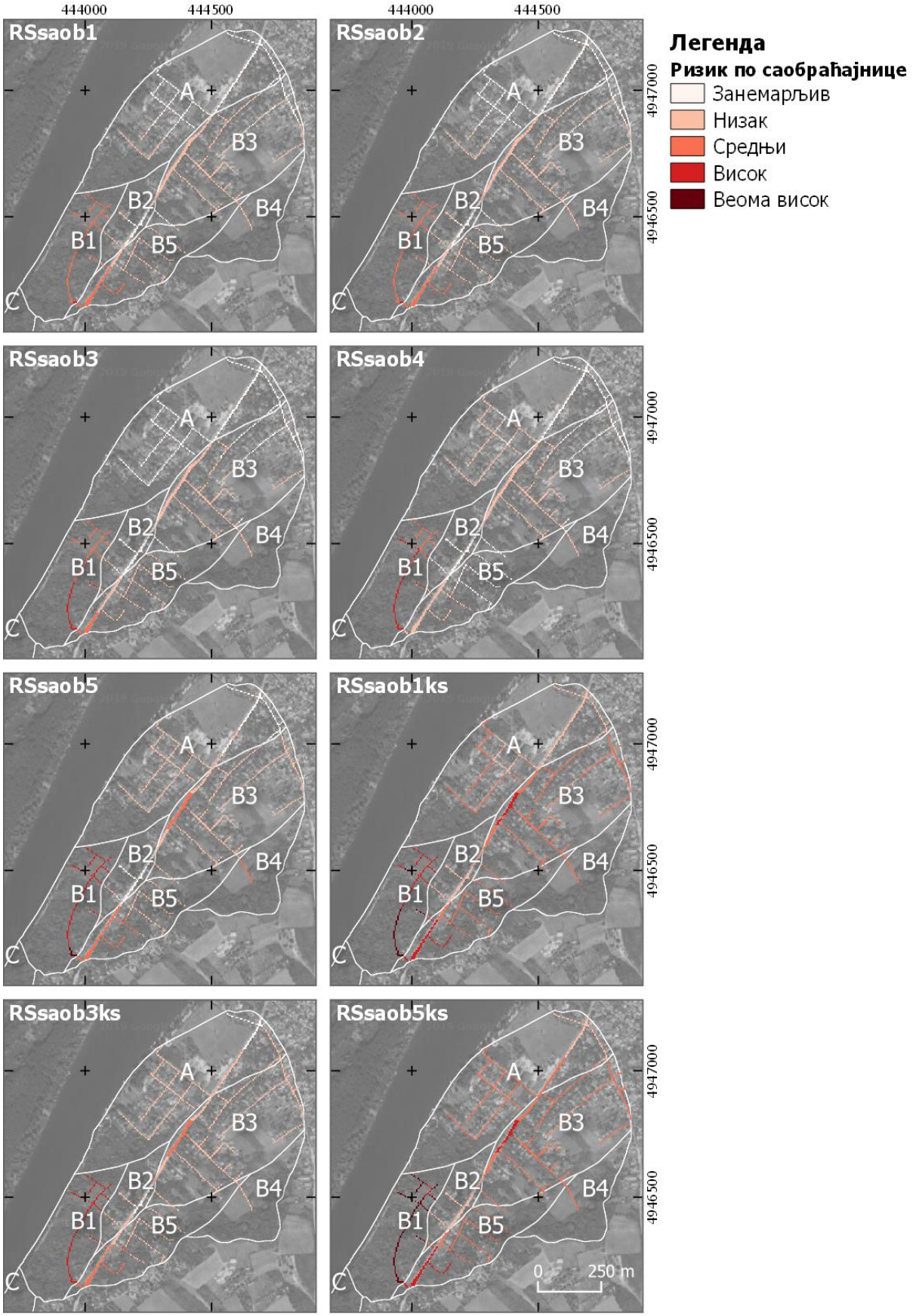
Дистрибуција укупне штете по објекте на клизишту „Умка“ за све усвојене сценарије је приказана олеатама, које су дате на слици 129. Анализом свих прикупљених података је процењена вредност свих срушених објеката у износу од 1.129.600 €. На слици су приказане локације објеката, који су на основу вредности штете разврстани у пет категорија (од занемарљиве до веома велике), док су у посебној категорији издвојени срушени објекти. За граничне вредности класификације објеката према износу штете усвојене су најниже вредности квантилних расподела, које су добијене на основу свих сценарија. Са олеата се може уочити да највећа штета по објекте може настати приликом реализације сценарија RStot5ks и RStot1ks, док најмања штета може настати приликом реализације сценарија RStot3, што је у корелацији са приказаним кривама штете.



Слика 129. Дистрибуција специфичног ризика (RStot) по објекте на клизишту „Умка“ за свих осам усвојених геотехничких сценарија. Приказана је квантилна дискретна расподела сведена на пет категорија ради поређења добијених вредности

6.3.4 Специфични ризик по објекте нискоградње

Дистрибуција хазарда клизишта, која је директно усвојена као мера ризика по саобраћајнице на клизишту „Умка“ у односу на сценарије, приказана је олеатама, које су дате на слици 130. Олеате ризика су добијене тако што су све карте хазарда клизишта за предвиђене сценарије опсечене на полигоне, који су представљали саобраћајнице. На тако креираним олеатама се јасно уочава да просторна дистрибуција ризика у потпуности корелише са стварним деформацијама, које су утврђене на коловозној конструкцији применом метода даљинске детекције и теренског картирања. На наведеним картама, ризик је исказан квалитативно, на основу квантилне расподеле најнеповољнијег сценарија хазарда од „занемарљив“ до „веома висок ризик“. Занемарљиво мали ризик од клизишта „Умка“ имају оне саобраћајнице код којих се не очекују веће деформације на коловозној конструкцији или застору услед деформација терена, која су последица клизишта. Веома висок ризик имају оне саобраћајнице код којих се очекује да приликом реализације дође до значајнијих па чак и трајних деформација са привременим прекидом или онемогућеним саобраћајем. Као и код прорачуна других врста ризика, и у овом случају су најнеповољнији сценарији RsSaob5Ks и RsSaob5Ks, док су најугроженије саобраћајнице државни пут IB26, све улице у блоку B1 као и већина улица у блоковима B3 и B5.



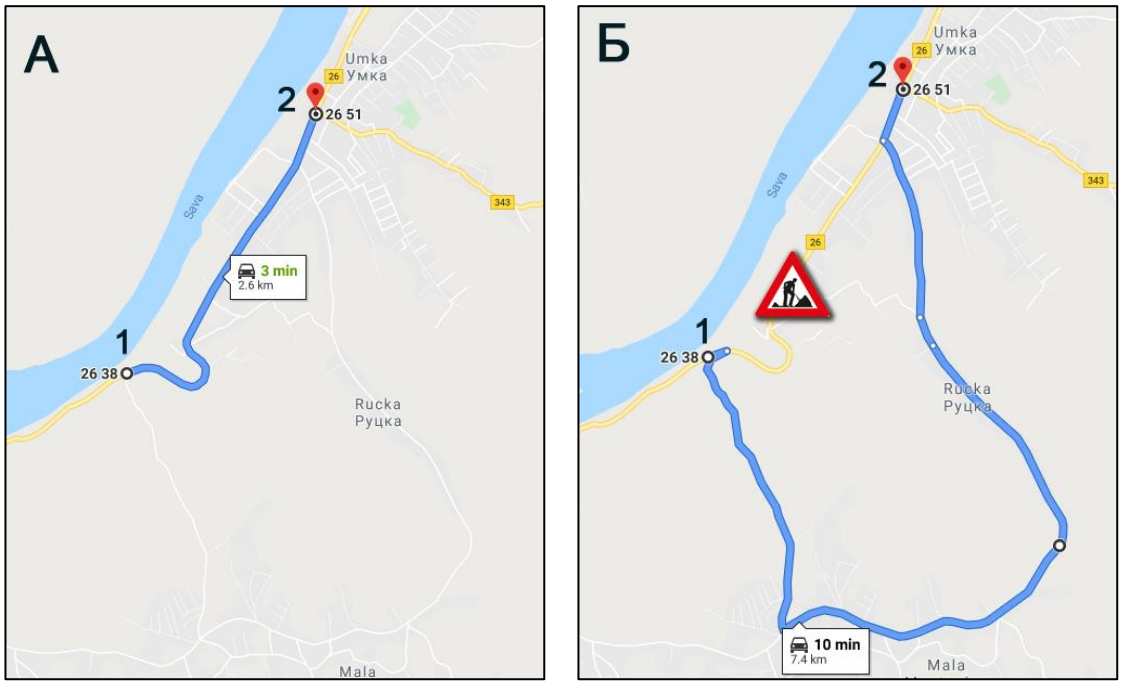
Слика 130. Дистрибуција ризика по саобраћајнице на клизишту „Умка“ у односу на сценарио реализације хазарда

6.3.5 Прорачун индиректне штете за покретне елементе у ризику (саобраћај)

У идеалним условима саобраћаја, време потребно да се пређе пут од скретања за Малу Моштаницу у Дубоком (Слика 131 – А; тачка 1) до центра „Умке“ (Слика 131 – Б; тачка 2) у дужини од 2,6 km, за возило са просечним габаритима и карактеристикама, на основу *Google Maps* сервиса износи 3 минута.

Почетком 2018. године завршени су грађевински радови на изградњи локалне саобраћајнице, која повезује насеље Мала Моштаница и Руцку. Том приликом је изграђен пут у дужини од 700 m, чиме је делимично решен дугогодишњи проблем грађана наведених насеља и корисника државног пута IB26, којима је алтернативни пут преко клизишта „Умка“ и „Дубоко“ био неопходан[41].

Уколико се саобраћај преусмери на поменуту алтернативну саобраћајницу преко Мале Моштанице и Руцке, пређени пут се повећава од тачке 1 до тачке 2 на 7,4 km, док се просечно време повећава на 10 минута (Слика 131).



Слика 131. Просечно време путовања и дужина пута од скретања за Малу Моштаницу код Дубоког (тачка 1) до центра насеља Умка у идеалним условима саобраћаја и потпуно проходном државном путу IB26 (лево) и у случају коришћења алтернативног правца преко Мале Моштанице и Руцке (десно). Извор: *Google Maps*

Иако разлика у дужини пређеног пута и утрошеног времена делује занемарљива, потребно је узети у обзир чињеницу да је, на поменутој деоници пута током 2018. године, регистрован просечни дневни годишњи саобраћај у износу од скоро 14.000 возила. На једноставан начин је израчуната просечна индиректна штета, која је изражена повећаном потрошњом горива за учеснике у саобраћају (возила).

На основу образаца (15) и (16) израчунати су финансијски губици у виду повећање потрошње горива возила (рсд), која би у идеалним условима користила деоницу саобраћајнице преко клизишта „Умка“. Резултати анализе су приказани у табели 72.

[41] http://www.cukarica.rs/lat/izgradjen-put-mala-mostanica---rucka/

Табела 72. Разлика потрошње горива (рсд) услед коришћења алтернативног путног правца. **PPV** – просечна потрошња возила; **CG** – цена безоловног бензина (фебруар 2020); **PGDS** – просечан годишњи дневни саобраћај; **GG** – разлика потрошње горива (рсд) услед коришћења алтернативног путног правца

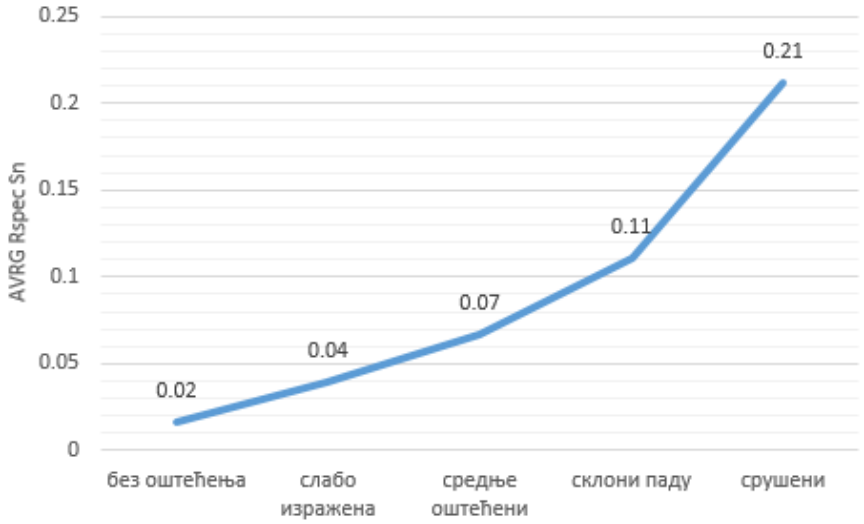
Сценарио	Дужина (km)	PPV (l/100km)	CG (l/рсд)	PGDS (бр. воз.)	GG (рсд)
А	2,6	8	150	14000	436.800
Б	7,4	8	150	14000	1.243.200
А-Б	4,8	/	/	/	806.400

Резултати показују да, уколико се деоница саобраћајнице, која прелази преко клизишта „Умка“ онемогући за коришћење на 24 часа нпр. за потребе ревитализације коловоза, индиректна финансијска штета која настаје услед повећане потрошње горива свих корисника износи приближно 800.000 динара.

7. Оцена добијених модела ризика и верификација

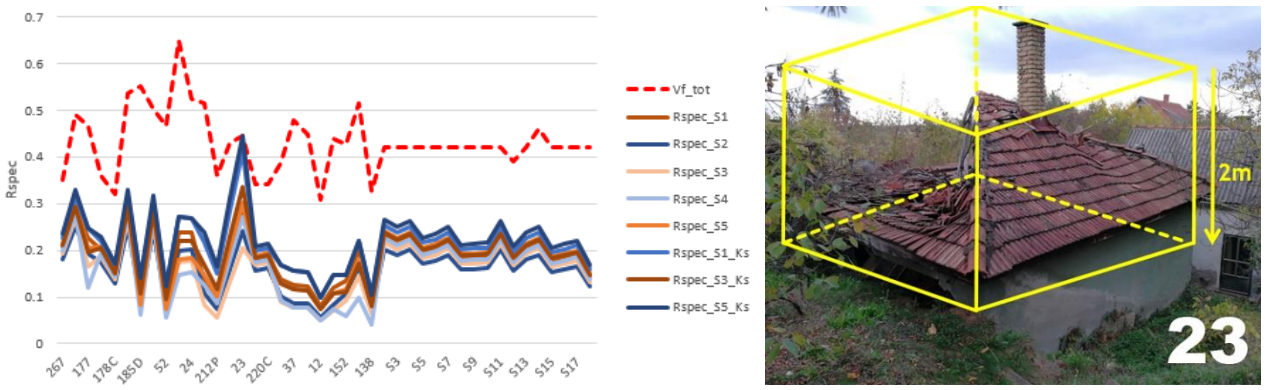
На основу анализа ризика за све усвојене сценарије, највећа штета и највећи срачунати ризик по објекте, добијен је у случају реализације најнеповољнијег сценарија - RStot5ks, који подразумева истовремено: екстремно низак ниво Саве код клизишта „Умка“, који се подудара са екстремно високим нивоом подземних вода, које су скоро на површини терена и 50-годишњег земљотреса, који генерише коефицијент сеизмичности 0,025 на истражном подручју. Ако се за овај сценарио усвоји претпоставка да су сви објекти на клизишту „Умка“ у функционалном и употребљивом стању (укључујући и срушене), приликом реализације хазарда штета би износила преко 1.000.000€ (Слика 127). Уколико се из поменуте анализе одузме грубо процењена вредност срушених објеката, приликом реализације истог сценарија хазарда штета би износила приближно 280.000€ (Слика 128). Међутим, овај сценарио има занемарљиву вероватноћу реализације, која износи свега 0,0003 по јединици времена, јер је у реалности веома мала могућност да се сва три догађаја предвиђена сценариом одиграју у исто време (екстремно низак ниво Саве, екстремно висок НПВ и земљотрес).

Квантитативна анализа ризика је увек вршена и за објекте који су срушени, што је омогућило проверу података добијених анализом ризика, пошто би по теорији, ти објекти морали да имају велике/највеће вредности ризика у односу на све остале. На слици 132 је приказан дијаграм расподеле просечних вредности специфичног ризика за све објекте и све сценарије, у односу на категорије објеката, које су утврђене теренским осматрањем. Просечна вредност специфичног ризика за срушене објекте је износила преко 0,2, док је за објекте без оштећења она била десетроструко мања, односно око 0,02. На слици се јасно уочава природни тренд прираштаја вредности ризика у односу на категорију објекта, чиме је доказано да је модел за прорачун ризика добро калибрисан, јер не постоје драстична одступања у тренду.



Слика 132. Дијаграм расподеле просечних вредности специфичног ризика за све објекте и све сценарије (AVRG Rspec Sn) у односу на категорије објеката које су утврђене теренским осматрањем

На слици 133 је приказан дијаграм промене вредности специфичног ризика (Rspec) по све објекте, који су теренски евидентирани као срушени и то за све сценарије у односу на срачунате вредности физичке угрожености објекта (под објашњеном претпоставком да су били у функционалном стању).



Слика 133. **лево:** Дијаграм промене вредности специфичниг ризика (Rspec) за све објекте који су теренски евидентирани као срушени по свим реализованим сценаријима у односу на срачунате вредности физичке угрожености објекта (Vf_tot); **десно:** објекат бр. 23

На дијаграму се уочава очекивана зависност процењеног ризика у односу на физичку угроженост, која само код једног објекта (23) одступа, тј. где процењени ризик надмашује вредности физичке угрожености самог објекта. Теренском опсервацијом је утврђено да је у питању објекат, који је потонуо скоро за целу своју висину и који је у потпуности нефункционалан (Слика 133 - десно). Наведени објекат је имао нешто ниже вредности угрожености, али се налазио у зони већег хазарда (тј. већих деформација) клизишта „Умка“, па је правилно примењеном методологијом и калибрисаним моделом за прорачун ризика добијена веома висока вредност.

У складу са наведеним, приликом анализе добијених резултата, разматране су две варијанте, прва је подразумевала процену ризика за све објекте (укључујући срушене који су третирани као функционални и први пут изложени хазарду) и друга, којом су анализиране процењене вредности ризика и штете без процене за срушене објекте (реална штета).

