

ИЗВЕШТАЈ

АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИЈА ПОЈАВА НЕСТАБИЛНОСТИ НА СНИМЦИМА ВИСОКЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ У ОКВИРУ BEWARE ПРОЈЕКТА

др Драгана Ђурић, дипл. инж. геол.

др Ана Младеновић, дипл. инж. геол.

Милица Пешић, дипл. инж. геол.

БЕОГРАД,

2016.

УВОД

Анализа и интерпретација појава нестабилности (клизишта и тецишта) на сателитским снимцима високе реолуције, део је пројекта BEWARE (Harmonizing landslide data and training local authorities for landslide monitoring (Beyond landslide AWAREness) project, No. 00094641). Задатак овог дела пројекта био је, пре свега, да се анализом сателитских снимака региструју све појаве клижења и течења на територији Републике Србије, настале током или непосредно после поплава 2014. године, или које су биле реактивирани тим поплавама.

Учесталост примене методе даљинске детекције за мониторинг и картирање клизишта је директно повезана са развојем нових технологија у сфери прикупљања просторних података високе резолуције представљених сателитским, аеро и/или стационарним снимцима. Оптички сателити веома високе и високе резолуције (као што су „Pleiades“, „Spot 6“, „Spot 7“, „WorldView 2“ итд.) покривају велику површину Земље током или непосредно након великих катастрофалних догађаја у редовним интервалима чиме обезбеђују ефикасне и веома прецизне податке за мониторинг клизишта. За потребе анализе и интерпретације коришћени су сателитски снимци мисија: *Pleiades*, *Spot 6*, *WorldView 2*, као и ортофотоснимци Војногеографског института у Београду (ВГИ). Сателитским снимцима покривене су 23 општине и то: Лозница, Мали Зворник, Обреновац, Крупањ, Осечина, Љубовија, Бајина Башта, Крагујевац, Чачак, Трстеник, Краљево, Лазаревац, Уб, Ваљево, Шабац, Свилајнац, Велика Плана, Кладово, Варварин, Јагодина, Коцељева, Косјерић и Чачак.

У циљу издвајања појава нестабилности падина након екстремних климатских услова на сателитским снимцима, извршена је анализа развоја падинских процеса као и облика који тим процесима настају, за које се претпоставља да су активирани услед поплава (великих количина атмосферских падавина) у пролеће 2014. године. Визуелна интерпретација података (на основу сателитских снимака) је једна од поузданијих метода за детекцију клизишта и тецишта, пошто су границе између терена на коме је дошло до померања, транспорта и таложења материјала и стабилног дела терена веома изражене. Као два основна механизма који се развијају на падинама издвојени су, са различитим степеном сигурности, процеси клижења и течења.

КОРИШЋЕНЕ ПОДЛОГЕ И ПОДАЦИ

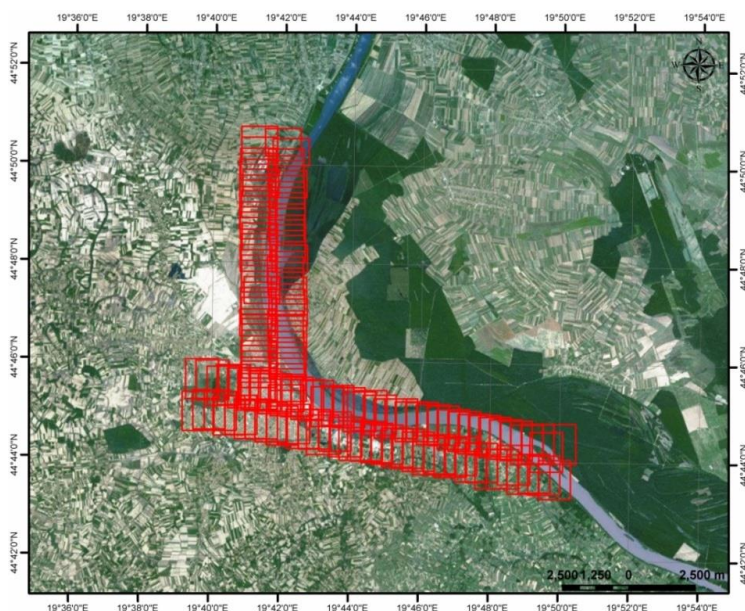
Визуелна интерпретација снимака је вршена над авио снимцима Војногеографског института, Pleiades, Spot 6 и WorldView2 сателитским снимцима у ArcGIS - у верзија 10.2.2.

Авио снимци Војногеографског Института

Ових сто двадесет (120) ортофото снимака 0,15м резолуције покривају 195.653 km² општине Шабац, просторна референца је WGS 1984 UTM zone 34N (табела 1). Детаљан опис првих пет снимака је дат у табели 2, границе снимака су дате на слици 1, док информације о плану лета као и подаци о типу авиона и камере нису познати.

