

Granulometrijska heterogenost pliokvartarnih naslaga kao važan čimbenik aktivacije klizišta

Brcković, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:446638>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**GRANULOMETRIJSKA HETEROGENOST PLIOKVARTARNIH NASLAGA
KAO VAŽAN ČIMBENIK AKTIVACIJE KLIZIŠTA**

Diplomski rad

Antonio Brcković
GI409

Zagreb, 2022



KLASA: 602-04/21-01/248
URBROJ: 251-70-15-21-2
U Zagrebu, 25. 1. 2022.

Antonio Brcković, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/248, URBROJ: 251-70-15-21-1 od 18. 10. 2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

GRANULOMETRIJSKA HETEROGENOST PLIOKVARTARNIH NASLAGA KAO VAŽAN ČIMBENIK AKTIVACIJE KLIZIŠTA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Dario Perković nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr. sc. Vlatko Gulam.

Mentor:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dario Perković

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Komentor:

(titula, ime i prezime)

Dr. sc. Vlatko Gulam

Prodekan za nastavu i studente:

(titula, ime i prezime)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

Zahvale:

Dr. sc. Vlatku Gulamu,

Na vodstvu, pomoći, pozitivnosti, razumijevanju, strpljenju i savjetima tijekom izrade ovog rada

Dr. sc. Dariu Perkoviću,

Na vodstvu, pomoći, razumijevanju, strpljenju i savjetima tijekom izrade ovog rada

Nini Hećej, mag. ing. geol.,

Na pomoći, razumijevanju, strpljenju i savjetima tijekom izrade ovog rada

Ivanu Markotiću, mag. ing. geol.,

Na pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada

Nedeljku Staniću i svim ostalim zaposlenicima HGI-ja,

Na tehničkoj podršci, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada

Mojoj obitelji i prijateljima,

Na bezuvjetnoj potpori i podršci

**GRANULOMETRIJSKA HETEROGENOST PLIOKVARTARNIH NASLAGA KAO
VAŽAN ČIMBENIK AKTIVACIJE KLIZIŠTA**

ANTONIO BRCKOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb
Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, 10000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada je utvrditi utjecaj granulometrije na raspodjelu i aktivaciju klizišta. U okviru ovog diplomskog rada na istraživanom području Galgova provedena su daljinska – LiDAR i RGB snimke, terenska i laboratorijska istraživanja. Prikupljeni podatci analizirani su i prikazani pomoću *ArcGIS* softvera. Podatci dobiveni daljinskim istraživanjima korišteni su za dobivanje katastra klizišta i karata gustoće klizišta, energije reljefa i nagiba padina. Terenskim i laboratorijskim istraživanjima dobiveni su podatci o granulometriji i litologiji istraživanog područja.

Ključne riječi : granulometrijski sastav, LiDAR, *ArcGIS*, klizišta, pliokvartarne naslage, katastar klizišta, gustoća klizišta, energija reljefa.

Diplomski rad sadrži: 52 stranice, 31 sliku, i 39 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Arhiva Hrvatskog geološkog instituta

Voditelj: Dr. sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Vlatko Gulam, viši znanstveni suradnik HGI
Ocjenjivači: Dr. sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Uroš Barudžija, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Bojan Matoš, docent RGNF

Datum obrane: 11. veljače 2022.

**GRANULOMETRIC HETEROGENEITY OF PLIOQUARTAR DEPOSITS AS AN
IMPORTANT FACTOR OF LANDSLIDE ACTIVATION**

ANTONIO BRCKOVIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb
Croatian Geological Survey, Sachsova 2, 10000 Zagreb

Abstract

The aim of this Master Thesis is to determine the influence of granulometry on the distribution and activation of landslides. Within this Thesis, remote - LiDAR and RGB recordings, field and laboratory investigations were conducted in the research area of Galgovo. The collected data was analysed and displayed using *ArcGIS* software. Data obtained from remote sensing was used to obtain the landslide inventory and maps of landslide density, relief energy and slope. Field and laboratory investigation was used to provide data on granulometry and lithology of the study area.

Keywords: Granulometric composition, LiDAR, ArcGIS, landslides, Plio-Quaternary deposits, landslide inventory, landslide density, relief energy.

Thesis contains: 52 pages, 31 figures, and 39 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Repository of the Croatian Geological Survey

Supervisors: PhD Dario Perković, Associate Professor
PhD Vlatko Gulam, Senior Research Associate

Reviewers: PhD Dario Perković, Associate Professor
PhD Uroš Barudžija, Associate Professor
PhD Bojan Matoš, Associate Professor

Date of defense: February 11, 2022.

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	PREGLED ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	3
2.1	Osnovne značajke poligona istraživanja	3
2.2	Klima.....	4
2.2.1	Pokrov zemljišta.....	6
2.3	Geomorfologija	7
2.4	Litologija	9
3	METODOLOGIJA.....	11
3.1	Daljinska istraživanja	11
3.2	LiDAR.....	12
3.2.1	Digitalni elevacijski modeli.....	14
3.2.2	Hillshade i slope grid.....	15
3.3	Ortofotografija.....	16
3.4	Katastar klizišta	16
3.5	Terenski radovi.....	22
3.6	Laboratorij	24
3.7	GIS analize	27
3.7.1	Analiza energije reljefa	27
3.7.2	Analiza nagiba.....	28
3.7.3	Analiza gustoće klizišta.....	28
4	REZULTATI.....	29
4.1	GIS rezultati	29
4.1.1	Gustoća klizišta	29
4.1.2	Energija reljefa	31
4.1.3	Analiza nagiba.....	32
4.1.4	Prostorna analiza katastra klizišta	34
4.2	Laboratorijski rezultati	35
4.2.1	Sijanje.....	37
4.2.2	Laserski sedigraf	39
5	DISKUSIJA.....	41
6	ZAKLJUČAK	45
7	LITERATURA.....	47

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Karta istraživanog područja (Izvor podloge:DGU, 2022)	3
Slika 2-2 Poligoni istraživanja	4
Slika 2-3 Srednja godišnja temperatura zraka (Izvor:Perčec Tadić et al., 2006)	5
Slika 2-4 Pokrov poligona A, B i C na podlozi snimljenoj RGB senzorom	6
Slika 2-5 Visina istraživanih poligona	7
Slika 2-6 Raspodjela nagiba i visine terena.....	8
Slika 2-7 Nagib terena izražen u stupnjevima.....	8
Slika 2-8 Isječak iz OGK list Zagreb (Šikić et al., 1972).....	10
Slika 3-1 (a) Zračni LiDAR princip i komponente sustava i (b) diskretno otkrivanje višestrukih odjeka (Izvor:Höfle & Rutzinger, 2011)	12
Slika 3-2 LiDAR odjeci u oblacima točaka kategoriziranim prema cilju (a) ili redoslijedu povratka odjeka (b) (Izvor :Melin et al., 2017)	13
Slika 3-3 Usporedba ortofotografije i DEM.....	14
Slika 3-4 Razlika između DSM-a i DTM-a (Izvor:CDEMA, 2022)	15
Slika 3-5 Prikaz visine Sunca (Izvor:ESRI, 2022)	15
Slika 3-6 Prikaz broja prirodnih katastrofa u periodu 1998 – 2017 (Izvor :UNISDR, 2022)	17
Slika 3-7 Prikaz šteta izazvanih prirodnim katastrofama u periodu 1998 – 2017 (Izvor :UNISDR, 2022)	17
Slika 3-8 Prikazi terena korišteni pri izradi katastra klizišta	22
Slika 3-9 Terensko uzorkovanje.....	24
Slika 3-10 Mokro sijanje frakcija manjih od 500 mikrona	25
Slika 3-11 Rad na laserskom sedigrafu Shimadzu-SALD-2300	27
Slika 4-1 Gustoća klizišta istraživanog područja izražena u postocima površine klizišta	29
Slika 4-2 Granica između podpoligona C1 i C2.....	30
Slika 4-3 Energija reljefa ($r=30m$) istraživanog područja.....	31

Slika 4-4 Statistička analiza energije reljefa	32
Slika 4-5 Karta nagiba istraživanih slivova.....	33
Slika 4-6 Klasifikacija nagiba prema Sikdar et al. (2004)	33
Slika 4-7 Klizišta na istraživanom području	34
Slika 4-8 Raspodjela sitnozrnatih i krupnozrnatih frakcija prema ASTM klasifikaciji	35
Slika 4-9 Raspodjela sitnozrnatih i krupnozrnatih frakcija s granicama većim ili manjim od 30% frakcije veće od 0,5 mm	36
Slika 4-10 Primjer dobivenih rezultata iz GradiStata.....	40
Slika 5-1 Usporedba prosječne ER i udjela klizišta unutar sliva	42
Slika 5-2 Karakteristični modeli za proučavano područje; MODEL A - Vrlo heterogena litologija od sitnozrnate do krupnozrne frakcije; MODEL B - Homogena krupnozrnata (pijesak i šljunak s vrlo malo krupnozrnog praha) litologija. (Izvor :Gulam et al., 2022).....	43
Slika 5-3 Jaruge “U“ (lijevo) i “V“oblika (desno)	44

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Količina oborina (mm) na mjernoj stanici Samobor u razdoblju 1984 – 2003 (Preuzeto iz Čmelik et al., 2008)	5
Tablica 4-1 Granulometrijski sastav svih uzoraka	37

1 UVOD

U Republici Hrvatskoj je u 2021. godini prijavljeno 256 klizišta (HGI, 2022) od kojih se neka nalaze u neposrednoj blizini privatnih ili javnih objekata te prometnica. Klizišta mogu uzrokovati velike ljudske, ekonomske i socijalne gubitke te ih je potrebno pomno nadzirati i prema potrebi sanirati. Iz tih je razloga potrebno pomno pratiti sva rizična područja te izraditi kartografske baze podataka klizišta koje bi služile kao podloge za karte prognostičkih karaktera, poput karata: podložnosti, hazarda i rizika (Chacón et al., 2006). Klizanje je pokretanje mase stijena, sitnozrnatog ili krupnozrnatog materijala tla niz kosinu pod utjecajem gravitacije koje nastaje kada posmična naprezanja prekorače posmičnu čvrstoću materijala (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988; Cruden, 1991; Cruden & Varnes, 1996).

Stabilnost padine uvjetovana je ravnotežom faktora stabilnosti. Ako se stabilnost izgubi, postupno ili trenutno, dolazi do sloma padine. Procjena uzroka nestabilnosti korisna je za analizu i ublažavanje opasnosti te za razmatranje uloge klizišta u krajoliku u njegovom razvitku (McColl, 2021). Preduvjeti za pojavu klizanja su uvjeti u podzemlju (npr. značajke stijena i tala), geomorfološki uvjeti i procesi, fizički procesi i antropogeni procesi, dok su inicijatori klizanja fizički procesi (npr. oborine), geomorfološki procesi (npr. erozija u podnožju padine) i antropogeni procesi (npr. zasijecanje padine) (Popescu, 2002). Također, većina današnjih procjena opasnosti od klizanja temelji se na pretpostavci da će se budući pokreti na kosinama vjerojatno pojaviti u uvjetima sličnim onima koji su doveli do prijašnjih klizanja (Varnes, 1984).

Glavni cilj istraživanja ovog diplomskog rada je utvrđivanje utjecaja granulometrijskog sastava tla na pojavu i učestalost klizišta, tj. na stabilnost padina na širem području Galgova. Istraživano područje je prema Osnovnoj geološkoj karti (OGK) list Zagreba (Šikić et al., 1979) izgrađeno od, u granulometrijskom smislu, vrlo heterogenih pliokvartarnih naslaga (Pl,Q). Naime recentna istraživanja provedena na spomenutom području (Gulam et al., 2022) upućuju na potrebu dodatnih istraživanja heterogenosti pliokvartarnog geološkog člana te kvantifikaciju utjecaja te heterogenosti na pojavnost, tj. gustoću klizišta. Gustoćom klizišta se smatra udio površine klizišta u jediničnoj površini kružnice zadanog radijusa i izražena je u postocima.

Kako bi se dosegao postavljeni cilj, u radu su korišteni podaci dobiveni daljinskim istraživanjima (LiDAR podatci) prikupljeni u sklopu *safEarth* projekta sufinanciranog od strane ERDF i IPA II fondova Europske Unije. Spomenuti projekt proveden je u sklopu *Interreg IPA*– Programa prekogranične suradnje Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora (*eng. Interreg IPA – Cross-border Cooperation Programme Croatia – Bosnia and Herzegovina – Montenegro 2014-2020*), u kojem je vodeći partner bio Hrvatski geološki institut.

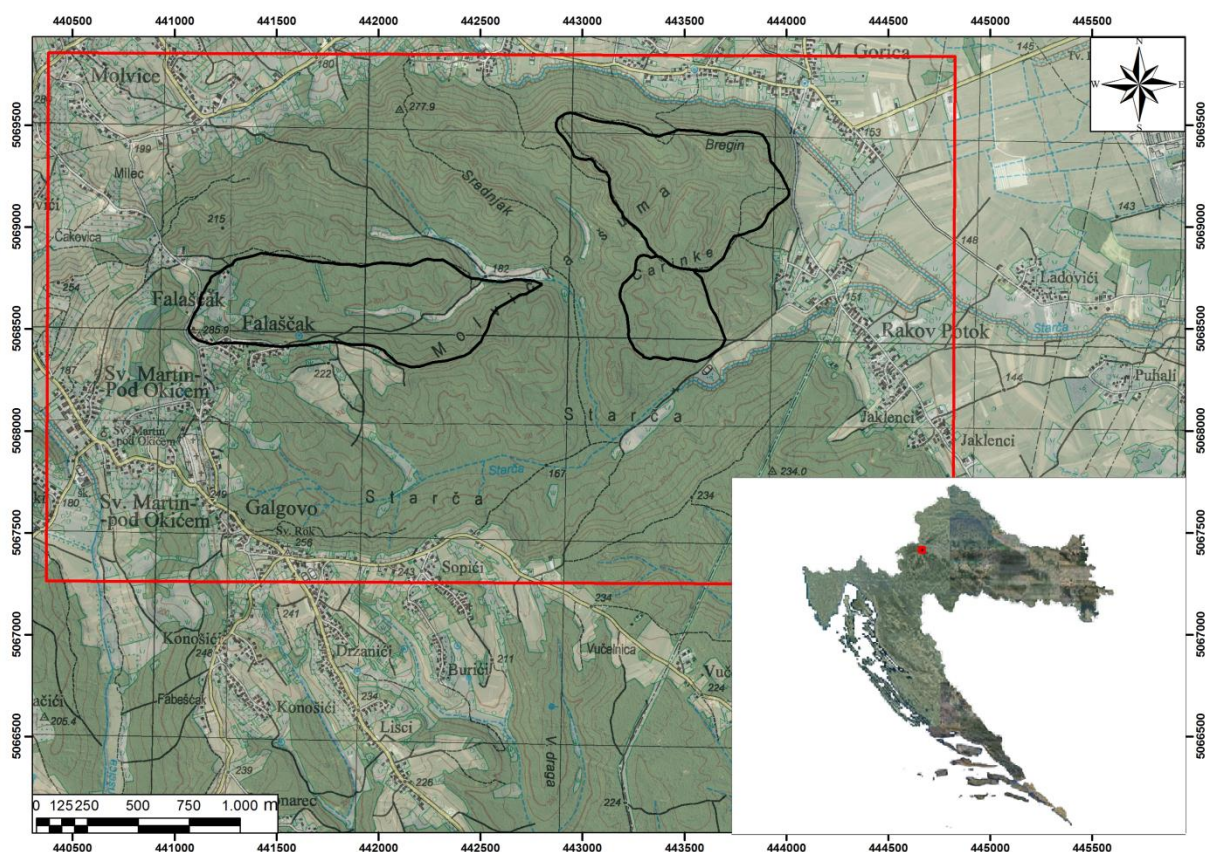
Također, za potrebe izrade ovog rada provedena su opsežna terenska i laboratorijska istraživanja koja su uključivala prikupljanje uzorka materijala tla te izvođenje granulometrijskih analiza na ukupno 85 uzoraka. Sve laboratorijske analize u ovom radu izvršene su u laboratorijima Hrvatskog geološkog instituta.

2 PREGLED ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1 Osnovne značajke poligona istraživanja

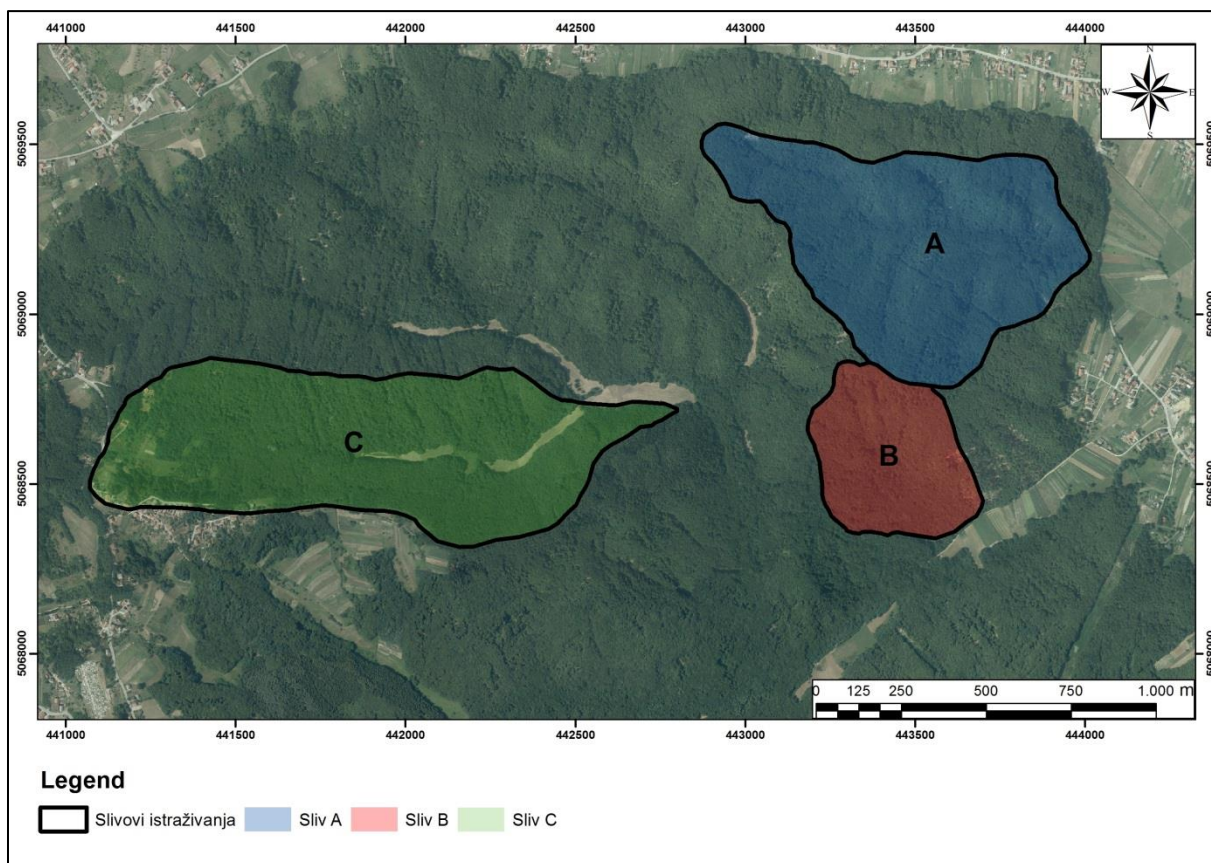
Istraživano područje smješteno je u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske te administrativno pripada Gradu Samoboru. Nalazi se oko 20 km zapadno od Zagreba te je omeđeno Galgovom na jugozapadu, Molvicama na sjeveru i Malom Goricom na istoku (Slika 2-1).

Administrativno područje Samobora prostire se na području dvije subgeomorfološke regije: Samoborska zavalu s nizinom Save i gorskog masiva Žumberačke gore u kojoj se nalazi i istraživano područje (Buzjak et al., 2011).



Slika 2-1 Karta istraživanog područja (Izvor podloge: DGU, 2022)

Istraživano je područje 3 sliva, koja su u ovom radu označena s A, B i C (slika 2-2). Sva terenska istraživanja, daljinske i GIS analize te laboratorijska istraživanja izvedena su za prikazane slivove. Sliv A označen je plavom bojom i zauzima 499.835,58 m². Sliv B označen je crvenom bojom i zauzima 191.861,61 m². Sliv C označen je zelenom bojom i zauzima 617.393,18 m².



