

Primjena metoda daljinskih istraživanja na klizištu Gajevo, Kravarsko

Miklin, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:217:501789>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

LUKA MIKLIN

PRIMJENA METODA DALJINSKIH
ISTRAŽIVANJA NA KLIZIŠTU GAJEVO,
KRAVARSKO

Diplomski rad

ZAGREB, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Luka Miklin

**PRIMJENA METODA DALJINSKIH
ISTRAŽIVANJA NA KLIZIŠTU GAJEVO,
KRAVARSKO**

Diplomski rad

predložen Geološkom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog stupnja magistar geologije

Mentori: dr. sc. Borna Lužar-Oberiter i dr. sc. Laszlo Podolszki

ZAGREB, 2020

Zahvala

Zahvaljujem se u prvom redu mojem komentoru dr. sc. Laszlu Podolszkom iz Hrvatskog geološkog instituta na materijalima, vodstvu, trudu, savjetima, strpljenju, vremenu i dobroj volji.

Zahvaljujem se svom mentoru dr. sc. Borni Lužaru-Oberiteru na bezuvjetnoj potpori, iskazanoj dobroj volji, izlaženju u susret, trudu i fleksibilnosti glede svih faktora moga diplomskog rada.

Na kraju se zahvaljujem obitelji i prijateljima na pomoći pri istraživanju, lektoriranju i tehničkoj podršci prilikom izrade ovog diplomskog rada, te naravno, konstantnoj podršci i poticajima..

Verba volant, scripta manent.

Latinska poslovice

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Diplomski rad

PRIMJENA METODA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA NA KLIZIŠTU GAJEVO, KRAVARSKO

Luka Miklin

Rad je izrađen: Geološki zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 102a

Sažetak:

Područje Vukomeričkih gorica, odnosno klizište Gajevo u Kravarskom odabrano je za istraživanje zbog dostupnosti potrebnih podataka, blizine terena Zagrebu, kao i zbog nastanjenosti tog područja i opasnosti od daljnjih klizanja.

U ovom diplomskom radu korišteni su podaci snimanja LiDAR-om izvršeni u sklopu projekta „SafEarth“ koji su omogućili analizu većih površina terena.

Nakon kabinetske obrade podataka, izvršeno je terensko kartiranje i pregled terena u nekoliko navrata. Ispunjen je formular klizišta i obrazac za opis tla i napravljen je terenski dnevnik s točkama promatranja, izmjeren je zijev pukotina na objektima. Kartiranjem klizišta uočeni su proslojci s više pijeska, analizirani su i načinjena je inženjerskogeološka karta i prognozni profil. Teren je snimljen dronom i obrađen u GIS-u. Usporedbom ortofotografija klizišta, svjedočanstvima stanovništva i pregledom dokumentacije oborina zaključeno je da se aktivacija klizišta dogodila 2014. godine. Uzrok aktivacije klizišta je bilo povećanje oborina, prirodne karakteristike terena, ali i antropogeni faktor koji su zajedno nepovoljno utjecali na stabilnost padine.

Novim saznanjima iskristaliziralo se mišljenje da postojeće klizište nije isplativo sanirati u cijelosti. Teren je potrebno najjednostavnijim mjerama sanacije umiriti. Preporučuje se izvesti

kontrolirani odvod oborinske vode iz čela i kontrolirano ga odvesti izvan tijela klizišta u prirodni recipijent, te propisati prikladne mjere za stanovništvo.

Ključne riječi: Klizište, daljinska istraživanja, Kravarsko, inženjerska geologija, inženjerskogeološka karta, inženjersko geološki profil, sanacija klizišta

Rad sadrži: 80+LIII stranica, 52 slika, 2 tablice i 53 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentori: doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter i dr. sc. Laszlo Podolszki

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Katarina Gobo, prof. dr. sc. Marijan Kovačić, doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Datum završnog ispita: 21. siječnja, 2021.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Geology

Master's thesis

APPLICATION OF REMOTE SENSING METHODS ON THE GAJEVO LANDSLIDE (KRAVARSKO)

Luka Miklin

Thesis completed in: Department of geology, Faculty of science, Zagreb, Horvatovac 102a

Abstract:

The Gajevo landslide in the vicinity of Kravarsko (Vukomeričke gorice) was chosen for investigation due to the availability of necessary data, its proximity to Zagreb and the risk of further landslides for the population of the area.

Data were acquired through LiDAR scanning in the frame of the „SafEarth“ project, which enabled the analysis of larger areas of the terrain.

Following data processing, field mapping and field inspections were carried out on several occasions. The landslide form and soil description form were filled out, field notes were made at observation points. Crack dimensions on the buildings were measured. Landslide mapping revealed interlayers with higher proportion of sand. An engineering-geological map and an engineering-geological cross-section were made. The terrain was surveyed by drone and the data processed in GIS. By comparing orthophotos of the landslide, resident testimonies and precipitation data, it was concluded that landslide was activated in 2014. The landslide was triggered due to increased precipitation, natural features of the terrain, but also an anthropogenic factor, all of which together affected slope stability.

New findings have led to the opinion that the existing landslide is not profitable for a complete remediation. The terrain must be "calmed" by simple remediation measures. It is recommended

to perform a controlled drainage of rainwater from the top of the landslide and to channel it out of the landslide body into a natural collection tank. Suitable activities and safety measures for the population should also be prescribed.

Keywords: landslide, remote sensing, Kravarsko, engineering geology, engineering-geological map, engineering-geological cross-section, landslide remediation

Thesis contains: 80+LIII pages, 52 figures, 2 tables and 53 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in:

Supervisors: doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, dr. sc. Laszlo Podolszki

Reviewers: doc. dr. sc. Katarina Gobo, prof. dr. sc. Marijan Kovačić, doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Date of the final exam: January 21, 2021.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKE OSNOVE	3
2.1 Tipovi klizišta	3
2.2 Daljinska istraživanja, DEM, LiDAR, aerofotografija, ortofoto i GIS	5
3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	9
4. ISTRAŽIVANO PODRUČJE	11
4.1 Geografske značajke	11
4.2 Klima i oborine	12
4.3 Geološke značajke istraživanog područja	14
4.4 Hidrogeološke značajke istraživanog područja	18
4.5 Inženjerskogeološke karakteristike područja	21
5. METODE ISTRAŽIVANJA	28
5.1. Kabinetska istraživanja	28
5.2. Terenska istraživanja	32
6. ANALIZA I REZULTATI	34
6.1 Analiza povijesnih fotografija	34
6.1.1 Foto dokumentacija iz 1968. godine	34
6.1.2 Foto dokumentacija iz 2011. godine	35
6.1.3 Foto dokumentacija iz 2014. godine	36
6.1.4 Foto dokumentacija iz 2018. godine	37
6.2 Analiza podataka prikupljenih na terenu	38
6.2.1 Terensko kartiranje	39
6.2.2 Mjerenje deformacija na objektima	45
6.2.3 Dron – bespilotno snimanje klizišta	52
6.3 Nova saznanja o klizištu Gajevo	55
6.3.1 Analiza detaljnog DEM-a i pratećih podataka	55
6.3.2 Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo	58
6.3.3 Inženjerskogeološki profil klizišta Gajevo	61
7. RASPRAVA	64
8. ZAKLJUČAK	68
9. LITERATURA	70
10. POPIS SLIKA U TEKSTU	76

11. POPIS TABLICA U TEKSTU	81
12. PRILOZI	LXXXII
Prilog 1. Terenski formulari	LXXXII
Prilog 2. Terenski dnevnik	LXXXVII
Prilog 3. Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo	CXXXIII
Prilog 4. Inženjerskogeološki profil klizišta Gajevo	CXXXV

1. UVOD

Klizišta u širem smislu odnose se na pokrete masa na padinama i predstavljaju geohazardne događaje koji mogu značajno utjecati na sigurnost ljudi i njihove imovine (BELL, 2003). Svrha istraživanja je ukazati na prednosti primjene metoda daljinskih istraživanja pri istraživanju klizišta i to na konkretnom primjeru aktivnog klizišta koji ugrožava lokalne objekte i stanovništvo. U diplomskom radu odabrano područje istraživanja je područje Vukomeričkih gorica, lokalitet Kravarsko, klizište Gajevo.

Područje Vukomeričkih gorica geološki je relativno monotone građe, no desetljećima se bilježe nestabilnosti na padinama. Upravo geološka „ujednačenost“ šireg prostora predstavlja izazov koji treba podrobnije istražiti i objasniti s obzirom na brojne pojave klizišta. Odnosno treba istražiti lokalne geološke uvjete i u njima tražiti uzroke aktivnosti na padinama. Također postavlja se i pitanje antropogenog utjecaja na lokalne geološke uvjete odnosno utječe li čovjek svojom nepažnjom nepovoljno na stabilnost padina.

Ovo područje (Kravarsko) je ujedno i jedno od pilot područja na području Republike Hrvatske koje je obrađivano međunarodnim projektom „safEarth“ (akronim projekta, odnosno punim nazivom: „Transnational advanced management of land use risk through landslide susceptibility maps design“ sufinanciran iz programa Europske Unije, INTERREG - IPA CBC za Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu i Crnu Goru, GULAM i dr., 2020) u sklopu kojega je izvršeno i detaljno LiDAR snimanje područja te je omogućeno i pridobivanje detaljnog digitalnog elevacijskog modela (DEM-a) koji je korišten u provedenim analizama.

Dosadašnji projekti koji su obuhvaćali ovo područje imali su za cilj odrediti geološki sastav naslaga s naglaskom na paleontološka istraživanja (npr. Osnovna geološka karta M 1:100 000 list Sisak, PIKIJA, 1987a,b), dok su inženjerskogeološka istraživanja bila usmjerena prema izradi katastarskih klizišta tog područja, a izvršeno je i zoniranje šireg područja prema stabilnosti padina (ŠIKIĆ, 1988). Ali, iako su neka klizišta na istraživanom prostoru sanirana (rađeni su pojedinačni detaljni istražni radovi za potrebe sanacija), brojna klizišta i dalje ugrožavaju ljude i imovinu (npr. klizište Gajevo).

U radu je izvršen pregled postojećih geoloških podataka, izvršeno je i terensko kartiranje klizišta sa snimanjem deformacija na objektima, te snimanje klizišta dronom (bespilotnom letjelicom). Također su pregledani i dostupni povijesni snimci (fotografije) te izvršena

(geomorfološka) analiza detaljnog digitalnog elevacijskog modela terena. Sintezom svih podataka izrađena je inženjerskogeološka karta klizišta i napravljen je inženjerskogeološki profil klizišta. Polazna hipoteza diplomskog rada je ukazati na prednosti primjene metoda daljinskih istraživanja pri istraživanju klizišta. Odnosno da se obradom dostupnih podataka pridobivenih metodama daljinskih istraživanja mogu: (I) prikupiti inače nedostupni povijesni podaci; (II) u relativno kratkom vremenu prikupiti relativno velike količine podataka (npr. snimanje dronom); (III) izraditi detaljne i precizne karte, te; (IV) ujedno i bitno smanjiti sate provedene na terenu (odnosno optimizirati troškove) bez gubitka na kvaliteti. Za verifikaciju hipoteze odnosno dobivenih kabinetskih rezultata je odabrana provjera stanja na terenu, dakle terensko kartiranje (koje je provedeno u više navrata).

2. TEORIJSKE OSNOVE

Klizišta, bila ona povezana s potresima, vulkanskim erupcijama, požarima i/ili obilatim kišama su uzrok mnogih izgubljenih života, ozljeda i oštećenja imovine u prirodnim katastrofama diljem svijeta. (Multilingual Landslide glossary-Višejezični rječnik klizišta WP/WLI 1993; BOBROWSKY i HIGHLAND, 2008).

No da bi se klizište moglo prepoznati na terenu i krenuti u sanaciju prvo ga moramo definirati. Pa je tako (VARNES, 1978; 1984) klizanje definirao kao kretanje mase stijena, debrisa (kršja) i tla niz padinu. Drugim riječima pojam klizište koristimo kao skupni naziv za sva kretanja stijenske mase, fragmenata i/ili tla niz padinu uslijed djelovanja gravitacije (CRUDEN, 1991). Ovu definiciju klizišta prihvatila je Radna skupina za svjetski inventar klizišta (International Geotechnical Societies UNESCO (WP/WLI) Working Party on World Landslide Inventory) (1993). Danas postoje posebne grane geotehnike, inženjerske geologije, mehanike tla i stijena koje se bave zaštitom kosina i sanacijama klizišta (CORNFORTH, 2005, ROJE-BONACCI, 2014).

Pa je tako klizište (predmet istraživanja) u Kravarskom obrađeno iz više perspektiva s naglaskom na inženjerskogeološke odlike i primjenu daljinskih istraživanja (GUZZETTI i dr., 2012; PAINE i KISER, 2012; SLAUGHTER i dr., 2017).

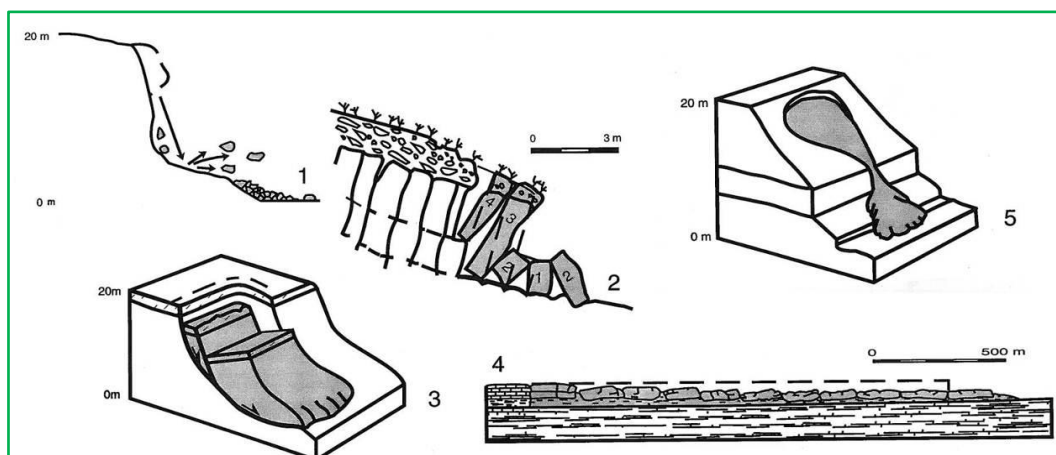
2.1 Tipovi klizišta

Klizišta mogu biti rotacijska ili translacijska. Klizanje se kod rotacijskog klizišta odvija po zakrivljenoj plohi, dok se kod translacijskog klizišta masa kreće po nezakrivljenoj plohi koja je približno paralelna površini (WP/WLI 1993).

Također jedan od osnovnih kriterija za klasifikaciju klizišta je način kretanja pokrenute mase stijena i/ili tla. Prema mehanizmu kretanja razlikuje se pet tipova (*Slika 1*) klizanja (WP/WLI 1993; ESCARIO i dr., 1997; PODOLSZKI, 2014):

- 1) odronjavanje,
- 2) prevrtanje,
- 3) klizanje (u užem smislu riječi),

- 4) bočno razmicanje (širenje) i
- 5) tečenje



Slika 1. Osnovni tipovi klizišta (WP/WLI 1993; ESCARIO et al., 1997).

Klizanje (*eng. slide, oznaka 3 na Slici 1*) je kretanje manje ili više koherentne mase po jednoj ili više dobro definiranih kliznih ploha (ploha sloma) ili po relativno tankoj zoni u kojoj je izraženo posmično naprezanje (klizna zona).

Odronjavanje (*eng. fall, oznaka 1 na Slici 1*) podrazumijeva odvajanje mase sa strmih padina po površini, na kojoj ima malo ili uopće nema smicanja. Tu dolazi do slobodnog pada, prevrtanja ili kotrljanja pokrenutog materijala.

Kod bočnog razmicanja ili širenja (*eng. spread, oznaka 4 na Slici 1*) glavni način kretanja je bočno razmicanje materijala, a može biti u kombinaciji s usjedanjem materijala boljih karakteristika u mekši materijal podloge, kod takvog klizanja nastaju smičuće ili tenzijske pukotine. Površina sloma ovdje nije površina intenzivnog posmika, a širenja mogu nastati uslijed likvefakcije ili tečenja.

Tečenje (*eng. flow, oznaka 5 na Slici 1*) podrazumijeva različita kretanja sa znatnim varijacijama brzine i sadržaja vode u pokrenutom materijalu koje nalikuju distribuciji brzina u viskoznom fluidu. Iskazuje se kao prostorno-kontinuirana deformacija, a površine naprezanja su kratkotrajne, blizu jedna drugoj i obično se ne sačuvaju.

Kod prevrtanja (*eng. topple, oznaka 2 na Slici 1*) dolazi do rotacije materijala prema naprijed, oko točke ili osi koja se nalazi u njezinoj bazi ili u blizini baze, obično ispod gravitacijskog

centra pokrenutog materijala. Ponekad se razdvojeni blokovi nalaze prislonjeni jedan uz drugog. Prevrtnanje može prethoditi ili slijediti nakon odronjavanja ili klizanja.

Prema aktivnosti klizišta možemo podijeliti na aktivna, trenutno neaktivna, reaktivirana i neaktivna klizišta (*Tablica 1*).

Tablica 1. Klasifikacija klizišta prema stanju aktivnosti (WP/WLI, 1993).

Stanje	Opis
Aktivno (<i>eng. active</i>)	Klizište u pokretu.
Trenutno neaktivno (<i>eng. suspended</i>)	Klizište koje je bilo aktivno u posljednjih 12 mjeseci, ali trenutno nije aktivno (nema pomaka).
Reaktivirano (<i>eng. reactivated</i>)	Nekad aktivno klizište, koje je postalo neaktivno, i ponovno se aktiviralo.
Neaktivno (<i>eng. inactive</i>)	Klizište koje nije aktivno u posljednjih 12 mjeseci. Neaktivna klizišta se dijele na: privremeno umirena, trajno umirena, stabilizirana i reliktna (fosilna).
Privremeno umireno (<i>eng. dormant</i>)	Neaktivno klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili drugih uzroka koji su aktivirali prethodnu aktivnost.
Trajno umireno (<i>eng. abandoned</i>)	Neaktivno klizište na koje uzrok klizanja nema daljnjeg utjecaja i ne može izazvati daljnje nestabilnosti.
Stabilizirano (sanirano) (<i>eng. stabilized</i>)	Neaktivno klizište kod kojeg su daljnje nestabilnosti spriječene mjerama sanacije.
Reliktno (fosilno) (<i>eng. relict</i>)	Neaktivno klizište koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više nisu prisutni.

2.2 Daljinska istraživanja, DEM, LiDAR, aerofotografija, ortofoto i GIS

Daljinska istraživanja (*eng. remote sensing*) danas su nezaobilazna metoda u raznim znanstvenim područjima, a dobiveni rezultati zahvaljujući razvoju računalnih tehnologija nalaze široku primjenu u različitim disciplinama. Riječ je o metodi prikupljanja i interpretaciji informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Uključuje sve aktivnosti od snimanja, procesiranja, analiziranja, interpretacije, do dobivanja informacija iz podataka prikupljenih tim istraživanjem (FRANČULA i dr., 1994). Podaci se dobivaju iz velike udaljenosti (od nekoliko stotina do nekoliko tisuća kilometara) instrumentima postavljenim u zračne ili svemirske letjelice.

Za geografe i geologe je od posebnog interesa i važnosti mogućnost primjene daljinskih istraživanja u geomorfologiji (SLAUGHTER i dr., 2017). Najčešće se koriste u proučavanju različitih oblika i elemenata reljefa osobito kada je riječ o velikim površinama (PAINE i KISER, 2012). Tako se na snimcima (zračnim i satelitskim) mogu registrirati reljefni oblici

nastali abrazijom mora, eolskim djelovanjem, te glacijalni oblici reljefa. U geologiji daljinska istraživanja primjenjuju se u proučavanju litosfernih strukturnih elemenata, litološkog sastava Zemlje, seizmotektonske aktivnosti, za utvrđivanje mineralnih ležišta, te u posljednjih dvadesetak godina i za identifikaciju klizišta. Nove tehnike identifikacije klizišta GUZZETTI i dr. (2012) su pojednostavljeno grupirali u tri veće skupine:

- (I) analiza morfologije površine terena korištenjem digitalnih modela reljefa tzv. DEM-ova (eng. digital elevation model) visoke rezolucije;
- (II) interpretacija i analiza satelitskih snimaka svih vrsta; i
- (III) korištenje novih alata kod kartiranja klizišta. DEM-ovi visoke rezolucije se mogu dobiti pomoću LiDAR-a (eng. *Light Detection And Ranging*).

Princip rada LiDAR-a je da laserski senzor, koji je npr. na letjelici, mjeri udaljenost između instrumenta i površine terena tako što mjeri vrijeme koje je potrebno da laserski signal stigne do objekta/terena i odbije se natrag. (GAJSKI, 2007). Zavisno od gustoće mjernih točaka mogu se dobiti DEM-ovi različitih rezolucija.

LiDAR radi mjerenja i do 200 kHz, tako je u kratkom vremenu omogućeno detaljno izmjeriti oblik površine terena i objekata na njoj. LiDAR je u tom slučaju potpuno automatiziran, aktivan, optičko - mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih sa stvarnih snimališta. Tehnologija prostornog laserskog skeniranja se dijeli na:

- lasersko skeniranje iz zraka (eng. *Airborne Laser Scanning - ALS*) i
- lasersko skeniranje sa zemlje (eng. *Terrestrial Laser Scanning - TLS*).

Može se koristiti kako na tlu za snimanje arhitektonskih objekata tako i za snimanje većih područja iz zraka, postavljen na zrakoplov, helikopter ili dron. Područje koje je predmet izmjere se nadlijeće zrakoplovom ili dronom (bespilotnom letjelicom) koji s donje strane nosi LiDAR (PAINE i KISER, 2012).


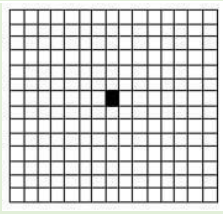
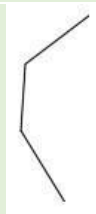
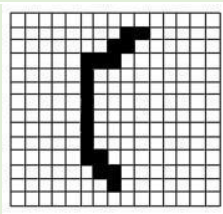
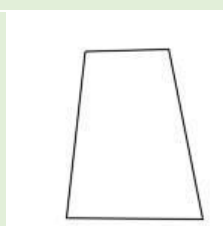
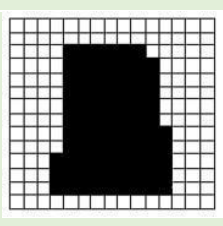
Dronovi i zrakoplovi, osim za lasersko skeniranje, služe i za aerofotografiju (zračnu fotografiju) kojom nastaju aerofotogrametrijski snimci. Oni su rezultat snimanja iz zraka kamerama posebno konstruiranim za tu namjenu (analogne/digitalne). Te služe kao osnova za katastarsku izmjeru, prikupljanje podataka za digitalni model reljefa, fotogrametrijsku izmjeru za uspostavu i održavanje topografske baze podataka, proizvodnju digitalnog ortofota različitih mjerila, obnavljanje topografskih baza, izradu Hrvatske osnovne karte HOK5, Topografske karte u mjerilu 1:25.000, vojnih topografskih karata i brojne druge namjene.

Ortofoto je fotografija koja je "ispravljena" tako da se može koristiti kao karta. Za razliku od neispravljenih zračnih fotografija, ortofoto se može koristiti za mjerenje stvarnih udaljenosti, jer daje točan prikaz Zemljine površine odnosno izobličenje leće i nagib kamere je korigiran, a mjerilo fotografije je isto na cijeloj njezinoj površini (<https://www.geografija.hr teme/karte-i-gis/daljinska-istrazivanja/>).

Kao nezaobilazna metoda u znanstvenim disciplinama i djelatnostima, koja se integrira s daljinskim istraživanjima, ističe se GIS (Geografski informacijski sustav). Daljinska istraživanja i GIS omogućavaju brz i pouzdan način prikupljanja, selektiranja, analiziranja i ažuriranja (geografskih) podataka. Integracijom GIS-a i daljinskih istraživanja stvara se baza podataka koja može poslužiti za izradu tematskih karata (LIU i dr. 2009). Dodatna prednost je što su podaci daljinskih istraživanja dobiveni u digitalnom obliku uvelike kompatibilni s različitim GIS sustavima. U ovom stoljeću GIS tehnologija je u velikom zamahu. GIS omogućava istovremeno pregled i nadopunjavanje podataka s dodatnim znanjima, istovremeni transfer podataka, analizu, projektiranje, ali i korištenje prostornih sustava u obliku karata. GIS prikaz se sastoji od pet osnovnih komponenti (LUŽAR-OBERITER, 2019, PERKOVIĆ, 2019):

1. ulaznih podataka (eng. Input),
2. upravljanja podacima (eng. Data management) ,
3. uređivanje podataka (eng. Editing),
4. analize podataka (eng. Analyses),
5. prikazivanje izlaznih podataka (eng. Output).

Izvori informacija za GIS su različiti ali u geografskim i geološkim analizama se često koriste podaci dobiveni s fotografija ili karata, npr. izvori podataka mogu biti: topografske karte, razne tematske karte, te satelitski snimci i aerosnimci. Razvojem GIS tehnologije, postojeći (povijesni) analogni podaci (prvenstveno kartografski), kontinuirano se prebacuju u digitalne različitim procesima digitalizacije, jer su vrlo često takvi analogni podaci vrijedni izvor informacija o nekom području. Način prikazivanja prostornih komponenti geografskih informacija sastoji se od dva modela: vektorskog i rasterskog (*Slika 2*).

ELEMENT	VEKTORSKI		RASTERSKI	
	DIGITALNI	ANALOGNI	DIGITALNI	ANALOGNI
točka	koordinate x, y		piksel	
linija	niz koordinata x, y		piksel	
površina	zatvoreni niz koordinata		piksel	

Slika 2. Razlika između vektorskog i rasterskog modela zapisa podataka. (POČEKAL, 2012).

Razlike podataka su u načinu prikaza, tako vektorski podaci su koordinatni atributi, na površni zemlje, koji se prikazuju pomoću osnovnih geometrijskih elemenata (točka, linija, poligon). Vektorski model prirode podataka je točniji od rasterskog odnosno u rasterskom prikazu podataka određenoj ćeliji (površini) se pridružuje određena vrijednost (POČEKAL, 2012). GIS prikaz koristi i vektorske i rasterske podatke. Moderne GIS analize se prvenstveno zasnivaju na rasterskom modelu prikaza podataka. Rasterski podaci se unutar GIS-a lakše integriraju od vektorskih podataka, ali treba poštivati određena pravila u njihovom prikazivanju. (LIU i dr. 2009; BIONDIĆ, 2010). Digitalni elevacijski model (*engl. Digital Elevation Model*) se može kreirati unutar GIS-a na različite načine, a rezolucija kreiranog DEM-a zavisi od kvalitete ulaznih podataka.

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Područje Vukomeričkih gorica (*Slika 3*) zanimljivo je iz nekoliko geoloških aspekata. Iz paleontološkog pogleda zanimljivi su nalazi puža *Viviparus*. Pliocenske naslage interesantne su uslijed nalaza ugljenonosnih naslaga. Kasnije su dubokim bušotinama istraživani i determinirani neotektonski rasjedi koji su vezani uz nalaz ugljikovodika u miocenskim stijenama. Dok se u novije vrijeme rade inženjerskogeološka istraživanja vezana uz sanaciju terena od klizanja.

Prve radove vezane uz paleontološke nalaze puža *Viviparusa* na području Vukomeričkih gorica piše KOCH (1917) gdje je opisan filogenetski niz puža. Poslije drugog svjetskog rata raste interes za ugljenonosne naslage na području Kravarskog. Stoga je otvoreno okno „Sretno“ s dubinom prvog sloja na 5 m, a debljinom do 3,47 m. Drugi sloj je na 12,77 m debljine oko 1,42 m. Treći sloj je na dubini 16,99 m debljine oko 1,18 m i četvrti sloj je na 18,17 m debljine do 0,42 m, ukupna dubina ne premašuje 23 m. Otvaraju se i okna „Olga“, „Ludwig“, i „Sidonia“ no zbog slabe kvalitete ugljena i tankih ugljenonosnih slojeva rudnici su zatvoreni (MARKOVIĆ, 2002). O tim naslagama pišu JURKOVIĆ (1949) te JOVIĆ i VRSALKOVIĆ, (1964).

Slijede aktivnosti vezane uz izradu Osnovne geološke karte (OGK) list Sisak (PIKIJA, 1987a, b) i izlaze elaborati koautora lista OGK, ŠIMUNIĆA (1964. i 1985.) o korelaciji *Viviparus* slojeva Vukomeričkih gorica i sjeveroistočnog dijela istraživanog prostora. PIKIJA (1987a, b) izdaje OGK list Sisak s kartom i pripadajućim tumačem, ovaj rad predstavlja sukus dotadašnjih saznanja o istraživanom području. Stalna pojava klizišta na području Vukomeričkih gorica povećana su širenjem vodovodne mreže i asfaltiranjem cesta, a ovakvo stanje potaklo je izradu inženjerskogeološke i hidrogeološke karte tog područja. Tako je za područje Grada Zagreba i 14 okolnih općina načinjeno hidrogeološko i inženjerskogeološko kartiranje područja Vukomeričkih gorica (ŠIKIĆ, 1988).

Unatrag dvadesetak godina TOMLJENOVIĆ (2001) bavi se strukturnom geologijom područja, te analizira prostor koji je boran i uzdignut, a nakon toga rasjedan tako da se sastoji od više manjih horstova dinarskog smjera pružanja (VELIĆ, 1983). SAFTIĆ (2003) vrši istraživanja podinskih miocenskih naslaga koje su rezervoarske stijene za ugljikovodike, uz ove naslage istražene su i mlađe kvartarne naslage koje prekrivaju miocenske naslage, te su dostupnije geološkim istraživanjima. STRELEC i GRABAR (2015) vrše geomehaničke istražne radove

za sanaciju klizišta označenog s brojem 9 na cesti D31 Velika Gorica -Kravarsko (Slika 3) U tu svrhu napravljeno je geomehaničko kartiranje terena s geomehaničkim bušenjem, ugradnjom inklinometra, dilatometrijsko sondiranje i laboratorijsko ispitivanje neporemećenih i poremećenih uzoraka tla.