Ако се посматра укупна штета, која настаје са усвојеном претпоставком да су сви објекти на клизишту „Умка“ у функционалном стању, релативно најмању штету по објекте генерише реализација валидационог сценарија хазарда RStot3. Том приликом, штета би износила приближно 600.000€. Уколико се анализира штета која би настала приликом реализације истог сценарија, која искључује срушене објекте, у том случају најмању укупну штета би настала од реализације сценарија RStot4, у износу од приближно 140.000€. Сценарио RStot3 има могућност реализације од 0,7 по јединичном времену и представља најчешћи сценарио, који се може одиграти у реалности, док сценарио RStot4 има вероватноћу реализације од 0,27. Наведено указује да постоји велика вероватноћа вишеструке реализације ових сценарија током једне године.

Редослед износа укупно процењене штете приликом реализације свих геотехничких сценарија са претпоставком да су сву објекти у функционалном стању, је следећи:

RStot5ks > RStot1ks > RStot1 > RStot3> RStot5 > RStot2 > RStot4 > RStot3.

Највеће штете би настале приликом реализације сценарија, који укључују следеће комбинације: низак ниво Саве, заједно са високим нивоом подземних вода и земљотресом (*RStot5ks*), затим, високи ниво Саве заједно са високим нивоом подземних вода и земљотресом (*RStot1ks*) и високи ниво Саве комбинован са високим нивоом подземних вода (*RStot1*). У средини се налази сценарио, који подразумева уобичајени ниво Саве заједно са уобичајеним нивоом подземних вода и очекиваним земљотресом (*RStot3ks*). Ниже штете би биле генерисане сценаријима, који укључују следеће комбинације: висок ниво Саве, заједно са високим нивоом подземних вода (*RStot5*),

затим, висок ниво Саве, са уобичајеним нивоом подземних вода (*RStot2*), па, низак ниво Саве, са уобичајеним нивоом подземне воде (*RStot4*) и на крају, валидациони модел, који подразумева уобичајен ниво Саве, са уобичајеним нивоом подземних вода и без земљотреса (*RStot3*). Сценарији хазарда *RStot1, RStot3* и *RStot5* дефинишу приближно исту штету.

Редослед потенцијалне штете која би настала приликом реализације геотехничких сценарија, која искључује већ срушене објекте по усвојеним сценаријима је нешто другачији:

RStot5ks > RStot1ks > RStot1> RStot5> RStot3ks > RStot2 > RStot3 > RStot4.

Поменуте разлике у редоследу се могу објаснити чињеницом да се највећи број срушених објеката налазио унутар блока B1, који је на основу усвојених геотехничих сценарија имао највеће вредности хазарда тј. најмање факторе сигурности приликом анализе стабилности.

Валидација модела је извршена за модел реализације ризика *RStot3*, који уједно представља модел, приликом чије реализације би настала најмања штету (ако се усвоји претпоставка да су сви објекти доведени у функционално стање). Као основни разлог за одабир поменутог модела ризика је тај, да су сви активатори, унети у геотехнички модел, добијени на основу реалних опсервација током теренског истраживања 2017. - 2019. године када је и вршено евидентирање штете на објектима. Као други компаративни валидационом модел, усвојен је сет података о евидентираним деформацијама на објектима на клизишту „Умка“ током пописивања 2017 – 2019 године (Слика 103).

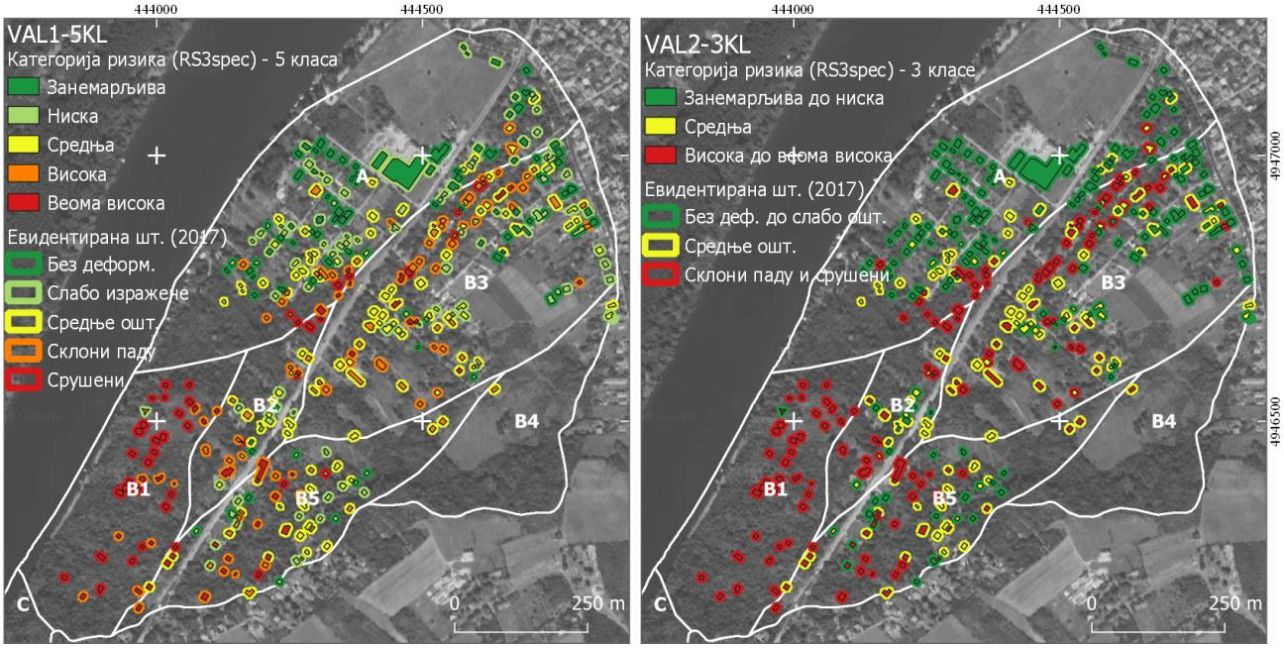
За потребе валидације, креирана су два сета, која су потом поређена и анализирана. Први сет (VAL1-5KL) је подразумевао рекласификован специфични ризик на основу модела *RStot3* и класа оштећења на објектима током 2017. године. Рекласификација *RStot3* модела је извршена на основу квантилне дискретне расподеле на 5 класа, где је најмањој класи додељена вредност 1, а највећој класи вредност 5. Квантификација оштећења на објектима је извршена на основу категоричких показатеља, где је објектима који су класификовани „без оштећења“ додељена вредност 1, док је „срушеним објектима“ додељена вредност 5. Потом је извршена компарација оба сета података на тај начин што су упоређене вредности прогнозиране, тј. прорачунате класе ризика моделом *RStot3* у односу на квантификоване класе оштећења, које су добијене теренским евидентирањем.

Прецизност модела је дефинисана као процентуални удео тачно класификованих објеката према степену ризика у односу на теренски утврђена категорије оштећења истих објекта (од свих анализираних). Први компаративни сет са 5 класа је показао да модел процене ризика *RStot3* има укупну прецизност по свим категоријама од 53%.

Највећа прецизност у односу „класа ризика“ -> „актуелне деформације“ је утврђена за 1 категорију (занемарљив ризик – прецизност 64%), а најмањи за 4 категорију (високи ризик – прецизност 42%). Статистичка прецизност свих модела ризика по категоријама је приказана на табели 73. Дистрибуција упоредног приказа категоризованог ризика по објектима (RSspec3) у односу на штету евидентирану током 2017. године на основу 5 класа ризика и оштећења је дата на слици 134-лево.

Табела 73. Статистичка анализа прецизности валидационог модела са 5 категорија ризика по објекте у поређењу са валидационим сетом података о деформацијама објеката прикупљених током теренских истраживања 2017. године;
⊥ – нетачно категоризовани објекти моделом предикције;
⊤ - тачно категоризовани објекти моделом предикције

	Категорија ризика (RSspec3)	Категорија деформација (2017)	⊥бр.	⊤бр.	⊥%	⊤%	Ук. обј.
1	Занемарљив ризик	Без деформација	28	50	36	64	78
2	Низак ризик	Слабо изражене деформације	34	42	45	55	76
3	Средњи ризик	Средње оштећени	28	41	41	59	69
4	Високи ризик	Склон паду	43	31	58	42	74
5	Веома високи ризик	Срушен	41	35	54	46	76
		Укупно	174	199	**47**	**53**	373



Слика 134. Дистрибуција упоредног приказа категоризованог ризика по објектима (RSspec3) у односу на штету евидентирану током 2017. године - на основу 5 класа ризика и оштећења (лево) и на основу 3 класе ризика и оштећења (десно)

Образложење мањих вредности прецизности модела ризика (53%) се може објаснити чињеницом да су категорије и утврђен степен оштећења на објектима током евидентирања били подложни субјективној тј. релативној процени оштећења, док су неки објекти били неприступачни и евидентирани са удаљености. Током евидентирања је примећено да је одређени број објеката реконструисан или адаптиран, тако да су оштећења која су евентуално постојала, била маскирана, тј. санирана. Услед тога, такви објекти могу одударати приликом теренског евидентирања у значајној мери од вредности добијених квантитативном анализом ризика. Такође је примећено да се највећи број погрешно категорисаних објеката разликује за вредност једне до две категорије, тако да је нпр. одређени број објеката који припадају петој класи деформација моделом ризика категоризован да припадају 4 класи.

Анализом добијених података је утврђено да само код једног објекта (бр. 166) постоји велика разлика предвиђене категорије ризика у односу на стварну штету. За наведени објекат је моделом процењена 5 категорија ризика (веома високи ризик) док је

теренским евидентирањем утврђена друга категорија деформација (слабо изражене). Накнадном теренском провером утврђено је да је објекат саниран и адаптиран тако да су сва оштећења у виду пукотина покривена, али је објекат видно нагнут (Слика 115), док је вода у терену око објекта скоро на површини терена (инсталирана је црпна пумпа испод објекта). Услед тога, постоји оправдан висок ризик да ће објекат бити значајније деформисан током будућих деформација у телу клизишта.

Слика 135. Фотографије саниранoг али значајно угроженог објекта на клизишту „Умка“ (бр. 166) снимљене током теренске провере добијених резултата процене ризика. На фотографијама се уочава инклинација објекта док су пукотине маскиране санацијом

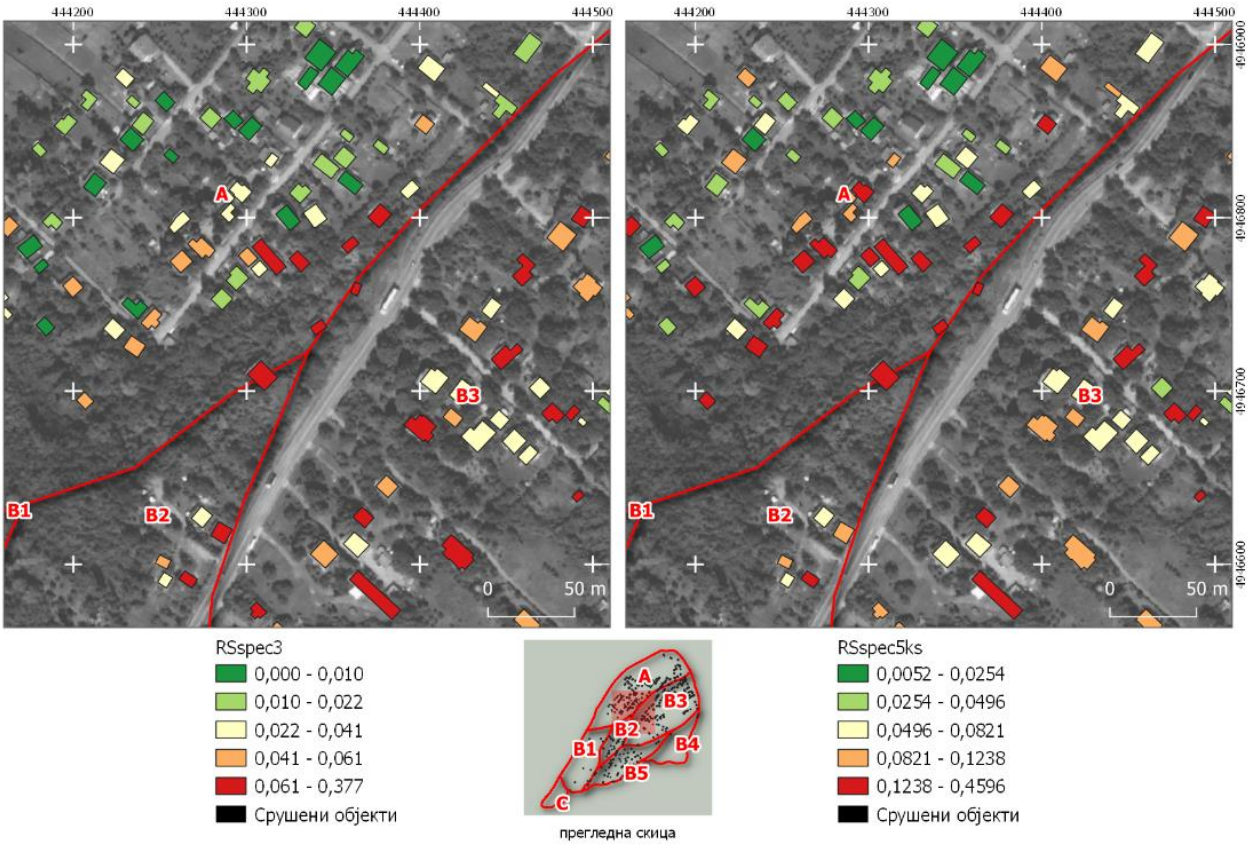
Теренска процена деформације објекта је била подложна субјективној процени и како постоје објекти који нису нужно оштећени услед деформација терена изазваних клизиштем, већ од старости, квалитета материјала и начина градње самог објекта. Зато је креиран други сет података, који је коришћен за валидацију (VAL2-5KL). Овај сет података је обухватао идентичне податке као и код првог сета (VAL1-5KL), с том разликом да су категорије ризика и категорије деформисаности објеката сведене на три класе. Рекласификација је изведена обједињавањем 1 и 2 класе и 4 и 5 класе процењеног ризика и категорије оштећења објекта, док је 3 класа остала непромењена. У раду (Đurić et al., 2019) је детаљно објашњен концепт оптимизације тј. редукције броја класа и утицај на тачност модела том приликом. Оправдање оваквог приступа се огледа и у чињеници да је највећи број погрешно класификованих објеката био управо у опсегу поменутих категорија које су обједињене.

Други сет са 3 класе је показао да, модел процене ризика *RStot3* има тачност по свим категоријама од 75%. Највећа тачност у односу „класа ризика“ -> „актуелне деформације“ је утврђена код 1. категорије (87%) а најмања за 3. категорију (42%). Статистичка тачност модела по категоријама је приказана у табели 74. Дистрибуција упоредног приказа категоризованог ризика по објектима (RSspec3), у односу на штету евидентирану током 2017. године, на основу 3 класе ризика и оштећења је дата на слици 134 (десно). Оптимизацијом модела на три класе је показано да се тачност предикције модела ризика (RSspec3) може сматрати веома добром.

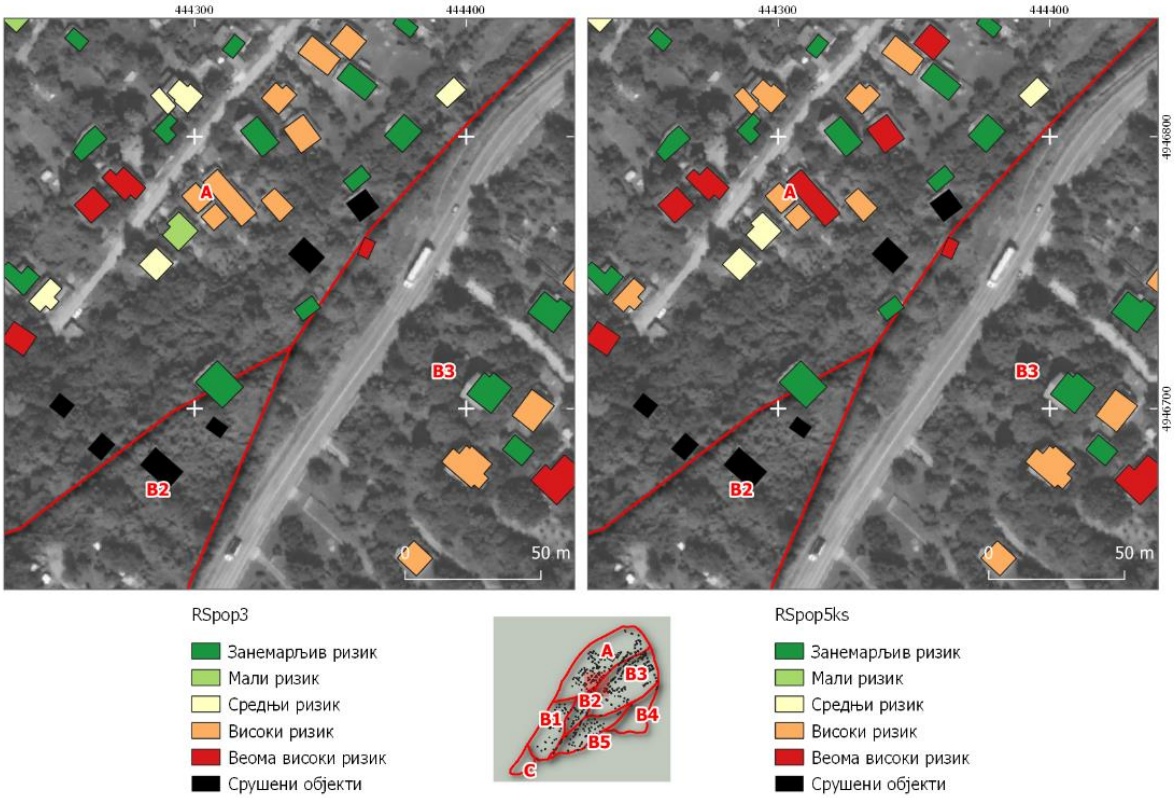
Табела 74. Статистичка анализа тачности валидационог модела са 3 категорије ризика по објекте у поређењу са валидационим сетом података о деформацијама објеката прикупљених током теренских истраживања 2017. године;
⊥ – нетачно категоризовани објекти моделом предикције;
⊤ - тачно категоризовани објекти моделом предикције