Slika 2-2 Poligoni istraživanja

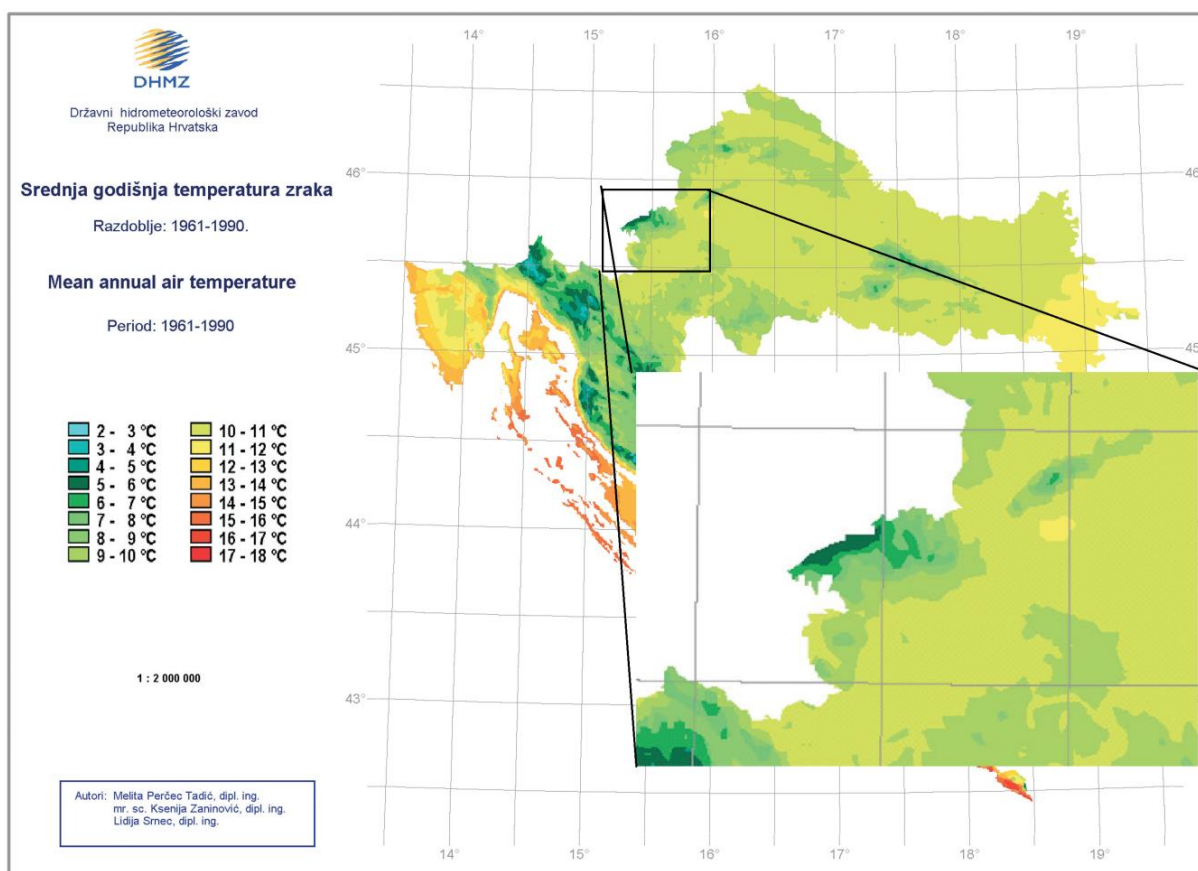
2.2 Klima

Područje Galgova pripada umjerenoj toploj i kišnoj kontinentalnoj klimi. U kontinentalnom području Hrvatske godišnja količina oborine smanjuje se od zapada prema istoku jer vlažne zračne mase koje dolaze s jugozapada i zapada izgube vlagu dok na svojem putu do tog područja. Vlažne zračne mase koje dolaze sa sjeveroistoka, iz unutrašnjosti, suhe su pa ne daju obilne oborine (Pleško et al., 1984). Iz tablice 2-1 je vidljivo da godišnja količina oborina varira od 728,4 do 1190,4 mm, pri čemu prosječna godišnja količina iznosi 1048,4 mm. Prosječna mjesečna količina oborina varira od 49,9 mm (mjesec veljača) do 114,2 mm (mjesec rujan) (Čmelik et al., 2008).

Tablica 2-1 Količina oborina (mm) na mjernoj stanici Samobor u razdoblju 1984 – 2003 (Preuzeto iz Čmelik et al., 2008)

Mjesto		Mjeseci												God. suma
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Samobor	Sred.	58,0	49,9	58,2	78,9	85,9	113,4	101,4	108,3	114,2	99,4	102,6	76,6	1048,4
	Min.	3,8	2,0	8,4	35,7	33,0	36,8	38,6	10,1	33,5	6,7	28,5	15,4	728,4
	Max.	179,4	128,8	142,7	170,1	157,4	232,3	214,1	238,0	203,9	224,9	194,5	138,8	1190,4

Temperatura zraka je jedan od osnovnih klimatskih elemenata pa je poznavanje temperaturnog režima i prostorne razdiobe temperature zraka osnova za poznavanje klimatskih karakteristika nekog područja. S obzirom na podatke prikupljene s meteorološke postaje Samobor, srednja godišnja temperatura (Slika 2-3) iznosi 10,9 °C (Perčec Tadić et al., 2006). Najhladniji mjesec je siječanj s prosječnom temperaturom 0,5 °C, a najtopliji mjesec je srpanj s prosječnom temperaturom 21,3 °C (Čmelik et al., 2008).

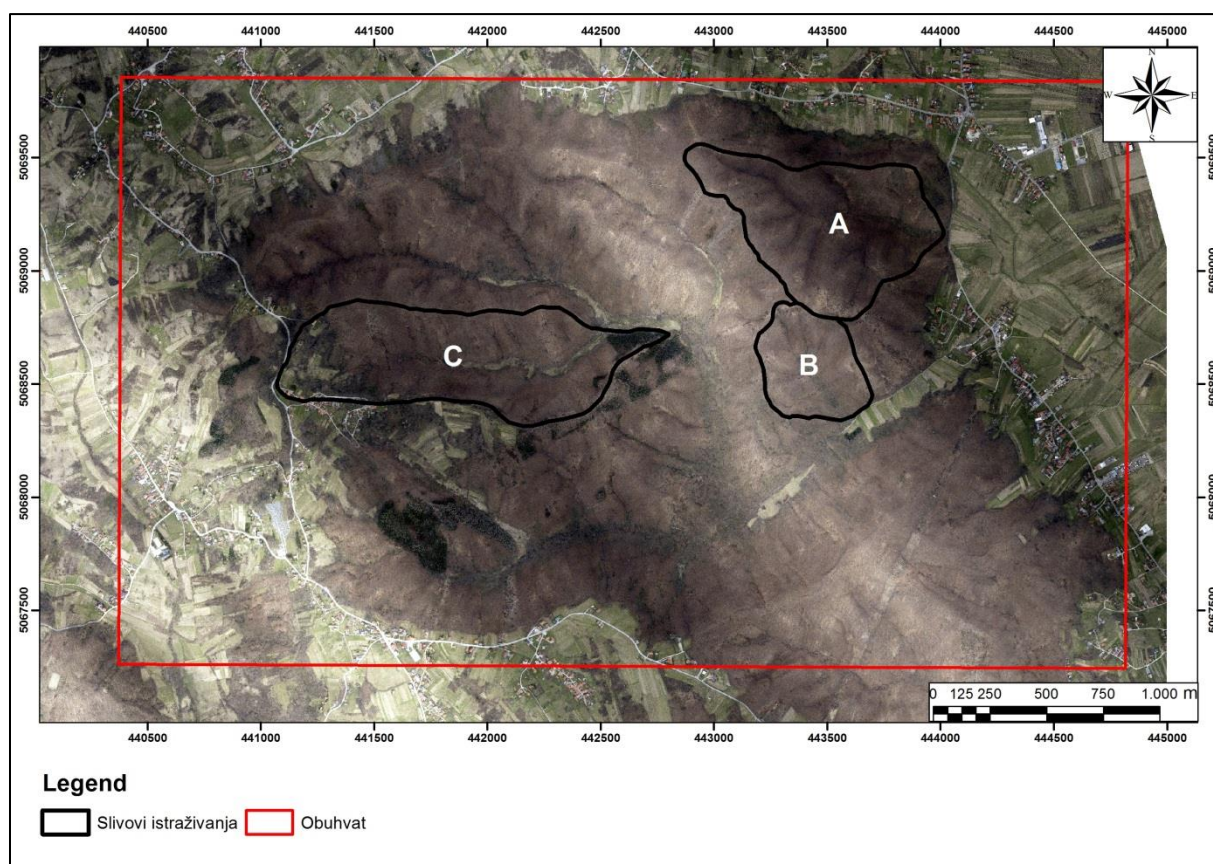


Slika 2-3 Srednja godišnja temperatura zraka (Izvor:Perčec Tadić et al., 2006)

2.2.1 Pokrov zemljišta

Na proučavanom području postoje 3 glavne vrste pokrova zemljišta prema CORINE nomenklaturi (Kosztra et al., 2017): šume, poljoprivredna zemljišta i umjetne površine. Umjetne površine sadrže ukupno 10 klasa klasifikacije u CORINE *Land Cover* programu koje se odnose na stambenu, industrijsku, prometnu i poslovnu funkciju. Istraživano područje pretežno je poljoprivredno seosko područje niske gospodarske razvijenosti u kojemu je pokrov šumske vegetacije zastupljen na najvećem dijelu površine. Dominiraju bjelogorične šume, no prisutne su i manje šume crnogorice. Poljoprivredne površine su druge po zastupljenosti, a najmanju površinu zauzimaju umjetne površine poput naselja Galgovo, Rakov Potok, Falaščak i Molvice. Slika 2-4 prikazuje pokrov istraživanog područja.

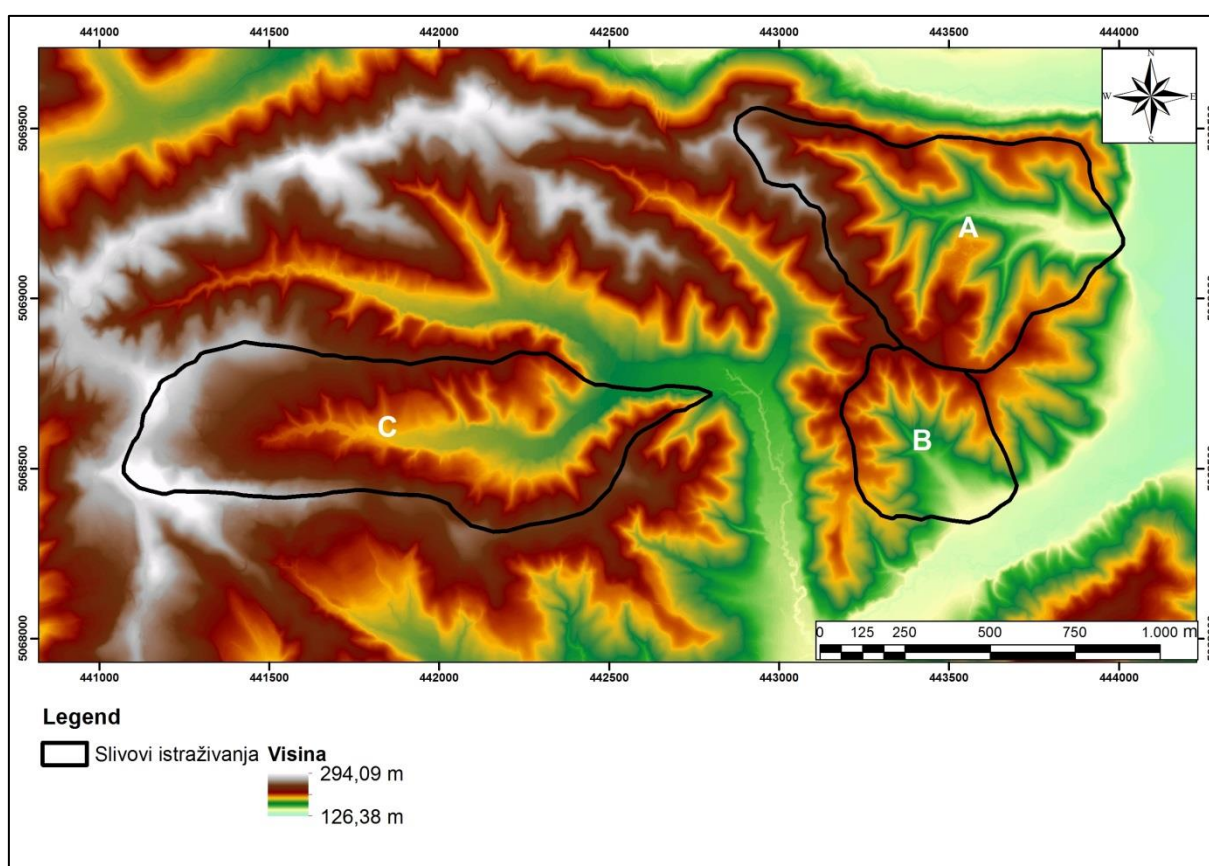
Položaj istraživanih poligona je odabran upravo zbog činjenice da je ovo područje pokriveno šumama te je na taj način jedan od utjecajnih faktora na moguću aktivaciju klizišta isključen.



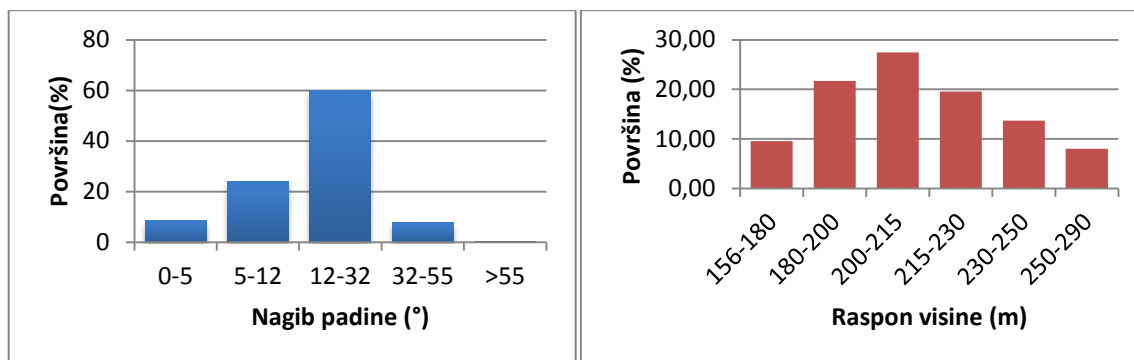
Slika 2-4 Pokrov poligona A, B i C na podlozi snimljenoj RGB senzorom

2.3 Geomorfologija

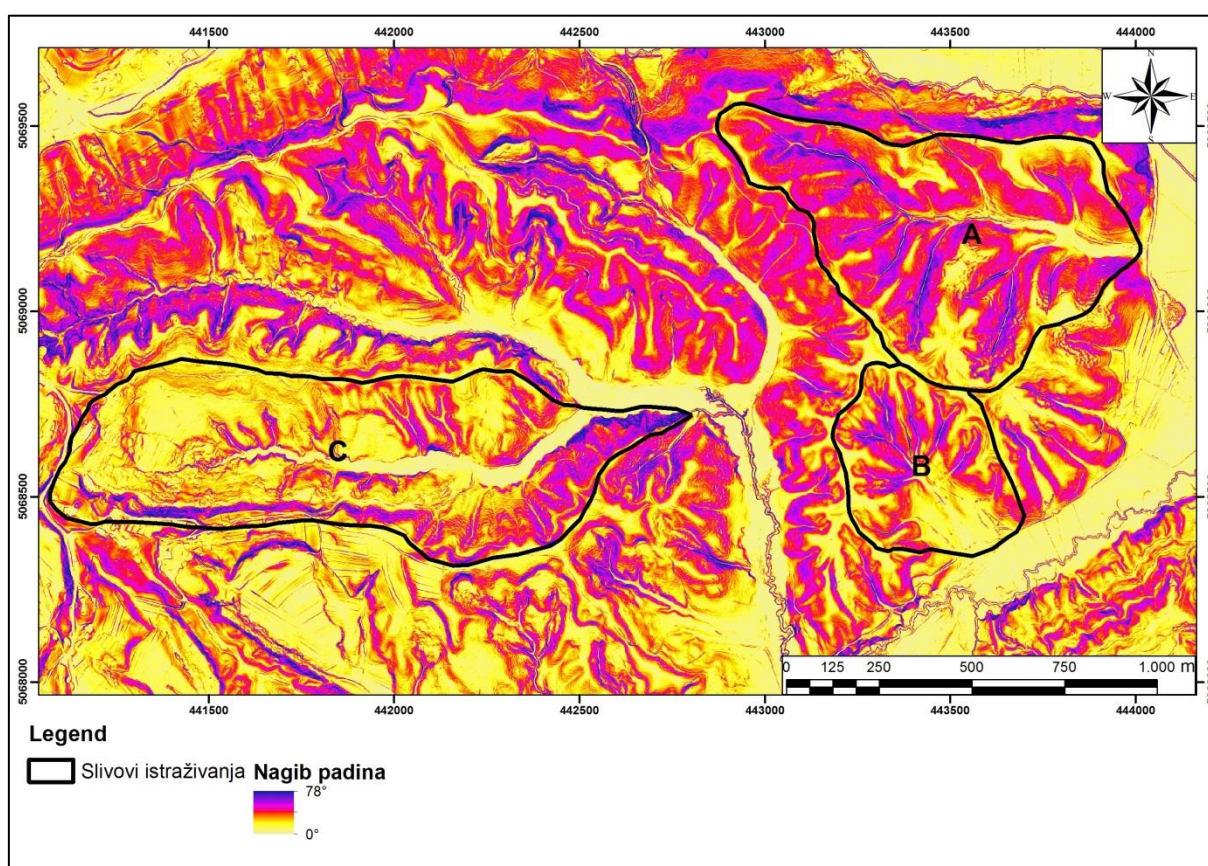
Na slici 2-5 prikazana je karta nadmorskih visina istraživanog područja izrađena na temelju digitalnog modela reljefa (DMR) rezolucije 0,5 x 0,5 m (Izvor : HGI). Na proučavanom području dominiraju brežuljci i gorje te je iz prikaza vidljivo da je raspon visina 156 – 290 m. Prikazani su histogrami učestalosti kutova nagiba padina nadmorskih visina (Slika 2-6) te karta nagiba padina (Slika 2-7). Iz histograma je vidljivo da je na području slivova A, B i C prisutno 8,35% ravnica i blago nagnutog terena (0° - 5°), 24,11% nagnutih terena (5° - 12°), 59,76% jako nagnutih terena (12° - 32°), 7,75% vrlo strmog terena (32° - 55°) i 0,03% terena su strmci i litice ($>55^{\circ}$) (Podjela terena na kategorije po Demek, 1972).



Slika 2-5 Visina istraživanih poligona



Slika 2-6 Raspodjela nagiba i visine terena



Slika 2-7 Nagib terena izražen u stupnjevima

Administrativno područje Samobora s obzirom na hipsometrijske značajke dijeli se na dvije cjeline: nizinsku koja obuhvaća dijelove reljefa do 200 m nadmorske visine i gorsku s nadmorskim visinama od 200 m n.m. do 860 m n.m. Nizinski predio obuhvaća Samoborsku zavalu sa zaravnjenim područjem nagiba padina do maksimalno 3° koja je ispunjena nanosima rijeke i njenih pritoka iz Samoborskog gorja. Jasna granica ovog

područja sa Samoborskim gorjem obilježena je naglim prijelazom u hipsometrijski više područje s nadmorskim visinama 200-300 m n.m. (Buzjak et al., 2011). Iako je poznato orogenetsko djelovanje kroz starija razdoblja geološke prošlosti, promjene bitne za oblikovanje današnjeg reljefa događale su se u neogenu i u kvartaru. Intenzitetu promjena u recentnom oblikovanju reljefa pridonijela su neotektonska izdizanja čija vrijednost lokalno prelazi i 200 m (Prelogović, 1969).

2.4 Litologija

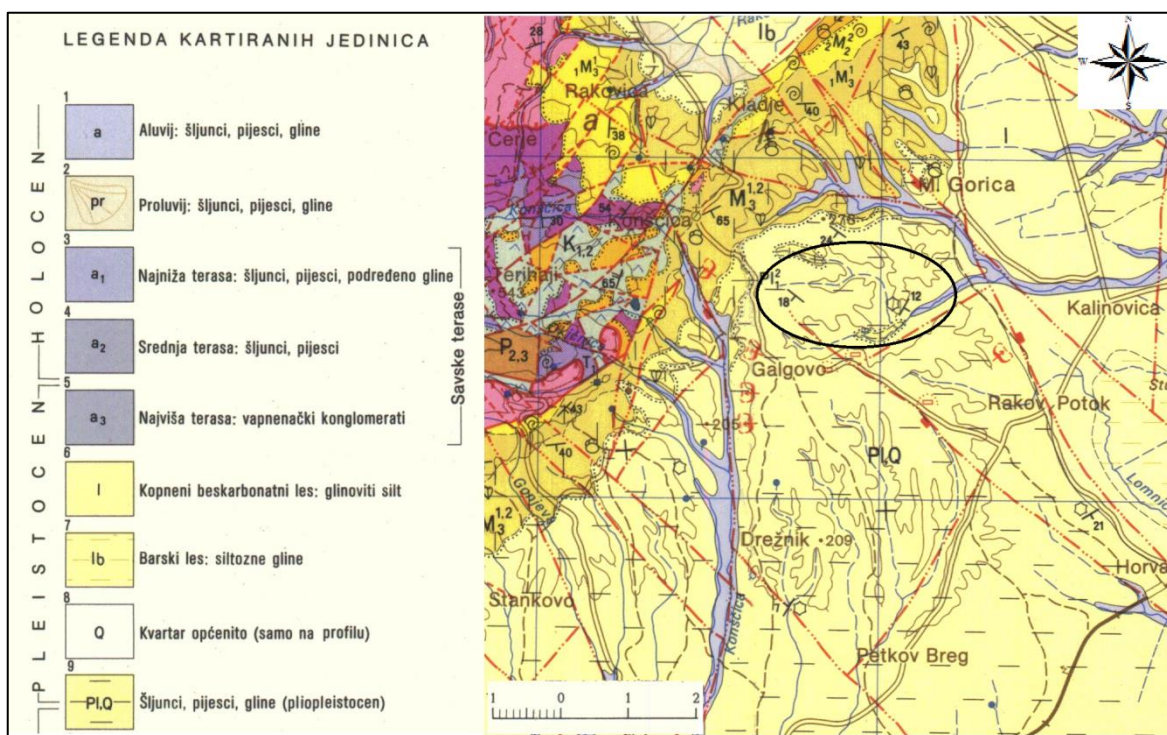
Na temelju Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100 000, list Zagreb (Šikić et al., 1972) izrađena je karta stratigrafskih jedinica istraživanog područja (Slika 2-8). Kratki opis stratigrafskih jedinica načinjem je prema tumaču Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100 000, list Zagreb (Šikić et al., 1979). Poligoni istraživanja izgrađeni su od isključivo plio kvararnih (Pl, Q) naslaga, a u nastavku su opisane i naslage u okolini poligona istraživanja.