Novija saznanja o sedimentologiji i paleoekologiji pliocenskih *Viviparus* slojeva Vukomeričkih gorica su pregledno dana od strane KUREČIĆ (2017), a u radu su prikazani i karakteristični sedimentološki stupovi šireg područja.



Slika 3. Geografski položaj istraživane terena – *plavom kružnicom* označeno mjesto istraživanja (klizište Gajevo), a *crnom crtom* udaljenost prostora istraživanja i bušotine za klizište 9 na cesti D31 (<https://geoportal.dgu.hr/>).

Područje Vukomeričkih Gorica odnosno šire područje Kravarskog je odabrano i kao jedno od pilot područja za međunarodni projekt „safEarth“. Projekt je imao za cilj izradu karata podložnosti na klizanje (u sitnom i krupnom mjerilu), izradu „Uputa za karte podložnosti na klizanje“, te konačno razvoj Strategije za implementaciju izrađenih Uputa u zakonodavstvo zemalja svih projektnih partnera te jačanje svijesti o klizištima kao geohazardnim događajima (GULAM i dr., 2020).

4. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

Iako su na istraživanom području zabilježena brojna klizišta unazad više desetljeća za samo neka od njih su rađena detaljna istraživanja. Također većina dostupnih podataka vezanih uz klizišta na istraživanom području su vezana uz karte sitnog mjerila (koja daju prikaz šireg područja) dok su prikazi pojedinih lokacija klizišta rijetki ili nedostupni. U sklopu projekta „safEarth“ je izvršeno detaljno zračno snimanje LiDAR-om (rano proljeće 2018. godine) gustoće od 20-ak točaka po m² koje je omogućilo deriviranje detaljnog DEM-a veličine ćelija 0,5 x 0,5 m za područje od 60 km² u okolici Kravarskog. Takav (sub-metarski) digitalni model je korišten i analiziran u ovom diplomskom radu kao jedan od važnih ulaznih podataka za šire istraživano područje odnosno za užu lokaciju klizišta Gajevo.

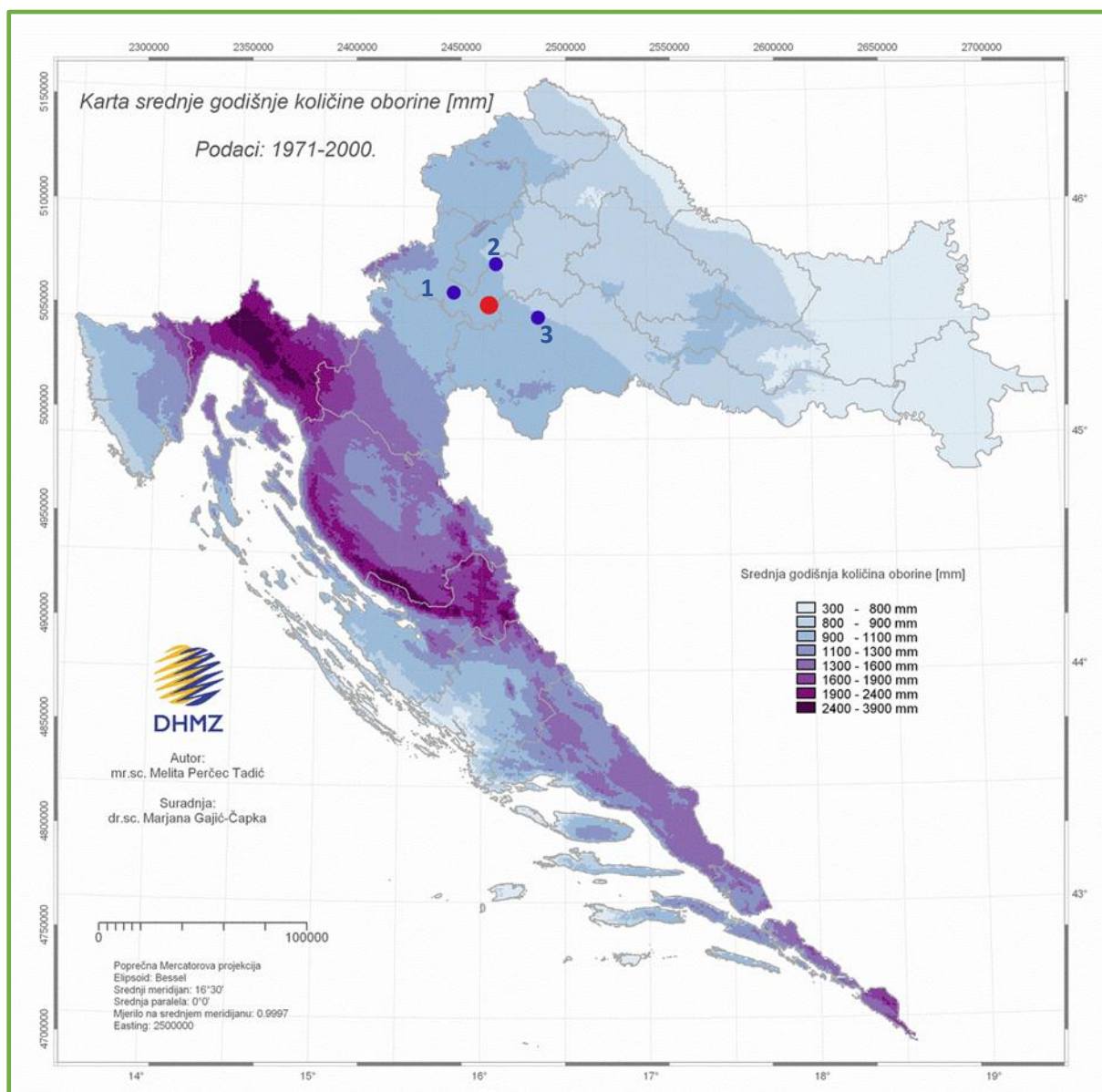
4.1 Geografske značajke

Područje istraživanja nalazi se jugoistočno od centra mjesta Kravarsko i pripada centralnom dijelu Vukomeričkih gorica (*Slika 3*). Vukomeričke gorice predstavlja brdovito područje dvadesetak kilometara južno od Zagreba koje se pruža u dužini od tridesetak kilometara. Mikromorfološka jedinica pobrđa Vukomeričkih gorica dio je makromorfološke cjeline peripanonskog prostora (MIHLJEVIĆ i FURST, 1990). Obuhvaća pojas od savske doline na sjeveru i istoku, pa sve do rijeke Kupe na jugu i fluvijalno-močvarne nizine Crna mlaka na jugozapadu.

Vukomeričke gorice pružaju se u smjeru sjeverozapad-jugoistok, te im je prosječna nadmorska visina oko 200 m. S najvišim vrhovima Žeridovka (255 m.n.m.) i Kravarščica (243 m.n.m.). Danas to područje spada u obuhvat Grada Zagreba i Zagrebačke županije te im je središnje naselje Kravarsko (557 stanovnika). Mjesto Kravarsko je najnapučenije naselje Vukomeričkih gorica. Na istraživanom klizištu Gajevo (Kravarsko), koje je aktivno, nalaze se nastanjeni stambeni objekti.

4.2 Klima i oborine

Područje mjesta Kravarsko ulazi u šire klimatsko područje umjereno tople, vlažne, kišne šumske klime (ZANINOVIĆ i dr. 2008). Najmanje oborina pada zimi, dok je izrazitiji oborinski maksimum na prijelazu iz proljeća u ljeto. Srednja temperatura najtoplijeg mjeseca (srpnja) ne prelazi 22 C°, a barem četiri mjeseca u hladnijem dijelu godine imaju srednju temperaturu iznad 10 C°.



Slika 4. Karta srednje godišnje količine oborina za razdoblje od 1971. godine do 2000. godine. Crvenom točkom je označeno područje istraživanja, a plavim točkama meteorološke postaje (1- Pisarovina, 2- Zagreb- Pleso aerodrom, 3- Sisak) iz kojih su uzimani podaci o oborinama (ZANINOVIĆ i dr. 2008).

U ovom radu korišteni su podaci o oborinama s meteoroloških postaja Pisarovina, Zagreb-Pleso aerodrom i Sisak za razdoblje određeno prema dostupnim podacima o pojavljivanjima klizišta u području Kravarskog (*Slika 4*), točnije za razdoblje od 2012. do 2019. godine (*Tablica 2*). Analiza podataka s navedenih meteoroloških postaja pokazala je da je tijekom 2013. i 2014. godine godišnja količina oborine bila veća za otprilike 30-40 % od srednjih godišnji vrijednosti u razdoblju od 1971. do 2000. godine. Također, određeno povećanje u količini padalina zabilježena su 2019. godine. Početkom 2020. godine dolazi do smanjenja mjesečnih količina padalina, koje se u prva četiri mjeseca spuštaju ispod prosjeka. Tako prosječna količina padalina u razdoblju od 1949. godine do 2018. godine na postaji Sisak za mjeseci od siječnja do travnja redom su 56,7 mm, 53,9 mm, 55,4 mm i 71,5 mm, dok su na početku 2020. godine izmjerene mjesečne količine oborina redom 11,5 mm, 48,2 mm, 31,3 mm i 8,7 mm u prva četiri mjeseca. Na temelju geografskog položaja i dostupnih podataka meteoroloških postaja Pisarovina, Zagreb - Pleso aerodrom i Sisak, mjerenjima dobiveni podaci smatraju se relevantnim za područje istraživanja. Prema dostupnim podacima iz „Podsljemenske zone“ Grada Zagreba najveći broj klizišta ustanovljen je 2013. i 2014. godine (preko 150 klizišta, MIKLIN i dr.; 2018).

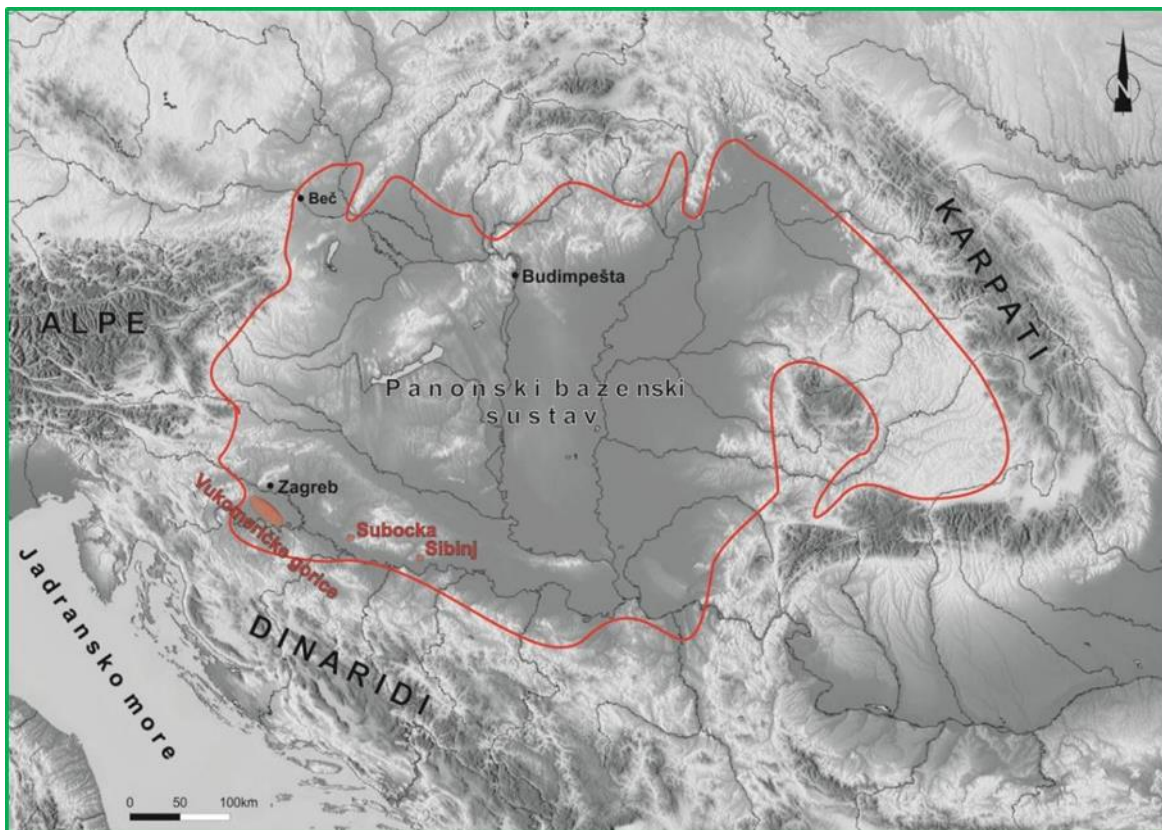
Ti su podaci indikativni jer je područje „Podsljemenske zone“ slične geološke građe kao i Vukomeričke gorice (MIKLIN i dr, 2007). I količina padalina za predmetno razdoblje (zima 2013.-2014. godine) su vjerojatno vrlo sličnih vrijednosti i za područje Podsljemenske zone i za Vukomeričke gorice, a prema dostupnim snimkama s Geoportala DGU-a (<https://geoportal.dgu.hr/>) aktivacija klizišta Gajevo je vidljiva u razdoblju od 2011. godine (na ortofotu nema klizišta) do 2014. godine (na ortofotu je vidljivo klizište). Također prema svjedočanstvima stanara utvrđena je aktivacija klizišta Gajevo u Kravarskom na zimu/proljeće 2014. godine.

Tablica 2. Ukupna godišnja količina padalina za meteorološke postaje Pesarovina, Zagreb - Pleso aerodrom i Sisak za razdoblje od 2012. do 2019. godine (<https://meteo.hr/>).

Meteorološke postaje	Pesarovina	Zagreb- Pleso aerodrom	Sisak
Godina mjerenja			
2012. (mm)	948,6	853,1	810,9
2013. (mm)	1 331,2	1 149,9	1 071,9
2014. (mm)	1 634,1	1 459,5	1 450,8
2015. (mm)	1 062,1	935,1	1 002,5
2016. (mm)	1 034,7	973,9	1 024,3
2017. (mm)	936,6	922,0	938,6
2018. (mm)	871,3	968,3	924,1
2019. (mm)	1 225,5	1 054,3	1 096,3

4.3 Geološke značajke istraživanog područja

U geološkom smislu istraživani prostor Vukomeričkih gorica nalazi se u jugozapadnom dijelu Panonskog bazenskog sustava (*Slika 5 i 6*), taložnog prostora smještenog u središnjem i jugoistočnom dijelu Europe, koji je tijekom miocena i pliocena paleogeografski pripadao prostoru Središnjeg Paratethysa (RÖGL i STEININGER, 1984). Osnovni podaci o stratigrafskoj pripadnosti ovih naslaga preuzeti su iz GK M 1:300 000 i tumača dostupnih na web-u (<https://www.hgi-cgs.hr/geoloska-karta-republike-hrvatske-1300-000/>), OGK M 1:100 000 list Sisak i tumača (PIKIJA, 1987a,b), GeoCro web aplikacije (<https://play.google.com/store/apps/details?id=dev.stemi.geocro&hl=hr&gl=US>) i iz članka MANDIC i dr. (2015).

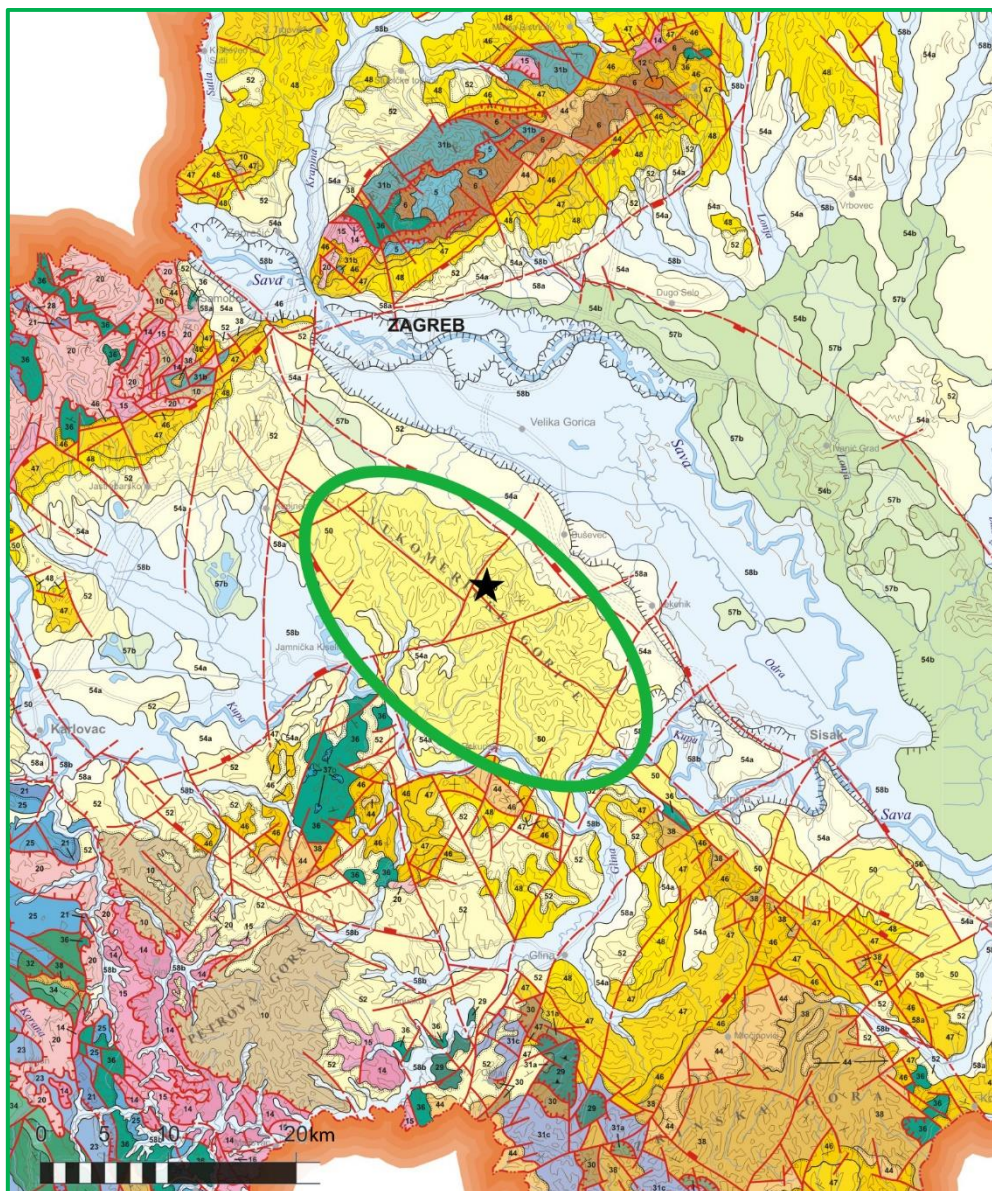


Slika 5. Karta položaja istraživanog područja (crvena boja) unutar granica Panonskog bazenskog sustava. Preuzeto iz KUREČIĆ (2017).

Djelomičnim povlačenjem gornjomiocenskih voda panonskog jezera prema istoku formiralo se jezero Slavonija unutar kojeg su se taložile gornjo pliocenske naslage. To se jezero tijekom pliocena rasprostiralo od zapadne Rumunjske na istoku do Vukomeričkih gorica na zapadu (NEUBAUER i dr., 2015). Početak razvoja jezera Slavonija karakteriziran je izumiranjem bočatih organizama nakon kojeg je slijedio nagli endemski razvoj puževa roda *Viviparus* (NEUMAYR i PAUL, 1875; KUREČIĆ, 2017). Upravo prema spomenutom rodu puža pliocenske naslage taložene u jezeru Slavonija poznate su pod nazivom „Paludinske naslage“ ili *Viviparus* slojevi, a prema njegovom razvojnem nizu podijeljene su na donje, srednje i gornje *Viviparus* slojeve (NEUMAYR i PAUL, 1875; JENKO, 1944; LUBENESCU i LUBENESCU, 2008). „Paludinske naslage“ pretežito slijede konkordantno na naslagama gornjeg pontaa, a debljina im je promjenljiva i izravno ovisna o paleoreljefu. Tako je debljina na planinskim pribrežjima od 200 do 400 m, dok u bušotinama u Savskoj depresiji iznosi od 350 do preko 1000 m. U litološkom sastavu naslaga zastupljeni su pijesci, šljunci, gline, pješčenjaci i konglomerati, a na nekoliko mjesta zapaženi su i slojevi lignita. (PIKIJA, 1987a, KUREČIĆ, 2017).

U dijelovima gdje prevladavaju gline slojevi su mjestimično vrlo fosiliferni, s brojnim zajednicama slatkovodnih mekušaca. Od školjkaša, najčešći su nalazi rodova *Unio*, *Psilunio* i *Hyriopsis*, a od puževa *Melanopsis*, *Bulimus*, *Lithoglyphus*, *Hydrobia*, *Valvata*, *Theodoxus*, kao i brojni oblici roda *Viviparus* (PIKIJA, 1987a, <https://play.google.com/store/apps/details?id=dev.stemi.geocro&hl=hr&gl=US>).

Pijesci su raznih nijansi sive, smeđe, zelenkastosive, plavkastosive i žućkastosive boje. Ponekad su laminirani (okerasti proslojci), a od ostalih tekstura u njima su zapažene pojave gradacijske slojevitosti, kose i unakrsne slojevitosti, a u slučajevima kada se izmjenjuju s glinama vrlo rijetko se u bazi pješčanog sloja mogu zapaziti klasti gline iz podloge. U pijescima je često vidljiva jače ili slabije izražena limonitizacija. Granulometrijskim analizama utvrđeno je prisustvo siltnih, šljunkovitih pijesaka te pjeskovitih i glinovito-pjeskovitih siltova. Sortiranost ovih sedimenata varira od dobre do slabe, a koeficijent asimetričnosti je uglavnom manji od 1. Najzastupljeniji mineralni sastojak obično je kvarc, sadržaj ostalih čestica stijena izrazito varira (zastupljenost je od 13 do 54 %), a slabije su zastupljeni feldspati. Prema sastavu prozirnih teških minerala mogu se izdvojiti tri asocijacije s obzirom na prevladavajuće minerale (epidot-cirkon, cirkon-epidot i granat-epidot), međutim ne uočava se pravilnost njihova rasporeda u bočnom ili vertikalnom smislu. Redoviti prateći prozirni minerali su rutil, amfibol, turmalin i staurolit, a zastupljeni su još disten, andaluzit i kromit. U pijescima obično dolaze pješčenjaci kao tanki proslojci unutar pijesaka i obično su limonitizirani (PIKIJA, 1987a,b).



Slika 6. Položaj Vukomeričkih gorica (zaokruženo) i područja istraživanja (crna zvijezdica) na OGK 1:300.000 (<https://www.hgi-cgs.hr/geoloska-karta-republike-hrvatske-1300-000/>).

Na temelju istraživanja MANDIĆ i suradnici (2015) su za područje Panonskog bazenskog sustava predložili uvođenje novog kata unutar neogena koji obuhvaća vremenski raspon od 4,5 – 2 milijuna godina i predložili naziv cernik. Također su predložili izbacivanje kata pont te pontske naslage smatraju gornjopanonskima.

U području istraživanja zapažena je pojava krupnozrnih sivih i smeđih pješčenjaka, vezanih vjerojatno na više nivoa. Dolaze kao nepravilni proslojci unutar pijesaka te su determinirani kao litoareniti. U sastavu detritusa prevladavaju angularne do subangularne litogene čestice.

Cement je kalcitni. Čestice su većinom obavijene prevlakom limonita, a neke nodule su impregnirane limonitom (željezovite – boja je oker crvena – Slika 7).



Slika 7. Uzorak iz potoka, isprane vapnene nodule u potoku Koravec (prikupljeno tijekom terenskog kartiranja 2019. godine).

Slijedi sekvenca šljunaka, valutice su obično dobro zaobljene, najčešće su od raznobojnog kvarca, obično veličine do 3 cm u promjeru. Lokalno su zastupljeni sitnozrni konglomerati. Među dobro zaobljenim valuticama veličine do 1 cm određeni su radiolarijski čert, silicificirani staklasti tuf, kvarcit i kvarcni škriljavac vezivo je pješčenjak istog sastava, a cement u užem smislu je opal ili limonit (PIKIJA, 1987a, TIŠLJAR, 2004).

4.4 Hidrogeološke značajke istraživanog područja

Naslage pliocena zastupljene su glinama, raznobojnim pijescima i sitnozrnim šljuncima. U ovim naslagama pojavljuju se brojni izvori redovito malog kapaciteta, pretežno povremeni. Pijesci i sitnozrni šljunci su glavni vodonosnik seoskih zdenaca, koji ponegdje mogu biti dubine i preko 20 m (kako bi se zahvatilo što više pješćanih slojeva, a ujedno i da se uskladišti što više vode). Padalinske vode s ovog terena zbog slabe vodopropusnosti gornjeg dijela naslaga, dijelom otječu površinski (Slika 8), a dijelom plitko prodiru u podzemlje.



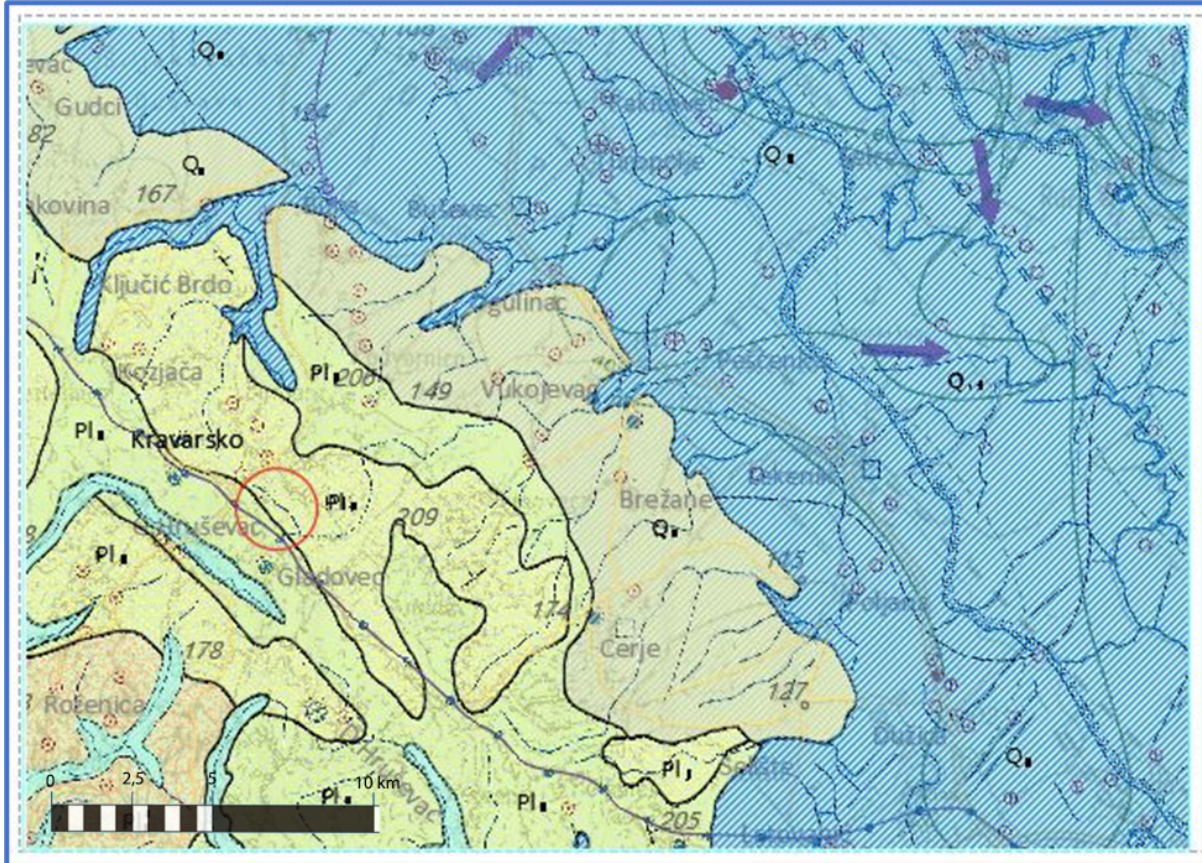
Slika 8. Slika površinskog otjecanja, gornjeg toka potoka Koravec ispod klizišta (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine).

Zbog ovakvog karaktera ove naslage Kravarskog pripadaju jedinici tercijarno pobrđe (ŠARIN, 1976). Jedinicu čine naslage stare gorske jezgre Vukomeričkih gorica u podlozi i paleogene klastične naslage koje prekrivaju cijelo područje. To su slabo propusne naslage s prevladavajućim nepropusnim litološkim članom. U starijem dijelu paleogena prevladavaju lapori, vrlo često s pjeskovitim ulošcima i vapnenim nodulama koje su često limonitizirane (Slika 7). U mlađem dijelu nalazimo pijeske manje-više glinovite, a u gornjem dijelu, na prijelazu u kvartar nalaze se proslojci i leće šljunka. Generalno ove naslage odlikuje vrlo slaba izdašnost i slaba provodnost, a vodonosnike međuzrnska poroznost (Slika 9).


Između nepropusnih naslaga pokrivača i nepropusne podine više-manje kontinuirano se proteže pjeskovito-šljunčani horizont, s vodopropusnim naslagama. Koeficijent propusnosti za vodopropusne naslage kreće se od $1,3 \times 10^{-7}$ cm/s za sitnozrni materijal do 6×10^{-1} cm/s za pjeskovite šljunke i šljunke.