	Категорија ризика (RSspec3)	Категорија деформација (2017)	⊥	⊤	⊥%	⊤%	Ук. обј.
1	Занемарљив до мали ризик	Без деформација и слабо изражене	20	134	13	87	154
3	Средњи ризик	Средње оштећени	28	41	41	59	69
5	Веома високи и високи ризик	Склони паду и срушени	46	104	31	69	150
		Укупно	94	279	25	75	373

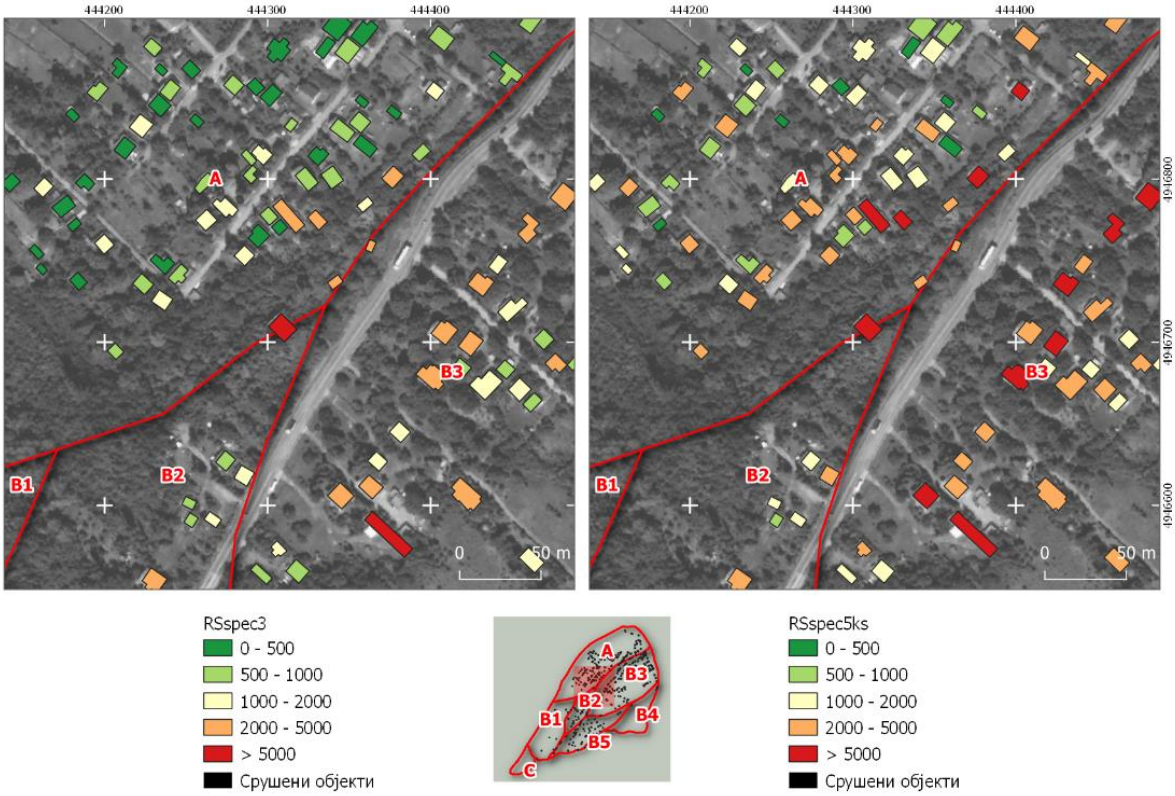
За визуелну компарацију су одабране олеате свих срачунатих ризика за сценарије S3 и S5ks, као два екстремна сценарија, која генеришу најмањи укупни и највећи укупни ризик по објекте на клизишту „Умка“. За све врсте ризика су упоредно приказане наведене олеате, које су потом визуелно упоређене. Упоредни прикази детаља специфичног ризика за два наведена сценарија по објекте су приказани на слици 136. Упоредни прикази детаља специфичног ризика по становништво су приказани на слици 137 док су упоредни прикази детаља ризика са проценом укупне штете приказани на слици 138.



Слика 136. Упоредни приказ детаља олеате срачунатог специфичног ризика по објекте на основу сценарија RSspec3 (лево) и RSspec5ks (десно)



Слика 137. Упоредни приказ детаља олеате срачунатог специфичног ризика по становништво на основу сценарија RSspec3 (лево) и RSspec5ks (десно)



Слика 138. Упоредни приказ детаља олеате срачунатог ризика укупне штете по објекте на основу сценарија RSspec3 (лево) и RSspec5ks (десно)

На свим сликама (Слика 136, Слика 137, Слика 138) се јасно уочава промена категорије процењеног ризика свих објеката, у случају реализације неповољнијег сценарија. Код процене ризика по становништво, ризик код напуштених и срушених објекта је аутоматски сведен на вредност 0 и он је кроз све сценарије остао исти.

На основу свих олеата процењених ризика за валидациони сценарио S3, одабрано је укупно пет објекта (из сваке категорије по један), који су потом рекогносцирани теренском провером ради потврђивања тачности модела током 2018. и 2019. године. За валидацију су одабрани објекти који имају екстремне вредности процењених ризика (највеће и најмање) и по један насумично одабран објекат из преосталих категорија. Вредности срачунатих индекса отпорности, рањивости, физичке угрожености, и срачунатих вредности ризика за два одабрана сценарија су приказани у табели 75.

Табела 75. Срачунати индекси отпорности (Ω и $Ω_{INV}$), индекса рањивости (V_u), физичке угрожености (V_{f_tot}) и вредности ризика за екстремне сценарије Rspec3 и Rspec3 за одабране контролне тј. валидационе објекте. Прва колона означава класу ризика на основу дискретне квантилне расподеле која је коришћена за класификацију, колона **год.** приказује годину изградње објекта

класа	бр. објекта	год.	Ω	Ωinv	V_u	V_{f_tot}	$R_{spec}3$	$R_{spec}S5ks$
I	**132**	2011	0,65	0,43	0,13	0,06	0,00	0,01
II	**195**	1956	0,61	0,47	0,17	0,08	0,01	0,03
III	**104**	1968	0,64	0,44	0,41	0,18	0,04	0,08
IV	**74**	1962	0,68	0,40	0,78	0,31	0,05	0,10
V	**173**	1958	0,22	0,86	0,75	0,65	0,37	0,46

На слици 139 су приказане фотографије, које су настале током теренске опсервације за потребе валидације добијених срачунатих вредности ризика за валидациони модел, а које су приказане у табели 75. Теренском провером је утврђено да су објекти правилно категоризовани према степену ризика. На пример, објекат бр. 132 (Слика 139 – горе лево), који је новије градње и који има високе вредности отпорности, а ниске рањивости, класификован је као објекат без ризика у случају реализације сценарија Rspec3. У разговору са власником објекта констатовано је да на објекту од изградње нису примећене деформације, које би указале на последице активности клизишта. Околни терен је уређен и одводњен без изражених деформација. Објекат бр. 104 (Слика 139 – средина лево), који има високе вредности отпорности, а умерено високу укупну рањивост, па је класификован као објекат средњег ризика. Теренском провером и у разговору са власником објекта је утврђено да се на објекту неколико пута годишње појављују нове пукотине и оштећења, као и да се објекат одваја од околне стазе. Објекат се сваке године реновира за потребе одржавања минималне функционалности и том приликом се изводе мањи грађевински захвати, у виду попуњавања пукотина, постављање мрежа итд. Трошкови ових захвата износе износе неколико стотина евра, док је једном приликом објекат претрпео веће грађевинске захвате за потребе санације. Објекат бр. 173 (Слика 139 – доле) је са веома ниским вредностима индекса отпорности (грађен од скромних материјала са слабијим грађевинским карактеристикама конструкције), а који се налази у зони високе рањивости. Проценом ризика је класификован као објекат са веома високим степеном ризика. На основу теренског обиласка и разговора са власником објекта, утврђено да се на објекту веома често јављају озбиљнија оштећења и да је једном приликом зид, који је оријентисан према Сави, био оштећен у потпуности. Објекат се одржава нивоу минималне функционалности и није безбедан чак ни за повремено коришћење.

Слика 139. Фотографије одабраних објеката за теренску валидацију процене ризика. Вредности различитих индекса и срачунатих ризика за два екстремна сценарија су приказани у табели 75

За валидацију модела ризика по саобраћајнице, одабрана је олеата RSspec3, која је упоређена са UAV ортофото снимцима високе резолуције (2019), добијеним фотограметријским поступком. Као огледна локација је одабрана позната девијација деонице државног пута IB26, која се налази у средишњем делу клизишта, на граници блокова А и В5. Наведена деоница се ревитализује новим битуменозним слојем више пута годишње и том приликом долази до прекида саобраћаја. Након сваке ревитализације, врло брзо се у коловозној конструкцији јављају нове деформације, док сама девијација резултује отежаним одвијањем и успорењем саобраћаја. Наведена деоница (Слика 140) је, моделом ризика RSspec3, категоризована у распону од средње до високог ризика . Поређењем олеате ризика, оротофото снимка и увидом у стање на терену утврђена је висока тачност модела.

Слика 140. Детаљ дистрибуције процењеног ризика по моделу RSspec3 за одабрану деоноцу државног пута IB26 између Улице Мике Ђурчића и Улице гребенац са валидацијом на основу ортофотоа високе резолуције добијеног на основу UAV снимака (2019.)

На примеру објекта бр. 178А је показано да срачунате процене ризика могу бити у реалности врло брзо застареле услед активности клизишта.Наиме, наведени објекат је током евидентирања 2017. године био склон рушењу, док је током рекогносцирања за потребе валидације исти објекат био срушен (Слика 141).

Слика 141. Деформисаност објекта бр. 178А који је током евидентирања у октобру 2017. био склон рушењу (лево). Исти објекат током рекогносцирања терена у априлу 2019. године је био срушен у потпуности

8. Закључак

Као најважнији доприноси ове дисертације могу се издвојити следећи резултати:

- израђен је 3D модел комплексног, дубоког и спорог клизишта „Умка“ са пратећим анализама стабилности применом различитих програма, уз поступак прикупљања и обраде неопходних података;
- процењена је физичка угрожености елемената у ризику на клизишту „Умка“ на основу поступака и образаца, који су први пут дефинисани овом дисертацијом;
- процењен је хазард и ризик од комплексног клизишта „Умка“ са проценом штете која може настати приликом реализације различитих сценарија хазарда.

3D моделовање клизишта је представљао велики изазов, јер није било могуће да се на рационалан начин у модел унесу сви параметри који су могли да утичу на његову стабилност. Осим тога, приликом 3D моделовања постојала је и потреба за скупим, дуготрајним и неизвесним резултатима инструменталног мониторинга, чији су резултати, такође, били неопходни за параметризацију и геометризацију модела. Услед наведеног, у појединим сегментима је била потребна апроксимација и упрошћавање модела, како би било могуће његово решење, приликом анализе стабилности. Главно ограничење је представљала немогућност примене методе коначних елемената (МКЕ), услед недостатка адекватних података о деформабилним карактеристикама, који би били потрекпљени резултатима мониторинга.

Приликом дефинисања и усвајања модела за анализу стабилности били су доступни резултати ограниченог броја инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања, која су изведена пре 15, односно пре 25 година. Ова истраживања су спроведена у различитим инжењерскогеолошким условима, који су том приликом владали у терену. Осим тога, у том периоду на снази су били различити прописи и стандарди. Наведено је имало за последицу отежану корелацију свих прикупљених и анализираних параметара, коришћених као улазни параметри приликом 3D анализе стабилности. Поменута ограничења су нарочито била изражена приликом примене података, који су добијени инклинометарским осматрањима, а која су изведена за кратак временски период (неколико месеци током 2005. године). Током теренских истраживања, која су изведена за потребе дисертације, није била могућа рационална и економична провера свих параметара који су усвојени на основу резултата претходних истраживања. Због тога су све грешке, које су настале увођењем параметара и унете у модел и анализу стабилности. Модел је био дефинисан и одређен на основу повратне анализе, након иницијалног лома и прерасподеле маса тј. тежње ка природној стабилизацији терена.

Како на подручју клизишта „Умка“ не постоји мерна летва, којом би били дефинисани нивои Саве, подаци о меродавним нивоима Саве су добијени методом интерполације на основу података са прве узводне и прве низводне мерне станице. Због тога постоји одређена доза нерепрезантативности хидролошког модела. Исто ограничење важи и за падавине, јер су подаци за подручје клизишта „Умка“ преузети са метеоролошке станице „Врачар“, која се налази у Београду, на удаљености од 26 km од клизишта. Постоји реална могућност да би подаци са метеролошке станице, која би била инсталирана на самом клизишту, били са другачијим вредностима. Дисертацијом није анализиран утицај развоја речне ерозије на ножицу и стабилност клизишта, што би свакако морало да буде предмет будућих истраживања.

Ограничење хидрогеолошког модела представља начин на који су усвојени и моделовани НПВ-и, који су били један од активатора са великим утицајем приликом процене хазарда. За потребе моделовања коришћени су подаци о нивоу подземних вода, добијени пијезомететарским осматрањем током теренских истраживања 1992. и 2005. године. За податке о нивоу подземних вода током 2017. године искоришћен је ниво воде у бунарима, који није нужно меродаван. На клизишту „Умка“ није постојала развијена мрежа пијезометара, систематски осматраних за потребе формирања меродавнијих хидрогеолошких модела за пун климатски циклус. Моделом није обухваћен утицај хидрогеолошких параметара (попут филтрације и порних притисака), услед недоступности и систематичности њиховог осматрања и мерења током времена.

Морфологија клизне површине, инструментално измерене деформације клизне и површине терена су, на посредан начин, унети у 3D модел, формирањем тзв. квази-геотехничких блокова. На тај начин је моделована комплексност клизишта „Умка“. Услед програмских ограничења није било могуће моделовање међусобног утицаја квази-геотехничких блокова и прогресивног лома, па су блокови анализирани као независна, мања клизна тела, тако да је њихов глобални фактор сигурности сматран апроксимативним и релативним и као такав, коришћен је приликом анализе реализације сценарија и процене хазарда. Физичко-механички параметри моделованих геолошких средина су преузети на основу техничке документације и резултата анализе лабораторијских испитивања, која су вршена пре 15 година, у другачијим инжењерскогеолошким, хидролошким и хидрогеолошким условима, који су владали у тлу, у односу на период израде ове дисертације. Клизна површина је, такође, моделована на основу података техничке документације из истражних бушотина и једне контролне истражне бушотине, која је изведена за потребе израде ове дисертације. Иако је контролном бушотином утврђена дубина до клизне равни у очекиваном опсегу, у реалном терену, током година активности клизишта, највероватније је дошло до мање промене њене морфологије. На крају, DEM-ови који су коришћени за потребе формирања геотехничког модела су услед програмских и хардверских ограничења били поједностављени повећањем резолуције грида са 1 x 1 m на 5 x 5 m.

Како грађевински објекти представљају стационарне тј. непокретне елементе у ризику, а становништво покретне, ризик по исте се могао изразити само у односу на вероватноћу да људи бораве већином дана у оквиру угроженог објекта. С обзиром да клизиште „Умка“ представља активно клизиште, поставило се основно питање да ли је онда ризик по целокупно становништво = 1 (тј. 100%). Као што је приказано у дисертацији, динамика клизишта, па самим тим и хазард значајно варирају у зависности од активности блокова тј. њихове локације. На тај начин су издвојени објекти, који се налазе у сред тела клизишта, а имају занемарљиве до мале деформације, које су последица клизишта и за које, на основу анкетирања корисника, никада нису биле утврђене деформације, које се могу сматрати последицом клижења. Самим тим није било оправдања да такви објекти, иако се налазе на телу активног клизишта имају највиши степен ризика (1 тј. 100%). Резултати процене хазарда и ризика су показали да на клизишту „Умка“ постоје бројни објекти који су са високим вредностима ризика и којима прети урушавање. Поједини такви објекти су насељени и у случају реализације екстремних сценарија, или узастопне реализације других сценарија постоји ризик по становништво, који може бити са фаталним последицама. Такав ризик се мора сматрати за недопустив и морају се спровести мере његове редукције евакуацијом, тј. планским расељавањем угроженог становништва.

Клизиште „Умка“ је активно клизиште, са различитом динамиком кретања у појединим издвојеним квази-геотехничким блоковима. На основу анализе фотограметријских архивских ортофотоа и авиоснимака из различитих временских периода, утврђено је да је најинтензивнији блок B1, тј. блок са највећим померањима и променама у морфологији терена, док се повремено интензивирају и блокови B2 и B5. У сва три наведена квази-блока, теренским осматрањем су евидентирани елементи у ризику са значјаним оштећењима. Остали квази-блокови су били са повременим већим или мањим интензивирањима, која су могла проузроковати значајнију штету по поједине елементе у ризику. Највећа штета је евидентирана на објектима који се налазе у зони граница усвојених квазигеотехничких блокова, где клизна површ оплићава. Новоусвојени геотехнички модел клизишта „Умка“, са поделом на квази-геотехничке блокове, је приликом геостатичке анализе показао да, блокови који су уз Саву реагују на промену нивоа Саве, док су хипсонометријски виши блокови, очекивано, реаговали на промену нивоа подземних вода. Најмањи фактори сигурности су добијени за блок B1 који је и у реалности најинтензивнији тј. са највећим деформацијама на површини терена, али и на објектима који се налазе на њему.

У савременој геотехничкој пракси све чешће се примењује 3D напонско-деформациона анализа применом МКЕ. Прикупљени подаци, као и њихова временско-просторна корелација, на првом месту инклинометарских, пијезометарских осматрања и лабораторијских параметара, као и величине деформација, које се јављају на одређеним деловима клизишта „Умка“, нису омогућили сврсисходну анализу применом МКЕ. Будуће анализе и истраживања би морале да омогуће прикупљање података, који би могли бити искоришћени за формирање реолошког и вискоеластичног модела клизишта „Умка“, након чега би била могућа анализа помоћу МКЕ.

