

Uzroci, posljedice i sanacija klizišta na Banovini

Križe, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:260398>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

IVA KRIŽE

UZROCI, POSLJEDICE I SANACIJA KLIZIŠTA NA BANOVINI

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

IVA KRIŽE

UZROCI, POSLJEDICE I SANACIJA KLIZIŠTA NA BANOVINI

Diplomski rad
predložen Geološkom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog stupnja
diplomiranog inženjera geologije
znanstveno polje geologija, grana geologija i paleontologija

Zagreb, 2019.

Ovaj je diplomski rad izrađen u Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka PMF-a, pod vodstvom doc. dr. sc. Katarine Gobo, u sklopu Poslijediplomskog studija geoloških znanosti na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O KLIZIŠTIMA	3
3. OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	14
3.1. Geomorfologija i geologija	16
3.2. Klimatska, hidrološka i vegetacijska obilježja Banovine	20
3.3. Klizišta u Sisačko-moslavačkoj županiji	21
4. PRIMJERI KLIZANJA/ODRONA NA PODRUČJU BANOVINI	23
4.1. Hrvatska Kostajnica – odron.....	25
4.2. Hrvatska Kostajnica – klizište Kubarnovo brdo – Stari put	30
4.3. Klizište u Prnjavor Čunčićkom.....	37
4.4. Klizište u Selištu uz državnu cestu D37, Petrinja	41
5. DISKUSIJA.....	44
6. ZAKLJUČAK	47
7. LITERATURA.....	49

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Diplomski rad

UZROCI, POSLJEDICE I SANACIJA KLIZIŠTA NA BANOVINI

IVA KRIŽE

Rad je izrađen u Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka PMF-a, Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb.

Sažetak: Kroz rad je istražena prostorna rasprostranjenost klizišta na Banovini, određen je njihov geomorfološki značaj te njihova pojavnost je povezana s određenim meteorološkim prilikama. U okviru ovog diplomskog rada prikupljeni su podaci o klizištima iz različitih izvora: lokalnih samouprava gradova Petrinje i Hrvatske Kostajnice, tehničkih izvješća i geotehničkih elaborata, kao i informacija iz medija. Također je provedeno i istraživanje klizišta na terenu u svrhu provjere podataka i prikupljanja opisnih podataka o lokaciji klizišta, površini klizišta i elementima pod rizikom. Uzrok nastanka istraživanih klizišta na Banovini svakako su naglo kopnjenje snijega i intenzivne oborine koje uzrokuju bujičnu eroziju tla i stijena. Istraživanja klizišta provode se radi prevencije nastanka novih klizišta, odnosno smanjenja negativnih posljedica klizanja.

Ključne riječi: Banovina, Hrvatska Kostajnica, klizišta, pokretači klizanja, Prnjavor Čuntički, oborinski događaji

Rad sadrži: 54 stranice, 36 slika, 6 tablica, 28 literarnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor: doc. dr. sc. Katarina Gobo

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Katarina Gobo

doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

doc. dr. sc. Zorica Petrincec

Rad prihvaćen: 13. rujna 2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Geology

Graduated Engineer Thesis

CAUSES, CONSEQUENCES AND REMEDIATION OF LANDSLIDES IN BANOVINA

IVA KRIŽE

Thesis completed in: Division of Geology and Paleontology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb.

Abstract: The main goal of this research was to display the spatial distribution of landslides in the Banovina region, to determine their geomorphological significance and connect landslide occurrence with meteorological conditions. Data were collected from various sources: local government archives of the towns of Petrinja and Hrvatska Kostajnica, technical reports and geotechnical studies, as well as information from the media. Field investigation was also performed in order to determinate the exact location of landslides, collect descriptive data about size of landslides and surface elements at risk. The studied landslides in Banovina were caused by torrential erosion of soil and rocks resulting from sudden melting of snow and intense rainfall. Landslide surveys are conducted to prevent the occurrence of new landslides, or to reduce their negative consequences.

Keywords: Banovina, Hrvatska Kostajnica, landslides, triggers of landslides, rainfall events

Thesis contains: 54 pages, 36 figures, 6 tables, 28 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Faculty of Science, University of Zagreb

Supervisor: Katarina Gobo, PhD - Assistant Professor

Rewiewers: Katarina Gobo, PhD - Assistant Professor

Borna Lužar-Oberiter, PhD, Assistant Professor

Zorica Petrincec, PhD, Assistant Professor

Thesis accepted: 13 September 2019

1. UVOD

Nestabilnost velikih masa na nagnutim terenima i njihovo klizanje prirodna su pojava koja ima veliko značenje u oblikovanju današnjeg reljefa. Prema Crudenu (1991) "klizanje je gibanje mase stijena, debris ili tla niz kosinu, što podrazumijeva sve tipove gravitacijskih gibanja masa tla i masa stijena, od odronjavanja i prevrtanja stijena, rotacijskih i translacijskih klizanja te tečenja različitih materijala". Pojava klizanja na nekom prostoru uglavnom se dovodi u vezu sa specifičnim geomorfološkim obilježjima područja (nagibom padine, vegetacijom), geološkom građom terena (vrstom stijene i njenim trošenjem), geotehničkom osjetljivošću terena, promjenom sadržaja vode u terenu, hidrometeorološkim obilježjima ali i često s antropogenim utjecajem.

Tipovi klizišta i njihove značajke, kao i prostorna distribucija klizišta, ovisi o uzrocima klizanja (Krkač i dr., 2018). Za određivanje stupnja osjetljivosti na klizanje nekog područja potrebno je poznavati preduvjete klizanja, odnosno skupinu uvjeta i procesa koji su doveli padinu u stanje granične ravnoteže. Preduvjeti klizanja su: uvjeti na padini (vrste stijena/tala koje izgrađuju padinu i njihova fizička, mehnička i hidraulička svojstva); geomorfološki procesi, fizički procesi (npr. trošenje) i antropogeni utjecaj (npr. pretvaranje šuma u oranice). Sve ove pojave, prirodne ili antropogene, dovode do smanjenja čvrstoće materijala na padini i u konačnici uzrokuju pomicanje tla ili stijene. Klizišta pritom uzrokuju velike materijalne štete, a izravno ili neizravno ugrožavaju i lokalno stanovništvo, čime predstavljaju značajan geološki hazard. Poticaj za ovaj diplomski rad bila je elementarna nepogoda iz 2018. godine u Hrvatskoj Kostajnici, prilikom koje je na relativno malom području došlo do klizišta.

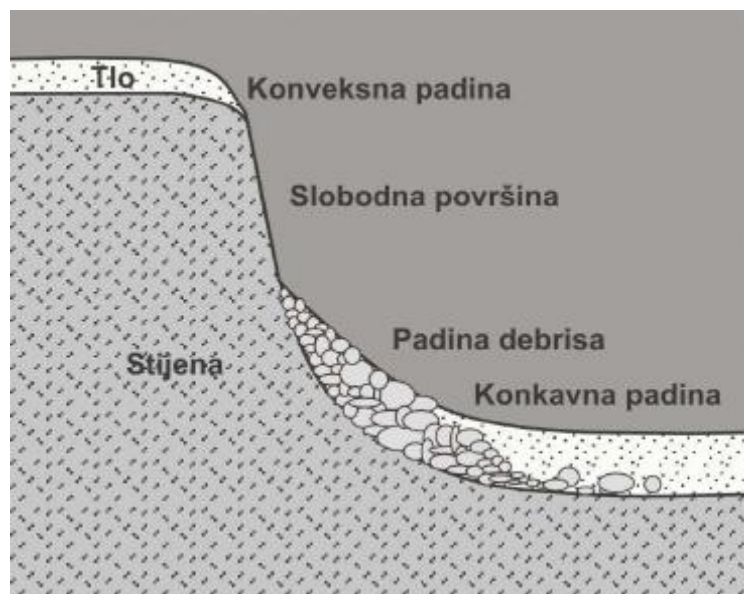
Cilj ovog diplomskog rada je prikupljanje podataka o klizištima koja su aktivirana na području Banovine, njihova analiza u svrhu identifikacije događaja koji su pokrenuli klizanja, tzv. pokretači klizanja. Analiza se sastoji od istraživanja prostorne rasprostranjenosti klizišta,

određivanja njihovog geomorfološkog značaja te povezivanja njihove pojavnosti s određenim klimatološkim prilikama. U radu su obrađena četiri lokaliteta: odron i klizište u Hrvatskoj Kostajnici, klizište u Prnjavoru Čuntičkom te klizište u Selištu, uz državnu cestu D37. Sva navedena klizišta nalaze se blizu naseljenih mjesta ili prometnica, ali zasigurno postoje i klizišta koja nisu uočena ili ne ugrožavaju izravno infrastrukturu.

Podaci su prikupljeni iz lokalne samouprave grada Petrinje i grada Hrvatske Kostajnice, terenskih obilazaka, s internetskih stranica te drugih tehničkih izvješća. Uz pomoć dostupnih podataka o postojećim klizištima na području Banovine, očekivani rezultati rada su definiranje uzroka, posljedica i mjere sanacije.

2. OPĆENITO O KLIZIŠTIMA

Padine su najčešći morfološki oblici na Zemlji. Profili prirodno erodiranih padina primarno zavise o klimatskim uvjetima i tipu stijene koja izgrađuje padinu (Nakić, 2010). Moguće je razlikovati četiri elementa na padini: konveksna padina, slobodna površina ili greben, padina debrisa i konkavna padina (Slika 2.1). Konveksna padina nastaje polaganim kretanjem tla ili stijene niz padinu, poznatijim kao puzanje. Slobodna površina ili greben nastaje uslijed odrona stijenske mase. Padina debrisa nastaje postupnom akumulacijom materijala u podnožju padine, a kut nagiba padine debrisa iznosi maksimalno oko 30 – 35°, što predstavlja najstrmiji kut stabilnosti rahlog stijenskog materijala. Konkavna padina nastaje djelovanjem vode koja transportira stijenski materijal niz padinu i postupno izdubljuje matičnu stijenu.



Slika 2.1. Elementi padine (Nakić, 2010)

Najčešći aktivni geomorfološki proces na površini Zemlje je klizanje tla i/ili stijene kojim nastaju oblici, odnosno pojave koje nazivamo klizišta. Kao što je prethodno spomenuto, pojava klizanja odnosno klizišta posljedica je geološke građe terena (litološki sastav, slojevitost, prisutnost pukotina), geomorfoloških obilježja područja (nagib padine), hidrogeoloških uvjeta (razina i režim podzemnih voda), meteoroloških uvjeta (količine

padalina, topljenje snijega), vegetacijskih uvjeta, antropogenih utjecaja (nasipavanje materijala na padinama, sječa šuma, uklanjanje materijala s podnožja padine), ali i drugih utjecaja (potresi, vibracije).

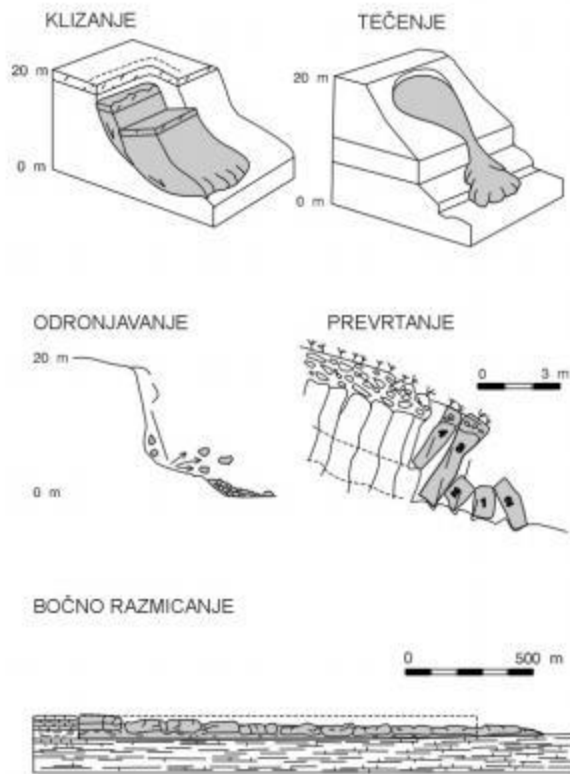
Prema Bognaru (1996) klizanje zemljišta je kretanje tla ili stijenskog materijala s padine na kliznoj plohi pod utjecajem gravitacije. Jedan od osnovnih preduvjeta za pojavu klizišta su glinovite stijene u sastavu terena na kojemu su oblikovane padine (Bognar, 1996). Što je veći sadržaj gline to su veće šanse za stvaranje klizišta. Drugi preduvjet je izmjena propusnih i nepropusnih slojeva u tlu, tj. izmjena pjeskovitih i glinovitih slojeva. Glinovita i praškasta tla koherentna su i odlikuje ih svojstvo plastičnosti, tj. mogućnosti promjene konzistentnog stanja ovisno o sadržaju vlage (Nakić, 2010). Krupnozrnata tla s pijescima i šljuncima su nekoherentna i samim time nisu ni plastična. Primjerice, povećana količina vlage u glinovitim slojevima može dovesti do njihovog bubrenja i time poremetiti stabilnost pokrovnih krupnozrnatijih slojeva koji se tada mogu pokrenuti i uzrokovati klizanje ili odron. Porast količine vode i hidrostatskog tlaka u stijenama je također jedan od bitnijih preduvjeta za pojavu klizišta (Bognar, 1996). Od čimbenika koji utječu na formiranje klizišta Bognar (1996) još navodi i podzemno kretanje vode, promjene nagiba padine, sezonsko oblikovanje leda u tlu, vibracije u tlu uzrokovane potresima ili miniranjem te uništavanje vegetacije na površini što smanjuje stabilnost padine.

Prema Varnes (1984), mehanizam gibanja jedan je od osnovnih kriterija za klasifikaciju klizišta. Razlikuje se pet osnovnih tipova kretanja mase stijena ili tla niz padinu, prikazanih na slici 2.2., a to su:

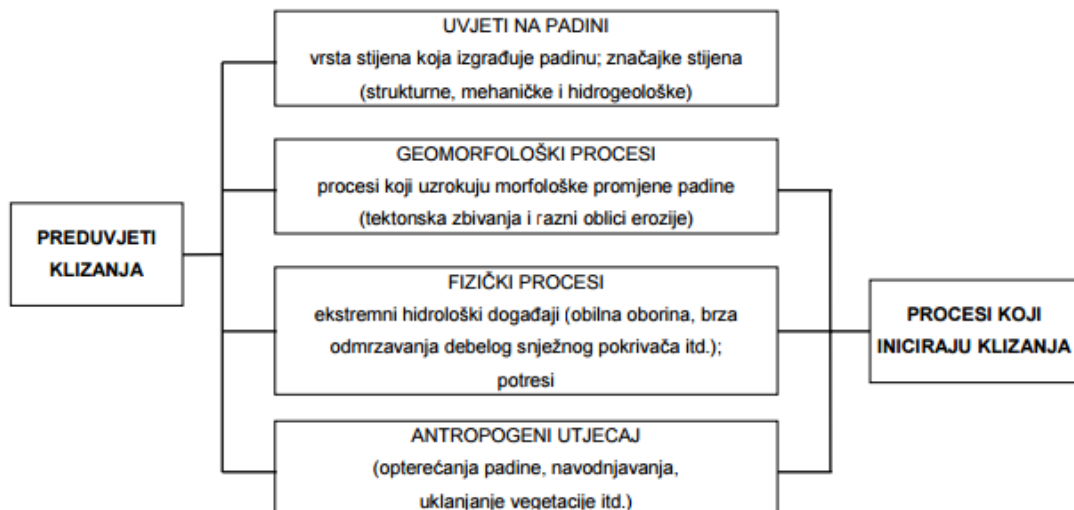
- klizanje – gibanje relativno koherentne mase materijala po jednoj ili više dobro definiranih kliznih ploha (ploha sloma)
- tečenje – raznovrsna gibanja s varijacijama u brzini toka i vlažnosti

- odronjavanje – odvajanje mase sa strmih padina po površini slobodnim padom
- prevrtanje – rotacija odvojene mase oko osi prema naprijed
- bočno razmicanje blokova uslijed kojeg nastaju posmične pukotine.