Aluvijalne naslage (taložene uz postojeće vodotoke) predstavljene su prahovitim glinama, prahom i sitnozrnim zaglinjenim pijescima. One predstavljaju nepropusne naslage na kojima se zadržava voda tvoreći mala jezera, lokve i močvare, a mjestimično su takve lokacije uređene i iskorištene kao ribnjaci. Padalinska voda otječe razvijenim reljefom brojnim jarcima prema

potocima i kanalima (potoci Curak i Koravec), a završni recipient je rijeka Sava. Po cesti koja prolazi čelom klizišta prolazi i hidrogeološka vododjelnica koja dijeli Savski od Kupskog sliva (Slika 9).



LEGENDA:

Litološke jedinice		Vodnosnici		
		Izdašnost	Provodnost	Poroznost
Kvartarne naslage				
	Q ₁ Riječni nanosi: šljunci, pijesci, ulošci praha	Vrlo dobra	Vrlo dobra	
	Q ₂ Riječni i potočni nanosi: pijesci, mjestimice šljunkoviti, pjeskoviti i glinoviti prah	Srednja	Srednja	
	Q ₃ Kopneni prapor: prah, mjestimice pjeskovit i glinovit			Međuzemska
Levant				
	Pl ₁ Pijesci, laporovite gline, mjestimice ulošci pješčenjaka, konglomerata i lignita	Vrlo slaba	Slaba	
Dac				
	Pl ₂ Pijesci, laporovite gline, mjestimice ulošci pješčenjaka, konglomerata i lignita			
Gornji pont				
	Pl ₃ Pijesci, laporovite gline, mjestimice ulošci pješčenjaka, konglomerata i lignita			

Slika 9. Isječak istraživanog područja. Hidrogeološka karta M 1:200.000 (ŠARIN, 1976). Crvenim krugom označeno je područje istraživanja.

Na istraživanoj lokaciji, u ulici Gajevo, sa sjeverne strane ceste u podnožju kuća, zapaženi su primitivno kaptirani izvori na dijelovima gdje je voda izvirala na površini terena (*Slika 10*). Dimenzije primitivne kaptaze su 1x1 m, voda se ne preljeva, nalazi se na samoj površini terena, a koristi se za zalijevanje vrta, te je povremenog karaktera što sugerira ograničeni vodonosnik kao izvorište.



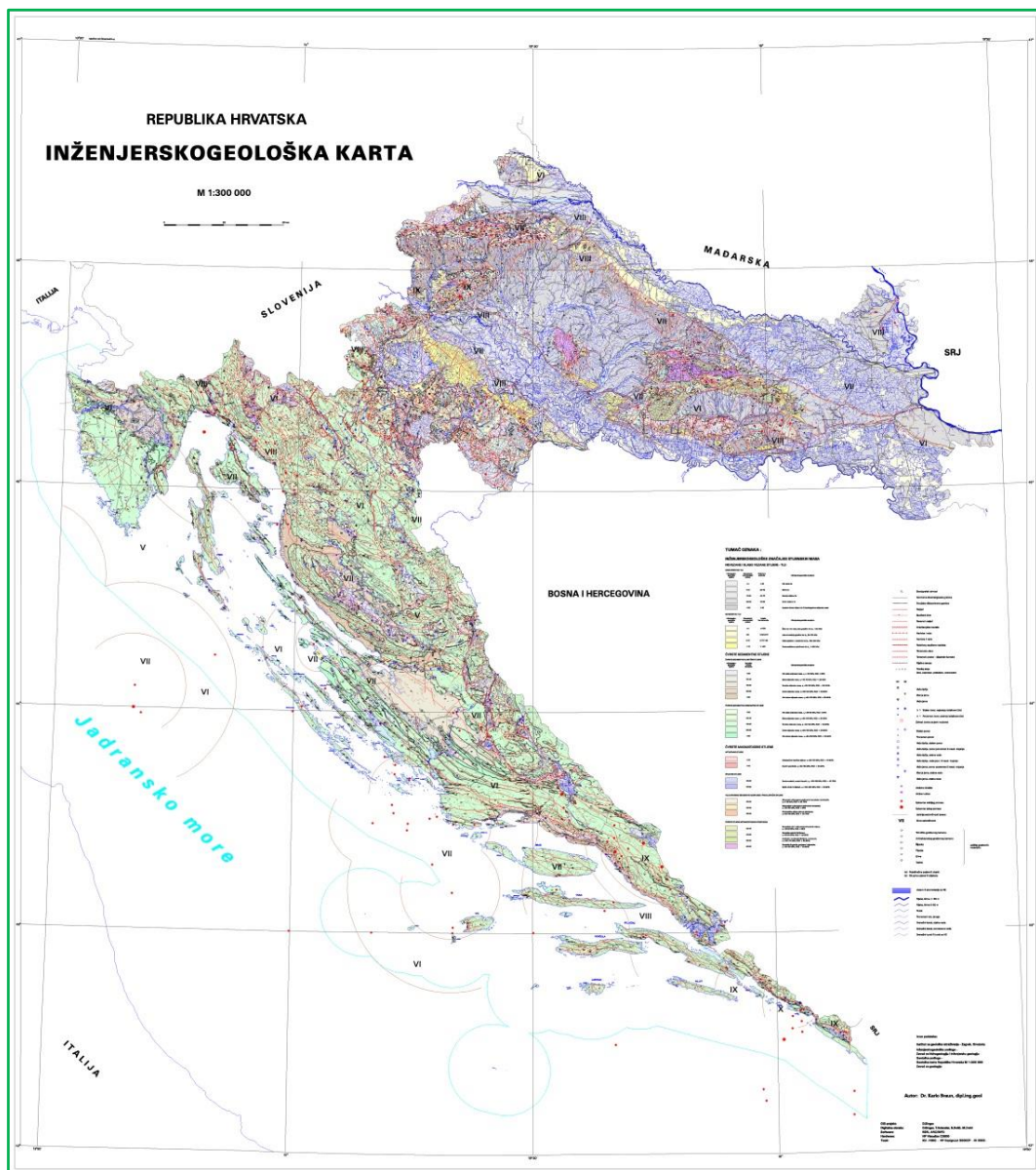
Slika 10. Primitivno kaptirani izvor, devastiran klizanjem terena (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine)

4.5 Inženjerskogeološke karakteristike područja

Općenito se područje Republike Hrvatske s obzirom na generalna inženjerskogeološka svojstva materijala može podijeliti na dvije veće cjeline: kontinentalno područje gdje je često prisutno tlo (u inženjerskogeološkom smislu) na površini i jadransko karbonatno (krško) područje gdje su često stijene (stijenska masa u inženjerskogeološkom smislu) izložene na površini (BRAUN,

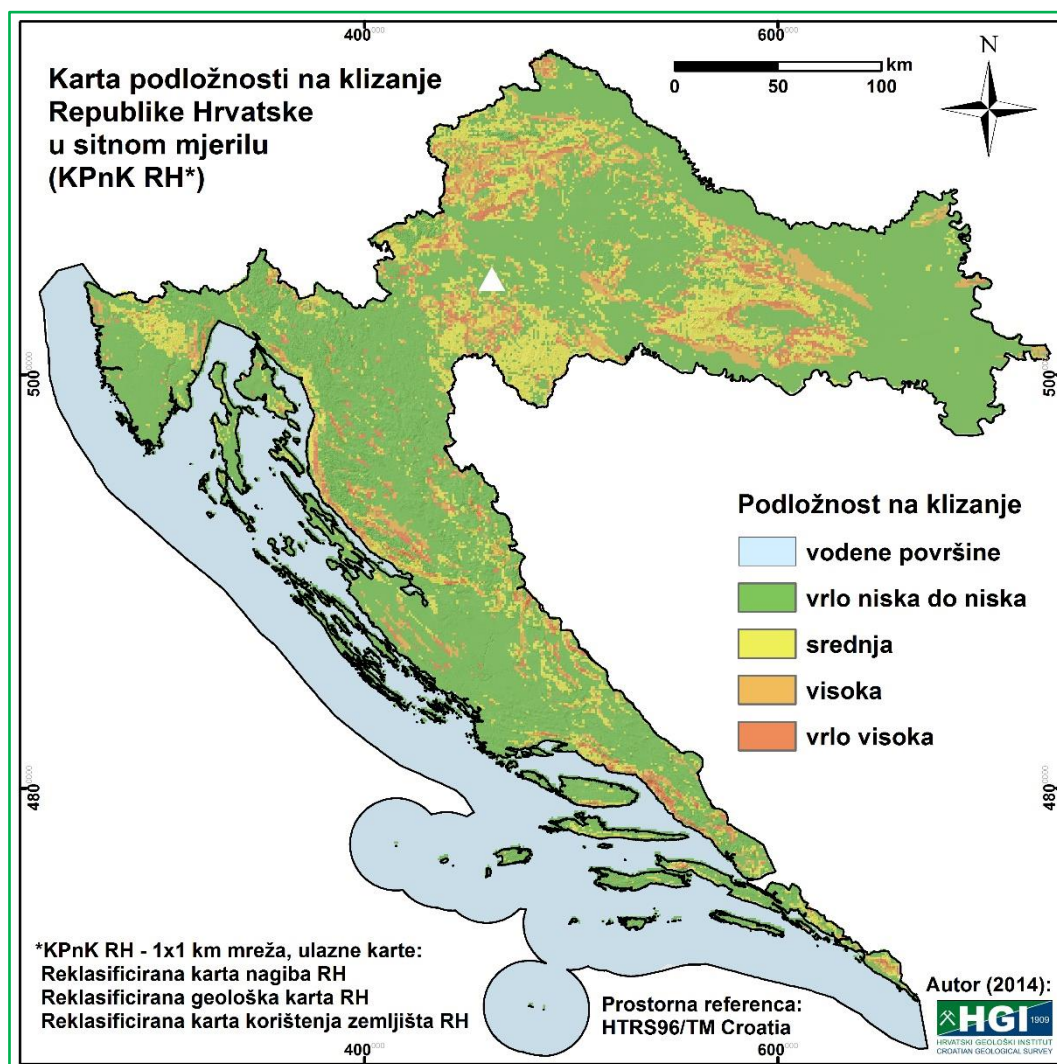
1999, *Slika 11*). Ta razlika u površinskim karakteristikama naslaga (tlo/stijena) dovodi i do razlike u karakterističnim mehanizmima pokreta na padinama: u kontinentalnom dijelu su česta klizanja u tlu na padinama različitog nagiba, a u obalnom dijelu su česti odroni u stijenskim masama na strmim padinama (JURAK i dr., 1996; PODOLSZKI i dr., 2015, *Slika 12*).

Područje Vukomeričkih Gorica odnosno područje Kravarskog i istraživanog klizišta Gajevo spada u područje gdje su česti pokreti u inženjerskogeološkim tlima odnosno klizanja u materijalima s različitim omjerima glina, prahova, pijesaka i šljunaka (*Slika 12*). Pri tom (pokretima na padini) važnu ulogu često ima i voda odnosno kontakti vodopropusnih (šljunci, pijesci) i vodonepropusnih (prahovi, gline) slojeva.



Slika 11. Inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske M 1:300 000 (arhiva HGI-a, BRAUN, 1999).

Na karti se uočavaju dvije veće različite inženjerskogeološke cjeline: kontinentalni i obalni dio.



Slika 12. Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske u sitnom mjerilu (PODOLSZKI i dr., 2015). Za područje istraživanja su karakteristični pokreti (klizišta) u tlu (označeno bijelim trokutom na karti).

Inženjerskogeološkim radovima iz 1988. godine načinjena je „Seizmička mikrorajonizacija grada Zagreba“ (za 14 općina) ukupne površine od 1700 km² (ŠIKIĆ, 1988). Napravljena su 89 lista mjerila 1:10.000, a kao faktorski elementi bili su: hidrogeološke karakteristike terena, inženjerskogeološke karakteristike terena, geomehaničke bušotine, geofizička istraživanja i za brdovito-brežuljkasti teren kategorizirana je i stabilnost padina u četiri kategorije (kategorije A, B, C i D):

A kategorija - Stabilni tereni, izgradnja moguća, nisu potrebni istražni radovi

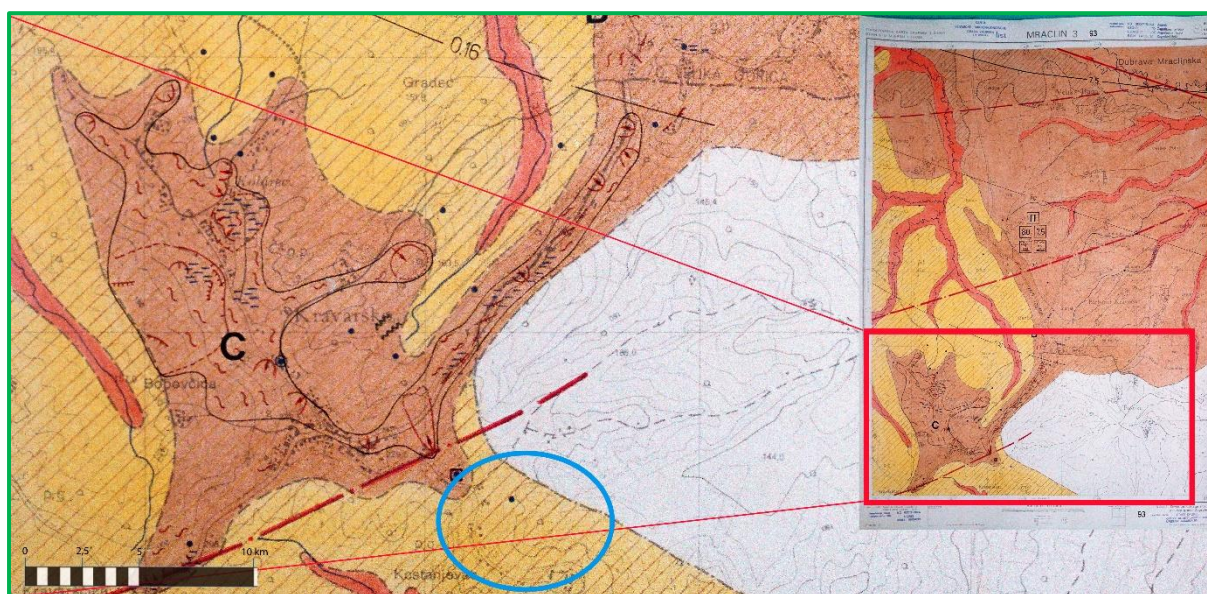
B kategorija - Tereni na granici stabilnosti. Nepažljivim radovima ili drugim promjenama moguća je destabilizacija terena. Izgradnja je moguća uz uvjet da se postojeća ravnoteža izgradnjom ne poremeti.

C kategorija - Nestabilni tereni, koji se racionalnim sanacijskim radovima mogu privesti namjeni. Izgradnja je moguća uz prethodna detaljna geotehnička istraživanja. Izraditi projekt sanacije i provedbu praćenja uspješnosti sanacijskih radova.

D kategorija - Nestabilni tereni koji se tehnički vrlo složenim dugotrajnim i skupim radovima mogu osposobiti za izgradnju, na ovim terenima u principu treba izbjegavati izgradnju

Ravničarski tereni podijeljeni su u dvije kategorije, potočni nanos (aluvij) kada je debljine do 1 m i preko 1 m (ŠIKIĆ, 1988).

Inženjerskogeološka karta je dopunjena podacima o kategorizaciji tla, a uzeta je u obzir i seizmička aktivnost, te su rezultati predstavljeni na geotehničkoj karti M 1:10 000 (Slika 13).



Slika 13. Geotehnička karta list Mraclin 3 mjerila 1:10.000 i legenda (ŠIKIĆ, 1988). *Crvenim kvadratom* izdvojen je isječak lista Mraclin 3 na kojem je *plavom kružnicom* označeno istraživano područje. Iz karte je vidljivo da 1988. godine klizište Gajevo nije bilo registrirano na području istraživanja – što je u skladu i sa zaključcima dobivenim nakon analize dostupnih fotografija – razdoblje aktivacije klizišta Gajevo = 2011.-2014. godina

Istraživana lokacija Gajevo kod Kravarskog prema listu Mraclin 3, nalazi se na južnom dijelu lista, na granici istraživanja terena i to na granici žuto – šrafirane (p, g) i smeđe boje (g, p).

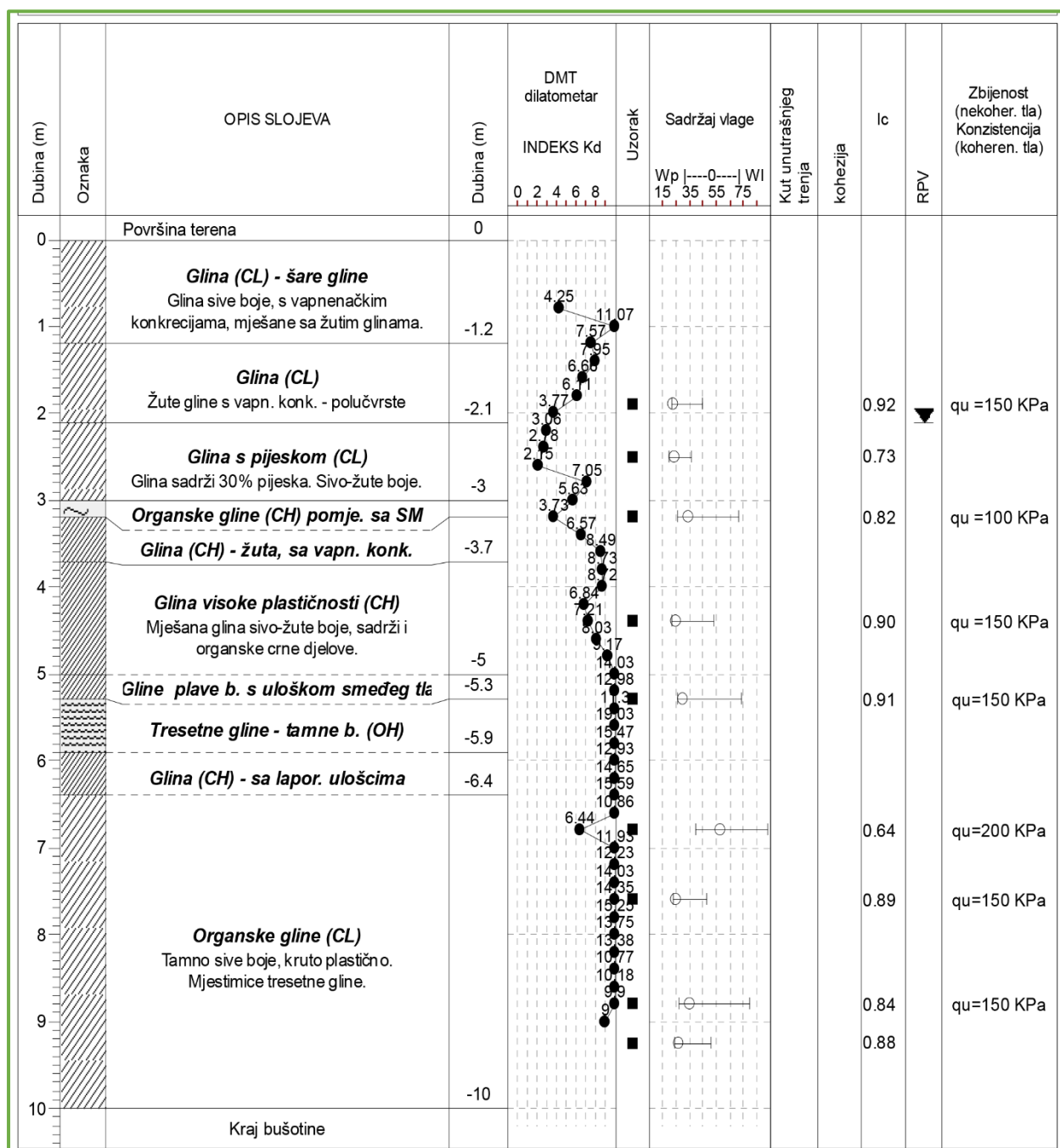
Žuto sa smeđom šrafurom i slovima **p, g** označava zaglinjene pijeske (mjestimično šljunkoviti), a šrafura označava podlogu dubine preko 4 m koja predstavlja glinu srednje do dobro zbijenu.

Smeđa boja i svjetlija šrafura sa slovima **g, p** označava prahovite gline sa proslojcima pijeska, šrafura označava podlogu koja je preko 4 m dubine to su gline niske i srednje plastične, lako/teško gnječivog konzistentnog stanja Uz vodotoke je nešto svjetlija smeđa boja koja označava riječni ili potočni nanos (aluvij). Na inženjerskogeološkoj karti naslage su dvojako prikazane, bojom i slovima (poštujući značenje inženjerskogeoloških boja). Intenzitet boje direktno je povezan s plastičnošću tla. Shematski su prikazane nestabilnosti na terenu crvenom bojom (klizišta - nestabilne padine). Plavom bojom prikazani su vodotoci, procjeđivanje, izvori. Crnom cik-cak linijom prikazano je jaružanje. Velikim slovom C prikazuje se kategorija stabilnosti tla. Lociranje objekta na padini, dubina i način temeljenja objekta, moraju predstavljati, jedan od elementa stabilizacije padine (ŠIKIĆ, 1988). Iz isječka karte (*Slika 13*) je vidljivo da su na širem području registrirana klizišta, a da klizište Gajevo još nije bilo aktivno 1988. godine.

Za inženjerskogeološko razmatranje ovog područja, uz geološko kartiranje terena, korišteni su i bušotinski podaci koji su dobiveni istražnim radovima prilikom sanacije ceste D31 Velika Gorica – Kravarsko (STRELEC, i GRABAR, 2015). Najbliža lokacija bušotina (oko 850 m zračne linije) našem području istraživanja je lokacija 9 (klizište 9) na cesti kod Kravarskog (*Slika 3*). Kako se istraživana lokacija (klizište Gajevo) i lokacija klizišta 9 nalaze se u istom inženjerskogeološkom članu dostupni bušotinski podaci su primijenjeni i tijekom izrade inženjerskogeološkog profila klizišta Gajevo. Pretpostavka je da će inženjerskogeološki parametri ovih klizišta biti slični, ali s obzirom na moguće lokalne horizontalne i vertikalne promjene u naslagama bilo bi preporučljivo i te pretpostavke potvrditi i drugim bušotinama odnosno bušenjem na samoj lokaciji klizišta Gajevo.

Projekt sanacije ceste D31 zahtijevao je geomehaničko kartiranje terena s geomehaničkim bušenjem, ugradnjom inklinometra, dilatometrijsko sondiranje i laboratorijsko ispitivanje neporemećenih i poremećenih uzoraka tla. Log bušotine K9-B1 prikazuje opis nabušenih slojeva, dilatometarski zapis i podatke laboratorijskog istraživanja. Dilatometarsko mjerenje iz bušotine K9-B1 pokazuje da interval od 2,5 m do 3,1 m ima oslabljenu zonu, povećanu količinu pijeska (do 30 %), te organske komponente ali i konkrecija, koje se ponašaju kao šljunak (povećanje na dilatometru) te tvore vodonosnike. U dubljim dijelovima (od 5,3 m – 5.9 m) zamjećena je pojava treseta (organska komponenta) koja obično dolazi pomiješana s

ostalim frakcijama, posebice pijeskom. Ovakva mješavina je vodopropusnija od okoliša (čiste gline). Zone se mogu ponavljati i varirati u debljini tako da se debljina povećava što se često događa na klizištima. Kako drugi bušotinski podaci nisu bili dostupni ove dvije vodopropusnije zone iz determinirane bušotine K9-B1 korištene su u interpretaciji klizišta Gajevo, kao i izradi IG karte i prognoznog profila klizišta (Slika 14).



Slika 14. Log bušotine K9-B1

Na širem području istraživanja postoji površinski sloj pijesaka, gline ili njihove mješavine varijabilne debljine. Ispod njega na različitim dijelovima slijede naslage s različitim udjelom gline, pijeska i šljunaka, a te su naslage (s većim udjelom pijesaka) često i lokalni vodonosnici. Ujedno je često i da je zona kontakta pijesci/gline (vodopropusno/vodonepropusno) zona formiranja kliznih ploha, a takav je slučaj i kod klizišta Gajevo: u pijescima se nalaze povremeni izvori, ispod pijesaka nepropusne gline, a na kontaktu je došlo do klizanja (što je vidljivo na čelu klizišta, *Slika 15. i Slika 16 e*).



Slika 15. Pogled na čeonu dio klizišta: lokalni povremeni izvori su prisutni u proslojcima pijesaka, a na kontaktima vodopropusno/vodonepropusno su izraženi(-ji) i pokreti. Na klizištu je prisutno više kliznih ploha i više generacija pokreta (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

5. METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanja na klizištu Kravarsko sastojala su se od kabinetske pripreme, istraživanja i analize, te terenskog prikupljanja podataka i verifikacije kabinetske analize. Kabinetska priprema je obuhvaćala prikupljanje, pregled i analizu dostupnih podataka, nakon koje je uslijedilo terensko, geološko kartiranje terena, mjerenje deformacija na karakterističnim točkama na objektima na klizištu i determinacija izdanaka. Također je u sklopu terenskog prikupljanja podataka izvršeno i dodatno daljinsko istraživanje – snimanje klizišta pomoću drona. Poslije (višestrukih) prikupljanja terenskih podataka (Prilog 1 i Prilog 2) je u kabinetu izvršena revizija podataka i njihova završna obrada u GIS-u i AutoCAD-u odnosno izrađena je inženjerskogeološka karta i profil klizišta Gajevo (Prilog 3 i Prilog 4).

5.1. Kabinetska istraživanja

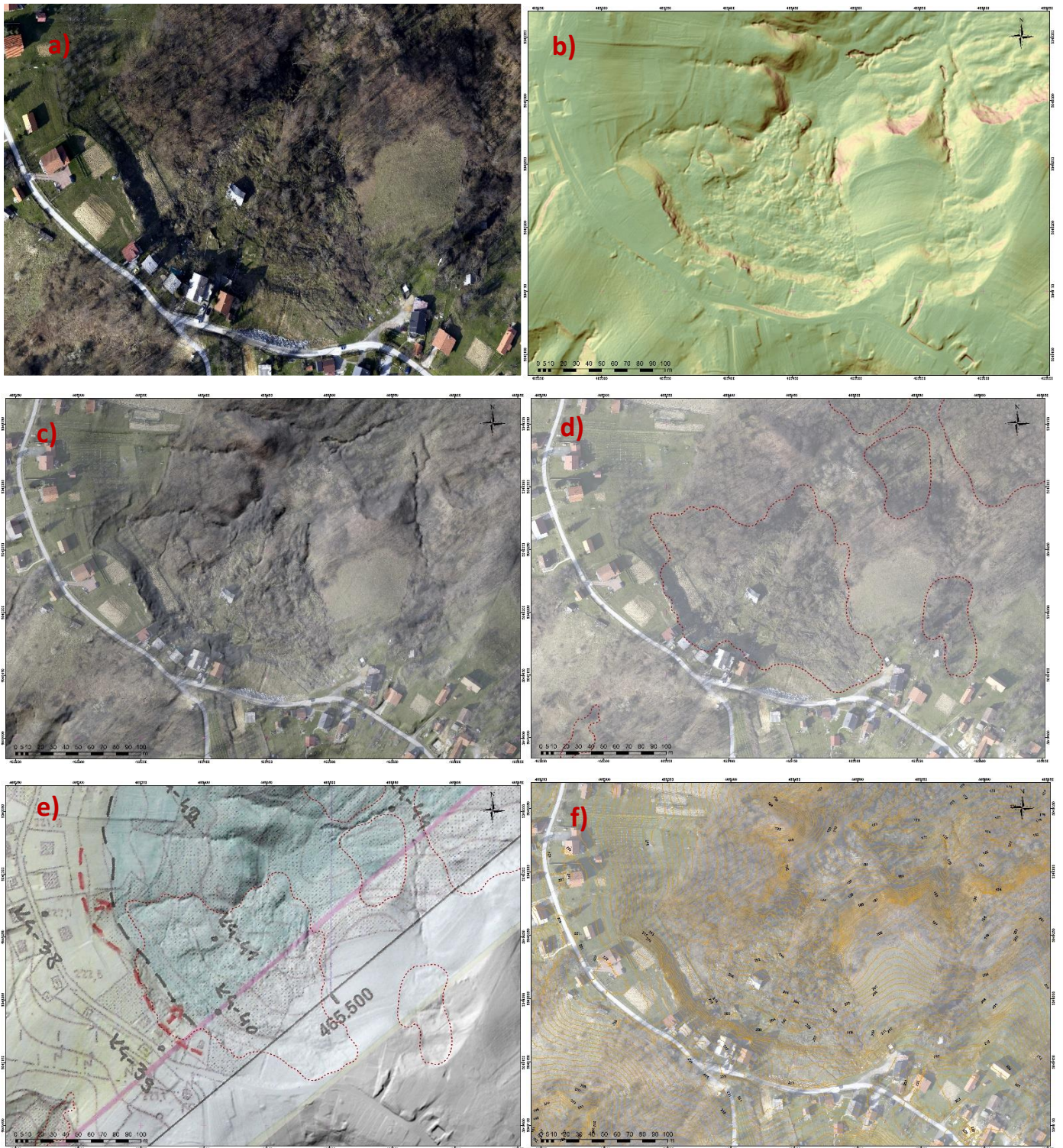
Pod metode kabinetskih istraživanja možemo ubrojiti sve navedene i opisane metode iz poglavlja 2.2. (kao i poglavlja 3. i 4). Pa tako analizom i obradom ortofotografija i detaljnog DEM-a (0,5 x 0,5 m) dobivenog iz zračnog LiDAR skeniranja (20 točaka po m²) provedenog za vrijeme „SafEarth“ projekta dobivene su karte koje su korištene kao podloge za terensko kartiranje, terenske skice i ucrtavanje terenskih točaka na klizištu Gajevo (*Slika 15 i 16*). Na kraju su te podloge korištene i kao ulazne karte za izradu završne inženjerskogeološke karte klizišta (Prilog 3). Također su pregledane i analizirane i dostupne povijesne fotografije terena (1968., 2011., 2014. i 2018. godina, izvor <https://geoportal.dgu.hr/>), te je na temelju tih podataka određen tijek razvoja i vrijeme aktivacije klizišta. Na temelju tih snimaka se može pretpostaviti i da je ljudska aktivnost negativno utjecala na stabilnost padine odnosno doprinijela je aktivaciji klizišta: izvršeno je dodatno opterećenje padine u obliku izgrađenih kuća/objekata na vrhu, a vjerojatno je bila povećana i količina vode koja je dospijevala na padinu. Nakon pregleda terena slijedilo je kabinetsko ažuriranje podataka koje je uključivalo obradu, digitalizaciju terenskih podataka, reviziju i završnu analizu svih prikupljenih podataka, te izradu završne karte i profila.