Naslage gornjeg pont (Pl_1^2) mjestimično prekrivaju jugoistočne obronke Žumberka od sela Gorica do Pribića. Brakični sedimenti gornjeg pont razvijeni su u facijesu *Rhomboidea* naslaga. Pretežno su taloženi raznobojni pijesci ili pjeskoviti i glinoviti lapori. Rjeđe se javljaju ulošci glina, te sasvim podređeno, tanki proslojci pješčenjaka i leće pjeskovitih šljunaka. U bazi najčešće leže glinoviti ili pjeskoviti lapori, koji navise prelaze u raznobojne, slabo vezane, glinovite pijeske ili glinovite siltove. Nevezani sedimenti određeni su kao pijesci, siltozni pijesci ili pjeskoviti siltovi s malim sadržajem glinene tvari. Debljina gornjopontskih naslaga različita je po područjima i kreće se u rasponu od 100 do 400 metara.

Naslage levant – donji pleistocen (Pl,Q) su slatkovodni fluvijalno – erozijski sedimenti, molasnog tipa, koji leže diskordantno na različitim članovima paleogena, neogena, mezozoika i paleozoika. Izgrađene su od šljunaka, pijeska i glina u međusobnoj izmjeni. Rjeđe se mogu naći ulošci pješčenjaka i konglomerata. Gline dolaze u obliku tanjih proslojaka ili leća. Šljunci su pretežito nesortirani, sastoje se od valutica različitih stijena najčešćeg promjera do 5 centimetara. Rjeđe su pojave valutica od 5 do 20 centimetara. Valutice su mjestimice uložene u glinom onečišćene, nevezane, krupnozrnate pijeske. Za levantske naslage može se pretpostaviti da im maksimalna debljina u razmatranom području ne prelazi 150 metara.

Na najnižem dijelu istraživanog područja prisutne su naslage potočnog aluvija (a). Sastoje se uglavnom od šljunaka i pijesaka, čija granulometrija jako varira. Debljina ovih naslaga ne prelazi 10 metara. Na istraživanom području još je prisutan sloj humusa i organske tvari čija debljina varira po cijelom području.

Područje Žumberka i Samoborskog gorja karakterizirano je vrlo složenom geološkom građom. Cijeli taj prostor je kroz geološku prošlost bio izložen dinamičnim geotektonskim kretanjima koji su uzrokovali pojavu različitih taložnih okoliša. Uslijed toga, nastajale su stijene različitog petrografskog sastava i litoloških karakteristika. Aktivna tektonika dodatno je utjecala na složenu strukturno-geološku građu područja (Šikić et al., 1979).



Slika 2-8 Isječak iz OGK list Zagreb (Šikić et al., 1972)

3 METODOLOGIJA

Istraživanjem proučavanog područja utvrđivana su geološka i morfometrijska svojstva terena. Samo istraživanje se sastojalo od nekoliko faza:

- 1) Projektiranja istraživačkih radova;
- 2) Prikupljanja podataka;
- 3) Interpretacije podataka.

Tijekom faze projektiranja istraživačkih radova definiraju se ciljevi istraživanja, veličina istraživnog područja, preciznost i količina potrebnih podataka. Prikupljanje podataka obavljalo se u kabinetu i na terenu. U kabinetu su se podatci prikupljali iz već postojeće dokumentacije radi kvalitetnijeg i smislenijeg planiranja ostalih istraživanja. Terensko prikupljanje podataka obuhvaćalo je geološko kartiranje, prikupljanje i analiziranje uzoraka. U fazi interpretacije podaci su pregledani, po potrebi transformirani i modelirani s ciljem otkrivanja korisnih informacija i stvaranja informiranih zaključaka.

Na istraživanom području okolice Galgova provedena su sljedeća istraživanja : Daljinska istraživanja – snimanje LiDAR i RGB senzorom, terenska istraživanja, laboratorijska istraživanja. Podaci prikupljeni različitim dolje opisanim metodama istraživanja analizirani su i prikazani u GIS okružju.

3.1 Daljinska istraživanja

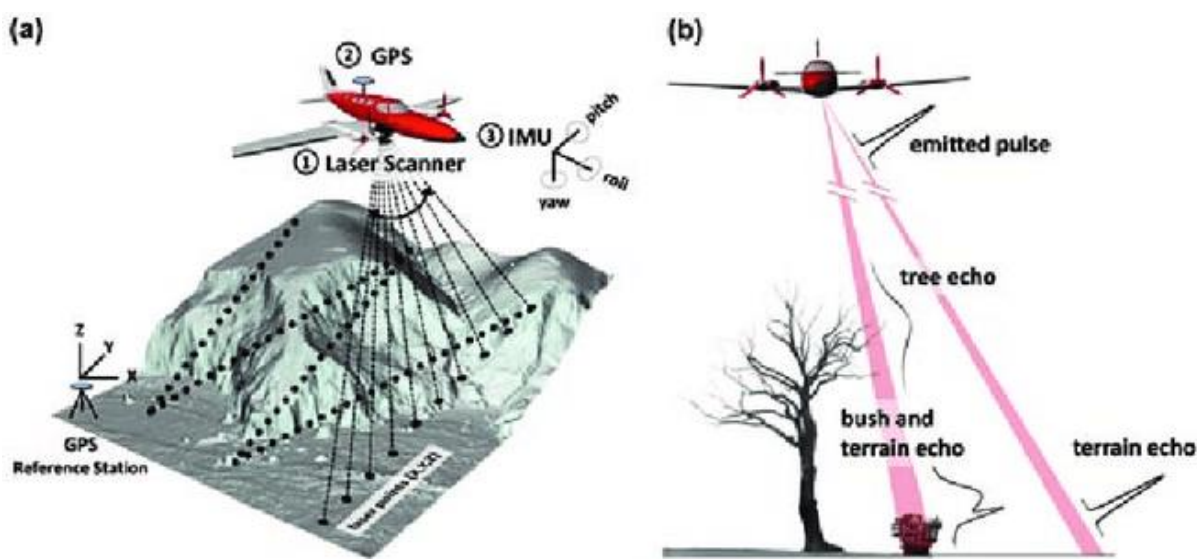
Istraživanje iz zraka obavila je tvrtka *Flycom Technologies* d.o.o. za potrebe *safEarth* projekta u kojem je vodeći partner bio Hrvatski geološki institut. Snimanje je obavljeno u proljeće 2018. godine s traženom gustoćom točaka od 20 točaka po m² i točnošću od ± 10 cm u svakom smjeru za svaku prikupljenu točku. Rezultat snimanja je DTM (*Digital Terrain Model*) visoke rezolucije s veličinom ćelije od 0,5 m i digitalna ortofotografija rezolucije 10 cm. Iz DTM-a su derivirani:

- *Hillshade* prikaz s ćelijama veličine 0,5 m (azimut Sunca 315°, visina Sunca 45°)
- *Slope* prikaz s ćelijama veličine 0,5 m
- Izohipse s 1 m ekvidistance

Daljinsko snimanje za potrebe ovog rada je izvršeno u zimskom periodu u uvjetima bez lišća kako bi se minimalizirala prisutnost objekata koji se nalaze između senzora i tla.

3.2 LiDAR

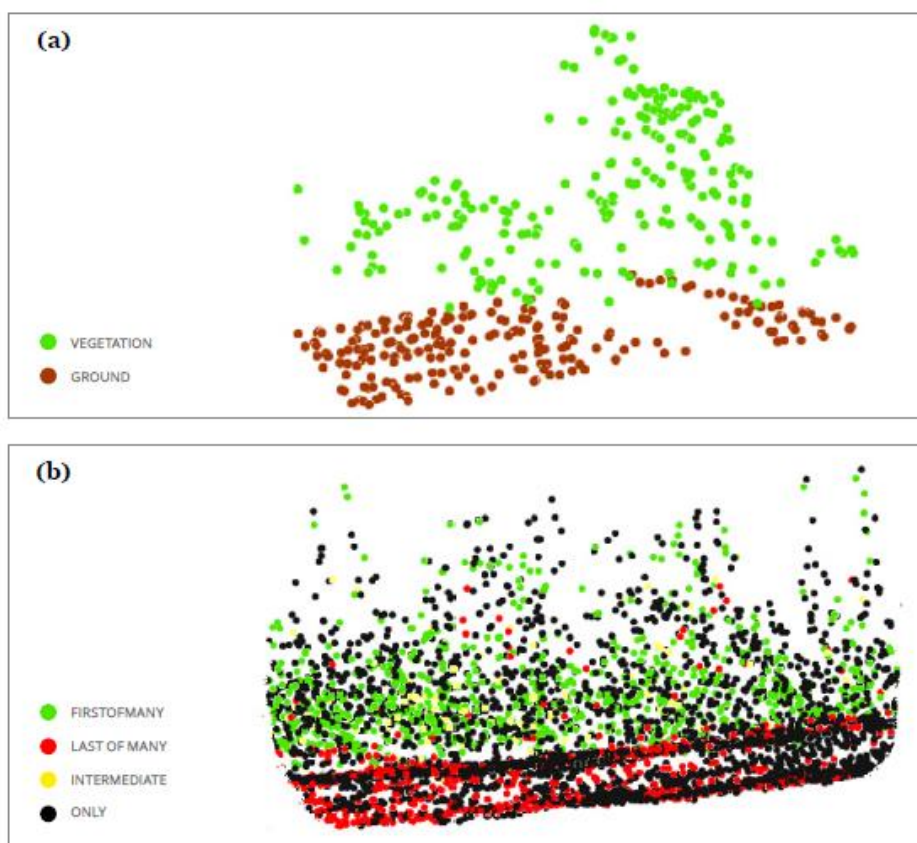
Najjednostavnije rečeno LiDAR (*Light Detection And Ranging*) je metoda mjerenja koja koristi laser koji stvara i emitira svjetlosni puls i mjeri vrijeme potrebno da se reflektirani puls vrati (Melin et al., 2017). LiDAR sustav se sastoji od tri glavna podsustava: optičkog odašiljača, optičkog prijemnika/detektora i elektronike koja kontrolira domet, vrijeme i kontrole (Fernandez Diaz et al., 2013). Najčešće se montira na avione (Slika 3-1a), ali može se montirati i na satelite i bespilotne letjelice. Sustav je ujedno spojen na globalni pozicijski sustav (GPS) i inercijalnu mjernu jedinicu (IMU). GPS konstantno mjeri poziciju lasera kako bi znali s koje lokacije je svjetlosni puls emitiran, a IMU mjeri nagibe aviona ili bespilotne letjelice te daje podatke o smjeru kretanja odnosno o smjeru emitiranja pulsa.



Slika 3-1 (a) Zračni LiDAR princip i komponente sustava i (b) diskretno otkrivanje višestrukih odjeka
(Izvor: Höfle & Rutzinger, 2011)

Svjetlosni puls se može zamisliti kao nakupinu fotona s vremenskom oznakom emitiranu u poznatom smjeru. Kada puls dođe u kontakt s nekom površinom (npr. krošnja drveća, krovovi zgrada, tlo, itd), dio fotona se reflektira natrag prema laseru. Laserski uređaj prepoznaje te označene, reflektirane fotone i računa vrijeme potrebno da se emitirani foton reflektira i vrati natrag do uređaja. To vrijeme još se naziva i odjek. Računanje odjeka je moguće zbog toga što su nam poznate vrijednosti potrebne za

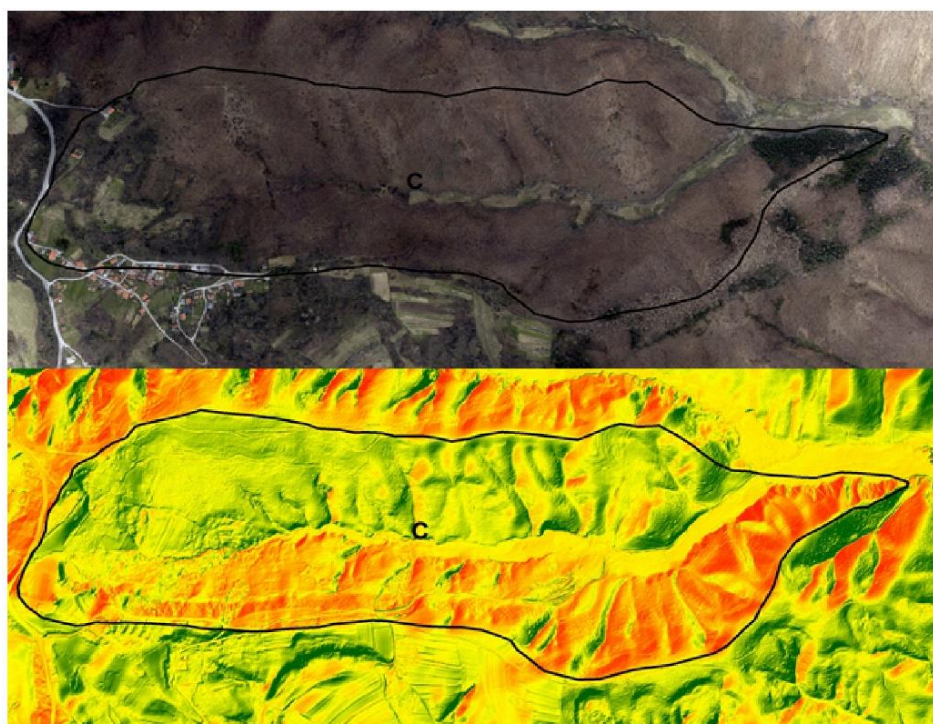
određivanje mjesta s kojeg potječe odjek: brzina pulsa (brzina svjetlosti), izvorište pulsa (lokacija emisije), smjer i vrijeme pulsa. Svjetlosni impulsi često daju više odjeka jer se svi fotoni ne reflektiraju na prvoj površini na koju dođu (Slika 3-1b). Umjesto toga, neki nastavljaju prolaziti kroz poluprozirne ili neprozirne površine prije nego što dođu u kontakt s nečim drugim i vrate drugi odjek. Stoga, dok prvi odjek dolazi s najviše površine s kojom se impuls susreće, primjerice s vrha krošnje, konačni odjek iz danog impulsa dolazi s posljednje površine na koju su utjecali preostali fotoni. Najčešće je to tlo, ali u gustoj šumi, posljednji puls može doći i iz unutrašnjosti krošnje (Melin et al., 2017). Osim lokacije, uređaj bilježi i intenzitet povratnog odjeka. Intenzitet je veći ako impuls udari o čvrstu površinu, jer se više fotona reflektira unatrag. Suvremeni LiDAR sustavi mogu emitirati do 800 000 impulsa u sekundi. Svaki impuls može dati više odjeka, a za svaki od njih bilježi se mjesto odjeka. Rezultat se općenito naziva oblak točaka (Slika 3-2), od kojih svaka ima XYZ koordinate. Kada se podaci is crtaju, može se vizualizirati struktura skeniranog cilja. Svaki odjek povezan je s XYZ koordinatama iz impulsnog fotona LiDAR-a.



Slika 3-2 LiDAR odjeci u oblacima točaka kategoriziranim prema cilju (a) ili redoslijedu povratka odjeka (b)
(Izvor :Melin et al., 2017)

3.2.1 Digitalni elevacijski modeli

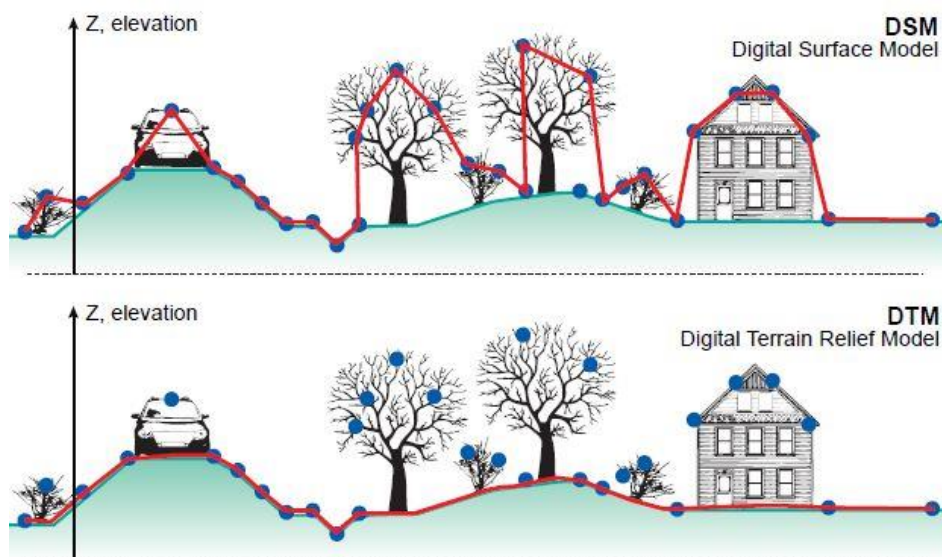
Digitalni model elevacije (DEM) je vrsta rasterskog GIS sloja. U DEM-u svaka ćelija rasterskog GIS sloja ima vrijednost koja odgovara njenoj visini (z- vrijednosti u pravilno razmaknutim intervalima). Datoteke s DEM podacima sadrže podatke o nadmorskoj visini terena na određenom području, najčešće u mreži s fiksnim razmakom na površini zemlje. Detaljnije informacije se dobivaju ako su razmaci u mreži manji. Također, detalji o reljefu će biti bolje modelirani s manjim razmakom mreže. DEM se može smatrati rasterom ili pravilnom mrežom točkastih visina.



Slika 3-3 Usporedba ortofotografije i DEM

Digitalni model terena (DTM) je matematički prikaz (model) površine tla, najčešće u obliku pravilne mreže, u kojoj je svakom pikselu dodijeljena jedinstvena vrijednost visine (Mallet et al., 2016). Obuhvaća ne samo visine i uzvišenja, već i druge zemljopisne elemente i prirodne značajke, poput rijeka, grebena itd. DTM je DEM kojem su pridodani određeni elementi uz originalne podatke kako bi se ispravili prikazi dobiveni koristeći se samo originalnim podacima.

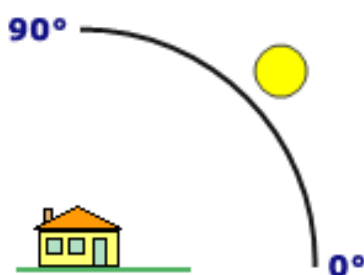
Digitalni model površine (DSM) predstavlja zemljinu površinu i sve objekte na njoj. Razlika između DTM-a i DSM-a prikazana je na slici 3-4. Za potrebe ovog diplomskog rada korišten je DTM.



Slika 3-4 Razlika između DSM-a i DTM-a (Izvor:CDEMA, 2022)

3.2.2 Hillshade i slope grid

Hillshade funkcija je 3D prikaz površine u nijansama sive boje tako da je u obzir uzeta i relativna pozicija sunca za sjene na slici. Kako bi se točno odredila pozicija sunca, potrebne su točne vrijednosti visine i azimuta. Visina (Slika 3-5) je kut između pozicije Sunca i horizonta s vrijednostima od 0° do 90° . Kut 0° ukazuje da je Sunce na horizontu, odnosno da je na istoj horizontalnoj ravnini kao i referentni okvir. Kut 90° ukazuje da je Sunce okomito na referentnu ravninu.



Slika 3-5 Prikaz visine Sunca (Izvor:ESRI, 2022)

Azimut je relativna pozicija Sunca na horizontu izražena u stupnjevima. Taj je položaj označen kutom sunca izmjerenim u smjeru kazaljke na satu od sjevera. Azimut od 0° označava sjever, istok je 90° , jug je 180° , a zapad je 270° .

Slope identificira strminu u svakoj ćeliji rasterske površine. Što je vrijednost nagiba niža, teren je ravniji, a što je veća vrijednost nagiba, teren je strmiji.

Hilshade i *slope* podloge korištene su pri kreiranju katastra klizišta.