Najčešći je slučaj da je klizanje inicirano samo jednim procesom, ali je predisponirano brojnim preduvjetima i procesima (Mihalić, 2007). Uzročnici klizanja mogu se klasificirati u dvije skupine kao preduvjeti klizanja i pokretači (inicijatori) klizanja (Slika 2.3.). Preduvjeti klizanja čine padinu podložnom klizanju, ali ga ne iniciraju, već dovode padinu u stanje granične ravnoteže, dok su inicijatori klizanja procesi koji pokreću gibanje, jer padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje.



Slika 2.2. Osnovni tipovi klizanja (Mihalić 2007)



Slika 2.3. Tipovi uzročnika klizanja (Mihalić, 2007)

U tablicama (Tab. 2.1 i Tab. 2.2) su prikazani uzroci i pokretači klizanja prema Highland i Bobrowski (2008).

Tab.2.1. Vrste uzroka pojave klizišta

PRIRODNI UZROCI	ANTROPOGENI UZROCI
Nevezani materijal	Potkopavanje padine
Trošni materijali	Izgradnja na nestabilnom tlu
Tektonski pomaci	Punjenje i pražnjenje vodnih rezervoara
Izdizanje kopna nakon kopnjenja leda	Nasipavanje vršnog dijela padine
Fluvijalna erozija	Uklanjanje prirodne vegetacije
Abrazija	Navodnjavanje
Uklanjanje vegetacije kroz požare ili sušu	Vibracije (npr. eksplozije)
Prirodno nakupljanje materijala na vršnom dijelu padine	Miniranje

Izvor: Highland i Bobrowsky, 2008.

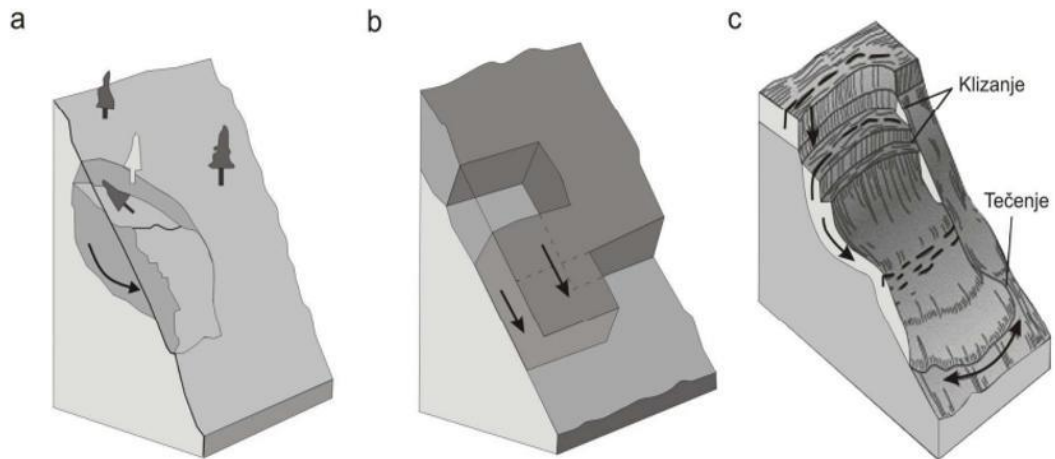
Tab.2.2. Pokretači pokretanja klizišta

POKRETAČI	
Intenzivne padaline Brzo kopnjnje snijega Dugi kišni periodi Potresi	Vulkanske erupcije Sezonsko oblikovanje leda u tlu Sušenje i bubrenje gline Poplave

Izvor: Highland i Bobrowsky, 2008.

Klizanje je kretanje koherentne mase tla i/ili stijena duž jedne ili više dobro definiranih kliznih ploha niz padinu (Cruden, 1991). Klizna ploha je ploha po kojoj dolazi do klizanja niz padinu, a s obzirom na oblik klizne plohe razlikuju se tipovi klizišta: rotacijsko, translacijsko i kompleksno (Slika 2.4.). Kod rotacijskog klizišta, masa stijene ili tla kreće se po zakrivljenoj plohi, kod koje se gornji dio kreće prema dolje, a donji dio prema van, tj. prema površini. Kod translacijskog klizišta, masa stijene ili tla kreće se po plohi koja je približno paralelna površini. Kompleksno klizanje može nastati u slučaju kada stijenska masa zasićena vodom, koja se nalazi

u donjem dijelu padine, započinje proces tečenja niz padinu, što uzrokuje pojavu niza rotacijskih klizišta u gornjem dijelu padine.



Slika 2.4. Tipovi klizanja stijenske mase: a) rotacijsko, b) translacijsko i c) kompleksno (Krkač i dr., 2018)

Aktivnost klizišta je širok pojam jer obuhvaća tri aspekta aktivnosti: 1. stanje aktivnosti (Tablica 2.3) koje opisuje vrijeme kretanja, 2. distribuciju aktivnosti (Tablica 2.4) koja opisuje smjer kretanja klizišta i 3. stil aktivnosti (Tablica 2.5) koji ukazuje na tip ili kombinaciju tipova kretanja prema njihovu mehanizmu (WP/WLI, 1993).

Tab. 2.3. Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta s pripadajućim definicijama

BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1.	aktivno	klizište u pokretu
2.	trenutačno neaktivno	klizište koje se kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutačno ne kreće
3.	reaktivirano	aktivno klizište koje je prije bilo neaktivno
4.	neaktivno	klizište koje se nije pokretalo posljednjih 12 mjeseci. Neaktivna klizišta dijele se na: privremeno umirena (5), trajno umirena (6), stabilizirana (7) i reliktna (8)
5.	privremeno umireno	neaktivno klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka
6.	trajno umireno	neaktivno klizište koje više nije pod utjecajem uzroka klizanja
7.	stabilizirano	neaktivno klizište zaštićeno mjerama sanacije
8.	reliktno	neaktivno klizište koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju

Izvor: WP/WLI, 1993.

Tab. 2.4. Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama

BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1.	progresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru kretanja
2.	retrogresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru obrnutom od kretanja pokrenutog materijala
3.	povećavajuće	ploha sloma se proširuje u dva ili više smjerova
4.	umanjujuće	volumen pokrenutog materijala se smanjuje
5.	ograničeno	nema vidljivu plohu sloma već samo ožiljak vidljiv u stopi pokrenute mase
6.	krećuće	pokrenuti materijal se kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala
7.	proširujuće	ploha sloma se proširuje u zoni jednog ili oba boka klizišta

Izvor: WP/WLI, 1993.

Tab. 2.5. Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama

BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1.	kompleksno	sastoji se od najmanje dva tipa kretanja koja se nastavljaju jedno na drugo
2.	mješovito	sastoji se od najmanje dva tipa kretanja koja se odvijaju simultano u različitim dijelovima pokrenute mase
3.	sukcesivno	dva ili više susjednih klizišta, istog tipa kretanja, ali po odvojenim plohama sloma i sa zasebnim pokrenutim masama
4.	pojedinačno	pojedinačno kretanje pokrenutog materijala
5.	višestruko	opetovani razvoj istog tipa kretanja

Izvor: WP/WLI, 1993.

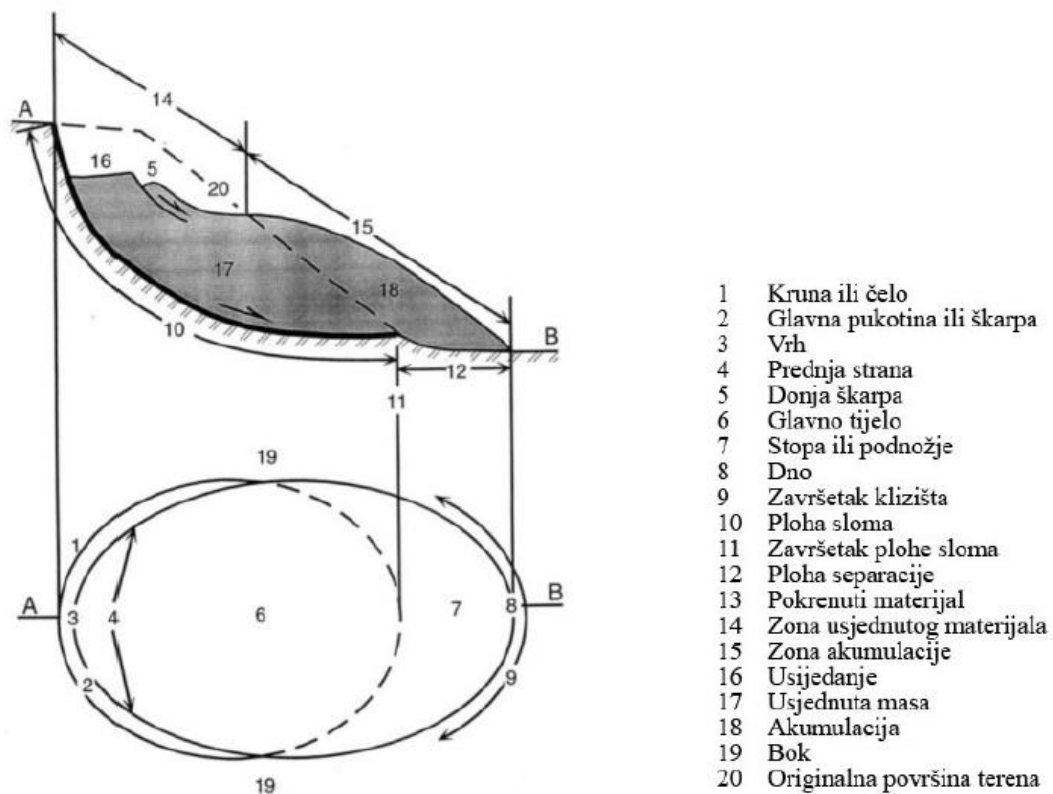
Kod određivanja dimenzija klizišta, mjeri se ukupna duljina klizišta, dimenzije pokrenute mase i dimenzije plohe sloma. Definicije navedenih dimenzija dane su u tablici 2.6.

Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu s nazivima dijelova prikazan je na slici 2.5.

Tab. 2.6. Dimenzije klizišta

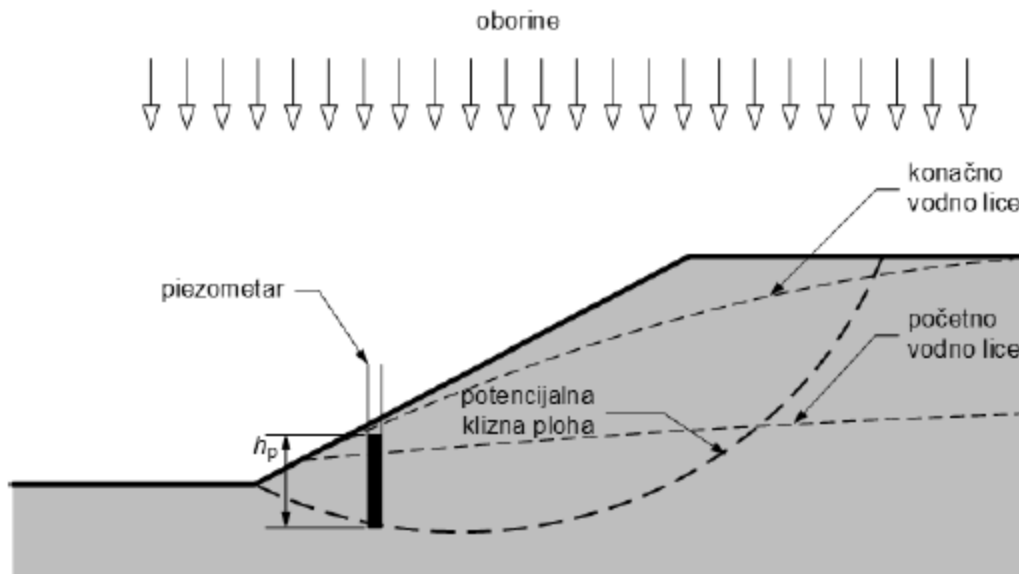
DIMENZIJE KLIZIŠTA	DEFINICIJA
širina pokrenute mase, W_d	maksimalna širina pokrenute mase okomito na duljinu L_d
širina plohe sloma, W_r	maksimalna udaljenost između blokova klizišta, okomito na duljinu L_r
ukupna duljina, L	maksimalna udaljenost od krune do dna klizišta
duljina pokrenute mase, L_d	maksimalna duljina od vrha do dna klizišta
duljina plohe sloma, L_r	minimalna udaljenost od krune klizišta do završetka plohe sloma
dubina pokrenute mase, D_d	maksimalna dubina pokrenute mase, mjerena okomito na ravninu koju definiraju W_d i L_d
dubina plohe sloma, D_r	maksimalna dubina plohe sloma mjerena od originalne površine okomito na ravninu koju definiraju W_r i L_r

Izvor: Cruden i Varnes, 1996.



Slika 2.5. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu (WP/WLI, 1993)

Kako bi tlo na kosini bilo stabilno, čvrstoća tla mora biti veća od posmičnog naprezanja. Nestabilnosti na kosini koje uzrokuju pojavu klizišta događaju se ili zbog pada čvrstoće ili zbog porasta posmičnog naprezanja, a moguće su i kombinacije događaja. Čvrstoća je funkcija normalnog efektivnog naprezanja, a posmično naprezanje razlika normalnog naprezanja i pornog tlaka. Važnu ulogu u promjeni čvrstoće imaju porast pornog tlaka i povećanje posmičnih deformacija (Zlatović, 2006). Slika 2.6. prikazuje kosinu izloženu oborinama koje dižu početnu razinu vodnog lica, te time povećavaju porne tlakove u kosini.



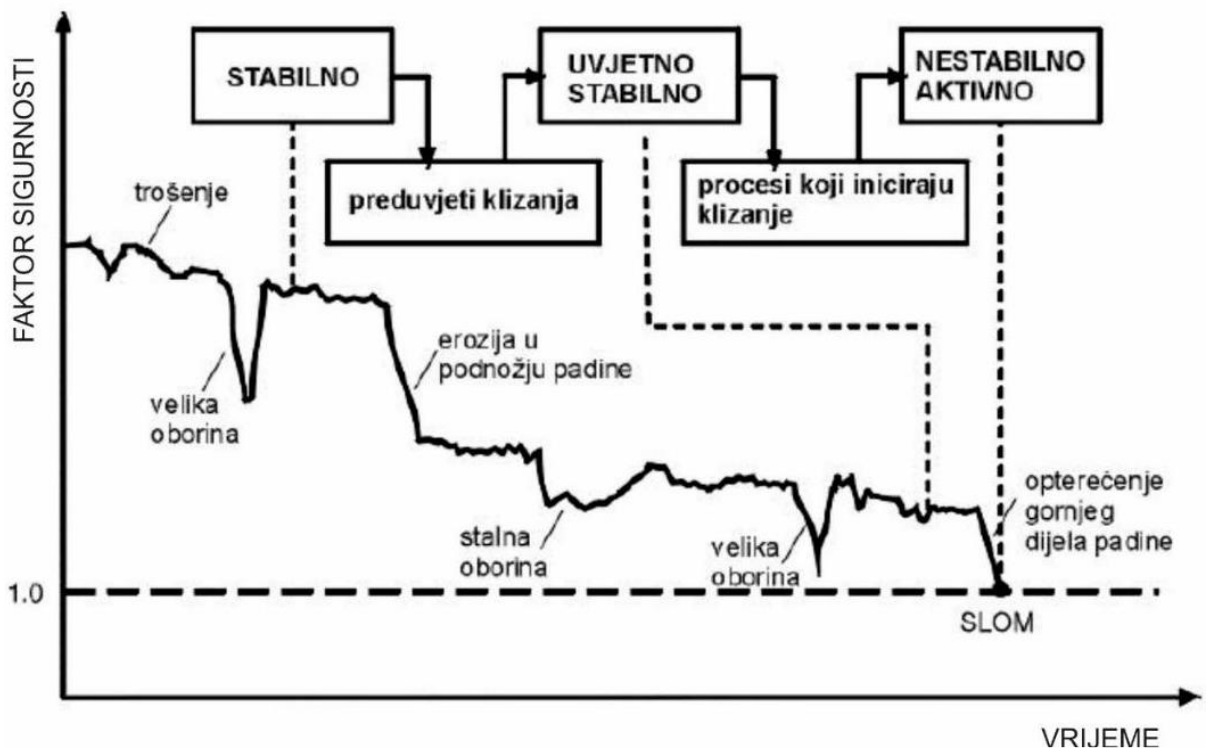
Slika 2.6. Porast porenog tlaka i pada čvrstoće u kosini uslijed oborina (Szavits-Nossan)

Uslijed obilnih oborina i kopnjenja snijega dolazi do pojačane infiltracije vode u tlo, te tlo ili stijena postaju sve više zasićeni vodom, pri čemu se povećavaju porni tlakovi što pak uzrokuje smanjenje posmične čvrstoće materijala od kojih je padina izgrađena. Pojačana infiltracija vode u tlo i zasićenje tla dovodi i do povećanja njegove težine što pojačava posmična naprezanja, te destabilizira padinu. Kada se posmična čvrstoća smanji na veličinu posmičnog naprezanja, klizna masa postaje nestabilna i počinje klizanje (Mesec, 2009).