U kabinetu je moguće izvršiti kartiranje na podacima daljinskih istraživanja (npr. fotografije, detaljan DEM) ako postoje vidljive značajke koje se mogu kartirati (MIYAGI et al., 2004; GUZZETTI, 2006; GUZZETTI et al., 2012; PAINE i KISER, 2012; PODOLSKZI, 2014).

Daljinsko kartiranje klizišta je moguće (iako subjektivno) prema izdvajanju područja zahvaćenog klizanjem, glavne vlačne pukotine, bokova, nožičnog područja i deformacija u tijelu klizišta (SLAUGHTER et al., 2017). Takvo kartiranje klizišta je preciznije i „lakše“ ako su značajke klizišta dobro vidljive, što je slučaj kod recentnih klizišta (MCCALPIN, 1984).

Kabinetskom obradom daljinskih podataka prikupljenih tijekom „SafEarth“ projekta dobivene su terenske karte iz kojih su „izvučene“ važne informacije: iscertano je područje koje je zahvaćeno klizanjem (površina ~ 18.000 m², maksimalna duljina ~ 160 m, maksimalna širina ~ 225 m). Analizom ortofotografija je utvrđena izgrađenost područja: na klizištu ili neposredno pored klizišta se nalazi šest kuća. Utvrđen je i pokrov zemljišta – „iznad“ klizišta se nalaze oranice, livade i voćnjaci, a u samom tijelu klizišta prevladava šumski pokrov. Klizište je vidljivo oštetilo cestu koja je „sanirana“ pomoću nasipa izvedenog od kamenih blokova. Na detaljnom DEM-u je vidljivo i više generacija deformacija u tijelu klizišta odnosno i novija manja klizišta unutar područja inicijalnog zahvata klizanja (Slika 16). Također na temelju povijesnih fotografija je utvrđeno i približno vrijeme aktivacije klizišta – negdje u razdoblju 2011.-2014. godina, što je kasnije i potvrđeno u razgovoru sa žiteljima (zima 2013.-2014. godine).

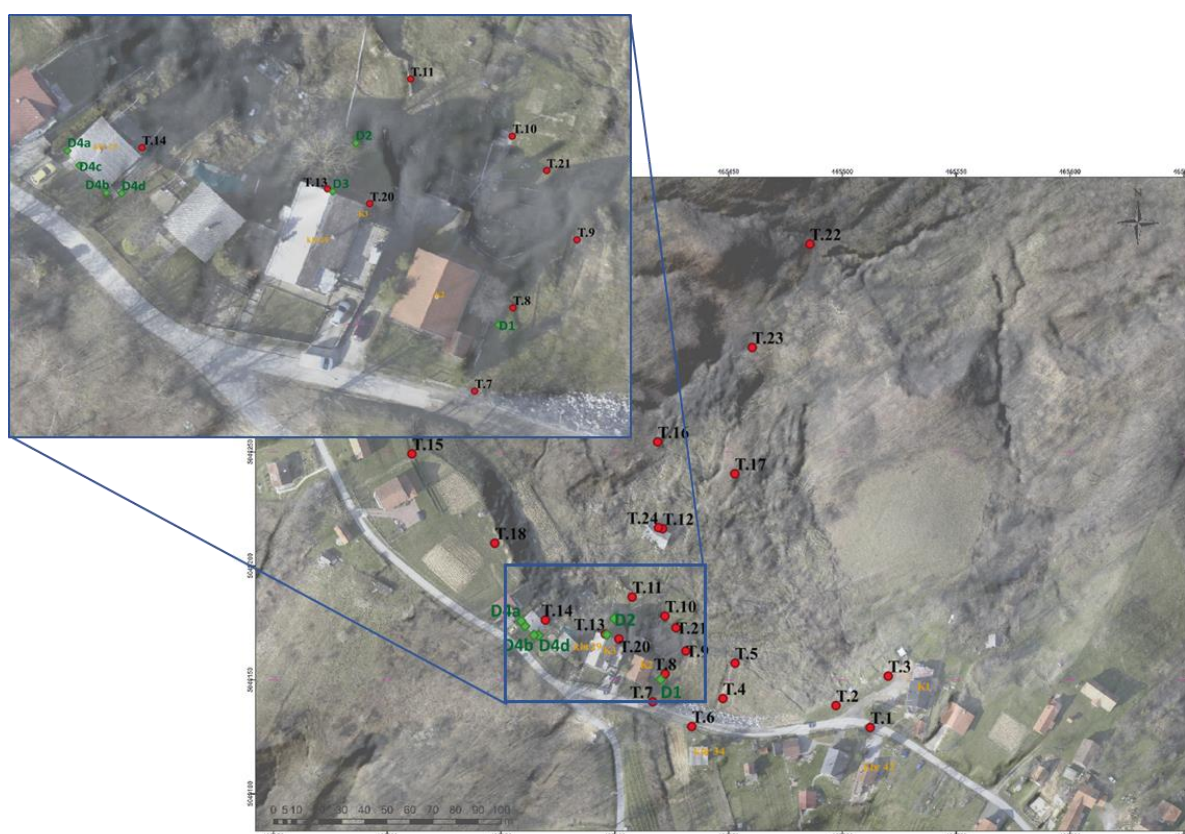
Sve su to vrijedne informacije koje su pomogle u pripremi (npr. površina koju je potrebno obići, detalji na koje je potrebno obratiti pažnju) i optimizaciji (npr. pristupni putevi, prohodnost, površina koju je potrebno snimiti dronom) terenskog dijela istraživanja.



Slika 16. Usporedba „kabinetskih“ karata izrađenih na temelju podataka dobivenih daljinskim snimanjem: ortofoto, detaljan DEM i generirane izohipse u GIS-u na temelju detaljnog DEM-a. Na slici označenoj s **a)** prikazana je ortofotografija iz 2018. godine na temelju koje su dobivene informacije o pokrovu zemljišta i stečena je predodžba o području zahvaćenog klizanjem. Na karti označenoj slovom **b)** prikazan je detaljni DEM (digitalni elevacijski model) na kojem je vidljiva morfologija terena bez

građevinskih objekata i vegetacije. Ta podloga je korištena kao temeljna za iscrtavanje područja zahvaćenog klizanjem – na terenu su jasno vidljivi i mogu se prepoznati ožiljci nastali tijekom klizanja. Na karti **c**) je izvršen preklop ortofota i DEM-a i pripremljena je kao jedna od podloga prije izlaska na teren. Pod slovom **d**) prikazana je ortofotografija povećane providnosti na kojoj je daljinskom metodom identificirano (kartirano) klizište Gajevo i ostala manja klizišta u njegovoj blizini. Ta karta je koristila kao neka vrsta hipotetske karte koju je bilo potrebno pratiti i provjeriti terenskim istraživanjem. Pod slovom **e**) prikazana je radna terenska geološka karta koja obuhvaća samo dio klizišta, ali koja pruža informacije o materijalima koje je za očekivati na terenu: žutom bojom su označeni pijesci i prahoviti pijesci, a plavom bojom gline i prahovite gline. Ta karta nam je koristila pri interpretaciji klizišta (visina čeone pukotine) i kartiranju granica materijala (izvori na kontaktu). Karta označena s **f**) je ortofoto s generiranim izohipsama terena iz detaljnog DEM-a i ona je bila temelj za izradu profila klizišta.)

Na slici 17 je dan prikaz terenskih točaka (T.1 – T.22) i točaka mjerenja deformacija na objektima (D1, D2, D3, D4a – D4d) nakon digitalizacije terenskih podataka.



Slika 17. Ortofoto s morfoloijom terena (DEM) na kojem su označene terenske točke promatranja (crveno), točke mjerenja (zeleno), te oznake objekata (narančasto)

5.2. Terenska istraživanja

Terenski pregled klizišta izvršen je u četiri navrata. Dva puta (28. listopada 2019. i 11. ožujka 2020. godine) u suradnji sa dr.sc, L. Podolszkom koji je klizište koristio u međunarodnom projektu „SafEarth“ kao pilot projekt, jednom s dipl. ing. Ž. Miklinom (4. studenog 2019. godine) i jednom samostalno (11. srpnja 2020. godine). Obilaskom terena s dr.sc, L. Podolszkom zabilježene su dvadeset i četiri točke promatranja (od T.1 do T.24) s točnim geografskim koordinatama, te četiri točke mjerenja (od D1 do D4d). Ispunjeni su formular klizišta i IG terenski obrazac za opis tla (*Slika 18. i Prilog 1*). Napravljen je terenski dnevnik (*Prilog 2*). Izvršeno je inženjerskogeološko kartiranje i odabrane su točke mjerenja deformacija na objektima. S dipl.ing. Ž. Miklinom obrađen je širi prostor klizišta Gajevo i izdvojene su litološke jedinice istraživanog područja. Na dijelovima terena, gdje je uslijed površinskog raslinja i ljudske aktivnosti (oranice i zasipi) bila otežana determinacija naslaga, kopani su plitki raskopi. Na temelju svih spomenutih geoloških radova i prijašnjih istraživanja definirane su litološke jedinice, izrađena je inženjerskogeološka karta, te je konstruiran inženjerskogeološki profil klizišta. Samostalni pregled terena izvršen je 11. srpnja 2020. godine, ponovo su izmjereni zijevovi pukotina na mjernim točkama i dronom DJI Mavic Pro 1 je snimljeno istraživano područje. Time je dan prikaz stanja na terenu (klizišta) na ljeto 2020. godine (*Slika 19*).

6. ANALIZA I REZULTATI

Područje Vukomeričkih gorica poznato je po brojnim klizištima. Upravo zbog tog saznanja nisu neočekivani ni rezultati snimanje LiDAR-om za vrijeme „SafEarth“ projekta: na detaljnom DEM-u su jasno vidljive pukotine i klizišta Kravarskog kraja. Jedno od tih klizišta je i klizište Gajevo koje se prema analizama povijesnih snimaka i svjedočanstvima stanovništva aktiviralo 2014. godine.

6.1 Analiza povijesnih fotografija

Usporedbom dostupnih fotografija Državne geodetske uprave Republike Hrvatske (<https://geoportal.dgu.hr/>) je analiziran vremenski (povijesni) slijed razvoja prostora / klizišta Gajevo (1968-2011-2014-2018 godina). Fotografije su dale „uvid“ 50-ak godina u prošlost i kao takve poslužile kao vrijedan izvor inače nedostupnih informacija. Također na temelju njih se može jasno utvrditi i vrijeme aktiviranja klizišta – razdoblje 2011. – 2014. godina.

6.1.1 Foto dokumentacija iz 1968. godine

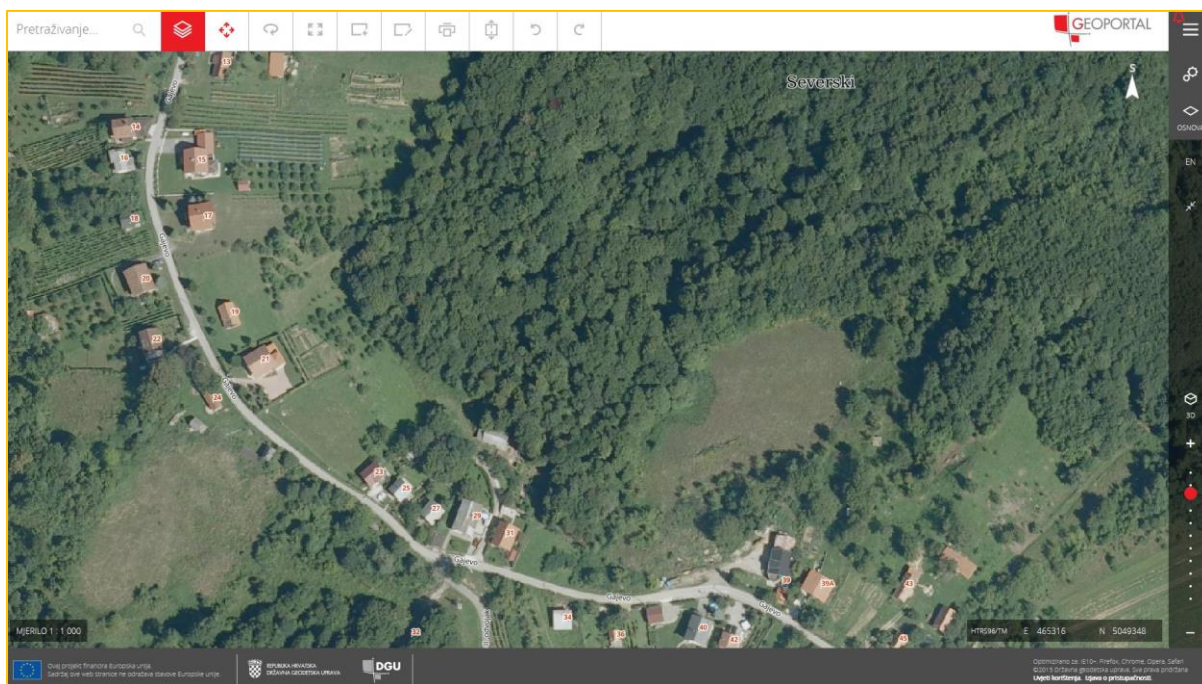
Na ortofotografiji iz 1968. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) su vidljive dvije vrlo značajne stvari: klizište Gajevo nije postojalo i područje je neizgrađeno (nema objekata k.br. 23 – 31). Vrh padine nije dodatno opterećen (kućama), odvodnja oborinskih voda sa krovova kuća samim time nije usmjerena na padinu, nema vodovoda (ni dodatne količine vode „u padini“ u slučaju da vodovod „pušta“) i ne postoji asfaltirana cesta (koja može usmjeriti i koncentrirati oborine na padinu). Pokrov zemljišta se sastoji od oranica i šuma.



Slika 20. Ortofotografija neizgrađene padine iz 1968. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>): oranice i šume.

6.1.2 Foto dokumentacija iz 2011. godine

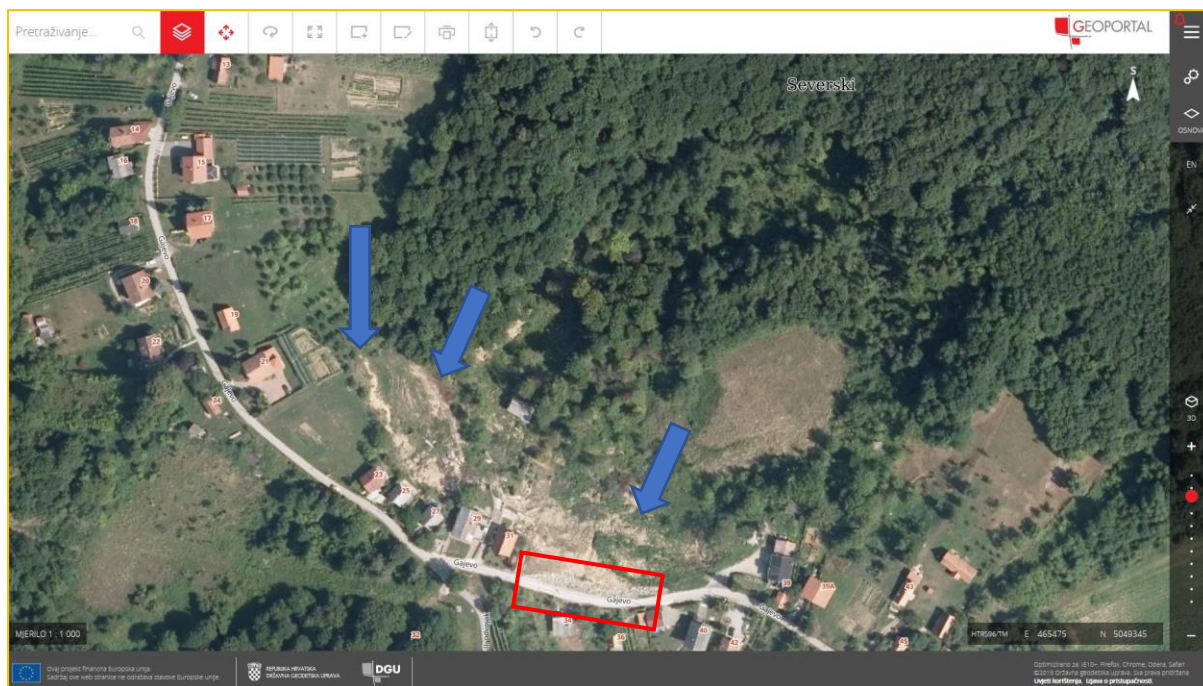
Na ortofotografiji iz 2011. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) je vidljivo da je padina izgrađena (objekti k.br. 23-31) i da postoji asfaltirana cesta. Vegetacija, infrastruktura i položaj građevina doima se prirodnim i prvobitnim odnosno ne postoje oštećenja uzrokovana nestabilnošću padine i klizanjem (Slika 21). Ta činjenica dovodi do zaključka da se inicijalno aktiviranje klizišta dogodilo nakon 2011. godine.



Slika 21. Ortofotografija izgrađene padine iz 2011. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) bez vidljivih znakova klizanja i oštećenja.

6.1.3 Foto dokumentacija iz 2014. godine

Na ortofotografiji iz 2014. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>), jasno je vidljivo klizište te oštećenja, deformacije i inicijalne pukotine nastale klizanjem materijala niz padinu. Također je već vidljiv i pokušaj sanacije ceste uz pomoć miješanog nasipanog kamena / kamenih blokova (dalje u tekstu - „šakanac“) (Slika 22).



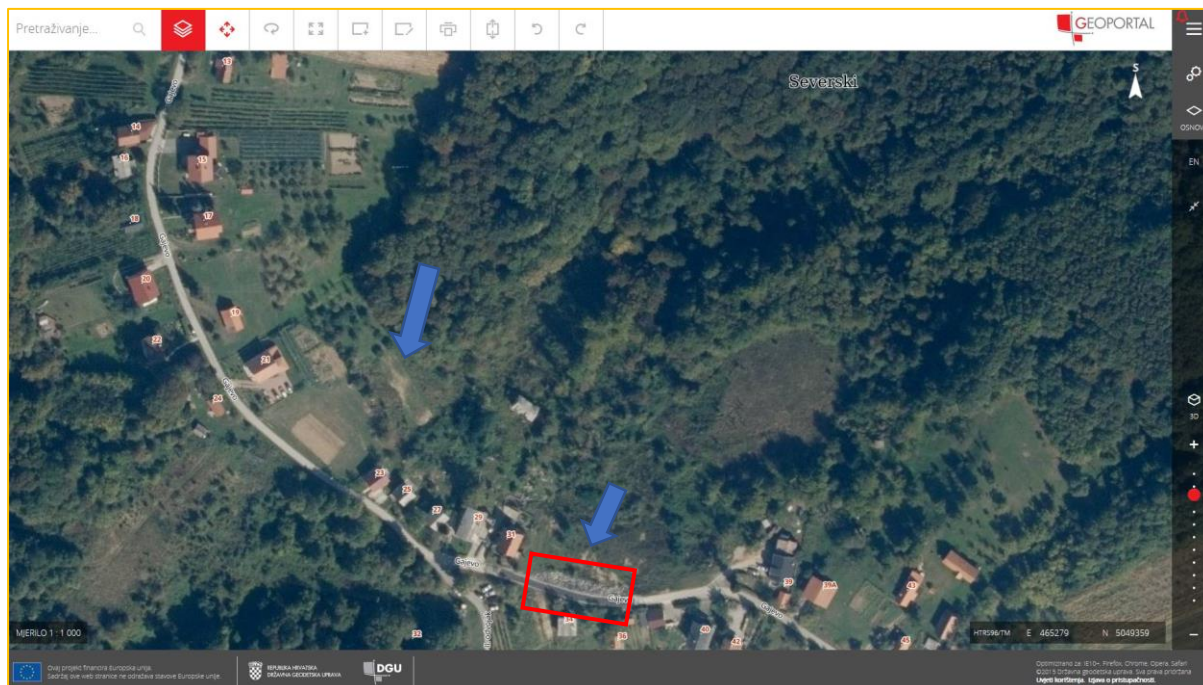
*Slika 22. Ortofotografija klizišta na padini iz 2014.godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) – aktivirano klizište Gajevo s inicijalnim pukotinama označenim *plavim strelicama*, te sanacija ceste uz pomoć „šakanca“ označeno *crvenim kvadratom*.*

Usporedbom ortofotografije iz 2011. i 2014. godine očiti su pomaci vegetacije i objekata uslijed aktivacije klizišta, što je dokaz da se klizište aktiviralo u razdoblju od 2011. do 2014. godine. Tu tezu sugerira i povećana količina oborina 2013. i 2014. godine (analizirana u poglavlju 4.2), kao i svjedočanstva stanovništva koja govore da je do aktivacije klizišta došlo na zimu 2013.-2014. godine

6.1.4 Foto dokumentacija iz 2018. godine

Usporedbom i analizom ortofotografija iz 2014. i 2018. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>), vidljiv je pomak materijala i objekata nastao klizanjem (Slika 23). Također je vidljivo smirivanje klizanja nakon prvotne aktivacije 2014. godine. To smirivanje se očituje pokrivanjem starih ožiljaka novonastalom vegetacijom, kao i utvrđivanjem da nema novih ožiljaka. Isto tako je vidljiva nova sanacija ceste pokrivanjem pukotina novim asfaltom iznad

već saniranog „šakanca“. Ali novi asfalt kao i blagi naznaci pukotina ukazuju na daljnju aktivnost klizišta odnosno da je klizište aktivno i nakon 2014. godine, ali s manjim intenzitetom pomaka nego što je bilo prisutno kod inicijalnog sloma padine.



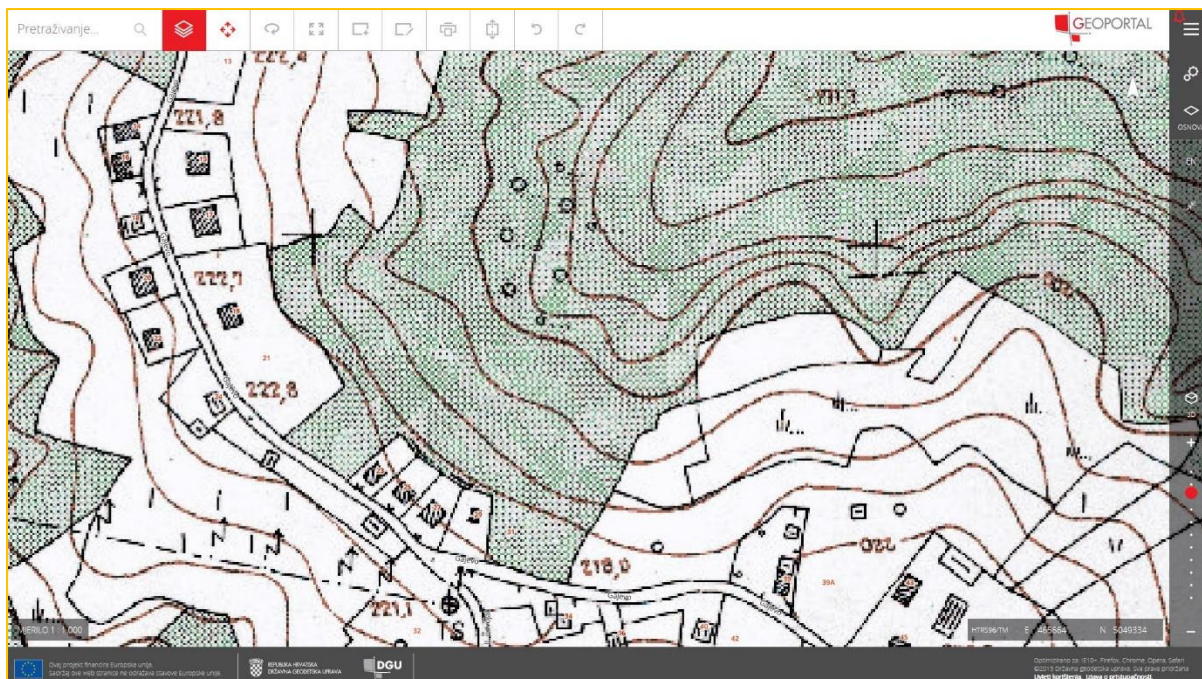
Slika 23. Ortofotografija padine iz 2018. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) - i dalje aktivno klizište Gajevo. *Crvenim kvadratom* je označeno područje sanacije ceste prekriveno novim asfaltom, a *plave strelice* prikazuju naznake mogućih pukotina.

6.2 Analiza podataka prikupljenih na terenu

Klizište Gajevo kartirano je klasičnom metodom obilaska terena i bilježenjem terenskih točaka radi potvrde kabinetskih pretpostavki i prikupljanja novih saznanja. Bilježene su pukotine na terenu i objektima, najahivanja na terenu, pojave vode, rušenja objekata, stanje raslinja i općenito sve vidljive deformacije i značajke klizišta. Također su pregledani i dostupni izdanci i dan je inženjerskogeološki opis materijala tla prisutnog na klizištu. Na terenu je ispunjen i terenski formular za opisivanje značajki klizišta.

6.2.1 Terensko kartiranje

Osnovna podloga koja se tradicionalno koristi u terenskom kartiranju je topografska podloga. Na slici 24 je dan isječak sa HOK-a (<https://geoportal.dgu.hr/>) i s te podloge je moguće dobiti osnovne informacije o lokalitetu istraživanja: pristup, izgrađenost, morfologija terena i prisutnost vode (izvori, zdenci, zamočvarenja).



Slika 24. Lokacija područja klizišta Gajevo na HOK-u (<https://geoportal.dgu.hr/>).

Izvršeno je inženjerskogeološko kartiranje klizišta na terenu. Kartiranjem su zabilježene točke promatranja, izdvojene su točke mjerenja deformacija na objektima, dok su u kabinetu ucrtane granice klizišta koje su nakon terenskog kartiranja usvojene s manjim izmjenama. Na terenu su zabilježene i razlike u litološkoj građi sa svim osnovnim pukotinama, terasama, denivelacijama i pojavama vode. Pregledom terena utvrđeno je da je cesta presvučena novim asfaltom u duljini od 50 do 80 m (Slika 25). Cesta je ujedno i vanjski „obod“ klizišta, prolazi vrhom padine te je mjestimično i granica klizišta. Na objektima s južne strane ceste nema vidljivih oštećenja, za razliku od objekata na sjevernoj strani ceste, naročito kućni brojevi 23 – 31. Cesta je bila oštećena uslijed klizanja i izvršena je „sanacija“ (kamenim blokovima), ali na cesti i dalje postoji niz uzdužnih pukotina koje s vremenom postaju duže i šire odnosno vidljiva su nova oštećenja.



Slika 25. Popravljeni dio ceste (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

U zavoju ceste otvorena je klizna ploha. Klizna ploha je stabilizirana navozom kamena, tucanika, „šakanca“ (Slika 26). U bankini ceste smještena je vodovodna instalacija koja je klizanjem prekinuta. Podzemna vodovodna instalacija je prilikom otvaranja klizišta pukla i tako dodatno „močila“ cijelu padinu dok nije zaustavljena voda tj. do vremena sanacije. Nakon popravka ceste sanirana je podzemna vodovodna mreža s rastezljivim priključkom, i ostavljena nadzemno kako bi se mogla kontrolirati u slučaju da cijevi puštaju (Slika 26).



Slika 26. Podzemna vodovodna komunikacija, sanirana rastezljivim priključkom i ostavljena nadzemno, „šakanac“ (navezeni kamen) i odvodni kanal označen [strelicom](#) (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine)

Pregledom kuća na lokaciji Gajevo (sjeverna strana ceste), utvrđena je nestabilnost zidova stambenih objekata, te potpuno uništenje pojedinih zidova, stepenica, ali i gospodarskog objekta. Stoga, na strmom dijelu padine (u erozijskom dijelu padine) vidljive su razorene stepenice, pomaknuti su zidovi, te je vidljiv nadzemni odvod oborinskih voda iz kuća (*Slika 27*). Svi odvodi oborinskih vode slobodno i nepreporučljivo se upuštaju u tijelo padine i još više vlaže klizište (*Slika 28*). Oborinsku vodu je potrebno regulirati i odvesti izvan tijela klizišta.



Slika 27. Oštećeni kaptirani zdenac, „proklizale stepenice“ i cijevi koje odvode oborinske vode u tijelo padine (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

„Ispod“ kuća, nakon strme otvorene glavne vlačne pukotine se nalazi zaravnjeni dio padine/klizišta izgrađena od mješavine materijala u kojima dominira glina. Ovdje se nalaze i otklizali, srušeni dijelovi zida (*Slika 28*). Pri kraju zaravnjenog dijela je infleksija terena s ostacima razrušenog objekta, koji je u potpunosti otklonjen (*Slika 29*). Neposredno prije infleksije, teren karakteriziraju glatke pukotine, suhe i dugačke (vjerojatno stare klizne plohe) koje nam ukazuju na veći udio pijeska i praha u sastavu tla. Ovaj dio je strm i uzak, širine oko 5 m.



Slika 28. Puknuti zid i proklizali dijelovi - 5 m (plava strelica), te odvodna cijev koja završava u tijelu klizišta (narančasta strelica, fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).



Slika 29. Mjesto srušenog objekta označeno crvenim krugom (objekt se nalazi na ortofotu) i proklizali dio zida označen strelicom (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Niz padinu, u tijelu klizišta, slijedi nešto blaže položen teren koji je prekriven širokim jarugama/pukotinama. Pukotine su različitog smjera, kaotične i često ispunjene vodom. Često

pukotine tvore mala jezerca i lokve. Pukotine su sa skokom od 0,5 m do 1,0 m. Zijev pukotina je 5 do 10 cm. U jarugama i pukotinama je prisutna voda koja se drenira nizvodno, gdje na tom „nižem“ dijelu padine izvire u obliku povremenog izvora. Za pretpostaviti je da voda iz tih jezerca (lokava), ne prodire u dno i da je teren izgrađen od nepropusnog materijala uglavnom od gline. Širina ovog terena je od 35 do 40 m. Na površini terena je vidljivo i površinsko otjecanje.

