

# Metode istraživanja klizišta

---

**Krajcar, Diana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:901070>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Diana Krajcar**

**Metode istraživanja klizišta**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski stručni studij**  
**Primijenjena geologija**

**Diana Krajcar**  
**JMBAG: 0114030133**

**Metode istraživanja klizišta**

**Završni rad**

**Rijeka, srpanj 2019**

## **IZJAVA**

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Diana Krajcar

U Rijeci, 15. lipnja 2019.

# METODE ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA

## SAŽETAK

Metode i tehnike istraživanja klizišta razlikuju se s obzirom na cilj istraživanja, odnosno na njegov opseg. S obzirom na to, općenito se razlikuju regionalna istraživanja te detaljna istraživanja klizišta. U ovom radu dan je pregled najčešće korištenih metoda koje se primjenjuju prilikom regionalnog istraživanja klizišta, te metode za detaljna istraživanja pojedinačnih lokacija na kojima se pojavilo klizište. Rezultati regionalnih istraživanja najčešće se prikazuju u obliku inventara klizišta, a rezultat detaljnih istraživanja je inženjerskogeološki model klizišta. Nakon pregleda općenite teorije vezane uz klizišta, u radu su opisane metode stereoskopske analize avionskih snimaka te vizualne interpretacije digitalnog modela reljefa visoke rezolucije. Zatim je dan pregled metoda detaljnih istraživanja, tj. pregled istraživačkih radova koji se provode na lokacijama pojedinačnih klizišta, na temelju uvida u stručnu projektnu dokumentaciju izrađenu za potrebe sanacije klizišta s područja kontinentalnog sjeverozapadnog dijela Republike Hrvatske te Istre.

Ključne riječi: stereoskopska analiza, vizualna interpretacija, inventar klizišta, inženjerskogeološko kartiranje, istraživačko bušenje, inženjerskogeološki model

# METHODS FOR LANDSLIDE INVESTIGATIONS

## ABSTRACT

Methods and techniques of landslide investigations are interpreted in two parts. The first part describes the theoretical basis of landslide, the purpose of the survey of landslides, its method and techniques of regional and detail investigations of landslides. Within the methods and techniques used for regional investigations, the stereoscopic analysis of aerial photographs, and the visual interpretation of high resolution digital terrain models are described. Common results of regional landslide investigations are landslide inventories. In the methods and techniques of detail landslide investigations, engineering geological mapping, borehole drilling, and geophysical investigations are commonly performed. In this paper, four examples of the results of the detail landslide investigations are presented, for landslide phenomena occurred in the area of northwestern continental part of Croatia, and in Istria.

Keywords: stereoscopic analysis, visual interpretation, inventory of landslides, engineering geological mapping, borehole drilling, engineering geological model.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O KLIZIŠTIMA.....	1
3. SVRHA ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA .....	3
4. METODE I TEHNIKE REGIONALNOG ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA .....	4
4.1. Stereoskopska analiza avionskih snimaka .....	4
4.2. Vizualna interpretacija digitalnog modela reljefa.....	6
4.3. Inventari klizišta .....	8
5. METODE I TEHNIKE DETALJNOG ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA .....	10
5.1. Inženjerskogeološko kartiranje.....	10
5.2. Dubinska istraživanja .....	11
5.2.1 Istraživačko bušenje .....	11
5.2.2 Geofizička istraživanja .....	12
5.3. Inženjerskogeološki model klizišta .....	13
6. ODABRANI PRIMJERI REZULTATA DETALJNOG ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA	14
6.1. Istraživački radovi klizišta Braslovje (Grad Samobor) .....	14
6.2. Istraživački radovi klizišta Galgovo – Zagrebačka .....	19
6.3. Istraživački radovi klizišta Sv. Martin – groblje (Grad Samobor) .....	23
6.4. Istraživački radovi klizišta Juradi u Istri.....	29
7. ZAKLJUČAK.....	37
LITERATURA .....	39

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Stereoskop s lećama (preuzeto iz <https://hr.wikipedia.org/wiki/Stereoskop>). ..... 5
- Slika 2. Binokularni stereoskop (preuzeto iz <https://www.usgs.gov/media/images/stereoscope>)..... 5
- Slika 3. Lasersko skeniranje iz zraka (preuzeto iz <https://www.geoengineer.org/news/lidar-technology-a-new-perspective-in-landslide-risk-evaluation>)..... 7
- Slika 4. Kompleks rotacijskih klizišta izražen na deriviranim topografskim kartama: (a) karta osjenčanog reljefa izrađena za parametre iluminacije  $315^{\circ}/45^{\circ}$ ; (b) karta nagiba prikazuje strmo nagnuta područja u nijansama crvene, narančaste i žute boje te blago nagnuta područja u nijansama zelene i plave boje; (c) karta zakrivljenosti prikazuju područja veće zakrivljenosti u nijansama crvene i narančaste boje te područja manje zakrivljenosti u nijansama plave boje; (d) karta slojnica s ekvidistancijom 3 m (10 ft) (Amundsen i dr., 2010 - preuzeto iz Đomlija, 2015). ..... 8
- Slika 5. Vrste karata inventara klizišta: (a) isječak iz geomorfološke karte inventara klizišta za područje regije Umbrija u središnjoj Italiji (Guzzetti i dr., 2006); (b) karta inventara klizišta za kišni događaj kojim su izazvane pojave klizišta na području pokrajine Collazzone u središnjoj Umbriji (Ardizzone i dr., 2007); (c) više-vremenska karta inventara klizišta na području pokrajine Collazzone u središnjoj Umbriji (Ardizzone i dr., 2007, preuzeto iz Đomlija, 2015). ..... 9
- Slika 6. Karta inventara klizišta za područje Monte Castello di Vibio, Umbrija, Italija. Bojepokazuju klizišta različitih godina: (1) reliktna klizišta, (2) vrlo stara klizišta, (3) klizištastarija od 1941., (4) klizišta aktivna 1941., (5) klizišta aktivna 1954. (6) klizišta u razdoblju 1955.-1976., (7) klizišta aktivna 1977., (8) klizišta u razdoblju od 1978. do 1984., (9) klizišta aktivna 1985. godine, (10) u kojima su zabilježena klizišta u zimu 2010. godine (Guzzetti i dr., 2012). ..... 9
- Slika 7. Detaljna inženjerskogeološka karta i uzdužni inženjerskogeološki profil klizišta Brus (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). ..... 10
- Slika 8. Geometrija puta lomljene i odbijene zrake kao temelja izvođenja refleksijskih i refrakcijskih seizmičkih istraživanja (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2013). ..... 13
- Slika 9. Primjer inženjerskogeološkog modela klizišta Grdanjci za geotehnički elaborat za projekt sanacije klizišta (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2013). ..... 14
- Slika 10. Položaj klizišta Braslovje prikazan na uvećanom isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) M 1:2.500 (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). ..... 15
- Slika 11. Oštećenja prometnice reaktiviranjem klizišta 12. studenog 2013. godine (fotografirano 16.11.2013): (a) kruna klizišta promatrana od SZ prema JI; (b) denivelacija terena po glavnoj pukotini klizišta (Mihalić Arbanas i dr., 2014). ..... 16
- Slika 12. Inženjerskogeološka karta mjerila 1:250 klizišta Braslovje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). ..... 17



Slika 13. Uzdužni Inženjerskogeološki presjek 1-1' (na slici gore) te poprečni inženjerskogeološki presjek 2-2' (na slici dolje) klizišta Braslovje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	18
Slika 14. Položaj klizišta Galgovo-Zagrebačka prikazan na uvećanom isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) M 1:2 500 (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	19
Slika 15. Gornji dio klizišta Galgovo-Zagrebačka (snimljeno 4.3.2014). Vidljiva je kruna klizišta, glavna pukotina, desni bok klizišta. Gornji dio pokrenute mase koji je spušten približno 1,5 m po glavnoj pukotini (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	20
Slika 16. Dijelovi klizišta Galgovo-Zagrebačka (snimljeno 4.3.2014): (a) nejasno izražena nožica klizišta reaktiviranog u travnju 2013. godine; (b) površina starog klizišta koje ispunjava prirodnu jarugu (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	21
Slika 17. Inženjerskogeološka karta klizišta Galgovo (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	22
Slika 18. Uzdužni inženjerskogeološki presjek klizišta Galgovo (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	23
Slika 19. Poprečni inženjerskogeološki presjeci klizišta Galgovo (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	23
Slika 20. Položaj klizišta Sv. Martin-groblje na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5.000 (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	24
Slika 21. Položaj mjesnog groblja Sv. Martin pod Okićem i dio padine na kojem su zabilježeni procesi klizanja (fotografirano 27.6.2014) (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	24
Slika 22. Klizište 1 aktivirano 4. travnja 2013. godine (fotografirano 4.3.2014) – pogled na gornji dio klizišta i oštećene grobove (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	25
Slika 23. Oštećenja na grobovima (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	25
Slika 24. Klizište 2 aktivirano 4. travnja 2013. godine (fotografirano 27.6.2014) (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	26
Slika 25. Inženjerskogeološka karta klizišta Sv. Martin-groblje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).....	28
Slika 26. Inženjerskogeološki profil poprečnog presjeka klizišta 1-1' Sv. Martin-groblje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	28
Slika 27. Inženjerskogeološki profili uzdužnog presjeka klizišta 2-2' i 3-3' Sv. Martin (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). .....	29
Slika 28. Isječak Osnovne geološke karte s prikazom položaja klizišta Juradi (crno zaokruženo). Originalno mjerilo OGK je 1:100.000 (preuzeto iz Bernat, 2011).....	30

Slika 29. Inženjerskogeološka karta šireg područja klizišta u naselju Juradi mjerilo 1:5.000 (preuzeto iz Bernat, 2011).	32
Slika 30. Glavna pukotina (lokacija sjeverno od ceste) (preuzeto iz Bernat, 2011).	33
Slika 31. Bušotina B-4 i u nju ugrađen inklinometar (preuzeto iz Bernat, 2011).	34
Slika 32. Prilog 1: Isječak inženjerskogeološke karte klizišta Juradi (preuzeto iz Bernat, 2011).	35
Slika 33. Prilog 2 i prilog 3: Inženjerskogeološki profili uzdužnih presjeka 1-1', 2-2', 3-3' i 4-4' klizišta Juradi (preuzeto iz Bernat, 2011).	36

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Tipovi klizišta prema Varnesovoj klasifikaciji klizišta (modificirano prema Varnesu, 1978; preuzeto iz Đomlija, 2018).	2
Tablica 2. Ljestvica brzine klizanja (Cruden i Varnes, 1996; preuzeto iz Đomlija, 2018).	3
Tablica 3. Dubina i volumen klizišta (ICL, 2018; preuzeto iz Đomlija, 2018).	3
Tablica 4. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 6.-7.12.2013. (Mihalić Arbanas i dr., 2014).	17
Tablica 5. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 19.-21.5.2014 za potrebe istraživanja klizišta Galgovo – Zagrebačka (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr., 2014).	21
Tablica 6. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 19-21.5.2014. (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr., 2014).	27
Tablica 7. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izvedenima na području klizišta Juradi (Bernat, 2011).	33

## 1. UVOD

Klizanje je kretanje mase stijena ili tla niz padinu zbog utjecaja gravitacije (Cruden & Varnes, 1996). Procesom klizanja nastaju geodinamičke pojave s karakterističnom morfologijom terena koje se naziva klizištima. Klizišta predstavljaju prirodnu opasnost, jer mogu uzrokovati značajne štete, zbog čega ugrožavaju ljude i materijalna dobra.

Metode istraživanja klizišta su veoma važne u geologiji i građevinarstvu jer se njihovom primjenom dobivaju pouzdani podaci o klizištima – podaci o njihovim lokacijama, te podaci o njihovim značajkama. Metode i tehnike istraživanja klizišta razlikuju se s obzirom na cilj istraživanja, odnosno na njegov opseg. S obzirom na to, općenito se razlikuju regionalna istraživanja te detaljna istraživanja klizišta. U ovom radu najprije je dan kratki pregled najčešće korištenih metoda koje se primjenjuju prilikom regionalnog istraživanja klizišta. To su stereoskopska analiza avionskih snimaka te vizualna interpretacija digitalnog modela reljefa visoke rezolucije koji se izrađuje iz visinskih podataka prikupljenih laserskim skeniranjem iz zraka (Guzzetti i dr., 2012). Rezultat regionalnog istraživanja klizišta je inventar klizišta, koji prikazuje lokacije svih utvrđenih klizišta različitog tipa na nekom istraživanom području. Zatim je dan pregled metoda istraživanja koje se primjenjuju na lokacijama pojedinačnih klizišta s ciljem njihovog detaljnog istraživanja. Rezultat detaljnog istraživanja klizišta je inženjerskogeološki model. Primjeri inženjerskogeoloških modela klizišta, kao i pregled metoda istraživanja klizišta, prikazani su na temelju uvida u projektnu dokumentaciju izrađenu za potrebe sanacije klizišta aktiviranih u sjeverozapadnom kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske te u Istri.

## 2. OPĆENITO O KLIZIŠTIMA

Klizanje je proces gibanja stijene ili tla niz padinu pod djelovanjem gravitacije (Cruden, 1991), te uključuje nekoliko načina gibanja pokrenutog materijala niz padinu (Cruden i Varnes, 1996). Klizište je morfološka pojava na terenu nastala kao posljedica određenog procesa klizanja. Svako klizište karakterizirano je određenim oblikom, ovisno o načinu i brzini gibanja, te veličinom pokrenute mase.

Varnesova klasifikacija klizišta (Varnes, 1978) predstavlja najšire korišteni klasifikacijski sustav za određivanje tipova klizišta (Cruden i Varnes, 1996; Hungr i dr., 2014). Zasniva se na dva kriterija: (i) mehanizmu gibanja i (ii) vrsti pokrenutog materijala (tablica 1, Varnes

1978). U engleskom govornom području, naziv klizišta prema Varnesovoj klasifikaciji (Varnes, 1978) se sastoji od dvije riječi, pri čemu prva riječ u nazivu klizišta označava vrstu pokrenutog materijala, a druga riječ označava mehanizam gibanja (Cruden i Varnes, 1996).

Tablica 1. Tipovi klizišta prema Varnesovoj klasifikaciji klizišta (modificirano prema Varnesu, 1978; preuzeto iz Đomlija, 2018).

Mehanizam gibanja		Vrsta materijala		
		Stijena (eng. rock)	Tlo (eng. soil)	
			Debrit (eng. debris)	Zemlja (eng. earth)
Odronjavanje (eng. falling)		Odron stijene (eng. rock fall)	Odron debrita (eng. debris fall)	Odron zemlje (eng. earth fall)
Prevrtnanje (eng. toppling)		Prevrtnanje stijene (eng. rock topple)	Prevrtnanje debrita (eng. debris topple)	Prevrtnanje zemlje (eng. earth topple)
Klizanje (eng. slide)	Rotacijsko	Klizanje stijene (eng. rock slump)	Klizanje debrita (eng. debris slump)	Klizanje zemlje (eng. earth slump)
	Translacijsko	Neznatna deformacija materijala	Blokovsko klizanje stijene/st. mase (eng. rock block slide)	Blokovsko klizanje debrita (eng. debris block slide)
Značajna deformacija materijala		Klizanje stijene (eng. rock slide)	Klizanje debrita (eng. debris slide)	Klizanje zemlje (eng. earth slide)
Bočno širenje (eng. spreading)		Širenje stijene (eng. rock spread)	Širenje debrita (eng. debris spread)	Širenje zemlje (eng. earth spread)
Tečenje (eng. flowing)		Tok/duboko puzanje stijene (eng. rock flow; rock deep creep)	Tok debrita (eng. debris flow) Puzanje tla (eng. soil creep)	Tok zemlje (eng. earth flow)
Kompleksno gibanje (eng. complex)		Kombinacija više mehanizama gibanja		

U klasifikaciji se razlikuju pet osnovnih mehanizama gibanja, dok se u šesti tip svrstava tzv. kompleksno gibanje koje predstavlja kombinaciju dvaju ili više mehanizama gibanja Varnes (1978) pokrenuti materijal opisuje kao stijenu ili tlo. To su: (i) odronjavanje (eng. falling), (ii) prevrtanje (eng. toppling), (iii) klizanje (u užem smislu) (eng. sliding), (iv) tečenje (eng. flowing) i (v) bočno razmicanje ili širenje (eng. spreading). Stijena predstavlja čvrstu ili tvrdu masu koja je "intaktna" prije pokretanja određenim mehanizmom. Tlo predstavlja rahlu, nekonsolidiranu ili slabo vezanu nakupinu čvrstih mineralnih čestica ili odlomaka stijene, a razlikuju se rezidualno i transportirano tlo. Materijal tla Varnes (1978) dijeli na "zemlju" i debrit. Pod nazivom "zemlja" pretežno se podrazumijeva sitnozrnasto tlo, odnosno tlo koje je sastavljeno od 80 % ili više čestica dimenzija manjih od 2 mm. Pod nazivom debrit se pretežno podrazumijeva krupnozrnasto tlo koje je sastavljeno od 80% ili više čestica dimenzija većih od 2 mm. Brzine klizanja definirane prema Crudenu i Varnesu

(1996) prikazane su u tablici 2, a dubina i volumen klizišta (ICL, 2018) prikazani su u tablici 3 (preuzete iz Đomlija, 2018).