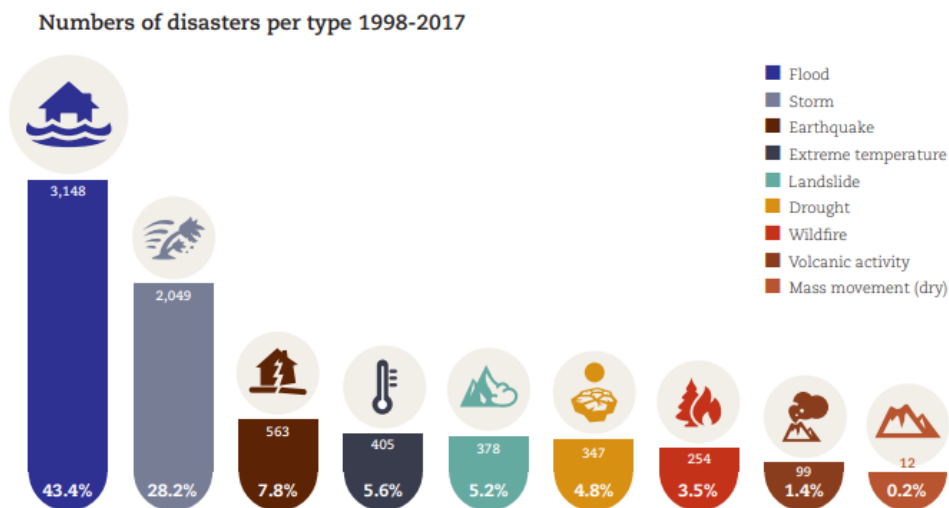
3.3 Ortofotografija

Ortofotografija je fotografija iz zraka ili satelitski snimak koji je geometrijski korigiran tako da je mjerilo u svim dijelovima fotografije ujednačeno (Slika 3-3). Ortofotografija kombinira karakteristike fotografija iz zraka s geometrijskim kvalitetama karata. Za razliku od fotografija iz zraka izobličenja nastala zbog nejednakosti u reljefu (brda, doline, potoci i građevine), pomaka kamere ili promjene visine snimanja su uklonjena te su sve značajke prikazane u svojim ispravnim pozicijama na tlu. To omogućuje prikaz ispravne slikovne karte i mjerenje udaljenosti, površina, kutova i detaljnih dijelova značajki na karti koje se obično izostavljaju na tradicionalnim kartama. (ESRI, 2022) U digitalnom formatu ortofotografija se koristi kao geometrijski točna osnovna karta.

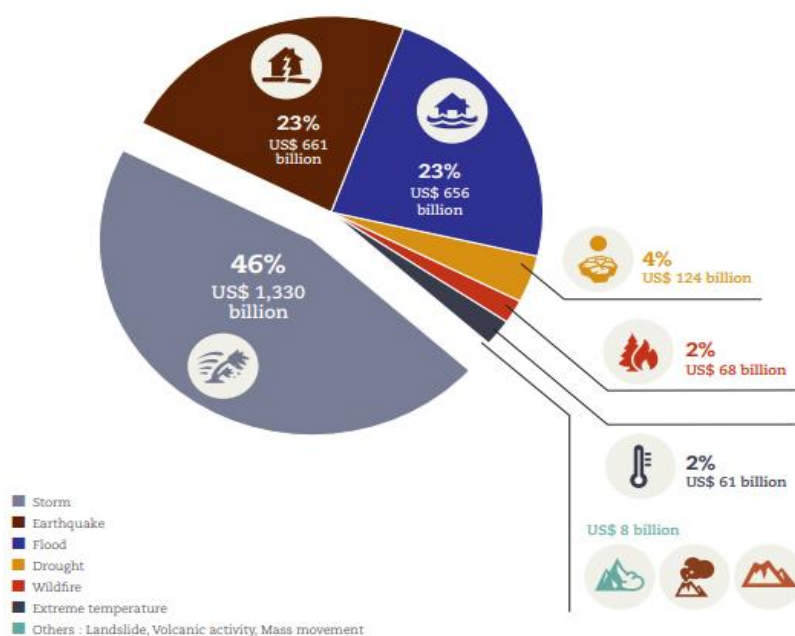
Ortofotografija je korištena za popunjavanje polja katastra klizišta. Štete, značajke u tijelu klizišta poput pukotina, ispupčenja ili najahivanja u stopi, akumulacija vode na klizištu i pokrov zemljišta, određeni su korištenjem ortofotografije.

3.4 Katastar klizišta

Klizište je dio padine na kojem je zbog poremećaja stabilnosti došlo do klizanja tla, odnosno kretanja površinskog sloja zemlje (Cruden, 1991). Jedan su od najčešćih geomorfoloških procesa i mogu uzrokovati značajne ekonomske i socijalne gubitke. Štete se mogu podijeliti na izravne i indirektne. Izravne štete nastaju u trenutku aktiviranja klizišta, oštećivanjem objekata i ljudskim žrtvama, dok se indirektne štete naziru kroz dulja vremenska razdoblja. Slike 3-6 i 3-7 prikazuju broj i novčanu štetu izazvanu prirodnim katastrofama u svijetu u periodu 1998-2017, među ostalim i klizištima.



Slika 3-6 Prikaz broja prirodnih katastrofa u periodu 1998 – 2017 (Izvor :[UNISDR, 2022](#))



Slika 3-7 Prikaz šteta izazvanih prirodnim katastrofama u periodu 1998 – 2017 (Izvor :[UNISDR, 2022](#))

Klizišta su prirodne pojave koje imaju potencijal izazivanja velikih šteta te bi ih se kao takve trebalo pomno nadzirati i prema potrebi sanirati. Jedan od najboljih načina nadzora je izrada katastra klizišta. Katastar klizišta bilježi mjesta i, ako su poznati, datume nastanka i tip kretanja masa koje su ostavile vidljive tragove na nekom području (Pašek, 1975; McCalpin, 1984; Wiecezorek, 1984; Guzzetti et al., 2000). Izrada katastra temelji se na sljedećim pretpostavkama:

1. **Klizišta ostavljaju uočljive znakove**, od kojih se većina može prepoznati, klasificirati i kartirati, kroz interpretaciju zračnih fotografija, satelitskih snimaka ili digitalnih prikaza topografske površine (Rib & Liang, 1978; Guzzetti et al., 2000). Većina znakova koje ostavlja klizište se odnose na promjene oblika, položaja ili izgleda topografske površine. Drugi znakovi koji ukazuju na klizišta mogu se očitovati kao litološke i geološke promjene ili promjene kod korištenja zemljišta.

2. **Morfološki potpis klizišta** (Pike, 1988) **ovisi o vrsti i brzini kretanja mase tla** (Cruden & Varnes, 1996). Iz vizualnog izgleda klizišta mogu se zaključiti kvalitativne informacije o stupnju aktivnosti, starosti i dubini sloma padine (McCalpin, 1984).

3. **Klizišta se ne događaju slučajno ili nasumično** (Guzzetti et al., 2002; Turcotte et al., 2002). Klizišta nastaju kada posmična naprezanja u padini dosegnu posmičnu čvrstoću materijala koji izgrađuju padinu. Znanje o klizištima može se generalizirati (Aleotti & Chowdhury, 1999), a informacije dobivene na nekom području mogu se koristiti za otkrivanje i mapiranje klizišta u drugim područjima.

4. **Za klizišta vrijedi načelo da su “prošlost i sadašnjost ključevi budućnosti”** (Carrara et al., 1991.; Aleotti & Chowdhury, 1999). Princip implicira da je vjerojatnije da će se klizišta pojaviti u uvjetima koji su doveli do nestabilnosti u prošlosti. Kao posljedica toga, prepoznavanje nedavnih slomova stijenske mase važno je za otkrivanje i kartiranje prošlih klizišta.

Kvaliteta katastra klizišta ovisi o njegovoj točnosti, te o vrsti i preciznosti podataka prikazanih na karti. Definiranje točnosti inventara klizišta nije jednostavno, a standardi ne postoje (Galli et al., 2008). Točnost ovisi o potpunosti karte, te geografskoj i tematskoj ispravnosti podataka prikazanih na karti. Veliku ulogu igra i iskustvo sastavljača katastarsa jer je vrijednost pojedinih značajki subjektivna.

Katastar se sastoji od polja koja pobliže opisuju karakteristike svakog klizišta koja su prikazana u nastavku. Katastar prikazan u ovom radu je izrađen prema internim Uputama za izradu katastra klizišta (HGI, 2019). Prema navedenim uputama iscrtane poligone klizišta u atributnoj tablici prate i sljedeća polja:

- FID

Jedinstveni broj koji se automatski (*autonumber*) dodjeljuje pojavi odnosno klizištu.

- Ocjena

Konačna ocjena klizišta. Dodjeljuje se subjektivno na temelju vidljivih značajki klizišta i sigurnosti u postojanje klizišta. Ocjene od 0 do 10.

- Površina

Površina klizišta u metrima kvadratnim. Najmanje klizište ima površinu 42 m², a najveće 13 961 m².

- Pukotine

Vidljive pukotine u tijelu klizišta, odnosno vidljivi geomorfološki elementi koji upućuju na postojanje pukotina u tijelu klizišta. Nisu pronađene pukotine ni u jednom klizištu, djelomično zbog starosti klizišta, a djelomično zbog prekrivenosti klizišta šumom.

- Ispupčenje u tijelu klizišta

Deformacije u središnjem dijelu tijela klizišta, koje se manifestiraju nakupljanjem materijala ili „skokovima“ u tijelu klizišta. Ispupčenja su pronađena u 11 klizišta te služe kao značajka koja upućuje na klizište kada konture klizišta nisu najjasnije izražene. Najbolje uočljivo na *slope* prikazu.

- Najahivanje u stopi

Deformacije u stopi koja se manifestiraju nakupljanjem materijala ili „skokovima“ u donjem dijelu klizišta. Najahivanje pronađeno na 5 klizišta i uglavnom se manifestira kao nakupina materijala na donjem dijelu klizišta. Najbolje vidljivo na *hillshade* prikazu.

- Nožica uz vodotok

Česti su i slučajevi kada u nožičnom dijelu padine postoji vodotok koji erodira nožični dio padine, što može izazvati klizanje, zatim dolazi do erozije nožičnog dijela klizišta, reaktivacije klizišta i proces se ponavlja. 12 klizišta ima nožicu u neposrednoj blizini vodotoka (potoka) koji erodira padinu.

- Utjecaj prometnice na klizište

Generalno gledajući prometnica (bilo koje vrste) na klizištu ili iznad njega je nepovoljni faktor je „prikuplja i koncentrira“ atmosferilije u klizište, odnosno dodatno destabilizira padinu. Na istraživanom području prisutne su asfaltirane prometnice i šumski putovi koji se nalaze u neposrednoj blizini 9 klizišta. Odvodi s prometnica mogu značajno podići količinu vode u tlu i dovesti do nastanka klizišta.

- Utjecaj objekta na klizište

Generalno gledajući objekt (bilo koje vrste) na klizištu ili iznad njega može biti nepovoljni faktor jer dodatno opterećuje i destabilizira padinu, a pitanje je i kako su izvedeni vodovod, kanalizacija (ili crna jama) i odvodnja atmosferilija. Naravno, u slučaju adekvatno izvedene gradnje (dimenzioniranje, temeljenje, drenaža, itd.), objekt na padini može biti i u funkciji poboljšanja stabilnosti padine. 4 objekta se nalaze u neposrednoj blizini klizišta, nijedan nije ugrožen klizištem, a kod jednog je primijećena cijev koja služi za odvodnju atmosferilija koja bi mogla dovesti do smanjenja stabilnosti padine.

- Pokrov_2 i Pokrov_3

Pokrov zemljišta može dati indikatore vezane uz stabilnost padine (npr. izgrađenost, način obrade zemljišta i slično). Pokrov zemljišta prema Corine *Land Cover* klasama. Uzima se pokrov zemljišta unutar konture klizišta koji ima najveću vrijednost za ljude, neovisno o udjelu u površini. Pri tome se uzima kategorija zemljišta koja je bila prije pojave klizišta, osim ako je prošlo dovoljno vremena od klizanja da je nemoguće pouzdano prepoznati prijašnju namjenu (npr. teren je postao šikara). Klizišta su uglavnom prekrivena bjelogoričnom šumom, 2 su prekrivena crnogoričnom šumom, a 1 je pašnjak. Pokrov se označava s 3 broja,

koji predstavljaju klase pokrova zemljišta, i nazivom zadnje klase. (npr. 3.1.2. Crnogorična šuma – broj 3 označava klasu I-Šume i poljoprivredne površine, broj 1 označava klasu II-Šume, broj 2 označava klasu III-Crnogoričnu šumu)

- **ŠTETA DIREKTNA**

Promatra se područje zahvaćeno klizanjem i područje „neposrednog“ utjecaja klizišta. Klizišta na promatranom području nisu izazvala nikakvu direktnu štetu.

- **ŠTETA INDIREKTNA**

Promatra se šire područje odnosno područje utjecaja klizišta. Klizišta na promatranom području nisu izazvala nikakvu indirektnu štetu.

- **DULJINA**

Maksimalna duljina klizišta u metrima. Mjerena alatom za mjerenje u *ArcGIS*-u. Najmanja izmjerena duljina je 8 m , a najveća je 208 m.

- **ŠIRINA**

Maksimalna širina klizišta u metrima. Mjerena alatom za mjerenje u *ArcGIS*-u. Najmanja izmjerena širina je 6 m ,a najveća je 125 m.

- **OMJER**

Omjer duljine i širine klizišta izražen kao broj. Pomaže pri određivanju oblika klizišta.

- **SMJER POKRETA**

Smjer pokreta = moguće je odabrati jedno od četiri strane svijeta ili jedno od četiri „međusmjera“. 11 klizišta ima smjer pokreta prema sjeveru, 6 prema jugoistoku, 4 prema sjeveroistoku i 3 prema jugu.

- **OBLIK KLIZIŠTA**

Ako je klizište dulje nego šire oblik klizišta je izdužen. Ako je klizište šire nego dulje onda je klizište spljoštenog oblika. Ako su i duljina i širina klizišta približno jednake veličine onda je oblik klizišta ekvidimenzionalan. 12 klizišta je ekvidimenzionalno, 10 ih je izduženo, a 2 su spljoštenog oblika.

- **ZNAČAJKE U TIJELU**

Vidljive značajke u tijelu klizišta, ocjenjuje se cjelokupni dojam, ali za veće postotke izraženosti je dovoljno da je jedna od značajki u tijelu izražena (npr. usjedanje materijala, akumulacija materijala, ispupčenja u tijelu, pukotine i slično).

- **NOŽICA**

Konture vanjskih „donjih“ granica klizišta koje mogu biti kartirane odnosno koje su vidljive („najniže“ poremećeno područje). Donji dio klizišta, područje nakupljanja materijala. U slučaju erozije nožice klizišta vodotokom, nakupljanje materijala nije vidljivo, ali se mogu dati veći postotci.

- **BOKOVI**

Konture vanjskih „bočnih“ granica klizišta koje mogu biti kartirane odnosno koje su vidljive. Područje „ispod“ glavne vlačne pukotine, ali „iznad“ nožičnog dijela klizišta.

- **GORNJA KONTURA KLIZIŠTA**

Konture vanjskih „gornjih“ granica klizišta koje mogu biti kartirane odnosno koje su vidljive („najviše“ poremećeno područje). Gornji dio klizišta, u pravilu područje gdje „fali“ materijal.

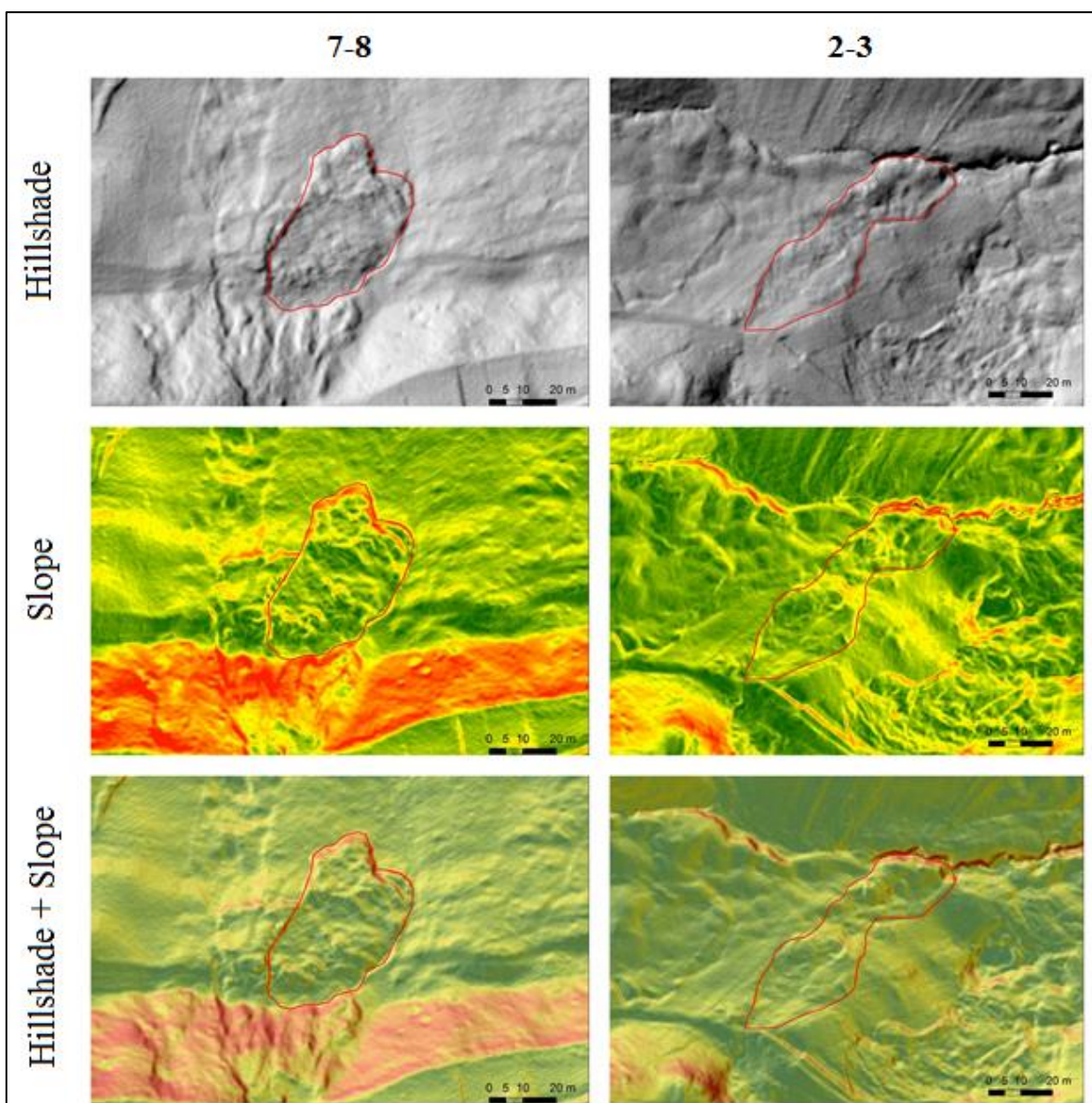
- GRANICA KLIZIŠTA KONTURA

Kontura vanjskih granica klizišta koje mogu biti kartirane odnosno koje su vidljive (od „najviše“ do „najniže“ „neporemećene“ točke).

- AKUMULACIJA VODE

Ako na padini blizu klizišta ili u tijelu klizišta postoje morfološke predispozicije za prikupljanje vode (jaruge, udubine, stepenice, konkavni elementi) to je nepovoljno s obzirom na stabilnost. Akumulacija vode je prisutna na 2 klizišta.

Katastar klizišta za ovaj diplomski rad izrađen je na temelju podataka dobivenih daljinskim istraživanjima šireg područja Galgova (3.1). Vizualna analiza i interpretacija topografske površine ostaje najčešća i najperspektivnija primjena DEM-a vrlo visoke rezolucije snimljenog LiDAR senzorima za detekciju i mapiranje klizišta na velikim površinama (Haugerud et al., 2003). Tokom izrade katastra klizišta korišten je program *ArcGIS* u kojem su iscrtana klizišta i opisane njihove značajke. Pri iscrtavanju klizišta korišteni su LiDAR podatci, DEM visoke rezolucije, *hillshade* i *slope* prikazi terena i karta proučavanog područja. Klizišta su najlakše uočljiva na *hillshade* i *slope* prikazima (Slika 3-8) i ti prikazi su uglavnom korišteni pri opisivanju značajki. Slika 3-8 ujedno prikazuje i razlike između nisko (2-3) i visoko (7-8) ocijenjenih klizišta. Prikaz terena je korišten kako bi se najbolje opisao pokrov terena, prisutnost vode u blizini ili na samom klizištu i za traženje šteta koje su mogle nastati klizištima. Svi korišteni prikazi vidljivi su na slici 3-8. Svako klizište ja ručno iscrtano koristeći se *Create feature* alatom u *ArcGIS*-u i za svaku značajku je upisana vrijednost dobivena proučavanjem brojnih prikaza klizišta.



Slika 3-8 Prikazi terena korišteni pri izradi katastra klizišta

3.5 Terenski radovi

Terenski radovi provedeni su radi prikupljanja uzoraka, slika i informacija o sastavu i litologiji tla na istraživanom području. Zbog velikog područja i velikog broja uzoraka koje je bilo potrebno prikupiti terenski radovi su se odvijali u više navrata (datumi - 09.03., 29.03., 12.04., 20.05., 31.05.2021.). Prije izlaska na teren pripremljene su ogledne terenske karte s označenim rutama na kojima su se određivala uzorkovanja.