Opća definicija faktora sigurnosti kosine (F) proizlazi iz odnosa posmične čvrstoće materijala (τ_f) i posmičnih naprezanja (τ) po utvrđenoj ili pretpostavljenoj plohi sloma prema jednadžbi: $F = \tau_f / \tau$.

Ako je faktor sigurnosti veći od jedan, tada posmična čvrstoća materijala premašuje posmična naprezanja i padina je stabilna. U praksi se padina smatra stabilnom ako je faktor sigurnosti veći od 1,25. U skladu s ovom definicijom, Terzaghi (1950) je podijelio uzroke klizanja u dvije grupe: (1) vanjski uzroci uslijed kojih se povećavaju posmična naprezanja (npr. opterećenje vrha padine, promjene razine podzemne vode); (2) unutarnji uzroci zbog kojih se smanjuje

posmična čvrstoća (npr. trošenje, erozija). Međutim, neki od ovih uzroka mogu istovremeno utjecati i na posmičnu čvrstoću. Na slici 2.7. prikazan je primjer promjena faktora sigurnosti određene padine u funkciji vremena, a kao posljedica sezonskih promjena količine oborina i evaporacije (WP/WLI, 1995).



Slika 2.7. Primjer promjena faktora sigurnosti s vremenom (WP/WLI,1995)

Na osnovu oblika klizišta i njegovih dimenzija na površini moguće je procijeniti dubinu i volumen klizišta, što se koristi prilikom projektiranja mjera sanacije. Stabilizacija postojećeg klizanja ili prevencija potencijalnog klizanja provodi se reduciranjem posmičnih naprezanja, odnosno sila koje ga pokreću ili povećavanjem sila otpora, odnosno posmične čvrstoće materijala. Mjere sanacije klizišta je moguće razvrstati u četiri skupine (Popescu, 2001), a to su modifikacija geometrije padine, drenaža, potporne građevine i unutarnje ojačanje padine.

3. OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Banovina je kraj u središnjoj Hrvatskoj, u Sisačko-moslavačkoj županiji, između rijeke Save, donjeg toka rijeke Kupe, Une i Gline te granice prema Bosni i Hercegovini (Slika 3.1.).



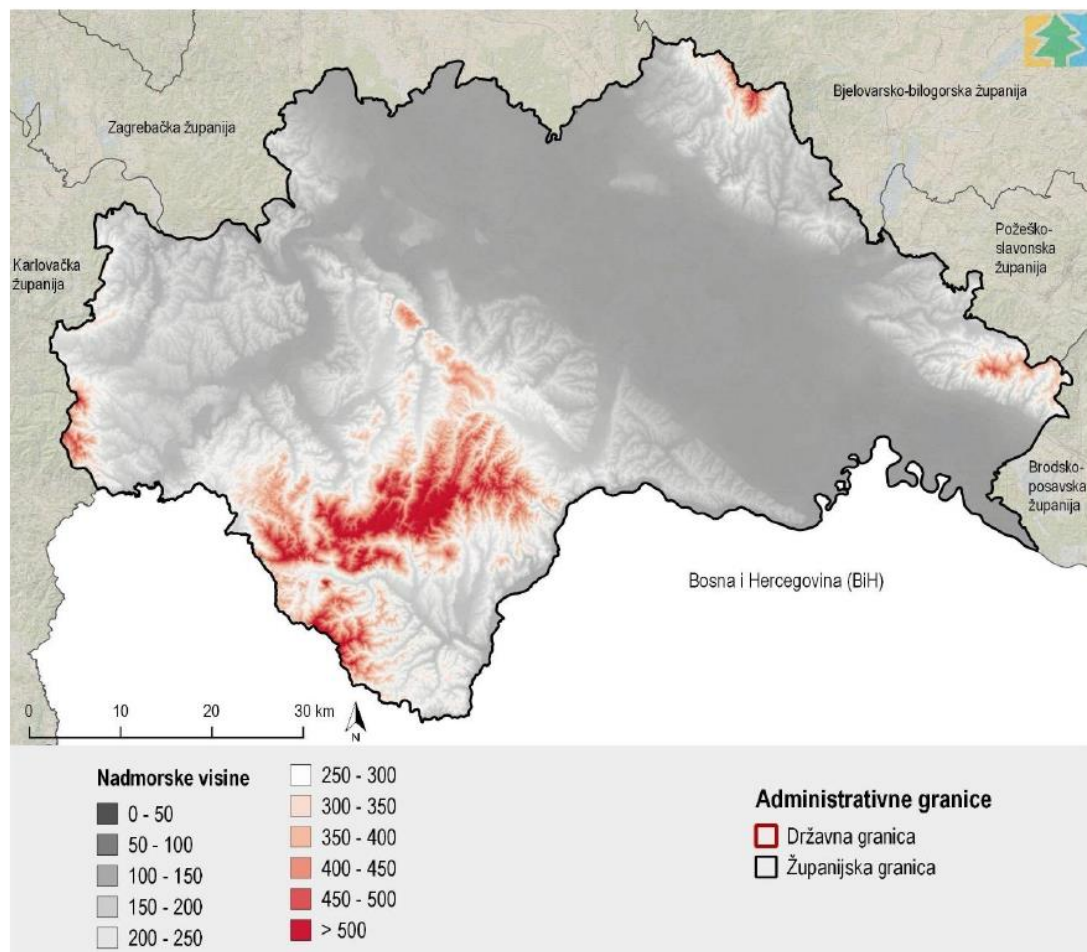
Slika 3.1. Smještaj regije Banovina (<https://croatia.eu/article.php?lang=1&id=12>)

Prema Magašu (2013), prostor Banovine čine Zapadna Banovina (raščlanjeno pobrđe s prostranom naplavnom ravni rijeke Gline), Sjeverna Banovina (osojni predio s presjekom jug-sjever od gorskog, preko prigorskog do kupsko-savskog ravničarskog dijela), Južna Banovina (zonalna struktura prisojnih pristanaka od gorskog ruba, rebrastog pobrđa do ocjedite i

naplavne ravni uz Unu) i Istočna Banovina ili Banovinsko Donje Pounje (kenozojsko pobrđe s prisavskim i donjeunskim rubnim aluvijalnim pojasom).

3.1. Geomorfologija i geologija

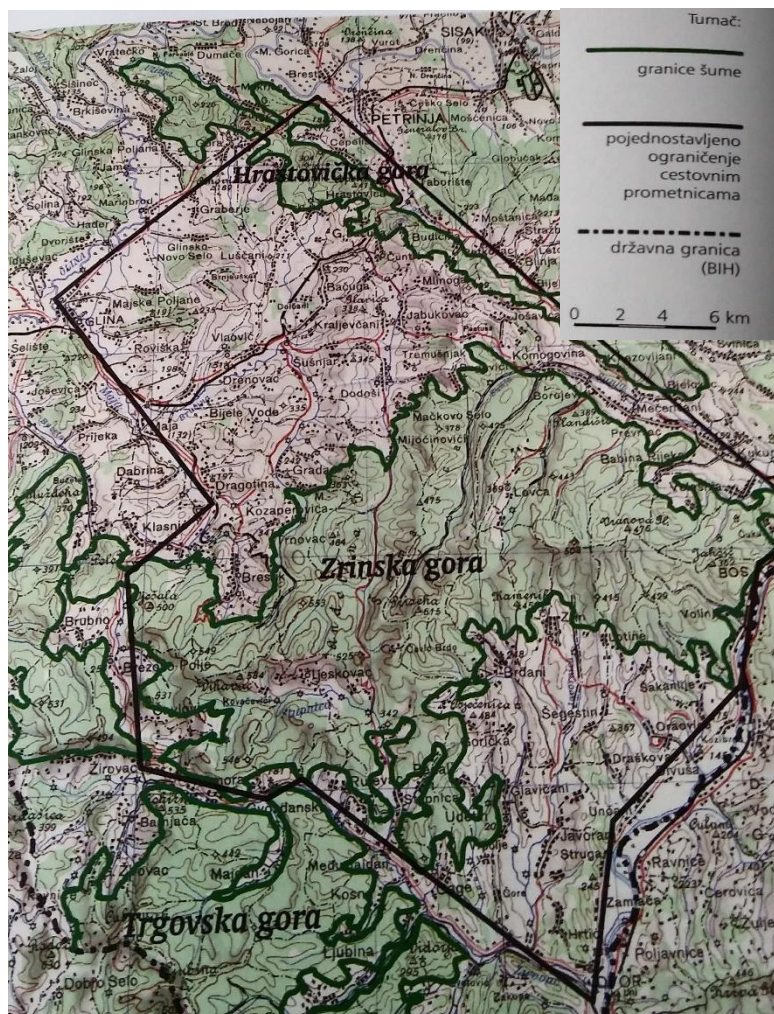
Prostor Banovine je brežuljkasto brdovit teren. Prema priloženoj karti (Slika 3.2.) može se zaključiti da se nadmorska visina regije Banovina kreće između 200 – 450 metara. Južni je dio Banovine viši u odnosu na ostatak regije, na prelasku u brdovito područje Zrinske gore.



Slika 3.2. Nadmorske visine Sisačko-moslavačke županije (Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije, 2018)

Zrinska gora čini jednu od prepoznatljivih prostornih cjelina Banovine. Prostire se između rijeka Kupe, Save, Une i Gline s više relativno zasebnih cjelina: Zrinska gora, Trgovska

gora i Hrastovačka gora (Slika 3.3). Ispresijecana je rasjedima različitih pravaca pružanja koji su utjecali na njezinu složenu strukturu s dugim uzdužnim i poprečnim hrptovima i tektonski predisponiranim uskim riječnim i potočnim dolinama (Matas, 2010). Poprečni do dijagonalni rasjedi pružaju se pravcem sjeveroistok-jugozapad do gotovo istok-zapad. To su normalni do vertikalni rasjedi duž kojih se, osim vertikalnih, zapažaju i horizontalni pomaci stijena. Na sjevernoj i zapadnoj strani ističu se petrinjski i glinski rasjed. S jugoistočne strane Zrinske gore proteže se kostajnički rasjed s nekoliko pratećih rasjeda. Rasjedi odvajaju pojedine manje, lokalne horstove i strukturne nosove, koji se u nekim radovima nazivaju i kosama (kosa - uzvišenje blagih padina koje postupno prelazi u ravnicu).



Slika 3.3. Granice Zrinske gore/Zrinskog gorja i reljefna struktura (Matas, 2010)

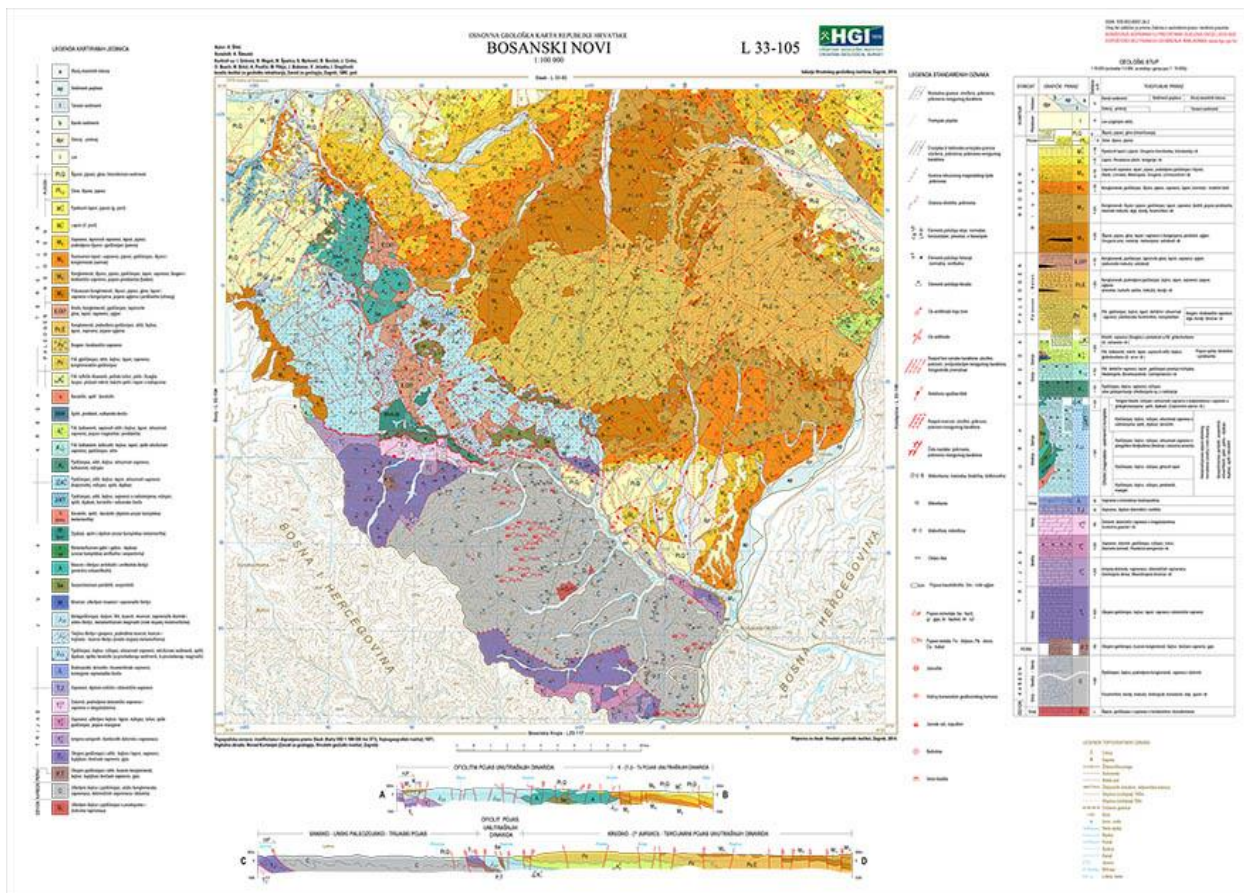
Današnji izgled Zrinske gore vezan je uz razdoblje neogena i kvartara tijekom kojeg su rasjednim pokretima izdignuti stijenski kompleksi borani u paleozoiku i mezozoiku. Kao izraz višestrukog izdizanja i smirivanja tektonskih aktivnosti obilježenih prevladavanjem fluviodenudacijskih procesa oblikovan je splet bila, grebena i kosa, često bez jasno izraženog smjera pružanja (Matas, 2010). Zrinska gora, prema tome, nema jasno izražene trupine ili bila već predstavlja skupni naziv za više uzvisina ili kosa, od kojih su najvažnije Šamarica, Anđelina kosa, Popov gaj, Vješala i Vratnik (Slika 3.3.).