Taj dio padine (tijelo klizišta, koluvijalna masa) je izrazito kaotičan, vlažan, deformiran, strm i ispresijecan pukotinama koje su različitog smjera. Pukotine su duboke, različito orijentirane (tangencijalne i radijalne), a vidi se i najahivanje materijala jedan preko drugog (*Slika 30*).



Slika 30. Tijelo klizišta - obraslo, izrazito deformiran strmi teren s pukotinama i vidljivim najahivanjima (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Vidljiva su i ispupčenja u tijelu klizišta i vjetroizvale velikih stabala, naročito na istočnom dijelu klizišta (*Slika 31*). Spuštajući se prema nožici klizišta vide se i vlačne pukotine s vrlo velikim zijevom širine od 1,0 do 1,2 m. U ovim pukotinama nije zabilježena pojava vode. Pretpostavlja se da voda prodire u dubinu. Materijal terena je također kaotičan (izmiješan), ali s više pijeska i organske tvari za razliku od prethodnog dijela. Širina ovih pjeskovito-glinovitih dijelova je od 30 do 35 m. Ovaj teren završava pojavom izvora.



Slika 31. Vjetroizvala stabala i potok Koravec u podnožju klizišta (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine)

U nožici klizišta je izvor potoka Koravec koji se javlja na granici s polupropusnim i nepropusnim naslagama. U izvorište i neposrednu blizinu dreniraju se sve vode s područja klizišta. Teren je blaže položen, bez većih deformacija, s dubokim jaružanjima nastalim radom vode. Materijal terena predstavljaju gline bez primjesa pijeska i organske tvari. Dominira dolina potoka Koravec koji sve vode s ovog terena odvodi prema rijeci Savi. Korito potoka Koravec oštrog je V oblika, tvori „lonce“ kovitlace i nastavlja prema krajnjem recipijentu rijeci Savi (Slika 8 i 31).

6.2.2 Mjerenje deformacija na objektima

Tijekom pregleda terena izabrane su točke mjerenja deformacija (pukotina) na objektima. Praćenjem širina zizeva i pomaka indirektno bi se došlo do saznanja o aktivnosti klizišta. Tako su odabrane četiri lokacije mjerenja sa sedam mjernih pozicija (od D1 do D4d, Slika 32). Prvo mjerenje je izvršeno 28. listopada 2019. godine, a drugo kontrolno mjerenje 11. ožujka 2020. godine. Kako je vremenski period mjerenja bio relativno kratak (5 mjeseci), a zima relativno suha nisu zabilježene veće deformacije / veći pomaci na mjernim točkama. Iz tog razloga je na odabranim točkama tijekom srpnja 2020. godine izvršeno i treće mjerenje, ali ni tijekom

proljeća nisu zabilježene veće deformacije odnosno na mjernim točkama nisu zabilježeni veći pomaci ni tijekom trećeg terenskog mjerenja.



Slika 32. Čelo klizišta sa stambenim objektima (narančasto) na kojima su se vršila mjerenja (zelene točke). Crvenim točkama su označene terenske točke pregleda terena.

Prva točka mjerenja (D1) nalazi se na zidu okomitom na cestu uz k.br. 31. Mjerena pukotina je 3 do 5 cm široka te drugim ponovnim mjerenjem nije primijećeno povećanja zijeva (Slika 33 i 34).



Slika 33. Prvo mjerenje zijeva pukotine D1 - pukotina do 5 cm (listopad 2019. godine).



Slika 34. Drugo mjerenje zijeva pukotine D1 - pukotina do 5 cm (ožujak 2020. godine).

Sa sjeverne strane kuće K3 (k.br. 29) nalazi se stablo koje je udaljeno par metara od ruba klizišta. Sjeverno od stabla se nalazi druga točka mjerenja - D2 koja prikazuje čeonu pukotinu iz koje izlazi (na dubini od 0,5 m) siva PVC cijev koja služi za odvodnju (*Slika 35*). Na udaljenosti od 1,5 m na sivu cijev se nastavlja narančasta (*Slika 36*). Usporedbom ortofoto snimke iz 2018. godine kao i slike nastale dronom DJI Mavic Pro 1 iz 2020. godine vidljiv je pomak cijevi, te se smatra da je siva cijev zamijenjena narančastom (*Slika 35, 36 i 37*). Drugim

mjerenjem udaljenosti su ostale približno jednake, te nije bilo vidljivih pomaka i većih odstupanja.



Slika 35. Čeona pukotina ispod stabla iz koje izlazi siva PVC cijev na koju se nastavlja narančasta PVC cijev za odvodnju (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine).

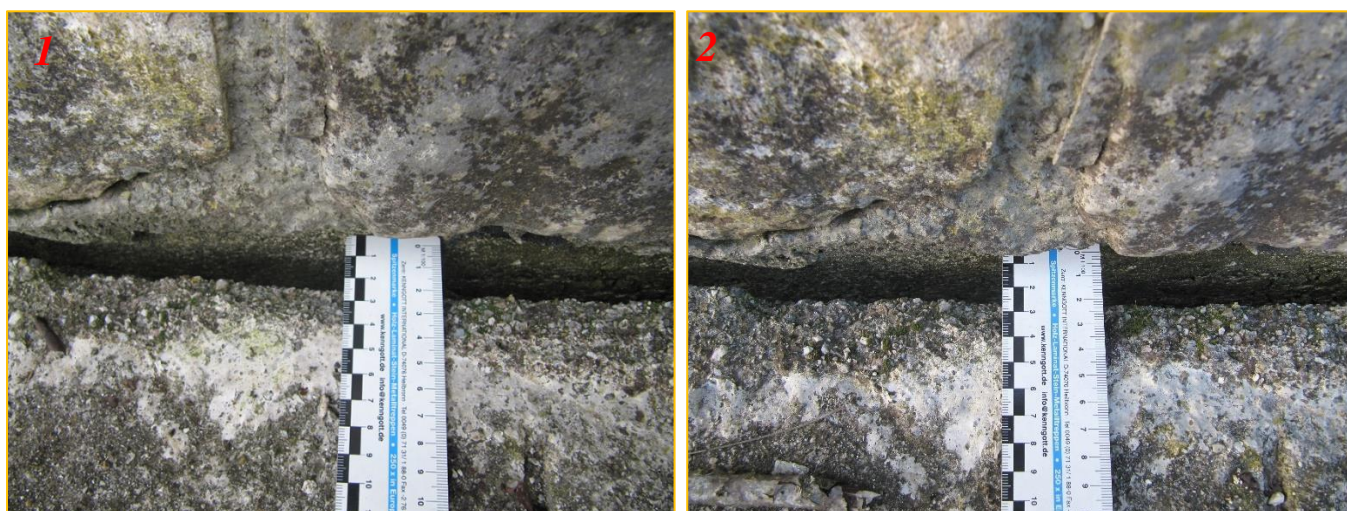


Slika 36. Prikaz cijevi za odvodnju iz perspektive točke D2 i otklizalog zida (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).



Slika 37. Usporedba ortofotografije iz 2018 godine (a) i snimke iz drona 2020 godine (b). Kružnicom su označene cijevi i vidljiva je promjena u položaju (azimutu) cijevi.

Sa sjeverne strane objekta K3 (k.br. 29) izgrađen je betonski put koji se uslijed klizanja odvojio od kuće približno 2 cm (točka D3). Drugim mjerenjem nije uočena promjena zijeva (Slika 38).



Slika 38. Mjerenje širine zijeva između sjevernog zida objekta K3 (k.br.29) i betonskog puta. 1 -prvo mjerenje (listopad 2019. godine), 2- drugo mjerenje (ožujak 2020. godine)

Sljedeća mjerenja izvršena su na k.br. 25. Na tom objektu su utjecaji klizanja izraženi – vidljive su zjapeće pukotine odnosno došlo je do odvajanja betonskog platoa od kuće. Prema razgovoru sa stanarom inicijalni pomaci su se dogodili 2014. godine. Također stanar upozorava da se u međuvremenu pukotina proširila za 2 cm što bi moglo inicirati na lagano slijeganje i rotiranje objekta. Prva mjerna točka na tome objektu je mjerna točka D4a izmjerena na zapadnom kutu južnog zida. Mjerenjem pukotine određena je širina zijeva do 5 cm (listopad 2019. godine) bez očitih promjena u drugom (ožujak 2020. godine), ali ni u trećem mjerenju izvršenom 11. srpnja 2020. godine, odnosno više od 9 mjeseci nakon prvog mjerenja (*Slika 39*).



Slika 39. Mjerenje pukotine na točki D4a. 1 - prvo mjerenje (listopad 2019. godine), 3- treće mjerenje (srpanj 2020. godine).

Točka D4b nalazi se na istočnom djelu južnog zida objekta. Mjerenjem se odredio zijev pukotine širine od 4 do 6 cm (listopad 2019. godine), te nije vidljivo širenje pukotine čak ni nakon 9 mjeseci (treće mjerenje, srpanj 2020. godine, *Slika 40*).



Slika 40. Prvo mjerenje pukotine D4b (listopad 2019. godine).

Točka D4c snimljena je na južnoj strani objekta ispred ulaznih vrata. Izmjerena širina pukotine je 5,5 cm (ožujak 2020. godine, *Slika 41*).



Slika 41. Mjerenje pukotine D4c (ožujak 2020. godine).

Točka D4d snimljena je u blizini točke D4b te je širina pukotina 6 cm (ožujak 2020. godine, Slika 42).



Slika 42. Mjerne točke D4b i D4d (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine)

Iako tijekom devet mjeseci na mjernim točkama na objektima (D1-D4d) nisu zabilježene veće (više centimetarske) promjene preporučljivo bi bilo nastaviti opažanja, naročito nakon perioda većih i intenzivnijih oborina jer su kuće i lokalni stanari ugroženi klizištem.

6.2.3 Dron – bespilotno snimanje klizišta

Područje istraživanja / klizište Gajevo je snimljeno višestruko zrakoplovom u zadnjih 50-ak godina, ali u današnje vrijeme moguće je snimanje i dronom odnosno bespilotnom letjelicom koje omogućava relativno brzo, učinkovito i ekonomski prihvatljivo prikupljanje podataka/fotografija. Prednost snimanja dronom su i činjenice da se mogu obaviti i tijekom terenskog kartiranja lokacije ili u zadanom terminu (npr. nakon većih oborina ili kad raslinje

nije izraženo na terenu), a periodičkim ponavljanjem snimanja dobivamo vrijedne podatke koji mogu poslužiti višestruko (npr. za ažuriranje postojećih podataka ili za nove analize).

Područje klizišta Gajevo se snimilo i dronom DJI Mavic Pro 1 u srpnju 2020. godine (*Slika 43*). Dron DJI Mavic Pro 1 s 4 elise, težak 734 g s 4K digitalnom kamerom, senzorom rezolucije 12,71 MP-a, troosnim stabilizatorom i dometom do 500 m, bio je idealan za potrebe ponovnog, ubrzanog pregleda terena (<https://www.dji.com/hr/mavic/info>).



Slika 43. Dron DJI Mavic Pro 1 pri polijetanju s klizišta Gajevo (srpanj 2020. godine).

To snimanje služilo je kao zadnja provjera i kao prikaz trenutnog (u vremenu izrade ovog rada) stanja klizišta (*Slika 44 i 45*). Usporedbom ortofotografije iz 2018. godine (*Slika 44*) i aerofotografije iz 2020. godine (*Slika 45*), vidljiva su neka nova antropogena djelovanja na padini odnosno promjene na terenu / području klizišta. Tako je otklizali objekt, vidljiv na ortofotu iz 2018. godine, u potpunosti srušen i uklonjen (nema ga na aerofotografiji iz 2020. godine). Također rađene su neke izmjene i u odvodnji, te je mijenjan položaj odvodnih cijevi (*Slika 37*). Osim antropogenih promjena nikakve prirodno izazvane promjene nisu primijećene što nam je, uz terenska mjerenja pokazatelj da je klizište trenutno u stanju mirovanja.



Slika 44. Ortofotografija iz 2018. godine s označenim *otklizalim objektom* i mjestom mijenjanja položaja *odvodne cijevi*.



Slika 45. Aerofotografija snimljena dronom DJI Mavic Pro 1 2020. godine s označenim položajem (uklonjenog) *srušenog objekta* i mjesta mijenjanja položaja *odvodne cijevi*.

6.3 Nova saznanja o klizištu Gajevo

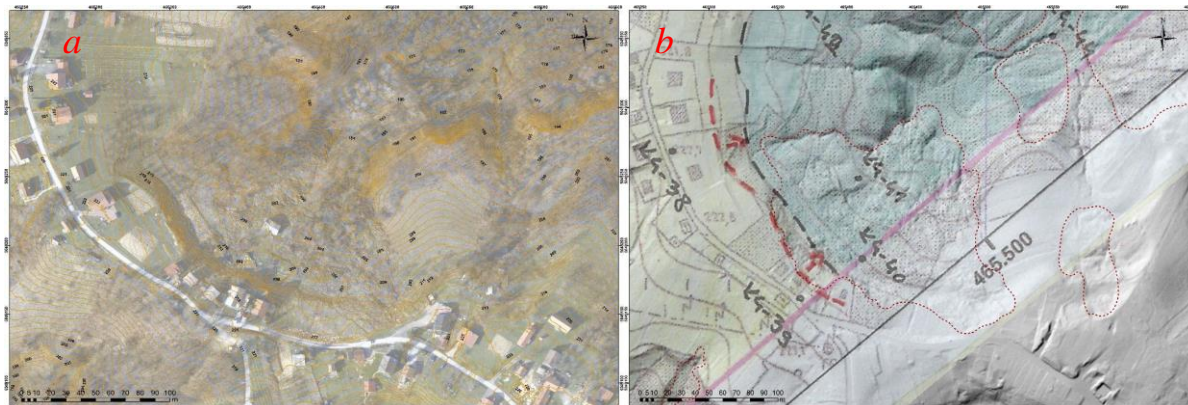
Iz zračnog LiDAR skeniranja u proljeće 2018. godine gustoće 20 točaka po m² je bilo moguće generirati detaljan DEM (0,5 x 0,5 m) odnosno detaljni osjenčani model terena (eng. hillshade) i izohipse terena od 1 m gustoće (visinske razlike). Za vrijeme LiDAR skeniranja su snimljene i detaljne ortofoto snimke (10 x 10 cm). Dostupna geološka karta krupnog mjerila područja je radna geološka karta (arhiva HGI-a) u mjerilu 1:5 000 (ne pokriva cijelo područje klizišta Gajevo, ali daje predodžbu o naslagama koje se mogu očekivati na području). Tijekom kabinetske analize napravljene su različite kombinacije ovih podloga i njihovom interpretacijom je iscrtana (kabinetski iskartirana) granica klizišta Gajevo. Terenskim kartiranjem je granica klizišta mjestimično korigirana, odabrane su karakteristične točke za mjerenje deformacija na objektima i prikupljene su informacije o materijalu (litološkom sastavu) klizišta. Snimanje dronom je poslužilo za ažuriranje stanja klizišta – utvrđeno je da je uklonjen srušeni objekt, ali i da se ne naziru nove veće pukotine na terenu (što ukazuje na trenutačno mirovanje klizišta, odnosno da je klizište trenutno neaktivno). Provedenom analizom jasno je određena granica klizišta kao i područje zahvata klizišta, te se mogu izdvojiti objekti koji su izravno ugroženi klizanjem. Također su svi uočeni elementi stavljani na kartu i napravljena je nova inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo, te pripadajući profil AB.

6.3.1 Analiza detaljnog DEM-a i pratećih podataka

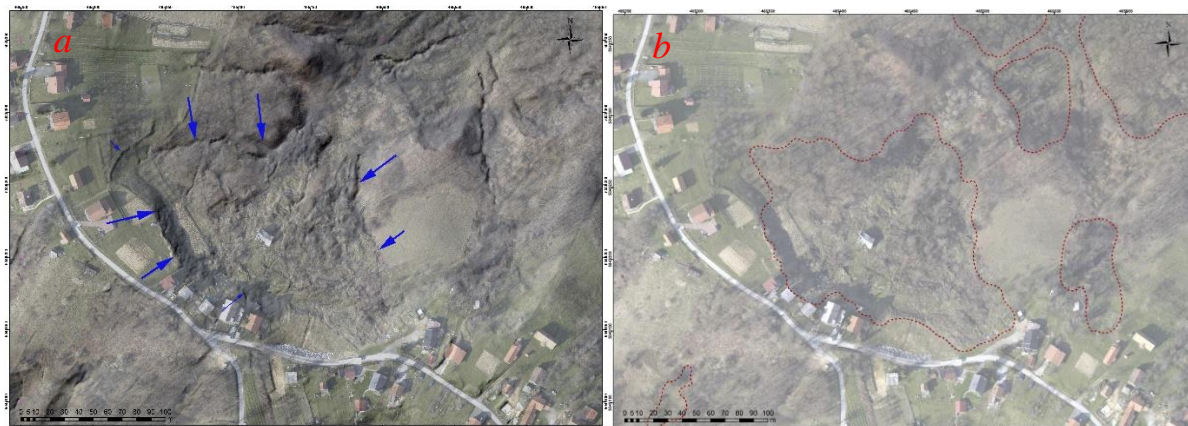
Uz pomoć GIS-a je izvršeno preklapanje različitih podloga: DEM-a, osjenčanog modela terena, ortofotografija, generiranih izohipsi i georeferencirane radne geološke karte, te su iscrtane granice klizišta (*Slika 46, 47 i 48*). Iz tih podloga su dobivene nove informacije (koje su potvrđene na terenu):

- položaj glavne vlačne pukotine klizišta,
- iscrtane su izražene pukotine na modelu terena,
- kabinetski je iskartirana granica klizišta koja je na terenu korigirana – klizište mjestimično zahvaća i cestu,
- na terenu su iskartirani izvori i

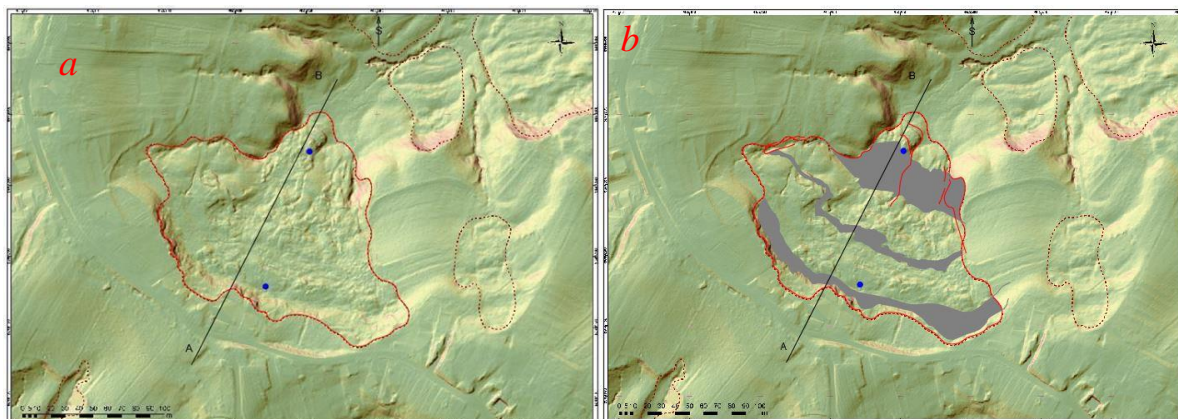
- granice vodopropusno / vodonepropusnih slojeva.



Slika 46. Ortofoto s izohipsama (a) i radna geološka karta (b): izohipse jasno ukazuju na položaj glavne vlačne pukotine koja je nacrtana i na radnoj geološkoj karti, te je potvrđena i na terenu. Na radnoj geološkoj karti odvojene su dvije geološke jedinice: pijesak i prahoviti pijesak (žuto), te glina i prahovita glina (plavo).



Slika 47. (a) Ortofoto s digitalnim elevacijskim modelom (DEM) visoke rezolucije (0,5 x 0,5 m). Plavim strelicama su prikazane izražene pukotine na modelu i terenu koje ujedno i omeđuju klizište. (b) Ortofoto s kabinetski iskartiranom granicom klizišta. Na terenu je granica klizišta korigirana do saniranog dijela ceste.



Slika 48. (a) Osjenčani model terena bez objekata i raslinja s ucrtanom granicom klizišta i izvorima (plave točke) i profilom AB. (b) Kartirano klizište s označenim pukotinama i litološkom razlikom terena: različiti udjeli gline i pijeska (sive zone = vodopropusnija područja) i profilom AB.

Na temelju kabinetskih analiza su i iscrtane okvirne granice klizišta koje su u konačnici vrlo slične obrisu koji je dobiven terenskim kartiranjem. Nakon terenskih istraživanja je izrađena i nova detaljnija karta klizišta i konstruiran je prognozni profil AB. Profil se temeljio na prikupljenim podacima s terena, ali i na literaturi i podacima istraživanja koji su dobiveni istražnim radovima prilikom sanacije ceste D31 Velika Gorica – Kravarsko (STRELEC i GRABAR, 2015).

Klizište Gajevo locirano je sa sjeverne strane prometnice te se građevinski objekti nalaze na/iznad klizišta, odnosno u kruni klizišta. Glavna vlačna pukotina klizišta je praktično „ispod“ objekata (k.br 23-31). Pokrenuti materijal je dominantno koherentan (glina, glinoviti prah), a u porama proslojaka gdje dominira nekoherentni materijal (pijesak), voda se „nakuplja“. Na kontaktu vodonepropusnih slojeva (gline) i vodopropusnih slojeva (pijesak) se javljaju lokalni povremeni izvori, a upravo na tim kontaktima u pravilu dolazi i do pojave kliznih ploha. Pretpostavljena maksimalna dubina klizne plohe je do 10 m, a oblik klizišta je raširen do ekvidimenzionalan. Smjer izloženosti padine, ali i smjer pokreta je prema SI. Klizni (koluvijalni) materijal je inženjersko tlo s različitim sadržajem gline, pijeska, praha, ali i organske komponente. Pretpostavka je da su glavni inicijatori klizanja bile obilne oborine tijekom zime 2013. – 2014. godine. S tog aspekta ni sadašnje, postojeće stanje „dreniranja“ padine nije dobro jer su drenažne cijevi s okolnih kuća k.br. 23 – 31 usmjerne upravo u postojeću glavnu vlačnu pukotinu i prihranjuju klizište s koncentriranim količinama vode. Pa se tako u tijelu klizišta pojavljuju vlaženja, zamočvarenja i manji izvori na površini terena, dok se najniža pojava vode u klizištu nalazi na 0,5 m (plitko). Na padini su postojali prirodni

preduvjeti za klizanje: struktura padine (blago nagnuti slojevi prema sjeveru), litologija (izmjena glina/pijesak/glina), stupanj raspadnutosti (površinski slojevi su rahli, slabo litificirani) i povećanje vlažnosti usred velikih kiša. Ali antropogeni faktor je također nepovoljno utjecao: izvršeno je dodatno opterećenje vrha padine (kuće k.br. 23 – 31), izgrađena je cesta bez odvodnje koje je omogućavala prikupljanje i slijevanje oborinske vode koncentrirano niz padinu, odvodnja oborinskih voda s objekata nije dobro regulirana, a moguće je bilo i puknuće ili propuštanje vodovodne cijevi koju su „provukli“ vrhom padine uz cestu. Nakon aktivacije klizišta vodovodna cijev je prebačena na površinu terena.

Klizište Gajevo se može smatrati trenutno neaktivnim do aktivnim (odnosno postoje manji pokreti u dijelovima klizišta u zadnjih 12 mjeseci). Klizište je složeno – postoji više generacija pokreta i više manjih klizišta unutar koluvijalne mase. Prema dubini klizne plohe klizište je plitko (1 – 5 m) do duboko (5 – 20 m). Za sada je stanovništvu izazvalo umjerenu štetu, ali i dalje ugrožava i objekte i lokalne stanare. Upravo zbog nastanjenosti tog područja i opasnosti od daljnjih klizanja, klizište Gajevo je i izabrano kao tema ovog diplomskog rada, a kao rezultat rada je napravljena i detaljna inženjerskogeološka karta klizišta i prognozni inženjerskogeološki profil klizišta AB.

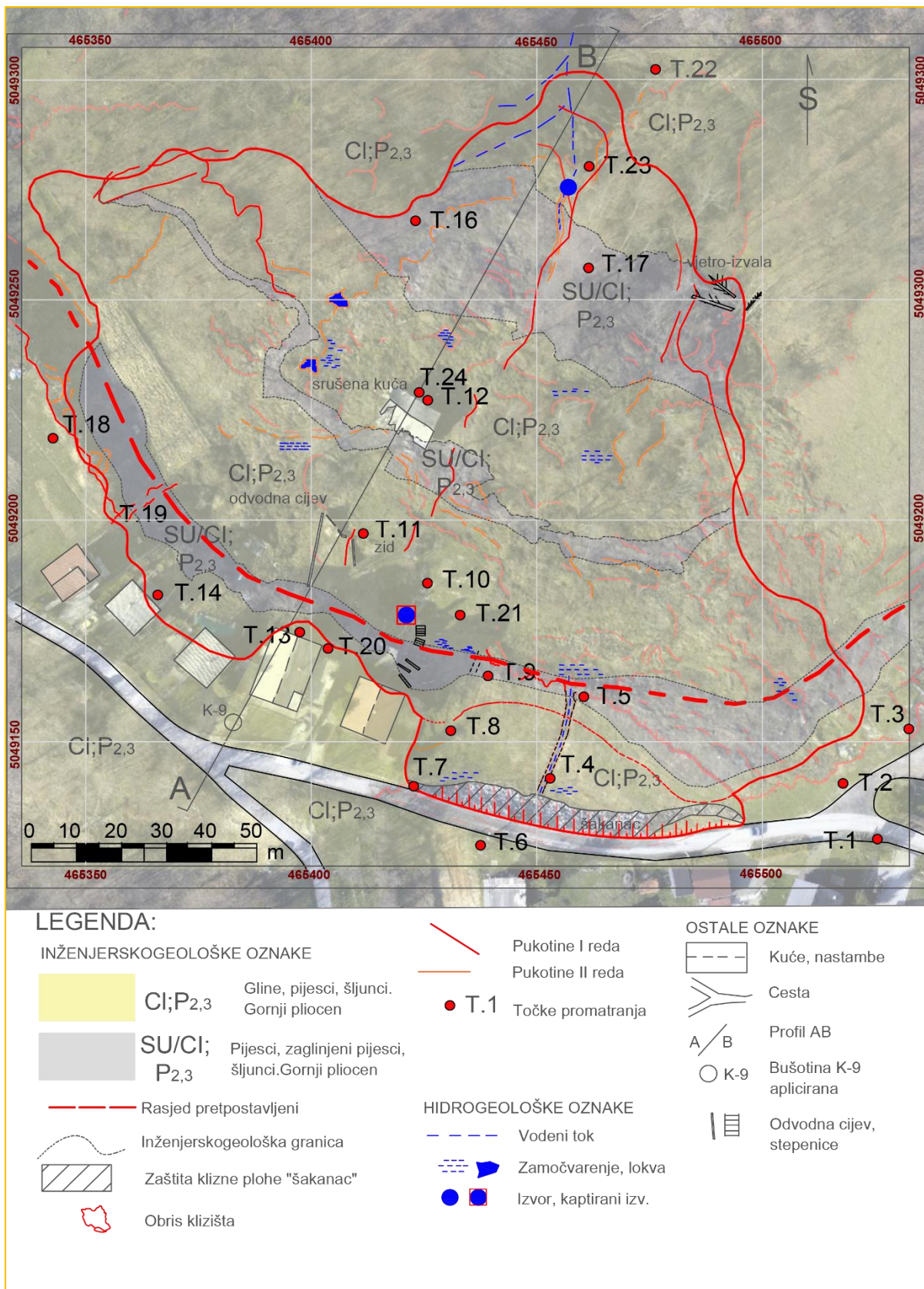
6.3.2 Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo

Ispod ceste otvorena je klizna ploha pokrivena miješanim nasipanim kamenom („šakancem“). Na tom dijelu klizište dolazi do ceste i nalazi se na „najvišem“ dijelu padine. Na karti je na tom dijelu terenski i korigirana kabinetski ucrtana granica klizišta. Također se na terenu može pratiti i pukotina koja se „nastavlja“ prema istoku, a može biti naznaka i položaja otvaranja „nove“ vlačne pukotine. Na području „sanacije“ ceste višak vode koji se javlja na kliznoj plohi odvodi se iskopanim drenažnim kanalom niz padinu. Odvodni kanal (ucrtan je u kartu) odvodi vodu u tijelo klizišta, i nije izveden tako da vodu odvodi izvan tijela klizišta. U erozijskom dijelu padine markantne pukotine (koje se vide i na ortofotu), kartirane su kao pukotine nastale uslijed klizanja pokrenute mase.

Pomnim pregledom terena zabilježene su razlike u litološkoj građi terena. Tako se može izdvojiti uski pojas (5 do 10 m) naslaga s većom količinom pijeska u sastavu mješavine tla kod

vlačne pukotine klizišta i još dvije slične zone: jedna u središnjem dijelu klizišta i jedna u nožičnom dijelu klizišta (sive zone na IG karti, *Slika 49*).

Gornji je proslojak s južne strane omeđen pretpostavljenim rasjedom, a prema sjeveru ima sve manje pijeska u mješavini i završava zaravnjenim terenom. Mješavina materijala tla koja izgrađuje zaravnjeni dio terena sastoji se uglavnom od glina do prahovitih glina i prahova (žuto). Ovaj dio je nepropusniji od prethodnog, te se voda povremeno nakuplja na površini tvoreći lokve i zamočvarenja. Na točki infleksije terena je primitivno kaptirani zdenac s razinom vode u zdencu koja varira od 0,5 m do razine tla odnosno 0 m (*Slika 27 i 49*). Kaptirani zdenac je uslijed pokreta na padini oštećen, ali voda i dalje izvire, te se koristi za zalijevanje. Ovaj dio terena širine je od 35 do 40 m. Ova zabilježena terenska zapažanja su prikazana i na karti (*Slika 49*, Prilog 3).