Terenski radovi izvedeni su uz pomoć i vodstvo mentora Dr.sc. Vlatka Gulama, i djelatnika HGI-ja Nine Hećej i Ivana Markotića (Slika 3-9). Ukupno je uzeto 85 uzoraka koji su kasnije obrađeni u laboratoriju. Uzorci su uzimani u razmacima od 50-100 m te je

cijelo područje pokriveno donekle pravilnom mrežom uzorkovanja. Pri izvođenju terenskih radova korištene su lopate, pedološko svrdlo (tzv. auger), zidarska žlica i vrećice za uzorke.

Uzorci su uglavnom prikupljeni nedaleko od korita potoka i bujičnih tokova, a dio je prikupljen iz rupa nastalih prevrtanjem panjeva. Takve lokacije su odabrane kako bi se najlakše došlo do reprezentativnih uzoraka. Izbjegavane su lokacije koje bi mogle dati pogrešne podatke poput samih korita potoka, jama i šumskih putova na kojima je bila upitna geološka pripadnost materijala tla.

Uzorkovanje se vršilo tako da se na mjestu uzorkovanja očistila površina od lišća i grančica kako bi se spriječilo kontaminiranje uzorka. Lopatom ili svrdlom za zemlju napravljena je rupa dubine 20 – 80 cm, do dubine na kojoj bi bilo moguće uzeti reprezentativni uzorak pliokvartarnih naslaga. Masa uzorka varirala je od 500 do 5000 g ovisno o dominantnoj frakciji u tlu prema (British Standard, 1990). Svako mjesto uzorkovanja je fotografirano, a koordinate su spremljene u GPS uređaj, te su se ti podatci kasnije koristili u GIS analizama.



Slika 3-9 Terensko uzorkovanje

3.6 Laboratorij

Laboratorijska ispitivanja na uzorcima tla provedena su u laboratorijima Hrvatskog Geološkog Instituta (HGI-a) u periodu od ožujka do studenog 2021. godine. Ispitivanja su provedena na svim prikupljenim uzorcima, a rad u laboratoriju sastojao se od:

1. Priprema uzoraka obavljala se tako da je svaki uzorak popisan te potom pažljivo istresen na čistu staklenu podlogu. Sva vidljiva organska tvar (grančice, korijenje, lišće, kukci i sl.) je odstranjena te je uzorak temeljito izmiješan.

2. Četvrtanje je postupak kojim se osigurava neselektivno biranje reprezentativnog dijela uzorka za daljnju obradu. Izvodilo se tako da se uzorak mehanički usitnio bez lomljenja valutica. Potom je uzorak podijeljen na 4 jednaka dijela te su 2 dijagonalna dijela odbačena (vraćena u vreću) dok se preostala 2 ponovno izmiješana i prema potrebi ponovno četvrtana.

3. Svakom uzorku je dodijeljena posuda prema veličini uzorka, koja je određena masa, a potom je označena oznakom uzorka. Svaki je uzorak stavljen u označenu posudu te su posude ponovno izvagane.

4. Obradeni uzorci u posudama s oznakom svakog uzorka stavljeni su na sušenje u sušionik na 100°C 24 h.

5. Nakon sušenja i kratkog perioda hlađenja u zatvorenom sušioniku, kako bi se spriječilo ponovno vlaženje, uzorci su ponovno vagani. Tako je dobivena masa suhog uzorka.

6. Svaki uzorak prosijan je kroz sito otvora veličine 500 mikrona (Slika 3-10). Mala količina uzorka stavljena je na sito te je ispirana pod mlazom vode dok kroz sito nisu prošle sve čestice manje od 500 mikrona, odnosno dok nije uočeno da kroz sito prolazi čista voda. Postupak je ponavlján dok nije obrađen sav uzorak koji je vraćen u čistu posudu s oznakom uzorka i ponovno stavljen na sušenje.

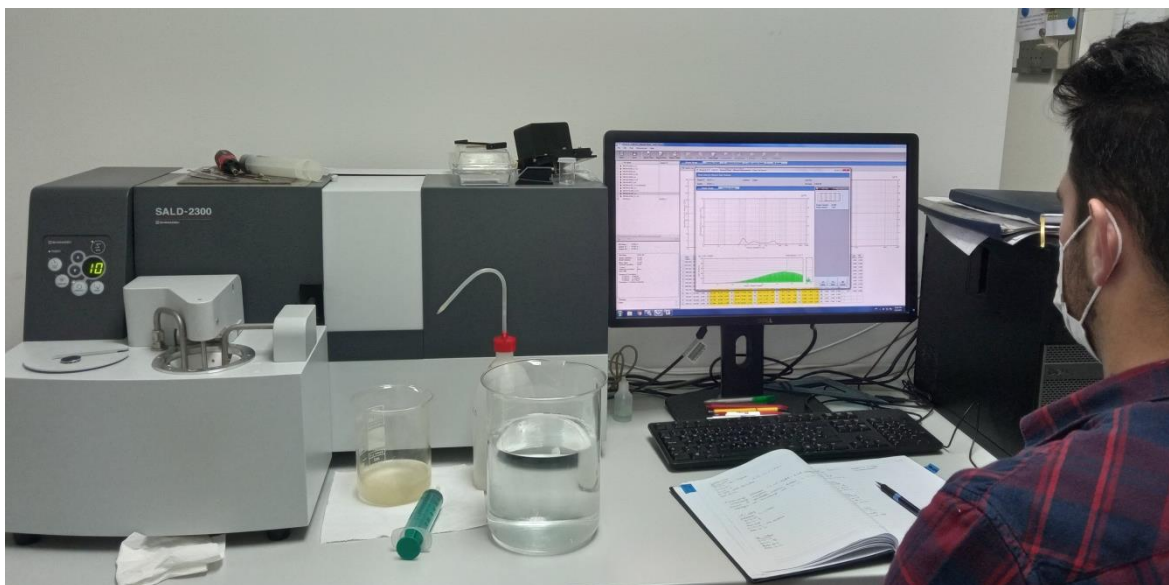


Slika 3-10 Mokro sisanje frakcija manjih od 500 mikrona

7. Obradeni uzorci u posudama s oznakom svakog uzorka su stavljeni na sušenje u sušionik na 100°C 24 sata.

8. Nakon drugog sušenja uzorak je ponovno vagan i tako smo dobili mase frakcija većih od 500 mikrona i masu isprane frakcije. Složen je toranj za prosijavanje tako da je na vrh stavljeno sito s najvećim otvorom, a na dno sito s najmanjim otvorom. (20, 10, 5, 2, 1, 0.71, 0.5 mm) Svako sito je vagano prije stavljanja uzorka u toranj za prosijavanje. Toranj je stavljen na tresilicu koja je oscilirala 5 min i koja je omogućila temeljito prosijavanje uzorka. Potom je svako sito ponovno vagano i iz razlike masa dobivena je masa svake pojedine frakcije. Nakon svakog uzorka sita su prana i sušena prije ponovnog vaganja i upotrebe. Važno je ponovno vaganje sita prije stavljanja uzorka jer se na situ kroz vrijeme nakupe čestice koje se ne mogu oprati ili ispuhati te tako masa sita nije uvijek ista. Za svaki uzorak mjereno je i promjer najvećeg zrna. Najveća zrna ostaju na prvom situ u tornju te se nakon sijanja i vaganja uzimaju i mjeri im se širina i duljina od kojih se aritmetičkom sredinom dobiva promjer.

9. Svaki uzorak je ujedno i mjereno na laserskom sedigrafu kako bi se odredio udio i veličina zrna manjih od 0,5 mm. Od svakog uzorka odvojena je mala količina materijala koji je usitnjavan i četvrtan dok nismo dobili nekoliko grama uzorka koji nije imao zrna veća od 2 mm. Na analitičkoj vagi mjerena je masa kivete, vaga je tarirana te je potom u kivetu dodavan uzorak. Optimalni rezultati su dobivani s masama 0.12-0-20 g. Potom je u svaku kivetu dodano 2 ml destilirane vode i 2 ml otopine Calgona kako bi se poboljšala disperzija čestica glina. Mjerilo se po 10 uzoraka i za svaki skup uzoraka napravljen je *blank*. *Blank* se sastojao od 2 ml destiliranje vode i 2 ml otopine Calgona i mjereno je prvi kako bi se uspostavila pozadinska vrijednost mjerenja. Mjerenja su vršena na laserskom sedigrafu Shimadzu-SALD-2300 (Slika 3-11). U kadu s destiliranom vodom dodavao se uzorak za koji laser očitava apsorbancu i intenzitet svjetla. Ako su vrijednosti previsoke otopina se razrjeđivala dok se ne bi postigla koncentracija pogodna za mjerenje. Ovisno o stabilnosti krivulje može se prilagođavati brzina miješanja. Nakon 3-7 mjerenja (ovisi o stabilnosti i podudaranju) korišten je sonikator koji služi za razdvajanje slijepljenih čestica te su ponovljena mjerenja. Svi dobiveni podatci uneseni su u *Microsoft Excel* tablicu prije i nakon korištenja sonikatora te su kasnije obrađeni u softveru *GradiStat*.



Slika 3-11 Rad na laserskom sedigrafu Shimadzu-SALD-2300

3.7 GIS analize

Priprema i obrada prikupljenih podataka o klizištima uključivala je izradu kartografske baze podataka u geografskom informacijskom sustavu (GIS-u). Kao glavni alat za obradu, pohranjivanje, upravljanje i prikazivanje podataka korišten je programski paket *ArcGIS*. Za obradu određenih podataka i izradu grafova i tablica korišten je *Microsoft Excel*. Analize koje su napravljene pomoću *ArcGIS-a* navedene su u nastavku.

3.7.1 Analiza energije reljefa

Jedan od parametara koji su računani pomoću *ArcGIS-a* je energija reljefa (ER) koja je korištena kako bi se odredile i prikazale zone istraživanog područja u kojima su stijene izložene različitim stanjima stresa, tj. naprezanja. Energija reljefa ili vertikalna fragmentacija reljefa izraz je visinske razlike između najniže razine (doline) i najviše razine (vrhovi) i predstavlja potencijalnu energiju zadanog terena, određenu vertikalnom razlikom između najviše i najniže točke unutar promatrane jedinice površine terena (Berila & Isufi, 2021). ER je računata pomoću alata *Focal Statistics* tako da je računat raspon visine terena unutar kružnice radijusa od 30 m. Vrijednost radijusa od 30 m odabrana je zato što je najveća prosječna vrijednost duljina i širina klizišta iznosila 60 m te nam tako radijus od 30 m odnosno dijametar od 60 m statistički najbolje/najtočnije pokriva sva klizišta.

3.7.2 Analiza nagiba

Analiza nagiba je napravljena kako bi se izračunali i grafički prikazali karakteristični nagibi na istraživanom području. Obradom podataka visine terena pomoću alata *Slope* dobivene su vrijednosti i karta nagiba istraživanog područja. Podatci dobiveni korištenjem alata *Slope* obrađeni su u *Microsoft Excelu*, a karta nagiba je prikazana na slici.

3.7.3 Analiza gustoće klizišta

Gustoća klizišta derivirana je iz katastra klizišta i prikazuje prostornu raspodjelu klizišta na istraživanom području. Karta gustoće klizišta jasno prikazuje područja s visokom gustoćom klizišta koja su označena crvenom bojom. Sama karta je napravljena tako da su svi poligoni klizišta prvo spojeni u jedan poligon koji je nazvan *Katastar_klizistaCopy.shp*. Napravljen je pravokutnik koji prekriva cijelo područje i iz njega je izrezana površina koju zauzima *Katastar_klizistaCopy.shp*. Potom je taj pravokutnik kopiran iz *Katastar_klizistaCopy.shp* u *Katastar_klizista.shp*. U *Katastru_klizista.shp* postoji polje "K" u kojem su za sve poligone klizišta pridodane jedinice dok su za dijelove bez klizišta pridodane nule. Koristeći se alatom *Feature to raster* definirana je veličina ćelije od 1 m i *Katastar_Klizista.shp* je transformiran u grid po polju "K". Novonastali raster je nazvan *katastar_1*, a ćelije grida imaju vrijednosti 1 za klizišta i vrijednost 0 za sve površine koje nisu klizišta. Pomoću alata *Focal statistics* i opcije *Sum* definirano je da resultantni raster prikazuje zbroj svih ćelija unutar kružnice određenog radijusa (za potrebe ovog diplomskog rada $r = 150$ m).

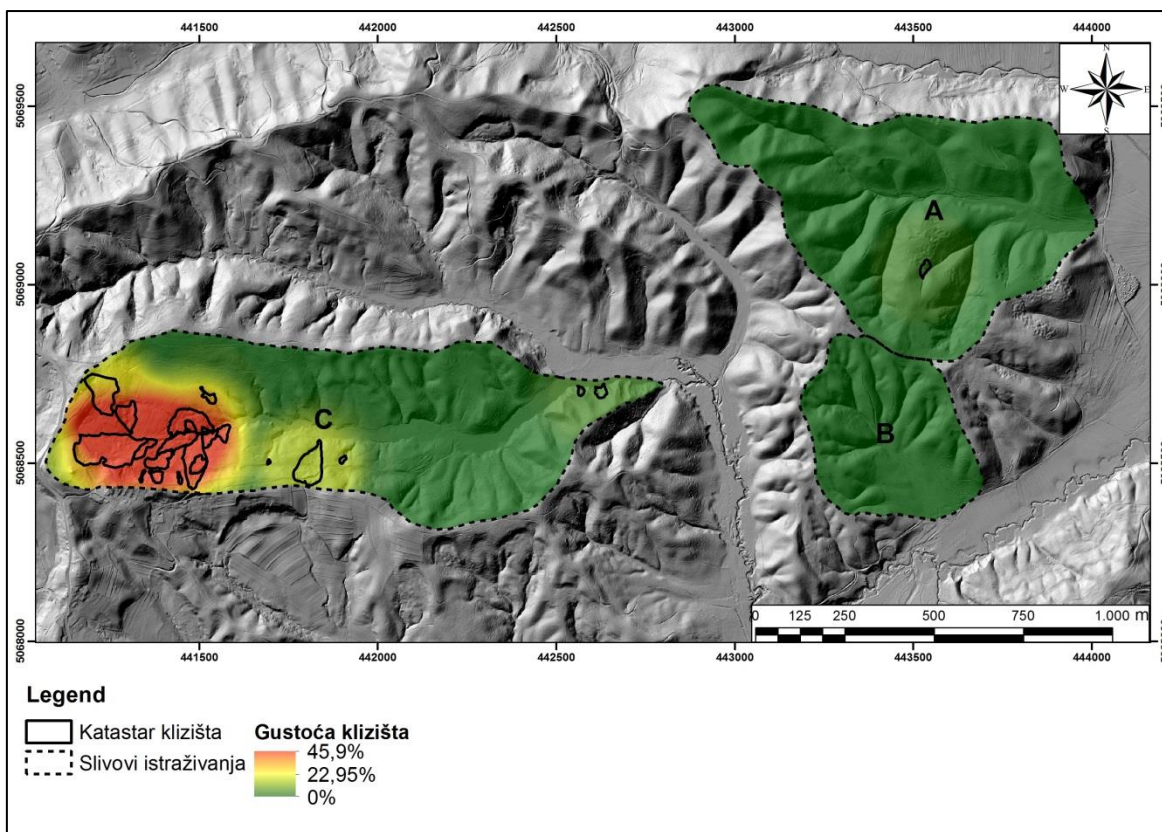
4 REZULTATI

Na istraživanom području provedena su detaljna daljinska, terenska i laboratorijska istraživanja na temelju kojih su vršene brojne analize. Rezultati istraživanja i analiza prikazani su u ovom poglavlju kroz nekoliko karata, histograma i tablica. Ovakav prikaz rezultata omogućuje izdvajanje i jasnije isticanje razlika između slivova istraživanog područja.

4.1 GIS rezultati

4.1.1 Gustoća klizišta

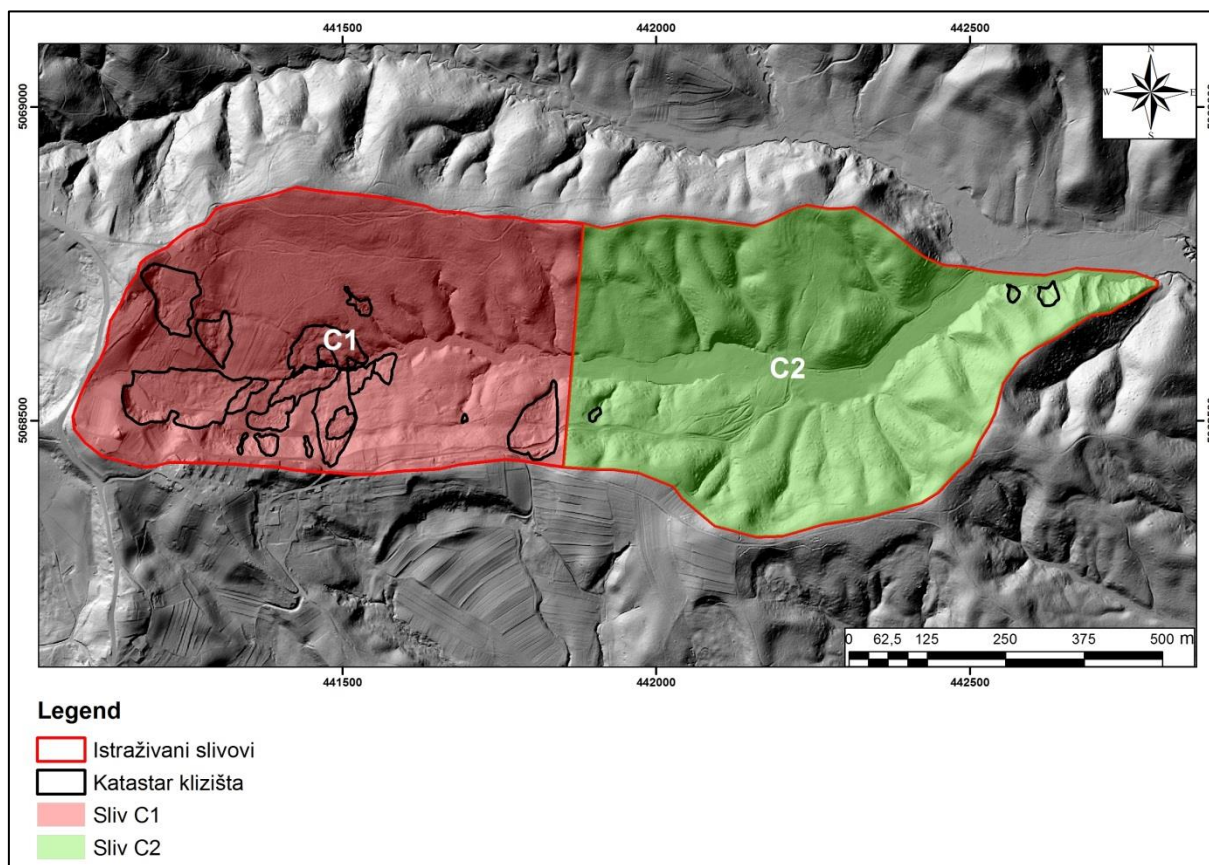
Karta gustoće klizišta s rasponom gustoća prikazana je na slici 4-1. Maksimalna vrijednost gustoće iznosi 45,9 % i prikazana je crvenom bojom dok minimalna vrijednost iznosi 0 % i prikazana je zelenom bojom. Na najvećem dijelu istraživanog područja klizišta nisu prisutna te su tako slivovi A i B u potpunosti zeleni, tj. na navedenim slivovima se nalazi tek jedno klizište. U slivu C prisutno je najviše klizišta, njih 23, od kojih je većina smještena na najzapadnijem dijelu sliva. 3 klizišta smještena su u središnjem dijelu sliva dok su 2 manja klizišta smještena na najistočnijem dijelu sliva.



Slika 4-1 Gustoća klizišta istraživanog područja izražena u postotcima površine klizišta

Maksimalna vrijednost ćelije u prikazanoj mreži (*gridu*) gustoće klizišta (Slika 4-1) iznosi 32455 što predstavlja maksimalni broj ćelija s iznosom 1 (ćelije klizišta – vidi poglavlje 3.7.3) u krugu radijusa 150 m. Površina kruga radijusa 150 m iznosi 70650 m² i ona predstavlja 100% površine kruga. Nakon što se maksimalna vrijednost podijeli s površinom kruga dobivamo maksimalni postotak površine klizišta u krugu radijusa 150 m koji iznosi 45,9%. Minimalni postotak je 0% jer je na istraživanom području prisutan velik dio površine bez klizišta.