Šamarica je središnji i najveći dio Zrinske gore, koji se od njezina najvišeg vrha (Piramida, 616 m) proteže prema sjeveru i sjeveroistoku u dužini od 10-ak kilometara. Svojom visinom i smjerom pružanja dijeli Banovinu na glinsko-petrinjski i dvorski dio (Slika 3.3.). Hrastovička (ili Petrinjska) gora predstavlja sjeverozapadni izdanak Zrinske gore od koje je oštro odvojena tektonski predisponiranom dolinom Petrinjčice. Proteže se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. od meandra Kupe nizvodno do ušća Gline, pa sve do potoka Sunja. U geomorfološkom smislu Hrastovička gora je niska ali prilično strma gorska kosa, pošumljenih strana i zaravnjena bila (Matas, 2010). Trgovska (ili Bužimska) gora predstavlja morfostrukturni blok izdignut rasjednom tektonikom. Uz seizmički najaktivnije pravce u zonama rasjeda postoji mogućnost pojave klizišta, te stvaranja većih odrona i erozije stijena.



Slika 3.4. Šamarica (<http://petrinjaturizam.hr/ea/wp-content/uploads/>)

U geološkom pogledu, područje Zrinske gore heterogene je građe i sastava (Pikija i dr., 2010). Veći dio građen je od eocenog fliša i magmatsko-sedimentnog sklopa jurske i donjokredne starosti. Područje Trgovske gore je najkompleksnije geološke građe. Njezin južni i jugozapadni dio pokriven je gornjopaleozojskim naslagama koje su dijelom obrubljene mlađim trijaskim (mezozojskim) naslagama. Najstarije otkrivene naslage izgrađene su od donjodevonskih šejlova, siltita i finoizrnatih pješčenjaka sa sporadičnom pojavom karbonatnih stijena koje su uložene kao leće. Dok trijaskie naslage samo tektonskim kontaktom obrubjuju masiv Trgovske gore, jurske naslage u kojima prevladava ofiolitski kompleks imaju značajno prostiranje u njegovom sjeverozapadnom dijelu (Pikija i dr., 2010). Središnji dio Zrinske gore građen je od paleogenskih naslaga. Prevladavaju eocenske naslage odnosno alteracije vapnenca, pješčenjaka, konglomerata i lapora (Slika 3.5).



Slika 3.5. Geološka karta Zrinske gore ([https://www.hgi-cgs.hr/ogk_100/ogk_sm/OGK100_BOSANSKI_NOVI sm.jpg](https://www.hgi-cgs.hr/ogk_100/ogk_sm/OGK100_BOSANSKI_NOVI_sm.jpg))

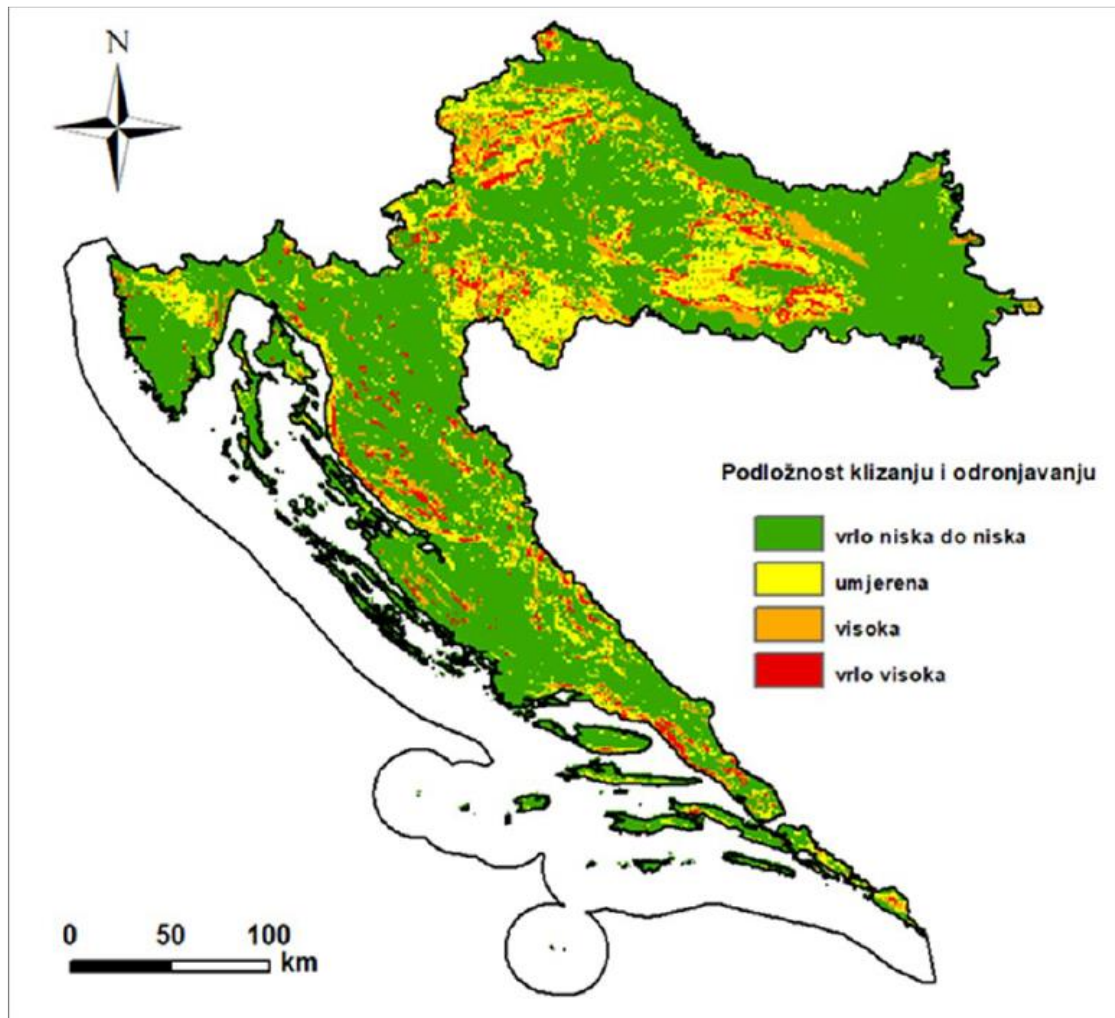
3.2. Klimatska, hidrološka i vegetacijska obilježja Banovine

Smještena na dodirnom području velikih reljefnih cjelina, Banovina je izložena klimatskim utjecajima s prostora Panonske ravnice i gorskog sustava Dinarida. Područje Banovine pripada podvarijanti tipa C klime i to umjereno toploj vlažnoj klimi s toplim ljetom (Cfb). Srednje siječanjske temperature kreću se između -2 i 0°C, a srpanjske od 18 do 22°C (Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije, 2018). Na njezinu klimu utječe čitav niz klimatskih modifikatora. Padaline su ravnomjerno raspoređene tijekom godine, s proljetnim i jesenskim maksimumom. Srednja godišnja količina padalina kreće se između 1000 i 1400 mm. Snijeg se zadržava na tlu najčešće 40 dana (Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije, 2018). Vode Banovine pripadaju poriječjima Kupe, Save i Une. Dobra pošumljenost važan je modifikator mikroklimе.

Povezanost litološkog sastava, vegetacijskog pokrova i pedoloških značajki vidljiva je u šumovitim dijelovima Zrinske i Trgovske gore koji se nalaze na smeđim tlima i podzolima. Navedene vrste tla nastaju u uvjetima prekomjernog vlaženja atmosferskim padalinama. U takvim su uvjetima tla izložena snažnoj eroziji pa se naglašava potreba za provođenjem pošumljavanja. Većoj sječi izložene su prometno dostupnije površine što dovodi do prorjeđivanja i narušavanja šumskih ekosustava.

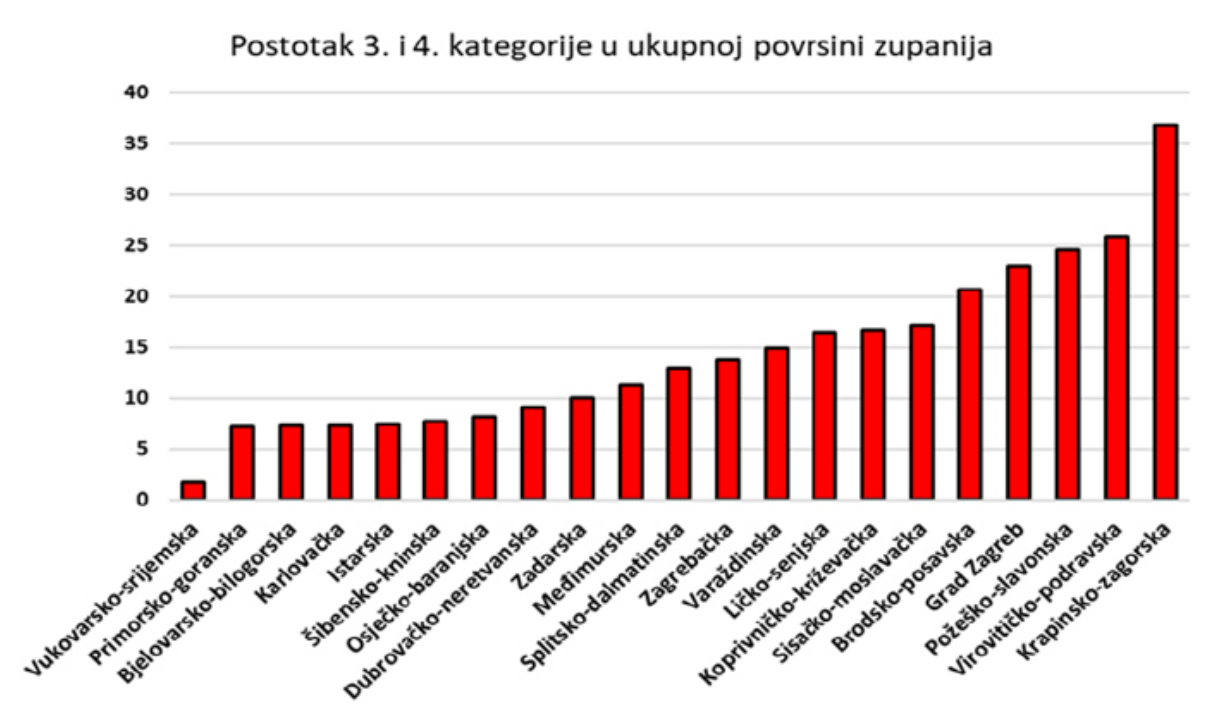
3.3. Klizišta u Sisačko-moslavačkoj županiji

U Hrvatskom geološkom institutu je izrađena pregledna karta podložnosti na klizanje i odrone vrlo sitnog mjerila (približno 1: 4 000 000) za područje cijele države (Slika 3.6).



Slika 3.6. Karta podložnosti na klizanje i odrone za Hrvatsku (Podolszki i dr., 2014)

Područja obojana crveno i narančasto mogu se smatrati vrlo visoko i visoko podložnima, dok se područja obojana žutom bojom smatraju umjereno podložna klizanju i odronjavanju. Iz podataka prikazane karte (Slika 3.3.) također je napravljena analiza podložnosti klizanju i odronima pojedinih županija u Republici Hrvatskoj (Slika 3.7).

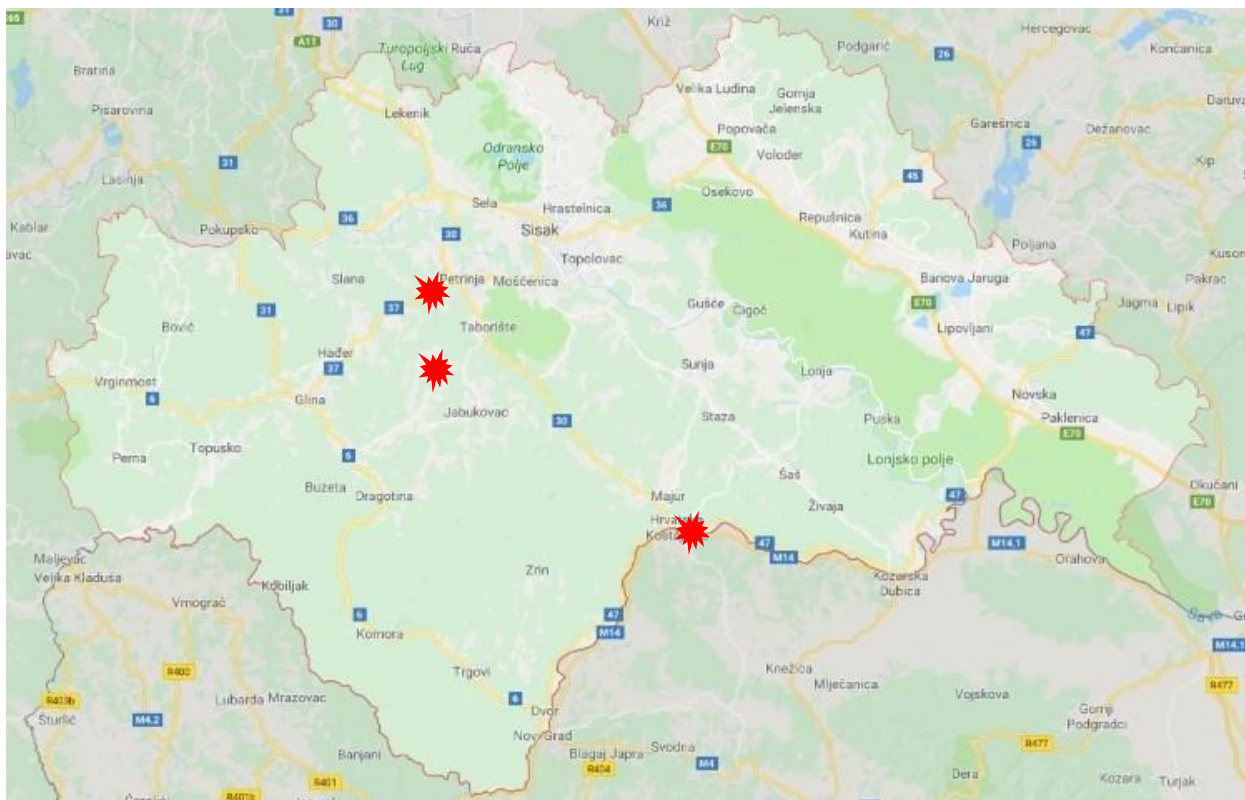


Slika 3.7. Postotak područja vrlo visoke i visoke podložnosti klizanju i odronima pojedinih županija Hrvatske (Podolszki i dr., 2014)

Iz priloženih podataka može se zaključiti da je otprilike 18 % površine Sisačko-moslavačke županije izložen visokom ili vrlo visokom riziku od klizanja i odrona. To se prije svega odnosi na područje južno od Gline i Petrinje, područje Zrinske gore, zapadne obronke Pšunja do Novske, područje Moslavačke i Ravne gore sjeveroistočno od Popovače i Kutine.