Tablica 2. Ljestvica brzine klizanja (Cruden i Varnes, 1996; preuzeto iz Đomlija, 2018).

Br. klase	Opis	Brzina (mm/s)	Tipična brzina
7	Ekstremno brzo (eng. <i>extremely rapid</i> )	$5 \times 10^3$	5 m/s
6	Vrlo brzo (eng. <i>very rapid</i> )	$5 \times 10^1$	3 m/min
5	Brzo (eng. <i>rapid</i> )	$5 \times 10^{-1}$	1,8 m/h
4	Srednje brzo (eng. <i>moderate</i> )	$5 \times 10^{-3}$	13 m/mjesec
3	Sporo (eng. <i>slow</i> )	$5 \times 10^{-5}$	1,6 m/god
2	Vrlo sporo (eng. <i>very slow</i> )	$5 \times 10^{-7}$	16 mm/god
1	Ekstremno sporo (eng. <i>extremely slow</i> )		

Tablica 3. Dubina i volumen klizišta (ICL, 2018; preuzeto iz Đomlija, 2018).

Br.	Opis	Dubina (m)	Br.	Opis	Volumen (m <sup>3</sup> )
7	Ekstremno duboko	> 500	7	Ekstremno veliko	> 10 <sup>8</sup>
6	Vrlo duboko	100 - 500	6	Vrlo veliko	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>
5	Duboko	50 - 100	5	Veliko	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>
4	Srednje duboko do duboko	20 - 50	4	Srednje veliko do veliko	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>
3	Plitko do srednje duboko	5 - 20	3	Malo do srednje veliko	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>
2	Plitko	1 - 5	2	Malo	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>
1	Površinsko	< 1	1	Vrlo malo	< 10 <sup>3</sup>

### 3. SVRHA ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA

Klizišta se istražuju radi prevencije nastanka klizišta, upravljanje područjima na kojima postoje klizišta ili područjima koja su potencijalno opasna za nastanak klizišta kroz sustav prostornog planiranja. Ako se klizište dogodi poduzimaju se sve mjere sanacije da se spriječi pokrenuti proces klizanja i da se zemljište osposobi za daljnje korištenje.

Rezultat istraživanja klizišta je različit, ovisno o tome istražuju li se klizišta na regionalnoj razini, ili na razini pojedinačnih lokacija. Za potrebe regionalnog istraživanja klizišta primjenjuju se uglavnom daljinske metode istraživanja. Rezultat istraživanja su inventari

klizišta s prikazanim lokacijama klizišta na istraživanom području (gradovi, općine pa čak i države), koji se koriste za upravljanje područjem, odnosno prevenciju budućih pojava klizišta.

S druge strane, kada se klizišta istražuju za potrebe sanacije, a što je od posebnog interesa u području građevinarstva, odnosno geotehnike, provode se detaljna istraživanja. Rezultat istraživanja je inženjerskogeološki ili geotehnički model klizišta. Njime je definiran položaj klizišta, geometrija i značajke klizišta (dijelovi, dimenzije) te materijali od kojih je klizište izgrađeno. Istraživanje pojedinačnog klizišta, odnosno izradu inženjerskogeološkog modela klizišta provodi inženjerski geolog, a odabir i mjere projektiranja sanacije provodi građevinar geotehničar.

#### **4. METODE I TEHNIKE REGIONALNOG ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA**

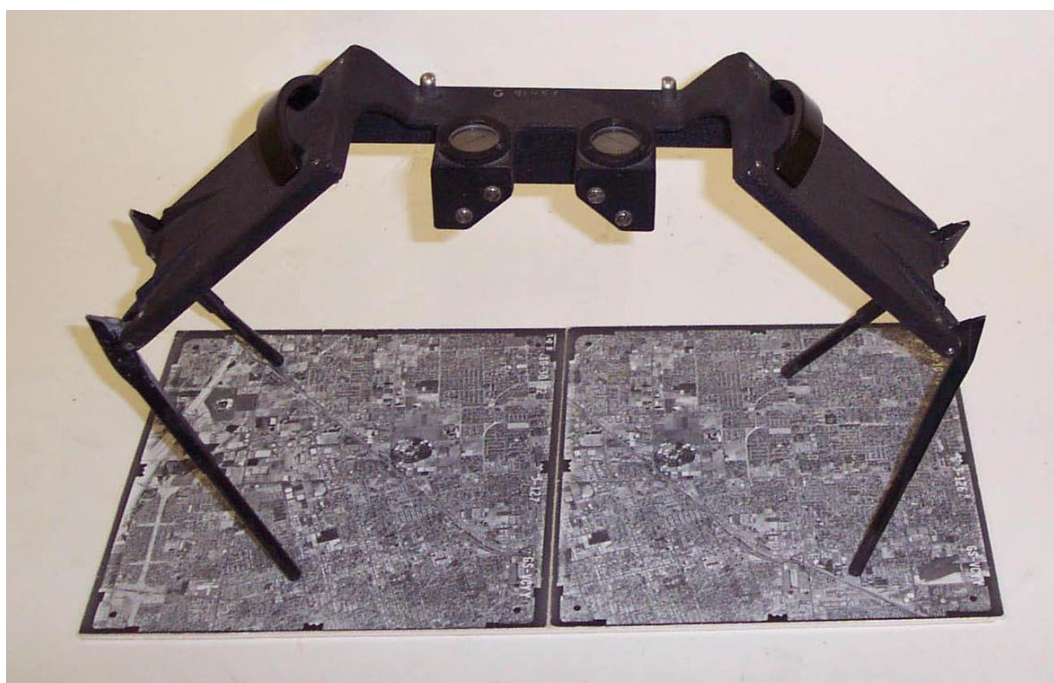
Metode i tehnike regionalnog istraživanja klizišta općenito se mogu podijeliti na konvencionalne metode te suvremene i inovativne metode i tehnike istraživanja (Guzzetti i dr., 2012). Vodeću konvencionalnu metodu regionalnog istraživanja klizišta predstavlja stereoskopska analiza avionskih snimaka. Jedna od često primjenjivanih suvremenih tehnika istraživanja klizišta u proteklih desetak godina je lasersko skeniranje iz zraka primjenom LiDAR (eng. Light Detection and Ranging) tehnologije. Iz prikupljenih visinskih podataka izrađuju se digitalni modela reljefa visoke rezolucije bez vegetacije, koji omogućavaju provođenje detaljnih geomorfoloških analiza površine terena, odnosno prepoznavanje morfologije površine karakteristične za pojave klizišta.

##### **4.1. Stereoskopska analiza avionskih snimaka**

Stereoskopija je postupak korištenja slika za rekonstrukciju 3D modela s karakteristikama istovjetnim originalu promatranim u prirodi. Analiza stereoparova aerosnimki od strane iskusnog interpretatora je vjerojatno najbolji i najekonomičniji način prepoznavanja i identifikacije klizišta na površini (Podolszki, 2014). Dvije zračne fotografije istog područja snimljene s različitih pozicija kombinirane daju jedan 3D model. Stereoskopski pogled (3D) moguć je na dijelu fotografija gdje se preklapaju, a postiže se primjenom binokularnog instrumenta – stereoskopa (slika 2). Postoji stereoskop s lećama (slika 1) koji je najjednostavniji i najjeftiniji, male veličine te praktičan i za terensku upotrebu te stereoskop s ogledalima koji sadrži bočna ogledala pod kutom od 45°, veći je i prikladan za korištenje u kabinetu.



Slika 1. Stereoskop s lećama (preuzeto iz <https://hr.wikipedia.org/wiki/Stereoskop>).



Slika 2. Binokularni stereoskop (preuzeto iz <https://www.usgs.gov/media/images/stereoscope>).

Stereoskopska analiza avionskih snimaka je najčešća metoda, alati za upotrebu su relativno jeftini i jednostavni za korištenje, stereoparovi avionskih fotografija su uglavnom

dostupni u većini država, i to iz različitih vremenskih razdoblja, i mjerila avionskih fotografija su pretežno 1:25 000 pa uglavnom omogućavaju prepoznavanje klizišta i kartiranje njihovih granica. Klizišta identificirana na stereoparovima prenose se u digitalni oblik, a inventari klizišta prikazuju se na različitim topografskim podlogama. Nedostaci stereoskopske analize jesu ograničena istraživana područja koja su prekrivena gustom vegetacijom, kvaliteta interpretacije znatno ovisi o praktičnom iskustvu istraživača i mjerilo avionskih snimaka je često presitno za identifikaciju svih klizišta.

#### **4.2. Vizualna interpretacija digitalnog modela reljefa**

Jednu od vodećih metoda čija se tehnologija sve više primjenjuje predstavlja lasersko skeniranje površina i drugih objekata. Osnovni instrument laserskog skeniranja je LiDAR, skraćenog naziva prema eng. *Light Detection and Ranging* (Razak i dr., 2009; Jaboyedoff i dr., 2012), koji predstavlja potpuno automatiziran, aktivan optičko-mehanički sustav prikupljanja velike količine prostornih podataka u relativno kratkom vremenu. Suvremena tehnologija laserskog skeniranja iz zraka ima značajnu ulogu u identifikaciji i kartiranju klizišta, naročito primjenjivu na područjima prekrivenima gustom vegetacijom (Haugerud i dr., 2003; Reutebuch i dr., 2003; Van Den Eeckhaut i dr., 2007; Razak i dr., 2009; Razak i dr., 2011; Jaboyedoff i dr., 2012).

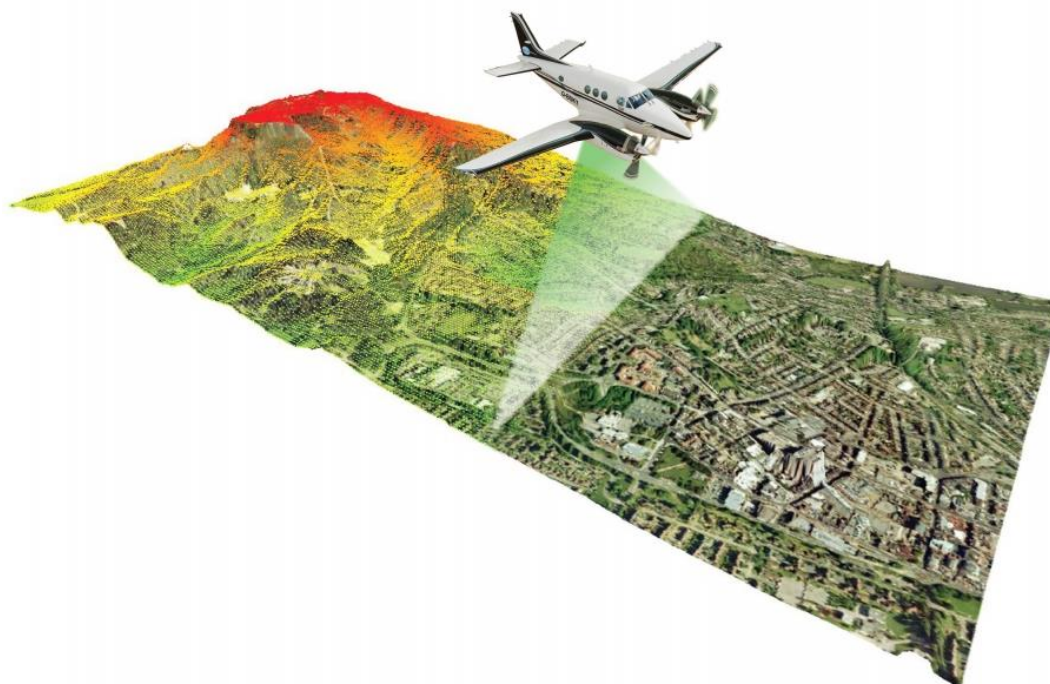
Lasersko skeniranje većih površina se zbog njihove najbolje dostupnosti i omogućene pokretljivosti laserskog skenera vrši iz zraka (Slika 3). Princip se zasniva na mjerenju udaljenosti između skenera pričvršćenog za letjelicu i površine terena ili nekog drugog objekta na osnovi vremenske razlike između emitiranja i reflektiranja laserskog svjetlosnog impulsa (Haugerud i dr., 2003; Sekiguchi i dr., 2004; Jones i dr., 2007; Razak i dr., 2011; Jaboyedoff i dr., 2012). Lasersko skeniranje iz zraka provodi se prelijetanjem područja u nizovima određene širine, ovisno o visini leta i kutu skeniranja. Tijekom jednog preleta mjeri se jedan niz, uz osiguravanje preklapanja u području susjednih nizova (Đomlija, 2015).

Pravokutne XYZ koordinate točaka izračunavaju se na temelju položaja i orijentacije letjelice, koji se određuju preciznim GPS sustavom. Prosječne visine leta prilikom laserskog skeniranja pomoću aviona u rasponu su između 800 m i 1000 m (Jones i dr., 2007; Jaboyedoff i dr., 2012), odnosno između 200 m i 500 m za lasersko skeniranje pomoću helikoptera (Carter i dr., 2001; Reutebuch i dr., 2003; Razak i dr., 2009). Laserskim skeniranjem moguće



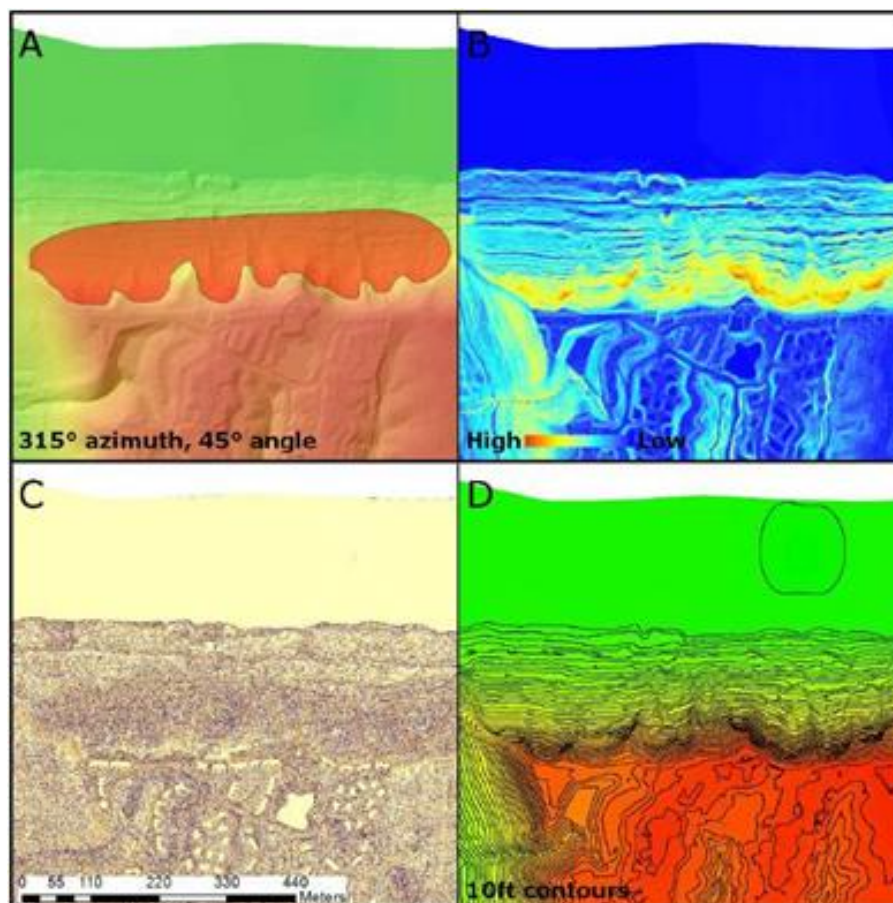
je prikupiti i do nekoliko 10-aka milijuna točaka u oblaku. Vertikalna točnost XYZ koordinata snimljenih točaka iznosi  $\pm 15$  cm na područjima bez guste vegetacije.

Korištenjem ove suvremene metode iz vrlo gustog skupa trodimenzionalnih digitalnih podataka, tzv. "oblak" točaka, mogu se proizvesti digitalni modeli reljefa visoke rezolucije. Osnovne strukture u koje se najčešće organiziraju visinski podaci su: (i) pravilna mreža (rešetka ili matrica) te (ii) triangulacijska nepravilna mreža, TIN (Đomlija, 2015).



Slika 3. Lasersko skeniranje iz zraka (preuzeto iz <https://www.geoengineer.org/news/lidar-technology-a-new-perspective-in-landslide-risk-evaluation>).