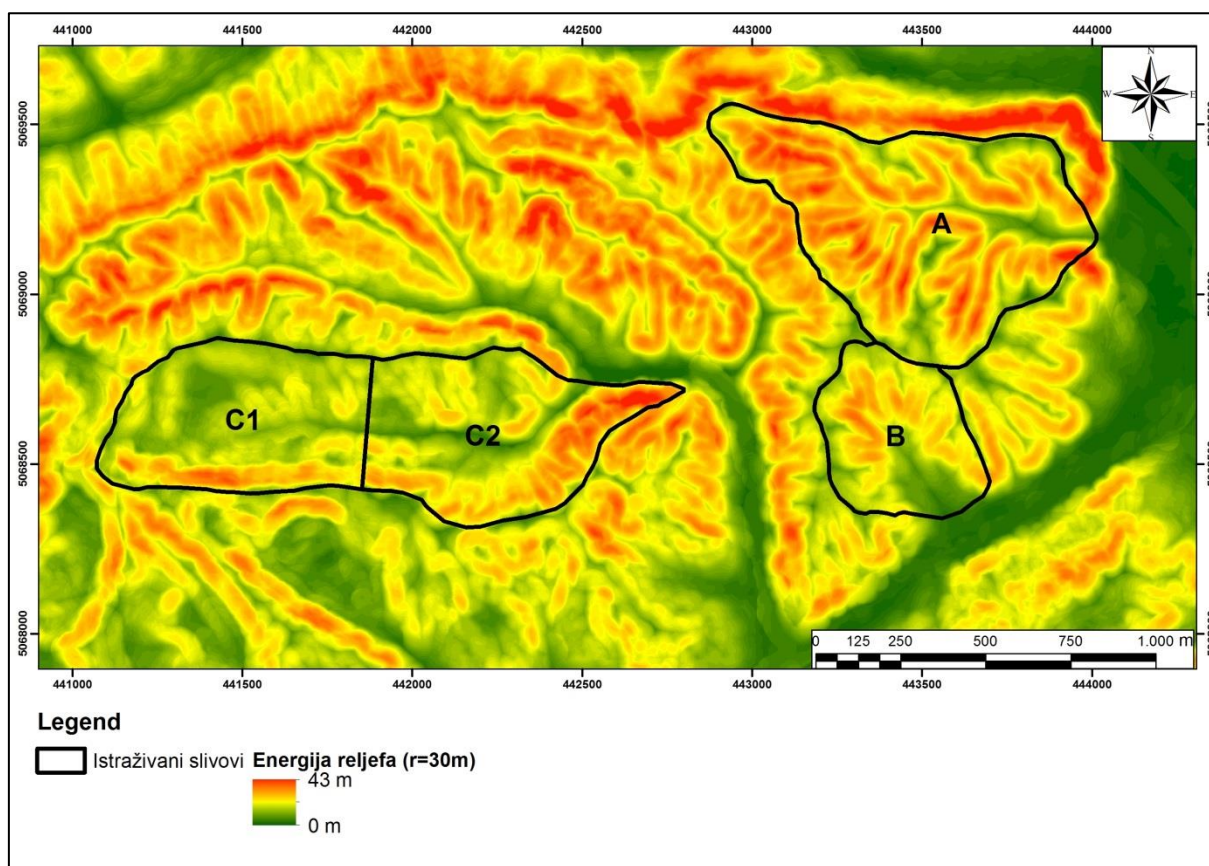
Iz slike 4-1 jasno je vidljivo da se poligon C sastoji od dvije, u smislu gustoće klizišta, kontrastne cjeline. Istočnog (C1) podpoligona u kojem je smješten najveći broj klizišta te u kojem gustoća klizišta ima najveće vrijednosti i zapadnog (C2) podpoligona u kojem su prisutna 3 manja klizišta. Stoga je u nastavku ovaj poligon podijeljen na dva podpoligona C1 i C2 (Slika 4-2) s ciljem utvrđivanja prosječnih značajki na tako definiranim cjelinama.



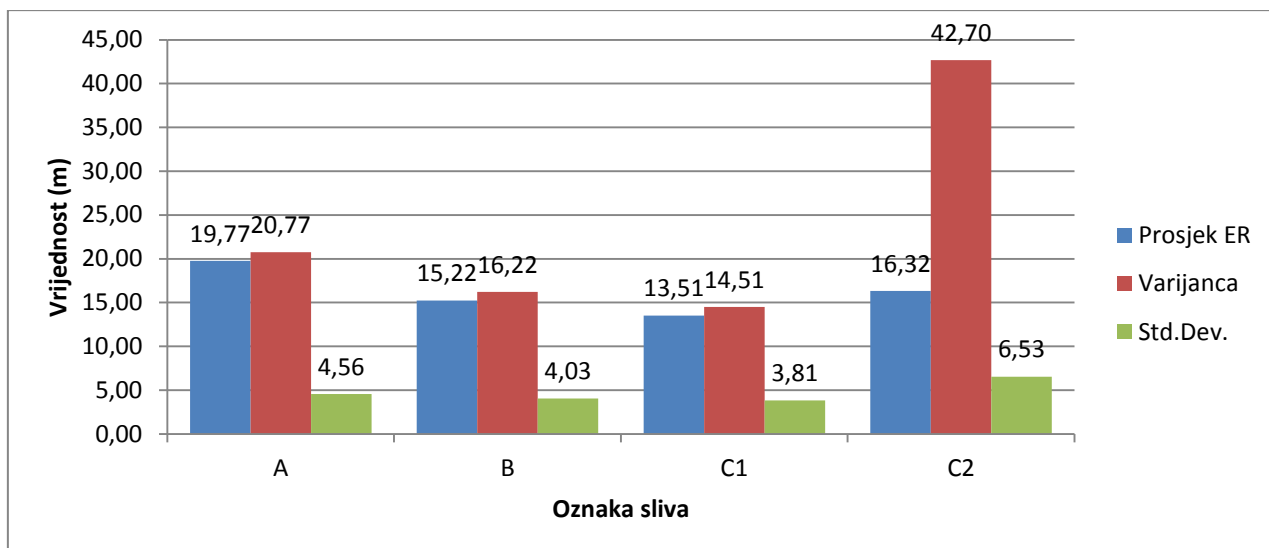
Slika 4-2 Granica između podpoligona C1 i C2

4.1.2 Energija reljefa

Karta energije reljefa prikazana je na slici 4-3. Crvena boja označava najviše energije reljefa (ER) na proučavanom području dok zelena označava najmanju energiju reljefa. Sliv A se ističe kao područje s najvišom prosječnom energijom reljefa koja iznosi 19,77 m. Istočni dio sliva C2 ima visoke vrijednosti ER dok sredina i zapadni dio sliva imaju vrlo niske vrijednosti ER. Prosječni ER iznosi 16,32 m. Sliv B okarakteriziran je vrlo niskom ER na sjeveroistoku, a prosječni ER iznosi 15,22 m. Najmanja prosječna ER od 13,51 m prisutna je na području sliva C1 na kojemu je ujedno prisutno najviše klizišta. Vrijednosti ER, varijance i standardne derivacije prikazani su na slici 4-4.



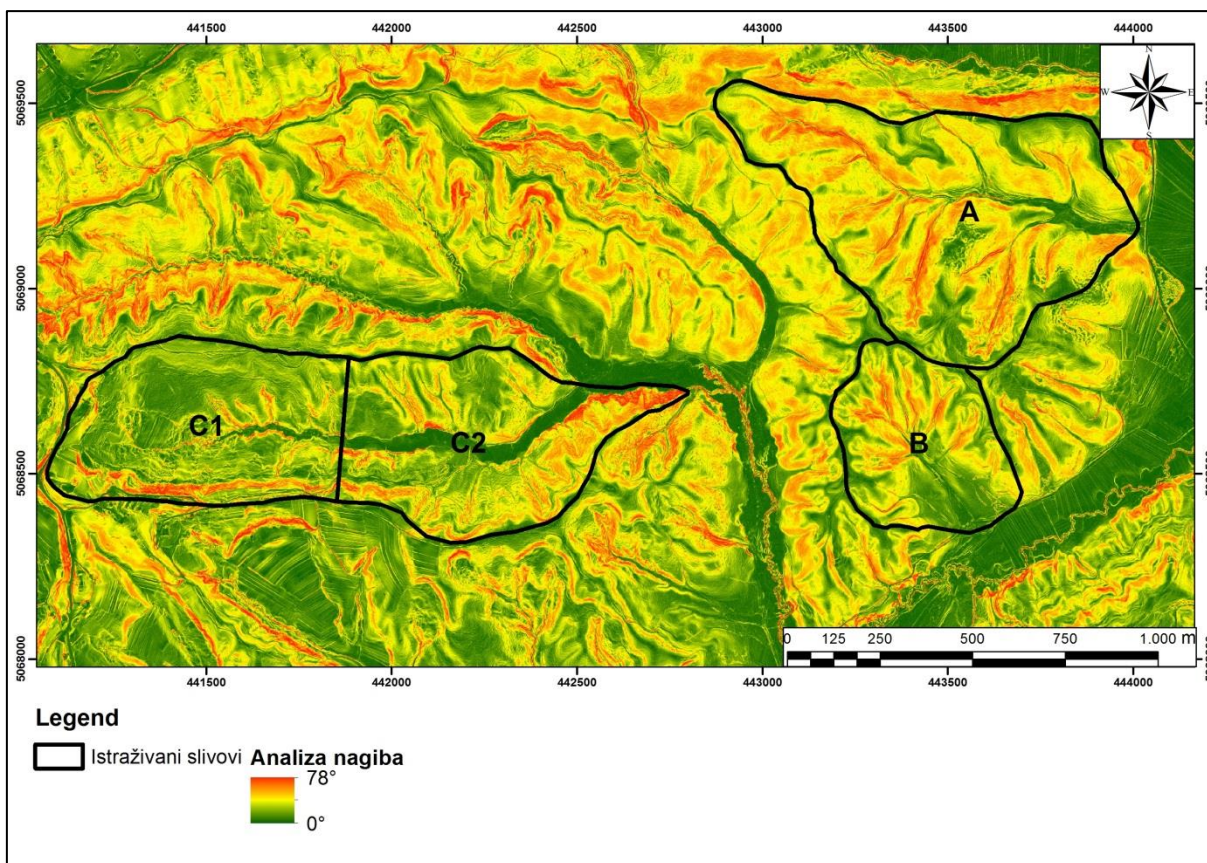
Slika 4-3 Energija reljefa (r=30m) istraživanog područja



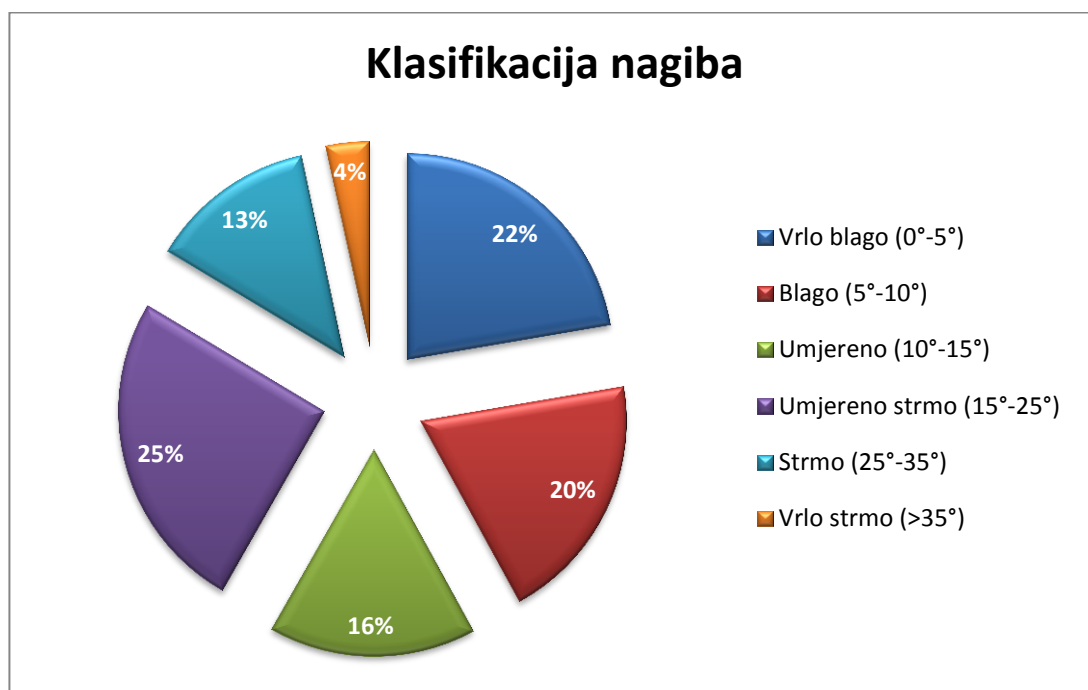
Slika 4-4 Statistička analiza energije reljefa

4.1.3 Analiza nagiba

U usporedbi s grid ćelijama, jedinice nagiba mogu bolje odražavati stvarne uvjete okoliša koji dovode do razvoja klizišta i imaju određeno geološko značenje (Zhao et al., 2021). Karta nagiba proučavanog područja prikazana je na slici 4-5. Sliv A ima najveći prosječni nagib koji iznosi 20,06 °, slivovi B i C2 imaju približno iste prosječne nagibe 16,80° i 16,63° do sliv C1 ima najmanji prosječni nagib 13,71°. Prema Sikdar et al. (2004) napravljena je klasifikacija nagiba za slivove istraživanog područja koja je prikazana na slici 4-6. Velik dio terena je vrlo blagog i blagog nagiba, najveći dio terena je umjereno strm dok je svega 4% vrlo strmo.



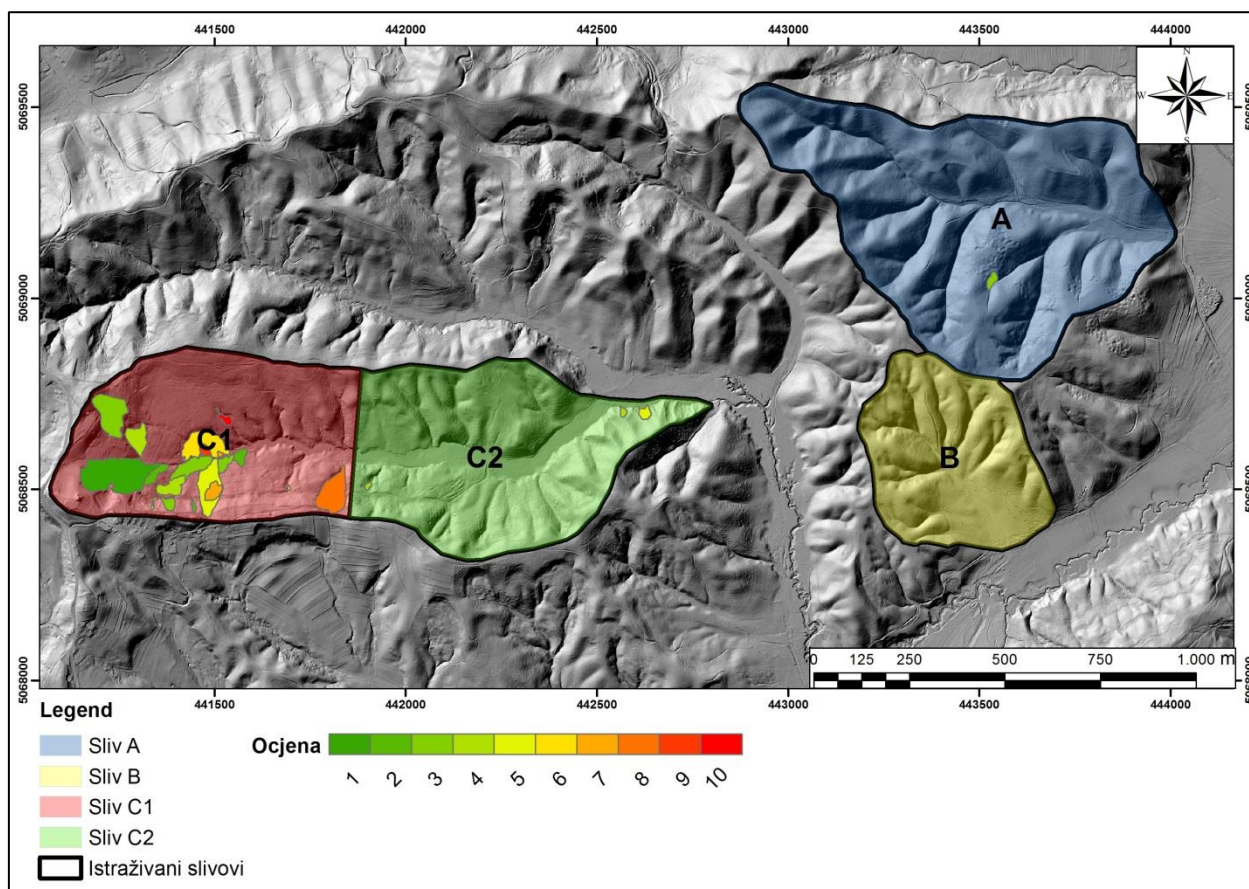
Slika 4-5 Karta nagiba istraživanih slivova



Slika 4-6 Klasifikacija nagiba prema Sikdar et al. (2004)

4.1.4 Prostorna analiza katastra klizišta

Na istraživanom području okolice Galgova, koje zauzima površinu od 1 308 972,12 m², pronađeno je i kartirano 24 klizišta koja zauzimaju površinu od 59340,97 m². Klizišta zauzimaju 4,5 % površine terena istraživanog područja. Površina im varira od 40 do 13000 m² (Slika 4-7). 20 klizišta je smješteno na zapadnom dijelu sliva C (C1), 3 na istočnom (C2), a 1 se nalazi u slivu A. Oblik klizišta je u većini slučajeva izdužen no prisutna su i ekvidimenzionalna klizišta.

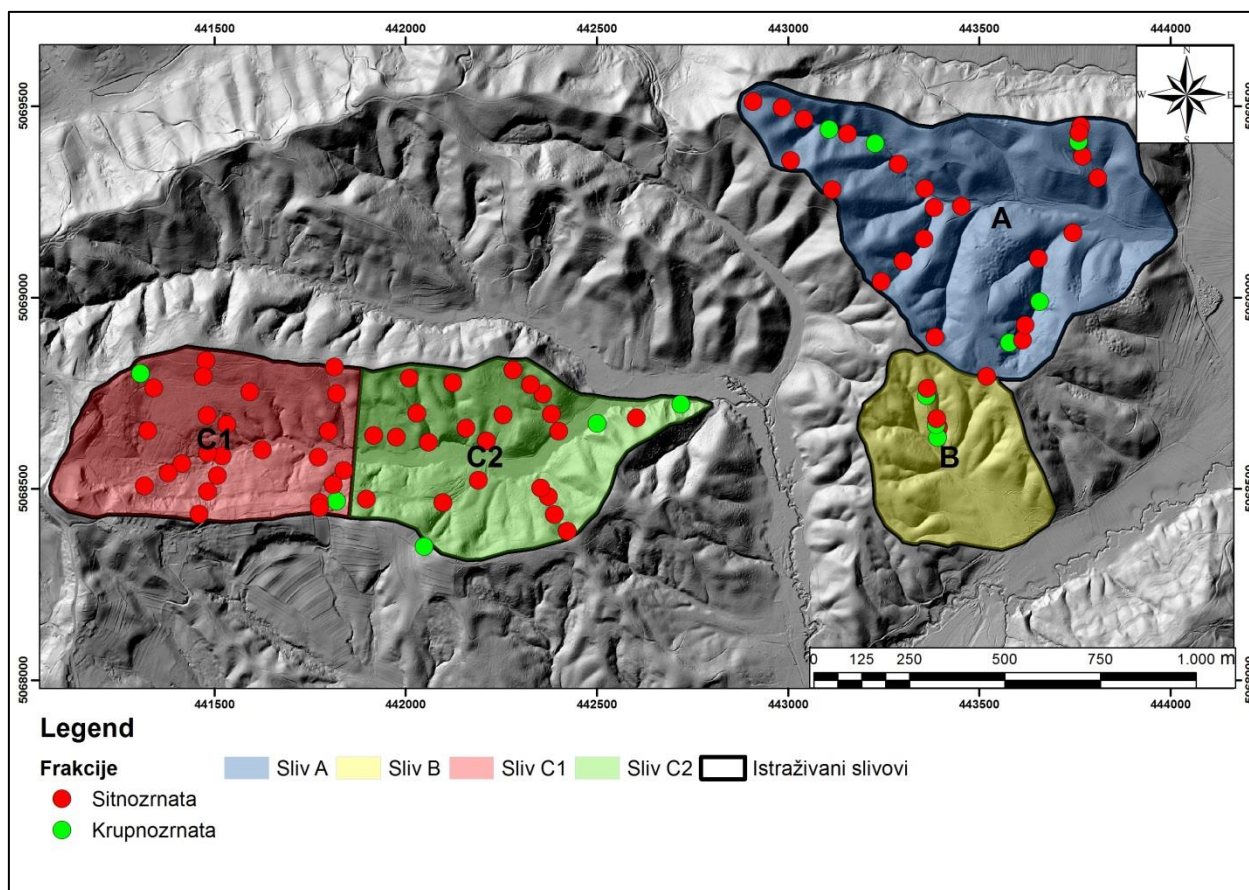


Slika 4-7 Klizišta na istraživanom području

4.2 Laboratorijski rezultati

Na području slivova A, B i C provedena su terenska uzorkovanja iz kojih su dobiveni podatci o granulometrijskom sastavu uzoraka tla.