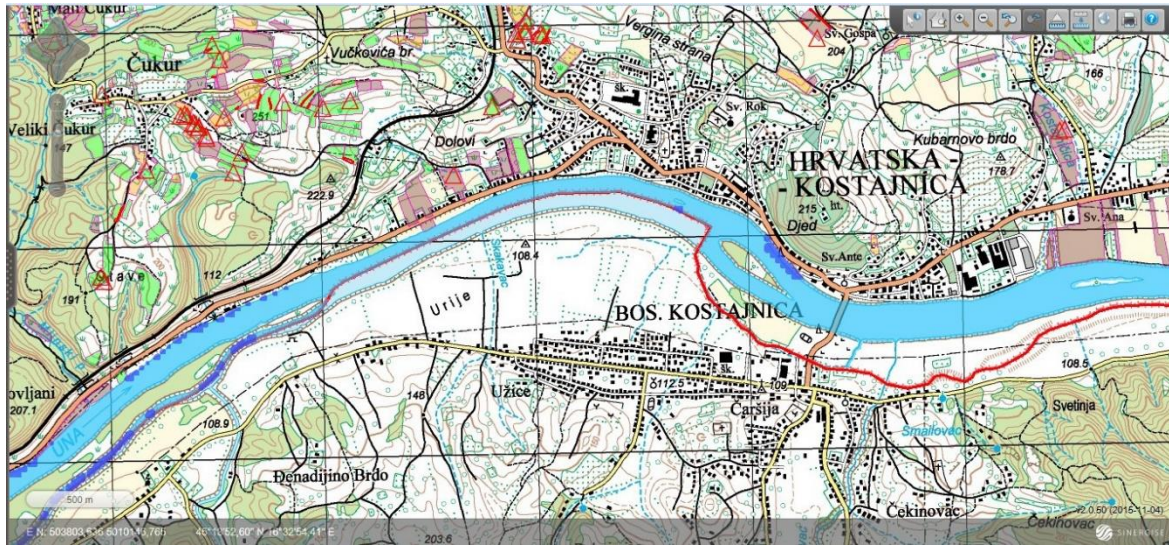
4. PRIMJERI KLIZANJA/ODRONA NA PODRUČJU BANOVINE

Istraživani lokaliteti prikazani su na karti Sisačko-moslavačke županije (Slika 4.1.).



Slika 4.1. Smještaj istraživanih područja klizišta u Sisačko-moslavačkoj županiji prikazan je crvenom oznakom (<http://turizam-smz.hr/wp-content/uploads/2014/12/karta-smz.jpg>)

Hrvatska Kostajnica je grad na Banovini (Sisačko-moslavačka županija). Smješten je u središnjem djelu hrvatskog Pounja, podno Zrinske gore. Grad je nastao na otočiću usred rijeke Une, a glavina naselja pruža se uz lijevu obalu rijeke (Slika 4.2). Grad Hrvatsku Kostajnicu čine naselje Hrvatska Kostajnica i 6 prigradskih naselja (Čukur, Panjani, Rausovac, Rosulje, Selište Kostajničko i Utolica). Područje grada Hrvatske Kostajnice reljefno čine dvije prostorne cjeline. Na jugu nizinski prostor uz rijeku Unu, a na zapadu i sjeveru blago brežuljkast teren istočnih obronaka Zrinske gore. Brdski pojas zauzima najveću površinu grada, dok nizinski pojas i doline obuhvaćaju najniže zaravni duž Pounja i ostalih vodotoka.



Slika 4.2. Topografska karta Hrvatske Kostajnice (<http://lako.com.hr/2016/08/28/kostajnica/>)

4.1. Hrvatska Kostajnica – odron

U ranim jutarnjim satima 11. ožujka 2018. godine sa brda Djed iznad obiteljskih kuća u ulici Davora Trstenjaka, došlo je do stijenskog odrona (Slika 4.1.1). Odron je na vrhu brda ostavio veliku udubinu. Brdo Djed nalazi se iznad Hrvatske Kostajnice, visoko je 205 m te zauzima površinu od 27,59 ha.



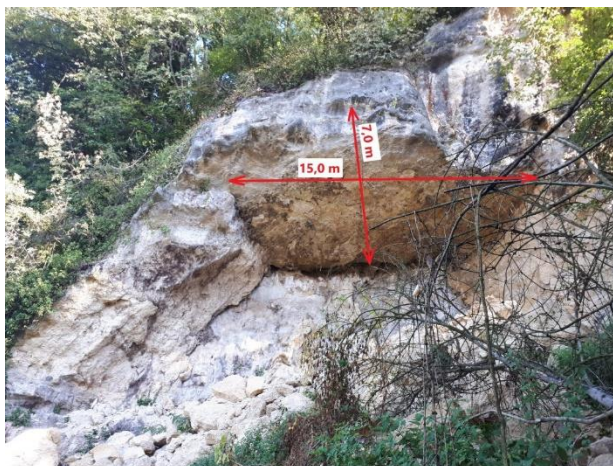
Slika 4.1.1. Odron stijenske mase u ulici Davora Trstenjaka (www.geotech.hr)

Budući da se brdo Djed sastoji od sedimentnih vapnenačkih stijena, koje su porozne, jedan se natopljen blok, zbog povećane težine, odlomio i pao u dvorište dviju kuća (Slika 4.1.2).



Slika 4.1.2. Odlomljeni materijal u ulici Davora Trstenjaka (www.cropix.hr)

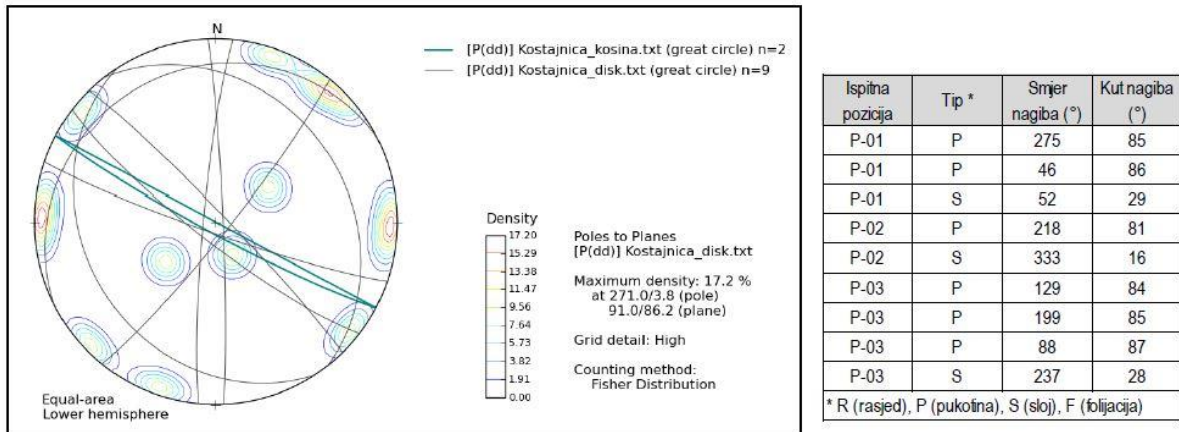
Obujam pokrenutog materijala iza kuća iznosio je 500 m^3 , iza čega su ostali znatni prevjesi stijenske mase koji uvjetuju potencijalni odron od još cca 500 m^3 materijala (Slika 4.1.3).



Slika 4.1.3. Prevjes stijenske mase na brdu Djed (www.geotech.hr)

S obzirom da potencijalni odroni neposredno ugrožavaju stambene kuće i prateće objekte u podnožju uzvisine predviđena je sanacija odrona. Za potrebe izrade geotehničkog

elaborata provedeni su geotehnički i inženjerskogeološki radovi, a obuhvatili su geotehničku prospekciju i inženjerskogeološko kartiranje. Za stijensku masu utvrđene su najvažnije značajke pukotinskih sustava, utvrđen je razmak između pojedinih pukotina, zapunjenost diskontinuiteta i stanje diskontinuiteta (Slika 4.1.4).

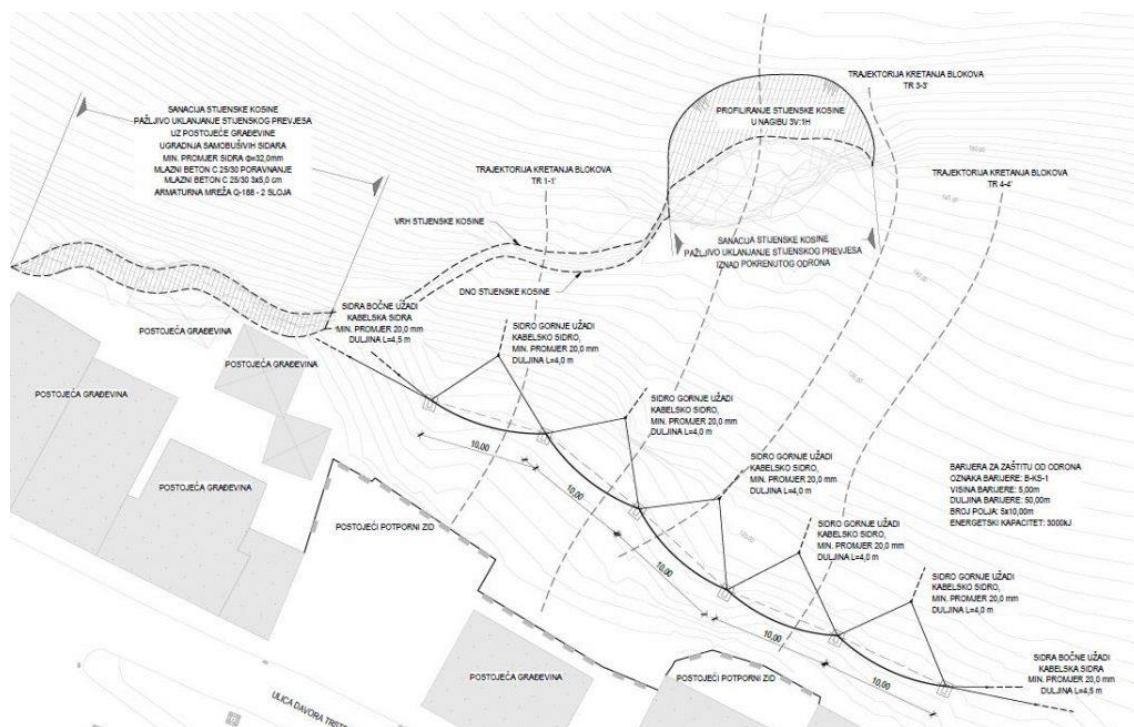


Slika 4.1.4. Stereografska projekcija sa prikazom mjerenih diskontinuitetnih sustava (www.geotech.hr)

Provedenim istraživanjima i ispitivanjima uočene su sljedeće potencijalne nestabilnosti:

- odron stijenske mase u prevjesu obujma cca 500 m³, na jugoistočnom dijelu stijenske kosine iznad postojećeg odrona
- osipanje i odroni odronutog materijala – sipara na prirodnoj padini u podnožju kosine i
- odroni blokova u prevjesu obujma do 2,0 m³ neposredno iznad postojećih stambenih objekata.

Sanacija se provodila u tri zone: zoni prevjesa uz postojeće objekte, zoni prevjesa iznad pokrenutog odrona i zoni ispod pokrenutog odrona (Slika 4.1.5).



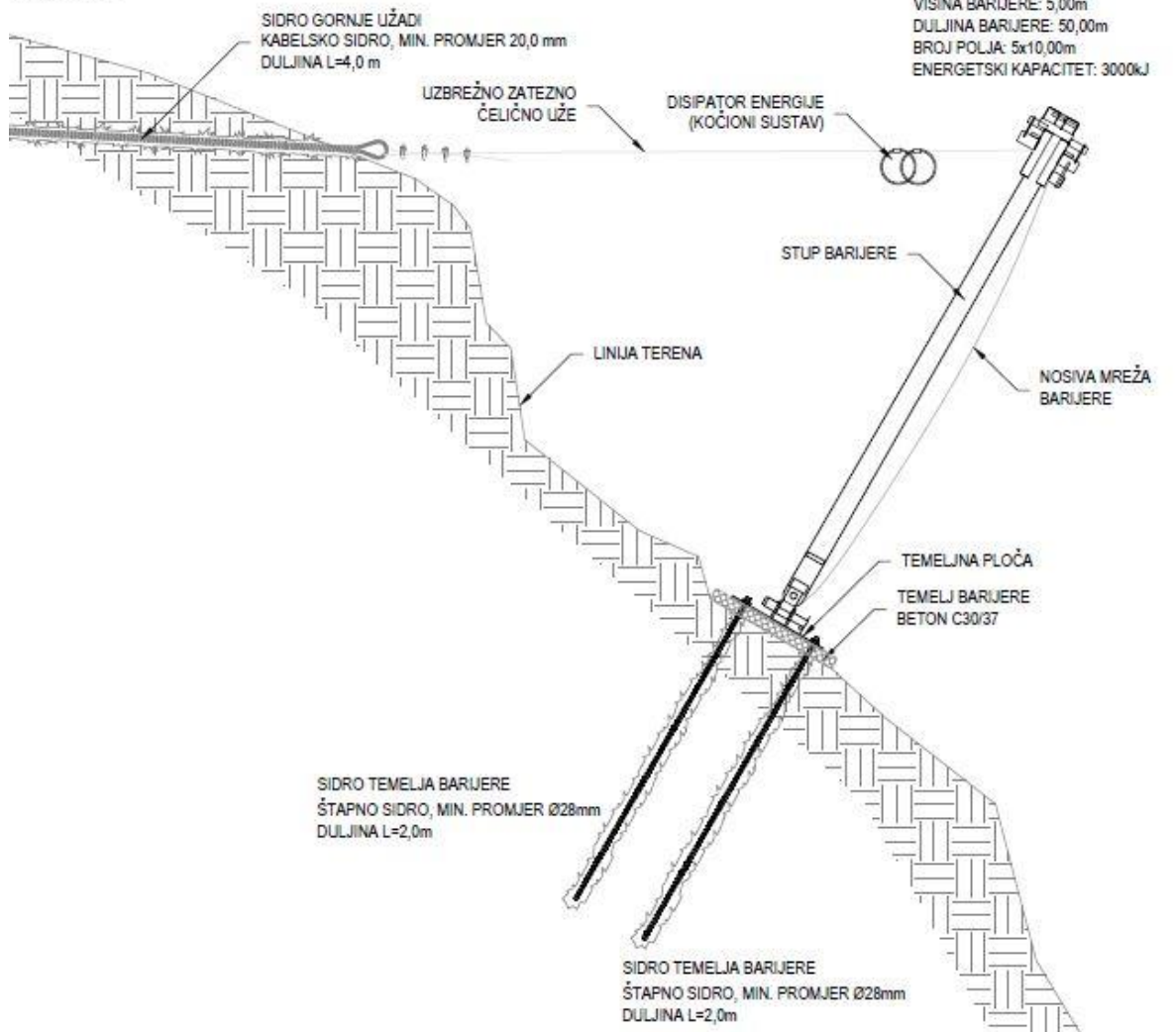
Slika 4.1.5. Sanacija odrona (www.geotech.hr)

Sanacija nestabilnog prevjesa neposredno uz postojeće objekte proveda se ugradnjom mlaznog betona u tri sloja debljine 5,0 cm i samobušivih sidara nosivosti 36 tona. Utvrđene udubine popunile su se izvedbom armiranobetonskih jastuka od armaturnih mreža Q-188 i mlaznog betona. Prethodno izvedbi mjera sanacije provelo se ručno čišćenje lica kosine od olabavljenih blokova do 50 kg. S obzirom na veličinu prevjesa stijenske mase iznad pokrenutog odrona, predviđeno je njegovo uklanjanje. Stijenski prevjes se uklanjao u fazama, pri čemu je najveći dopušteni volumen stijenskog bloka u pojedinoj fazi iznosio 5 m³ (<https://www.geotech.hr/sanacija-odrona-hrvatska-kostajnica/>).

Osiguranje od mogućih odrona tijekom uklanjanja prevjesa i eventualnih drugih odrona uključuje izvedbu barijere za zaštitu od odrona s mogućom apsorpcijom energije od 3000 kJ, visine (H) 5 metara i duljine (L) 50 metara u podnožju kosine (Slika 4.1.6).