Ограничење, које се јавило приликом процене хазарда клизишта „Умка“, је условљено чињеницом да је хазард на површини терена дефинисан на основу две епохе геодетског опажања тачака клизишта, које је систематски изведено само за период од једне године (2018. - 2019). Интерполоване вредности деформације површине терена су кориговане на основу инверзног фактора сигурности квази-геотехничког блока, који је прорачунат применом тродимензионалне анализе граничне равнотеже. Евентуалне грешке, које су настале као последица интерполације деформација површине терена и као последица грешака, а које су унете у тродимензионални геотехнички модел, пренете су и на модел процене ризика. Подаци, добијени мониторингом деформација површине терена на основу сателитских радарских снимака, нису били задовољавајући, у смислу дистрибуције радарских мета, чији би подаци били искоришћени на меродаван и рационалан начин за потребе процене хазарда. Наведена ограничења је у будућности потребно превазићи уградњом тзв. угаоних рефлектора који би обезбедили поузданију примену PSInSAR технике.

Поред наведеног, на клизишту „Умка“ је потребно уградити најмање још једну перманентну GNSS станицу, за праћење померања у реалном времену, са мањим временским интервалима аквизиције (час, минут). Уколико, у наредном временском периоду, не дође до озбиљнијих геотехничких санационих мера клизишта „Умка“, потребно је вршити евидентирање оштећења на објектима по описаном методолошком поступку, у временском интервалу од највише пет година. Снимање површине тела клизишта UAV системом је потребно спроводити најмање једном годишње, како би се фотограметријским поступцима добили квантитативни подаци о величини померања на површини клизишта. Упоредо са снимањем површине тела клизишта UAV системом потребно је опажање и одржавање успостављене GNSS мреже тачака клизишта. Како истражно бушење, уградња пијезометарских и инклинометарских конструкција,

представља велики финансијски издатак, наведене геотехничке истражне радове је по могућству пожељно извести и одржавати у складу са финансијским могућностима. Приликом истражног бушења за потребе уградње инклинометарских и пијезометарских конструкција, потребно је узети меродавне узорке, који би били лабораторијски испитани, ради провере успостављених геотехничких параметара тла, нарочито из зоне клизне површине.

На основу квантитативне процене ризика по стамбене и инфраструктурне објекте од клизишта „Умка“, закључено је да је теоријски најекстремнији сценарио реализације хазарда, онај, у коме је истовремено низак ниво Саве, висок ниво подземних вода и са земљотресом интензитета VI-VII степена по MCS скали (RS5ks). Статистички посматрано, овакав сценарио има веома мале шансе да се догоди, због мале вероватноће реализације (0,00034) свих предвиђених догађаја. Ти догађаји укључују екстремне падавине, које могу проузроковати тако висок ниво подземне воде, али и мале вероватноће појаве земљотреса у региону, који може имати такве разорне ефекте. Током осматраног периода, методама мониторинга, су забележене вредности појединих активатора, који су дефинисали услове реализације екстремнијих хазарда RS1 (висок ниво Саве и падавина тј. НПВ-а). Ограничења процењених вредности ризика по објекте на основу сценарија са земљотресом се огледа у чињеници да не укључују штету, која може настати на објектима као последица ефеката земљотреса. Утицај потенцијалног земљотреса на анализу стабилности је у модел унето преко коефицијента сеизмичности, који је неповољно утицао на глобалну стабилност самог клизишта и његових блокова. Потенцијални земљотрес на ширем подручју клизишту „Умка“ може проузроковати мања до умеренија оштећења, која могу бити суперпонирана деформацијама, које би настале истовременим интензивирањем клизишта.

Евидентирање објеката ради процене ризика представљало је комплексан и временски захтеван задатак, који није било могуће радити на годишњем нивоу. Код великих, спорих клизишта као што је „Умка“, процену и евидентирање је нужно вршити на 10 година, мада у појединим деловима клизишта до значајнијих промена, како терена тако и стања објекта, може доћи у свега пар месеци или само годину дана. Вредности могуће штете, које су исказане на олеатама и дијаграмима, су приказане за потребе релативног поређења могуће штете приликом реализације сценарија за које је вршена процена ризика. Приликом стручне експертизе и процене вредности објеката и штете, која је настала као последица клизишта, износи штете се могу у значајној мери разликовати у односу на вредности штете које су добијене и приказане у овом раду. Поред наведеног, није разматрана чињеница да објектима са годинама опада индекс отпорности који може имати утицаја приликом процене ризика од сценарија са малом вероватноћом реализације.

Квантитативна процена ризика од клизишта „Умка“ је примењива само уколико се прихвати чињеница да су резултати процене у директној зависности од података, који се односе на кинематику самог клизишта и карактеризације физички угрожених елемената у ризику. Објекти, који су процењени са ниским индексом физичке угрожености, а који су се налазили на локацијама већег хазарда од клизишта, имали су висок ризик приликом реализације сценарија. Супротно наведеном, објекти са процењеним високим индексом рањивости, а који су се налазили на локацијама мањег хазарда, имали су мање вредности процењеног ризика на основу реализације сценарија. Линеарност је опадала код објеката који су имали међувредности, као што су на пример објекти са ниским вредностима рањивости, а који су се налазили на локацијама нижег хазарда и објекти који су имали висок индекс физичке угрожености, а налазили су се на локацијама са високим вредностима хазарда (Uzielli et al., 2015b; Palmisano et al., 2016a).

Услед наведеног, јавила се мања тачност приликом класификације добијених модела ризика на основу пет класа у односу на класификацију који укључује три класе (53% - 75%). Једно од највећих ограничења и недостатака, која су се јавила приликом процене ризика, представљала је чињеница да не постоје подаци о континуалном систематском вишегодишњем осматрању деформација на целој површини клизишта, као и да не постоји континуитет праћења деформација и промене физичко-механичких параметара геолошке средине у зони целе клизне површине. Међутим, наведена истраживања се веома ретко спроводе у геотехничкој пракси у наведеном обиму.

Приказани модели процењеног ризика представљају комплексан инжењерски и специјалистички мултидисциплинарни приступ у виду квантитативне вишепараметарске анализе ризика. Како постоје клизишта широм Београда и Србије, која настају у сличним инжењерскогеолошким и геодинамичким условима, резултати прикупљени приказаном методологијом и који су обједињени у једну просторну геобазу, могу бити искоришћени за примену напредних метода машинског учења, које ће тренутно доступне и алгоритме који се развијају, да „науче“ да врше процену ризика од клизишта за сличне сценарије и клизишта, чак и за различите нивое размере (енг: *„cross scaling“*). Ово је од велике важности за добијање брзих, прелиминарних резултата, нарочито у условима када изостају подаци систематских, континуалних вишегодишњих истраживања терена (Đurić et al., 2019).

Резултати, приказани овом дисертацијом, могу да послуже као полазна основа за усвајање рационалних сценарија за евентуалну санацију или евакуацију, тј. расељавање и измештање елемената у ризику. Без обзира на наведена ограничења, успостављени модели ризика клизишта „Умка“, се могу сматрати релевантним, нарочито у случају реализације сценарија са великом вероватноћом. У идеалним случајевима, резултати добијени анализом ризика на основу приказаних методолошких поступака могу бити искоришћени на више начина. Могу их користити просторни планери и урбанисти за потребе уређења простора приликом рекултивације или преуређења јавних и других површина. Добијене резултате могу да користе надлежне службе за формирање планова евакуација или планове расељавања у случају ванредних ситуација, које могу проузроковати значајан ризик по становништво или учеснике у саобраћају. Надлежни органи локалне самоуправе или државне управе могу користити податке добијене на основу процене за различите потребе из домена својих надлежности. Јавна предузећа за одржавање путева могу користити податке за потребе планирања рехабилитације оштећене коловозне конструкције или за планирање алтернативних путних праваца и процену индиректних трошкова који настају том приликом. Надлежни органи резултате могу да користе за процену очекиване штете на објектима, индиректне штете, која настаје као последица потребе за одржавањем објеката на минимално функционалном нивоу или у виду индиректних трошкова, који настају као последица расељавања становништва итд. Проценом ризика је омогућено стручњацима, инжењерима или доносиоцима одлука да изврше поређење резултата, добијених на основу реализације различитих сценарија и да одлуче који од њих је са већим, а који са мањим последицама по друштвену заједницу, животну средину и да евентуално размотре и усвоје процедуре управљања ризиком. Перцепција ризика, на крају, подразумева начин на који ће, доносиоци одлука на различитим хијерархијским нивоима, прихватити процењене ризике који су добијени анализом и на који начин ће спровести мере за његову редукцију, ублажавање или избегавање. Важно је нагласити да је, у овом раду вршена процена ризика од клизишта „Умка“ и да се резултати, добијени свим анализама морају посматрати у том контексту. Наведена ограничења и недостаци примењених метода и поступака могу резултовати грешкама за добијене моделе процене ризика. Овим радом

је приказана важност прикупљања и анализирања велике количине података, који су били од значаја за процену ризика од клизишта, на основу квантитативне анализе.

Одрицање од одговорности:

Резултати приказани у овом раду су на првом месту намењени стручној и научној јавности из области инжењерске геологије и геотехнике који се баве анализом и проценом ризика од клизишта.

Процена вредности некретнине, за потребе вештачења или надокнаде штете пред државним органима, мора бити обављена у складу са законским прописима од стране лиценцираног процењивача, док се степен настале штете мора утврдити од стране регистрованог судског вештака. Процена настале штете представља комплексну процедуру, која би у случају клизишта „Умка“, ако се узме у обзир број оштећених објеката, представљала скуп и дуготрајан процес. У складу са наведеним, све вредности процењене штете, које су добијене у овом раду се ***не могу*** *користити као релевантан и меродаван податак, који би се користио за процену и потраживања штете или накнаде пред државним органима, осигуравајућим заводима, управним и судским поступцима и свим другим споровима.*

Резултати представљају самосталан научно-истраживачки рад и виђење аутора за потребе израде дисертације, имају научни карактер и подложни су дискусији и ревизији од стране академске заједнице.

9. Литература

Abolmasov, B., Đurić, U., Pavlović, R., Trivić, B., 2012a. Tracking of slow moving landslide by photogrammetric data — a case study, in: Eberhardt, E., Froese, C., Turner, K., Leroueil, S. (Eds.), Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding - Proceedings of the 11th International Symposium on Landslides and 2nd North American Symposium on Landslides. Taylor & Francis Group, Banff, Canda, pp. 1359–1363.

Abolmasov, B., Milenković, S., Jelisavac, B., Durić, U., Marjanovic, M., 2014. IPL Project 181: Study of Slow Moving Landslide Umka Near Belgrade, Serbia, Landslide Science for a Safer Geoenvironment, pp. 75-80. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04999-1_5

Abolmasov, B., Milenković, S., Jelisavac, B., Vujanić, V., 2013. Landslide umka: The first automated monitoring project in Serbia, in: Landslide Science and Practice: Early Warning, Instrumentation and Monitoring. Springer Verlag Berlin, pp. 339–345. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31445-2-44

Abolmasov, B., Milenković, S., Jelisavac, B., Vujanić, V., Pejić, M., Pejović, M., 2012b. Using GNSS sensors in real time monitoring of slow moving landslides-a case study, in: Al., E. et (Ed.), Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding. Proceedings of the 11th International and 2nd American Symposium on Landslides and Engineered Slopes, Banff, Canada, 3-8 June, 2012. Taylor&Francis Group, London, Banff, pp. 1381–1385.

Abolmasov, B., Milenković, S., Jelisavac, B., Vujanić, V., Stepanović, G., 2011. GNSS monitoring klizišta Umka u realnom vremenu, in: Folić, R. (Ed.), Zbornik Radova 4. Naučno-Stručnog Savetovanja Geotehnički Aspekti Građevinarstva, Zlatibor 01-03 Novembar 2011. Savez građevinskih inženjera Srbije, Zlatibor, pp. 205–211.

Abolmasov, B., Milenković, S., Marjanović, M., Đurić, U., Jelisavac, B., 2015. A geotechnical model of the Umka landslide with reference to landslides in weathered Neogene marls in Serbia. Landslides, pp. 689–702. https://doi.org/10.1007/s10346-014-0499-4

Abolmasov, B., Pejić, M., Samardžić-Petrović, M., Đurić, U., Milenković, S., 2018. Automated GNSS monitoring of Umka landslide – review of seven years' experience and results, in: Jemec-Auflič, M., Matjaž, M., Verbovšek, T. (Eds.), Advances in Landslide Research. Proceedings of the 3rd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic Balkan Region, Ljubljana, Slovenia. Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, pp. 65–70. https://doi.org/10.5474/9789616498593

Aleotti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58, pp. 21–44. https://doi.org/10.1007/s100640050066

Atanasova-Zlatareva, M., Nikolov, H., 2017. Displacements Monitoring Of The Trifon Zarezan Landslide By Gnss Observations And Insar Introduction, in: The Proceedings of the 9th Congress of the Balkan Geophysical Society Are Available. EAEGE, Antalya, Turkey, pp. 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201702567

Australian Geomechanics Society (AGS), 2000. Landslide risk management concepts and guidelines. Australian Geomechical Society, Sub-committee Landslide Risk Manag. p 92.

Ayoub, F., Leprince, S., Avouac, J.P., 2009a. Co-registration and correlation of aerial photographs for ground deformation measurements. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.005

Ayoub, F., Leprince, S., Keene, L., 2009b. User's Guide to COSI-CORR Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation. Book.

Bamler, R., Hartl, P., 1998. Synthetic aperture radar interferometry. Inverse Problems 14(4), pp R1-R54. https://doi.org/10.1088/0266-5611/14/4/001

Božinović, D., 1979. Geotehničke osobine terena u području Beograda koje izgradjuju koherentni gornjemiocenski sedimenti. Doktorska teza. Univerzitet u Beogradu, Beograd.

Božinović, D., Ćorić, S., Vujanić, V., Jotić, S., 1993. Marls, Slope stability analysis in stiff fissured clays and, in: Proceedings of Int. Symp. – Geotechnical Engineering of Hard Soils -Soft Rocks. Athens, pp. 1077–1086.

Božinović, D., Vujanić, V., Livada, N., Marković, M., 1982. Landslides on slopes of Danube and Sava rivers near Belgrade, in: Proceedings of 4th IAEG Congress, New Delhi. IAEG, New Delhi, pp. 253–263.

Brunsden, D., & Jones, D. K. C., 1972. The morphology of degraded landslide slopes in South West Dorset. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 5(3), pp. 205–222. doi:10.1144/gsl.qjeg.1972.005.03.01

Casson, B., Delacourt, C., Baratoux, D., & Allemand, P., 2003. Seventeen years of the "La Clapière" landslide evolution analysed from ortho-rectified aerial photographs. Engineering Geology, 68(1-2), pp. 123–139. doi:10.1016/s0013-7952(02)00201-6

Castellanos Abella, E. A., & Van Westen, C. J. 2008. Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. Geomorphology, 94(3-4), pp 453–466. doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.038

Chen, R.H., Chameau, J.-L., 1983. Three-dimensional limit equilibrium analysis of slopes. Géotechnique 33, pp 31–40. https://doi.org/10.1680/geot.1983.33.1.31

Ciampalini, A., Raspini, F., Lagomarsino, D., Catani, F., & Casagli, N., 2016. Landslide susceptibility map refinement using PSInSAR data. Remote Sensing of Environment, 184, pp. 302–315. doi:10.1016/j.rse.2016.07.018

Colesanti, C., & Wasowski, J., 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. Engineering Geology, 88(3-4), pp. 173–199. doi:10.1016/j.enggeo.2006.09.013

Cooper, A.H., 2008. The classification, recording, databasing and use of information about building damage caused by subsidence and landslides. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 41, pp. 409–424. https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-223

Ćorić, S., 2008. Geostatički proračuni, treće izdanje. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološko fakultet, Časopis "Izgradnja," Beograd.

Ćorić, S., Božinović, D., Vujanić, V., Jotić, M., Jelisavac, B., 1996. Geotechnical characteristics of old landslides in Belgrade area, in: Proceedings of the 7th Int Symp on Landslides, Trondheim. CRC Press, pp. 689–694.

Ćorić, S., Dušanka, B., Vujanić, V., Jotić, M., Jelisavac, B., 1994. Slope stability analysis in Neogene clays and marls, in: Proceedings of 7th IAEG Congress, Lisbon. IAEG, Lisbon, pp. 1759–1789.

Corominas, J., Moya, J., 2008. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. Eng. Geol. 102, pp. 193–213. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.018

Corominas, J., van 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 the Environment, 73, pp. 209–263. https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8

Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., & Crippa, B., 2016. Persistent Scatterer Interferometry: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, pp. 78–89. doi:10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011

Crozier, M. J., & Glade, T., 2012. Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach. Landslide Hazard and Risk, pp. 1–40. doi:10.1002/9780470012659.ch1

Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes, in: Landslides Investigation and Mitigation; Transportation Research Board.

Cvijić, J., 1909. Jezerska plastika Šumadije. Glasnik srpske kraljevske akademije nauka. LXXIX.

Dangić, A., Vujanić, V., Josipović, J., Jotić, M., Jelisavac, B., 1997. Geochemical and geotechnical study of complex landslide in vicinity of Belgrade, Yugoslavia, in: Proceedings of Int Symp on Engineering Geology and Environment, Athens. Balkema Publishers, Athens, pp. 581–566.

Del Soldato, M., Bianchini, S., Calcaterra, D., De Vita, P., Martire, D. D., Tomás, R., & Casagli, N. , 2017. A new approach for landslide-induced damage assessment. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8(2), pp. 1524–1537. doi:10.1080/19475705.2017.1347896

Del Ventisette, C., Righini, G., Moretti, S., & Casagli, N., 2014. Multitemporal landslides inventory map updating using spaceborne SAR analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 30, 238–246. doi:10.1016/j.jag.2014.02.008

Dewitte, O., Jasselette, J.-C., Cornet, Y., Collignon, A., Demoulin, A., 2006. Tracking landslide evolution over decades: Application of aerial digital photogrammetry to the Oudenaarde area (W Belgium). IAMG 2006 - 11th Int. Congr. Math. Geol. Quant. Geol. from Mult. Sources.

Duncan, J.M., Wright, S.G., 2005. Soil strength and slope stability, John Willey & Sons. Inc.

Đurić, U., Abolmasov, B., Pavlović, R., Trivić, B., 2011. Using ArcGis for Landslide Umka 3D Visualization, in: Proceeding of 17th Meeting of the Association of European Geological Societies. Serbian Geological Society, Belgrade,Serbia, pp. 21–25.