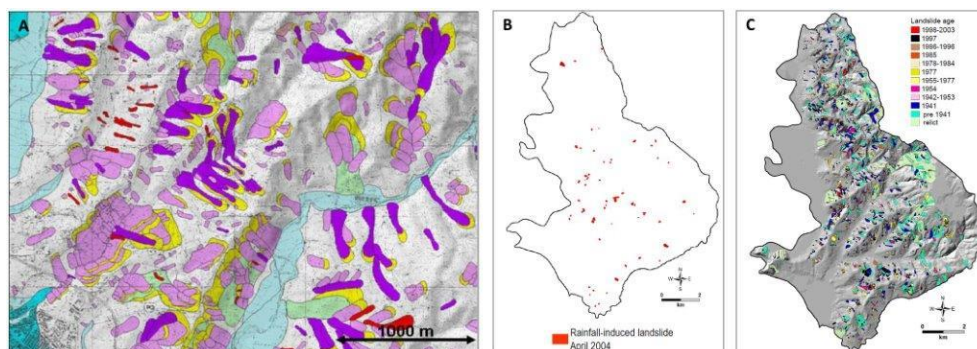
Izvedene topografske karte su karte koje prikazuju određeno obilježje reljefa (nagib padine, orijentacija padine, zakrivljenost padine). Iz DMR-a se najčešće kao prva izvedena topografska karta izvodi karta osjenčanog reljefa jer predstavlja pseudo-trodimenzionalni prikaz površine terena. Osim na karti osjenčanog reljefa, klizišta se identificiraju i na temelju analize nekih drugih karata, od kojih su najčešće karta nagiba, karta slojnica i karta zakrivljenosti.



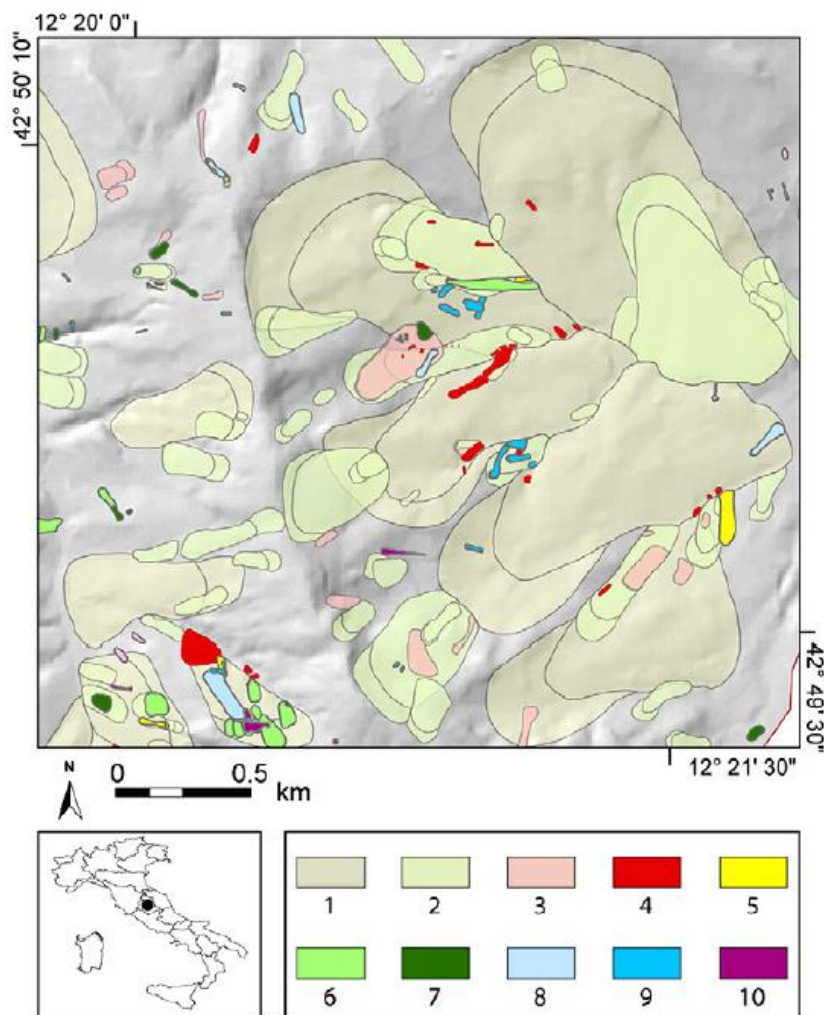
Slika 4. Kompleks rotacijskih klizišta izražen na deriviranim topografskim kartama: (a) karta osjenčanog reljefa izrađena za parametre iluminacije 315°/45°; (b) karta nagiba prikazuje strmo nagnuta područja u nijansama crvene, narančaste i žute boje te blago nagnuta područja u nijansama zelene i plave boje; (c) karta zakrivljenosti prikazuju područja veće zakrivljenosti u nijansama crvene i narančaste boje te područja manje zakrivljenosti u nijansama plave boje; (d) karta slojnica s ekvidistancijom 3 m (10 ft) (Amundsen i dr., 2010 - preuzeto iz Đomlija, 2015).

### 4.3. Inventari klizišta

Rezultat šireg, regionalnog istraživanja pojava klizišta predstavlja karta inventara klizišta (Guzzetti i dr., 2012). Karta inventara klizišta sadrži informacije o prostornoj distribuciji pojava klizišta na površini istraživanog područja, na kojoj se klizišta prikazuju konturom koja označava njegovu identificiranu granicu (Guzzetti, 2006.). Ukoliko su poznate dodatne informacije o klizištima, karta inventara sadrži podatke o datumu nastanka, tipu, volumenu, i stanju aktivnosti klizišta. Nekoliko je vrsta karata inventara klizišta (slika 5. preuzeto iz Đomlija, 2015., slika 6. preuzeto iz Guzzetti, 2012.), a tehnika njihove izrade ovisi o namjeni korištenja, prirodnim značajkama i veličini istraživanog područja, mjerilu kartanja, raspoloživosti prethodnih podataka o pojavama klizišta, ali i iskustvenim vještinama istraživača koji provodi postupak identifikacije i kartiranja (Guzzetti i dr., 2012.)



Slika 5. Vrste karata inventara klizišta: (a) isječak iz geomorfološke karte inventara klizišta za područje regije Umbrija u središnjoj Italiji (Guzzetti i dr., 2006); (b) karta inventara klizišta za kišni događaj kojim su izazvane pojave klizišta na području pokrajine Collazzone u središnjoj Umbriji (Ardizzone i dr., 2007); (c) više-vremenska karta inventara klizišta na području pokrajine Collazzone u središnjoj Umbriji (Ardizzone i dr., 2007, preuzeto iz Đomlija, 2015).



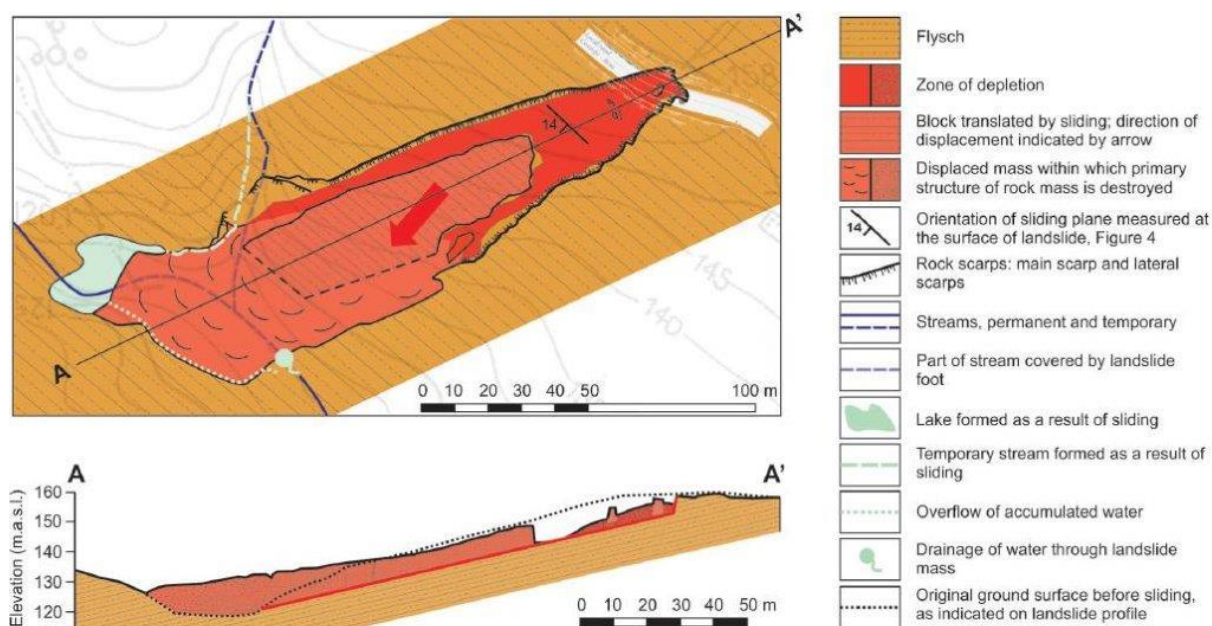
Slika 6. Karta inventara klizišta za područje Monte Castello di Vibio, Umbrija, Italija. Boje pokazuju klizišta različitih godina: (1) reliktna klizišta, (2) vrlo stara klizišta, (3) klizišta starija od 1941., (4) klizišta aktivna 1941., (5) klizišta aktivna 1954. (6) klizišta u razdoblju 1955.-1976., (7) klizišta aktivna 1977., (8) klizišta u razdoblju od 1978. do 1984., (9) klizišta aktivna 1985. godine, (10) u kojima su zabilježena klizišta u zimu 2010. godine (Guzzetti i dr., 2012).

## 5. METODE I TEHNIKE DETALJNOG ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA

Metode istraživanja pojedinačnih lokacija klizišta, koje najčešće predstavljaju inženjerski problem jer zahtijevaju projektiranje mjera sanacije klizišta, razlikuju se od prethodno opisanih metoda regionalnog istraživanja klizišta. Osnovni cilj istraživanja pojedinačnih lokacija je izrada inženjerskogeološkog modela klizišta, a potrebni podaci prikupljaju se metodama istraživanja površine te dubine. U tu svrhu se provode inženjerskogeološko kartiranje za istraživanje uvjeta na površini, te istraživačko bušenje i geofizičke metode za istraživanje uvjeta ispod površine.

### 5.1. Inženjerskogeološko kartiranje

Inženjerskogeološko kartiranje klizišta predstavlja sastavni dio istraživanja pojedinačne pojave klizišta na određenoj lokaciji s ciljem rješavanja specifičnog inženjerskog problema (Đomlija, 2015). Na temelju detaljnog terenskog istraživanja klizišta, odnosno njegovih dijelova te neposredne okolice izrađuje se inženjerskogeološka karta klizišta sitnog mjerila < 1:5 000 (Slika 7., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). U kombinaciji s ostalim rezultatima provedenih istraživačkih radova, inženjerskogeološka karta služi u izradi konačnog modela istraživanog klizišta koji predstavlja podlogu za provođenje analiza stabilnosti na padini, odnosno projektiranje mjera sanacije.



Slika 7. Detaljna inženjerskogeološka karta i uzdužni inženjerskogeološki profil klizišta Brus (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

## 5.2. Dubinska istraživanja

Dubinskim istraživanjima utvrđuju se uvjeti tla ili stijene ispod površine kosine, odnosno utvrđuje se dubina klizne plohe i dobivaju uzorci za laboratorijska ispitivanja. Izbor metoda dubinskih istraživanja i razvoj plana istraživanja ovise o cilju istraživanja, veličini područja zahvaćenog klizanjem, geološkim uvjetima, uvjetima na površini terena, dostupnosti područja te ograničenjima troškova i vremena. Dubinskim istraživanjima potrebno je utvrditi parametre čvrstoće materijala, dubine pojedinih naslaga, vertikalne i lateralne granice klizišta te porne pritiske. Interpretacija navedenih podataka treba kvantificirati moguće veličine pomaka klizišta.

Dubinska istraživanja mogu se podijeliti u izravna i posredna istraživanja. Izravne metode su istraživačko bušenje i istraživački raskopi. Istraživačko bušenje omogućuje izravno istraživanje materijala ispod površine terena te njegovo uzrokovanje za laboratorijska ispitivanja. Nakon provedenog istraživačkog bušenja (ili u određenim intervalima tijekom istraživačkog bušenja) inženjerski geolog provodi determinaciju jezgre iz istraživačke bušotine. Pregledana jezgra se opisuje od strane inženjerskog geologa, a prikupljeni podaci se prikazuju u obliku tzv. loga (vertikalnog presjeka) istraživačke bušotine. Neizravne metode su geofizičke metode istraživanja. Geofizičkim metodama istraživanja utvrđuje se prostorna raspodjela različitih vrsta materijala ispod površine terena, na temelju interpretacije njihovih određenih fizičkih značajki poput, na primjer, stupnja trošnosti ili električne provodljivosti. Najčešće geofizičke metode koje se koriste prilikom istraživanja pojedinačnih klizišta su metoda seizmičke refrakcije i metoda geoelektrične tomografije.

### 5.2.1 Istraživačko bušenje

Istraživačko bušenje nužno je radi dobivanja jezgre za determinaciju materijala koji izgrađuje klizište i određivanje dubine klizne plohe, razine podzemne vode i stupnja poremećenosti koluvijalnog materijala (Bernat, 2011). Svrha istraživanja i vrsta potrebnih informacija uvjetovat će tehniku bušenja, ali i raspored i dubinu bušenja. Podaci o istraživanom terenu iz već postojeće dokumentacije i prethodna istraživanja daju potrebne informacije za planiranje programa bušenja i raspored bušotina. Broj i raspored bušotina treba omogućiti praćenje geoloških slojeva i struktura. Prema U.S. Department of Transportation (FHA, 1997) preporučeno je postavljanje minimalno dvije bušotine na liniji u smjeru klizanja, kako bi se osigurao geološki presjek za analizu stabilnosti, a broj geoloških presjeka ovisi o

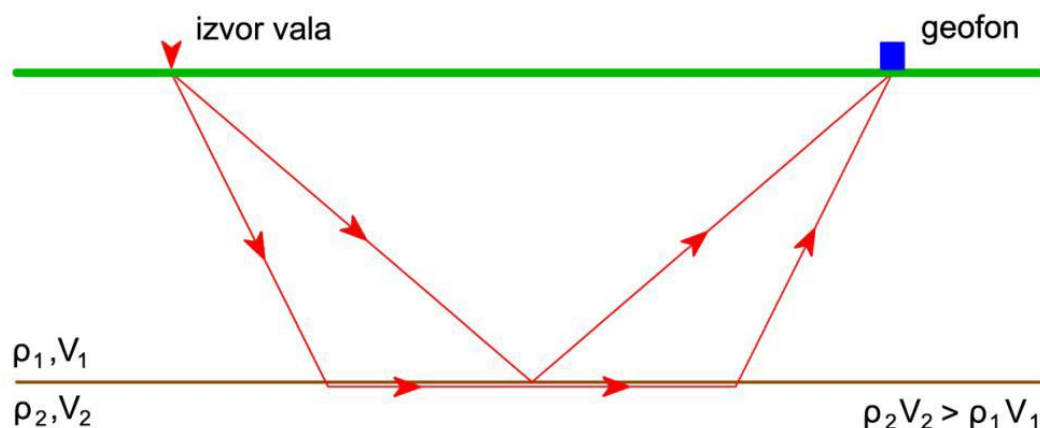
širini klizišta. U slučaju aktivnog klizanja potrebno je smjestiti barem jednu bušotinu na padinu iznad klizišta. Bušenje izvode specijalizirane ekipe koje istovremeno prate i zapisuju promjene u vrsti stijena, a zadatak inženjerskog geologa je determinacija jezgre bušotine u sklopu koje je potrebno opisati značajke stijena i tala, a to su vrsta stijene/tla, značajke materijala i značajke mase stijene/tla.

Ograničenje istraživačkog bušenja jest to što daje precizne podatke samo u određenoj točki, tj. liniji prostora. Inženjerski geolog tijekom bušenja, na terenu, provodi determinaciju jezgre bušotina koja je potrebna za izradu presjeka bušotina. Inženjerski geolog u istraživačkim raskopima provodi determinaciju otvorenog profila iskopa koja je potrebna za izradu presjeka istraživačkog raskopa.

### **5.2.2 Geofizička istraživanja**

Geofizički istraživački radovi su neizravna metoda istraživanja temeljena na opažanjima različitih fizičkih svojstava stijena, a daju informacije o građi podzemlja i značajkama stijena/tala (Bernat, 2011). Osnovna namjena geofizičkih metoda u okviru geotehničkih istraživanja je upotpunjavanje podataka koji nisu mogli biti dobiveni inženjerskogeološkim kartiranjem površine i relativno plitkim bušenjem. Glavna primjena geofizičkih metoda je u fazi interpolacije podataka iz bušotina. Naime, geofizički presjeci predstavljaju 'most' između bušotina, pomoću kojega se koreliraju podaci determinacije bušotina i rezultati laboratorijskih i in situ pokusa. Za primjenu u inženjerskogeološkim istraživanjima najvažnije su seizmičke i geoelektrične metode.