Табела 1. Просторна референца

Reference:WGS 1984 UTM zone 34N
Linear Unit Meter:1.000000
Angular Unites: 0.0174532925199433
False Easting:500000
False Northing: 0
Central Meridian: 21
Scale Factor:0.9996
Latitude of Origin:0
Datum:D WGS 1984



Слика 1. Границе 120 ортофотоснака Војногеографског института у Београду

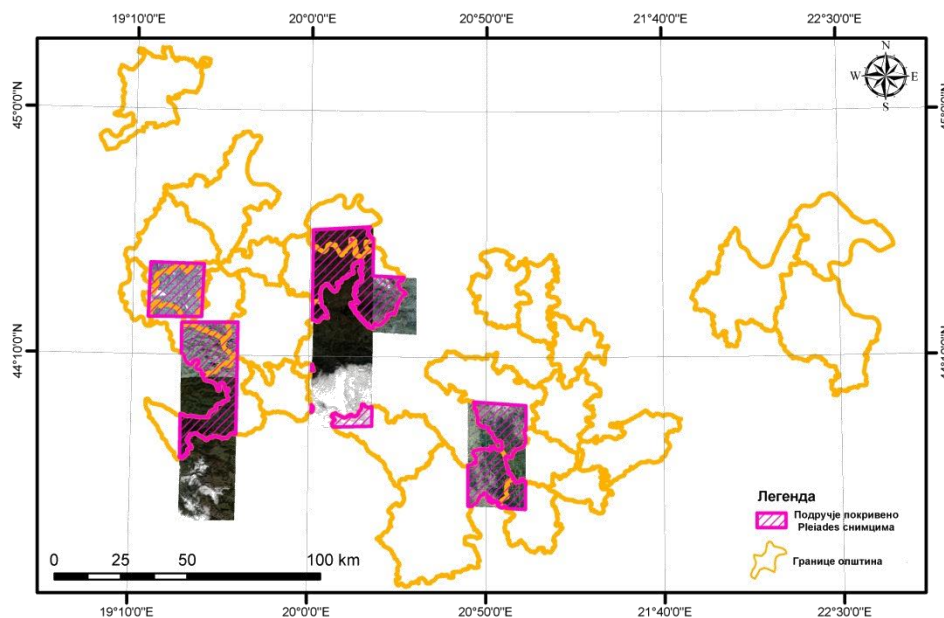
Табела 2. Опис првих 5 војних ортофото снимака

Име	Strip1_001	Strip1_002	Strip1_003	Strip1_004	Strip1_005
Величина пиксела (m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
X координата центра (m)	407634.23	407134.5	406805.78	406396.5	405995.78
Y координата центра (m)	4954693.6	4954397.03	4954705.1	4954680	4954835.2
Бр. канала	3	3	3	3	3
Ред	8204	8241	8202	8185	8104
Колона	9996	9990	9937	9919	9870
Величина фајла (MB)	234.62	235.54	233.18	232.28	228.84
Формат	TIFF	TIFF	TIFF	TIFF	TIFF
Дубина пиксела	8 Bit	8 Bit	8 Bit	8 Bit	8 Bit
Тип пиксела	unsigned integer	unsigned integer	unsigned integer	unsigned integer	unsigned integer
Површина (m ²)	1845161.6	1852370.78	1833823.7	1826708	1799695.8

Pleiades и Spot 6 сателитски снимци

Pleiades 1A и 1B сателити делују као констелација у истој орбити, одвојени за 180° између себе. Ови оптички сателити близанци пружају производе веома високе резолуције од 0.50 m (спектрални канали су панхроматски 480-830 μm , плави 430-550 μm , зелени 490-610 μm , црвени 600-720 μm и инфра црвени 750-950 μm), са могућношћу поновљеног снимања у рекордном року било које тачке на планети Земљи по захтеву. Spot 6 и Spot 7 такође функционишу као констелација у истој орбити, са отклоном од 90 ° између себе. Они дају мултиспектрални снимке високе резолуције од 6 m, и то плави (0,455 - 0.525 μm), зелени (0.530 - 0.590 μm), црвени (0.625 - 0.695 μm) и инфрацрвени (0.760 - 0.890 μm) канал, као и панхроматски који има резолуцију од 1.5 m (450-745 μm).

Визуелна интерпретација и издвајање појава клижења је извршена над седам (7) Pleiades 1A и 1B (RGBI снимци резолуције 0.5m) и два (2) Spot 6 снимка (панхроматски и паншарповани RGBI, 1.5m резолуције) за потребе израде прелиминарне карте клизишта. Просторна референца је WGS 1984 UTM zone 34N (код координатног система је EPSG:32634). Pleiades снимци покривају 2,524.81km² истражног простора четрнаест (14) општина, и то: Лозница, Мали Зворник, Обреновац, Крупањ, Осечина, Љубовија, Бајина Башта, Крагујевац, Чачак, Трстеник, Краљево, Лазаревац, Уб и Ваљево (слика 2). Опис података (снимка) је дат у табели 3.



Слика 2. Покривеност истражног простора и општина сателитским снимцима Pleiades

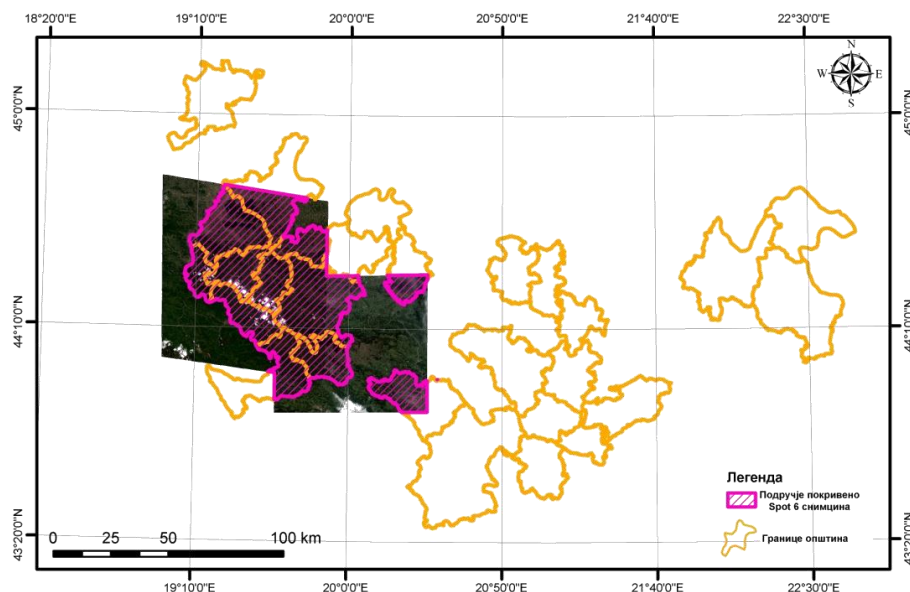
Табела 3. Опис сателитских снимака Pleiades