Đurić, U., Marjanović, M., Radić, Z., Abolmasov, B., 2019. Machine learning based landslide assessment of the Belgrade metropolitan area: Pixel resolution effects and a cross-scaling concept. Eng. Geol. 256, 23–38. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.05.007

Erić, V., Božić, B., Pejić, M., Abolmasov, B., Jelena, P., 2017. Permanent geodetic monitoring of the Umka Landslide using GNSS techonology and GeoMoss system, in: Abolmasov, B., Marjanović, M., Đurić, U. (Eds.), Procedings / 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region: 2nd ReSyLAB 2015, Belgrade, Serbia. University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, pp. 43–48.

Erić, V., Božić, B., Pejić, M., Abolmasov, B., Jelenađ, P., 2015. Permanent geodetic monitoring of the Umka Landslide using GNSS techonology and GeoMoss system, in: Abolmasov, B., Marjanović, M., Uroš, Đ. (Eds.), Procedings of 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region - 2nd ReSyLAB 2015. University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, pp. 43–46.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008a. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Eng. Geol. 102, 85–98. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008b. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Eng. Geol. 102, pp. 85–98. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F., 2007. InSAR Principles:Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation (TM-19, February 2007).

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39, pp. 8–20. https://doi.org/10.1109/36.898661

Filipović, I., Rodin, V., 1980. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, tumač za list Obrenovac (K34-125). Savezni geološki zavod, Beograd.

Filipović, I., Rodin, V., Pavlović, Z., Marković, B., Milićević, M., Atin, B., 1976. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Obrenovac (K34-125). Savezni geološki zavod, Beograd, Beograd.

Garevski, M., Zugic, Z., Sesov, V., 2013. Advanced seismic slope stability analysis. Landslides 10, 729–736. https://doi.org/10.1007/s10346-012-0360-6

Glade, T., 1998. Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. Environmental Geology, 35(2-3), pp. 160–174. doi:10.1007/s002540050302

Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J., 2005. Landslide Hazard and Risk, Landslide Hazard and Risk. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, England. https://doi.org/10.1002/9780470012659

Gullà, G., Peduto, D., Borrelli, L., Antronico, L., & Fornaro, G., 2016. Geometric and kinematic characterization of landslides affecting urban areas: the Lungro case study (Calabria, Southern Italy). Landslides, 14(1), pp. 171–188. doi:10.1007/s10346-015-0676-0

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, in: Geomorphology. Elsevier, pp. 181–216. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1

Hadži-Niković, G., 1995. Stabilnost starih klizišta u tercijarnim terenima šireg područja Beograda - priobalje Save i Dunava, Magistarska teza. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

Hungr, O., 2018. Some methods of landslide hazard intensity mapping, in: Landslide Risk Assessment. https://doi.org/10.1201/9780203749524-12

Hungr, O., Salgado, F.M., Byrne, P.M., 1989. Evaluation of a three-dimensional method of slope stability analysis. Can. Geotech. J. 26, 679–686. https://doi.org/10.1139/t89-079

Hutchinson, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. J. Hydrol. https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5

Jelisavac, B., Milenković, S., Živković, S., 2006. Autoput E-763; Beograd-Ljig-Požega;Sektor 1;Deonica II - Umka - Obrenovac; km 6+750-14+416; Idejni projekat - Finalna dokumentacija; Knjiga II.2.2 - Inženjerskogeološki i geotehnički uslovi. Beograd.

Johnson, K.E., Stake, R.E., 1996. The Art of Case Study Research. Mod. Lang. J. 80, 556. https://doi.org/10.2307/329758

Knill, J., 2003. Core values: the first Hans-Cloos lecture. Bull. Eng. Geol. Environ. 62, 1–34. https://doi.org/10.1007/s10064-002-0187-9

Komac, M., Holley, R., Mahapatra, P., van der Marel, H., Bavec, M., 2015. Coupling of GPS/GNSS and radar interferometric data for a 3D surface displacement monitoring of landslides. Landslides 12, 241–257. https://doi.org/10.1007/s10346-014-0482-0

Lam, L., Fredlund, D.G., 1993. A general limit equilibrium model for three-dimensional slope stability analysis. Can. Geotech. J. https://doi.org/10.1017/S1431927698980047

Lazecky, M., Bakon, M., Sousa, J.J., Perissin, D., Hlavacova, I., Patricio, G., Papco, J., Rapant, P., Real, N., 2015. Potential of multi-temporal InSAR techniques for structural health monitoring, in: Proceedings of [FP1] FRINGE'15: Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop. European Space Agency,. https://doi.org/10.5270/Fringe2015.pp324

Lee, M., Jones, D., 2014. Landslide Risk Assessment, 2nd ed. ICE Publishing. https://doi.org/10.1680/lra.58019

Leshchinsky, D., Baker, R., Silver, M.L., 1985. Three dimensional analysis of slope stability. Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech. 9, 199–223. https://doi.org/10.1002/nag.1610090302

Lokin, P., Sunarić, D., Cvetković, T., 1988. Landslides in Neogene sediments on the right Danube bank, Yugoslavia, in: Bonnard, C. (Ed.), Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides. Balkema, Lausanne, pp. 213–217.

Luković, M., 1951. Važniji tipovi naših klizišta i mogućnost njihovog saniranja. Geološki Vesn. IX, 275–310.

Mahalingam, R., Olsen, M.J., O'Banion, M.S., 2016. Evaluation of landslide susceptibility mapping techniques using lidar-derived conditioning factors (Oregon case study). Geomatics, Nat. Hazards Risk 7, 1884–1907. https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1172520

Marković, B., Obradinović, Z., Veselinović, M., Anđelković, J., Stevanović, P., Rakić, M., 1985.

Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Beograd (K34-113). Savezni geološki zavod, Beograd.

Marković, B., Obradinović, Z., Veselinović, M., Anđelković, J., Stevanović, P., Rakić, M., Roglić, Č., Zoran Obradinović, 1984. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, tumač za list Beograd (K34-113). Savezni geološki zavod, Beograd.

McCabe, G.J., Markstrom, S.L., 2007. A Monthly Water-Balance Model Driven By a Graphical User Interface: U.S. Geological Survey Open-File report 2007-1088, USGS Open-File Report 2007-1088.

McSaveney, M.J., Griffiths, G.A., 1987. Drought, rain, and movement of a recurrent earthflow complex in New Zealand. Geology. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1987)15<643:DRAMOA>2.0.CO;2

Meisina, C., Zucca, F., Fossati, D., Ceriani, M., Allievi, J., 2006. Ground deformation monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: The example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy). Eng. Geol. 88, 240–259. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.09.010

Miljević, M., 2007. Skripta iz metodologije naučnog rada. Pale.

Palmisano, F., Vitone, C., Cotecchia, F., 2016a. Methodology for Landslide Damage Assessment, in: Procedia Engineering. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.679

Palmisano, F., Vitone, C., Cotecchia, F., 2016b. Methodology for Landslide Damage Assessment. Procedia Eng. 161, 511–515. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.679

Parry, S., Baynes, F.J., Culshaw, M.G., Eggers, M., Keaton, J.F., Lentfer, K., Novotny, J., Paul, D., 2014a. Engineering geological models: an introduction: IAEG commission 25. Bull. Eng. Geol. Environ. 73, 689–706. https://doi.org/10.1007/s10064-014-0576-x

Parry, S., Baynes, F.J., Culshaw, M.G., Eggers, M., Keaton, J.F., Lentfer, K., Novotny, J., Paul, D., 2014b. Engineering geological models: an introduction: IAEG commission 25. Bull. Eng. Geol. Environ. 73, 689–706. https://doi.org/10.1007/s10064-014-0576-x

Pascale, S., Sdao, F., Sole, A., 2010. A model for assessing the systemic vulnerability in landslide prone areas. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10, 1575–1590. https://doi.org/10.5194/nhess-10-1575-2010

Peduto, D., Nicodemo, G., Maccabiani, J., Ferlisi, S., 2017. Multi-scale analysis of settlement-induced building damage using damage surveys and DInSAR data: A case study in The Netherlands. Eng. Geol. 218, 117–133. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.12.018

Perić, J., 1970. Hipoteza o uzrocima nastanka klizišta u padini duž desne obale Dunava od Vinče do Grocke. Zb. Rad. Rud. Fak. Univ. u Beogradu 13, 213–226.

Perissin, D., 2016. Interferometric SAR Multitemporal Processing: Techniques and Applications, in: Multitemporal Remote Sensing, Remote Sensing and Digital Image Processing. pp. 145–176. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47037-5_8

Perissin, D., Wang, Z., Wang, T., 2011. The SARPROZ InSAR tool for urban subsidence/manmade structure stability monitoring in China, in: 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment - The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring.

Polemio, M., Petrucci, O., 2000. Rainfall as a Landslide Triggering Factor : An Overview of Recent International Research. 8th Int. Symp. Landslides Cardiff, UK.

Programme, S.F. work, 2012. Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies. Work. https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-368

Prokešová, R., Kardoš, M., Medveďová, A., 2010a. Landslide dynamics from high-resolution aerial photographs: A case study from the Western Carpathians, Slovakia. Geomorphology 115, 90–101. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.033

Reid, M., Christian, S., Brien, D., Henderso, S., 2015. Scoops3D: Software to Analyze Three-Dimensional Slope Stability Throughout a Digital Landscape. U.S. Geological Survey.

Rokić, L., 1997. Origin of landslides on the right bank of Danube River near Novi Sad, in: Marinos P, Koukis GC, Tsiambaos GC, Stournaras GC, Hungr O (Eds.), Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and Environment, Athens, Greece, 23-27 June 1997. Balkema Rotterdam, Athens, pp. 1003–1008.

Rokić, L., Vujanić, V., 2002. A contribution on the study of landslide origins in Neogene sediments of Danube river coastal area, in: Rybar J, Stemberk J, W.P. (Ed.), Proceedings of the 1st European Conference on Landslides. Balkema Publishers, Prague, Czech Republic, pp. 291–298.

Rokić, L., Vujanić, V., Jotić, M., 1998. Forecast of the landslide development processes based on the study of erosion processes of rivers in the plains, in: Hungr, M.D. (Ed.), Proceedings of 8th International IAEG Congress. Balkema Rotterdam, Vancouver, Canada, pp. 1485–1491.

Šiljeg, A., Lozić, S., Radoš, D., 2015. The effect of interpolation methods on the quality of a digital terrain model for geomorphometric analyses. Tehički Vjesnik - Techical Gazette. 22, 1149–1156. https://doi.org/10.17559/tv-20131010223216

Solari, L., Bianchini, S., Franceschini, R., Barra, A., Monserrat, O., Thuegaz, P., Bertolo, D., Crosetto, M., Catani, F., 2020. Satellite interferometric data for landslide intensity evaluation in mountainous regions. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102028

Stark, T.D., Ruffing, D.G., 2017. Selecting Minimum Factors of Safety for 3D Slope Stability Analyses, in: Geotechnical Special Publication, Geo-Risk 2017 June 4–7, 2017 ,Denver, Colorado. ASCE, Denver, pp. 259–266. https://doi.org/10.1061/9780784480700.025

IAEG Commission on Landslides, Suggested nomenclature for landslides, 1990. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 41(1), 13–16. https://doi.org/10.1007/BF02590202

Sušić, Z., 2014. Geodinamička analiza pomearnja zemljine kore regionalnog karaktera, doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

Šutić, J., Božinović, D., 1978. Geotechnical problems involved in the construction of transportation lines in Yugoslavia, in: Proceedings of 3rd IAEG Congress, Madrid. IAEG, Madrid, pp. 270–281.

Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, 38(1), 55. doi:10.2307/210739

Tiwari, B., Douglas, R., 2012. Application of GIS tools for three-dimensional slope stability analysis of pre-existing landslides, in: Geotechnical Special Publication, GeoCongress 2012 March 25-29, 2012, Oakland, California. Oakland, pp. 479–488. https://doi.org/10.1061/9780784412121.050

Uzielli, M., 2012. Probabilistic vulnerability estimation for geohazards by simulation, in: Proceedings of Risk Analysis. Brač, pp. 19–21.

Uzielli, M., Catani, F., Tofani, V., Casagli, N., 2015a. Risk analysis for the Ancona landslide—I: characterization of landslide kinematics. Landslides. https://doi.org/10.1007/s10346-014-0474-0

Uzielli, M., Catani, F., Tofani, V., Casagli, N., 2015b. Risk analysis for the Ancona landslide—II: estimation of risk to buildings. Landslides 12, 83–100. https://doi.org/10.1007/s10346-014-0477-x

Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., Kaynia, A.M., 2008. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. Eng. Geol. 102, pp. 251–256. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.011

Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Eng. Geol. 102, pp. 112–131. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010

Van Westen, C.J., Lulie Getahun, F., 2003. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. Geomorphology 54, pp. 77–89. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00057-6

Van Westen, C.J., van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2006. L&slide hazard and risk zonation - Why is it still so difficult? Bull. Eng. Geol. Environ. 65, pp. 167–184. https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0

Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes, in: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control. https://doi.org/In Special report 176: Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Varnes, D.J., 1981. The principles and practice of landslide hazard zonation. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 23, pp. 13–14. https://doi.org/10.1007/BF02594720

Vujanić, V., Jotić, M., Jelisavac, B., Božinović, D., Ćorić, S., 1995. Sinteza rezultata geotehničkih istraživanja klizišta na Savi: Umka i Duboko, in: Mitrković, P. (Ed.), Zbornik Radova 2. Simpozijuma "Istraživanje i Sanacija Klizišta." Institut za puteve, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Donji Milanovac, pp. 335–351.

Vujanić, V., Jotić, M., Jelisavac, B., Josipović, J., 1992. Geotehnička istraživanja terena u zoni klizišta Umka i duboko.

Vujanić, V., Livada, N., Božinović, D., 1984. On an Old Landslide in Neogene Clays on the Right

Bank of the Sava near Belgrade, in: Proceedings of 4th Int Symp on Landslides, Toronto,. Canadian Geotechnical Society, Toronto, pp. 227-233.

Walstra, J., Dixon, N., Chandler, J.H., 2007a. Historical aerial photographs for landslide assessment: two case histories. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 40, pp. 315–332. https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-011

Walstra, J., Dixon, N., Chandler, J.H., 2007b. Historical aerial photographs for landslide assessment: two case histories. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-011

Wang, C., Arbanas, Ž., Mihalić, S., Marui, H., 2013. Three dimensional stability analysis of the grohovo landslide in Croatia, in: Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling. pp. 47-52. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31310-3-7

Wang, M., Liu, K., Yang, G., Xie, J., 2017. Three-dimensional slope stability analysis using laser scanning and numerical simulation. Geomatics, Nat. Hazards Risk 8, pp. 997–1011. https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1290696

Y. K. Chan and V. C. Koo, 2008. An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR). Prog. Electromagn. Res. B. pp. 27-60. https://doi.org/10.2528/PIERB07110101

Yalcin, A., 2007. The effects of clay on landslides: A case study. Appl. Clay Sci. 38, pp. 77–85. https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.01.007

Yin, R., 1983. Case Study Reserach - Design and Methods, in: Applied Social Research Methods Series. https://doi.org/10.1097/FCH.0b013e31822dda9e

Zainal, Z., 2007. Case study as a research method. J. Kemanusiaan. https://doi.org/10.1177/15222302004003007

Zalite, K., Voormansik, K., 2016. Diferential and Persistent Scatterer SAR Interferometry.

Županović, L., Opatić, K., Bernat, S., 2012. Određivanje pomaka klizišta Kostanjek relativnom statičkom metodom. Ekscentar 15, 46–53.

Ђурић, В., 1953. Умка (развој једног градског насеља у близини Београда). Гласник српског географског друштва 131–143.

Ђурић, У., 2011. Примена ГИС-а у праћењу динамике клизишта “Умка”; дипломски рад. Универзитет у Београду, Рударско геолошки факултет.

Марковић, М., 1984. Квантитативна геоморфолошка анализа у инжењерскогеолошким истраживањима, in: Зборник Реферата VIII Југословенског Симпозијума о Хидрогеологији и Инжењерској Геологији, Књига 2. Савез инжењера и техничара рударске, геолошке и металуршке струке, Будва, pp. 55–63.

Марковић, М., Павловић, Р., Чупковић, Т., 1995. Кабинетска испитивања клизишта на десној обали Дунава код Новог Сада, in: Други Симпозијум Истраживање и Санација Клизишта. Институт за путеве, Београд; Рударско-геолошки факултет, Доњи Милановац, pp. 143–149.