Seizmičke metode temelje se na izazivanju elastičnih titraja (potresa) blizu površine, koji se šire kroz podzemlje i stižu do točaka na površini, gdje se njihov nailazak detektira malim seizmometima ili geofonima (slika 8, preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2013). Mjerenjem vremena putovanja elastičnih valova do geofona smještenih na različitim udaljenostima od mjesta njihovog izazivanja dobiva se brzina širenja elastičnih valova kroz podzemlje. Obradom i interpretacijom podataka dobiva se model brzina širenja izazvanih elastičnih valova.



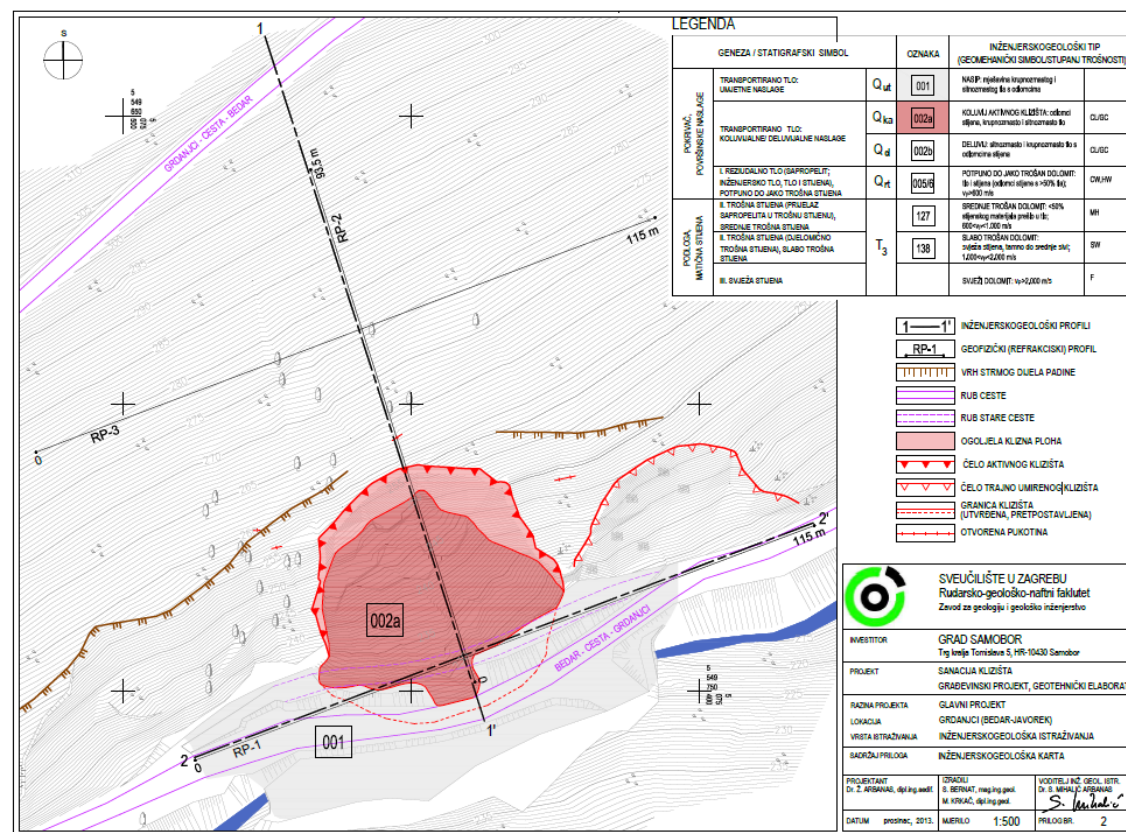
Slika 8. Geometrija puta lomljene i odbijene zrake kao temelja izvođenja refleksijskih i refrakcijskih seizmičkih istraživanja (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2013).

Električne metode zasnivaju se na mjerenjima električnih svojstava stijena (Šumanovac, 2007). Pretpostavka je da različite stijene imaju različita električna svojstva na temelju kojih ih je moguće međusobno razlikovati. Nekoliko je skupina geoelektričnih metoda, a najpoznatije su metode električne otpornosti, to su električno profiliranje, električno sondiranje te električna tomografija, koje se temelje na određivanju raspodjele električnih otpornosti stijena.

### 5.3. Inženjerskogeološki model klizišta

Inženjerskogeološki model klizišta je podloga za geotehničko modeliranje i zbog toga predstavlja važan rezultat geotehničkih istraživanja, jer se na njemu zasnivaju sve daljnje analize stabilnosti (Bernat, 2011). Inženjerskogeološki model je prognoznog karaktera budući da nastaje intepretacijom uvjeta u podzemlju na temelju relativno malog broja podataka, od kojih samo istraživačko bušenje i raskopi (upotpunjeni laboratorijskim ispitivanjima uzoraka) daju izravan uvid u podzemlje. Opseg i vrste istraživačkih radova pri istraživanju klizišta ograničeni su raspoloživim financijskim sredstvima, vremenom za istraživanje mogućnostima izvedbe.

Inženjerskogeološki model klizišta sastoji se od detaljne inženjerskogeološke karte istraživanog klizišta (primjer prikazan na slici 9) te pripadajućih uzdužnih i poprečnih inženjerskogeoloških presjeka.



Slika 9. Primjer inženjerskogeološkog modela klizišta Grdanjci za geotehnički elaborat za projekt sanacije klizišta (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2013).

## 6. ODABRANI PRIMJERI REZULTATA DETALJNOG ISTRAŽIVANJA KLIZIŠTA

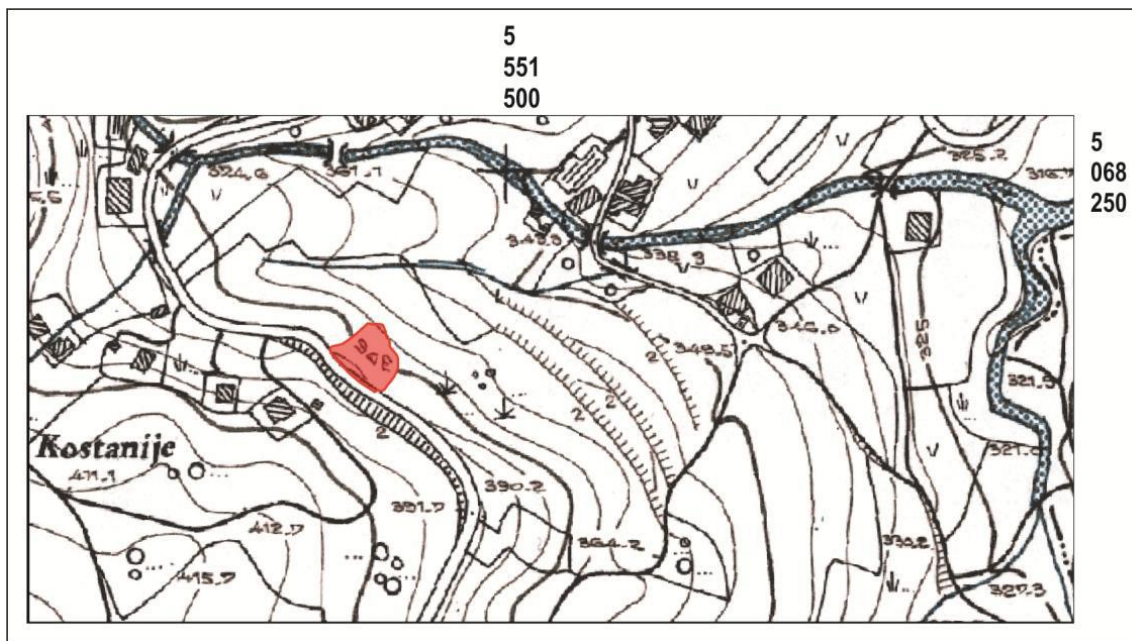
U nastavku su prikazana četiri primjera rezultata detaljnog istraživanja pojedinačnih lokacija klizišta za potrebe njihove sanacije, u okviru kojih je dan pregled primijenjenih metoda istraživanja te izrađenih inženjerskogeoloških modela klizišta. Tri klizišta se nalaze u sjeverozapadnom kontinentalnom dijelu Hrvatske, a jedno se klizište nalazi u Istri.

### 6.1. Istraživački radovi klizišta Braslovje (Grad Samobor)

Klizište u naselju Braslovje kod Samobora reaktivirano je 12. studenog 2013. godine, pri čemu je došlo do klizanja na padini sjeveroistočno od prometnice (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Gornji dio klizišta zahvatio je prometnicu, pri čemu je oštećena kolnička konstrukcija u približnoj ukupnoj duljini od 27 metara. Klizište Braslovje smješteno je u slivu potoka Rudarska Gradna, na padini generalnog pružanja sjeverozapad-jugoistok, koja je nagnuta prema sjeverozapadu. Dio padine na kojemu je aktivirano klizište, nalazi se na nadmorskoj visini od 371 do 384 m.n.m., a predstavlja donji dio padine udaljen 20-ak metara od potoka



koji je pritoka Rudarske Gradne (slika 10, preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Ova padina proteže se u smjeru jugozapada oko 1,2 km, a završava na vrhu čija nadmorska visina je 748 m.n.m. Tip klizanja ovog klizišta s obzirom na mehanizam pokreta je translacijsko klizanje u inženjerskom tlu. Duljina klizišta iznosi oko 28 m, a širina pokrenute mase je oko 29 m, približna dubina pokrenute mase jednaka je dubini klizne plohe koja iznosi oko 3 m. Oštećenja prometnice nastala uslijed aktivacije klizišta prikazana su na slici 11.(preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).



Slika 10. Položaj klizišta Braslovje prikazan na uvećanom isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) M 1:2.500 (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

Na istraživanom klizištu Braslovje provedene su sljedeći istraživački radovi i ispitivanja: (a) detaljno inženjerskogeološko kartiranje; (b) istraživačko bušenje; (c) identifikacija i inženjerski opis jezgre bušotina; te (d) laboratorijska ispitivanja uzoraka tla i trošne stijene.

Detaljno inženjerskogeološko kartiranje klizišta Braslovje provedeno je 17. prosinca 2013. godine u svrhu prikupljanja podataka o naslagama unutar tijela klizišta i u njegovoj okolini, značajkama klizišta, te pojavama površinske i podzemne vode (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Kao topografska podloga za inženjerskogeološko kartiranje korištena je posebna geodetska podloga snimljena u prosincu 2013. godine (GEO-BIM; 2013).

Geotehnički istraživački radovi provedeni su 6. i 7.12.2013., a sastojali su se od (Mihalić Arbanas i dr., 2014): (a) istraživačkog bušenja; te (b) inženjerske identifikacije i opisa jezgre bušotina. Izvedeno je šest geotehničkih istraživačkih bušotina u rasponu dubine od 5,0 do

10,0 m. Koordinate istraživačkih bušotina geodetski su snimljene po izvedenom bušenju, a položaji svih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (Slika 12., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Osnovni podaci o provedenom istraživačkom bušenju navedeni su u tablici 5.



a)

b)

Slika 11. Oštećenja prometnice reaktiviranjem klizišta 12. studenog 2013. godine (fotografirano 16.11.2013): (a) kruna klizišta promatrana od SZ prema JI; (b) denivelacija terena po glavnoj pukotini klizišta (Mihalić Arbanas i dr., 2014).

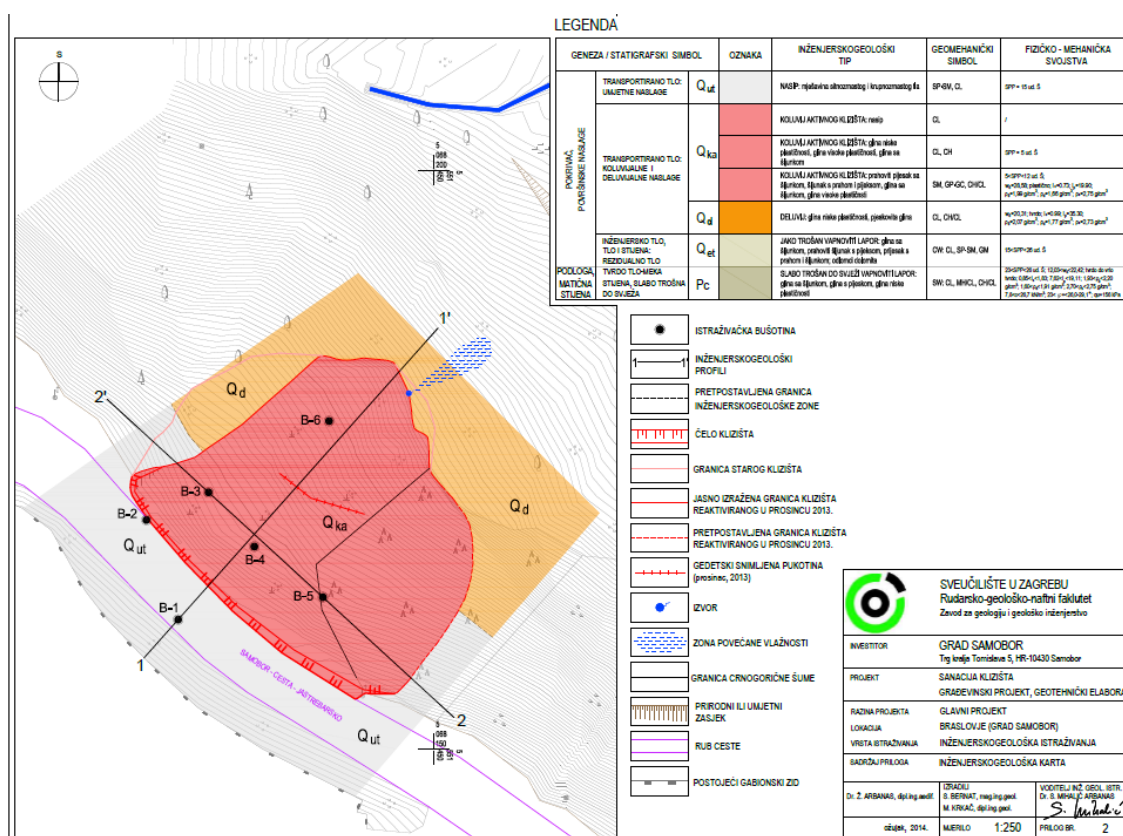
Laboratorijska ispitivanja tla i stijena na uzorcima iz bušotina provedena su u siječnju 2014. godine. Pokusi provedeni na uzorkovanom materijalu tla također su navedeni u tablici 4.

Inženjerskogeološki model predmetne lokacije izrađen je na temelju sinteze rezultata provedenih istraživačkih radova (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Sadrži detaljnu inženjerskogeološku kartu klizišta, jedan uzdužni inženjerskogeološki profil te jedan poprečni inženjerskogeološki profil (slike 12. i 13., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Na interpretiranom prognoznom inženjerskogeološkom profilu klizišta izdvojeni su istovrsni materijali inženjerskih tla i stijena u obliku inženjerskogeoloških jedinica koje su istovrsne s obzirom na fizičko-mehanička svojstva tala i stijena. Ovaj model se može koristiti za

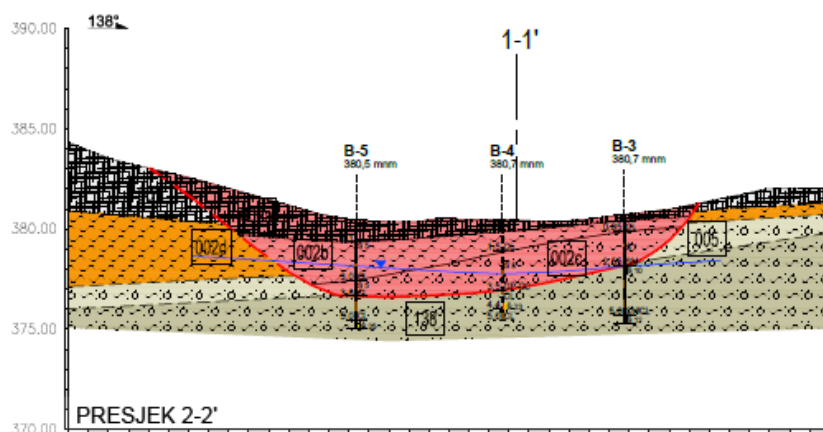
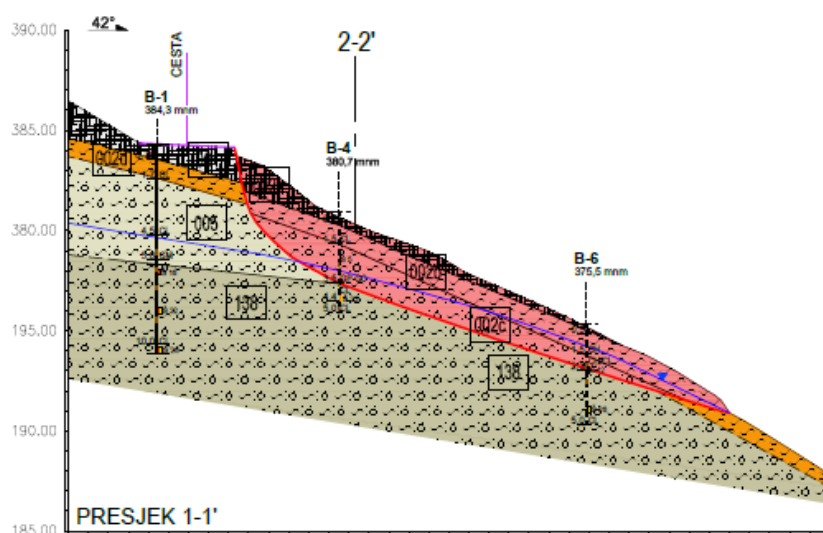
definiranje geotehničkog modela klizišta za analize stabilnosti. Klizanje je u deluvijalnim naslagama i rezidualnom tlu matične stijene glinovitoj i vapnovitoj lapora.