ИД података (снимак)	Датум прикупљања	Платформа	Канали	Ниво обраде	Сателит
DS_PHR1B_201405210929182_FR1_PX_E019N44_0510_01765	29:53.2	PHR 1B	MS/PAN	ORTHO	Pleiades
DS_PHR1A_201406080940363_FR1_PX_E019N44_0510_01731	41:11.3	PHR 1A	MS/PAN	ORTHO	Pleiades
DS_PHR1A_201410090944505_FR1_PX_E019N43_0721_04596	45:25.6	PHR 1A	MS/PAN	ORTHO	Pleiades
DS_PHR1A_201411040944430_SE1_PX_E019N44_0705_01707	45:18.1	PHR 1A	MS/PAN	ORTHO	Pleiades
DS_PHR1A_201406290929311_FR1_PX_E020N43_1121_03219	30:06.2	PHR 1A	MS/PAN	ORTHO	Pleiades
DS_PHR1B_201410080951483_SE1_PX_E020N44_0509_01800	52:23.3	PHR 1B	MS/PAN	ORTHO	Pleiades
DS_PHR1B_201410080952176_FR1_PX_E020N44_0207_06258	52:52.7	PHR 1B	MS/PAN	ORTHO	Pleiades

Spot 6 подаци (Табела 4) покривају 4,488.23 km² истражног простора и тринаест (13) општина, и то: Шабац, Лозница, Коцељево, Мали Зворник, Ваљево, Осечина, Крупањ, Љубовија, Косјерић, Бајина Башта, Чачак, Лазаревац и УБ (слика 3).

Табела 4. Опис сателитских снимака Spot 6

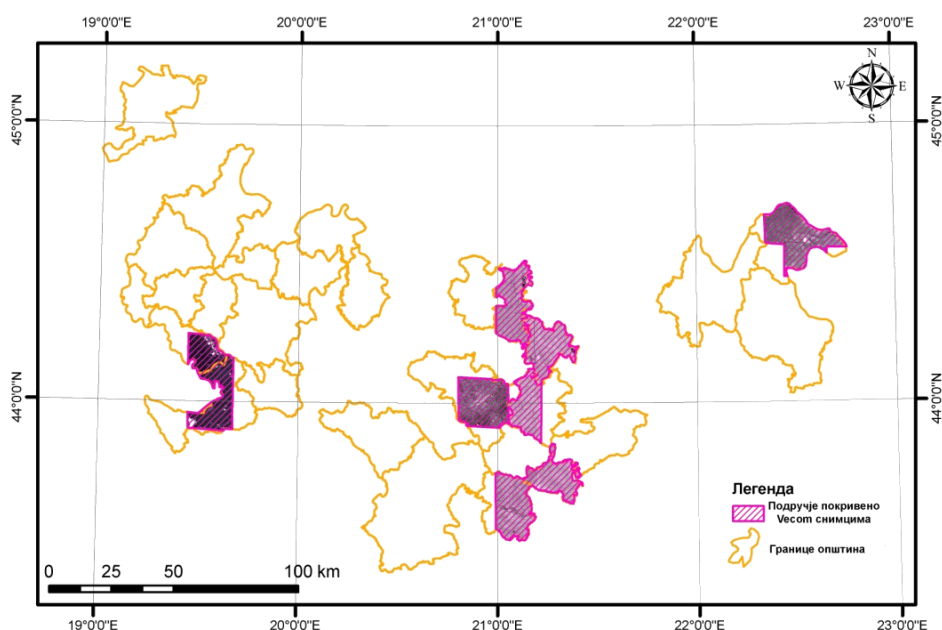
ИД података (снимак)	Датум прикупљања	Платформа	Канали	Ниво обраде	Сателит
ORT_SPOT6_20140919_092224000_000	2015-06-29T07:42:35	SPOT 6	MS/PAN	ORTHO	SPOT
ORT_SPOT6_20140521_090336000_000	2015-06-29T08:02:54	SPOT 6	MS/PAN	ORTHO	SPOT



Слика 3. Покривеност истражног простора и општина сателитским снимцима Spot 6

WorldView 2 снимци

Визуелна интерпретација и издвајање појава клижења је урађено над четрнаест (14) V снимака (1.5m резолуције паншарповани RGB и панхроматски снимци). Просторна референца је WGS 1984 UTM zone 34N (код координатног система је EPSG:32634). *WorldView 2* снимци покривају 2,730.05km² истражног простора и девет (9) општина, и то: Свилајнац, Љубовија, Велика Плана, Трстеник, Кладово, Варвараин, Јагодина, Крагујевац, Бајина Башта (слика 4). Опис података (снимака) је дат у табели 5.