Granule Name	Absolute Orbit	Relative Orbit & Path	Frame No.	Acquisition Date	Processing Date	Start Time	End Time	Center Lat	Center Lon	Near Start Lat	Near Start Lon	Far Start Lat	Far Start Lon	Near End Lat	Near End Lon	Far End Lat	Far End Lon	Size (GB)
S1A_IW_SLC__1SDV_20181231T163332_20181231T163359_025272_02CB7B_1EA4	25272	175	142	2018-12-31T16:33:59	2018-12-31T16:33:32	2018-12-31T16:33:32	2018-12-31T16:33:59	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.49
S1A_IW_SLC__1SDV_20181219T163332_20181219T163359_025097_02C529_2A35	25097	175	142	2018-12-19T16:33:59	2018-12-19T16:33:32	2018-12-19T16:33:32	2018-12-19T16:33:59	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.37
S1A_IW_SLC__1SDV_20181207T163333_20181207T163400_024922_02BED1_324E	24922	175	142	2018-12-07T16:34:00	2018-12-07T16:33:33	2018-12-07T16:33:33	2018-12-07T16:34:00	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.39
S1A_IW_SLC__1SDV_20181125T163333_20181125T163400_024747_02B8F6_3792	24747	175	142	2018-11-25T16:34:00	2018-11-25T16:33:33	2018-11-25T16:33:33	2018-11-25T16:34:00	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.49
S1A_IW_SLC__1SDV_20181113T163333_20181113T163400_024572_02B287_9AC8	24572	175	142	2018-11-13T16:34:00	2018-11-13T16:33:33	2018-11-13T16:33:33	2018-11-13T16:34:00	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.30
S1A_IW_SLC__1SDV_20181101T163334_20181101T163401_024397_02AC1E_5A78	24397	175	142	2018-11-01T16:34:01	2018-11-01T16:33:34	2018-11-01T16:33:34	2018-11-01T16:34:01	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.35
S1A_IW_SLC__1SDV_20181020T163334_20181020T163401_024222_02A667_2DED	24222	175	142	2018-10-20T16:34:01	2018-10-20T16:33:34	2018-10-20T16:33:34	2018-10-20T16:34:01	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.35
S1A_IW_SLC__1SDV_20181008T163334_20181008T163400_024047_02A0B3_39D8	24047	175	142	2018-10-08T16:34:00	2018-10-08T16:33:34	2018-10-08T16:33:34	2018-10-08T16:34:00	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.33
S1A_IW_SLC__1SDV_20180926T163333_20180926T163400_023872_029AF2_E630	23872	175	142	2018-09-26T16:34:00	2018-09-26T16:33:33	2018-09-26T16:33:33	2018-09-26T16:34:00	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.33
S1A_IW_SLC__1SDV_20180914T163333_20180914T163400_023697_029542_ED3B	23697	175	142	2018-09-14T16:34:00	2018-09-14T16:33:33	2018-09-14T16:33:33	2018-09-14T16:34:00	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.38
S1A_IW_SLC__1SDV_20180902T163333_20180902T163400_023522_028FA9_2598	23522	175	142	2018-09-02T16:34:00	2018-09-02T16:33:33	2018-09-02T16:33:33	2018-09-02T16:34:00	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.43
S1A_IW_SLC__1SDV_20180821T163332_20180821T163359_023347_028A1C_00F1	23347	175	142	2018-08-21T16:33:59	2018-08-21T16:33:32	2018-08-21T16:33:32	2018-08-21T16:33:59	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.43
S1A_IW_SLC__1SDV_20180809T163331_20180809T163358_023172_028471_47A9	23172	175	142	2018-08-09T16:33:58	2018-08-09T16:33:31	2018-08-09T16:33:31	2018-08-09T16:33:58	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.78	45.36	18.14	45.76	21.42	4.46
S1A_IW_SLC__1SDV_20180728T163331_20180728T163357_022997_027EFE_DEFF	22997	175	142	2018-07-28T16:33:57	2018-07-28T16:33:31	2018-07-28T16:33:31	2018-07-28T16:33:57	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.78	45.36	18.14	45.76	21.42	4.51
S1A_IW_SLC__1SDV_20180716T163330_20180716T163357_022822_027976_48A4	22822	175	142	2018-07-16T16:33:57	2018-07-16T16:33:30	2018-07-16T16:33:30	2018-07-16T16:33:57	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.48
S1A_IW_SLC__1SDV_20180704T163329_20180704T163356_022647_02742B_858A	22647	175	142	2018-07-04T16:33:56	2018-07-04T16:33:29	2018-07-04T16:33:29	2018-07-04T16:33:56	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.78	45.36	18.14	45.76	21.42	4.47
S1A_IW_SLC__1SDV_20180622T163328_20180622T163355_022472_026F0D_13FF	22472	175	142	2018-06-22T16:33:55	2018-06-22T16:33:28	2018-06-22T16:33:28	2018-06-22T16:33:55	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.51
S1A_IW_SLC__1SDV_20180610T163328_20180610T163355_022297_0269C4_C619	22297	175	142	2018-06-10T16:33:55	2018-06-10T16:33:28	2018-06-10T16:33:28	2018-06-10T16:33:55	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.48
S1A_IW_SLC__1SDV_20180529T163327_20180529T163354_022122_02644E_BCB5	22122	175	142	2018-05-29T16:33:54	2018-05-29T16:33:27	2018-05-29T16:33:27	2018-05-29T16:33:54	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.78	45.36	18.14	45.76	21.42	4.41
S1A_IW_SLC__1SDV_20180517T163326_20180517T163353_021947_025EAE_2F04	21947	175	142	2018-05-17T16:33:53	2018-05-17T16:33:26	2018-05-17T16:33:26	2018-05-17T16:33:53	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.41
S1A_IW_SLC__1SDV_20180505T163326_20180505T163353_021772_02591F_014E	21772	175	142	2018-05-05T16:33:53	2018-05-05T16:33:26	2018-05-05T16:33:26	2018-05-05T16:33:53	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.37
S1A_IW_SLC__1SDV_20180423T163325_20180423T163352_021597_025393_C1EA	21597	175	142	2018-04-23T16:33:52	2018-04-23T16:33:25	2018-04-23T16:33:25	2018-04-23T16:33:52	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.34
S1A_IW_SLC__1SDV_20180411T163325_20180411T163352_021422_024E24_15D5	21422	175	142	2018-04-11T16:33:52	2018-04-11T16:33:25	2018-04-11T16:33:25	2018-04-11T16:33:52	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.38
S1A_IW_SLC__1SDV_20180330T163324_20180330T163351_021247_0248AC_B825	21247	175	142	2018-03-30T16:33:51	2018-03-30T16:33:24	2018-03-30T16:33:24	2018-03-30T16:33:51	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4.41
S1A_IW_SLC__1SDV_20180318T163324_20180318T163351_021072_02431A_7D41	21072	175	142	2018-03-18T16:33:50	2018-03-20T23:16:58	2018-03-18T16:33:25	2018-03-18T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4.50
S1A_IW_SLC__1SDV_20180306T163324_20180306T163351_020897_023D94_1EE3	20897	175	142	2018-03-06T16:33:50	2018-03-09T15:03:45	2018-03-06T16:33:25	2018-03-06T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.15	45.70	21.49	4.47
S1A_IW_SLC__1SDV_20180222T163324_20180222T163351_020722_02380B_5B8D	20722	175	142	2018-02-22T16:33:51	2018-02-22T22:23:10	2018-02-22T16:33:25	2018-02-22T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.15	45.70	21.49	4.48
S1A_IW_SLC__1SDV_20180210T163324_20180210T163351_020547_023277_3F3D	20547	175	142	2018-02-10T16:33:51	2018-02-13T01:10:20	2018-02-10T16:33:25	2018-02-10T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.15	45.70	21.49	4.46
S1A_IW_SLC__1SDV_20180129T163324_20180129T163351_020372_022CDC_3860	20372	175	142	2018-01-29T16:33:51	2018-01-30T16:58:25	2018-01-29T16:33:25	2018-01-29T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4.39
S1A_IW_SLC__1SDV_20180117T163324_20180117T163351_020197_02274F_8D62	20197	175	142	2018-01-17T16:33:51	2018-01-18T02:36:40	2018-01-17T16:33:25	2018-01-17T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4.56
S1A_IW_SLC__1SDV_20180105T163325_20180105T163352_020022_0221BE_3555	20022	175	142	2018-01-05T16:33:52	2018-01-05T21:37:23	2018-01-05T16:33:25	2018-01-05T16:33:52	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,51
S1A_IW_SLC__1SDV_20171224T163325_20171224T163352_019847_021C36_1F06	19847	175	142	2017-12-24T16:33:52	2017-12-24T21:47:37	2017-12-24T16:33:25	2017-12-24T16:33:52	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20171212T163326_20171212T163353_019672_0216D6_4289	19672	175	142	2017-12-12T16:33:53	2017-12-12T21:09:17	2017-12-12T16:33:26	2017-12-12T16:33:53	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,47
S1A_IW_SLC__1SDV_20171130T163326_20171130T163353_019497_021158_8F5C	19497	175	142	2017-11-30T16:33:53	2017-11-30T23:17:46	2017-11-30T16:33:26	2017-11-30T16:33:53	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,55
S1A_IW_SLC__1SDV_20171118T163327_20171118T163354_019322_020BE0_A7F9	19322	175	142	2017-11-18T16:33:54	2017-11-22T21:04:28	2017-11-18T16:33:27	2017-11-18T16:33:54	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,49
S1A_IW_SLC__1SDV_20171106T163327_20171106T163354_019147_020667_B3A9	19147	175	142	2017-11-06T16:33:54	2017-11-06T22:59:37	2017-11-06T16:33:27	2017-11-06T16:33:54	44.76	19.98	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,37
S1A_IW_SLC__1SDV_20171025T163327_20171025T163354_018972_0200FE_532F	18972	175	142	2017-10-25T16:33:54	2017-10-28T23:33:52	2017-10-25T16:33:27	2017-10-25T16:33:54	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20171013T163327_20171013T163354_018797_01FBAE_5DD0	18797	175	142	2017-10-13T16:33:54	2017-10-16T07:51:54	2017-10-13T16:33:27	2017-10-13T16:33:54	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,33
S1A_IW_SLC__1SDV_20170919T163327_20170919T163353_018447_01F0F7_4FD1	18447	175	142	2017-09-19T16:33:53	2017-09-19T22:27:07	2017-09-19T16:33:27	2017-09-19T16:33:52	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,40
S1A_IW_SLC__1SDV_20170907T163326_20170907T163353_018272_01EB91_A4AF	18272	175	142	2017-09-07T16:33:53	2017-09-09T03:33:52	2017-09-07T16:33:27	2017-09-07T16:33:52	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,35
S1A_IW_SLC__1SDV_20170826T163326_20170826T163353_018097_01E641_7E4C	18097	175	142	2017-08-26T16:33:53	2017-08-28T02:51:08	2017-08-26T16:33:27	2017-08-26T16:33:52	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.71	21.49	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20170814T163325_20170814T163352_017922_01E0F5_E7AA	17922	175	142	2017-08-14T16:33:52	2017-08-14T23:39:59	2017-08-14T16:33:26	2017-08-14T16:33:51	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.15	45.70	21.49	4,44
S1A_IW_SLC__1SDV_20170802T163324_20170802T163351_017747_01DBA1_ECF2	17747	175	142	2017-08-02T16:33:51	2017-08-07T03:26:53	2017-08-02T16:33:25	2017-08-02T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,40
S1A_IW_SLC__1SDV_20170721T163324_20170721T163351_017572_01D647_0CB4	17572	175	142	2017-07-21T16:33:51	2017-08-08T19:28:36	2017-07-21T16:33:25	2017-07-21T16:33:50	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,42
S1A_IW_SLC__1SDV_20170709T163323_20170709T163350_017397_01D0F4_DACD	17397	175	142	2017-07-09T16:33:50	2017-07-15T01:38:19	2017-07-09T16:33:24	2017-07-09T16:33:49	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,42
S1A_IW_SLC__1SDV_20170627T163322_20170627T163349_017222_01CBAF_76EF	17222	175	142	2017-06-27T16:33:49	2017-06-29T12:46:16	2017-06-27T16:33:23	2017-06-27T16:33:48	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20170615T163322_20170615T163349_017047_01C65C_7D9D	17047	175	142	2017-06-15T16:33:49	2017-06-17T01:43:41	2017-06-15T16:33:23	2017-06-15T16:33:48	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20170603T163321_20170603T163348_016872_01C0F7_4B45	16872	175	142	2017-06-03T16:33:48	2017-10-03T16:07:44	2017-06-03T16:33:22	2017-06-03T16:33:47	44.76	20.01	43.80	18.59	44.21	21.84	45.30	18.16	45.70	21.49	4,41
S1A_IW_SLC__1SDV_20170522T163320_20170522T163347_016697_01BB8D_C2D7	16697	175	142	2017-05-22T16:33:47	2017-09-19T02:33:08	2017-05-22T16:33:20	2017-05-22T16:33:47	44.76	19.98	45.36	18.15	43.74	18.59	45.76	21.42	44.14	21.77	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20170510T163320_20170510T163347_016522_01B626_6AED	16522	175	142	2017-05-10T16:33:47	2017-09-05T14:56:32	2017-05-10T16:33:20	2017-05-10T16:33:47	44.76	19.98	45.36	18.14	43.74	18.59	45.76	21.42	44.14	21.77	4,30
S1A_IW_SLC__1SDV_20170428T163319_20170428T163346_016347_01B0DC_7224	16347	175	142	2017-04-28T16:33:46	2017-08-25T07:02:03	2017-04-28T16:33:20	2017-04-28T16:33:45	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,30
S1A_IW_SLC__1SDV_20170416T163318_20170416T163345_016172_01AB8D_2991	16172	175	142	2017-04-16T16:33:45	2017-08-11T16:35:12	2017-04-16T16:33:19	2017-04-16T16:33:44	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,35
S1A_IW_SLC__1SDV_20170404T163318_20170404T163345_015997_01A62F_912C	15997	175	142	2017-04-04T16:33:45	2017-07-30T14:50:55	2017-04-04T16:33:19	2017-04-04T16:33:44	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,29
S1A_IW_SLC__1SDV_20170323T163317_20170323T163344_015822_01A0FE_482F	15822	175	142	2017-03-23T16:33:44	2017-07-19T17:26:50	2017-03-23T16:33:18	2017-03-23T16:33:43	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,34
S1A_IW_SLC__1SDV_20170311T163317_20170311T163344_015647_019BCB_2BE5	15647	175	142	2017-03-11T16:33:44	2017-07-06T07:19:17	2017-03-11T16:33:18	2017-03-11T16:33:43	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20170227T163317_20170227T163344_015472_019680_D501	15472	175	142	2017-02-27T16:33:44	2017-06-25T10:01:11	2017-02-27T16:33:18	2017-02-27T16:33:43	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,35
S1A_IW_SLC__1SDV_20170215T163317_20170215T163344_015297_019128_3443	15297	175	142	2017-02-15T16:33:44	2017-06-12T21:54:44	2017-02-15T16:33:18	2017-02-15T16:33:43	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,30
S1A_IW_SLC__1SDV_20170203T163317_20170203T163344_015122_018B9B_A169	15122	175	142	2017-02-03T16:33:44	2017-05-15T20:27:21	2017-02-03T16:33:18	2017-02-03T16:33:43	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,44
S1A_IW_SLC__1SDV_20170122T163318_20170122T163345_014947_018655_6121	14947	175	142	2017-01-22T16:33:45	2017-05-03T13:54:09	2017-01-22T16:33:18	2017-01-22T16:33:45	44.76	19.96	45.36	18.14	43.74	18.59	45.76	21.38	44.14	21.73	4,20
S1A_IW_SLC__1SDV_20170110T163318_20170110T163345_014772_0180D5_A19F	14772	175	142	2017-01-10T16:33:45	2017-04-21T05:12:11	2017-01-10T16:33:19	2017-01-10T16:33:44	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,16
S1A_IW_SLC__1SDV_20161229T163320_20161229T163347_014597_017B9B_F0D8	14597	175	142	2016-12-29T16:33:47	2017-04-17T03:09:04	2016-12-29T16:33:20	2016-12-29T16:33:45	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,29
S1A_IW_SLC__1SDV_20161217T163320_20161217T163347_014422_01761E_A4FF	14422	175	142	2016-12-17T16:33:47	2017-04-29T17:20:42	2016-12-17T16:33:21	2016-12-17T16:33:46	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,26
S1A_IW_SLC__1SDV_20161205T163320_20161205T163347_014247_01709E_5E2B	14247	175	142	2016-12-05T16:33:47	2017-10-25T06:09:04	2016-12-05T16:33:2	2016-12-05T16:33:4	44.76	19.97	43.74	18.59	44.14	21.77	45.36	18.14	45.76	21.42	4,33
S1A_IW_SLC__1SDV_20161123T163321_20161123T163348_014072_016B1C_C4F2	14072	175	142	2016-11-23T16:33:48	2017-06-06T19:01:48	2016-11-23T16:33:22	2016-11-23T16:33:47	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,40
S1A_IW_SLC__1SDV_20161111T163321_20161111T163348_013897_0165D7_D3FD	13897	175	142	2016-11-11T16:33:48	2017-04-07T05:59:08	2016-11-11T16:33:22	2016-11-11T16:33:47	44.75	20.01	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,51
S1A_IW_SLC__1SDV_20161030T163321_20161030T163348_013722_01603F_095C	13722	175	142	2016-10-30T16:33:48	2016-11-03T02:27:28	2016-10-30T16:33:22	2016-10-30T16:33:47	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20161018T163321_20161018T163348_013547_015AEB_57F4	13547	175	142	2016-10-18T16:33:48	2016-10-28T14:20:48	2016-10-18T16:33:22	2016-10-18T16:33:47	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,42
S1A_IW_SLC__1SDV_20161006T163321_20161006T163348_013372_0155 4F_88C6	13372	175	142	2016-10-06T16:33:48	2016-10-07T00:41:40	2016-10-06T16:33:22	2016-10-06T16:33:47	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,39
S1A_IW_SLC__1SDV_20160807T163319_20160807T163346_012497_0138B9_CEAF	12497	175	142	2016-08-07T16:33:46	2016-08-10T12:15:03	2016-08-07T16:33:20	2016-08-07T16:33:45	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,48
S1A_IW_SLC__1SDV_20160726T163318_20160726T163345_012322_0132D2_79D6	12322	175	142	2016-07-26T16:33:45	2016-07-27T20:09:41	2016-07-26T16:33:19	2016-07-26T16:33:44	44.74	20.02	43.78	18.60	44.19	21.84	45.28	18.17	45.68	21.49	4,49
S1A_IW_SLC__1SDV_20160714T163318_20160714T163345_012147_012D2D_7BAB	12147	175	142	2016-07-14T16:33:45	2016-07-16T07:45:08	2016-07-14T16:33:18	2016-07-14T16:33:43	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,47
S1A_IW_SLC__1SDV_20160702T163317_20160702T163344_011972_012763_C980	11972	175	142	2016-07-02T16:33:44	2016-07-03T18:51:37	2016-07-02T16:33:18	2016-07-02T16:33:43	44.75	20.02	43.79	18.59	44.20	21.84	45.29	18.16	45.69	21.49	4,52
S1A_IW_SLC__1SDV_20160527T163308_20160527T163336_011447_0116DC_A5DB	11447	175	142	2016-05-27T16:33:36	2016-05-29T10:09:27	2016-05-27T16:33:08	2016-05-27T16:33:36	44.40	20.06	45.03	18.25	43.36	18.71	45.42	21.46	43.75	21.83	4,60
S1A_IW_SLC__1SDV_20160503T163307_20160503T163335_011097_010B89_3410	11097	175	142	2016-05-03T16:33:35	2016-05-04T09:01:16	2016-05-03T16:33:07	2016-05-03T16:33:35	44.40	20.06	45.03	18.25	43.36	18.71	45.42	21.46	43.75	21.83	4,65
S1A_IW_SLC__1SDV_20150930T163313_20150930T163340_007947_00B1AA_9450	7947	175	142	2015-09-30T16:33:40	2015-10-02T02:48:34	2015-09-30T16:33:15	2015-09-30T16:33:40	44.72	20.00	43.76	18.61	44.16	21.79	45.26	18.18	45.66	21.44	4.50

Platform Sentinel-1A
Sensor SENTINEL-1 C-SAR
Beam Mode IW
Beam Mode Description Interferometric Wide. 250 km swath, 5 m x 20 m spatial resolution and burst synchronization for interferometry.
IW is considered to be the standard mode over land masses.