Tablica 4. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 6.-7.12.2013. (Mihalić Arbanas i dr., 2014).

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM BUŠENJA	X	Y	UŠĆE BUŠOTINE Z	DUBINA BUŠOTINE (m)	PROVEDENI POKUSI
B-1	6.12.2013.	5551427,9	5068161,2	384,3	10	Prirodna vlažnost, granica tečenja, granica plastičnosti, granulometrijski sastav, gustoća suhih čestica, specifična gustoća, čvrstoća tla-izravni posmik
B-2	6.12.2013.	5551425,2	5068169,8	384	8,15	
B-3	6.12.2013.	5551430,5	5068172,2	380,7	5	
B-4	6.12.2013.	5551434,5	5068167,5	380,7	5	
B-5	7.12.2013.	5551440,4	5068163,1	380,5	5	
B-6	7.12.2013.	5551440,9	5068178,3	375,5	5	



Slika 12. Inženjerskogeološka karta mjerila 1:250 klizišta Braslovje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

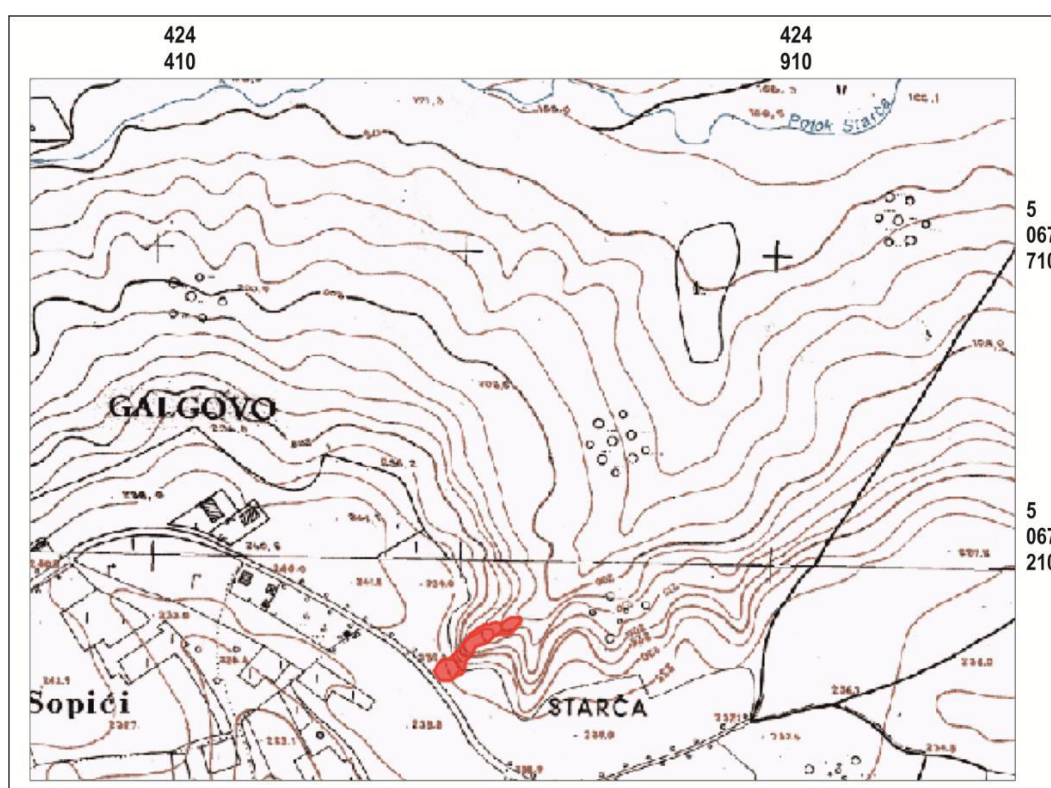


	GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE
	PRETPOSTAVLJENA GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE
	KLIZNA PLOHA
	PRETPOSTAVLJENA KLIZNA PLOHA
	RAZINA PODZEMNE VODE (7.12.2013.)
	OZNAKA BUŠOTINE

Slika 13. Uzdužni Inženjerskogeološki presjek 1-1' (na slici gore) te poprečni inženjerskogeološki presjek 2-2' (na slici dolje) klizišta Braslovje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

## 6.2. Istraživački radovi klizišta Galgovo – Zagrebačka

Klizište u naselju Galgovo kod Samobora reaktivirano je 4. travnja 2013. godine, pri čemu je došlo do klizanja na padini ispod ceste (k.č.br. 1182/2 i k.č.br. 262 k.o. Galgovo) (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Gornji dio klizišta zahvatio je prometnicu, pri čemu je oštećena kolnička konstrukcija u približnoj ukupnoj duljini od 10-ak metara. Jugoistočni bok klizišta nalazi se neposredno uz zidanu ogradu dvorišta stambene kuće, zbog čega postoji rizik od oštećivanja i ovih objekata u slučaju daljnjeg proširenja klizišta. Položaj klizišta prikazan na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) mjerila 1:2 500 predložen je na slici 14. (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).



Slika 14. Položaj klizišta Galgovo-Zagrebačka prikazan na uvećanom isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) M 1:2 500 (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

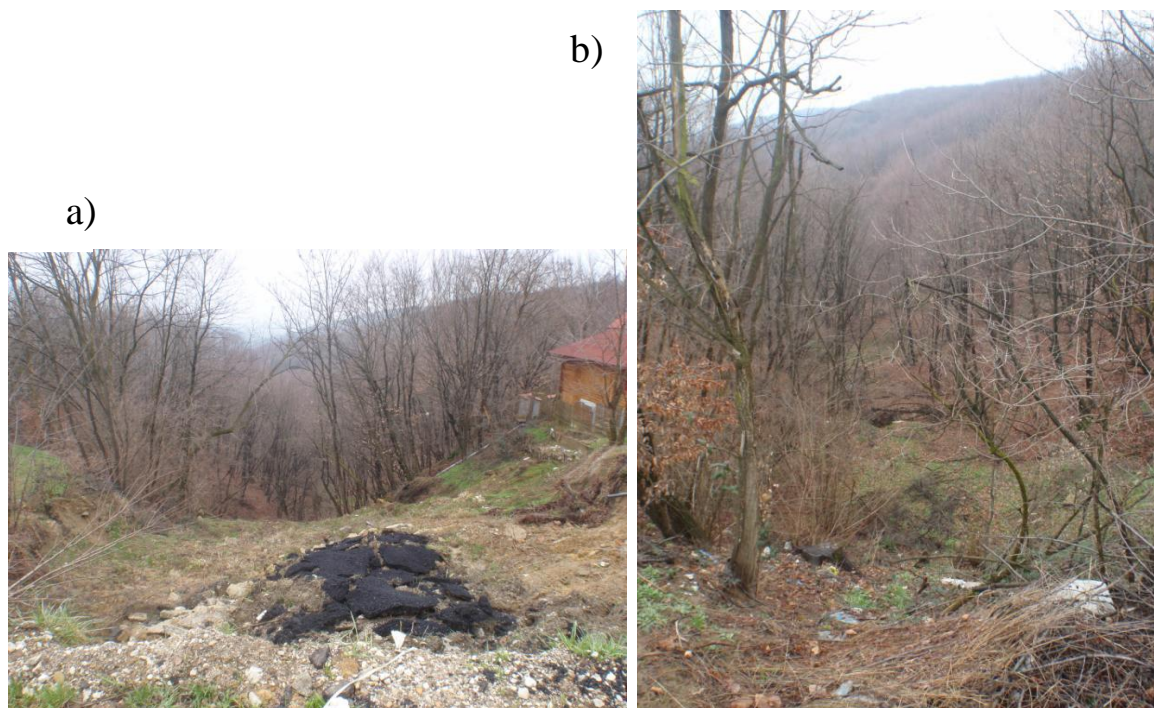
Detaljno inženjerskogeološko kartiranje klizišta Galgovo-Zagrebačka provedeno je 27. lipnja 2014. godine u svrhu prikupljanja podataka o naslagama unutar tijela klizišta i u njegovoj okolini, značajkama klizišta, te pojavama površinske i podzemne vode (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Kao topografska podloga za inženjerskogeološko kartiranje korištena je posebna geodetska podloga snimljena u lipnju 2014. godine (GEO-BIM; 2014).

Na slici 15. ( preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr. 2014.) prikazan je gornji dio klizišta snimljen u ožujku 2014. godine, u periodu godine s prorijeđenom vegetacijom (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Glavna pukotina i kruna klizišta razvijeni su neposredno uz asfaltirani dio prometnice, a uz obiteljsku kuću na adresi Zagrebačka 40. Približan iznos denivelacije pokrenute mase u gornjem dijelu klizišta je oko 1,5 metar. Na površini gornjeg dijela pokrenute mase nalaze se nasipi različitog sastava, uključivo veći komadi betona i asfalta, što ukazuje na to da je ovdje bilo divlje odlagalište.



Slika 15. Gornji dio klizišta Galgovo-Zagrebačka (snimljeno 4.3.2014). Vidljiva je kruna klizišta, glavna pukotina, desni bok klizišta. Gornji dio pokrenute mase koji je spušten približno 1,5 m po glavnoj pukotini (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

Donji dio reaktiviranog klizišta, odnosno nožica i završetak najmlađeg klizišta nalaze se u gornjem dijelu padine, kao što je prikazano na slici 16.a (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Reaktivirano klizište nastalo je u koluvijalnoj masi vrlo dugačkog starog klizišta koje ispunjava dno jaruge. Na slici 16.b (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). prikazana je površina starog klizišta u dijelu terena ispod reaktiviranog klizišta. Donja granica reaktiviranog klizišta nije jasno izražena. Granice starog klizišta jasno su izražene u odnosu na originalnu površinu terena, a također su vidljivi i tragovi višestrukih klizanja različitog volumena i duljine transporta.



Slika 16. Dijelovi klizišta Galgovo-Zagrebačka (snimljeno 4.3.2014): (a) nejasno izražena nožica klizišta reaktiviranog u travnju 2013. godine; (b) površina starog klizišta koje ispunjava prirodnu jarugu (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

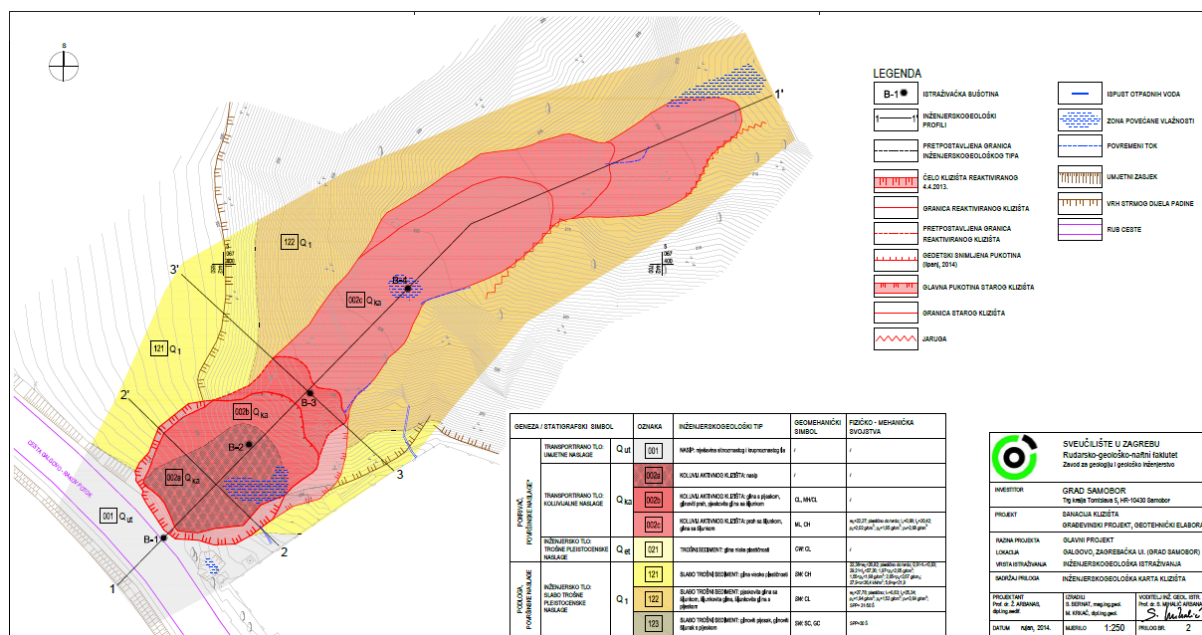
Geotehnički istraživački radovi provedeni su od 19. do 21.5.2014., a sastojali su se od (Mihalić Arbanas i dr., 2014): (1) istraživačkog bušenja; (2) inženjerske identifikacije i opisa jezgre bušotina . U tablici 5. (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr., 2014). navedeni su osnovni podaci o navedenim geotehničkim istraživačkim radovima.

Tablica 5. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 19.-21.5.2014 za potrebe istraživanja klizišta Galgovo – Zagrebačka (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr., 2014).

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM BUŠENJA	X	Y	UŠĆE BUŠOTINE Z	DUBINA BUŠOTINE (m)	PROVEDENI POKUSI
B-1	19.5.2014.	442643,1	5067368,7	239,3	8	Prirodna vlažnost, granica tečenja, granica plastičnosti, granulometrijski sastav, gustoća suhih čestica, specifična gustoća, čvrstoća tla- izravni posmik
B-2	19.5.2014.	442652,8	5067379,4	233,6	9	
B-3	19.5.2014.	442659,8	5067385,2	230,1	6	
B-4	20.5.2014.	442671	5067397,2	222,3	5	

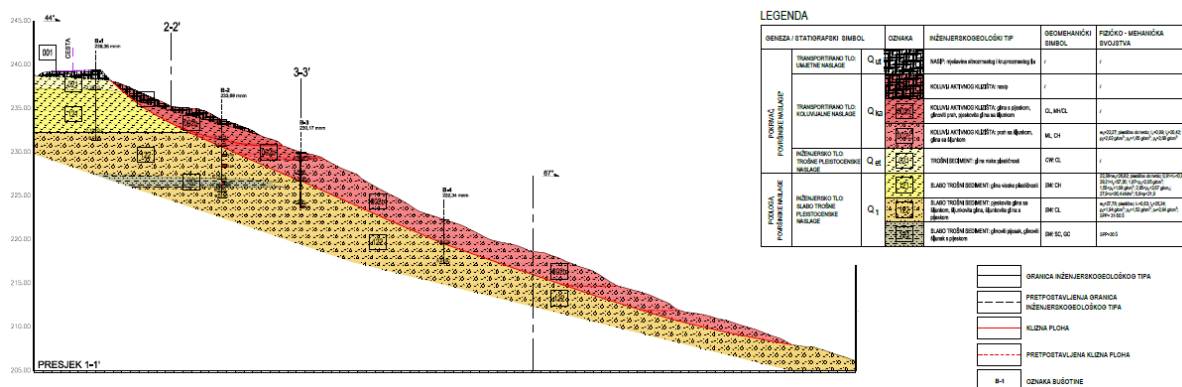
Izvedene su četiri istraživačke bušotine u rasponu dubine od 5,0 do 9,0 m.. Koordinate istraživačkih bušotina geodetski su snimljene po izvedenom bušenju, a položaji svih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (slika 17., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Laboratorijska ispitivanja tla i stijena na uzorcima iz bušotina provedena su u lipnju 2014. godine.

Inženjerskogeološki model sadrži detaljnu inženjerskogeološku karta klizišta (slika 17., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014), jedan uzdužni inženjerskogeološki presjek (slika 18) te dva poprečna inženjerskogeološka presjeka klizišta (slika 19., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Na interpretiranim prognoznim inženjerskogeološkim presjecima izdvojeni su istovrsni materijali inženjerskih tla u obliku inženjerskogeoloških jedinica koje su istovrsne s obzirom na fizičko-mehanička svojstva tala. Ovaj model se može koristiti za definiranje geotehničkog modela klizišta za analize stabilnosti. Tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta je translacijsko klizanje u inženjerskom tlu u materijalu antropogenog porijekla (nasip) i koluvijalnog porijekla starih klizišta.