Слика 4. Покривеност истражног простора и општина сателитским снимцима WorldView2

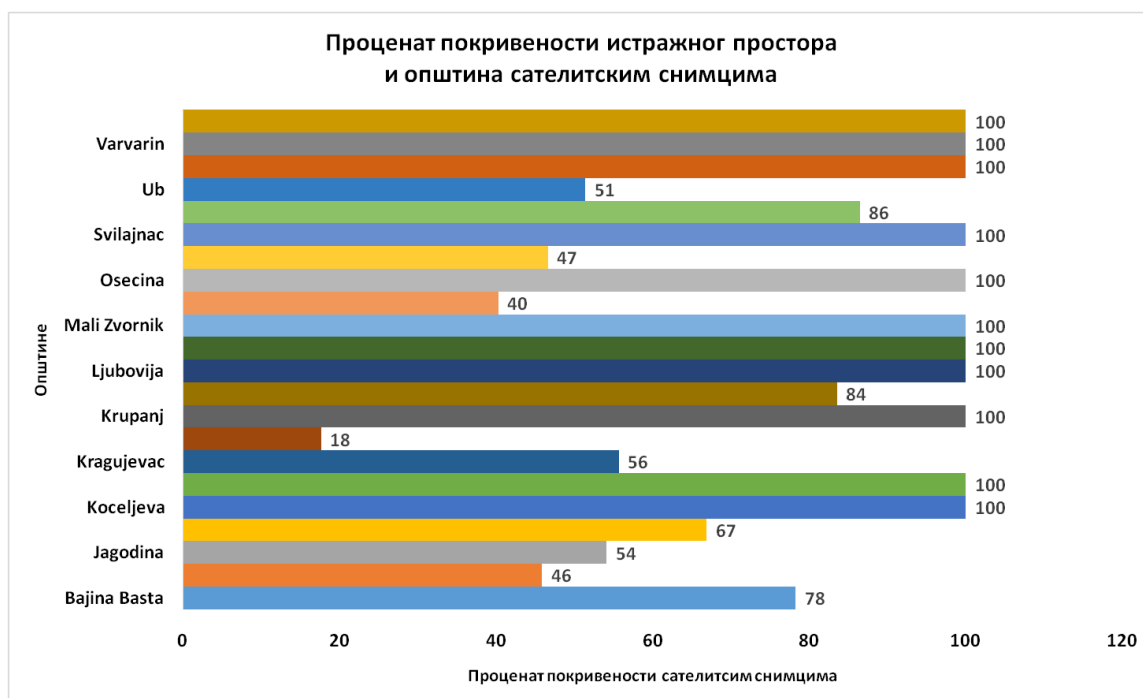
Табела 5. Опис сателитских снимака WorlView2

ИД података (снимака)	Датум прикупљања	Платформа	Канали	Ниво обраде	Сателит
054498465060_01 14JUN30093116-P2AS- 054498465060_01_P001 14JUN30093059-P2AS- 054498465060_01_P002 14JUN30093057-P2AS- 054498465060_01_P003	14-Jun	-	PAN	ORTHO	-
054498465070_01 14MAY24094847-S2AS- 054498465070_01_P001	14-May	-	MS	ORTHO	-
054498465070_01 14JUN30093055-P2AS- 054498465080_01_P001	14-Jun	-	PAN	ORTHO	-
054498465010_01 14MAY23092442-P2AS- 054498465010_01_P001	14-May	-	PAN	ORTHO	-
054498465090_01 14JUL04093604-S2AS- 054498465090_01_P001 14JUL04093633-S2AS- 054498465090_01_P002 14SEP09093212-S2AS- 054498465090_01_P003	14-Jul	-	MS	ORTHO	-
054498465020_01 14JUN30093102-P2AS- 054498465020_01_P001 14JUN30093112-P2AS- 054498465020_01_P002	14-Jun	-	PAN	ORTHO	-
054498465030_01 14JUN30093058-P2AS- 054498465030_01_P001	14-Jun	-	PAN	ORTHO	-
054498465040_01 14JUL04093617-S2AS- 054498465040_01_P001	14-Jul	-	MS	ORTHO	-
054498465050_01 14MAY24094847-S2AS- 054498465050_01_P001	14-May	-	MS	ORTHO	-

Површина покривеност истражног простора и општина сателитским снимцима као и проценат је дат на графикону 1 и графикону 2.



Графикон 1. Површина покривена сателитским снимцима истражног простора и општина



Графикон 2. Проценат покривености сателитским снимцима истражног простора и општина

ПРИМЕЊЕНА МЕТОДОЛОГИЈА

С обзиром на сензоре који се користе за снимање комерцијалних сателитских снимака, па сходно томе и на информације које они носе, као и на најчешћу висину

орбите сателита при снимању, да би се они користили за квалитетну и поуздану анализу појава нестабилности падина након екстремних егзогених процеса, морали би бити испуњени следећи услови.

- Снимци морају бити снимљени непосредно после догађаја како би што веродостојније омогућили сагледавање последица морфолошких промена узрокованих процесим клижења или течења.
- Снимање је неопходно извршити сензорима који омогућавају високу резолуцију снимања, самим тим и крупнијуразмеру за детаљнију анализу и поузданији приказ добијених резултата.
- Неопходно је да снимци буду сачињени мултиспектралним скенером који ће покривати и видљиви, али и велики део блиског инфрацрвеног дела спектра електромагнетне енергије.
- Уколико су снимци сачињени под поменутиим условима, могуће је приступити њиховој припреми и обради, како би се обезбедиле релевантне подлоге које би могле да пруже довољно информација о истражном подручју.

Скуп неопходних поступака који се спроводе над снимцима са циљем подизања њиховог квалитета и употребљивости за поузданију анализу назива се – процесирање снимака.

Процесирање дигиталних сателитских снимака

У најширем смислу посматрано, процесирање дигиталних сателитских снимака се састоји из великог броја поступака, који се користе за обраду, приказивање и/или тумачење информација које садрже сателитски снимци. Сви поступци процесирања могу се сврстати у неколико основних група и подразумевају:

- препроцесирање и корекцију снимака отклањањем различитих врста деформација (image preprocessing);
- побољшање квалитета снимака истицањем њихових елемената који би применом анализе снимака били веома тешко уочљиви (image enhancement);
- формалну инструменталну анализу, тј. анализу и класификацију садржаја снимка груписањем елемената снимка који имају иста својства (image analyzing and classification);
- комбиновање различитих типова података (data set merging);
- представљање снимака у дводимензионалним и/или тродимензионалним приказима (визуелизација).