Mode ASCENDING
Frame No 142
Proc. Lvl. SLC

ПРИЛОГ 1.1

Granule Name	Absolute Orbit	Relative Orbit & Path	Frame No.	Acquisition Date	Processing Date	Start Time	End Time	Center Lat	Center Lon	Near Start Lat	Near Start Lon	Far Start Lat	Far Start Lon	Near End Lat	Near End Lon	Far End Lat	Far End Lon	Size (GB)
S1A_IW_SLC__1SDV_20181230T044616_20181230T044643_025250_02CAB8_1732	25250	153	443	2018-12-30T04:46:43	2018-12-30T04:46:16	2018-12-30T04:46:16	2018-12-30T04:46:43	44.73	20.46	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.45
S1A_IW_SLC__1SDV_20181218T044616_20181218T044643_025075_02C45E_1683	25075	153	443	2018-12-18T04:46:43	2018-12-18T04:46:16	2018-12-18T04:46:16	2018-12-18T04:46:43	44.73	20.46	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.37
S1A_IW_SLC__1SDV_20181124T044617_20181124T044644_024725_02B828_FBEE	24725	153	443	2018-11-24T04:46:44	2018-11-24T04:46:17	2018-11-24T04:46:17	2018-11-24T04:46:44	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.42
S1A_IW_SLC__1SDV_20181112T044617_20181112T044644_024550_02B1B8_7CA0	24550	153	443	2018-11-12T04:46:44	2018-11-12T04:46:17	2018-11-12T04:46:17	2018-11-12T04:46:44	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.30
S1A_IW_SLC__1SDV_20181031T044617_20181031T044644_024375_02AB5B_173D	24375	153	443	2018-10-31T04:46:44	2018-10-31T04:46:17	2018-10-31T04:46:17	2018-10-31T04:46:44	44.73	20.46	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.35
S1A_IW_SLC__1SDV_20181019T044617_20181019T044644_024200_02A5B4_4578	24200	153	443	2018-10-19T04:46:44	2018-10-19T04:46:17	2018-10-19T04:46:17	2018-10-19T04:46:44	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.33
S1A_IW_SLC__1SDV_20181007T044617_20181007T044644_024025_02A000_4694	24025	153	443	2018-10-07T04:46:44	2018-10-07T04:46:17	2018-10-07T04:46:17	2018-10-07T04:46:44	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.31
S1A_IW_SLC__1SDV_20180925T044617_20180925T044644_023850_029A47_93FE	23850	153	443	2018-09-25T04:46:44	2018-09-25T04:46:17	2018-09-25T04:46:17	2018-09-25T04:46:44	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.42
S1A_IW_SLC__1SDV_20180913T044617_20180913T044644_023675_029492_BB6E	23675	153	443	2018-09-13T04:46:44	2018-09-13T04:46:17	2018-09-13T04:46:17	2018-09-13T04:46:44	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.37
S1A_IW_SLC__1SDV_20180901T044616_20180901T044643_023500_028EFC_E66A	23500	153	443	2018-09-01T04:46:43	2018-09-01T04:46:16	2018-09-01T04:46:16	2018-09-01T04:46:43	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.66	4.43
S1A_IW_SLC__1SDV_20180820T044616_20180820T044642_023325_02896E_1D7C	23325	153	443	2018-08-20T04:46:42	2018-08-20T04:46:16	2018-08-20T04:46:16	2018-08-20T04:46:42	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.45
S1A_IW_SLC__1SDV_20180808T044615_20180808T044642_023150_0283C3_34EE	23150	153	443	2018-08-08T04:46:42	2018-08-08T04:46:15	2018-08-08T04:46:15	2018-08-08T04:46:42	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.49
S1A_IW_SLC__1SDV_20180727T044614_20180727T044641_022975_027E48_3D8	22975	153	443	2018-07-27T04:46:41	2018-07-27T04:46:14	2018-07-27T04:46:14	2018-07-27T04:46:41	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.50
S1A_IW_SLC__1SDV_20180715T044613_20180715T044640_022800_0278C1_0611	22800	153	443	2018-07-15T04:46:40	2018-07-15T04:46:13	2018-07-15T04:46:13	2018-07-15T04:46:40	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.50
S1A_IW_SLC__1SDV_20180703T044613_20180703T044640_022625_027382_5C8E	22625	153	443	2018-07-03T04:46:40	2018-07-03T04:46:13	2018-07-03T04:46:13	2018-07-03T04:46:40	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.49
S1A_IW_SLC__1SDV_20180621T044612_20180621T044639_022450_026E6A_361D	22450	153	443	2018-06-21T04:46:39	2018-06-21T04:46:12	2018-06-21T04:46:12	2018-06-21T04:46:39	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.52
S1A_IW_SLC__1SDV_20180609T044611_20180609T044638_022275_026919_5650	22275	153	443	2018-06-09T04:46:38	2018-06-09T04:46:11	2018-06-09T04:46:11	2018-06-09T04:46:38	44.73	20.45	45.33	22.28	45.73	19.02	43.71	21.83	44.11	18.67	4.47
S1A_IW_SLC__1SDV_20180528T044622_20180528T044649_022100_02639E_C5C4	22100	153	445	2018-05-28T04:46:49	2018-05-28T04:46:22	2018-05-28T04:46:22	2018-05-28T04:46:49	44.07	20.29	44.67	22.09	45.07	18.87	43.05	21.65	43.45	18.52	4.45
S1A_IW_SLC__1SDV_20180504T044620_20180504T044647_021750_025872_B764	21750	153	445	2018-05-04T04:46:47	2018-05-04T04:46:20	2018-05-04T04:46:20	2018-05-04T04:46:47	44.07	20.29	44.67	22.09	45.07	18.88	43.05	21.65	43.45	18.52	4.42
S1A_IW_SLC__1SDV_20180422T044620_20180422T044647_021575_0252EF_132A	21575	153	445	2018-04-22T04:46:47	2018-04-22T04:46:20	2018-04-22T04:46:20	2018-04-22T04:46:47	44.07	20.29	44.67	22.09	45.07	18.88	43.05	21.65	43.45	18.52	4.42
S1A_IW_SLC__1SDV_20180410T044619_20180410T044646_021400_024D7E_89B0	21400	153	445	2018-04-10T04:46:49	2018-04-12T06:56:22	2018-04-10T04:46:17	2018-04-10T04:46:49	43.84	20.39	44.95	19.08	43.00	18.66	44.67	22.17	42.72	21.65	4,49
S1A_IW_SLC__1SDV_20180422T044620_20180422T044647_021575_0252EF_132A	21575	153	445	2018-04-22T04:46:50	2018-04-26T04:00:25	2018-04-22T04:46:17	2018-04-22T04:46:50	43.84	20.39	44.95	19.08	43.00	18.66	44.67	22.17	42.72	21.65	4,42
S1A_IW_SLC__1SDV_20180329T044610_20180329T044637_021225_024800_C33I	21225	153	444	2018-03-29T04:46:36	2018-03-29T19:35:15	2018-03-29T04:46:11	2018-03-29T04:46:36	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20180305T044609_20180305T044636_020875_023CE4_5E5E	20875	153	444	2018-03-05T04:46:35	2018-03-06T10:23:15	2018-03-05T04:46:10	2018-03-05T04:46:35	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20180221T044609_20180221T044636_020700_02375B_D090	20700	153	444	2018-02-21T04:46:36	2018-02-21T10:41:01	2018-02-21T04:46:10	2018-02-21T04:46:35	44.64	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20180209T044609_20180209T044636_020525_0231CB_CD8A	20525	153	444	2018-02-09T04:46:36	2018-02-09T11:07:34	2018-02-09T04:46:10	2018-02-09T04:46:35	44.64	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,50
S1A_IW_SLC__1SDV_20180128T044610_20180128T044637_020350_022C32_03E6	20350	153	444	2018-01-28T04:46:37	2018-01-29T01:21:07	2018-01-28T04:46:11	2018-01-28T04:46:36	44.64	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,36
S1A_IW_SLC__1SDV_20180116T044610_20180116T044637_020175_0226A7_92A2	20175	153	443	2018-01-16T04:46:37	2018-01-16T10:53:02	2018-01-16T04:46:10	2018-01-16T04:46:37	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.77	44.00	18.62	4,32
S1A_IW_SLC__1SDV_20180104T044610_20180104T044637_020000_022115_F3B8	20000	153	443	2018-01-04T04:46:37	2018-01-04T18:12:05	2018-01-04T04:46:10	2018-01-04T04:46:37	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.77	44.01	18.62	4,53
S1A_IW_SLC__1SDV_20171129T044612_20171129T044639_019475_0210BC_F6C8	19475	153	443	2017-11-29T04:46:39	2017-12-01T20:09:31	2017-11-29T04:46:12	2017-11-29T04:46:39	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.78	44.01	18.62	4,34
S1A_IW_SLC__1SDV_20171117T044612_20171117T044639_019300_020B33_8B04	19300	153	443	2017-11-17T04:46:39	2017-11-17T11:27:57	2017-11-17T04:46:12	2017-11-17T04:46:39	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.77	44.00	18.62	4,53
S1A_IW_SLC__1SDV_20171105T044612_20171105T044639_019125_0205BD_F84E	19125	153	443	2017-11-05T04:46:39	2017-11-05T19:33:19	2017-11-05T04:46:12	2017-11-05T04:46:39	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.77	44.01	18.62	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20171024T044613_20171024T044640_018950_020064_F554	18950	153	443	2017-10-24T04:46:40	2017-10-28T01:08:09	2017-10-24T04:46:13	2017-10-24T04:46:40	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.77	44.01	18.62	4,56
S1A_IW_SLC__1SDV_20171012T044612_20171012T044639_018775_01FB06_2FB7	18775	153	443	2017-10-12T04:46:39	2017-10-14T18:19:33	2017-10-12T04:46:12	2017-10-12T04:46:39	44.63	20.40	45.23	22.22	45.62	18.98	43.61	21.77	44.00	18.62	4,34
S1A_IW_SLC__1SDV_20170918T044612_20170918T044639_018425_01F059_2F5E	18425	153	444	2017-09-18T04:46:39	2017-09-19T07:25:52	2017-09-18T04:46:13	2017-09-18T04:46:38	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,48
S1A_IW_SLC__1SDV_20170708T044608_20170708T044635_017375_01D048_D35C	17375	153	444	2017-07-08T04:46:35	2017-07-18T12:44:16	2017-07-08T04:46:09	2017-07-08T04:46:34	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,49
S1A_IW_SLC__1SDV_20170626T044608_20170626T044635_017200_01CB06_0D8F	17200	153	444	2017-06-26T04:46:35	2017-06-27T13:40:07	2017-06-26T04:46:09	2017-06-26T04:46:34	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,49
S1A_IW_SLC__1SDV_20170614T044607_20170614T044634_017025_01C5B1_5900	17025	153	444	2017-06-14T04:46:34	2017-06-15T22:46:21	2017-06-14T04:46:08	2017-06-14T04:46:33	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,45
S1A_IW_SLC__1SDV_20170602T044606_20170602T044633_016850_01C046_D57C	16850	153	444	2017-06-02T04:46:33	2017-06-02T11:17:14	2017-06-02T04:46:07	2017-06-02T04:46:32	44.63	20.37	45.17	22.20	45.57	18.91	43.67	21.79	44.08	18.58	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20170521T044556_20170521T044624_016675_01BAE1_14DE	16675	153	442	2017-05-21T04:46:24	2017-09-16T22:02:22	2017-05-21T04:45:57	2017-05-21T04:46:22	45.18	20.53	45.72	22.38	46.12	19.05	44.22	21.96	44.62	18.71	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20170427T044557_20170427T044624_016325_01B030_6A0A	16325	153	442	2017-04-27T04:46:24	2017-08-23T13:45:32	2017-04-27T04:45:58	2017-04-27T04:46:23	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,21
S1A_IW_SLC__1SDV_20170415T044557_20170415T044624_016150_01AAE0_8DF4	16150	153	442	2017-04-15T04:46:24	2017-08-09T21:22:33	2017-04-15T04:45:57	2017-04-15T04:46:22	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,18
S1A_IW_SLC__1SDV_20170403T044556_20170403T044623_015975_01A587_D1A4	15975	153	442	2017-04-03T04:46:23	2017-07-28T22:45:54	2017-04-03T04:45:57	2017-04-03T04:46:22	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,20
S1A_IW_SLC__1SDV_20170322T044556_20170322T044623_015800_01A059_654F	15800	153	442	2017-03-22T04:46:23	2017-07-18T04:58:45	2017-03-22T04:45:56	2017-03-22T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,27
S1A_IW_SLC__1SDV_20170310T044555_20170310T044622_015625_019B22_9D9E	15625	153	442	2017-03-10T04:46:22	2017-07-04T17:41:52	2017-03-10T04:45:56	2017-03-10T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.02	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20170226T044555_20170226T044622_015450_0195D9_71C0	15450	153	442	2017-02-26T04:46:22	2017-08-10T11:26:01	2017-02-26T04:45:56	2017-02-26T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.02	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,20
S1A_IW_SLC__1SDV_20170214T044555_20170214T044622_015275_019081_1413	15275	153	442	2017-02-14T04:46:22	2017-06-09T22:21:34	2017-02-14T04:45:56	2017-02-14T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.02	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,13
S1A_IW_SLC__1SDV_20170202T044556_20170202T044623_015100_018AFA_E51D	15100	153	442	2017-02-02T04:46:23	2017-05-14T10:58:27	2017-02-02T04:45:56	2017-02-02T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.02	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,36
S1A_IW_SLC__1SDV_20170121T044556_20170121T044623_014925_0185B7_1B0C	14925	153	442	2017-01-21T04:46:23	2017-05-03T03:55:16	2017-01-21T04:45:57	2017-01-21T04:46:22	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,15
S1A_IW_SLC__1SDV_20170109T044556_20170109T044623_014750_018035_9C13	14750	153	442	2017-01-09T04:46:23	2017-04-20T07:26:10	2017-01-09T04:45:57	2017-01-09T04:46:22	45.08	20.52	45.61	22.35	46.02	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,12
S1A_IW_SLC__1SDV_20161228T044558_20161228T044625_014575_017AE8_63AE	14575	153	442	2016-12-28T04:46:25	2017-04-16T09:28:02	2016-12-28T04:45:59	2016-12-28T04:46:24	45.08	20.52	45.61	22.35	46.02	19.05	44.12	21.93	44.52	18.72	4,33
S1A_IW_SLC__1SDV_20161216T044558_20161216T044625_014400_01757A_8F12	14400	153	442	2016-12-16T04:46:25	2016-12-19T19:00:50	2016-12-16T04:45:59	2016-12-16T04:46:2	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,26
S1A_IW_SLC__1SDV_20161204T044559_20161204T044626_014225_016FEB_B017	14225	153	442	2016-12-04T04:46:2	2017-10-22T16:07:02	2016-12-04T04:45:59	2016-12-04T04:46:2	45.06	20.53	45.66	22.36	46.06	19.10	44.04	21.91	44.44	18.74	4,23
S1A_IW_SLC__1SDV_20161122T044559_20161122T044626_014050_016A7A_77F6	14050	153	442	2016-11-22T04:46:26	2017-04-09T12:36:16	2016-11-22T04:46:00	2016-11-22T04:46:25	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,37
S1A_IW_SLC__1SDV_20161110T044559_20161110T044626_013875_016523_2A7C	13875	153	442	2016-11-10T04:46:2	2018-01-21T20:16:02	2016-11-10T04:46:00	2016-11-10T04:46:25	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20161029T044559_20161029T044626_013700_015FA0_999E	13700	153	442	2016-10-29T04:46:26	2017-06-05T08:17:08	2016-10-29T04:46:00	2016-10-29T04:46:25	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,38
S1A_IW_SLC__1SDV_20161017T044559_20161017T044626_013525_015A39_A0B9	13525	153	442	2016-10-17T04:46:26	2016-10-21T11:08:57	2016-10-17T04:46:00	2016-10-17T04:46:25	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,47
S1A_IW_SLC__1SDV_20161005T044559_20161005T044626_013350_0154AD_0889	13350	153	442	2016-10-05T04:46:26	2017-06-01T19:55:54	2016-10-05T04:46:00	2016-10-05T04:46:25	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,44
S1A_IW_SLC__1SDV_20160923T044559_20160923T044626_013175_014F20_50CE	13175	153	445	2016-09-23T04:46:26	2016-10-17T05:31:40	2016-09-23T04:45:59	2016-09-23T04:46:26	45.06	20.53	45.66	22.36	46.06	19.10	44.04	21.91	44.44	18.74	4,42
S1A_IW_SLC__1SDV_20160911T044559_20160911T044626_013000_014951_CA03	13000	153	444	2016-09-11T04:46:26	2016-09-11T08:49:19	2016-09-11T04:45:59	2016-09-11T04:46:26	45.06	20.53	45.66	22.36	46.06	19.10	44.04	21.91	44.44	18.74	4,39
S1A_IW_SLC__1SDV_20160830T044558_20160830T044625_012825_0143AD_6BFC	12825	153	442	2016-08-30T04:46:25	2016-09-02T22:57:03	2016-08-30T04:45:59	2016-08-30T04:46:24	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,42
S1A_IW_SLC__1SDV_20160818T044558_20160818T044625_012650_013DC1_9B03	12650	153	442	2016-08-18T04:46:25	2016-08-18T22:30:18	2016-08-18T04:45:59	2016-08-18T04:46:24	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.05	44.12	21.93	44.52	18.72	4,52
S1A_IW_SLC__1SDV_20160806T044557_20160806T044624_012475_013800_4EF2	12475	153	442	2016-08-06T04:46:24	2016-08-08T13:05:58	2016-08-06T04:45:58	2016-08-06T04:46:23	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.05	44.12	21.93	44.52	18.72	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20160725T044556_20160725T044623_012300_01322D_5DB5	12300	153	442	2016-07-25T04:46:23	2016-07-26T01:40:34	2016-07-25T04:45:57	2016-07-25T04:46:22	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20160713T044556_20160713T044623_012125_012C78_504E	12125	153	442	2016-07-13T04:46:23	2016-07-14T08:26:33	2016-07-13T04:45:56	2016-07-13T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,41
S1A_IW_SLC__1SDV_20160701T044555_20160701T044622_011950_0126BD_4F42	11950	153	442	2016-07-01T04:46:22	2016-07-02T05:50:20	2016-07-01T04:45:56	2016-07-01T04:46:21	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.06	44.12	21.93	44.52	18.72	4,50
S1A_IW_SLC__1SDV_20160607T044554_20160607T044621_011600_011BAD_4FBA	11600	153	442	2016-06-07T04:46:21	2016-06-10T10:51:25	2016-06-07T04:45:55	2016-06-07T04:46:20	45.08	20.52	45.61	22.35	46.01	19.05	44.12	21.93	44.52	18.72	4,46
S1A_IW_SLC__1SDV_20160526T044558_20160526T044625_011425_011622_607D	11425	153	443	2016-05-26T04:46:25	2016-05-28T10:46:06	2016-05-26T04:45:59	2016-05-26T04:46:24	44.76	20.44	45.30	22.24	45.69	19.00	43.80	21.83	44.20	18.66	4,43
S1A_IW_SLC__1SDV_20160514T044558_20160514T044625_011250_011063_0A3C	11250	153	443	2016-05-14T04:46:25	2016-05-14T10:39:19	2016-05-14T04:45:59	2016-05-14T04:46:24	44.76	20.44	45.30	22.24	45.69	19.00	43.80	21.83	44.20	18.66	4,40
S1A_IW_SLC__1SDV_20160502T044557_20160502T044624_011075_010AD7_AF7A	11075	153	443	2016-05-02T04:46:24	2016-05-07T21:52:39	2016-05-02T04:45:58	2016-05-02T04:46:23	44.76	20.44	45.30	22.24	45.69	19.00	43.80	21.83	44.20	18.66	4,46

Platform	Sentinel-1A
Sensor	SENTINEL-1 C-SAR
Beam Mode	IW
Beam Mode Description	Interferometric Wide. 250 km swath, 5 m x 20 m spatial resolution and burst synchronization for interferometry. IW is considered to be the standard mode over land masses.