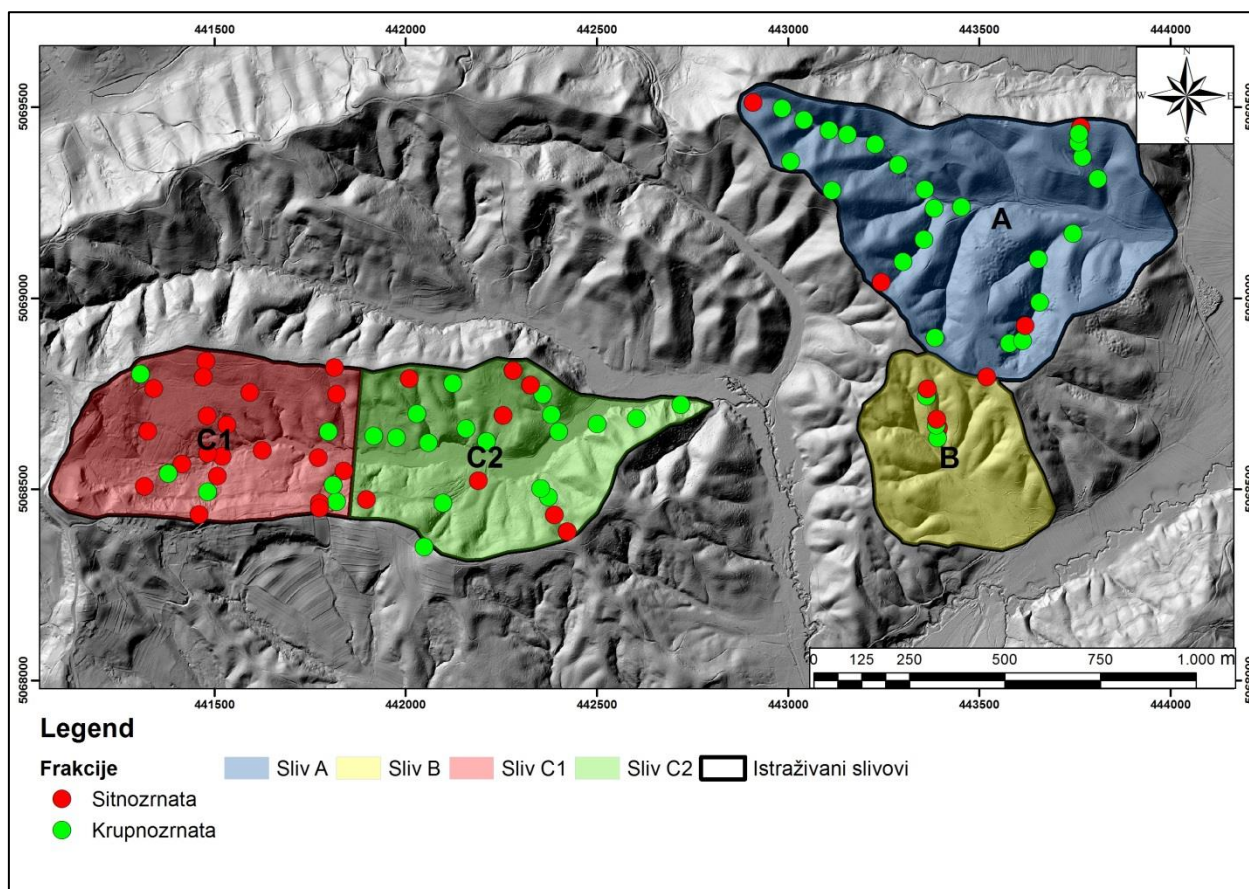
Slika 4-8 prikazuje uzorke koji su dominantno krupnozrnati, odnosno koji sadrže više od 50% frakcije veće od 0,71 mm (zeleni kružići) i uzorke koji su dominantno sitnozrnati, odnosno koji sadrže manje od 50 % frakcije veće od 0,71 mm (crveni kružići). Granica krupno i sitnozrnate frakcije je određena sukladno ASTM normi (D2487-06), a na slici 4-8 se uočava da je većina uzoraka sitnozrnata, tj. da u tom smislu materijali na istraživanim slivovima imaju slične granulometrijske značajke.



Slika 4-8 Raspodjela sitnozrnatih i krupnozrnatih frakcija prema ASTM klasifikaciji

Obzirom da su prostorne analize prezentirane u poglavlju 4.1 jasno distancirale poligon C1 od ostalih istraživanih poligona (A, B i C2), dodatnim analizama se pokušala utvrditi razlika u granulometrijskom sastavu jer se ona tijekom terenskih aktivnosti jasno dala naslutiti. Tako se pokušala pomaknuti granica sitno i krupnozrnatih uzoraka, tj.

granica je postavljena na situ 0,5 mm. Prema ovom pristupu dominantno krupnozrnati su proglašeni oni uzorci koji sadrže više od 30% frakcije veće od 0,5 mm, a dominantno sitnozrnati uzorci sadrže manje od 30% frakcije veće od 0,5 mm, te je tako dobivena slika 4-9. Iz nje je vidljivo da je na zapadnom dijelu sliva C (C1) uzeto 26 uzoraka od kojih je 6 dominantno krupnozrnato. Na istočnom dijelu sliva C (C2) uzeto je 25 uzoraka od kojih je 8 dominantno sitnozrnato. Na području sliva A uzeto je 28 uzoraka od kojih je svega 5 dominantno sitnozrnato. Na području sliva B nema klizišta, a podjednak broj uzoraka je sitnozrnat i krupnozrnat.



Slika 4-9 Raspodjela sitnozrnatih i krupnozrnatih frakcija s granicama većim ili manjim od 30% frakcije veće od 0,5 mm

Iz slike 4-9 jasno je vidljiva razlika prije svega između poligona C1 i C2 te poligona A i C2, koja je vrlo vjerojatno i uzrok tako jasnih morfometrijskih razlika (energija reljefa i nagib), ali i razlika u gustoći klizišta. O svemu se detaljnije raspravlja u poglavlju 5. Diskusija.

4.2.1 Sijanje

Sijanje je provedeno na 85 uzoraka uz pomoć djelatnika HGI-ja. 84 uzorka su korištena pri dobivanju podataka o granulometrijskom sastavu na istraživanom području. 1 uzorak (IA033) nije iskorišten u analizama zbog pogrešaka pri mjerenju. Tablica 4-1 prikazuje granulometrijski sastav za svaku točku uzorkovanja.

Tablica 4-1 Granulometrijski sastav svih uzoraka

Oznaka točke	Odsjev na situ							Prosjev kroz sito
Veličina otvora na situ	20,00 mm	10,00 mm	5,00 mm	2,00 mm	1,00 mm	0,71 mm	0,50 mm	<0,50 mm
IA001	1,57	3,60	5,67	5,07	3,38	1,48	1,61	77,62
IA002	6,71	21,33	22,90	15,34	7,10	3,28	3,20	20,14
IA003	5,88	26,93	21,71	10,39	1,64	2,06	2,58	28,81
IA004	0,00	0,15	0,67	2,02	1,28	0,56	1,61	93,71
IA005	0,00	1,37	19,79	34,84	11,86	3,66	2,90	25,59
IA006	0,00	0,00	0,05	0,32	0,24	0,10	0,10	99,19
IA007	0,00	2,69	12,92	13,26	6,13	4,11	2,17	58,72
IA008	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08	0,04	0,08	99,73
IA009	0,00	5,08	14,89	29,16	13,86	2,73	2,25	32,04
IA010	0,00	6,45	10,39	11,12	5,42	2,00	1,96	62,66
IA011	4,59	2,66	6,46	5,48	2,40	0,98	1,05	76,37
IA012	7,77	41,47	11,88	6,96	3,26	1,44	1,44	25,78
IA013	0,00	4,23	10,00	9,86	4,84	1,79	1,76	67,53
IA014	4,99	9,54	12,01	11,46	5,88	2,70	2,69	50,73
IA015	8,18	2,48	8,56	10,31	6,16	2,54	2,91	58,85
IA016	2,86	3,47	5,33	7,82	5,38	2,49	3,01	69,64
IA017	5,88	8,28	16,88	18,85	11,11	4,08	3,08	31,84
IA018	0,00	0,94	8,84	9,19	3,73	0,88	0,75	75,67
IA019	0,68	4,60	14,30	12,21	3,80	1,41	1,62	61,37
IA020	48,21	4,06	0,78	1,47	0,82	0,42	0,53	43,70
IA021	0,00	0,00	0,46	1,62	1,06	0,41	0,66	95,79
IA022	0,00	0,43	3,78	9,11	7,48	3,99	4,91	70,30
IA023	0,00	7,22	13,50	12,59	6,68	1,57	2,24	56,21
IA024	3,48	5,21	6,21	6,30	4,74	2,16	2,68	69,22
IA025	10,56	12,16	9,92	8,66	4,14	1,52	1,44	51,60
IA026	2,71	5,45	10,60	11,65	6,38	2,30	2,66	58,25
IA027	3,20	6,02	9,27	10,19	3,95	1,29	1,52	64,57
IA028	0,00	0,00	0,00	0,52	0,54	0,28	0,20	98,46
IA029	0,00	0,00	0,65	2,33	1,90	1,04	1,16	92,92
IA030	3,24	3,26	6,37	8,20	4,69	1,99	2,60	69,65

IA031	0,00	0,19	3,01	5,18	5,13	2,62	3,58	80,28
IA032	3,18	17,19	18,09	18,42	7,92	2,97	2,57	29,66
IA033	0,00	0,00	0,00	0,10	-0,01	0,00	-0,46	100,37
IA034	0,00	0,00	2,20	3,87	2,97	1,21	1,18	88,57
IA035	20,83	3,07	7,56	9,01	5,00	2,31	3,42	48,79
IA036	2,92	6,55	8,16	5,17	2,63	1,13	1,01	72,43
IA037	5,77	3,84	4,63	5,45	5,07	2,09	2,38	70,78
IA038	0,00	0,27	2,13	3,04	2,65	1,41	2,04	88,46
IA039	0,01	5,34	4,86	4,27	2,37	1,02	1,20	80,93
IA040	0,00	4,72	4,71	4,78	2,69	1,17	1,25	80,68
IA041	21,87	11,52	7,34	3,72	2,24	1,02	1,07	51,22
IA042	0,00	0,00	0,08	0,07	0,01	0,01	0,03	99,80
IA043	2,54	7,16	3,83	3,97	2,94	1,34	1,42	76,80
IA044	0,00	2,84	2,60	2,85	2,19	1,00	1,19	87,32
IA045	0,00	1,28	1,51	1,96	2,54	1,34	1,23	90,15
IA046	13,89	1,50	2,32	2,06	1,29	0,51	0,46	77,96
IA047	0,00	0,00	0,00	0,37	0,29	0,13	0,10	99,12
IA048	3,78	0,21	0,25	0,31	0,23	0,32	0,05	94,85
IA049	0,93	4,75	8,40	8,83	4,26	1,63	1,96	69,24
IA050	2,33	3,57	5,46	6,48	3,95	1,73	1,77	74,71
IA051	9,46	2,55	2,93	3,08	1,80	0,81	0,90	78,47
IA052	2,41	2,71	5,70	6,06	3,86	1,54	1,60	76,12
IA053	37,86	9,03	8,42	8,16	2,16	0,72	0,74	32,90
IA054	0,00	0,00	0,00	0,33	0,32	0,12	0,09	99,15
IA055	1,58	0,60	1,32	1,73	0,95	0,27	0,21	93,34
IA056	5,55	24,37	20,55	15,33	6,80	3,27	3,56	20,57
IA057	0,00	4,96	8,57	10,16	5,02	1,83	2,11	67,35
IA058	0,95	14,87	21,43	19,10	8,33	2,79	2,31	30,21
IA059	0,00	0,39	1,83	2,34	1,48	0,73	1,37	91,87
IA060	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,03	0,02	99,78
IA061	0,00	5,58	10,26	10,59	7,49	2,77	3,17	60,13
IA062	1,28	5,00	8,95	9,02	4,99	2,06	2,65	66,04
IA063	1,37	4,07	7,03	9,51	5,52	2,21	2,49	67,79
IA064	0,00	0,00	0,25	0,82	1,10	0,39	0,27	97,18
IA065	0,00	4,31	10,18	12,96	8,32	3,04	3,43	57,76
IA066	2,69	5,53	7,14	4,88	4,74	2,73	4,08	68,21
IA067	0,00	5,16	4,90	8,31	7,07	2,50	2,30	69,76
IA068	2,65	5,82	10,45	8,29	6,94	2,79	3,38	59,67
IA069	1,01	7,33	6,59	6,60	3,90	2,37	3,02	69,17
IA070	0,00	0,00	0,00	0,61	0,83	0,41	0,37	97,79
IA071	0,00	7,00	8,64	11,13	6,64	2,53	2,71	61,35
IA072	0,75	3,41	3,54	4,19	2,59	1,16	1,29	83,07
IA073	12,23	6,87	7,41	7,54	4,48	2,00	2,25	57,22

IA074	13,48	9,19	14,99	12,93	5,56	2,21	2,41	39,22
IA075	0,00	7,03	10,28	9,91	4,88	2,13	2,48	63,29
IA076	17,75	16,84	12,68	9,14	4,76	2,52	2,85	33,46
IA077	7,51	9,05	9,97	9,43	4,74	2,03	2,33	54,94
IA078	11,86	1,87	7,88	10,97	6,76	2,30	3,05	55,31
IA079	2,92	2,99	3,31	3,92	3,75	1,73	2,05	79,32
IA080	20,92	2,70	1,88	3,58	3,14	1,65	2,34	63,79
IA081	14,12	8,18	7,40	9,20	7,63	3,42	4,07	45,98
IA082	4,23	0,71	2,54	3,06	2,20	0,72	0,71	85,83
IA083	3,54	5,69	11,54	11,64	4,71	1,48	1,60	59,80
IA084	0,70	4,28	12,03	13,20	5,06	2,03	2,09	60,59
IA085	2,37	5,94	7,06	7,37	4,28	2,04	2,16	68,79

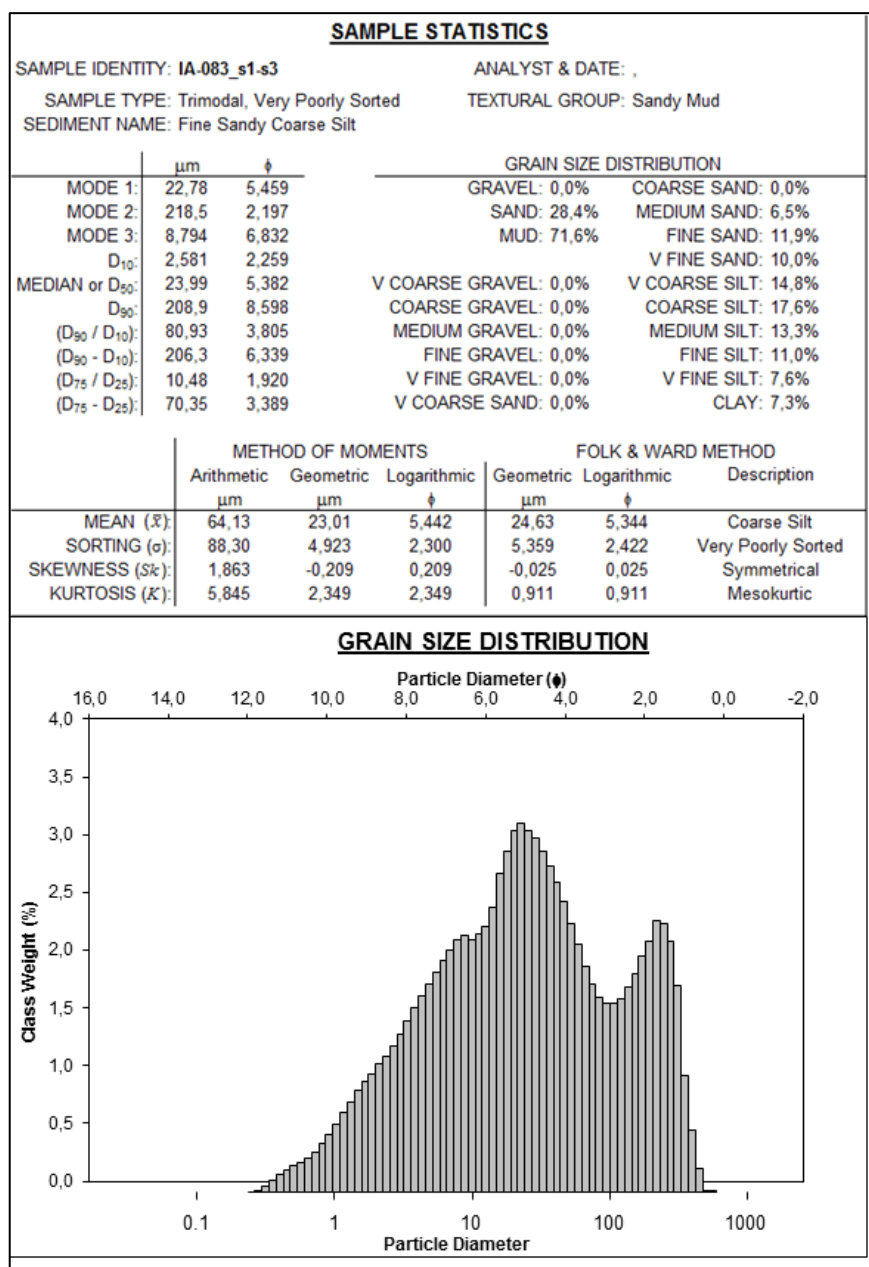
Ustanovljeno je da na dijelovima terena na kojima dominiraju sitne frakcije dolazi do najvećeg broja klizišta kao što je slučaj na području C1. Ujedno dolazi do pojave klizišta na područjima gdje je podjednaka količina krupne i sitne frakcije kao na području C2. Jedino klizište koje se pojavljuje na području gdje dominira krupna frakcija pronađeno je u području A, u neposrednoj blizini jaruge na strmom dijelu padine.

O ovom interesantnom zapažanju detaljnija diskusija provedena je u poglavlju 5. Diskusija.

4.2.2 Laserski sedigraf

Kako bi se dobili precizniji podatci o granulometriji uzoraka korišten je laserski sedigraf Shimadzu-SALD-2300 koji nam je omogućio mjerenje količina frakcija manjih od 2 mm. Mjerenje se provodi pomoću rendgenske zrake koja omogućuje izračunavanje koncentracije čestica u tekućem mediju prema principu Stokes-ovog zakona. Stokes-ov zakon navodi da je krajnja brzina taloženja sferne čestice u fluidnom mediju funkcija njezina promjera. Sedigraf detektira veličinu čestica prema njihovoj brzini sedimentacije.

Rezultati mjerenja obrađeni su pomoću *GradiStat* softvera u *Microsoft Excelu* te je za svaki uzorak dobivena tablica i graf veličine čestica (Slika 4-10).



Slika 4-10 Primjer dobivenih rezultata iz GradiStata

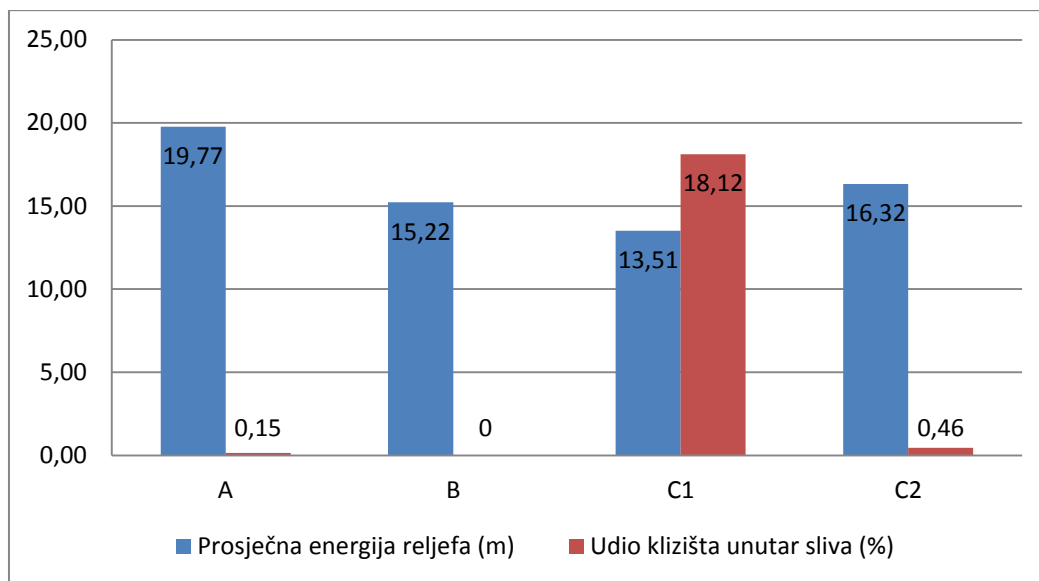
5 DISKUSIJA

Za potrebu izrade ovog diplomskog rada prikupljeni su mnogobrojni podatci iz različitih izvora. Podatci o litologiji istraživanih područja dobiveni su iz Osnovne geološke karte SFRJ – list Zagreb i terenskim istraživanjima koja su provedena u razdoblju ožujak – lipanj 2021. Terenska i laboratorijska istraživanja dala su i informacije o veličini čestica na istraživanom području. Sveukupno je sakupljeno 85 uzoraka koji tvore donekle pravilnu mrežu i daju nam reprezentativnu sliku za većinu istraživanih slivova. Energija reljefa, nagibi terena, gustoća klizišta i katastar klizišta dobiveni su analiziranjem podataka daljinskih istraživanja pomoću *ArcGIS* softvera. Na temelju snimaka terena napravljena je karta koja prikazuje lokacije svih klizišta, koja je korištena pri terenskim istraživanjima, ali i pri analizi GIS podataka.