Препроцесирање снимка представља аутоматску или полуаутоматску обраду сателитског снимка, чиме се постиже убрзање и побољшање сваког даљег вида обраде тог снимка. Овом приликом, DN^1 вредности снимка остају непромењене. За потребе пројектног задатка примењен је поступак отклањања системских грешака, који је

¹ DN је Digital Number сваког пиксела на снимку

извршен методом „Minimum Noise Fraction (MNF)“. То је поступак који је посебно добро применљив у случају мултиспектралних снимака, код којих је јасно уочљиво да количина сметњи код различитих спектралних канала није иста. У математичком смислу, овај поступак представља две удружене линеарне трансформације снимка – првом се врши декорелација података различитих канала, док их друга премешта у координатни систем у коме су подаци о систематским сметњама једнаки по свим компонентама. С обзиром на то да сметње имају веома високе фреквенције, као излаз овог поступка примењује се широкопојасни филтер, којим се постиже уклањање пиксела са високим фреквенцијама.

Побољшање квалитета снимка подразумева примену различитих поступака којима се коригује осветљеност, контраст и баланс боја, као и величина пиксела од којих се састоји снимак (коригује се просторна резолуција). Овим поступцима се истичу различити облици и појаве на снимку, што за резултат има лакше издвајање и интерпретацију података. Овде су примењени поступци оптимизације осветљења (нормализација DN вредности) и повећања просторне резолуције снимка.

Критеријуми за издвајање нестабилних падина

Према дефиницији, клижење представља транслаторно кретање појединачних честица или крупнијих блокова, по јасно дефинисаној површи кретања, која се назива клизна раван. Геоморфолошки облик који настаје услед процеса клижења је клизиште.

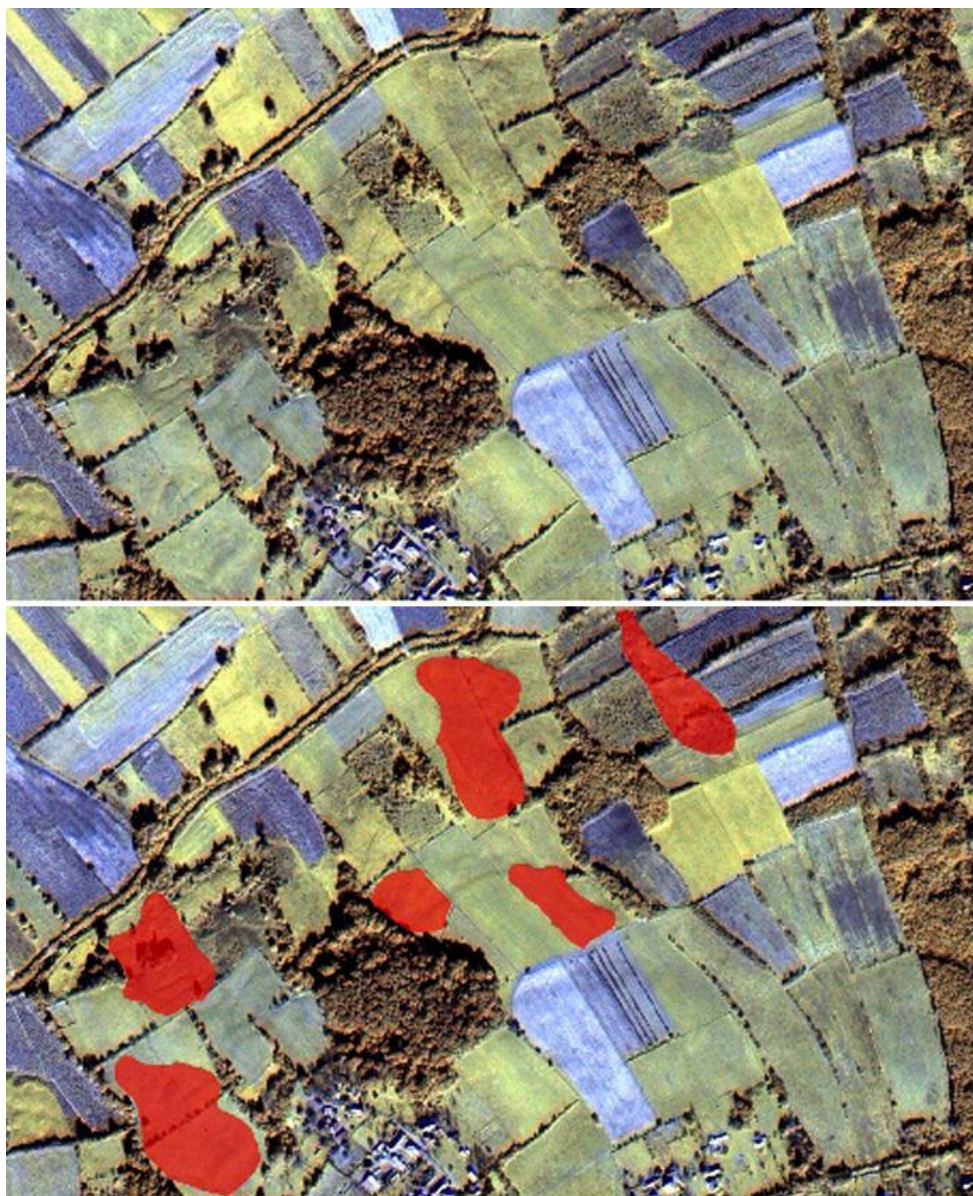
Клизишта су на сателитским снимцима издвајана најчешће на основу тонских промена, а врло ретко на основу њиховог морфолошког одраза у рељефу. Тонске промене (на црно-белим снимцима) или промене у боји (на снимцима у боји) често указују на промену влажности тла. Промена влажности тла може указивати на подручја која су подложнија процесу клижења, посебно ако су за то испуњени и други услови (литологија). За дефинисање клизишта много ређе је примењиван морфолошки критеријум, због ограничења самог сателитског снимка (немогућност стерео-утиска). Клизишта су у највећем броју случајева дефинисана као издужене елипсасте форме тамнијих тонова од околине, које се развијају низ падину. У неким случајевима било је могуће препознати ожиљак клизишта, као једну или више пукотина благог лучног облика на врху падине, од које клизиште почиње. Такође, у ретким случајевима је било могуће препознати и трбух и ножицу клизишта, али само у случају појава клижења већих димензија. У складу са пројектним задатком, издвајана су само акутна клизишта, али не и падине предиспониране покретима распаднутог, расквашеног стенског материјала.