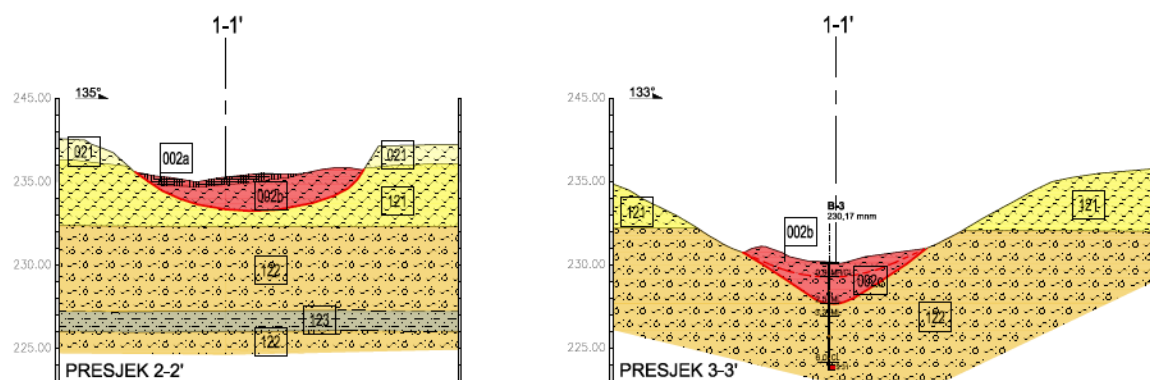


Slika 17. Inženjerskogeološka karta klizišta Galgovo (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).





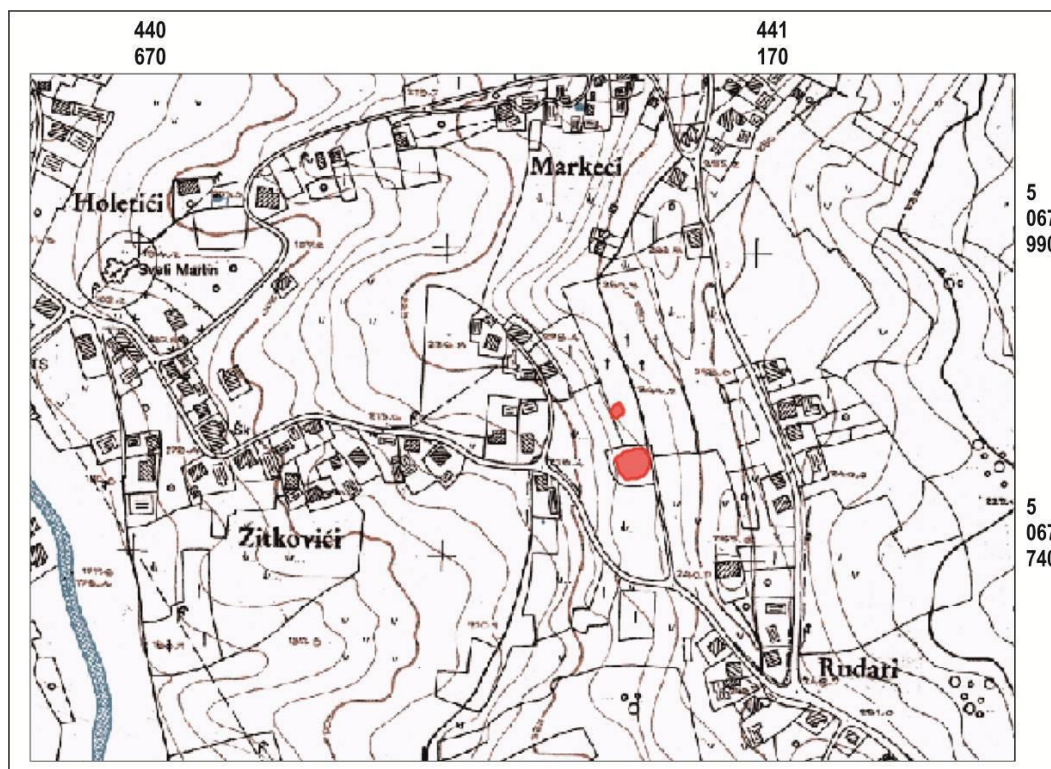
Slika 18. Uzdužni inženjerskogeološki presjek klizišta Galgovo (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).



Slika 19. Poprečni inženjerskogeološki presjeci klizišta Galgovo (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

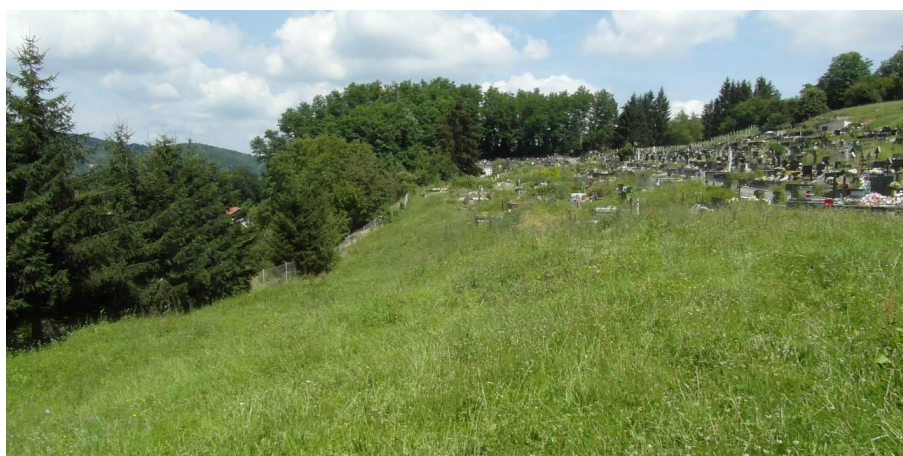
### 6.3. Istraživački radovi klizišta Sv. Martin – groblje (Grad Samobor)

Klizište u naselju Sv. Martin pod Okićem, koje se nalazi 6,2 km jugoistočno od Samobora, reaktivirano je 4. travnja 2013. godine, pri čemu je došlo do klizanja na padini ispod izgrađenog dijela groblja (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Gornji dio klizišta zahvatio je nekoliko grobova u zapadnom rubnom dijelu groblja. Klizište Sv. Martin-groblje smješteno je u slivu potoka Konščica, na padini generalnog pružanja sjever-sjeverozapad - jug-jugoistok, a koja je nagnuta prema zapadu-jugozapadu. Dio padine na kojemu je aktivirano veće klizište i manja lokalna nestabilnost pokosa, nalazi se na nadmorskoj visini od 235 do 240 m n. m., a predstavlja gornji dio padine (slika 20., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014.) padine ukupne duljine 540 m. Vrh padine je na 255 m n. m., a padina završava s potokom Konščica u podnožju koji se nalazi na 175 m n. m.



Slika 20. Položaj klizišta Sv. Martin-groblje na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5.000 (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

Na dijelu padine na kojemu su nastala klizišta nema izgrađenih objekata (slika 21. preuzeto iz Mihalić Arbanas, 2014), izuzev nekoliko grobova koji su oštećeni formiranjem čeone pukotine klizišta. Iznad klizišta padina je u potpunosti izgrađena i modificirana nasipavanjima, usijecanjima i gradnjom grobova.



Slika 21. Položaj mjesnog groblja Sv. Martin pod Okićem i dio padine na kojem su zabilježeni procesi klizanja (fotografirano 27.6.2014) (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

Na padini ispod groblja aktivirana su dva klizišta manjih dimenzija u travnju 2013. godine. Klizište 1, površine 468 m<sup>2</sup> (slika 22. preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014)

smješteno je nedaleko od ulaza na groblje, odnosno u južnom dijelu groblja ispod posljednjeg reda grobova (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Klizište 2 (slika 23. preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014) je manje površine (72 m<sup>2</sup>) i udaljeno je od klizišta 1 oko 30 m u pravcu sjevera, odnosno smješteno je u središnjem dijelu groblja, također zahvaćajući rubne redove groblja. Kod oba klizišta je došlo do oštećivanja nekoliko grobova uslijed denivelacije gornjeg dijela pokrenute mase po glavnoj pukotini, kao što je prikazano na slici 22. (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014) za veće klizište u južnom dijelu groblja.



Slika 22. Klizište 1 aktivirano 4. travnja 2013. godine (fotografirano 4.3.2014) – pogled na gornji dio klizišta i oštećene grobove (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).



Slika 23. Oštećenja na grobovima (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).



Slika 24. Klizište 2 aktivirano 4. travnja 2013. godine (fotografirano 27.6.2014) (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

Na istraživanom klizištu Sv. Martin-groblje provedene su sljedeće vrste geotehničkih istraživanja: detaljno inženjerskogeološko kartiranje, istraživačko bušenje, identifikacija i inženjerski opis jezgre bušotina, laboratorijska ispitivanja uzoraka tla i trošne stijene.

Detaljno inženjerskogeološko kartiranje klizišta Sv. Martin-groblje provedeno je 27. lipnja 2014. godine u svrhu prikupljanja podataka o naslagama unutar tijela klizišta i u njegovo okolini, značajkama klizišta, te pojavama površinske i podzemne vode (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Kao topografska podloga za inženjerskogeološko kartiranje korištena je posebna geodetska podloga snimljena u lipnju 2014. godine. Inženjerskogeološka karta klizišta Sv. Martin-groblje mjerila 1:250 prikazana je na slici .

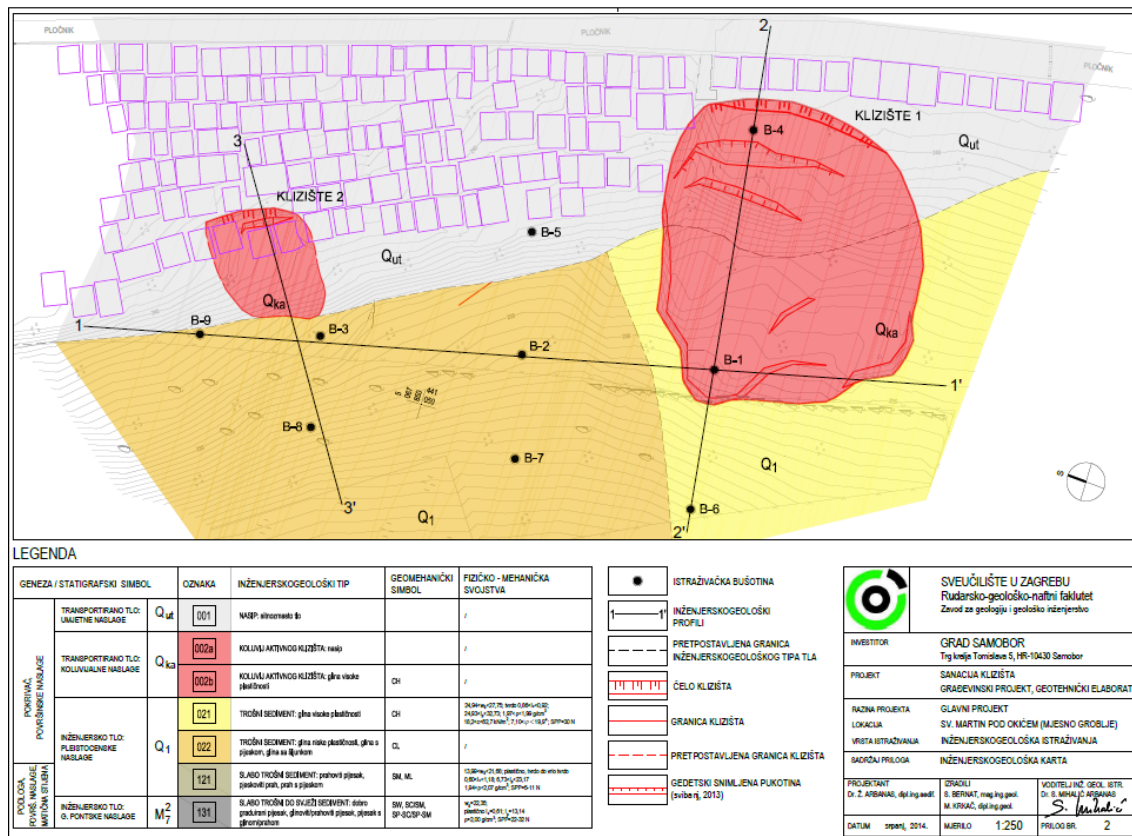
Geotehnički istraživački radovi provedeni su od 19. do 21.5.2014., a sastojali su se od Mihalić Arbanas i dr., 2014): (1) istraživačkog bušenja; (2) inženjerske identifikacije i opisa jezgre bušotina.

Izvedeno je devet geotehničkih istraživačkih bušotina raspona dubine 5,0-8,0 m. Osnovni podaci o bušotinama su prikazani u tablici 6. (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Koordinate istraživačkih bušotina geodetski su snimljene po izvedenom bušenju, a položaji svih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (slika 25., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Laboratorijska ispitivanja tla i stijena na uzorcima iz bušotina provedena su u geomehaničkom laboratoriju tvrtke *Geokon-Zagreb d.d.* u lipnju 2014. godine.

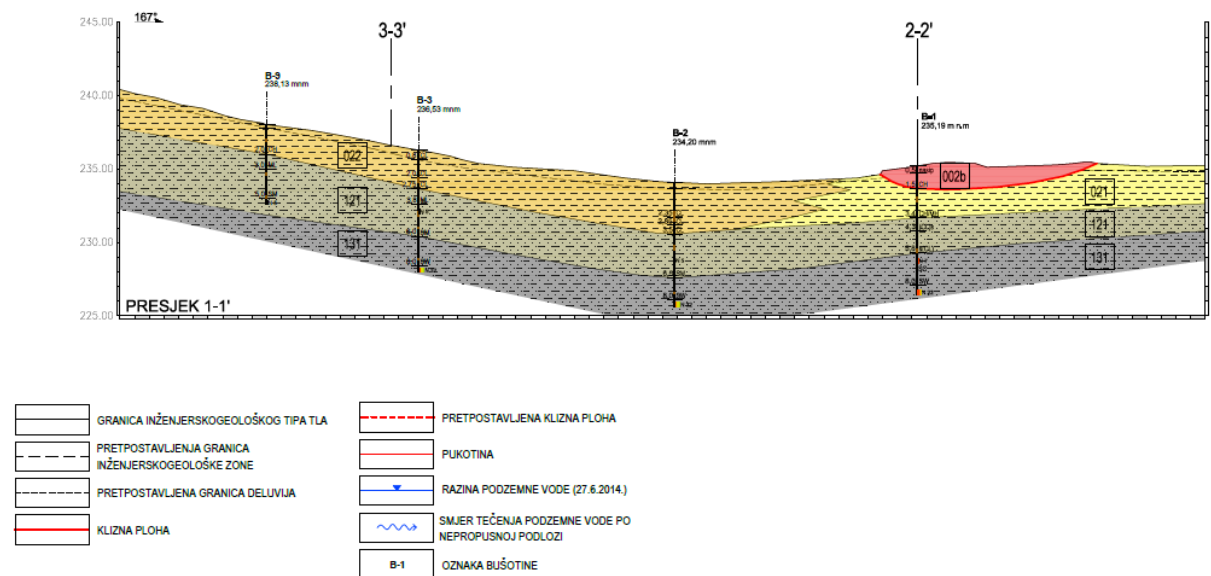
Tablica 6. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 19-21.5.2014. (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr., 2014).