Klizišta nastaju kada posmična naprezanja u padini dosegnu posmičnu čvrstoću materijala koji izgrađuju padinu. Uzroci klizanja mogu se podijeliti na preduvjete klizanja i inicijatore klizanja. Preduvjeti čine padinu osjetljivom na klizanje, ali ga ne iniciraju, drugim riječima, dovode padinu u stanje granične ravnoteže. Po definiciji, inicijator je vanjski poticaj kao što je intenzivna kiša, potres, vulkanska erupcija, olujni valovi ili erozija vodotoka koji uzrokuje gotovo trenutni odgovor u obliku klizišta brzim povećanjem naprezanja ili smanjenjem snage materijali nagiba (Wieczorek, 1996). U nekim slučajevima može doći do klizišta bez vidljivog inicijatora zbog različitih uzroka, kao što su kemijsko ili fizičko trošenje materijala, koji postupno dovode padinu do sloma.

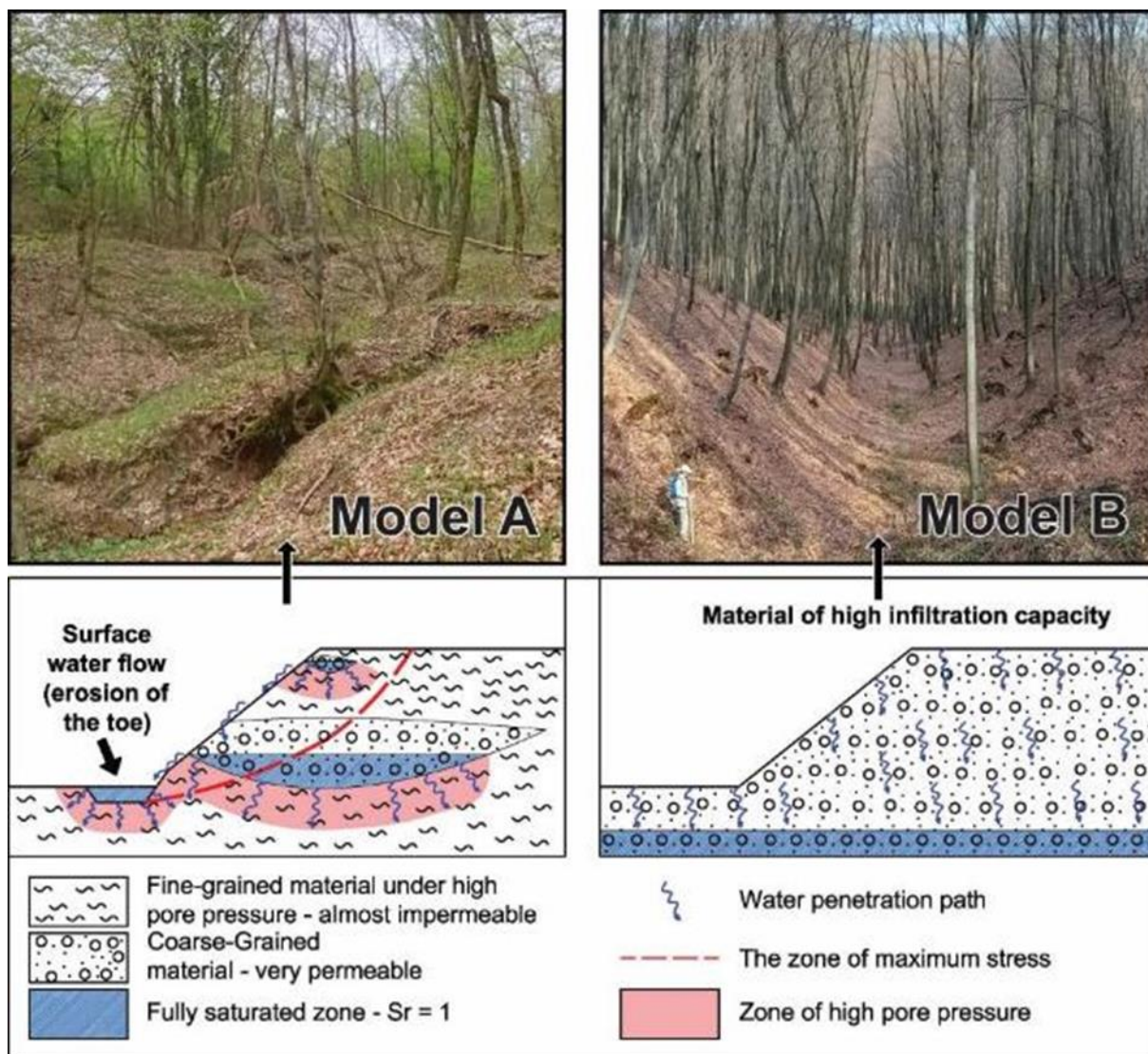
Za procjene karakteristika osjetljivosti na klizanje za pojedine geološke cjeline (slivove) korišteni su parametri ili kombinacije parametara navedenih u nastavku.

Energija reljefa može se definirati kao visinska razlika terena između najviše i najniže točke na proučavanom području. Također, ER se može koristiti kao pokazatelj stanja naprezanja na određenom dijelu površine terena. Veća vrijednost ER ukazuje na heterogenu distribuciju izgleda tenzora naprezanja duž zamišljenih horizontalnih ravnina, tj. može ukazivati na činjenicu da su resultantne sile u tijelu padine bliže granici neravnotežnog stanja. Iz karata ER-a i katastra klizišta je vidljivo da najveće vrijednosti ER nužno ne rezultiraju najvećim brojem klizišta. Najviše klizišta prisutno je upravo u podpoligonu C1 u kojemu je prosječna ER najmanja. Razlog tome je što je nakon aktivacije klizišta došlo do smanjenja visinske razlike terena i uspostave ravnotežnog stanja. Na slici 5-1 su prikazane prosječne energije reljefa i udjeli klizišta u pojedinim područjima.



Slika 5-1 Usporedba prosječne ER i udjela klizišta unutar sliva

Litologija proučavanog područje je još jedan od faktora koji mogu utjecati na pojavu klizišta. Cijelo područje je pokriveno pliokvartarnim (Pl,Q) naslagama otprilike iste starosti i načina postanka. Naslage su vrlo heterogene i izgrađene su od šljunka, pijeska, glina i praha koji su različito zastupljeni u svim slivovima proučavanog područja. Pronađene su i neznatne količine konglomerata i breča u jednom od slivova. Proučavanjem granulometrijske raspodjele za svaki sliv dobiveni su podatci o dominantnim frakcijama za svako područje. Korištenjem granice krupno i sitnozrnate frakcije definirane u ASTM standardu dobivena je prostorna distribucija uzoraka koja ukazuje da ne postoji vidljiva razlika između proučavanih poligona A, B, C1 i C2. Korištenjem drugih analiza prema kojima dominantno krupnozrnati uzorci sadrže više od 30% frakcije veće od 0,5 mm, a dominantno sitnozrnati uzorci sadrže manje od 30% frakcije veće od 0,5 mm, slika se mijenja. Slivovima A i C2 dominiraju krupnozrnate frakcije dok slivom C1 dominiraju sitnozrnate frakcije. Na području sliva B uzeto je svega 6 uzoraka tako da nije moguće dobiti reprezentativnu sliku cijelog sliva. Ipak obzirom na činjenicu da u slivu nije zabilježeno nijedno klizište logično je za pretpostaviti da je u ovom slivu ipak najzastupljenija krupnozrnata frakcija. U slivovima A i C2 prisutna su 4 klizišta manjih dimenzija dok je u slivu C1 prisutno 20 klizišta raznih dimenzija. Korelacijom podataka o granulometriji i karte klizišta dobivamo jasnu sliku koja nam ukazuje na znatno veću pojavnost klizišta u područjima s dominantno sitnozrnatim frakcijama.



Slika 5-2 Karakteristični modeli za proučavano područje; MODEL A - Vrlo heterogena litologija od sitnozrnate do krupnozrne frakcije; MODEL B - Homogena krupnozrnata (pijesak i šljunak s vrlo malo krupnozrnog praha) litologija. (Izvor :Gulam et al., 2022)

Slika 5-2 prikazuje 2 modela terena, A i B. Sliv C1 s heterogenom litologijom i dominantno sitnozrnatom frakcijom, odgovara modelu A. Na područjima s takvim značajkama materijala tla može doći do pojave klizišta, tj. ravnoteža se može narušiti uslijed porasta poreznog tlaka, a taj porast uzrokuje slaba vodopropusnost sitnozrnatih proslojaka PIQ naslaga. Također slaba vodopropusnost PIQ naslaga bogatijih sitnozrnatom frakcijom može uzrokovati nastanak erozivnijih koncentriranih površinskih tokova koji svojim erozivnim djelovanjem mogu promijeniti geometriju posebice nožičnog dijela padine. Na taj način se narušava labilna ravnoteža poligona sila na padinama što posljedično može dovesti do aktivacije klizišta. Većina klizišta je pronađena na području sliva C1 što potvrđuje ove tvrdnje. Jedan od pokazatelja takve litologije su strme i uske jaruge V oblika koje su pronađene na nekoliko lokacija na istraživanom području (Slika 5-

3). Slivovi A, B i C2 uglavnom su građeni kao model B. Dominiraju krupnozrnate frakcije koje brzo dreniraju teren i onemogućavaju nastanak erozivnih koncentriranih površinskih tokova i podizanje pornih tlakova. Teren može biti strm, ali jaruge su puno šire s blažim padinama oblika slova U.



Slika 5-3 Jaruge “U“ (lijevo) i “V“oblika (desno)

Model A opisuje aktivaciju klizišta uzrokovanu povećanim pornim tlakom u sitnozrnatom materijalu i erozijom nožice klizišta. Litologija omogućava infiltraciju i zadržavanje vode što dovodi do povećanja pornog tlaka i smanjenja stabilnosti padine. Površinski tokovi mogu erodirati nožicu klizišta i time još više smanjiti stabilnost padine. U trenutnom stanju naprezanja modela B nije moguća aktivacija klizišta jer se sadašnja litologija vrlo lako drenira što onemogućava povećanje pornog tlaka. Erozijska nožica klizišta također nije moguća jer se površinski erozivni tokovi ne mogu razviti zbog vrlo brzog infiltracije površinske vode u dublje horizonte.

6 ZAKLJUČAK

Na relativno malom istraživanom području okolice Galgova pronađena su 24 klizišta. Nijedno klizište nije prouzročilo nikakve štete na prometnicama, stambenim ili komunalnim objektima. U okviru ovog diplomskog rada prikupljeni su i interpretirani podatci dobiveni daljinskim, terenskim i laboratorijskim istraživanjima. Korištenjem novih podataka poput LiDAR snimaka omogućeno je izvođenje novih analiza i prikaz terena na potpuno nov način. Prikupljeni podatci korišteni su za određivanje faktora koji utječu na podložnost istraživanog područja na klizanje, izradu raznih karata i katastra klizišta. Katastar klizišta izrađen je kao temelj za sve GIS analize i karte te može poslužiti za prognoze nastanka novih klizišta. Istraživano područje podijeljeno je na 3 sliva A, B i C od kojih je sliv C podijeljen na 2 područja s vrlo različitim svojstvima C1 i C2.

Prikupljeno je sveukupno 85 uzoraka od kojih je 84 korišteno za razne analize i izradu karata. S obzirom na relativno malu površinu istraživanog područja svi slivovi su prekriveni pliokvartarnim naslagama opisanih kao naslage šljunka, pijeska, glina i prahova u Osnovnoj geološkoj karti mjerila 1:100.000 list Zagreb (Šikić et al., 1972). Terenska istraživanja, sijanje i laserski sedigraf omogućila su detaljan uvid u granulometrijski sastav proučavanog područja. Slivovi A, B i C2 dominantno su krupnozrnati dok je sliv C1 dominantno sitnozrnat. Prema rezultatima prostornih analiza provedenih u ovom radu proizlazi da je 83% registriranih klizišta, odnosno njih 20, pronađeno u slivu C1. GIS analizama utvrđeno je da je energija reljefa najveća u slivu A i iznosi 19,77 m, a najmanja u slivu C1, 13,51 m. Također je utvrđeno da je u slivovima A, B i C2 najveći dio terena umjereno strm dok je u slivu C1 najveći dio terena blago strm. Udio površine klizišta u površini sliva najveći je za sliv C1 i iznosi 18,12 % dok je najmanji u slivu A i iznosi 0,15 %.

Iz provedenih analiza jasno se može ustvrditi da granulometrijska heterogenost pliokvartarnih naslaga ima veliku ulogu u aktivaciji, tj. u brojnosti klizišta na određenom području. Čimbenici koji u takvim u takvoj situaciji uzrokuju nestabilnost padine su porast površine talkova te narušavanje ravnotežnog stanja padine uslijed erozije nožice padine, tj. uslijed narušavanja geometrije poligona aktivnih i reaktivnih sila u tijelu padine.

Obzirom da je ovaj rad površinom pokrio tek mali dio pliokvartarnih naslaga u Republici Hrvatskoj, granulometrijsku heterogenost navedenih naslaga bi svakako trebalo testirati i na još nekim područjima sjeverne Hrvatske. Time bi se mogla nedvojbeno

utvrditi podložnost ovih naslaga na klizanje, a što bi opet pomoglo u definiranju razine istraživačkih postupaka potrebnih pri izradi karata podložnosti na klizanje.

7 LITERATURA

ALEOTTI, P., CHOWDHURY, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 58, 21–44.

BERILA, A., ISUFI, F., 2021. Application of Gis in the determination of vertical relief fragmentation: A case study on Drenica river basin (Kosovo). *Geographia Technica*, Vol. 16, Issue 1, 2021, pp 39 to 47.

BUZJAK, N., DUJMOVIĆ, I., FELETAR, D., FELETAR, P., HOLJEVAC, Ž., IBRIŠEVIĆ, R., PETRIĆ, H., RAGUŽ, J., RAZUM, S., SIJERKOVIĆ, M., SOMEK, P., VOJAK, D., ŽEGARAC PEHARNI, M., ŽELLE, M., 2011. Samobor–zemljopisno povijesna monografija, *Bibliotheca Geographica Croatica*, knjiga 41-svezak 1, prvo izdanje. Samobor: Izdavačka kuća Meridijani, str. 45–49.

CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V., REICHENBACH, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms* 16 (5), 427–445.

CHACÓN, J., IRIGARAY C., CASTILLO, T., HAMDOUNI, R., 2006. Engineering geology maps: Landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 65. 341–411. 10.1007/s10064-006-0064-z.

CRUDEN, D. M. 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), 27–29.

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

CRUDEN, D.M., VARNES, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation*, Special Report 247. Transportation Research Board, Washington D.C., pp. 36–75.

ČMELIK, Z., MIROŠEVIĆ, N., HUSNJAK, S., 2008. Regionalizacija voćarske i vinogradarske proizvodnje u Zagrebačkoj županiji. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

DEMEK, J., 1972. Manual of Detailed Geomorphological Mapping. Prague, Czechoslovakia: Academia (for the International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping). 344. p.

FERNANDEZ DIAZ, J.C., CARTER, W. E. , SHRESTHA, R. L., GLENNIE, C. L., 2013. Lidar remote sensing. Handbook of Satellite Applications. Springer Science Business Media New York.

GALLI, M., ARDIZZONE, F., CARDINALI, M., GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology* 94, 268–289.

GULAM, V., BOSTJANČIĆ, I., HEĆEJ, N., FILIPOVIĆ, M., FILJAK, R. , 2022: Preliminary analysis of LiDAR-based landslide inventory in the area of Samobor, Croatia. *Geologia Croatica*, X/X, Y–YY. (RAD u postupku objavljivanja).

GUZZETTI, F., CARDINALI, M., REICHENBACH, P., CARRARA, A., 2000. Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management* 25 (3), 247–363.

GUZZETTI, F., MALAMUD, B.D., TURCOTTE, D.L., REICHENBACH, P., 2002. Power-law correlations of landslide areas in central Italy. *Earth and Planetary Science Letters* 195, 169–183.

HAUGERUD, R., HARDING, D.J., JOHNSON, S.Y., HARLESS, J.L., WEAVER, C.S., SHERROD, B.L., 2003. High-resolution topography of the Puget Lowland, Washington — a bonanza for earth science. *GSA Today* 13, 4–10.

HÖFLE, B., RUTZINGER, M., 2011. Topographic airborne LiDAR in geomorphology: A technological perspective. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*.

HUTCHINSON, J. N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and geomorphology. U: *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslide*, Lausanne, str. 3-35.

KOSZTRA, B., BÜTTNER, G., HAZEU, G., ARNOLD, S., 2017. Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. Environment Agency Austria. Service Contract No 3436/R0-Copernicus/EEA.57441.

MALLET, C., CHEHATA, N., BAILLY, J.S., 2016. Airborne LiDAR Data Processing. Optical Remote Sensing of Land Surface 1st Edition Chapter: 6 Publisher: Elsevier.

MCCALL, S.T., 2021. Landslide Hazards, Risks, and Disasters (Second Edition), Chapter 2 - Landslide causes and triggers, pages 13-41. Elsevier.

MCCALPIN, J., 1984. Preliminary age classification of landslides for inventory mapping. Proceedings 21st annual Engineering Geology and Soils Engineering Symposium. University Press, Moscow, Idaho, pp. 99–111.

MELIN, M., SHAPIRO, A.C., GLOVER-KAPFER, P., 2017. Conservation technology – Remote sensing : LIDAR, Chapter 3. LIDAR for ecology and conservation. WWF Conservation Technology Series 1(3).WWF-UK, Woking, United Kingdom.

PAŠEK, J., 1975. Landslide inventory. International Association Engineering Geologist Bulletin 12, 73–74.

PERČEC TADIĆ, M., ZANINOVIĆ, K., SRNEC, L., 2006. Karta srednje godišnje temperature zraka u razdoblju 1960 – 1991. DHMZ.

PIKE, R.J., 1988. The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. Mathematical Geology 20 (5), 491–511.

PLEŠKO, N., GAJIĆ-ČAPKA, M., ZANINOVIĆ, K., 1984. Meteorološke oborinske podloge za projekt Katastar malih vodnih snaga u SRH. (neobjavljeno). Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, 16 str.

POPESCU, M., 2002. Landslide causal factors and landslide remedial options, Keynote lecture. Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety of Infra-Structures, Singapore, p 61-81.

PRELOGOVIĆ, E., 1969. Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. Geološki vjesnik, 23, str. 1551-161.

RIB, H.T., LIANG, T., 1978. Recognition and identification. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), *Landslide Analysis and Control*. : Transportation Research Board Special Report, 176. National Academy of Sciences, Washington, pp. 34–80.

SIKDAR, P. K., CHAKRABORTY, S., ADHYA, E., PAUL, P.K., 2004. Land Use/Land Cover Changes and Groundwater Potential Zoning in and around Raniganj coal mining area, Bardhaman District, West Bengal – A GIS and Remote Sensing Approach. *Journal of Spatial Hydrology* Vol.4, No.2 Fall 2004.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1972. Osnovna geološka karta SFRJ , list Zagreb mjerila 1:100 000. Zagreb: Institut za geološka istraživanja.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1979. Osnovna geološka karta, 1:100 000. Tumač za list Zagreb. Beograd: Savezni geološki zavod.

TURCOTTE, D.L., MALAMUD, B.D., GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., 2002. Self-organization, the cascade model and natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (1), 2530–2537.

VARNES, D.J., 1978. Slope movements: types and processes. U: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(ur.): *Landslide Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report 176, Washington D.C.: National Academy Press, str. 11–33.

VARNES, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice.– IAEG Commission on Landslides and Other Mass Movements, *Natural Hazards* 3, UNESCO, Paris, 63 p.

WIECZOREK, G.F. 1996. Landslide Triggering Mechanisms. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L., Eds., *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report, Washington DC, 76-90.

WIECZOREK, G.F., 1984. Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 21 (3), 337–342.

ZHAO Z., ZYUAN L. AND XU C. 2021. Slope Unit-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Certainty Factor, Support Vector Machine, Random Forest, CF-SVM and CFRF Models. Front. Earth Sci. 9:589630. doi: 10.3389/feart.2021.589630

WEB IZVORI:

CDEMA (2022): Introduction for Digital Elevation Models, URL: <https://cdema.org/virtuallibrary/index.php/charim-hbook/data-management-book/3-base-data-collection/3-2-digital-elevation-models> pristupljeno 12. siječnja 2022.

DGU (2022): Geoportal Metapodatci, URL: <https://geoportal.dgu.hr/#/menu/podaci-o-slojevima> pristupljeno 12. Siječnja 2022.

ESRI (2022): How HillShade works, URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-hillshade-works.htm> pristupljeno 12.siječnja 2022.

ESRI (2022): Introduction to ortho mapping, URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/introduction-to-ortho-mapping.htm> pristupljeno 12.siječnja 2022.

HGI (2022): PORTAL ZA PRIJAVU KLIZIŠTA, URL: <https://www.hgi-cgs.hr/prijava-klizista/> pristupljeno 12.siječnja 2022.

UNISDR (2022): ECONOMIC LOSSES, POVERTY & DISASTERS 1998-2017, URL: https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf pristupljeno 12.siječnja 2022.

OSTALI IZVORI:

ASTM Standard, 2008. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). D 2487 – 06

British Standard, 1990. Methods of test for Soils for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests

HGI (2019): Interna uputa za izradu katastra klizišta