На слици 5 приказан је пример нестабилне падине, на којој је издвојено више појединачних, мањих клизишта, која су утврђена на основу комбинованог тонског и морфолошког критеријума.

У ширем смислу гледано, процес течења је сматран резултатом комбинованог дејства делувијалног и пролувијалног процеса. Материјал који је био покренут је делувијалног порекла, а транспорт се вршио и планарно, низ падину, али и линеарно, у деловима који су морфолошки предиспонирани за такав начин кретања (јаруге, уже долине). Транспорт су карактерисале велике брзине кретања и велика енергија покренутог материјала. Транспортовале су се велике количине материјала, које су некад потпуно однете са своје оригиналне позиције, а некада делимично однете, а делимично релоциране. Однети материјал се депоновао на местима где се његова кинетичка енергија нагло смањује, тј. на местима где се смањује нагиб падине. У облике који настају деловањем процеса течења сврстани су: тецишта у ужем смислу, површи интензивног спирања, тело кретаног материјала мале дебљине, као и блатни токови.

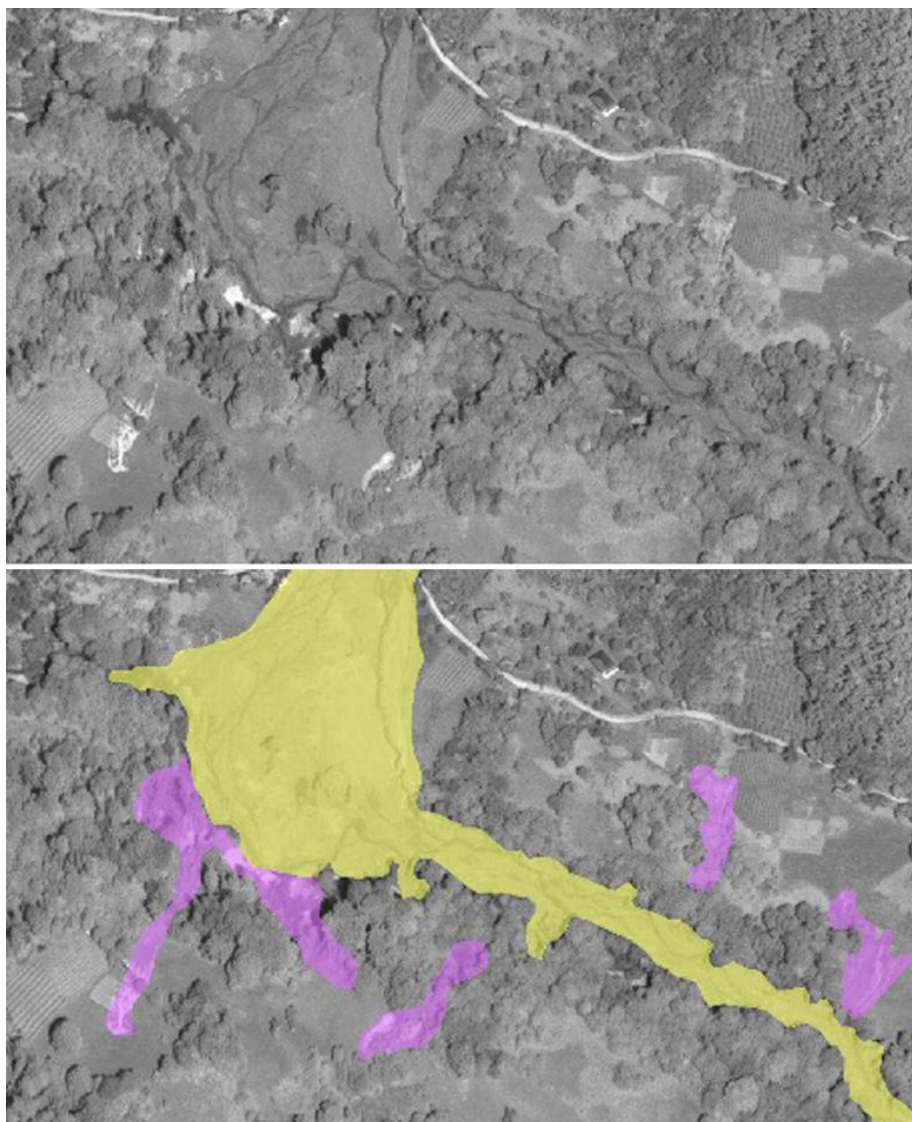
Тецишта у ужем смислу, издвајана су као облици процеса кога карактерише споро кретање низ падину јако расквашеног и веома вискозног материјала. То је ситнозрни, невезани, растресити материјал, који се креће преко матичне, чврсте стене. Брзина кретања материјала се смањује са дужином, па у коначном не може да се дефинише јасна граница између кретаног и некретаног материјала. У општем случају, брзине кретања материјала тецишта су мале, сем у екстремним случајевима када је стена засићена великом количином воде, па је материјал јако расквашен и релативно лако покретан. На слици 6 приказан је пример нестабилне падине на којој су развијена тецишта (приказана љубичастом бојом), а материјал исталожен у подножју падине је накнадно расквашен и од њега је формиран блатни ток у алувијалној равни (на слици приказан жутом бојом).