Slika 49. Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo s ortofotom u podlozi

Napravljena nova IG karta s dvije kartirane jedinice (žuta i siva) po uzorima na IG kartu Republike Hrvatske 1:300 000 (BRAUN, 1999, *Slika 11*) i OGK, M 1:100.000, list Sisak (PIKIJA, 1987a,b, *Slika 6*) može se gledati i u kontekstu ažuriranja i dopune podataka radne geološke karte (*Slika 46*). IG karta klizišta u odnosu na radnu geološku kartu sadrži novu kartiranu jedinicu koju čine tri polupropusne zone koje sadrže povećan sadržaj pijeska, te glinovitih pijesaka i organske tvari (tri sive zone na IG karti). Također na karti su označene i pojave vode. Nakon izviranja i istjecanja vode na gornjem dijelu padine nije uslijedio površinski tok vode, već je voda ponovo ušla u tijelo klizišta na lokacijama kartiranih pjeskovitih proslojaka (sive zone). U dijelovima gdje je površinu klizišta činila glina bez primjesa pijeska i organske tvari, voda se zadržala na površini u obliku lokvi i zamočvarenja. Nestabilnosti terena su praćene sve do doline gdje se reljef „smirio“ (manja je razvedenost reljefa) i postao ravan. Na izrađenoj karti su diferencirane dvije litološke jedinice istog geološkog člana, prikazani su elementi klizišta (granice, pukotine), stanje vode (izvori, zamočvarenja) i objekti na području (kuće, srušeni objekt, cesta), *Slika 49* i Prilog 3).

Kod klasifikacije tla je korištena međunarodno prihvaćena nomenklatura: šljunak – oznaka G (*eng. gravel*), pijesak – oznaka S (*eng. sand*), prah – oznaka M (*eng. silt, prema švedskom mjala*), glina – oznaka C (*eng. clay*) i prema potrebi se još u opisivanju tla često koristi i oznaka za organsko tlo O (*eng. organic soil*), prema KOVAČEVIĆ i JURIC-KAĆUNIĆ (2014).

6.3.3 Inženjerskogeološki profil klizišta Gajevo

Iz detaljnog DEM-a i izohipsi odnosno dobivene topografske karte izradio se topografski profil površine terena AB smjera 205°. Izradom topografskog profila jasnije su vidljive pukotine i najahivanja kliznutog materijala, kao i više generacija klizanja i postojanje više kliznih ploha. Na topografskom profilu su jasno vidljive dvije karakteristične zone klizišta: zona usjedanja materijala i zona akumulacije materijala. Ove dvije zone označene su na profilu. (*Slika 50*. i Prilog 4).

Na profilu je postavljen i kaptirani izvor koji se nalazi 20 m istočno od profila. Pretpostavlja se da se gornji dio klizišta drenira na tom dijelu odnosno na površinskom izvoru na infleksiji terena. Ostala voda se površinski procjeđuje do strmine iza srušene kuće. Nadalje prema prognoznom profilu, pretpostavlja se da se klizna ploha nalazi na dubini od 5,5 m koja kasnije zaliježe do dubine od oko 15 m. Pretpostavka je da je klizna ploha najdublja u zoni srušene kuće na profilu odnosno u zoni izražene akumulacije materijala u tijelu klizišta.

Za pretpostaviti je da dio vode prolazi kliznom plohom, a ostali dio teče površinski (zato se i pukotine pune vodom – voda ne može prodrijeti u podzemlje) dok teren ne postane dominantno polupropusan (pjeskovit) kada voda ulazi u podzemlje (središnji dio klizišta). U donjem dijelu klizišta slijedi „kaotični“ koluvijalni materijal koji je bez površinskih vodenih tokova i relativno suh – voda prolazi podzemljem i javlja se na izvoru koji je ujedno i izvor potoka Koravec. Ili se voda difuzno drenira i završava u početnom dijelu toka potoka Koravec.

7. RASPRAVA

Područje Vukomeričkih gorica odabrano je za ovaj rad iz više razloga. Osnovni razlog je česta pojava klizišta i nestabilnih padina koja ugrožavaju stambene objekte, ceste, vodovode i lokalno stanovništvo, pa tako npr. i klizište Gajevo u Kravarskom. Iako su klizišta česta, objavljeni podaci o klizištima na ovom području su relativno rijetki, a daljinska istraživanja koja su izvršena u sklopu međunarodnog projekta „SafeEarth“ dala su kvalitetne podloge koje su omogućile bolji i točniji uvid u problematiku odabranog terena. Postojeći trend istraživanja klizišta (i geohazarda općenito) daje sve veću važnost daljinskim istraživanjima jer tehnološki razvoj omogućava prikupljanje, analizu i ažuriranje velike količine kvalitetnih podataka relativno brzo i ekonomski prihvatljivo bez gubitaka na kvaliteti. Ujedno je i blizina terena gradu Zagrebu omogućila više izlazaka na teren i time razrješenje nastalih „kabinetskih“ nedoumica odnosno poboljšanje i terensku verifikaciju kabinetskih rezultata.

Za dobivanje cjelovite slike istraživanog područja pregledani su i dostupni podaci iz (geološke) literature. Analiza foto dokumentacije unazad 50-ak godina je dala dosta jasan vremenski slijed razvoja područja klizišta. Dok je padina bila neizgrađena nije bilo ni klizišta. No nakon izgradnje kuća i nakon velikih oborina tijekom zime 2013. – 2014. godine, klizište se aktiviralo 2014. godine.

Postojali su i prirodni preduvjeti za aktivaciju klizišta na lokaciji Gajevo: geološka građa (izmjena pijesak/glina odnosno propusno/nepropusno), nagib i morfologija terena, stupanj raspadnutosti (površinski slojevi su rahli, slabo litificirani) i povećanje vlažnosti usred velikih kiša. Ali i antropogeni faktor je također nepovoljno utjecao na stabilnost padine: izvršeno je dodatno opterećenje vrha padine (izgrađene su kuće), izgrađena je cesta bez odvodnje koja je omogućavala prikupljanje i slijevanje oborinske vode koncentrirano niz padinu odnosno omogućena je saturacija terena, također odvodnja oborinskih voda sa objekata nije dobro regulirana. Uz sve to moguće da je došlo i do puknuća ili propuštanje vodovodne cijevi koja se kasnije „izvukla“ na površinu i sada prolazi vrhom padine uz cestu.

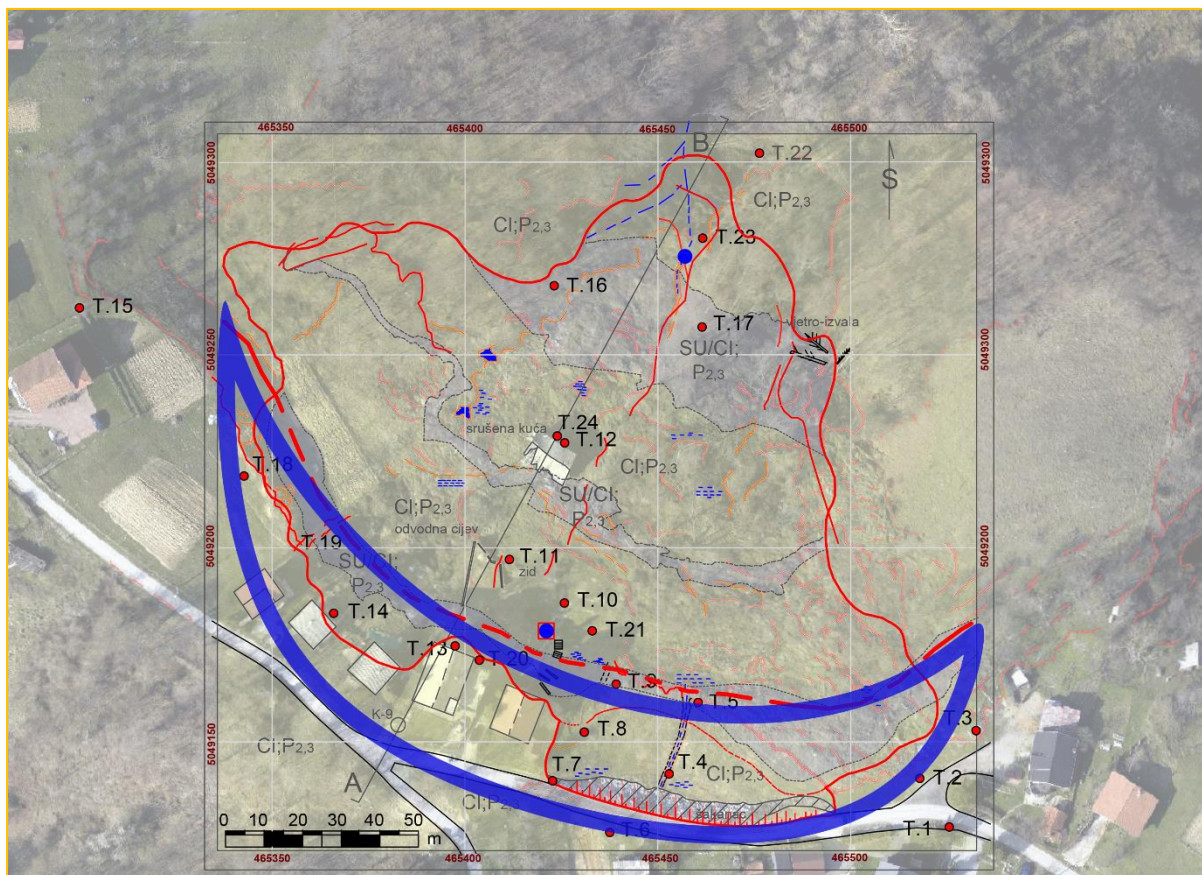
Upravo navedeni prirodni i antropogeni uvjeti zajedno, bili su i razlog aktivacije klizišta. Sami okidač aktivacije svakako je povećanje količine vode u tijelu klizišta, a pretpostavka je da su obilne oborine i vodovod koji nije izveden adekvatno, odnosno vodonepropusno, zajednički doprinijele aktivaciji klizišta. Ovo je područje u zadnjoj fazi geološke prošlosti (pa i danas), često bilo plavljeno i zamočvareno, te su se taložili fino-zrni sedimenti (sitno zrnati dobro

graduירani pijesci, te prahovi i gline). Svježe taloženi glinoviti sedimenti i muljevi zbog koagulacije čestica glina te pakiranja listićavih sastojaka glina u rahlu nakupinu sa strukturom "saća" ili "kuće od karata" (TIŠLJAR, 2004) omogućuju da se prostor (pore) između čestica glina potpuno ispunjava vodom. U takvim sedimentima/uvjetima često dolazi do aktivacije klizišta, čemu svjedoče i brojna klizišta na području Vukomeričkih gorica.

Dostupne ortofotografije DGU-a (<https://geoportals.dgu.hr/>) su dale vrijedne informacije. Pa tako ortofoto iz 2011. godine prikazuje teren koji još nije u pokretu, ali već je prisutna izgradnja kuća (tj. opterećenje gornjeg dijela padine) i destabilizacija padine. Dok se na ortofotu iz 2014. godine jasno vidi aktivacija klizišta, odnosno pukotine na terenu su jasno vidljive kao i klizanje objekata. Iz kasnijih ortofoto snimki vidljiva je daljnja aktivnost klizišta (koje se postupno smirivalo), te unazad godinu dana nema vidljivih novih većih promjena na padini uzrokovanih klizanjem (klizište je trenutačno neaktivno, ali vjerojatno na nekim manjim dijelovima u tijelu klizišta su i dalje prisutni pokreti).

Nakon provedene kabinetske analize i interpretacije klizišta na detaljnom DEM-u, osjenčanom modelu terena, generiranim izohipsama, detaljnim ortofotografijama i geološkim podacima izvršena je terenska provjera i kartiranje klizišta, te snimanje područja istraživanja i s dronom. Ažuriranjem, usporedbom i analizom kabinetskih i terenskih podataka vidljiva je njihova dobra podudarnost i više nego zadovoljavajuća preciznost. Tako je i u kabinetu i na terenu bilo moguće kartirati deformacije i pukotine u tijelu klizišta, ali i oštećenja na objektima.

Kombinacijom i analizom svih dostupnih podataka (kabinetskih i terenskih) izrađeni su inženjerskogeološka karta i prognozni inženjerskogeološki profil klizišta Gajevo (Prilog 3 i 4) iz kojih je vidljivo da je najugroženije područje krune klizišta (*eng. crown*). Odnosno područje nepokrenutog materijala iznad glavne vlačne pukotine klizišta i područje glavne vlačne pukotine koja je „otvorena“ ploha koja se erodira i deformira (*Slika 51*).



Slika 51. Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo preklopljena sa ortofotografijom iz 2018. godine: na području klizišta je *plavim poligonom* označeno najugroženije područje – odnosno područje krune i glavne vlačne pukotine klizišta.

Za stanare i lokalne objekte (kuće i cestu) najadekvatnije rješenje bi bila sanacija cijele padine, ali takvo rješenje je nerealno – vrijednost (troškovi) sanacije bi višestruko nadmašili vrijednost objekata. Veličina klizišta (površina ~ 18.000 m², maksimalna duljina ~ 160 m, maksimalna širina ~ 225 m) i prostiranje klizišta u terenu (donji dio je neizgrađen i u šumi) sugerira ipak da se ne sanira cijelo klizište već da se djelomično sanira gornji dio klizišta (kruna klizišta) koji ugrožava objekte (Slika 51). Osnovni preduvjet za sanaciju klizišta je uklanjanje vode iz tijela klizišta u što većoj mjeri.

Prvo se preporučuje izvesti kontrolirani odvod oborinske vode s ceste i kontrolirano ga odvesti izvan tijela klizišta u prirodni recipijent – potok Koravec u podnožju klizišta. Drugi korak je osigurati podzemnu nepropusnu vodovodnu instalaciju da u tijelu klizišta ne dolazi do vlaženja i natapanja. Treći korak je strogo odrediti mjere za stanovništvo kako se oborinske i otpadne vode iz kuća ne bi ispuštale u tijelo klizišta (glavnu vlačnu pukotinu) već se odvodile u odvod izvan klizne zone (Slika 52).



*Slika 52. Postojeće (loše) rješenje odvodnje s lokalnih kuća – izravno u tijelo klizišta natapanjem glavne vlačne pukotine: **a**) pogled prema istoku (prema k.br. 31); **b**) pogled prema zapadu (prema k.br. 23).*

Konačni recipijent dreniranih voda preporučljivo je izvesti tako da se u dnu padine oformi jezero/lokva ili da se vode odvede do potoka Korovec koji teče u samom podnožju padine. Uz geotehničko rješenje preporučuje se i agrotehničko rješenje odnosno sadnja sadnica s dubokim korijenjem kako bi se dodatno učvrstilo i dreniralo nestabilnu padinu.

U slučaju većih oborina i/ili ponovne pojave vlaženja ili puknuća vodovodnog sustava očekuje se reaktivacija klizišta koja može dovesti do većih oštećenja i na objektima, ali i ugroziti lokalno stanovništvo.

8. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu su dane teorijske osnove vezane uz klizišta i daljinska istraživanja. Pregledani su dostupni podaci (izvještaji, znanstveni radovi, karte, foto dokumentacija, itd.) vezani uz područje istraživanja. Ovakvim pristupom, koji je uključivao savladavanje teorijskih osnova i pregled postojećih podataka omogućena je priprema na postojeću problematiku i upoznavanje područja istraživanja: nestabilnosti na području Vukomeričkih gorica – konkretno klizište Gajevo u Kravarskom kao predmet istraživanja.

Korištene su dvije metode za kartiranje klizišta: daljinsko i terensko kartiranje. Terensko, klasično kartiranje je ujedno poslužilo i za verifikaciju rezultata daljinskog kartiranja. Veliku važnost pri istraživanju je imala i analiza postojeće foto dokumentacije koja je dala inače nedostupnu, ali vrlo bitnu povijesnu komponentu razvoja područja klizišta. Kabinetskom obradom detaljnih daljinskih podataka (DEM - 0,5 x 0,5 m, ortofoto - 10 x 10 cm, generirane izohipse - 1 m), dobivene su podloge iz kojih su „izvučene“ važne informacije o klizištu Gajevo: iscrtano je područje koje je zahvaćeno klizanjem, utvrđena je izgrađenost područja i pokrov zemljišta, te su zabilježene i vidljive štete na objektima.

Ovim se analizama daljinskih podataka u istom vremenskom periodu može obraditi veća površina terena nego što bi bilo moguće terenskim kartiranjem – što ujedno znači i optimizaciju ekonomskih sredstava, ali i vremena, bez gubitaka na kvaliteti.

Ipak, klasično, terensko kartiranje se ne smije zanemariti, ali ga je moguće ovakvom kombinacijom metoda izvesti ciljano i efikasno. Tako je izvršeno i inženjerskogeološko kartiranje klizišta na terenu u više navrata. Kartiranjem su zabilježene dvadeset i četiri terenske točke, te su dodatno izdvojene i točke mjerenja deformacija na objektima. Na terenu su zabilježene i razlike u litološkoj građi, sa svim osnovnim pukotinama, terasama, denivelacijama i pojavama vode. Također je granica klizišta na terenu korigirana – klizište mjestimično zahvaća i cestu.

Kao rezultat istraživanja izrađena je inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo i prognozni inženjerskogeološki profil klizišta Gajevo, te je definirano najugroženije područje u smislu budućih pokreta i oštećenja (područje krune i glavne vlačne pukotine klizišta), a dane su i osnovne preporuke za sanaciju (dijela) područja klizišta. Također je potvrđena i polazna

hipoteza diplomskog rada odnosno prikazane su brojne prednosti primjene metoda daljinskih istraživanja pri istraživanju klizišta.

Klizište Gajevo u Kravarskom, iako trenutačno neaktivno (aktivni samo neki, manji dijelovi unutar tijela klizišta), u slučaju većih oborina i/ili ponovne pojave vlaženja ili puknuća vodovodnog sustava se može re-aktivirati odnosno može dovesti do većih oštećenja i na objektima, ali i ugroziti lokalno stanovništvo. Klizište je složeno, s više generacija klizišta i više kliznih ploha, dok je materijal tla varijabilan odnosno omjeri gline, praha, pijeska, ali i organske komponente se mijenjaju i horizontalno i vertikalno. Zbog navedenih razloga klizište bi bilo preporučljivo detaljnije istražiti (npr. bušotinama, geofizičkim metodama, laboratorijskim analizama, itd.) i vršiti monitoring područja s naglaskom na stambene objekte koji su najviše ugroženi. Kao osnovni korak se preporučuje bolja izvedba dreniranja padine – sadašnje stanje nije dobro jer drenažne cijevi s objekata završavaju u tijelu klizišta. Također, potrebno je educirati i informirati stanovnike o mogućnostima i načinima sanacije klizišta i „suživotu“ s klizištem, jer upravo pravovremenim interveniranjem mogu se smanjiti i/ili spasiti velika materijalna sredstva, ali i ljudski životi.

9. LITERATURA

BELL, F.G. (2003): Geological hazards: Their assessments, avoidance and mitigation. E&FN Spon Press, London, 648.

BOBROWSKY i P., HIGHLAND, L.M. (2008): The landslide handbook – A guide to understanding landslides. USGS, Reston, Virginia, 60.

BRAUN, K. (1999): Inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

CRUDEN, D.M. (1991): A simple definition of a landslide. Bulletin International Association for Engineering Geology, 43; 27 – 29.

CORNFORTH, D.H. (2005): Landslides in practice: Investigation, analysis, and remedial / preventative options in soils, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 596.

GAJSKI, D. (2007): Osnove laserskog skeniranja iz zraka. Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 16 – 22.

FRANČULA, N., LAPAINE, M. i VUČETIĆ, N. (1994): Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji, Geodetski list : glasilo Hrvatskoga geodetskog društva, 48(3), 265 – 276.

GUZZETTI, F. (2006): Landslide hazard and risk assessment.– Doctoral thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany, 373.

GUZZETTI, F., MONDINI, A.C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO M. i KANG-TSUNG, C. (2012): Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth Science Reviews, 112, 42 – 66.

JENKO, K. (1944): Stratigrafski i tektonski snošaj Pliocena južnog pobočja Požeške gore i Kasonje brda.– Vjestnik Hrvatskog državnog geološkog zavoda i Hrvatskog državnog geološkog muzeja, 2/3, 89–159.

JURAK, V., MATKOVIĆ I., MIKLIN Ž. i MIHALIĆ, S. (1996): Data analysis of the landslides in the Republic of Croatia: Present state and perspectives.– 7th international symposium on landslides, Trondheim, Balkema, 1923 – 1929.

KOCH, F. (1917): Levantinska fauna Vukomeričkih gorica. Glasnik hrvatskoga prirodoslovnoga društva, Zagreb, 29, 7-17.

KOVAČEVIĆ, M.S. i JURIC-KAĆUNIĆ, D. (2014), European soil classification system for engineering purposes, GRAĐEVINAR, 66 (9), 801 – 810.

KUREČIĆ T. (2017): Sedimentologija i paleoekologija Pliocenskih Viviparus slojeva Vukomeričkih gorica, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 168.

LIU, J.G. i MASON, J. (2009): Essential image processing and GIS for remote sensing, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, 444.

LUBENESCU, V. i LUBENESCU, D. (2008): Neogenul superior - strate cu Paludine din Romania.– Studii si Cercetari de Geologie, 51–53, 77–88.

MANDIĆ, O., KUREČIĆ, T., NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M. (2015): Stratigraphic and paleogeographic significance of lacustrine mollusks from the Pliocene Viviparus beds in central Croatia.– Geologia Croatica : journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society., 68, 179-207.

MARKOVIĆ, S. (2002): Hrvatske mineralne sirovine. Institut za geološka istraživanja. Zavod za geologiju, Zagreb, 365.

MIKLIN, Ž., MLINAR, Ž., BRKIĆ, Ž. i HEĆIMOVIĆ, I. (2007): Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone mjerila 1:5000 (DIGK-Faza I).- Hrvatski geološki institut, Zagreb, Knjige 1 – 4, 44 karte.

MIKLIN, Ž., PODOLSZKI, L., NOVOSEL, T., SOKOLIĆ, Ž., OFAK, J., PADOVAN, B. i ZAILAC, K. (2018): Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone mjerila 1:5000 (DIGK-Faza II). Hrvatski geološki institut, Zagreb, Knjige 1 – 6, 41 karta.

MIYAGI, T., PRASAD, B.G., TANAVUD, C., POTICHAN, A. i HAMASAKI E. (2004): Landslide Risk Evaluation and Mapping – Manual of Aerial Photo Interpretation for Landslide Topography and Risk Management.– Report of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan, 66, 75 – 137.

MCCALPIN, J. (1984): Preliminary age classification of landslides for inventory mapping.– Proceedings of the 21st Annual Symposium on Engineering Geology and Soil Engineering Symposium University Press, Moscow, Idaho, 99 – 111.

NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M., KROH, A., GEORGOPOULOU, E. i MANDIC, O. (2015): A gastropod-based biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems. – *Earth-Sci. Rev.*, 143, 98 – 116.

NEUMAYR, M. i PAUL, C.M. (1875): Congerien- und Paludienschichten Slavoniens und deren Faunen. Ein Beitrag zur Descendenz-Theorie, Wien, 1– 106.

PAINE, D.P. i KISER, J. D. (2012): Aerial photography and image interpretation. – Third edition, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 629.

PIKIJA, M. (1987a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Sisak L33 – 93. Geološki zavod, Zagreb (1975 – 1986), Savezni geološki institut, Beograd, 56.

PIKIJA, M. (1987b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Sisak L33 – 93. Geološki zavod, Zagreb (1975 – 1986), Savezni geološki institut, Beograd, 51.

POČEKAL, N. (2012): Geoinformacijski postupci otkrivanja potencijalnih klizišta. Diplomski rad, Geotehnički fakultet, Varaždin, 45.

PODOLSZKI, L. (2014): Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice, Doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 322.

PODOLSZKI, L., POLLAK, D., GULAM, V. i MIKLIN Ž. (2015): Development of Landslide Susceptibility Map of Croatia.– In: LOLLINO, G., GIORDAN, D., CROSTA, G.B., COROMINAS, J., AZZAM R., WASOWSKI, J. i SCIARRA, N. (eds.): Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2: Landslide Processes, Springer, 947 – 950.

RÖGL, F. i STEININGER, F.F. (1984): Neogene Paratethys, Mediterranean and Indopacific seaways.– In: Fossils and Climate (Ed. P. Brenchley), John Wiley & Sons, New York, 171 – 200,

ROJE-BONACCI, T. (2014) Zaštita kosina i sanacija klizišta, Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo, 22, 352 – 360.

SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANÓ, O., JUHÁSZ, G. i IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and SouthWestern Hungary), *Geologia Croatica*, 56/1, 101 – 122.

SLAUGHTER, S.L., BURNS, J.W., MICKELSON, A.K., JACOBACCI, K.E., BIEL, A. i CONTRERAS, T.A., (2017): Protocol for landslide inventory mapping from LIDAR data in Washington state. Washington Geological Survey, Bulletin 82, 26 – 27.

STRELEC, S. i GRABAR, K. (2015): Geotehnički elaborat. Rekonstrukcija državne ceste D31 od stacionaže km 13+860 (skretanje za Buševac) do stacionaže km 27+290 (Šestak brdo) ukupne duljine 13.43 km. SPP d.o.o, Varaždin, 16(V).

ŠARIN, A. (1976): Hidrogeološka karta SR Hrvatske, M 1:200 000, Geološki zavod. Zagreb.

ŠIKIĆ, V., ČAKARUN, I., BORČIĆ, D. i BASTALIĆ N. (1988), Seizmička mikrorajonizacija Grada Zagreba (14 općina). Geološko, hidrogeološko i inženjerskogeološko istraživanje, Geološki zavod, Zagreb. 69.

TIŠLJAR, J. (2004): Sedimentologija klastičnih silicijskih taložina. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 426.

TOMLJENIĆ, B. i CSONTOS, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basin, Croatia).-*Geol. Rundschau*, 90, 560 – 578.

VARNES, D.J., (1978): Slope movement types and processes – Landslides: Analysis and control. Transportation Research board special Report 176., National Academy of Sciences, Washington, DC, 11 – 33.

VARNES, D.J., (1984): Landslide hazard zonation: A review of principle and practice. International Association of Engineering Geology, UNESCO Natural Hazard series, Paris, 3, 63.

VELIĆ, J. (1983): Neotektonski odnosi i razvitak zapadnog dijela Savske potoline. *Acta geologica*, 13/2, 26 – 65.

WP/WLI. (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) (1991): A suggested method for a landslide summary. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43, 101 – 110.

WP/WLI. (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) (1993): A suggested method for describing the activity of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 47, 53 – 57.

ZANINOVIĆ, K., GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC TADIĆ, M., VUČETIĆ, M., MILKOVIĆ, J., BAJIĆ, A., CINDRIĆ, K., CVITAN, L., KATUŠIN, Z. i KAUČIĆ, D. (2008): Klimatski atlas Hrvatske: 1961. – 1990. : 1971. – 2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200.

NEPUBLICIRANI RADOVI

BIONDIĆ, R. (2010): Uvod u GIS (geografski informatički sustav). Interna skripta, Geotehnički fakultet, Zagreb, 114.

GULAM, V., PODOLSZKI, L., POLLAK, D., FRANGEN, T. i KUREČIĆ T. (2020): „Transnational advanced management of land use risk through landslide susceptibility maps design – „safEart.“ Uputa za karte podložnosti na klizanje. Hrvatski geološki institut. Fond struč. dokumentacije Hrvatski geološki institut. Zagreb.

JOVIĆ, P. i VRSALKOVIĆ, I. (1964): Izvještaj o sedimentno-petrografskoj obradi pliocenskih pijesaka na području Vukomeričkih gorica. Institut za geološka istraživanja, Fond struč. dok. Geol. zavoda, Zagreb, 101/64.

JURKOVIĆ, I. i ANIĆ, D. (1949): Ugljenonosne naslage područja Kravarskog i Sisačkog Cerja. Institut za geološka istraživanja, Fond struč. dok. Geol. zavoda, Zagreb, 1629.

LUŽAR-OBERTER, B. (2019): Prezentacija iz kolegija Računalni programi u geologiji, Uvod u GIS, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 45.

PERKOVIĆ, D. (2019): Prezentacija iz kolegija Geoinformatika, Osnove GIS-a, Rudarsko-geološki fakultet, Zagreb, 113.

ŠIMUNIĆ, A. (1964): Geološko kartiranje sjeveroistočnog dijela Vukomeričkih gorica.– Institut za geološka istraživanja, Fond struč. dok. Geol. zavoda, Zagreb. 98/64.

ŠIMUNIĆ, A. i AVANIĆ, R. (1985): Korelacija geoloških odnosa na području Medvednice NW dijela Savske potoline i N dijela Vukomeričkih gorica.- Institut za geološka istraživanja, Fond struč. dok. Geol. zavoda, Zagreb, 142/85.

INTERNETSKE STRANICE

<https://www.geografija.hr teme/karte-i-gis/daljinska-istrazivanja/>, 02.08.2020

<https://geoportal.dgu.hr/>, 06.12.2020

<https://meteo.hr/>, 06.12.2020

<https://www.hgi-cgs.hr/geoloska-karta-republike-hrvatske-1300-000/>, 06.12.2020

<https://play.google.com/store/apps/details?id=dev.stemi.geocro&hl=hr&gl=US>, 06.12.2020

<https://www.dji.com/hr/mavic/info>, 06.12.2020

10. POPIS SLIKA U TEKSTU

Slika 1. Osnovni tipovi klizišta (WP/WLI 1993, ESCARIO et al., 1997).

Slika 2. Razlika između vektorskog i rasterskog modela zapisa podataka. (POČEKAL, 2012).