Mode	DESCENDING
Frame No	442-445
Proc. Lvl.	SLC

ПРИЛОГ 1.2

ГЕОТЕХНИЧКИ ПРОФИЛ ИСТРАЖНЕ БУШОТИНЕ

Квантитативна процена ризика од клизишта "Умка" код Београда					
ОЗНАКА	УМ-1	Координата X	444145.45		
РЕДНИ БРОЈ	1	Координата Y	4946382.34	БУШИО	Институт за путеве - БГД
ДУБИНА (m')	21.00	ЗАПОЧЕТО	11.04.2017.	КАРТИРАО	У. Ђурић, дипл.инж.геол.
КОТА (mnm)	109.25 m	ЗАВРШЕНО	11.04.2017.	ОБРАДИО	У. Ђурић, дипл.инж.геол.

1:100

АПСОЛУТНА КОТА (mnm)	Ø БУШЕЊА (mm')	ДУБИНА (m')	ДЕБЉИНА (m')	РЕЖИМ БУШЕЊА	ДИНАМИЧКЕ ПЕНЕТРАЦИЈЕ	АС КЛАСИФИКАЦИЈА	ГРАФИЧКИ ПРИКАЗ	ЛИТОЛОШКИ САСТАВ	НПВ и ППВ (m')	неп. уз. □ пор. уз. ■ (m')
108.75	141	0.50	0.50	Машинско	Губитак језгра		n	**Насип** - првих 10 cm бетон, након тога дробина насипа, хетерогеног састава.		
			16.85				Ko^{gl}	**Колувијум -кора распадања** **0.50-4.24** делувијална тамно сива до браон глина, прашинасто песковите фракције, средње пластичности. Од 3.00 м поступан прелаз ка деградираној глини. До 3.50 m деградирана тамно сива глина (браон). Мека и провлажна од 2.25-2.50 m. **4.24-16.90** жута деградирана лапоровита глина са пегама Fe (на 4.63, 4.81 м), до 8 m дубине местимично прошаран $CaCO_3$ (на 4.48, 4.70 и 5.50 м). Интезивно присуство $CaCO_3$ и Mn од 6.00 - 6.50 m. Зона од 7.50-8.00 m прерађен материјал, веома ослабљена зона, мекана и провлажна (могућа прва клизна раван). Губитак језгра од 8.00-9.00 m. Веома оксидисана зона од 9.00 - 9.70 m. Од 11.80 m поступна прелазна зона из жутих ка тамнијим (сивим) лапоровитим глинама. До 13.0 m тамније браон боје. Од 12.20 m измењена зона (могућа друга клизна раван?). Од 13.20 m изражен контакт и прелаз ка сивим лапоровитим глинама. Уочен дисонтинуитет у језгру, могуће услед механичког маневра или потенцијале клизне равни? Од 13.20 - 14.80 m интензивно присуство Fe. Од 16.40 m у дужини од 30 cm, зона поступног прелаза ка светло-сивим лапорима, зона је прошарана са Fe. Контакт за лапоровитом глином - лапорима на 17.35 m (контактна клизна раван).		□ 4.5 4.8 □ 7.0 7.3 □ 11.6 12.0 □ 12.6 13.0 □ 13.6 14.0 □ 16.2 16.6
92.35	116	16.9					M_3^2L	**Лапор - лапоровита глина** Тамно сиви, компактни и веома тврди сиви лапори - лапоровите глине. Без изражених пукотина или деформација.		□ 17.2 17.6 □ 19.4 19.8
88.25		21.0	4.10							

ПРИЛОГ 2.1

ФОТОГРАФИЈА ЈЕЗГРА ИСТРАЖНЕ БУШОТИНЕ

Квантитативна процена ризика од клизишта "Умка" код Београда					
ОЗНАКА	УМ-1	Координата X	444145.45		
РЕДНИ БРОЈ	1	Координата Y	4946382.34	БУШИО	Институт за путеве - БГД
ДУБИНА (m')	21.00	ЗАПОЧЕТО	11.04.2017.	КАРТИРАО	У. Ђурић, дипл.инж.геол.
КОТА (mnm)	109.25 m	ЗАВРШЕНО	11.04.2017.	ОБРАДИО	У. Ђурић, дипл.инж.геол.

ПРИЛОГ 2.2

Ознака ОБЈЕКТА:

КАТАСТАРСКИ ЛИСТ ЗА ПОПИС УГРОЖЕНИХ ОБЈЕКАТА НА КЛИЗИШТУ „УМКА“

1. ОПШТИ ПОДАЦИ О ОБЈЕКТУ							
Име и презиме власника				Тип објекта по намени			
				Стамбена јединица	☐	Пластеник	☐
Адреса и број објекта				Викендица	☐	Штала	☐
				Гаража	☐	Шупа	☐
Бр. кат. парцеле				Надстрешница	☐	Летња кухиња	☐
Год. изградње		Проц. век		Комерцијални	☐	Привремени	☐
Дозвола за градњу	Да ☐	Не ☐		Сакрални	☐	Помоћни / Остало	☐
X координата				Корисна површ.	m^2	Порез	РСД
Y координата				Спратност			
Дограђиван објекат	Да ☐	Не ☐		Бр. возила			

2. ПОДАЦИ О КОНСТРУКЦИЈИ ОБЈЕКТА						ЗА ДЕФОРМИСАНОСТ ОБЈЕКТА ИНСТИТ ЗА ПУТЕВЕ	
Носећи зидови	☐	Кров		Зидови су претежно		Срушен	☐
Серклажи са испуном	☐	Раван	☐	Цигла - опека	☐	Склон паду	☐
Бондрук систем	☐	Коси	☐	Гитер блок/Блок	☐	Средње оштећен	☐
Челична конструцкија	☐	Закривљени	☐	Дрво	☐	Слабо изражене деформације	☐
Монт./префаб.	☐	Плоча без крова	☐	Камен	☐	Без деформација	☐
АБ скелет	☐	Без крова	☐	Трска/блато	☐		

4. ПОДАЦИ О ТЕМЕЉУ ОБЈЕКТА				ЗБ ДЕФОРМИСАНОСТ ОБЈЕКТА ЈЕДИНСТВЕНА МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЦЕНУ ШТЕТЕ СФРЈ		
Врста темеља		Материјал		V	Објекат са оштећењима конструкције	☐
Тракасти	☐	Камен	☐	IV	Објекат са обимнијим оштећењима	☐
Самци (стопа)	☐	Опека	☐	III	Објекат са већим оштећењима	☐
Плоча	☐	Бетон	☐	II	Знатно оштећени објекат	☐
Шипови	☐	Дрво	☐	I	Објекти са мањим оштећењима	☐
Непознато	☐	Непознато	☐		Објекат без оштећења	☐

5. Подаци о члановима домаћинства			6. Процена штете		
Чланова домаћинства		Запосленост (1/3 ...)	Метод процене	Релативан ☐	Докум. ☐
0	☐		Процењена директна штета (€)		
1	☐	Млађих од 18 г.	Процењена индиректна штета (€/год.)		
2	☐		**7. Хитне и привремене интервенције**		
3	☐	Радно неспособних	Расељавање и рушење објекта		☐
	☐		Већи грађевински и земљани радови		☐
Сећања на веће активности клизишта (година? датум?)			Додатна ИГ и ГТ истраживања		☐
			Процена интервенција (€)		

Информације о контакт особи			8. Санација настале штете			
Презиме и име			Санација није могућа	☐	Мањи грађев. захвати	☐
Телефон			Већи грађев. радови	☐	Текуће одржавање	☐
е-маил			Умеренији. гр. радови	☐	Без потребе за санац.	☐
Жели копију обрасца	Да ☐	Не ☐	Процена санације (€)			
Сагласан о обради и прикупљању података:						

Напомена: подаци се прикупљају искључиво у научноистраживачке сврхе, за потребе израде докторске дисертације на Рударско-геолошком факултету. Образац се не сматра званичним документом и не може се користити у сврхе потраживања накнаде штете пред локалном самоуправом и судским органима. Подаци се чувају и обрађују у складу са Законом о заштити података о личности "Сл. гласник РС", бр. 97/2008, 104/2009 - др. закон, 68/2012 - одлука УС и 107/2012).

ПРИЛОГ 3

Ознака ОБЈЕКТА:

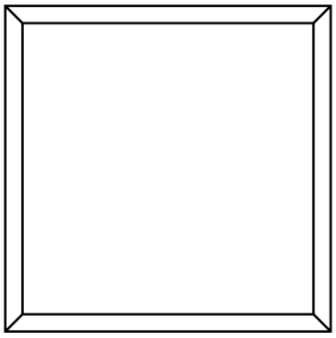
КАТАСТАРСКИ ЛИСТ ЗА ПОПИС УГРОЖЕНИХ ОБЈЕКАТА НА КЛИЗИШТУ „УМКА“

9. ПОДАЦИ О ВОДАМА

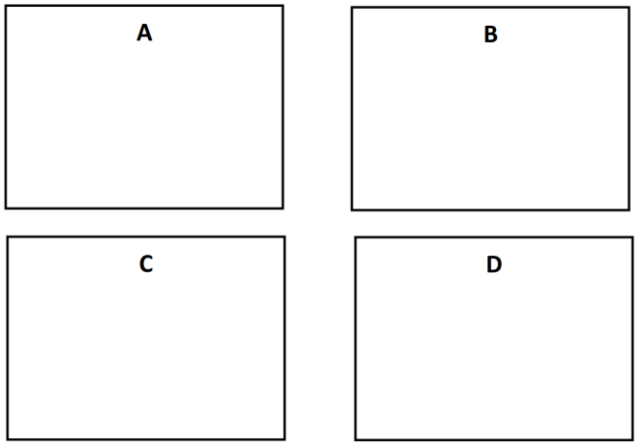
Снабдевање домаћинства водом		Стање бунара		
☐	Из градског водовода	☐	Активно се користи	
☐	Из бунара	☐	Зарушен је (затрпан)	
☐	Не постоји	☐	Оштећење бунара на дубини од _____м	
Одлагање отпадних и техничких вода из домаћинства		X координата бунара		
		Y координата бунара		
☐	Градска канализација	Ниво у бунару на дан анкетирања _____м		
☐	Септичка јама	Површинске воде	регулисане ☐	нерегулисане ☐
☐	Сенкруп / директно одвођење у тло	Друга запажања о водама:		

10.СКИЦА ОШТЕЋЕЊА ОБЈЕКТА

Стрелицом означити правац клижења који уједно показује А страницу објекта. Остале странице именовати у правцу казаљке на сату у односу на А страницу.



Скицирати просторни положај оштећења на страницама објекта



Оштећење објекта	%					
Нагнутост према	A B C D	Објекат тоне	Не ☐	Да ☐	Потонуо _____ m	
Деформације терена	Нема ☐	Ожиљци ☐	Истрбушења ☐	“Пијано” дрвеће ☐	Пукотине у тлу ☐	

11.ОСТАЛЕ НАПОМЕНЕ

Датум опсервације	Образац унет у базу

Напомена: подаци се прикупљају искључиво у научноистраживачке сврхе, за потребе израде докторске дисертације на Рударско-геолошком факултету. Образац се не сматра званичним документом и не може се користити у сврхе потраживања накнаде штете пред локалном самоуправом и судским органима. Подаци се чувају и обрађују у складу са Законом о заштити података о личности "Сл. гласник РС", бр. 97/2008, 104/2009 - др. закон, 68/2012 - одлука УС и 107/2012).

ПРИЛОГ 3

КВАНТИТАТИВНА АНАЛИЗА РИЗИКА ОД КЛИЗИШТА УМКА
ЕКСПЕРТСКА АНКЕТА – ФИЗИЧКА УГРОЖЕНОСТ ОБЈЕКАТА

Индикатори отпорности објекта

1 – мање значајан; 10 –више значајан

Индикатор	Коеф. релевантности
Година изградње објекта	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Надоградња и догр. објекта	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Тип конструкције	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Материјал зидова	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Начин фундирања	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Преовлађујући мат. темеља	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Категоризација индикатора према коеф. релевантности

1 – мање отпоран; 10 – више отпоран

Година изградње објекта (GOD)	
<1940	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1940-1960	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1960-1980	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1980-2000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
>2000	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Надоградња и доградња објекта (NAD)	
Изведена	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Није изведена	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Тип конструкције (TK)	
АБ скелет	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Бондрук систем	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Монтажни објекти	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Масивни носећи зидови	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Масивни носећи зидови са хор. и верт. серклажима	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Преовлађујући материјал зидова објекта (ZID)	
Бетон	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Цигла	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Монтажни	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Сипорекс Блок	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Шљака Блок	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Гитер блок	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Камен	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Трска/блато	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Начин фундирања (TTEM)	
Плоча	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Шипови	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Самци/Стопе	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Тракасти	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Преовлађујући материјал темеља (MTEM)	
Армирани бетон	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Бетон	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Дрво	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Камен	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Опека	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Индикатори рањивости објекта

1 – мање значајан; 10 –више значајан

Индикатор	Коеф. релевантности
Одвођење површинских вода	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Нагнутост објекта	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Објекат тоне	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Одвођење отпадних вода	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Оштећење зидова	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Категоризација индикатора према коеф. релевантности

1 – мање рањив; 10 – више рањив

Одвођење површинских вода око објекта (OPV)	
Да, постоји неки тип дренаже	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Не, не постоји	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Нагнутост објекта (NAOBJ)	
Да, на неку страну	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Не, објекат није нагнут	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Објекат приметно тоне (TOBJ)	
Да	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Не	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Одвођење отпадних вода из објекта (OOPV)	
Канализација	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Сенкруп/дирек. одвођење у тло	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Септичка јама	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато/не постоји	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Опште стање оштећења зидова објекта (OZ)	
Без оштећења	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Слабо изражено	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Средње оштећени	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Тешко оштећени	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Урушени/Срушени	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ПРИМЕР:

Вредности коефицијената се могу понављати

Објекат је надограђен (NAD)	
Да	1 2 3 4 5 6 7 8 9 (10)
Не	(1) 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Непознато	1 2 3 4 (5) 6 7 8 9 10

Анкету попунио специјалиста геотхнике:

- дипл. инж. геол.
- дипл. инж. грађ.

ПРИЛОГ 4

БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

Урош Ђурић, дипл. инж. геол. је рођен 1985. године у Београду. Основну и средњу школу завршио је у Београду, након чега је 2004. године уписао Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, где је 2011. год. дипломирао са просечном оценом 8,21. Након дипломирања, од 2011. до 2014. год. радио је на Рударско-геолошком факултету као стручни сарадник и истраживач. Од 2014. године запослен је на Грађевинском факултету, Универзитета у Београду у звању асистента, а од 2018. обавља и функцију заменика управника Института за саобраћајнице и геотехнику.

Докторске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Геотехника, уписао је 2014. године. Положио је све испите са просечном оценом 10,00. Током докторских студија, био је ангажован као сарадник на више десетина међународних и националних научних и стручних пројеката. Током студија усавршавао се и похађао стручне радионице, летње школе и семинаре на Универзитетима у Аустрији, Италији, Бугарској и Пољској.

Урош Ђурић је као аутор и коаутор објавио више десетина научних, стручних радова и поглавља у монографијама, из поменутих области у међународним и националним часописима, од чега су четири рада у часописима са SCI листе. Излагао је на бројним међународним, регионалним и националним научним и стручним скуповима и конференцијама. Као члан организационог или научног одбора учествовао је у организацији више научних и стручних конференција у земљи и иностранству. Члан је више научних и стручних националних и међународних удружења. Секретар је Српског геолошког друштва од 2016. године, као и технички уредник часописа „Геолошки анали балканскога полуострва“. Самостално или као члан тима добитник је неколико признања, захвалница и грантова.

образац изјаве о ауторству

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Урош Ђурић

Број индекса Г801/14

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

"Квантитативна процена ризика од клизишта Умка код Београда"

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

Потпис аутора

У Београду, _____

_____

образац изјаве о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Урош Ђурић

Број индекса Г801/14

Студијски програм Геотехника

Наслов рада "Квантитативна процена ризика од клизишта Умка код Београда"

Ментор проф. Др Биљана Аболмасов, дипл. инж. геол.

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

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

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

Потпис аутора

У Београду, _____

_____

образац изјаве о коришћењу

Изјава о коришћењу

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

"Квантитативна процена ризика од клизишта Умка код Београда"

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

_____

1. **Ауторство**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.