Блатни токови представљају облике настале таложењем материјала транспортованих из виших делова падине, процесима клижења или, чешће, течења, у широким алувијалним равнима. Материјал који сачињава блатне токове је веома расквашен и због тога веома лако покретљив, чак и у теренима са малим нагибом. Акумулација материјала се врши услед појаве препрека или због постепеног слабљења брзине покренутог материјала. На слици 7 приказан је пример блатног тока развијеног у широкој алувијалној долини. Осим седимената исталожених блатним током, могу се уочити и индикатори који указују на највиши ниво воде у овом делу терена.

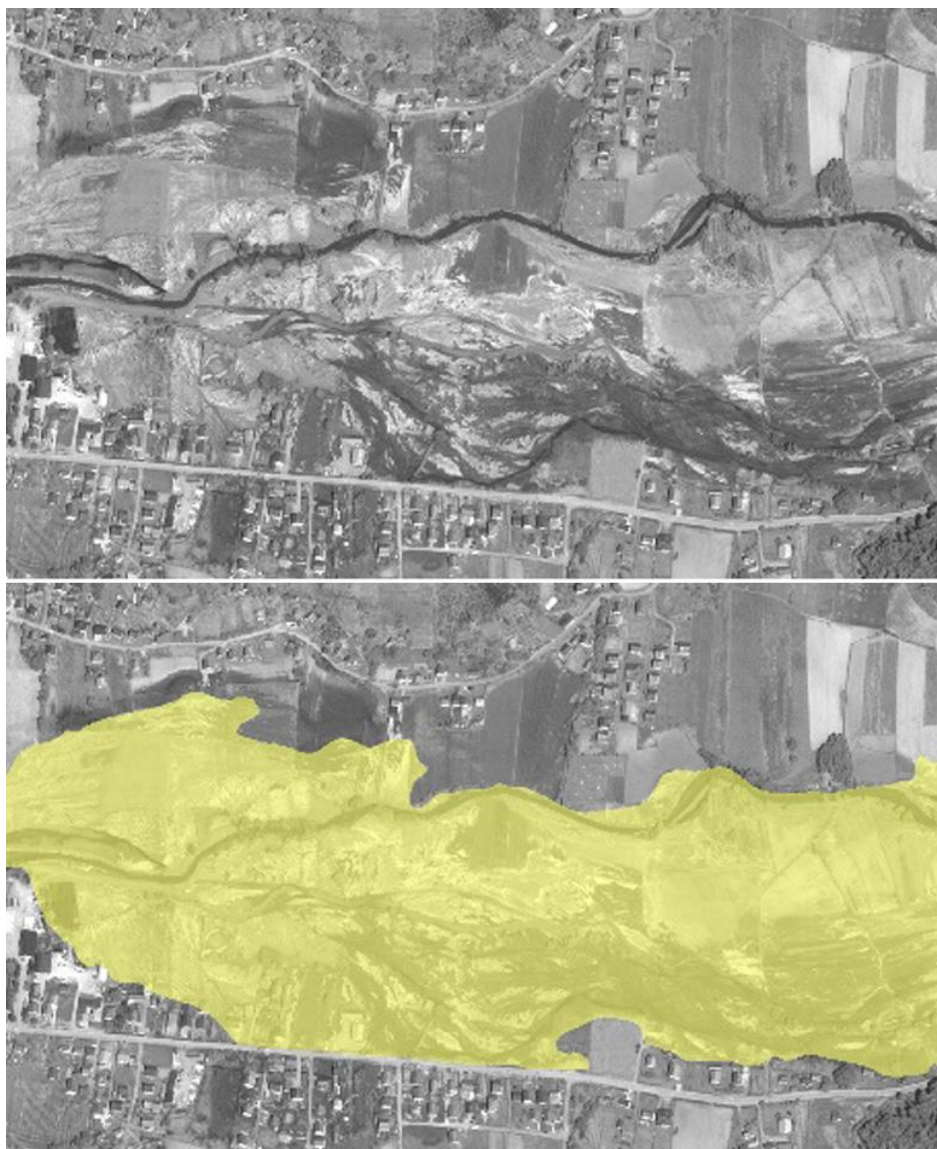


Слика 5. Пример нестабилне падине са појавама појединачних клизишта.
Мултиспектрални снимак Pleiades, без интерпретације (горе) и са интерпретираним
клизиштима (доле)

Веома је незахвално за интерпретацију појава нестабилности и крајње непоуздано користити само сателитске снимке, који представљају дводимензионалну представу терена. Таква подлога не омогућава, у великом броју случајева, утврђивање смера нагиба терена – падине, па самим тим и смер кретања облика нестабилности. Анализа над таквим подлогама је неефикаснија, успоренија, и што је најбитније, анализу и интерпретацију чини непоузданијом. У том смилсу, интерпретација појава нестабилности која је рађена у склопу овог пројекта, морала је бити потпомогнута различитим врстама подлога, као што су дигитални елевациони модел, сенчени модел рељефа, изохипсе, топографска карта, како би се са сигурношћу одредио смер нагиба падине и самим тим и смер кретања издвојених појава нестабилности.