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM BUŠENJA	X	Y	UŠĆE BUŠOTINE Z	DUBINA BUŠOTINE (m)	PROVEDENI POKUSI
B-1	19.5.2014.	441060	5067826,6	235,19	8	Prirodna vlažnost, granica tečenja, granica plastičnosti, granulometrijski sastav, gustoća suhih čestica, specifična gustoća, čvrstoća tla- izravni posmik
B-2	19.5.2014.	441056,5	5067842,8	234,2	8	
B-3	19.5.2014.	441053,1	5067860	263,5	8	
B-4	20.5.2014.	441080,7	5067829,2	240,1	5	
B-5	20.5.2014.	441066,9	5067845	237,8	5,25	
B-6	20.5.2014.	441047,9	506782,5	231,4	5	
B-7	20.5.2014.	441047,8	5067840,9	231,8	5	
B-8	21.5.2014.	441045,4	5067858,5	233,7	5	
B-9	20.5.2014.	441050,3	5067869,9	238,1	5	

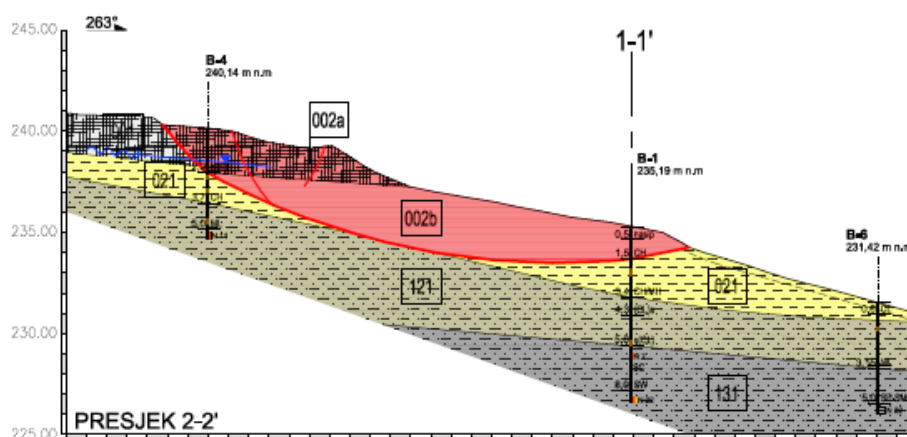
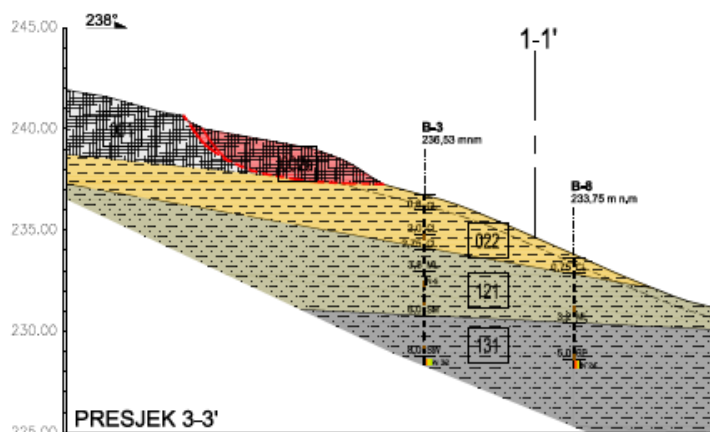
Inženjerskogeološki model prezentiran je detaljnom kartom klizišta, kao i dva inženjerskogeološka profila duž uzdužnih presjeka oba klizišta (slika 27., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014.) i jednim inženjerskogeološkim profilom paralelnim s poprečnim presjekom oba klizišta (slika 26., preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014). Na interpretiranim prognoznim inženjerskogeološkim profilima klizišta izdvojeni su istovrsni materijali inženjerskih tala u obliku inženjerskogeoloških jedinica koje su istovrsne s obzirom na fizičko-mehanička svojstva tala, tzv. inženjerskogeoloških tipova tla. Ovaj model se može koristiti za definiranje geotehničkog modela klizišta za analize stabilnosti. Tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta je rotacijsko klizanje u inženjerskom tlu. Materijal klizišta je u nasipu i u trošnim sedimentima pleistocenske starosti kojeg čine gline visoke plastičnosti.



Slika 25. Inženjerskogeološka karta klizišta Sv. Martin-groblje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).



Slika 26. Inženjerskogeološki profil poprečnog presjeka klizišta 1-1' Sv. Martin-groblje (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

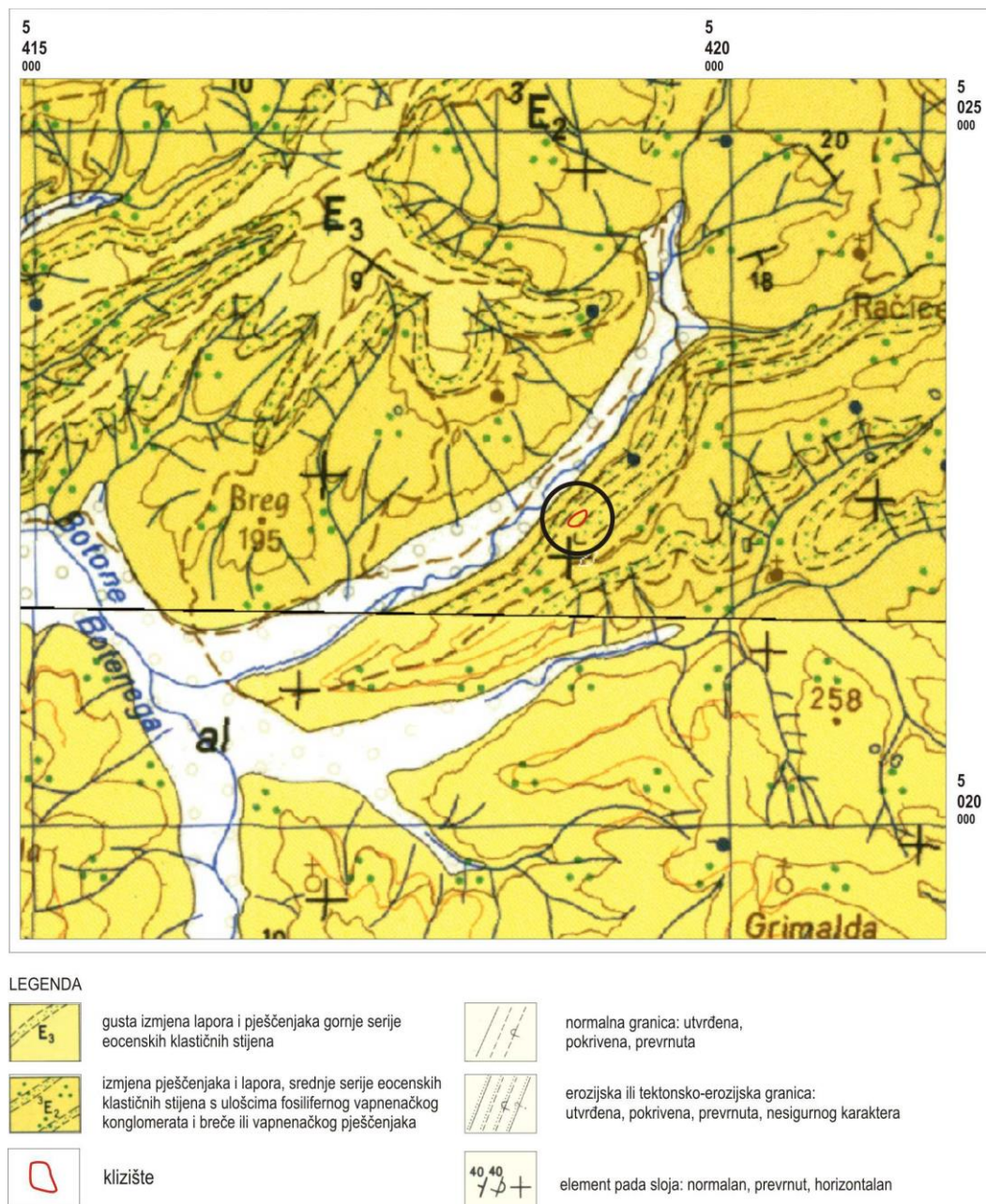


Slika 27. Inženjerskogeološki profili uzdužnog presjeka klizišta 2-2' i 3-3' Sv. Martin (preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr., 2014).

#### 6.4. Istraživački radovi klizišta Juradi u Istri

Klizište Juradi se nalazi u naselju Juradi u sjevernom dijelu Istarskog poluotoka na padini u blizini akumulacije Butoniga, a od grada Buzeta udaljeno je oko 10 km (Bernat, 2011). Naselje Juradi nalazi se na blago nagnutom dijelu padine čije nadmorske visine su u rasponu 170 - 185 m n.m. Klizanjem je zahvaćen blago nagnuti dio padine koji se nalazi sjeverozapadno od središnjeg dijela sela, ali i sama prometnica kroz selo, odnosno

gospodarski objekti uz cestu. U području klizišta najviša kota terena je 170 m n.m, a najniža oko 142 m n.m. geološka građa na širem području istraživanog klizišta prikazana je na slici 28.



Slika 28. Isječak Osnovne geološke karte s prikazom položaja klizišta Juradi (crno zaokruženo). Originalno mjerilo OGK je 1:100.000 (preuzeto iz Bernat, 2011).

Na klizištu Juradi provedene su sljedeće vrste istraživanja i mjerenja kojima su dobiveni ulazni podaci za interpretaciju inženjerskogeološkog modela klizišta (Bernat, 2011): detaljno inženjerskogeološko kartiranje, geotehnički i geofizički istraživački radovi, identifikacija i

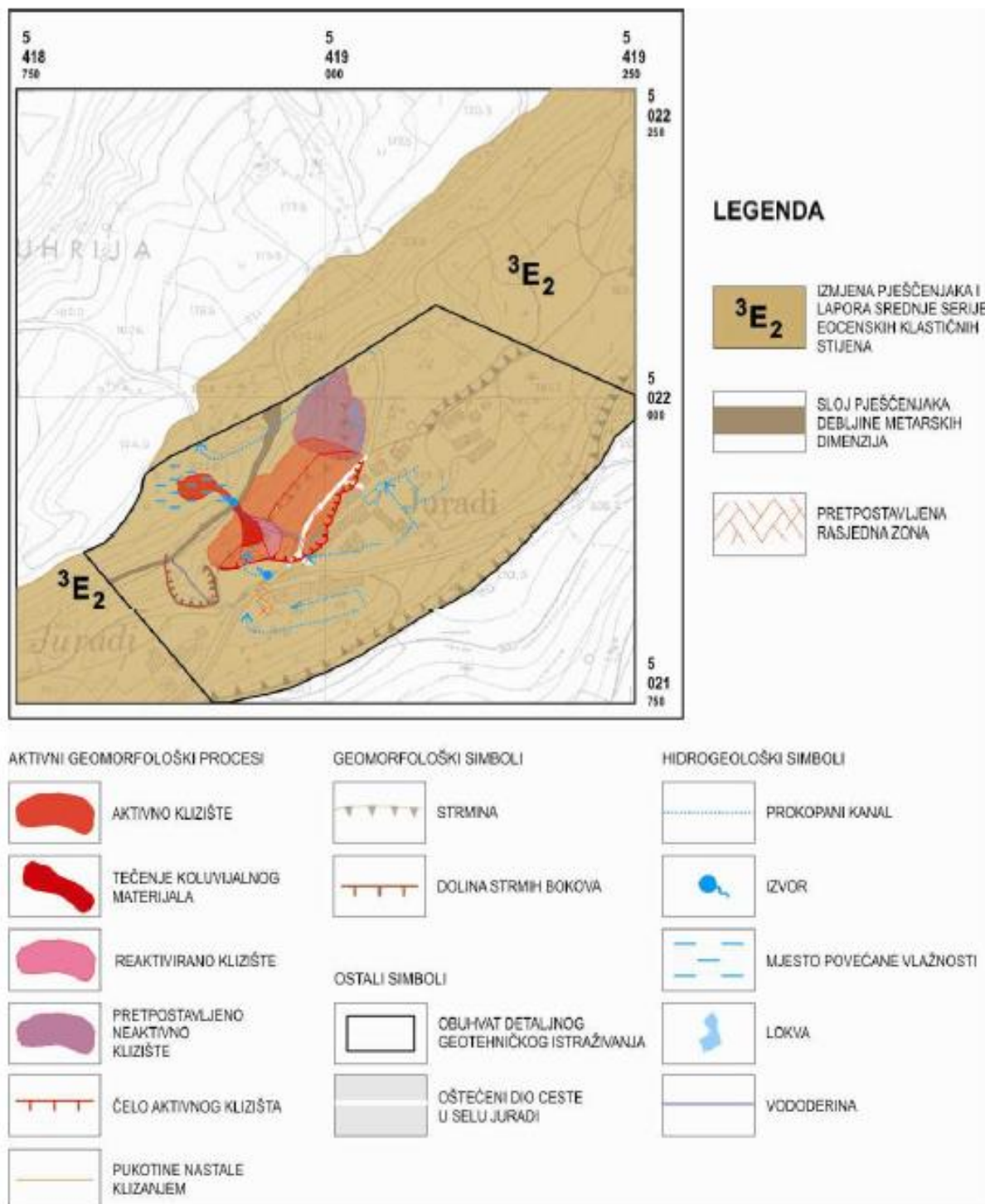


opis jezgre bušotina, laboratorijska ispitivanja uzoraka tla i stijena te geotehnički monitoring (Bernat, 2011).

Tijekom siječnja i veljače 2011. provedeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje na klizištu Juradi u svrhu dobivanja podataka o površinskim naslagama, geomorfološkim uvjetima, geodinamičkim pojavama i procesima te hidrogeološkim uvjetima na temelju kojih je izrađena inženjerskogeološka karta klizišta Juradi 1:500 (slika 32., preuzeto iz Bernat, 2011) (Bernat, 2011). Od aktivnih geomorfoloških i geodinamičkih procesa na istraživanom području zabilježeni su klizanje i linijska erozija, a od hidrogeoloških pojava, povremeni površinski tokovi, vlaženje i izvori.

Tijekom posljednjih 50-ak godina u selu Juradi aktivirano je nekoliko pojedinačnih klizišta koja su se sastojala od relativno plitkog klizanja površinskih naslaga (pokrivača) po matičnoj stijeni (Bernat, 2011). Na slici 29. (preuzeto iz Bernat, 2011) prikazano je više pojava klizanja s obzirom na stanje aktivnosti, neaktivno klizište u sjeverozapadnom dijelu naselja i reaktivirano klizište u središnjem dijelu naselja. Granice neaktivnog klizišta su pretpostavljene zbog guste vegetacije, a vrijeme aktiviranja nije bilo moguće procijeniti. Kod reaktiviranog klizišta granica izvorne pojave dijelom je zadržana i danas, a dijelom je proširena njegovim aktiviranjem u studenom 2011.

Prema pukotinama koje su nastale klizanjem u studenom 2011. godine, od kojih je najvažnija glavna pukotina prikazana na slici 30. (preuzeto iz Bernat, 2011), zaključeno je da je proširivanjem pojedinačnih klizišta došlo do formiranja jednog većeg retrogresivnog klizišta (Bernat, 2011).



Slika 29. Inženjerskogeološka karta šireg područja klizišta u naselju Juradi mjerilo 1:5.000 (preuzeto iz Bernat, 2011).



Slika 27. Glavna pukotina (lokacija sjeverno od ceste) (preuzeto iz Bernat, 2011).

Geotehnički istraživački radovi na klizištu Juradi provedeni su u razdoblju od 25.1.2011. do 14.2.2011., a sastojali su se od istražnog bušenja, uzrokovanja, *in situ* pokusa, ugradnje piezometara i inklinometara te inženjerske identifikacije i opisa jezgre bušotine. Istražno bušenje, uzrokovanje, *in situ* pokuse te ugradnju piezometara i inklinometra provela je tvrtka *Rijekaprojekt Geotehničko istraživanje d.o.o.* (Bernat, 2011). U sklopu istraživanja izvedeno je devet geotehničkih istražnih bušotina dubine od 5,8 do 30,3 metra (tablica 7).

Tablica 7. Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izvedenima na području klizišta Juradi (Bernat, 2011).

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM BUŠENJA	X	Y	UŠĆE BUŠOTINE Z	DUBINA BUŠOTINE (m)	PROVEDENI POKUSI
B-1	25.1.2011.	5418969,59	5021908,55	168,41	30,3	Prirodna vlažnost, granica tečenja, granica plastičnosti, granulometrijski sastav, a, izravni posmik-kohezija, kut unutarnjeg trenja, sadržaj karbonata
B-2	1.2.2011.	5418949,75	5021842,59	176,68	15	
B-3	3.2.2011.	5418991,29	5021853,35	178,88	10	
B-4	25.1.2011.	5418989,68	5021871,05	174,55	15	
B-5	28.1.2011.	5419023,86	5021948,96	169,11	15	
B-6	7.2.2011.	5419039,18	5021925,63	173,83	15	
B-7	9.2.2011.	5418986,3	5021885,38	172,9	15	
B-8	4.2.2011.	5419037,43	5021880,68	176,77	13,8	
B-9	14.2.2011.	5418935,17	5021858,59	171,14	5,8	

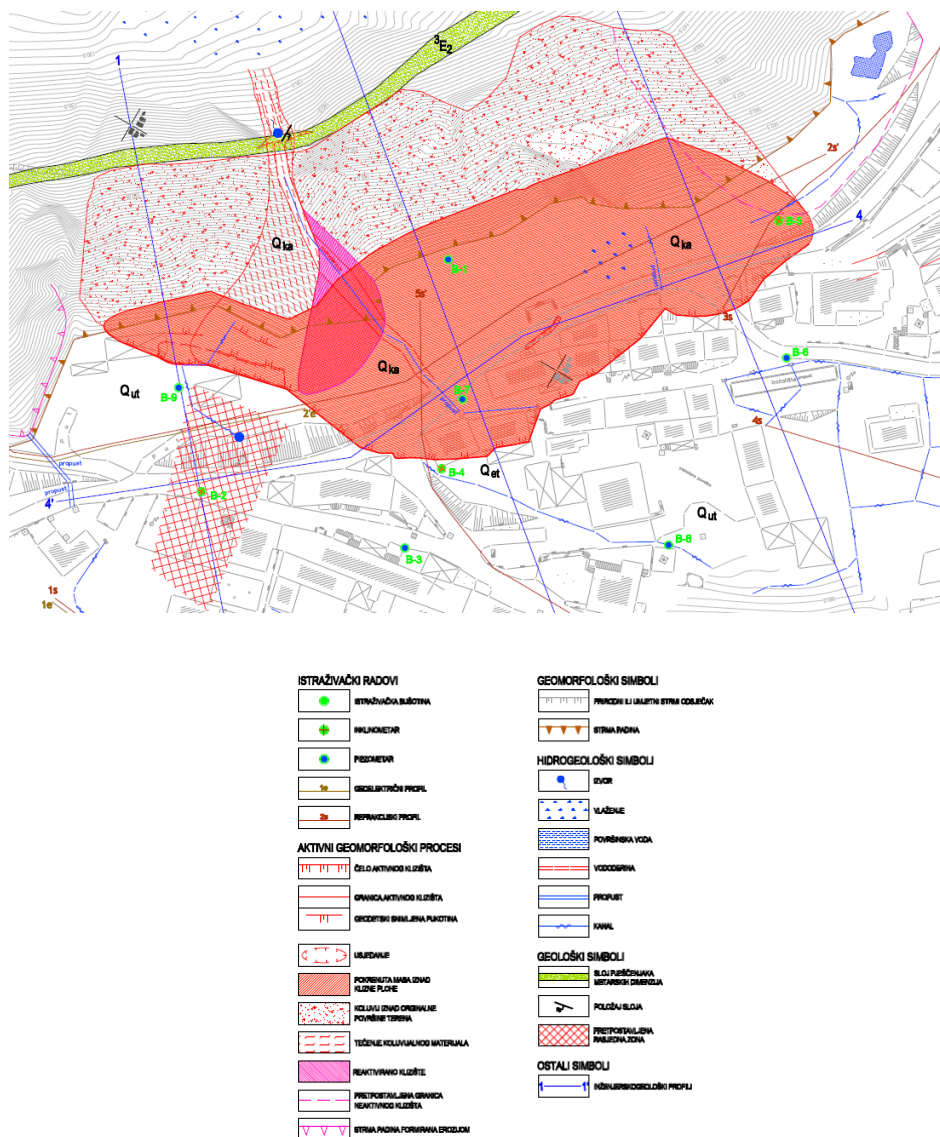
U bušotine B-1, B-3, B-6, B-8 i B-9 ugrađeni su piezometri te je ukupno ugrađeno 89,9 metara piezometarskih cijevi. Inklinometarske cijevi ugrađene su u bušotine B-2, B-4 (slika 32., preuzeto iz Bernat, 2011) i B-5 te je ukupno ugrađeno 45 metara inklinometarskih cijevi. Položaj piezometara i inklinometarskih cijevi prikazan je na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500 (slika 31., preuzeto iz Bernat, 2011).