Slika 3. Geografski položaj istraživanog terena – plavom kružnicom označeno mjesto istraživanja (klizište Gajevo), a crnom crtom udaljenost prostora istraživanja i bušotine za klizište 9 na cesti D31 (<https://geoportal.dgu.hr/>).

*Slika 4. Karta srednje godišnje količine oborina za razdoblje od 1971. godine do 2000. godine. **Crvenom točkom** je označeno područje istraživanja, a **plavim točkama** meteorološke postaje (1- Pisarovina, 2- Zagreb- Pleso aerodrom, 3- Sisak) iz kojih su uzimani podaci o oborinama (ZANINOVIĆ i dr. 2008).*

*Slika 5. Karta položaja istraživanog područja (**crvena boja**) unutar granica Panonskog bazenskog sustava. Preuzeto iz KUREČIĆ (2017)*

Slika 6. Položaj Vukomeričkih gorica (zaokruženo) i područja istraživanja (crna zvjezdica) na OGK 1:300.000 (<https://www.hgi-cgs.hr/geoloska-karta-republike-hrvatske-1300-000/>).

Slika 7. Uzorak iz potoka, isprane vapnene nodule u potoku Koravec (prikupljeno tijekom terenskog kartiranja 2019. godine).

Slika 8. Slika 8. Slika površinskog otjecanja, gornjeg toka potoka Koravec ispod klizišta (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine).

*Slika 9. Isječak istraživanog područja. Hidrogeološka karta M 1:200.000 (ŠARIN, 1976). **Crvenim krugom** označeno je područje istraživanja.*

Slika 10. Primitivno kaptirani izvor, devastiran klizanjem terena (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine)

Slika 11. Inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske M 1:300 000 (arhiva HGI-a, BRAUN, 1999). Na karti se uočavaju dvije veće različite inženjerskogeološke cjeline: kontinentalni i obalni dio.

Slika 12. Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske u sitnom mjerilu (PODOLSZKI i dr., 2015). Za područje istraživanja su karakteristični pokreti (klizišta) u tlu (označeno bijelim trokutom na karti).

Slika 13. Geotehnička karta list Mraclin 3 mjerila 1:10.000 i legenda (ŠIKIĆ, 1988). **Crvenim kvadratom** izdvojen je isječak lista Mraclin 3 na kojem je označeno **plavom kružnicom** istraživano područje. Iz karte je vidljivo da 1988. godine klizište Gajevo nije bilo registrirano na području istraživanja – što je u skladu i sa zaključcima dobivenim nakon analize dostupnih fotografija – razdoblje aktivacije klizišta Gajevo = 2011.-2014. godina

Slika 14. Log bušotine K9-B1

Slika 15. Pogled na čeonu dio klizišta: lokalni povremeni izvori su prisutni u proslojcima pijesaka, a na kontaktima vodopropusno/vodonepropusno su izraženi(-ji) i pokreti. Na klizištu je prisutno više kliznih ploha i više generacija pokreta (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 16. Usporedba „kabinetskih“ karata izrađenih na temelju podataka dobivenih daljinskim snimanjem: ortofoto, detaljan DEM i generirane izohipse u GIS-u na temelju detaljnog DEM-a. Na slici označenoj s **a**) prikazana je ortofotografija iz 2018. godine na temelju koje su dobivene informacije o pokrovu zemljišta i stečena je predodžba o području zahvaćenog klizanjem. Na karti označenoj slovom **b**) prikazan je detaljni DEM (digitalni elevacijski model) na kojem je vidljiva morfologija terena bez građevinskih objekata i vegetacije. Ta podloga je korištena kao temeljna za iscertavanje područja zahvaćenog klizanjem – na terenu su jasno vidljivi i mogu se prepoznati ožiljci nastali tijekom klizanja. Na karti **c**) je izvršen preklap ortofota i DEM-a i pripremljena je kao jedna od podloga prije izlaska na teren. Pod slovom **d**) prikazana je ortofotografija povećane providnosti na kojoj je daljinskom metodom identificirano (kartirano) klizište Gajevo i ostala manja klizišta u njegovoj blizini. Ta karta je koristila kao neka vrsta hipotetske karte koju je bilo potrebno pratiti i provjeriti terenskim istraživanjem. Pod slovom **e**) prikazana je radna terenska geološka karta koja obuhvaća samo dio klizišta, ali koja pruža informacije o materijalima koje je za očekivati na terenu: žutom bojom su označeni pijesci i prahoviti pijesci, a plavom bojom gline i prahovite gline. Ta karta nam je koristila pri interpretaciji klizišta (visina čeone pukotine) i kartiranju granica materijala (izvori na kontaktu). Karta označena s **f**) je ortofoto s generiranim izohipsama terena iz detaljnog DEM-a i ona je bila temelj za izradu profila klizišta.)

Slika 17. Ortofoto s morfologijom terena (DEM) na kojem su označene terenske točke promatranja (**crveno**), točke mjerenja (**zeleno**), te oznake objekata (**narančasto**)

Slika 18. Ispunjeni terenski formular klizišta i terenski IG obrazac za opis tla (objašnjeni obrasci i prikaz u A4 formatu se nalazi u Prilogu 1)

Slika 19. Snimka napravljena dronom DJI Mavic Pro 1 s označenom lokacijom (**kvadrat**) srušenog objekta. Na slici je dan prikaz stanja na terenu na ljeto 2020. godine.

Slika 20. Ortofotografija neizgrađene padine iz 1968. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>): oranice i šume.

Slika 21. Ortofotografija izgrađene padine iz 2011. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) bez vidljivih znakova klizanja i oštećenja.

Slika 22. Ortofotografija klizišta na padini iz 2014.godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) – aktivirano klizište Gajevo s inicijalnim pukotinama označenim **plavim strelicama**, te sanacija ceste uz pomoć „šakanca“ označeno **crvenim kvadratom**.

Slika 23. Ortofotografija padine iz 2018. godine (<https://geoportal.dgu.hr/>) - i dalje aktivno klizište Gajevo. **Crvenim kvadratom** je označeno područje sanacije ceste prekriveno novim asfaltom, a **plave strelice** prikazuju naznake mogućih pukotina.

Slika 24. Lokacija područja klizišta Gajevo na HOK-u (<https://geoportal.dgu.hr/>).

Slika 25. Popravljeni dio ceste (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 26. Podzemna vodovodna komunikacija, sanirana rastezljivim priključkom i ostavljena nadzemno, „šakanac“ (navezeni kamen) i odvodni kanal označen **strelicom** (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine)

Slika 27. Oštećeni kaptirani zdenac, „proklizale stepenice“ i cijevi koje odvede oborinske vode u tijelo padine (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 28. Puknuti zid i proklizali dijelovi - 5 m (**plava strelica**), te odvodna cijev koja završava u tijelu klizišta (**narančasta strelica**, fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 29. Mjesto srušenog objekta označeno **crvenim krugom** (objekt se nalazi na ortofotu) i proklizali dio zida označen **strelicom** (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 30. Tijelo klizišta - obraslo, izrazito deformiran strmi teren s pukotinama i vidljivim najahivanjima (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 31. Vjetroizvala stabala i potok Koravec u podnožju klizišta (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine)

Slika 32. Čelo klizišta sa stambenim objektima (narančasto) na kojima su se vršila mjerenja (zeleno točke). Crvenim točkama su označene terenske točke pregleda terena.

Slika 33. Prvo mjerenje zijeva pukotine D1 - pukotina do 5 cm (listopad 2019. godine).

Slika 34. Drugo mjerenje zijeva pukotine D1 - pukotina do 5 cm (ožujak 2020. godine).

Slika 35. Čeona pukotina ispod stabla iz koje izlazi siva PVC cijev na koju se nastavlja narančasta PVC cijev za odvodnju (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2019. godine).

Slika 36. Prikaz cijevi za odvodnju iz perspektive točke D2 i otklizalog zida (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine).

Slika 37. Usporedba ortofotografije iz 2018 godine (a) i snimke iz drona 2020 godine (b). Kružnicom su označene cijevi i vidljiva je promjena u položaju (azimutu) cijevi.

Slika 38. Mjerenje širine zijeva između sjevernog zida objekta K3 (k.br.29) i betonskog puta. 1 - prvo mjerenje (listopad 2019. godine), 2- drugo mjerenje (ožujak 2020. godine)

Slika 39. Mjerenje pukotine na točki D4a. 1 - prvo mjerenje (listopad 2019. godine), 3- treće mjerenje (srpanj 2020. godine).

Slika 40. Prvo mjerenje pukotine D4b (listopad 2019. godine).

Slika 41. Mjerenje pukotine D4c (ožujak 2020. godine).

Slika 42. Mjerne točke D4b i D4d (fotografirano tijekom terenskog kartiranja 2020. godine)

Slika 43. Dron DJI Mavic Pro 1 pri poljetanju s klizišta Gajevo (srpanj 2020. godine).

Slika 44. Ortofotografija iz 2018 godine s označenim otklizalim objektom i mjestom mijenjanja položaja odvodne cijevi.

Slika 45. Aerofotografija snimljena dronom DJI Mavic Pro 1 2020. godine s označenim položajem (uklonjenog) srušenog objekta i mjesta mijenjanja položaja odvodne cijevi.

Slika 46. Ortofoto s izohipsama (a) i radna geološka karta (b): izohipse jasno ukazuju na položaj glavne vlačne pukotine koja je nacrtana i na radnoj geološkoj karti, te je potvrđena i

na terenu. Na radnoj geološkoj karti odvojene su dvije geološke jedinice: pijesak i prahoviti pijesak (žuto), te glina i prahovita glina (plavo).

Slika 47. (a) Ortofoto s digitalnim elevacijskim modelom (DEM) visoke rezolucije (0,5 x 0,5 m). Plavim strelicama su prikazane izražene pukotine na modelu i terenu koje ujedno i omeđuju klizište. (b) Ortofoto s kabinetski iskartiranom granicom klizišta. Na terenu je granica klizišta korigirana do saniranog dijela ceste.

Slika 48. (a) Osjenčani model terena bez objekata i raslinja s ucrtanom granicom klizišta i izvorima (plave točke) i profilom AB. (b) Kartirano klizište s označenim pukotinama i litološkom razlikom terena: različiti udjeli gline i pijeska (sive zone = vodopropusnija područja) i profilom AB.

Slika 49. Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo s ortofotom u podlozi

Slika 50. Klizište Gajevo – Prognozni inženjerskogeološki profil AB

Slika 51. Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo preklopljena s ortofotografijom iz 2018. godine: na području klizišta je plavim poligonom označeno najugroženije područje – odnosno područje krune i glavne vlačne pukotine klizišta.

Slika 52. Postojeće (loše) rješenje odvodnje s lokalnih kuća – izravno u tijelo klizišta natapanjem glavne vlačne pukotine: **a**) pogled prema istoku (prema k.br. 31); **b**) pogled prema zapadu (prema k.br. 23).

11. POPIS TABLICA U TEKSTU

Tablica 1. Klasifikacija klizišta prema stanju aktivnosti (WP/WLI 1993)

Tablica 2. Ukupna godišnja količina padalina sa meteorološke postaje Pisarovina, Zagreb - Pleso aerodrom i Sisak za razdoblje od 2012. do 2019. godine (<https://meteo.hr/>).

IG terenski obrazac za opis tla

OSNOVNI PODACI			
Projekt	saEarth Kls Gajiro	E = 00465431	Oznaka točke Tg
Mjesto	Kravsko - Gajiro	N = 05049163	Katastarski broj
Foto	151/407	z = 219 m	Geolog Jaboljski, M. Mihlin
Priroda izdanka	"Sokolovo/bok put"	Corine 2-214:23	Datum 28.10.2019

DETERMINACIJA TLA			
Naziv tla	glina		NAPOMENA
Udjeli % (C/M/S/G)	70/20/5-10/0	80/15/5/0	↓
Dubina (od-do, m)	0-?		10cm dubina - vrhova plastična glina
Geneza	rezidualna/koluvijalna		- nije do čine boje s organičnom komponentom
Organska tvar	niski		
Karbonati	bez		
Boja	smetka		
Čvrstoća	S1		
Sjaj	bez sjaja		
Konzistencija	laka gipsi		
Plastičnost	srednja - niska		
Veličina zrna	-		
Oblik zrna	-		
Zaobljenost zrna	-		
Relativna gustoća	-		
Graduiranost	- jednolično grad.		
Min. sastav			
Oznaka uzorka*			

DETERMINACIJA MATIČNE STIJENE			
Naziv stijene		Tekstura	Defekti
Starost		Struktura	Trošnost
Formacija		Poroznost	Stabilnost (atm. / voda)
Čvrstoća		Boja	Oznaka uzorka*

TERENSKI TESTOVI	
Džepni penetrometar - Inventarni br.	
Dubina [cm]	
Očitanje []	
Krilna sonda - Inventarni br.	
Dubina [cm]	
Vršna čvrstoća []	
Rezidualna čvrstoća []	

OPIS / NAPOMENA

Skica

"TRAKTORSKI PUT"

↓

OPISAN NAPOMENOM U BOKU I SLEKU "PUT"

* za uzorak se u napomenu upisuje tip laboratorijskog testa

OSNOVNI PODACI	
Priroda izdanka	Pokriveno Mjestimični mali izdanci Mjestimični veliki izdanci Izdanačna zona Kamenjar Zasjej Usjek Kamenolom Jarak Raskop Podzemni iskop
Corine	1 Umjetne površine: 11 Naseljena područja 12 Industrijske, poslovne i prometne površine 13 Rudnici, odlagališta i gradilišta 14 Umjetna, ne-poljoprivredna vegetacija 2 Poljoprivredne površine: 21 Obradene površine 22 Trajni nasadi 23 Livade i pašnjaci 24 Usitnjene, raznolike poljoprivredne površine 3 Šume i ostala prirodna vegetacija: 31 Šume 32 Grmolike i travne, prirodne biljne zajednice 33 Otvorene površine s malo ili bez vegetacije 4 Močvarna zemljišta: 41 Kopnene močvare 42 Primorske močvare (slane)

DETERMINACIJA TLA	
Naziv tla	
Udjeli % (C / M / S / G)	% POJEDINE FRAKCIJE
Dubina (od-do, m)	DUBINA ZONE ZA KOJU SE TLO OPISUJE
Geneza	Aluvijalno Koluvijalno Taluvijalno Glacijalno Organsko Eolsko i praporno Vulkansko Evaporitno Rezidualno
Organska tvar	UDIO : Niski (2-6%) Srednji (6-20%) Visoki (>20%)
Karbonati	SADRŽAJ : Bez karbonata Sadrži karbonate Karbonatno
Boja	opisno
Čvrstoća	S1 S2 S3 S4 S5 S6
Sjaj	Bez sjaja Voštan Mutan
Konzistencija	Žitko Lako gnječivo Teško gnječivo Polučvrsto Čvrsto
Plastičnost	Bez Niska Srednja Visoka
Veličina zrna	Glina (<0,002mm) Prah (0,002-0,06mm) Pijesak (0,06-2mm) Šljunak (2-60mm) Oblutci (6-20cm) Blokovi (>20cm)
Oblik zrna	Kubičan Plosnat Izdužen Nepravilan
Zaobljenost zrna	Uglasta Uglasta-zaobljena Zaobljena
Relativna gustoća	Vrlo rahlo Rahlo Srednje zbijeno Zbijeno Vrlo zbijeno
Graduiranost	Dobro graduirano Slabo graduirano Jednolično graduirano
Min. sastav	
Oznaka uzorka*	oznaka točke - dubina

DETERMINACIJA MATIČNE STIJENE	
Naziv stijene	
Starost	prema dostupnim geološkim podlogama
Formacija	prema dostupnim geološkim podlogama
Čvrstoća	R0 R1 R2 R3 R4 R5 R6
Tekstura	Banded Bioturbirana Borna Fluidalna Gnajsolika Graduirana Homogena Izmjena slojeva Laminirana Linearna Mandulasta Masivna Slojevita
Struktura	Madston Vekston Pekston Grejnston Floutston Stromatolitna Idiomorfna Igličasta Mikritna Kristalinična Mikrokristalinična Sitnokristalinična Krupnokristalinična Mozaična
Poroznost	Nema Mala Srednja Velika
Boja	opisno
Defekti	Šupljine Pukotine Žilice Prsline Zdrobljeno
Trošnost	F SW MW HW CW
Stabilnost (atm./voda)	Stabilan Uvjetno stabilan Nestabilan
Oznaka uzorka*	oznaka točke - dubina

Čvrstoća stijene [MPa]

R0 - ekstremno slaba - 0,25-1 - Materijal se može grepsti i udubljavati noktom.

R1 - vrlo slaba - 1-5 - Materijal se mrvljuje uslijed jakog udarca geološkim čekićem, može ga se ljuštiti džepnim nožem.

R2 - slaba - 5-25 - Materijal se može ljuštiti džepnim nožem, a čvrstim udarcem vrhom geološkog čekića nastaju plitke udubine.

R3 - srednje čvrsta - 25-50 - Materijal se ne može zagrepsti ili ljuštiti džepnim nožićem, jedino ga je moguće razlomiti jednim udarcem geološkog čekića.

R4 - čvrsta - 50-100 - Za lomljenje materijala potrebno je više od jednog udarca geološkim čekićem.

R5 - vrlo čvrsta - 100-200 - Za lomljenje materijala potrebno je mnogo udaraca geološkim čekićem.

R6 - ekstremno čvrsta - >250 - Komad materijala je moguće otkinuti jedino uz pomoć geološkog čekića.

KLIZIŠTA FORMULAR

Terenski formular za ispunjavanje klizišta na brz i pregledan način prikazuje uočene parametre klizišta. Formular služi i kao podsjetnik što sve treba upisati u formular i dobar je vodič kroz nestabilnu padinu i opisivanje klizišta.

Formular klizišta sastoji se od nekoliko poglavlja te se veoma brzo mogu naći pojedini interesantni dijelovi koji nas interesiraju sa tog klizišta.

1. Prvi podatak je tko je ispunio katastar.
2. Drugi podatak je osobna iskaznica klizišta. Gdje je klizište, koordinate, datum prvog klizanja, datum obrade klizišta i veličina nastale štete.
3. Slijede osnovni elementi klizišta i padine (Kao na pr. tip pokrenutog materijala, značajke lokacije klizišta, geometrija, izraženost, oblik padine, oblik klizišta, nagib padine, smještaj na padini, proces reaktivacije, izloženost padine prema stranama svijeta i smjer pokreta.
4. Slijede inženjerskogeološki i hidrogeološki elementi klizišta.
5. Peto su uzroci pojave klizišta, koji mogu biti: prirodni, ljudski i kombinirani.
6. Zatim kinematika klizanja, tip klizanja, starost, deformacije, odnos klizišta prema strukturi padine, dubinu klizne plohe, stanje, brzina pokreta, razvoj klizišta.
7. Pokrov zemljišta. Prikazane su tri razine što sve može biti na klizištu. Potrebno je zaokružiti što se sve nalazi na njemu.
8. Sanacija klizišta. Prognoza i postupci pri sanaciji klizišta.

Formular je koncipiran tako da veoma brzo odgovaramo na njegova pitanja postavljanjem križića (za pozitivan odgovor) ili kose crte ili prazno polje za nepoznat odgovor. Na sva postavljena pitanja ne treba se odgovoriti, već samo na ona koja se nedvosmisleno mogu odgovoriti.

IG TERENSKI OBRAZAC ZA OPIS TLA

Postoji nekoliko obrazaca za opis tla koji su korišteni za razno terensko kartiranje. Jedan od osnovnih obrazaca (formular, katastar) načinjen je za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte RH. Osim toga za izradu pojedinih projekata formirani su slični formulari. Koristio sam međudržavni formular „Interreg-IPA CBC“ koji se sastoji se dva osnovna poglavlja koja treba ispuniti.

Prvo poglavlje su OSNOVNI PODACI. Upisuje se ime projekta, mjesto gdje je uzet uzorak , fotografije uzorka, kakav je izdanak (priroda izdanka), koordinate HTRS 96, pokrov zemljišta prema Corine (Corine Land Cover), oznaka promatrane točke, katastarski broj, geolog koji je izvršio determinaciju i datum uzorkovanja.

Drugo je DETERMINACIJA TLA. Upisuje se naziv tla, udjel u postocima gline, praha, pijeska i šljunka. Interval od do (u metrima), geneza - nastanak, postoji li organska tvar, karbonati, boja, čvrstoća, sjaj, konzistencija, plastičnost, veličinu i oblik zrna, zaobljenost, relativnu gustoću, graduiranost i ako je moguće mineralni sastav .

Oznaka uzorka - upisati kako je označen uzorak koji je uziman na terenu.

Prilog 2. Terenski dnevnik

TEREN GAJEVO-KRAVARSKO

28.10.2019

- Luka Miklin, Laszlo Podolszki

T.1.

-cesta- popravljana

- Prema riječima stanara:
- kamenje-2 godine
- Popravljana- prije 1 god
- Vodovod postoji od 2005 god., kanalizacija nije uređena

-Ispod kuće pomaci

T.2.

GPS točka -Kr Im 01-photo 136/392



-nasipani materijal pored ceste

-čelo klizišta → padina 8-10 m- prema karti

T.3.

Čelo klizišta (15 m od kuće), na kući oštećenja nisu vidljiva → izlazi cijev (odvodnja?)- vidljiva na ortofotu

-photo 137/393



-izvijeno stablo- dugotrajni i spori pomaci

GPS-Kr Im 02

T.4.

Photo -138/394 i 139/395





-GPS Kr Im 03 – jarak/kanal- voda (preslica)

-na duljini od 50 m nasip za cestu - $\Delta h =$ do 4 m

-čeonni dio klizišta =privremeno rješenje telefonska? Instalacija po nasipu)

-odvodnja površinske vode riješena uz pomoć jarka-širine 1,5 m, dubine 0,5 m

Zaključak- cesta i dalje ugrožena- samo privremena sanacijska mjera za cestu

T.5.

-Photo -140/396,141/397





-strmina → 4-6 m

Od ceste udaljeni sjeverno cca 25 m duljine- završava strmim odsječkom

- moguća aktivna čeona pukotina klizišta

-odsječak amfiteatralnog oblika- nakon nje slijedi zaravnjena površina duljine 10-ak m.

- na dnu pukotine prisutno raslinje koje upućuje na prisutnost vode

T.6.

-Photo-142/398



Vanjski „obod“ klizišta-cesta prolazi vrhom padine te je ujedno i granica klizišta, na objektima s južne strane ceste se ne vide oštećenja

-asfalt zamijenjen u duljini 50-70 m

T.7.

-Photo- 143/399



-prema izjavama stanara- na tom dijelu padine postoje bočni pomaci- paralelno s cestom i niz padinu



-Photo-145/401, 144/400

Zid → pukotina

-okomito s cestom (3-5 cm pukotina)



-paralelno s cestom

Psp (karta) → pretpostavljeni smjer pomaka

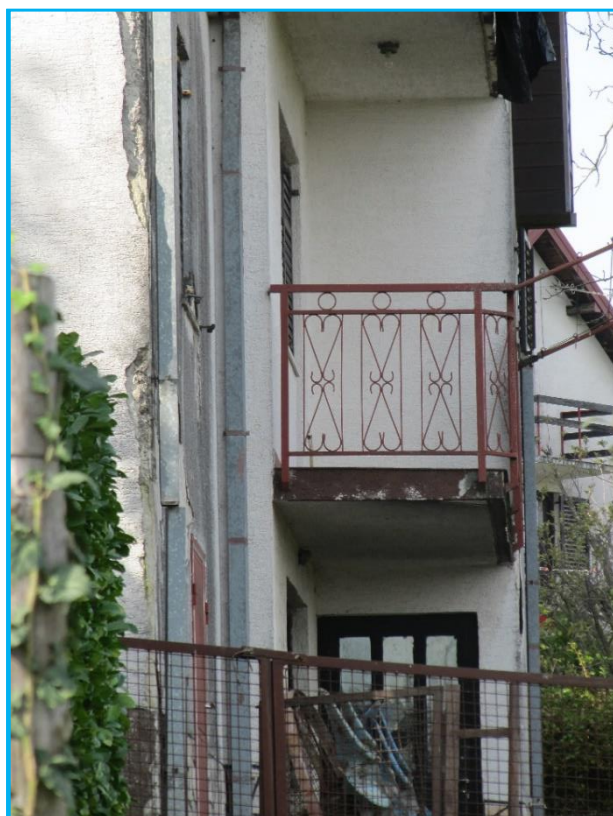
T.8.

GPS-Kr Im 05

Photo -146/402 → Na padini pored kuće -pukotina visine 0,5 m, čini se aktivna



Photo-147/403, 148/404 → detalj – puknuti slivnik / cijev za kišnicu na objektu K3.



Inače na objektima nema drugih vidljivih oštećenja

K2-photo- 149/405- odvodnja direktno u čelo klizišta.



-150/406- improvizirani drveni podgradni zidovi koji pridržavaju površinski dio gornjeg dijela padine



T.9

Photo 151/407



GPS- Kr lm 06 -plitki put za traktor-visine do 0.5 m

-bočno se vidi glinoviti materijal (formular)

-proslojak tamnih glina

T.10

Photo-152/408, 153/409



GPS- Kr Im 07- kaptirani zdenac - voda na površini, izvor od pamtivijeka
- stepenice proklizale, cijevi → po obodu klizišta- povremeni i stalni izvori- vjerojatno kontakt pijeska i gline - veći pokret u veljači 2014.god nakon čega je na padini napravljeno oko 26 bušotina
- odvodnje privremeno riješene s plastičnim cijevima

T.11

GPS- Kr Im 08 – zid proklizao 5 m

Photo- od 154/410 do 159/415



-razmak → privremeno, loše rješenje odvodnja pomoću cijevi niz padinu u tijelo klizišta, blizu čela



-srušena kuća



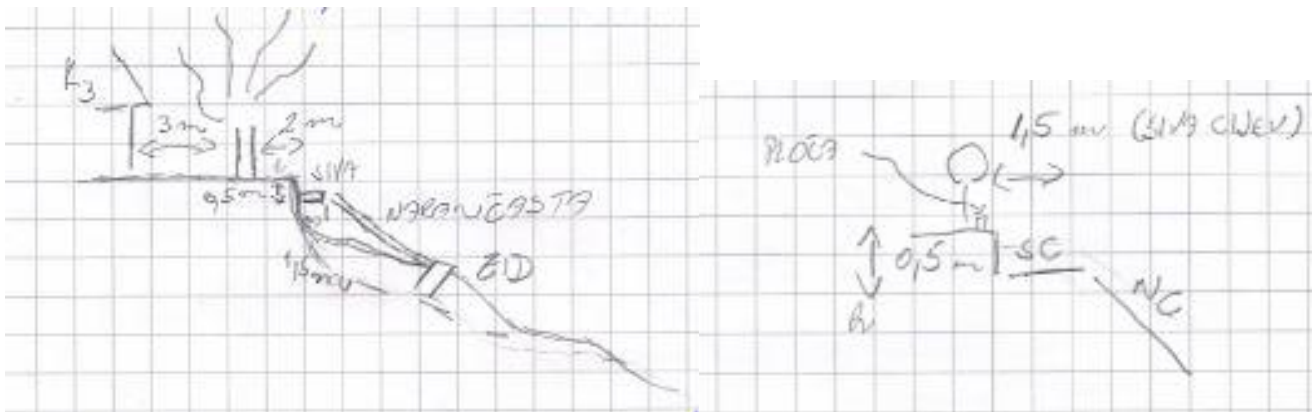
-dojam je da se cijevi „pomakla“ → usporedi ortofoto i sliku

Detalj 2. -160/416, 161/417



- Sa sjeverne strane K3 se nalazi stablo koje je udaljeno par metara od ruba klizišta
- Sjeverno od stabla = čeona pukotina klizišta i iz čeone pukotine na dubini od 0,5 m izlazi siva PVC cijev od odvodnje
- Na udaljenosti od 1,5 m na sivu cijev se nastavlja narančasta D2= odnosi pomaka

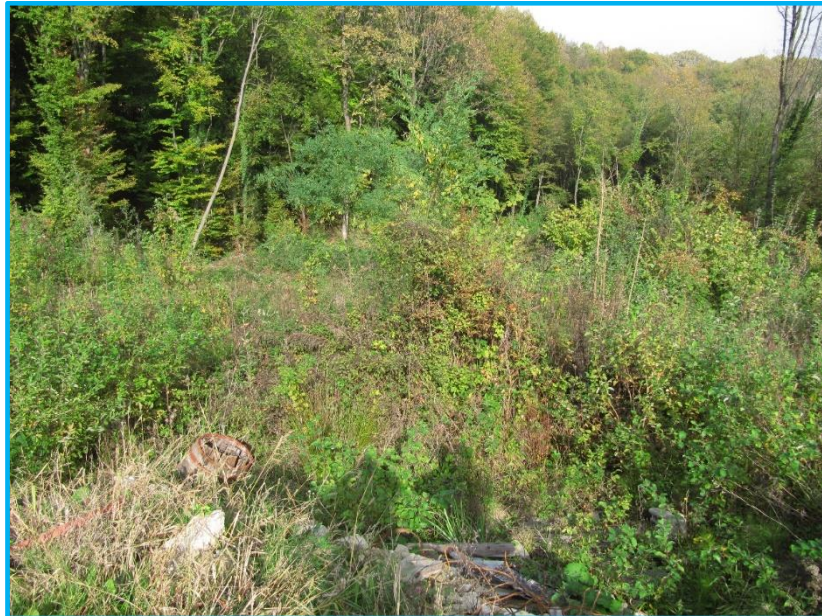
Stablo-čeona pukotina- siva cijev- narančasta cijev



T.12

GPS- Kr Im 09

Photo- 162/418 → 164/420



-oštećeni objekt vidljiv na ortofotu je srušen – T.12 je napravljena na rubu rasipanog platoa, nasip =građevinski otpadci objekta

-plato zaravnjen nakon rušenja

→ ispod kuća više povremenih ili stalnih izvora, njihova „odvodnja“ se odvija po površini terena/koluvijalne mase klizišta

-raslinje ukazuje na prisutnost vode → photo 165/421



-depresija uz rub platoa (gdje je bio srušeni objekt)