PRESJEK 1-1'

MJERILO 1:50



Slika 4.1.6. Osiguranje od mogućih odrona - barijera za zaštitu od odrona (www.geotech.hr)

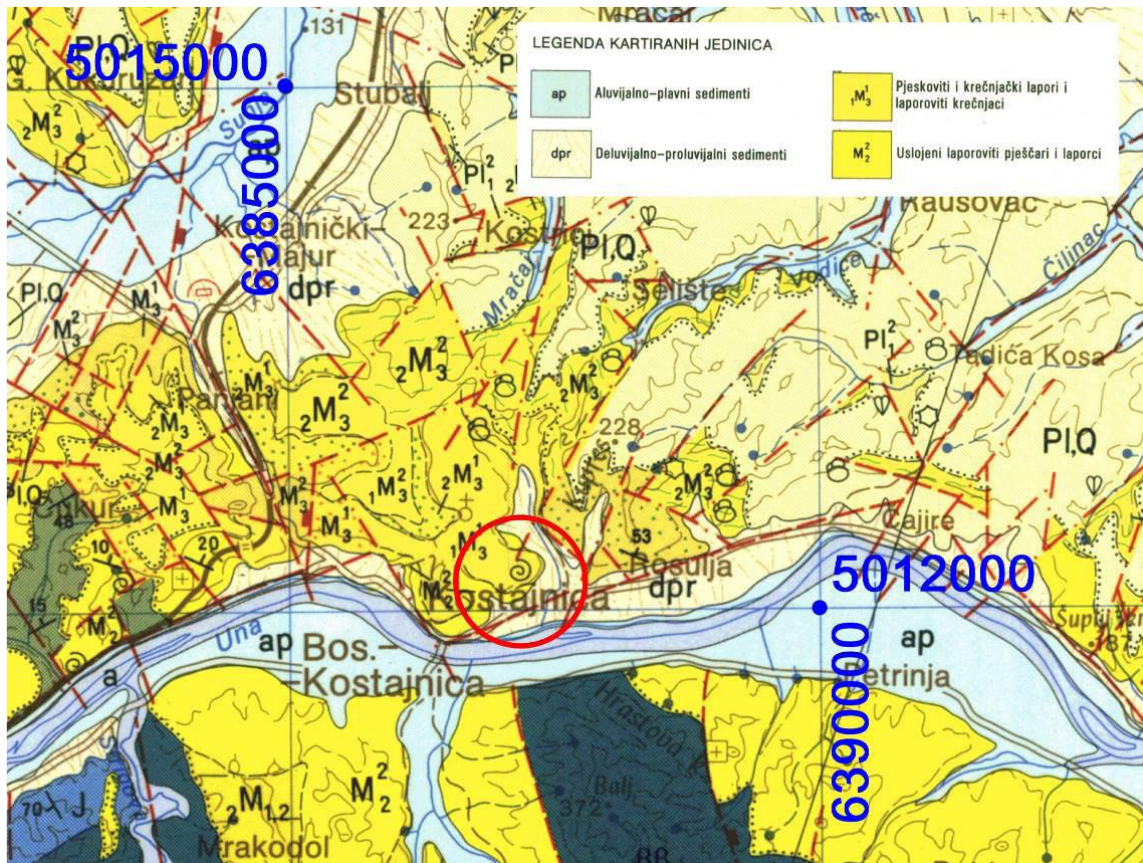
4.2. Hrvatska Kostajnica – klizište Kubarnovo brdo – Stari put

Klizište Kubarnovo brdo – Stari put aktivirano je oko 14 sati 13. ožujka 2018. godine, na istočnim obroncima Kubarnovog brda sjeverno od rijeke Une i zapadno od potoka Kostajničice (Slika 4.2.1). Površina klizišta iznosi približno 300x300 metara, s visinom glavne vlačne pukotine i do 30-ak metara, te duljinom od 285 metara. Klizište je rotacijskog tipa. S obzirom na dubinu klizne plohe, klizište varira od plitkog (1-5 metara na nižim dijelovima), dubokog (5-20 metara, koje vjerojatno prevladava) do vrlo dubokog (više od 20 metara, mjestimično), a vrlo vjerojatno su na klizištu prisutne i višestruke klizne plohe.



Slika 4.2.1. Klizište Kubarnovo brdo - Stari put (crvena linija-granice klizišta; žuta linija-potencijalno klizište (Podolszki, 2018)

Osnovni podaci o geologiji šireg područja istraživanja preuzeti su iz Osnovne geološke karte (OGK) list Kostajnica, mjerila 1:100.000 i pripadajućeg tumača za list Kostajnica (Slika 4.2.2).



Slika 4.2.2. Isječak OGK lista Kostajnica s prikazom šireg područja i lokacije klizišta Kubarnovo brdo - Stari put (crveni krug), te kartiranih jedinica na širem području klizišta (Jovanović i Magaš, 1986)

Na širem području klizišta su kartirane naslage neogena i kvartara odnosno naslage miocena koja se sastoje od tortona M_2^2 (nova oznaka baden M_4) i donjeg sarmata $1M_3^1$ (nova oznaka M_5^1) te naslage holocena. Organogeni vapnenci tortona/badena su uglavnom predstavljeni s dva tipa vapnenaca: tipični sprudni organogeni i oolitični subsprudni detritični vapnenci. Tipični sprudni vapnenci izgrađeni su uglavnom od vapnenačkih algi, litotamnija. Stratifikacija im je slabo izražena i skoro uvijek su masivni ili debelo uslojeni. Bočno prelaze

u debelopločaste vapnence izgrađene skoro isključivo od foraminifera. Detritični i oolitični subsprudni vapnenci predstavljaju postupni prijelaz u facijes pješčenjaka i pijeska (Jovanović i Magaš, 1986).

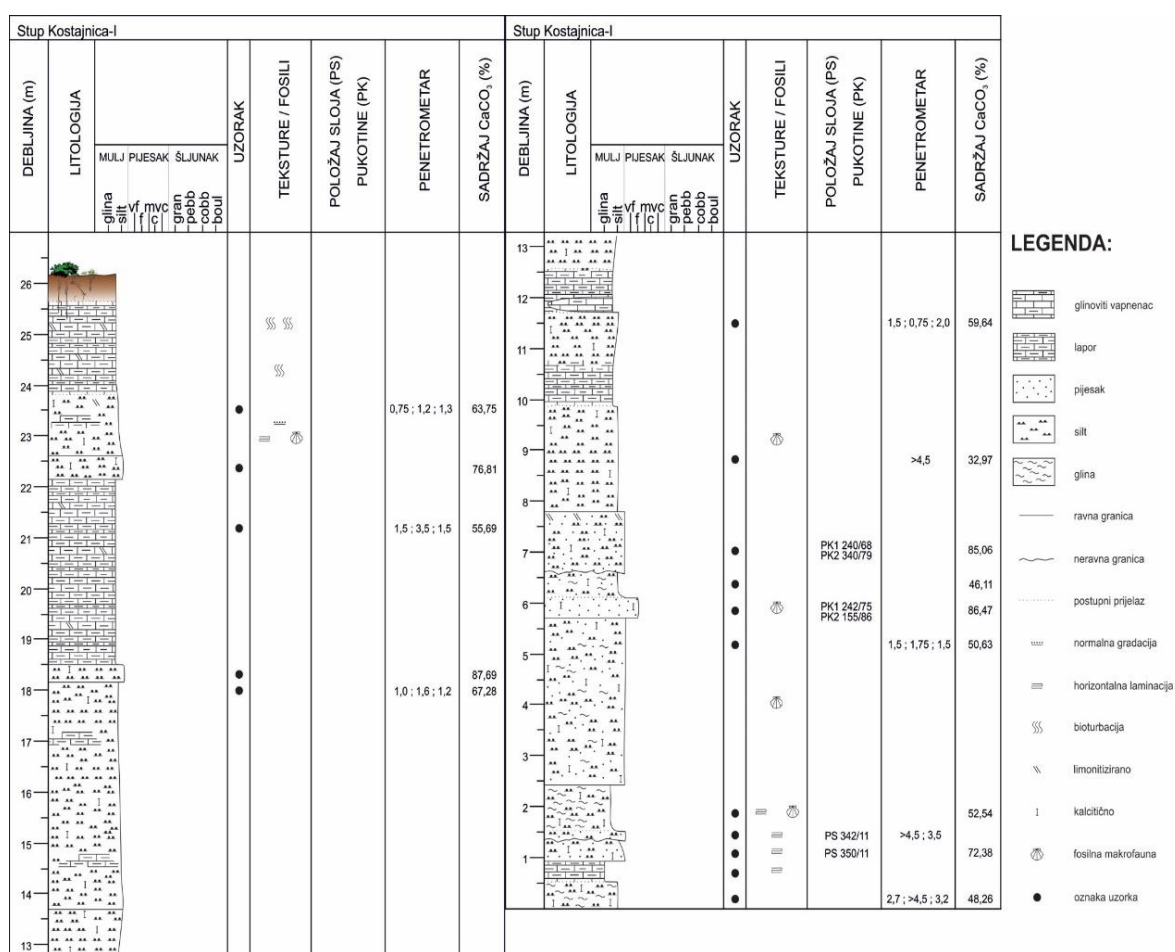
Lapori i glinoviti vapnenci donjeg sarmata predstavljaju kompleks naslaga u kojem prevladava laporovito-vapnenačka komponenta, sa svim mogućim prijelazima. Slojevi su generalno horizontalni. Dominiraju lapori, koji mjestimično mogu preći u glinovite vapnence ili čak čiste vapnence. Mjestimično su lapori sive, smeđesive boje, dosta pješkoviti, te lateralno mogu prijeći i u prave pijeske. Često se susreću i žućkasti laminirani vapnenci.

Deluvijalno proluvijalni sedimenti holocena su pretežno glinoviti pijesci i pješkovite gline, sa primjesama sitnog šljunka, koji je transportiran iz starijih naslaga. Mjestimično se mogu naći i srednje do dobro sortirani pijesci (Podolszki, 2018).

Aluvijalno-plavni sedimenti holocena su usko vezani za režim vode matične rijeke. Taloženjem sitnozrnato, pretežno muljevito-pješkovitog materijala u užem području toka rijeke nastaje holocenski sediment, kao najvažniji dio fluvijalnog niza. U prvom redu sadrži rastresite i nevezane sedimente korita rijeke, koji se mogu naći i na širem ili užem području oko rijeke, ovisno o mikroreljefu okoliša odnosno o nekadašnjim područjima toka rijeke. Uz rub rijeke ove naslage mogu imati i debljinu i do 3 m. Odmicanjem od glavnog toka rijeke debljina ove jedinice sve više opada, a mijenja se i litološki sadržaj. Porijeklo pijesaka, mulja i valutica je različito, ovisno od stijena kroz koje prolaze rijeke i pritoci.

Geološkim kartiranjem čela klizišta je ustanovljeno da ga izgrađuju naslage donjeg sarmata (M5¹) koje se sastoje se od: sivih do žutosmeđih i limonitiziranih masivnih do horizontalno laminiranih siltnih do rjeđe glinovitih lapora, kalcitičnih siltova i kalksiltita. Unutar njih dolaze tanji proslojci kalcitičnog pješkovitog silta do sitnozrnato pijeska i kalkarenita (Podolszki i dr., 2018). Na lokaciji klizišta Kubarnovo brdo – Stari put se na površini nalazi humusni sloj (u čelu klizišta debljine 0,3-0,7 m, a u ostalom dijelu kliznog tijela

maksimalno 0,5 m). Ispod humusa se nalaze deluvijalne naslage odnosno mješavine gline i glinovitog lapora debljine do 3 m. Trošnja zona laporovite podloge uglavnom doseže 5 m dubine ispod koje se nalazi osnovna stijena: glinoviti lapor, pjeskovito-glinoviti-prah, proslojci pješčenjaka i sivog lapora (Slika 4.2.3). Dominirajuće prahovite/laporovite naslage su trošne, teškognječive i nisko do srednjeplastične, ali su segmenti naslaga u kojima dominira glina s prahovima lakognječivi, srednje do visoko plastični. Glina je pretežito žućkasto-smeđe boje, kao i prah. Mjestimično je prah i sivkast.



Slika 4.2.3. Geološki stup klizišta Kubarnovo brdo - Stari put - radna verzija (Podolszki, 2018)

Na glavnoj pukotini klizišta Kubarnovo brdo vidljivi su trošni žutosmeđi glinoviti lapori (Slika 4.2.4), silititi s proslojcima sitnozrnastih glinovitih pješčenjaka ili silita debljine 30-40 cm, a na zapadnom rubu čela i 60-70 cm. Slojevi su generalno horizontalno položeni. Slojevitost je mjestimično izražena i u laporima. Manje trošni proslojci lapora su sive boje, debljine 80-110 cm.



Slika 4.2.4. Glavna pukotina klizišta Kubarnovo brdo dosiže visinu od 30 m na najvišim dijelovima (Podolszki, 2018)

Rijeka Una je udaljena svega 500-njak metara od razmatrane lokacije klizišta, a njen pritok, rječica Kostajničica, svega 100-njak metara. S obzirom na navedeno treba uzeti u obzir utjecaj podzemnih voda na lokaciju, naročito u vrijeme visokih vodostaja, što je u doba aktiviranja klizišta bio i slučaj. U ponedjeljak, dan prije aktivacije klizišta, vodostaj Une iznosio je 422 cm (DHMZ, 2019). Voda se pri tome nije digla samo u vodotoku, nego i u okolnom tlu. Podizanje vode u Uni izazvalo je podizanje vode u "nožici" klizišta, odnosno njegovom

aktivnom dijelu u kojem se javljaju najveće sile otpora koje utječu na stabilnost kosine. Aktiviranje klizišta se dogodilo upravo na dan kad je zabilježena najviša razina vode u Uni (457 cm). Dan poslije aktiviranja klizišta, vodostaj Une nalazio se u laganom opadanju, oko 1 cm na sat (DHMZ, 2019).

Klizanje su omogućili i ostali nepovoljni uvjeti: nagib padine prema rijeci Uni, geološka građa terena i antropogene djelatnosti (poljoprivreda, sječa šuma). Drugi razlog aktiviranja klizišta bilo je kopnjenje snijega – bilo je oko 80 cm snijega i on je okopnio u dva dana koja su prethodila klizanju.

Na širem području su prisutni znakovi nestabilnosti (valovita padina, nakrivljeno drveće, "stare" pukotine na objektima) (Slika 4.2.5).



Slika 4.2.5. Znakovi nestabilnosti na području Kubarnovog brda: A) valovita padina
B) nakrivljeni stupovi

Znakovi nestabilnosti pojavljuju se puno prije nego li dođe do sloma tla i jako ih je važno znati prepoznati te na vrijeme preventivno djelovati. U Hrvatskoj Kostajnici to nije učinjeno. Primjera radi, kroz razgovor na terenu, rečeno je da su djelatnici Elektre na dan aktiviranja klizišta došli ispraviti nakošene stupove i zračnu naponsku mrežu na njima, no nitko

nije povezoao nakošenje stupova s nestabilnim tlom. Pojavile su se pukotine na zidnim panelima objekata i na prometnici, što bi također moglo biti upozorenje na nestabilnosti.

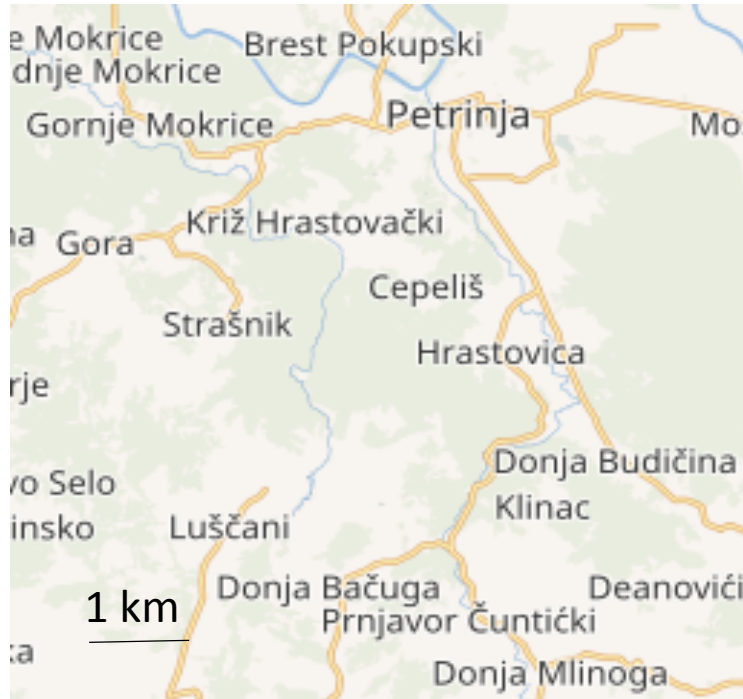
Kao posljedica klizanja potpuno je ili teško oštećeno 11 stambenih objekata, središnji dio ceste u ulici Stari put je srušen, a uništene su i nadzemne (dalekovod) i podzemne (vodovod, kanalizacija) instalacije (Slika 4.2.6).