Slika 31. Bušotina B-4 i u nju ugrađen inklinometar (preuzeto iz Bernat, 2011).

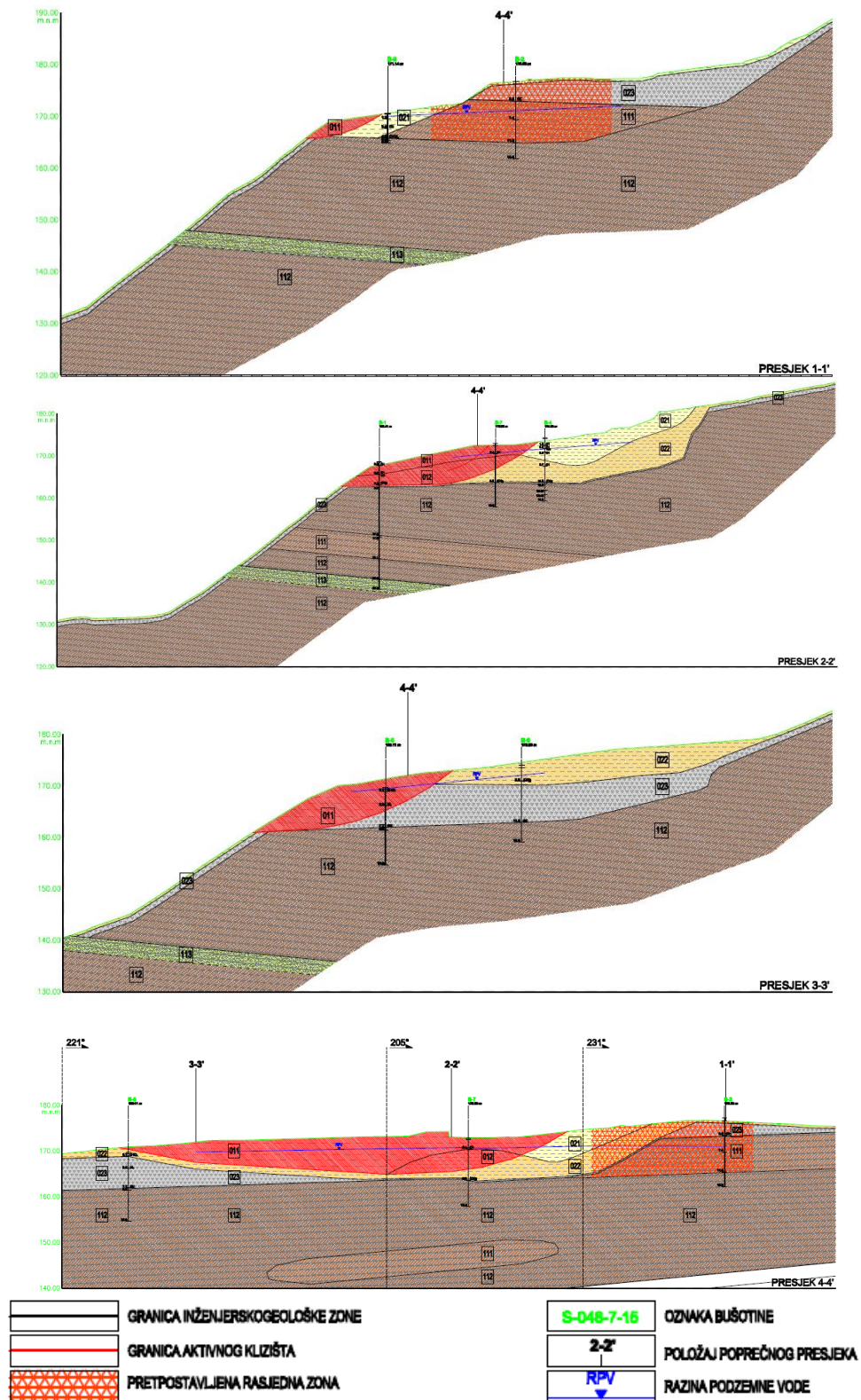
Metode korištene u sklopu geofizičkih istražnih radova na klizištu Juradi su geoelektrična metoda, refrakcijska seizmika i georadarsko snimanje. Geofizički istraživački radovi provedni su u lipnju i prosincu 2007. te u siječnju 2011. godine (Bernat, 2011). U lipnju 2007. godine na istraživanom području tvrtka Geos d.o.o. provela je georadarsko i seizmičko snimanje (GEOS, 2007a). Georadarsko snimanje obavljeno je na četiri profila s rasporedom mjernih točaka na svakih 0,5 metara profila te dubinom snimanja do oko 12 m. Seizmičko snimanje obavljeno je na jednom profilu (1S-1S') s osam geofona. U listopadu 2007. ista tvrtka obavila je dopunska georadarska snimanja (GEOS, 2007b). Snimanje je obavljeno na šest profila s rasporedom mjerenih točaka na svakih 0,5 metara te dubinom snimanja do oko 30 metara. U siječnju 2011. izvedeni su geofizički istražni radovi metodom plitke refrakcijske seizmike i geoelektričnom metodom (GEOS, 2011). Ukupno je snimljeno 594 m' seizmičkih profila. Seizmička snimanja izvedena su s pet profila duljine 90-186 m. Dubina seizmičkog snimanja iznosila je cca 30 metara. Snimljena su i dva geoelektrična profila ukupne duljine

168 m' s 24 elektrode, s rasporedom elektroda dipol-dipol, a prilikom obrade podataka korištena je metoda tomografije.



Slika 32. Prilog 1: Isječak inženjerskogeološke karte klizišta Juradi (preuzeto iz Bernat, 2011).

Inženjerskogeološki model klizišta definiran je pomoću geometrije klizišta koja je prikazana na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500 (prilog 1), na tri uzdužna i na jednom poprečnom profilu (prilozi 3 i 4) i značajki klizišta koje uključuju tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta, vidljivost dijelova klizišta, aktivnost klizišta i materijale klizišta. Prema tipu klizanja s obzirom na mehanizam pokreta radi se o translacijskom klizištu. Klizanje se odvija u koluvijalnom materijalu privremeno umirenog klizišta, odnosno u rezidualnom tlu matične stijene prahovnjaka. Koluvijalni materijal i rezidualno tlo uglavnom se sastoje od sitnozrnih materijala tla.



Slika 33. Prilog 2 i prilog 3: Inženjerskogeološki profili uzdužnih presjeka i poprečnog profila 1-1', 2-2', 3-3' i 4-4' klizišta Juradi (preuzeto iz Bernat, 2011).

## 7. ZAKLJUČAK

Istraživanja klizišta mogu se provoditi na regionalnoj razini (na primjer, općine, gradovi, pa čak i države), te na lokalnoj razini, kada predmet istraživanja predstavljaju pojedinačne lokacije na kojima se dogodilo klizište za koje se planira projektiranje građevinskih mjera sanacije. Metode i tehnike istraživanja se razlikuju s obzirom na svrhu, odnosno razinu istraživanja. Bez obzira na navedeno, istraživanje klizišta u pravilu provode inženjerski geolozi, u skladu s potrebama i ciljevima istraživanja. Korisnici rezultata regionalnih istraživanja mogu biti stručnjaci različitih profesija, među kojima su i inženjeri građevinarstva, dok su građevinari geotehničari krajnji korisnici rezultata istraživanja pojedinačnih lokacija klizišta, s obzirom na to da projektiraju mjere sanacije.

Klizišta se na regionalnoj razini istražuju daljinskim metodama istraživanja, među kojima su danas vrlo česte stereoskopska analiza avionskih snimaka te vizualna analiza digitalnih modela reljefa izrađenih na temelju visinskih podataka koji se prikupljaju laserskim skeniranjem iz zraka primjenom LiDAR tehnologije. Stereoskopska analiza avionskih snimaka može biti učinkovita u pronalaženju klizišta, pogotovo ako su klizišta relativno velika i ako se nalaze na područjima koja nisu prekrivena gustom vegetacijom. S druge strane, digitalni modeli reljefa visoke rezolucije prikazuju teren bez vegetacije, i to u obliku različitih vrsta izvedenih karata. Njihovom vizualnom analizom je iskusnom istraživaču relativno lako prepoznati morfološke tragove klizišta različitog tipa, i to pogotovo ako su klizišta aktivna s očuvanom topografijom dijelova klizišta, poput krune, glavne pukotine te stope klizišta.

Za istraživanje pojedinačnih lokacija primjenjuju se metode kojima se istražuju uvjeti na površini te uvjeti u dubini, ne bi li se na temelju sinteze dobivenih rezultata izradio detaljni inženjerskogeološki model klizišta. Isti podrazumijeva detaljnu inženjerskogeološku kartu s pripadajućim uzdužnim i poprečnim presjecima klizišta. Navedene podloge definiraju tip i geometriju klizišta, odnosno vrstu materijala, koji su važni za uspješno projektiranje mjera sanacije klizišta od strane građevinara geotehničara.

Na temelju podataka prikupljenih istraživačkim radovima, detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem klizišta, istraživačkim bušotinama, ispitivanjima na uzorcima iz bušotina, opažanjem razine podzemne vode, interpretirani su modeli klizišta.

Dokumentacijom svih površinskih uvjeta na klizištu, kao što su vrste i značajke tla, hidrogeološke pojave, geomorfološke značajke i procesi, dobivamo rezultate za detaljnu inženjerskogeološku kartu. Ona prikazuje granice klizišta, prostornu raspodjelu klizišta i raspored istraživačkih bušotina.

Podaci o istraživanom terenu iz već postojeće dokumentacije i prethodna istraživanja daju potrebne informacije za planiranje programa bušenja i raspored bušotina. Broj i raspored bušotina treba omogućiti praćenje geoloških slojeva i struktura. Broj istraživačkih bušotina uglavnom ovisi o veličini klizišta. Na manjim klizištima su izvedene četiri istraživačke bušotine, a na većim klizištima i do devet istraživačkih bušotina. Dubina bušotina također ovisi o veličini klizišta. Uglavnom su dubine od 5 do 10 metara, ali na primjeru istraživanja klizišta u Juradi možemo vidjeti da dubine mogu sezati i do 30 metara. Na temelju bušotina rezultiramo inženjerskogeološkim profilima uzdužnih i poprečnih presjeka i inženjerskogeološkim kartama klizišta.

Laboratorijska ispitivanja tla i stijena na uzorcima iz bušotina se provode u geomehaničkim laboratorijima. Prema programu geotehničkih istražnih radova na uzorcima tla i stijena provedena su, u većini slučajeva, sljedeća ispitivanja: prirodna vlažnost, granica tečenja, granica plastičnosti, granulometrijski sastav, gustoća suhih čestica, specifična gustoća, čvrstoća tla- izravni posmik.



## LITERATURA

Amudsen, J., Johnson, S., Rousea, K. & Wang, H. (2010): Using LiDAR-derived DEM's to delineate and characterize landslides in Northern Kentucky and Hamilton County, Ohio. URL: [http://www.trishock.com/academic/pdf/lidar\\_landslides.pdf](http://www.trishock.com/academic/pdf/lidar_landslides.pdf) [Last accessed: 12 June 2011].

Ardizzone F. (2007): Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne LiDAR. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 7 (6): 637-650.

Bernat S. (2011): Inženjerskogeološki model klizišta Juradi u Istri. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Carter, W., Shrestha, R., Tuell, G., Bloomquist, D., & Sartori, M. (2001): Airborne Laser Swath Mapping shines new light on Earth's Topography. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 82(46): 549–555.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996): Landslide types and processes. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (Editors), *Landslides, Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247, Washington D.C., pp. 36-75.

Cruden D.M. (1991): A simple definition of a landslide, Of the International Association of Engineering Geology, Paris

Đomlija P. (2015): Identifikacija i kartiranje klizišta primjenom metode vizualne interpretacije digitalnih modela terena visoke rezolucije. Javni seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

FHA (1997): Geotechnical Engineering Notebook, Geotechnical Guideline No. 15 – Geotechnical "Differing Site Conditions". U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration

Guzzetti, F. (2006): *Landslide hazard and risk assessment*. (Ph.D. dissertation). Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, University of Bonn, Bonn, Germany.

Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K.-T. (2012): Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2): 42–66.

Haugerud, R., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., Weaver C.S. & Sherrod B.L. (2003): High-resolution topography of the Puget Lowland, Washington - A bonanza for earth science. *GSA Today*, 13: 4-10.

Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L. (2014): The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194.

ICL, International Consortium on Landslides (2018): Instructions for World Reports on Landslides: <https://www.iplhq.org/> (zadnji put pristupljeno u veljači 2018. godine).

Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abella'n, A., Derron, M.-H., Loye, A., Metzger, R., & Pedrazzini, A. (2012): Use of LIDAR in landslide investigations: A review. *Natural Hazards*, 61(1): 5–28.

Jones, A.F., Brewer, P.A., Johnstone, E. & Macklin, M.G. (2007): High-resolution interpretative geomorphological mapping of river valley environments using airborne LiDAR data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1574-1592.

Mihalić Arbanas, S., Bernat, S., Krkač, M., Arbanas, Ž., Kalinski, V. (2014): Geotehnički elaborat klizišta Sv. Martin-groblje (Grad Samobor). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Mihalić Arbanas S., Bernat S., Krkač M., Arbanas Ž., Kalinski V. (2014): Geotehnički elaborat klizišta Braslovje (Grad Samobor). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Mihalić Arbanas S., Bernat S., Krkač M., Arbanas Ž., Kalinski V. (2014): Geotehnički elaborat klizišta Galgovo - Zagrebačka (Grad Samobor). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Mihalić Arbanas S., Bernat S., Krkač M., Arbanas Ž., Kalinski V. (2014): Geotehnički elaborat klizišta Grdanjci (Grad Samobor). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Podolszki, L. (2014): Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Razak, K. A., Straatsma, M. W., van Westen, C. J., Malet, J.P. & de Jong, S. M. (2011): Airborne laser scanning of forested landslides characterization: Terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, 126(1-2): 186–200.

Reutebuch, S. E., McGaughey, R. J., Anderson, H. E. & Carson, W. W. (2003): Accuracy of a high-resolution LiDAR terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(5): 527–535.

Sekiguchi, T. & Sato, H.P. (2004): Mapping of micro topography using airborne laser scanning. *Landslides*, 1: 195-202.

Šumanovac, F. (2007): Geofizička istraživanja podzemnih voda. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Varnes, D.J. (1978): Slope movements, type and processes. U: Schuster R.L., Krizek R.J. (ur.): *Landslide Analysis and Control*, Transportation Research Board, Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington, 11–33.

Stereoskop, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Stereoskop>,  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Stereoskopija\\_aerosnimaka.JPG](https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Stereoskopija_aerosnimaka.JPG),  
<https://www.usgs.gov/media/images/stereoscope>

LiDAR tehnologija, <https://www.geoengineer.org/news/lidar-technology-a-new-perspective-in-landslide-risk-evaluation>