Слика 6. Нестабилна падина са појавама тецишта, која се завршавају у алувијалној равни где је формиран блатни ток. Панхроматски канал снимка Pleiades, без интерпретације (горе) и са интерпретацијом (доле)



Слика 7. Блатни ток у широкој алувијалној равни. Панхроматски канал снимка Pleiades, без интерпретације (горе) и са интерпретацијом (доле)

РЕЗУЛТАТИ АНАЛИЗЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЈЕ

На основу описаних критеријума и на основу анализе и интерпретације сателитских снимака издвојено је укупно 1175 појава нестабилности падина након екстремних климатских услова, као што су поплаве 2014. године на територији Републике Србије. Појаве нестабилности падина након екстремних егзогених процеса укључивале су појаве тецишта и клизишта. Укупна површина која је анализирана износи око 7700 км².

Укупна број интерпретираних тецишта на истраживаном простору износи 635 (видети пример интерпретације на слици 8), док је интерпретирано 515 клизишта (видети пример интерпретације на слици 9). Појаве нестабилности које нису испуњавале критеријуме раздвајања клизишта и тецишта, имале су ознаку „несигурно“ и таквих појава је било 25.



Слика 8. Интерпретиране појаве нестабилности падина - тецишта. Панхроматски канал снимка Pleiades

Осим према механизму кретања и врсти покренутог материјала све појаве су интерпретиране са одређеним степеном сигурности. Највиши степен сигурности имао је ознаку „1“, док је најмањи степен сигурности имао ознаку „3“ приликом интерпретације. Степен сигурности је утврђиван на основу броја задовољених критеријума за интерпретацију. Уколико је појава задовољавала све критеријуме, додељен јој је највиши степен сигурности (видети пример на слици 10).



Слика 9. Интерпретиране појаве нестабилности падина - клизишта. Панхроматски канал снимка Pleiades

Највиши степен сигурности, односно ознаку „1“ има 830 интерпретираних појава нестабилности. Ознаку „2“ има 199 појава несигурности, док „3“ има 146 појава. Око 70% појава несигурности је интерпретирано са највишим степеном сигурности, односно приликом анализе су задовољени сви критеријуми за интерпретацију. Висок степен сигурности је омогућен пре свега због подлога (сателитских снимака) високе резолуције, као и због укључивања дигиталног елевационог модела при анализи.



Слика 10. Интерпретација појава нестабилности падина са различитим степеном сигурности

Интерпретација по општинама:

- На широј територији општине Бајина башта интерпретирано је укупно 225 појава нестабилности на падинама, од тога 79 појава је идентификовано као клизиште, а 146 као тециште.
- На широј територији Кладова интерпретирано је укупно 40 појава нестабилности на падинама. Све појаве су интерпретирание као клизишта.
- На широј територији Крупња интерпретирано је укупно 504 појава нестабилности на падинама, од тога 217 појава је идентификовано као клизиште, 277 као тециште, док за 10 појава није било могуће анализом снимака утврдити тип нестабилности.
- На широј територији Крагујевца интерпретирано је укупно 52 појаве нестабилности на падинама, од тога 25 појава је идентификовано као клизиште, а 27 као тециште.
- На широј територији Љубовије интерпретирано је укупно 200 појава нестабилности на падинама, од тога 96 појава је идентификовано као клизиште, 101 као тециште, док за 3 појаве није било могуће анализом снимака утврдити тип нестабилности.
- На широј територији Лознице интерпретирано је укупно 31 појава нестабилности на падинама, од тога 7 појава је идентификовано као клизиште, 21 као тециште, док за 2 појаве није било могуће анализом снимака утврдити тип нестабилности.
- На широј територији Малог Зворника интерпретирано је укупно 81 појава нестабилности на падинама, од тога 28 појава је идентификовано као клизиште, а 53 као тециште.
- На широј територији Трстеника интерпретирано је укупно 4 појаве нестабилности на падинама, од тога 2 појаве су идентификоване као клизиште, а 2 као тециште.
- На широј територији Уба интерпретирано је укупно 21 појава нестабилности на падинама, од тога 7 појава је идентификовано као клизиште, а 14 као тециште.
- На широј територији Варварина интерпретирано је укупно 17 појава нестабилности на падинама, од тога 15 појава је идентификовано као клизиште, а 2 као тециште.

Неопходно је нагласити да су при анализи и интерпретацији коришћени снимци високе резолуције, односно снимци Pleiades, док снимци WorldView2, нису били задовољавајуће резолуције и квалитета (слика 11). Снимци WorldView2 су имали резолуцију од 1.5 метара и нису могли да се подвргну процесу повећања резолуције (на 0,46 метара).



Слика 11. Интерпретација појава нестабилности падина на Google Earth снимку (лево) и WorldView2 (десно)

ЗАКЉУЧАК

Примењена метода даљинске детекцију у склопу пројекта у смислу анализе и интерпретације појава нестабилности на падинама изазваних екстремним природним условима, као што су поплаве 2014. године показала се као поуздана и корисна. Иако је ова метода примењена у смислу података који су служили пре свега као припремни корак пред теренско осматрање, метода је дала и посебан допринос у виду података на неприступачним теренима које није било могуће теренски обићи.

Укупан број појава нестабилности на падинама који је регистрован у току трајања пројекта на територији свих општина износи 2069 (<http://geoliss.mre.gov.rs/beware/webgis/statistika.php>). Даљинском детекцијом интерпретирано је 1175 појава нестабилности, што износи 57% од укупног евидентираног броја. Приликом ове анализе, неопходно је поменути да нису за све општине били доступни сателитски снимци, као и да је око 70% територија општина за које су снимци били на располагању заправо покривено снимцима.