T.13

GPS-Kr Im 10

-kod kuće K3 stablo je udaljeno 3 m, od stabla 1 m se vidi ploča odvodnje, te nakon 1 m se vidi čeona pukotina

K3 -nema vidljivih oštećenja

-sjeverni dio kuće K3-serija fotografija (photo -166/422→171/427)





D3 – Sj. Strana K3 -photo-172/428→174/430



- Oko kuće je izgrađen betonski put, uslijed klizanja taj betonski put se odvojio od kuće 2 cm (pojavi se pukotina)
- manje deformacije na odvodu vanjskog umivaonika i odvodu kišnice
K3= kućni broj 29 -Gajevo

D4a – Kućni broj 25-pomak 4 cm

- Photo -175/431 → 177/433



- Betonski plato se odvojio od kuće, inicijalni pomaci 2014.g.
- U međuvremenu stanar upozorava na proširenje pukotine za 2 cm
- U slučaju širenja pukotine moguće da se objekt (Kbr.25) lagano sliježe i rotira

T14

GPS-Kr Im 11

Photo-178/434→183/439



Kbr.27, 25, 23 → 6 cijevi za odvodnju površinskih voda
-međutim cijevi su prekratke, završavaju neposredno nakon kuće-„iznad vlačne pukotine klizišta“. → ideja sanacije je dobra ali je treba bolje urediti

D4b- photo-184/440 → 187/443



-pomak do 4 cm

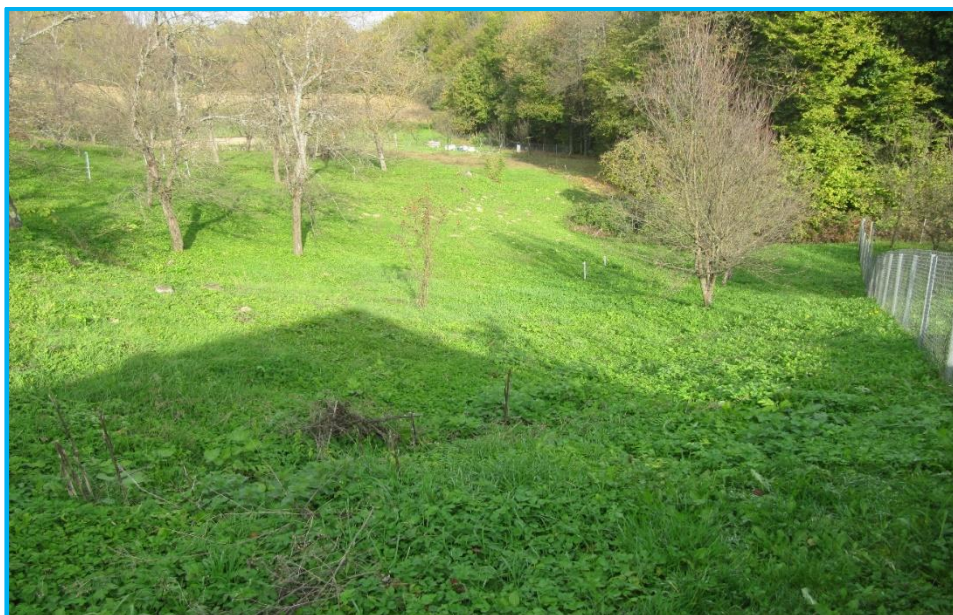
T.15

GPS-Kr Im 12

-niže od T.15 je padina valovita i nepravilna

-na padini se nalazi stari voćnjak te se na voćkama deformacije ne vide

-mogući dugotrajni plitki pomaci na površini a možda i područje starog/reliktnog klizišta



-točka pored ograde, voćke nisu povijene
photo 188/444→190/446

T.16

GPS-Kr Im 13- moguća granica

Photo-191/447, 192/448

-prijelaz šuma- nisko raslinje, nakon točke T.16 niz padinu → padina je vlažnija - mjestimično voda i na površini
-moguće da je T.16 na ili oko granice klizišta

-na području klizišta se može razlikovati različite generacije klizišta, „zona najaktivnijeg klizišta 2014“ je markirana nedostatkom raslinja



T.17

Kr Im 14

Photo- 193/449→195/451





-točka u tijelu klizišta, kada se okrenemo čelu klizišta (južno -kućama ,cesti), imamo dojam da stojimo u stabilnom jezičcu u tijelu klizišta koje se nije pokrenulo, a lijevo i desno se nalaze udubine u kojima je naguran koluvijalni materijal obrastao niskim raslinjem

-Photo 196,197





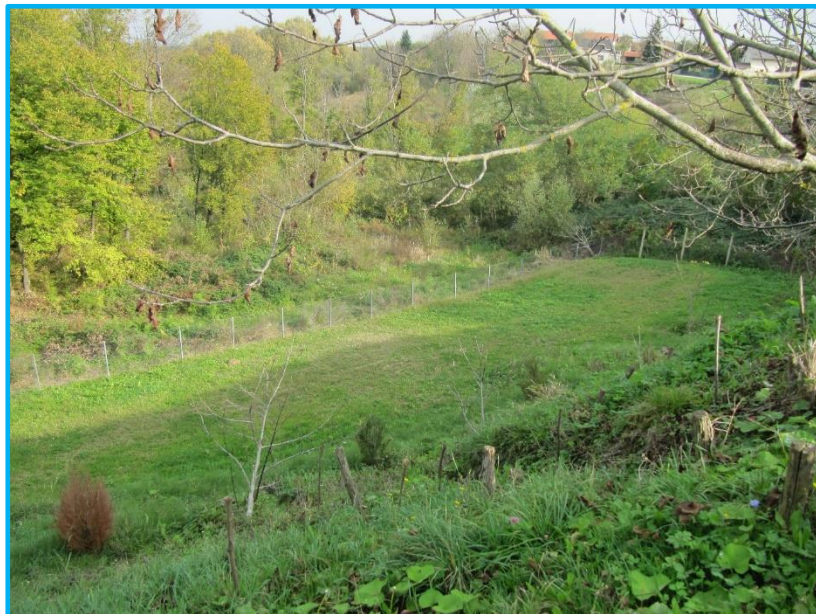
T.18

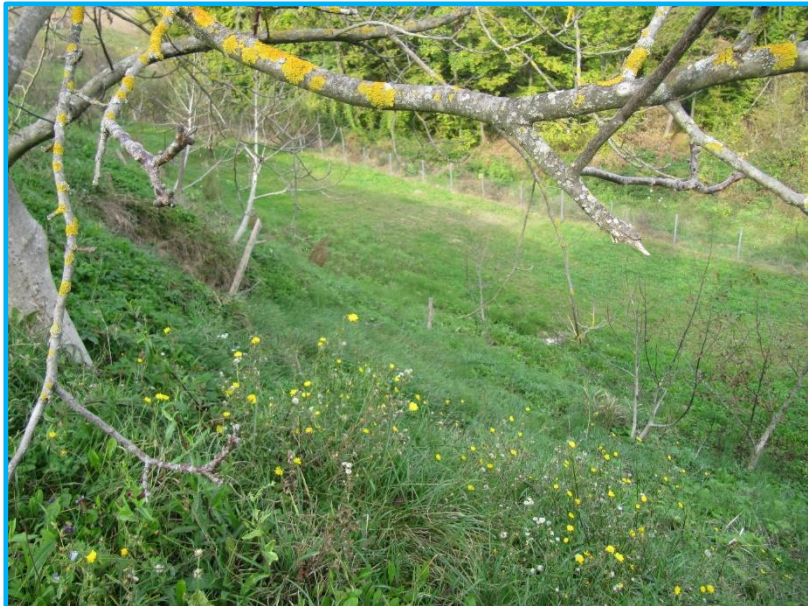
Photo 198, 199, 200, 201, 202, 203

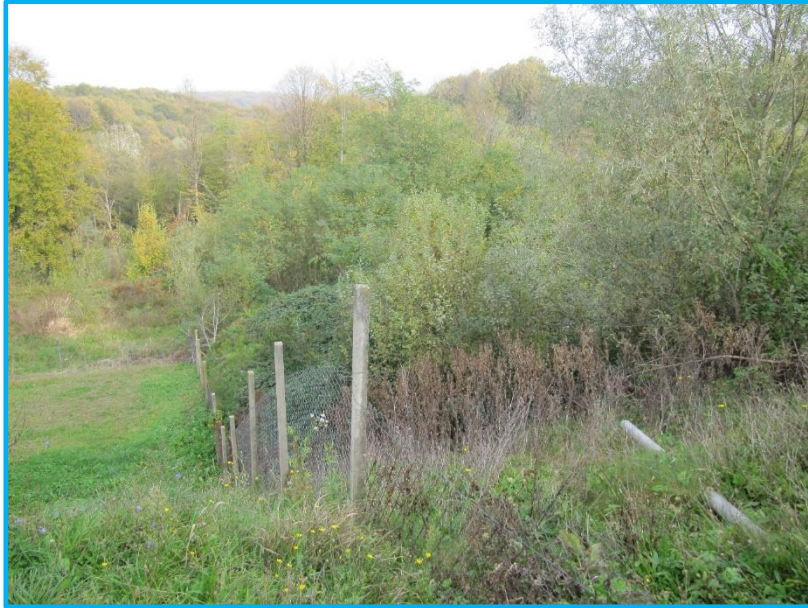
-rub obrađene padine/strmi odsječak na terenu koji je nestabilan sa manjim/plićim lokalnim klizištima

GPS Kr Im 15 → uz ogradu

Kr Im 16 → T 18-padina







04.11.2019

Željko Miklin, Luka Miklin



- Pregledom terena najprije je zamijećeno da je dolazna cesta presvučena novim asfaltom, zavoj je stabiliziran kamenom „šakancom“, a podzemna longitudinalna vodovodna komunikacija sanirana rastezljivim priključkom, i ostavljena nadzemno da se može kontrolirati



-vidljiva su ispupčenja na klizištu i vjetroizvala velikih stabala, veoma je često najahivanje materijala na stopu klizišta, spuštajući se prema nožici klizišta vide se i vlačne pukotine s vrlo velikim zijevom širine od oko 1-1,2 m.

-Često su prisutne pukotine sa skokom od 0.5 m do 1 m, pukotine su zapunjene vodom koja se kasnije drenira u nizvodnom izvoru.



-U nožici klizišta je izvor potoka Koravec koji odvodi otpadne vode prema Savi. U samo izvorište i neposrednu blizinu dreniraju se sve vode s područja klizišta. Korito potoka Koravec oštrog je V oblika tvori „lonce“ kovitlace i nastavlja prema krajnjem recipijentu rijeci Savi.



-pogled na tijelo i čelo (kuće) klizišta



-srušeni / proklizali zid i odvodni kanal koji bi trebao odvesti oborinsku vodu iz čela klizišta

11.03.2020

-Laszlo Podolszki, Luka Miklin

D1-pukotina -do 5 cm

Photo 1, 219,220 (nasip)



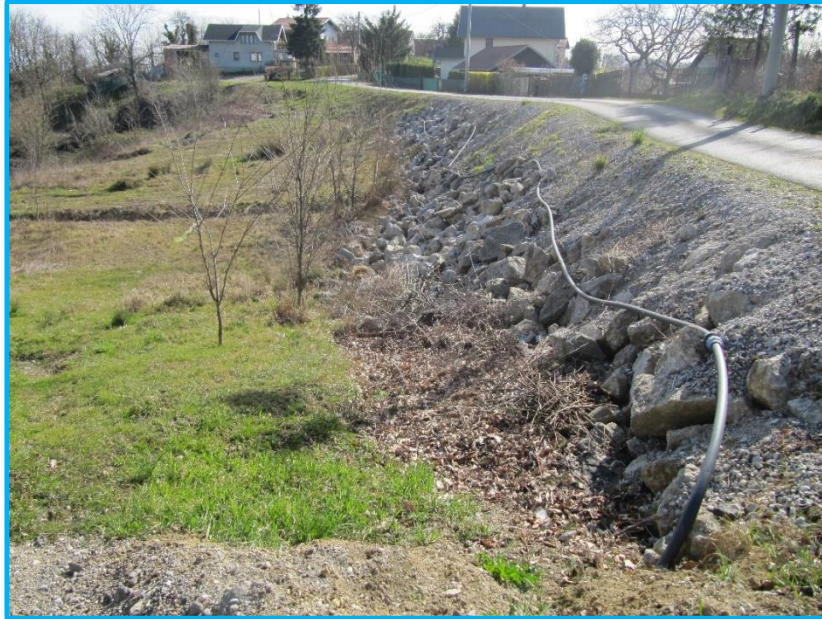


Photo-2,3 i 221 (pristup u dvorište)

-novobetoniran s povremenim odvodom



T.20

Kuća K3-male deformacije na stražnjem dijelu kuće koje su dovele do ljuštenja fasade

Photo- 222, 223,224, 4 (odvod iz kuće)



-Photo 5,6, 225,226,227-stražnji dio kuće -novonastale pukotine na betonskim pločama dvorišta, pukotine do 4 cm



D3 -7,228,229- oko 2,5 cm -ponovno mjerenje



Photo 230,231,8 –do 3 cm novo nastale pukotine uz šaht

T.13,T.20 → stražnje dvorište K3 na terenu se vide manje slijeganja u stražnjem dijelu dvorišta koja su izazvala centimetarske pomake i pukotine

Photo 232-oštećenja na fasadi



Photo 233,9-pogled iza kuće, gornji dio klizišta



D2 – photo -234,235,236



-odnosi procijenjenih dužina (vidi skicu iz 2019.) se čine ne promijenjeni, ako je došlo do pomaka vjv. je to u centimetarskom mjerilu.

T.21

photo-237,238,239



-područje niže od nasipanog dijela na cesti, nakon „zaravnjenog“ dijela, slijedi područje na kojem se vide deformacije, nastajanje nove vlačne pukotine? S vodom stajaćicom potencijalno mjesto novog sloma



Photo 240 kuća D4

Photo 241,242,10 – iza kuće- dojam je da je došlo do slijeganja oko 0,5 m i napuknuća betonske ploče (provjeriti na starim fotografijama)



photo 243-provjera platoa



D4a – mjerena točka n kutu kuće

photo-244,245,11 → pukotina 5 cm



D4b – mjerena točka na kutu kuće

-Photo-248,249- pukotina 6 cm



D4c- nova mjerna točka kod vrata -pukotina 5,5 cm

-Photo 246,247,12



D4d- nova mjerna točka na stepenicama-pukotina 6 cm

-Photo 250,251

Photo 13. -D4d i D4b



Unatoč blagoj zimi slijeganja (centimetarska) na terenu su vidljiva i moguće ih je izmjeriti → područje gornjeg dijela klizišta i dalje aktivno

T.22

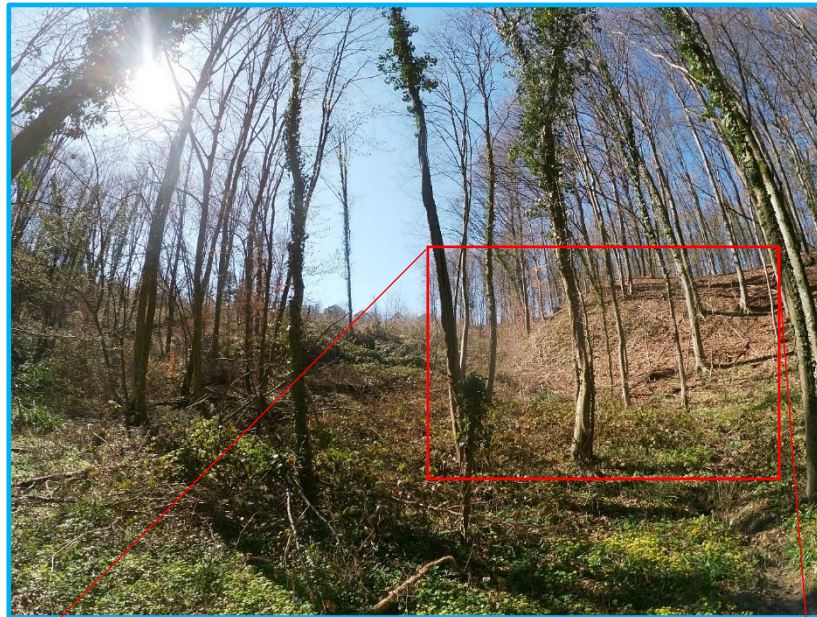
-Photo 252,253

-prirodna udolina → ljevkasto udubljenje na terenu koji se nastavlja u nižim dijelovima padine, s gornjeg dijela padine, koluvijalni materijal se erodira i transportira niz dolinu (kiša, povremeni tokovi), dojam na terenu – površinski sloj u laganom pokretu/puzanju
-mjestimično vidljivi-metarski odsječci-terase



T.23

-vjerojatno nožica klizišta → photo 254,255,14,15- ljevasto udubljenje strmih bokova koji su stabilni



Gledajuću uzbrdo prema kućama vidljiv je višemetarski (3 m) nanos materijala, vjv. koluvijalni materijal s višeg dijela brda, čija erozija se nastavlja niz dolinu

-nakon njega je plato blagog pada-bлаго zaravnjeni plato (30-ak m), nakon toga se ponovo vide terasasti odsječci na terenu iz nožišta klizišta je formiran povremeni vodotok-voda teče

T.24, T.12

-Photo 256-262-lokacija srušenog pomoćnog objekta-prohodan teren od T.23-T.24 od nožice kroz tijelo, tijelo je obraslo, deformirano i vlažno





-Photo 263- prokopan kanal u tijelu - kroz kanal se cijedi voda



11.7.2020

Luka Miklin



Fotografija klizišta s dronom DJI Mavic Pro 1



-mjenjem pukotina nije zabilježeno povećanje zijeva → nema većih pomaka

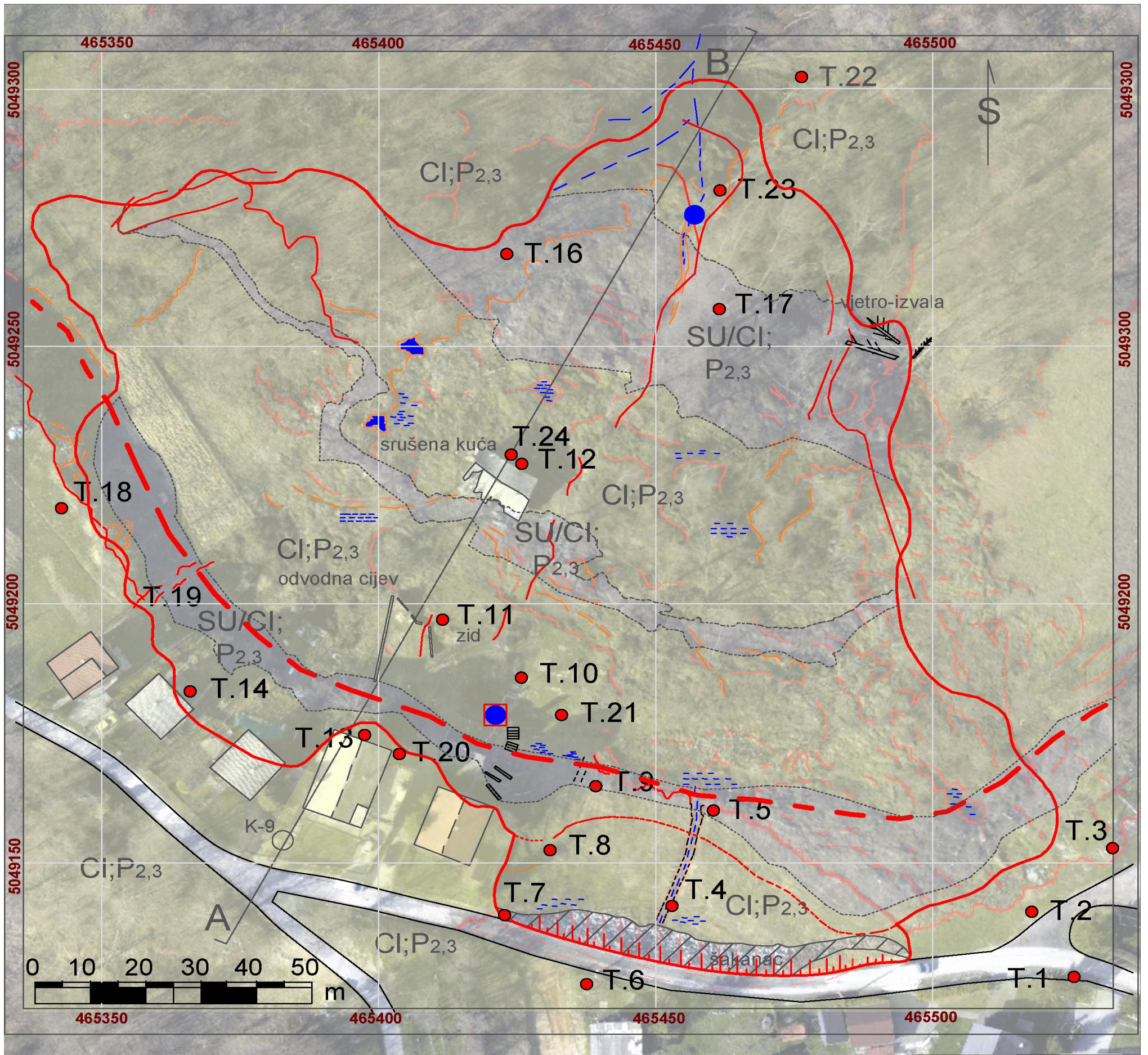


-dron DJI Mavic Pro 1



-Fotografija Vukomeričkih gorica (iz Kravarskog) s pogledom prema Velikoj Gorici

Prilog 3. Inženjerskogeološka karta klizišta Gajevo



LEGENDA:

INŽENJERSKOGEOLOŠKE OZNAKE

- Cl;P_{2,3}** Gline, pijesci, šljunci. Gornji pliocen
- SU/Cl; P_{2,3}** Pijesci, zaglinjeni pijesci, šljunci. Gornji pliocen
- Rasjed pretpostavljeni
- Inženjerskogeološka granica
- Zaštita klizne plohe "šakanac"
- Obris klizišta

- Pukotine I reda
- Pukotine II reda
- T.1 Točke promatranja

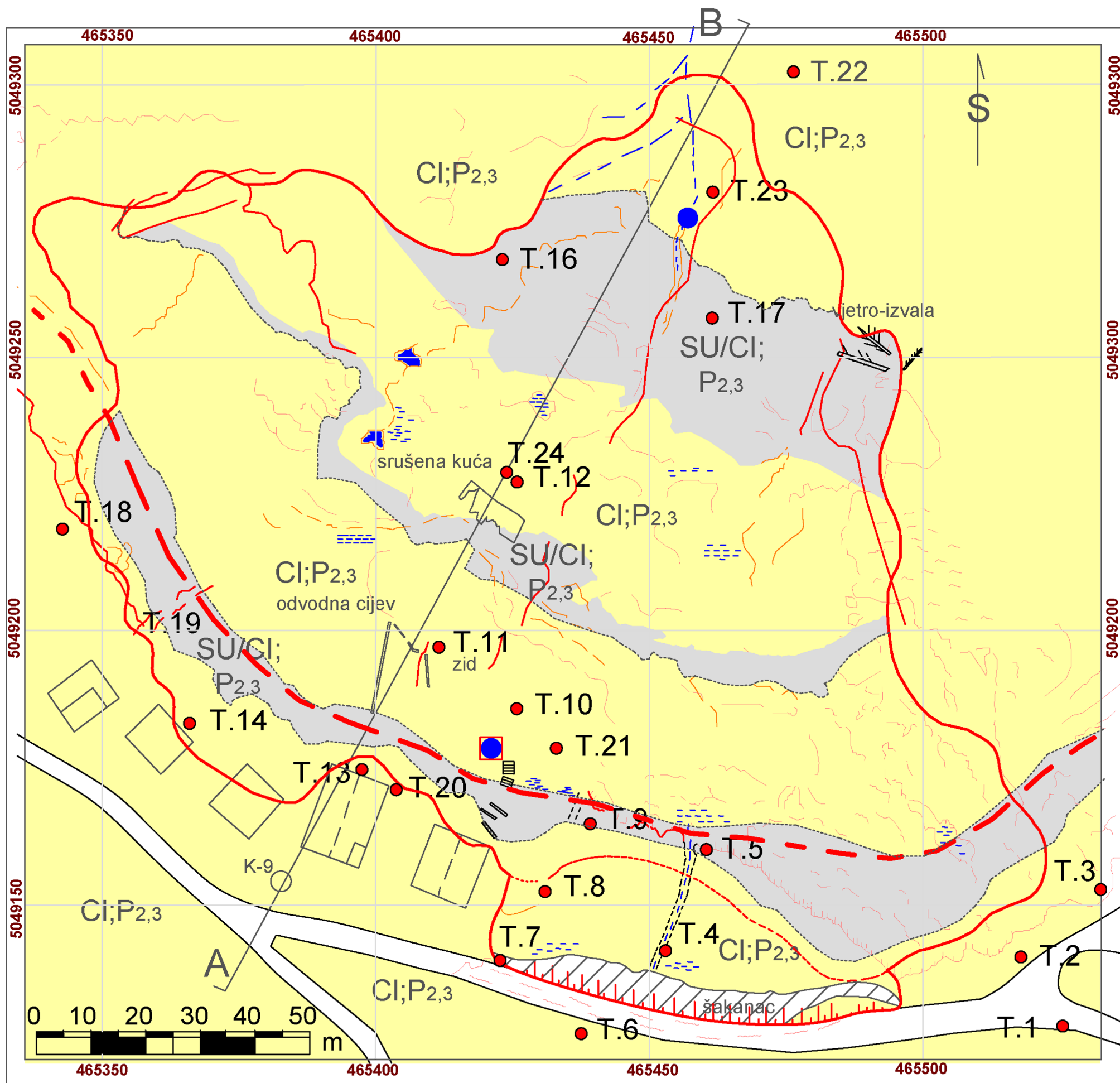
HIDROGEOLOŠKE OZNAKE

- Vodeni tok
- Zamočvarenje, lokva
- Izvor, kaptirani izv.

OSTALE OZNAKE







- Kuće, nastambe
- Cesta
- Profil AB
- K-9 Bušotina K-9 aplicirana
- Odvodna cijev, stepenice




M 1:770






LEGENDA:

INŽENJERSKOGEOLOŠKE OZNAKE

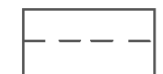
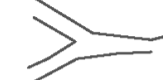



-  **CI;P_{2,3}** Gline, pijesci, šljunci. Gornji pliocen
-  **SU/CI;P_{2,3}** Pijesci, zaglinjeni pijesci, šljunci. Gornji pliocen
-  Rasjed pretpostavljeni
-  Inženjerskogeološka granica
-  Zaštita klizne plohe "šakanac"
-  Obris klizišta

-  Pukotine I reda
-  Pukotine II reda
-  **T.1** Točke promatranja

HIDROGEOLOŠKE OZNAKE

-  Vodeni tok
-  Zamočvarenje, lokva
-  Izvor, kaptirani izv.

OSTALE OZNAKE

-  Kuće, nastambe
-  Cesta
-  Profil AB
-  Bušotina K-9 aplicirana
-  Odvodna cijev, stepenice

M 1:770

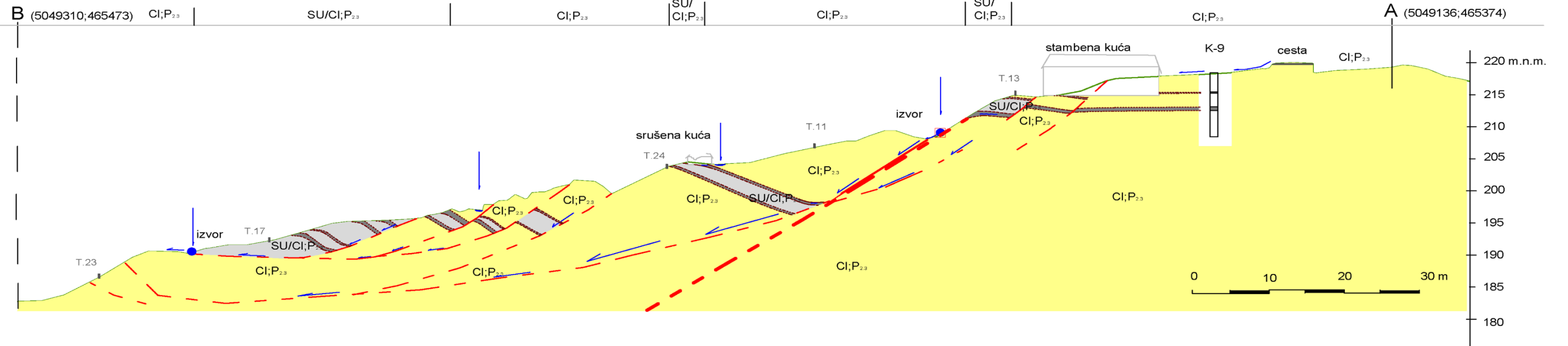
Prilog 4. Inženjerskogeološki profil klizišta Gajevo

PROGNOZNI INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL KLIZIŠTA GAJEVO

AKUMULACIJSKI DIO KLIZIŠTA


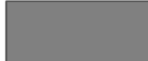




ZONA USJEDANJA KLIZIŠTA

← 205°



LEGENDA:

INŽENJERSKOGEOLOŠKE OZNAKE

	CI;P _{2,3}	Gline, pijesci, šljunci, Gornji pliocen
	SU/CI;P _{2,3}	Pijesci, zaglinjeni pijesci, Gornji pliocen
	SU/CI;P _{2,3}	Mješavina, pijesci, gline organsko trunje. Gornji pliocen
		Rasjed pretpostavljeni
		Pukotine
		Klizna ploha



T.24

Inženjerskogeološka
granica

Točka promatranja

HIDROGEOLOŠKE OZNAKE



Voda kretanje vode,
podzemna voda

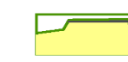
Zamočvarenje, lokva

Izvor, primitivno kaptirani

OSTALE OZNAKE



Kuća, srušena kuća



Cesta

A/B

Profil \overline{AB}



Bušotina K-9 (aplicirano)

M 1:600/600