Slika 4.2.6. Posljedice klizišta u Hrvatskoj Kostajnici (www.pixsell.hr)

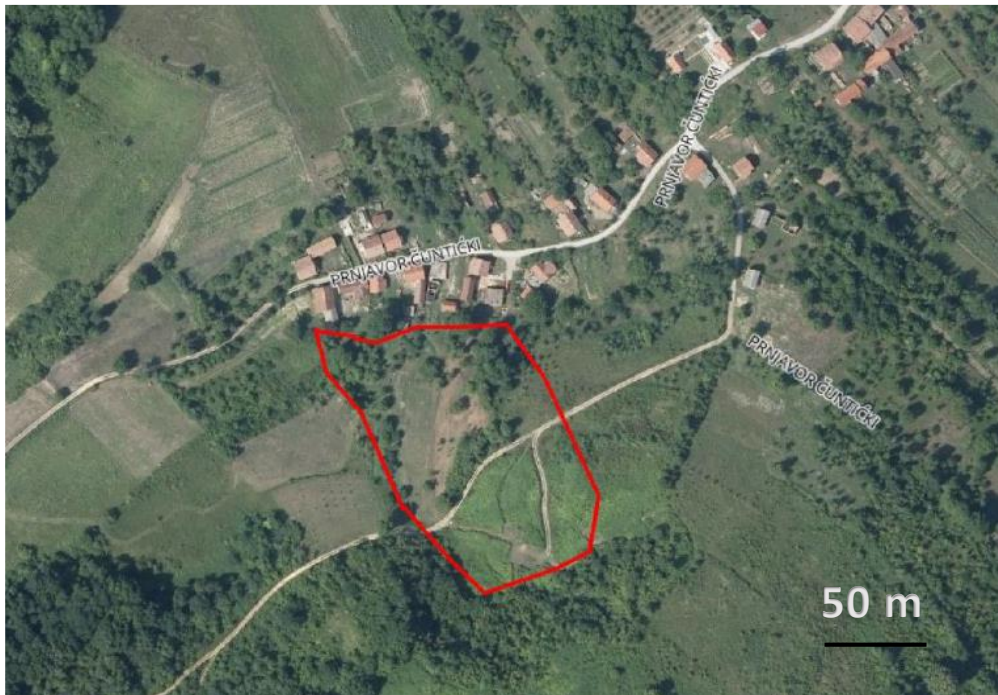
4.3. Klizište u Prnjavor Čunčićkom

Prnjavor Čunčićki je naselje u sastavu Grada Petrinje. Selo je smješteno nedaleko Hrastovice u dolini rijeke Petrinjčice, dok se s istočne strane sela uzdiže strmo brdo Budim (Slika 4.3.1).



Slika 4.3.1. Smještaj Prnjavora Čunčićkog
(<https://www.putovnica.net/prijevoz/autobusni-kolodvor-ak-petrinja>)

Na lokaciji u naselju, u ožujku 2018. godine, na dijelu padine došlo je do klizanja tla, odnosno do kretanja površinskog i dubinskog sloja zbog velike strmine i oblika padine. (Slika 4.3.2).



Slika 4.3.2. Lokacija klizišta Prnjavor Čuntićki (Katalog klizišta grada Petrinje, 2018)

Geološka građa padine je različitih svojstava, rasporeda slojeva i promjenjive razine podzemnih voda, promjenjivih tokova površinskih voda i promjenjive vlažnosti. U geološkom pogledu, to je područje heterogene građe i sastava. Veći dio građen je od eocenskog fliša i magmatsko-sedimentnog sklopa jurske i donjokredske starosti (Katalog klizišta grada Petrinje, 2018). Geološku osnovu prostora čine mlađi aluvijalni sedimenti koji su karakteristični za dolinu rijeke Kupe te korita njihovih potoka (Petrinčica). Sastoje se od šljunaka, pijesaka, glina i mulja čija se sedimentacija odvija i danas (Katalog klizišta Grada Petrinje, 2018). Šljunci i pijesak različitog su petrografskog sastava (vapnenci, dolomiti, pješčenjaci, rožnjaci, eruptivi, metamorfiti, kvarc), a nastali su razlaganjem okolnih, starijih stijena.

Klizna ploha je pokrivena na vrhu klizišta i na rubovima klizišta, ali vidljiva je glavna pukotina (Slika 4.3.3).



Slika 4.3.3. Pukotina klizišta u Prnjavoru Čuntičkom

Dimenzije klizišta su: širina 178 m, dužina 294 metara (Katalog klizišta Grada Petrinje, 2018). Neposredni povod aktiviranja klizišta je naglo kopnjenje snijega, velika količina oborina, promjena razine podzemnih voda i promjene toka površinskih voda. Zbog pojave klizišta ugroženo je deset stambenih objekata, gospodarske i pomoćne zgrade ispod klizišta (Slika 4.3.4.)



Slika 4.3.4. Ugroženi objekti u naselju Prnjavor Čuntički

Obavljeni su hitni radovi na izradi odvodnih kanala iznad površine klizišta te plitkih kanala radi skupljanja površinskih voda s lokacije klizišta i odvođenja istih izvan površine klizišta. Površinske pukotine pokrivena su PVC folijom da se spriječi prodiranje vode kroz iste, a time i daljnje klizanje.

Da bi se mogla izvesti zaštita kosine i/ili sanacija klizišta potrebno je izraditi projekt sanacije koji zahtijeva oblikovanje proračunskog modela. Za izradu takvog modela potrebni su podaci o geometriji klizišta, geološko-geotehničkim svojstvima tla, fizičko-mehaničkim parametrima tla i razini podzemnih voda, uz analizu stabilnosti trenutnog stanja.

4.4. Klizište u Selištu uz državnu cestu D37, Petrinja

Na lokaciji u naselju Selište, u blizini grada Petrinje, uz državnu cestu D37 (Slika 4.4.1), na dijelu ispod ceste došlo je do klizanja tla (Slika 4.4.2). Prva aktivacija nije poznata, ali je klizište aktivno, na što upućuju stalni radovi na ovoj dionici ceste.



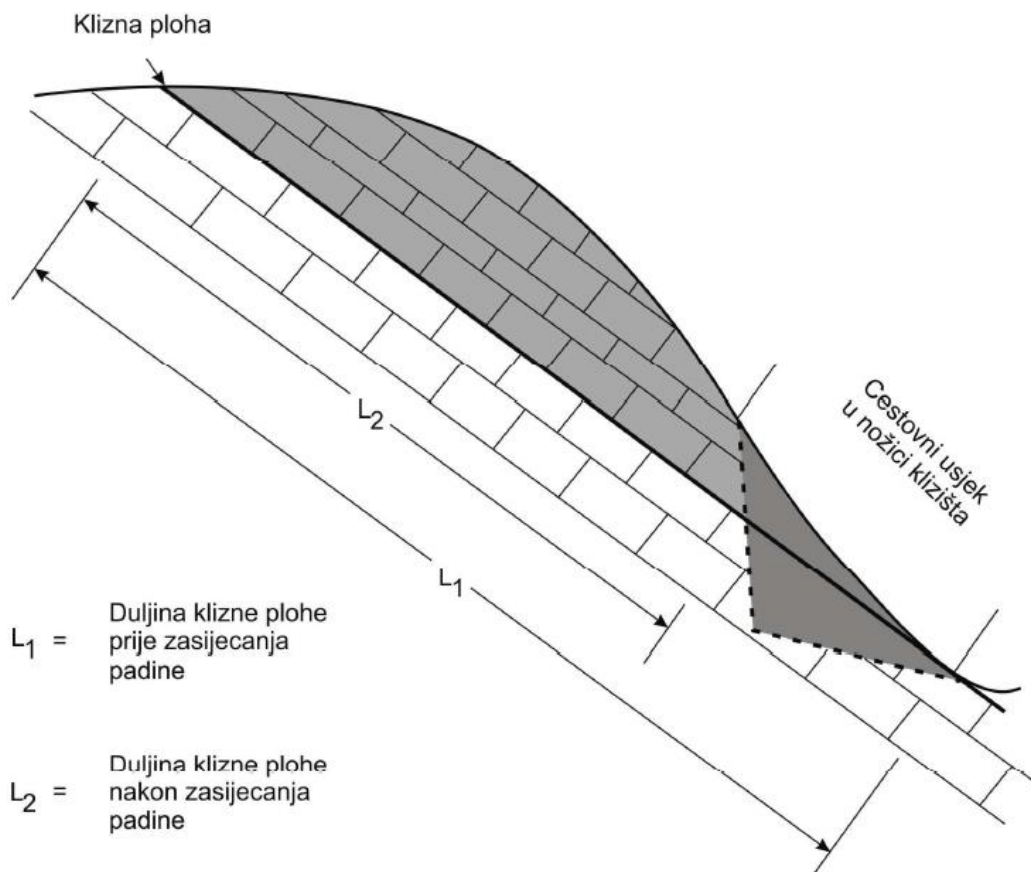
Slika 4.4.1. Lokacija klizišta na državnoj cesti D37 (Katalog klizišta Grada Petrinje, 2018)



Slika 4.4.2. Klizište na cesti D37, Selište, Petrinja

Dimenzije klizišta su: širina 73 metara, dužina 124 metara (Katalog klizišta Grada Petrinje, 2018).

Povod aktiviranja klizišta su velike količine oborina te zasijecanje padine koje je obavljeno prilikom izgradnje državne ceste D37. Zasijecanjem podnožja padine, zbog provođenja trase ceste, odstranjena je određena količina materijala na padini i time su se djelomično umanjile sile smicanja. Istovremeno su se smanjile i sile otpora na padini, jer se zasijecanjem padine reducira duljina klizne plohe, a time se značajno umanjila posmična čvrstoća, koja djeluje duž klizne plohe. Taj je proces shematski prikazan na Slici 4.4.3.



Slika 4.4.3. Utjecaj cestovnog usjeka na stabilnost padine (Nakić, 2010)

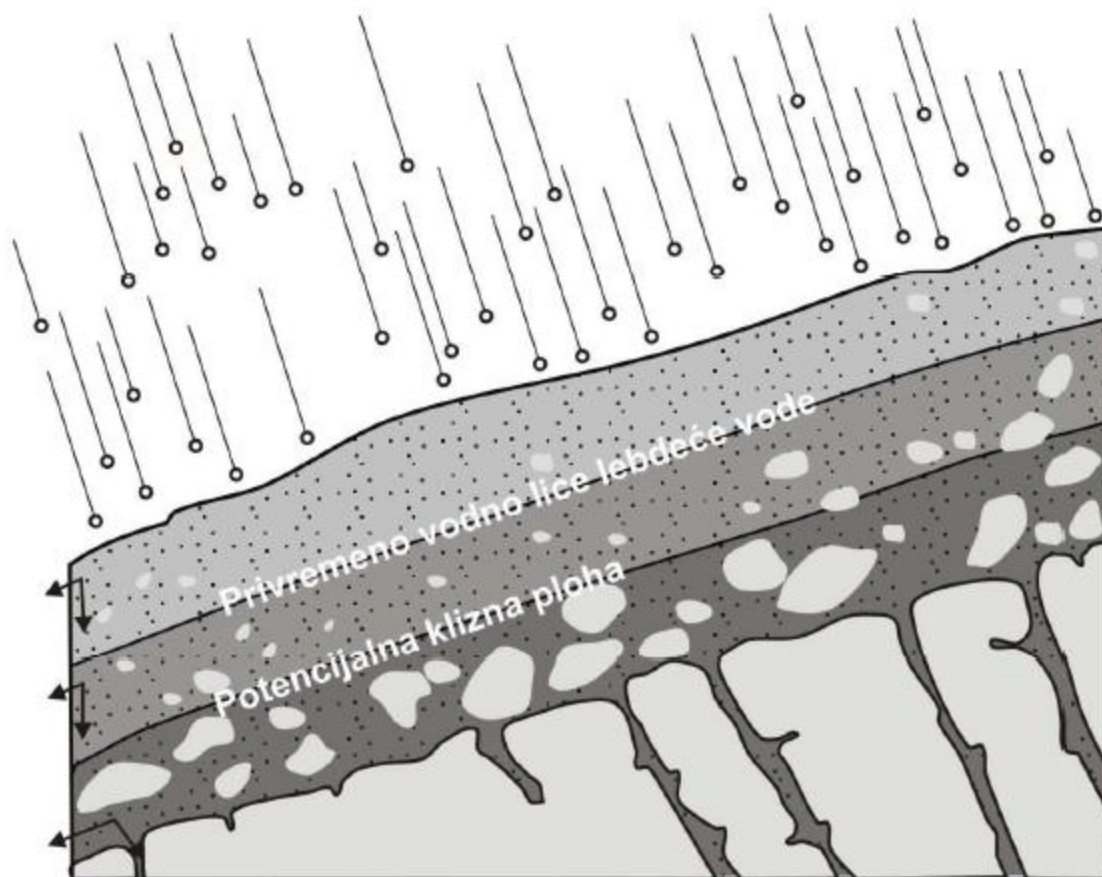
Zbog pojave klizišta otežan je promet državnom cestom i ugrožena je stabilnost ceste D37.

Da bi se mogla izvesti sanacija klizišta i zaštita kosine, potrebno je izraditi projekt sanacije.

5. DISKUSIJA

Prilikom istraživanja uzroka klizanja pažnju je nužno posvetiti svim procesima koji su izazvali promjene uvjeta na padini. Iako spori procesi djeluju duže vrijeme na način da umanjuju odnos posmične čvrstoće materijala koji izgrađuju padinu i posmičnih naprezanja, klizanje iniciraju procesi s bržim djelovanjem (Szavits-Nossan, 2001). Istraživanja klizišta provode se radi prevencije nastanka novih, odnosno smanjenja njihovih mogućih negativnih posljedica. U tom procesu potrebno je sudjelovanje i međusobna suradnja stručnjaka različitih znanstvenih disciplina (geologija, mehanika tla, hidrologija, geotehnika) kako bi svatko od njih pristupio zadatku sa stajališta svoje struke.

Voda je gotovo uvijek direktno ili indirektno povezana s nastankom pokreta na padinama, tako da je njezina uloga posebno značajna. Voda svojim agresivnim djelovanjem uvelike utječe na kemijsko trošenje stijena, što značajno smanjuje njihovu posmičnu čvrstoću. Nakon jakih oborina ili nakon otapanja snijega, što je ovdje bio slučaj, kada dolazi do pojačane infiltracije vode, tlo ili stijena postaju sve zasićeniji vodom i mogu se pojaviti povoljni uvjeti za nastanak lebdeće vode (Slika 5.1). U takvim uvjetima postupno dolazi do redukcije posmične čvrstoće, zbog povećanog poreznog tlaka u tlu ili stijeni. Osim toga, dodatno je uvećana gravitacijska posmična sila koja je nastala zbog povećane težine tla ili stijene zasićene vodom. U trenutku kada tlo ili stijena postanu u potpunosti zasićeni vodom, faktor sigurnosti je minimalan i značajno se povećava vjerojatnost nastanka pokreta na padinama.



Slika 5.1. Nestabilnost padine zbog infiltracije oborina i lebdeće vode (Nakić, 2010)

Podaci o klizištima na području Banovine ne prikupljaju se sustavno, što otežava procjenu stanja. Kao osnovnu preventivnu mjeru za smanjenje i izbjegavanje šteta od klizišta na područjima istraživanja potrebno je izraditi kartu podložnosti na klizanje šireg područja.

Hrvatski geološki institut vodeći je partner safEarth projekta koji se provodi u sklopu EU programa Interreg IPA CBC Hrvatska-Bosna i Hercegovina-Crna Gora 2014.-2020. Projekt safEarth usmjeren je na definiranje područja unutar kojih postoji mogućnost pojave klizišta, putem izrade karata podložnosti na klizanje u različitim mjerilima. Idući od sitnijeg prema krupnijem mjerilu - od državne, preko regionalne, do lokalne razine, potrebni su sve detaljniji ulazni podaci, koji zahtijevaju detaljna istraživanja. Za racionalno financijsko upravljanje, takva je istraživanja važno usmjeriti na izdvojena ugrožena područja. Karte podložnosti na

klizanje na svim razinama imale bi direktan utjecaj na unaprjeđenje sustava prostornog planiranja, upravljanja u kriznim situacijama te zaštite okoliša.

Projektom safEarth prikupljaju se podaci o geološkim i inženjerskogeološkim svojstvima stijena i klizištima na području tri županije (Brodsko-posavske, Zagrebačke i Sisačko-moslavačke). Prema preliminarnim podacima može se reći da je oko 35% površine Sisačko-moslavačke županije podložno klizanju (srednja, visoka i vrlo visoka podložnost), a gotovo 18% površine visoko je podložno klizanju (Podolszki i dr., 2018).

Što se daljnjeg razvoja klizišta tiče, za očekivat je da će se razvijati i retrogresivno ("u padinu") dok se ne ublaže novootvorene plohe, ali i bočno (lateralno). Moguće je i da novi pokreti prošire trenutnu zonu utjecaja klizišta progresivno ("niz padinu") dok se pokrenuti materijal ne ustabili. Za detaljnije analize potrebna su detaljna inženjerskogeološka istraživanja kako bi se ustanovile zone najvećih deformacija, dubina i lokacije kliznih ploha i ostalih pukotina, točan utjecaj geoloških značajki na klizanje, ali i moguće širenje ili retrogresivno napredovanje klizišta. Radi pridobivanja više informacija o izmjenama, debljinama, sastavu i fizičko-mehaničkim karakteristikama slojeva preporuča se geološko i inženjerskogeološko kartiranje šireg područja, izvedba geofizičkih istraživanja, istraživačko bušenje s jezgrovanjem, uzorkovanje i daljnja laboratorijska obrada. Ta bi istraživanja mogla predstavljati inženjerskogeološku podlogu za izradu projekta sanacije koji bi onemogućio moguće daljnje širenje klizišta i ugrožavanje obližnjih za sada netaknutih kuća, infrastrukture i prometnica.

Na području Banovine, od strane lokalnog stanovništva, prijavljeno je još nekoliko klizišta. Ne postoje konkretni podaci te je potrebno kartiranje tih lokaliteta da bi se mogao izraditi projekt sanacije.

6. ZAKLJUČAK

Nestabilnost velikih masa na nagnutim terenima i njihovo klizanje su prirodna pojava koja ima velik utjecaj u oblikovanju današnje morfologije reljefa cjelokupne Zemljine kore.

Cilj ovog diplomskog rada bio je opisati obilježja klizišta na području Banovine, te njihove uzroke, posljedice i sanaciju, ako je provedena. Klizišta predstavljaju geološke hazarde jer uzrokuju materijalne štete na prometnicama i stambenim objektima, zbog čega se provode geotehnička istraživanja u svrhu njihove sanacije. Usprkos tome, na Banovini ne postoji baza podataka koja bi se koristila kao podloga za izradu karata s prikazom postojećih klizišta ili prognozu područja potencijalno opasnih za nastanak novih klizišta. U područjima gdje postoji mogućnost pojave pokreta masa na padinama, izrada karata podložnosti je jedan od nužnih i prvih koraka vezanih za definiranje potencijalno ugroženih područja.

Uzrok nastanka istraživanih primjera u ovom radu svakako je naglo kopnjenje snijega i intenzivne oborine koje su uzrokovale bujičnu eroziju tla i stijena. Nakon perioda hladnog vremena temperature su relativno naglo porasle što je uzrokovalo gotovo trenutno topljenje snijega koji je u ovom području bio visine do 80 cm. Porast temperature pratile su i kiše. Kao posljedica tih meteoroloških prilika, površinske su naslage bile potpuno natopljene vodom, a došlo je i do velikog dotoka vode uz porast razina površinskih voda. Najjaču eroziju uzrokovale su velike količine vode koje su u kratkom roku dospjele na tlo, slijevajući se niz padinu i odnoseći dio površinskog sloja tla.

Klizanju su doprinijeli i ostali nepovoljni uvjeti: nagib padina i geološka građa terena. Naime, teren je izgrađen od laporovitih, pjeskovitih, glinovitih naslaga podložnih klizanju. Pretpostavlja se da je u manjoj mjeri klizanje „pospješeno“ i antropogenim djelatnostima

odnosno gradnjom na već nestabilnoj padini, te promjenom vegetacije i načinom obrade zemljišta.

Kao osnovnu preventivnu mjeru za smanjenje i izbjegavanje šteta od klizišta bilo bi poželjno izraditi katastar klizišta i kartu podložnosti na klizanje na području Banovine. Praćenje geomorfoloških procesa (monitoring) kroz nekoliko godina omogućilo bi i izradu karte rizika klizanja, tj. vjerojatnosti pojave klizišta u određenom prostoru. U kombinaciji s jasno uspostavljenim uvjetima i načinima gradnje zavisno od prirodnog okruženja, navedene karte daju mogućnost optimiziranja ekonomskih sredstava i povećanja sigurnosti građana.

7. LITERATURA

Bognar, A. (1996): Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini – geomorfološki i geokološki aspekti, *Acta Geographica Croatica*, 27–39.

Cruden, D.M. (1991): A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43, 27–29.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996): Landslide types and processes. U: Turner, A.K & Schuster, R.L. (ur.): *Landslides investigation and mitigation*, Transportation Research Board, US National Research Council, Special Report 247, Washington, DC, str. 36–75.

DHMZ, Državni hidrometeorološki zavod (2019): Praćenje i ocjena klime u 2018. godini, *Prikazi br. 30*, Zagreb., str. 11–29.

Highland, L.M., Bobrowsky, P. (2008): *The landslide handbook – A guide to understanding landslides*, U.S. Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia, str. 5–13.

Jovanović, Č., Magaš, N. (1986): Osnovna geološka karta M 1:100.000 – List Kostajnica, Savezni geološki zavod, Beograd.

Jovanović, Č., Magaš, N. (1986): Tumač za list Kostajnica, Osnovna geološka karta M 1:100.000, Savezni geološki zavod, Beograd pp 46.

Krizni stožer: Upravni odjel za komunalne djelatnosti (2018): *Katalog klizišta na području grada Petrinje*, Petrinja., str. 12–20.

Krkač, M., Bernat Gazibara, S., Sečanj, M., Mihalić Arbanas, S. (2018): Praćenje i previđanje gibanja klizišta, *Zbornik sažetaka VII. Konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa / Holcinger, Nataša (ur.)*. Zagreb: Državna uprava za zaštitu i spašavanje, 2018. str. 212–219.

Lozić, S. (1996): Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 31, 41–50.

Magaš, D. (2013): *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Meridijani, Zadar., str. 35–39.

Matas, M. (2010): Osnovne geografske osobine Banovine i Zrinske gore, *Zrinska gora-regionalni park prirode*, Biblioteka Naš okoliš, Petrinja, str. 18–31.

Mesec, J. (2009): Mineralne sirovine i načini dobivanja, *Geotehnički fakultet Varaždin*, Varaždin, str. 37–62.

Mihalić, S. (2007): Osnove inženjerske geologije, *Interna skripta Rudno-naftnog fakulteta*, Zagreb, 15.poglavlje, str. 30–31.

Nakić, Z. (2010.): *Geologija okoliša*, Interna skripta Rudno-naftnog fakulteta, Zagreb, 4. poglavlje, str. 50–62.

- Nonveiller, E. (1987): Kliženje i stabilizacija kosina, Školska knjiga, Zagreb, str. 67–78.
- Pikija, M., Lazić, S., Šikić, K. (2010): Geološka obilježja Zrinske gore, Zrinska gora – regionalni park prirode, Biblioteka Naš okoliš, Petrinja, str. 32–49.
- Podolszki, L. (2018): Primjena daljinskih istraživanja u kartiranju klizišta, Klizište Kubarnovo brdo-Hrvatska Kostajnica, Powerpoint prezentacija s predavanja Stručna ekskurzija Hrvatska Kostajnica, održana u ak. god. 2018./2019. na Hrvatskom geološkom institutu. Zagreb.
- Podolszki, L., Pollak, D., Gulam, V., Miklin, Ž. (2014): Development of Landslide Susceptibility Map of Croatia. U: Lollino G., Giordan D., Crosta G. B., Corominas J., Azzam R., Wasowski J., Sciarra N. (ur.). Engineering Geology for Society and Territory – Volume 2: Landslide Processes, Springer, London. 947–950.
- Podolszki, L., Pollak, D., Gulam, V., Bostjančić, I., Frangen, T., Avanić, R., Kurečić, T. (2018): Izvještaj o provedenoj inženjerskogeološkoj prospekciji na području Hrvatske Kostajnice: Klizište Kubarnovo brdo – Stari put, Hrvatski geološki institut, Zagreb, str. 21–22.
- Popescu, M.E. (2001): A suggested method for reporting landslide remedial measures, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 60(1), 69–74.
- Szavits-Nossan, V. (2011): Stabilnost kosina, Mehanika tla i stijena, Građevinski fakultet, Zagreb, str. 1–10.
- Terzaghi, K. (1950): Mechanism of landslides. Application of Geology to Engineering Practice, New York: Geological Society of America. Berkley., Vol., 83–123.
- Upravni odjel za prostorno uređenje, graditeljstvo i zaštitu okoliša (2018): Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije 2018.-2021. godine, Sisak, str. 13–17.
- Varnes, D.J. (1984): Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, Natural Hazards. UNESCO, Paris. 145–155.
- Zlatović, S. (2006): Uvod u mehaniku tla, Udžbenik Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, Tehničko veleučilište u Zagrebu Graditeljski odjel, Zagreb, str. 13–85.
- WP/WLI (1993): International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. A multi-lingual landslide glossary. Bitech Publishers. Vancouver, str. 59.
- WP/WLI (1995): A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 52, 75–78.

WEB IZVORI

<https://croatia.eu/article.php?lang=1&id=12> (18.4.2019.)

<http://petrinjaturizam.hr/ea/wp-content/uploads/> (19.8.2019.)

https://www.hgi-cgs.hr/ogk_100/ogk_sm/OGK100_BOSANSKI_NOVI_sm.jpg (5.9.2019.)

<http://lako.com.hr/2016/08/28/kostajnica/> (19.8.2019.)

www.cropix.hr (11.6.2019.)

www.geotech.hr <https://www.geotech.hr/sanacija-odrona-hrvatska-kostajnica/> (13.5.2019.)

<https://www.putovnica.net/prijevoz/autobusni-kolodvor-ak-petrinja> (23.8.2019.)

www.pixsell.hr (11.6.2019.)

<http://turizam-smz.hr/wp-content/uploads/2014/12/karta-smz.jpg> (5.9.2019.)

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Elementi padine (Nakić, 2010)	3
Slika 2.2. Osnovni tipovi klizanja (Mihalić 2007)	6
Slika 2.3. Tipovi uzročnika klizanja (Mihalić, 2007).....	6
Slika 2.4. Tipovi klizanja stijenske mase: a) rotacijsko, b) translacijsko i c) kompleksno (Krkač i dr., 2018)	8
Slika 2.5. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu (WP/WLI, 1993)	11
Slika 2.6. Porast pornog tlaka i pada čvrstoće u kosini uslijed oborina (Szavits-Nossan).....	12
Slika 2.7. Primjer promjena faktora sigurnosti s vremenom (WP/WLI,1995).....	13
Slika 3.1. Smještaj regije Banovina (https://croatia.eu/article.php?lang=1&id=12).....	14
Slika 3.2. Nadmorske visine Sisačko-moslavačke županije (Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije, 2018)	16
Slika 3.3. Granice Zrinske gore/Zrinskog gorja i reljefna struktura (Matas, 2010)	17
Slika 3.4. Šamarica (http://petrinjaturizam.hr/ea/wp-content/uploads/)	18
Slika 3.5. Geološka karta Zrinske gore (https://www.hgi-cgs.hr/ogk_100/ogk_sm/OGK100_BOSANSKI_NOVI_sm.jpg).....	19
Slika 3.6. Karta podložnosti na klizanje i odrone za Hrvatsku (Podolszki i dr., 2014)	21
Slika 3.7. Postotak područja vrlo visoke i visoke podložnosti klizanju i odronima pojedinih županija Hrvatske (Podolszki i dr., 2014)	22
Slika 4.1. Smještaj istraživanih područja klizišta u Sisačko-moslavačkoj županiji prikazan je crvenom oznakom (http://turizam-smz.hr/wp-content/uploads/2014/12/karta-smz.jpg).....	23
Slika 4.2. Topografska karta Hrvatske Kostajnice (http://lako.com.hr/2016/08/28/kostajnica/)	24
Slika 4.1.1. Odron stijenske mase u ulici Davora Trstenjaka (www.geotech.hr)	25
Slika 4.1.2. Odlomljeni materijal u ulici Davora Trstenjaka (www.cropix.hr).....	26
Slika 4.1.3. Prevjese stijenske mase na brdu Djed (www.geotech.hr).....	26
Slika 4.1.4. Stereografska projekcija sa prikazom mjerenih diskontinuitetnih sustava (www.geotech.hr).....	27

Slika 4.1.5. Sanacija odrona (www.geotech.hr).....	28
Slika 4.1.6. Osiguranje od mogućih odrona - barijera za zaštitu od odrona (www.geotech.hr)	29
Slika 4.2.1. Klizište Kubarnovo brdo - Stari put (Podolszki, 2018)	30
Slika 4.2.2. Isječak OGK lista Kostajnica s prikazom šireg područja i lokacije klizišta Kubarnovo brdo - Stari put (crveni krug), te kartiranih jedinica na širem području klizišta (Jovanović i Magaš, 1986)	31
Slika 4.2.3. Geološki stup klizišta Kubarnovo brdo - Stari put - radna verzija (Podolszki, 2018)	33
Slika 4.2.4. Glavna pukotina klizišta Kubarnovo brdo doseže visinu od 30 m na najvišim dijelovima (Podolszki, 2018)	34
Slika 4.2.5. Znakovi nestabilnosti na području Kubarnovog brda: A) valovita padina	35
Slika 4.2.6. Posljedice klizišta u Hrvatskoj Kostajnici (www.pixsell.hr)	36
Slika 4.3.1. Smještaj Prnjavora Čuntičkog (https://www.putovnica.net/prijevoz/autobusni-kolodvor-ak-petrinja)	37
Slika 4.3.2. Lokacija klizišta Prnjavor Čuntički (Katalog klizišta grada Petrinje, 2018)	38
Slika 4.3.3. Pukotina klizišta u Prnjavoru Čuntičkom	39
Slika 4.3.4. Ugroženi objekti u naselju Prnjavor Čuntički.....	39
Slika 4.4.1. Lokacija klizišta na državnoj cesti D37 (Katalog klizišta Grada Petrinje, 2018) .	41
Slika 4.4.2. Klizište na cesti D37, Selište, Petrinja	42
Slika 4.4.3. Utjecaj cestovnog usjeka na stabilnost padine (Nakić, 2010).....	43
Slika 5.1. Nestabilnost padine zbog infiltracije oborina i lebdeće vode (Nakić, 2010).....	45

POPIS TABLICA

Tab. 2.1. Vrste uzroka pojave klizišta	7
Tab. 2.2. Pokretači pokretanja klizišta	7
Tab. 2.3. Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta s pripadajućim definicijama	9
Tab. 2.4. Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama...	9
Tab. 2.5. Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama	9
Tab. 2.6. Dimenzije klizišta	10