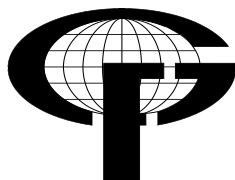


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Antonio Kolobarić

**PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA I
DIGITALNOG BLIZANCA ZA PRAĆENJE
KLIZANJA TLA NA KLIZIŠTU U ZRINU**

Diplomski rad



Zagreb, ak. god. 2023./2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**GEODETSKI FAKULTET**

Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, Antonio Kolobarić, (JMBAG: 0007180573), rođen dana 15.2.1999. u Dubrovniku, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Željku Bačiću na smjernicama pri izradi ovog diplomskog rada kao i voditelju dr. sc. Zvonimiru Nevistiću na strpljenju i pomoći tijekom izrade.

Veliko hvala dr. sc. Vlatku Gulamu i Hrvatskom geološkom institutu koji su ustupili svoje podatke istraživanja klizišta u Zrinu.

Hvala mojim prijateljima Ivi i Beru koji su velikodušno pomogli pri terenskom dijelu izvođenja ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem prijatelju Lovru koji je ustupio svoj laptop u svrhu obrade podataka.

Posebnu zahvalu i posvetu dugujem roditeljima Marini i Brunu koji su svojim napornim radom ovo omogućili.

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Antonio Kolobarić
Datum i mjesto rođenja:	15. veljače 1999., Dubrovnik, Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Primjena bespilotnih letjelica i digitalnog blizanca za praćenje klizanja tla na klizištu u Zrinu
Mentor:	prof. dr. sc. Željko Bačić
Drugi mentor:	
Voditelj:	dr. sc. Zvonimir Nevistić
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja zadatka:	28. veljače 2023.
Datum obrane:	20. rujna 2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	prof. dr. sc. Željko Bačić izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar dr. sc. Zvonimir Nevistić

Primjena bespilotnih letjelica i digitalnog blizanca za praćenje klizanja tla na klizištu u Zrinu

Sažetak: Klizišta mogu značajno utjecati na društvo uzrokujući gubitak života, uništenje infrastrukture, ekonomske gubitke i trajne promjene u okolišu. Zbog toga je važno uspostaviti učinkovit način identifikacije i praćenja klizišta. Tehnološki napredak omogućuje korištenje različitih metoda opažanja poput GNSS-a, Doppler radara, LIDAR-a, dronova itd. GNSS RTK metoda pokazala se dovoljno točnom i pouzdanom, a istovremeno kao i maksimalno fleksibilnom i najekonomičnijim metodom opažanja klizišta. Ovaj rad istražuje usporedbu između GNSS RTK metode i dronova koji služe kao platforma za fotogrametrijsko opažanje klizišta. U tu svrhu sa stručnjacima s Hrvatskog geološkog instituta (HGI) dogovorena je suradnja u istraživanju klizišta u Zrinskoj Dragi, na području općine Zrin. Istraživanje uključuje terenski dio prikupljanja podataka koji je izvođen pomoću Trimble R8 i Topcon Hyper SR GNSS uređaja i Phantom 4 Pro V2.0 drona, a svemu je prethodila stabilizacija detaljnih točaka na klizištu pomoću betonskih stupića. Drugi dio istraživanja uključuje analizu i usporedbu podataka prikupljenih u tri epohe opažanja. Podaci prikupljeni opažanjem iz zraka obrađeni su pomoću softvera Pix4Dmatic i CloudCompare. Posljednji dio rada bavi se teoretskim definiranjem okvira razvoja modela digitalnog blizanca klizišta što bi omogućilo praćenje u blizu realnom vremenu i predviđanje pomaka tla.

Ključne riječi: klizišta, bespilotne letjelice, GNSS RTK

Application of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Digital Twin for Monitoring Landslide at Zrin

Abstract: Landslides can have a significant impact on society, causing loss of life, destruction of infrastructure, economic losses, and permanent environmental changes. Therefore, it is crucial to establish an effective method for landslide identification and monitoring. Technological advancements enable the use of various observation methods such as GNSS, Doppler radar, LiDAR, drones, etc. The GNSS RTK method has proven to be accurate, reliable, highly flexible, and the most economical method for monitoring landslides. This paper explores a comparison between the GNSS RTK method and drones, which serve as a platform for photogrammetric landslide observation. In collaboration with experts from the Croatian Geological Institute (HGI), research was conducted on the landslide in Zrinska Draga, in the Zrin municipality. The research includes field data collection using Trimble R8 and Topcon Hyper SR GNSS devices and the Phantom 4 Pro V2.0 drone, with prior stabilization of detailed points on the landslide using concrete markers. The second part of the research involves the analysis and comparison of data collected in three observation epochs. Data gathered from aerial observations were processed using Pix4Dmatic and CloudCompare software. The final part of the paper focuses on theoretically defining the framework for developing a digital twin model of the landslide, which would enable near real-time monitoring and prediction of soil displacement.

Key words: landslides, UAV, GNSS RTK

S A D R Ź A J

1. UVOD	1
2. KLIZIŠTA I NJIHOVA PRAĆENJA	3
2.1. PRAĆENJE POMAKA KLIZIŠTA	3
2.1.1. Multispektralni satelitski senzori	4
2.1.2. SAR.....	6
2.1.2. Zemaljska interferometrija	8
2.1.3. Doppler radar.....	9
2.1.4. LIDAR.....	11
2.1.5. GNSS.....	12
2.1.6. Dronovi – nosači senzora	17
2.2. PRIMJERI PRAĆENJA POMAKA KLIZIŠTA U HRVATSKOJ	19
3. DRONOVI U SVRHU PRAĆENJA KLIZIŠTA	23
4. DIGITALNI BLIZANCI KLIZIŠTA	26
4.1. DIGITALNI BLIZANCI.....	26
4.2. DIGITALNI BLIZANCI U SVRHU PRAĆENJA KLIZIŠTA	27
5. PRAĆENJE POMAKA KLIZIŠTA ZRINSKA DRAGA	29
5.1. PODRUČJE INTERESA.....	29
5.2. DOSTUPNI PODACI I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	30
5.3. METODOLOGIJA PRAĆENJA.....	32
5.3.1. Korištena oprema	33
5.3.2. Stabilizacija točaka.....	40
5.4. PRIKUPLJANJE PODATAKA	43
5.4.1. GNSS opažanja	43
5.4.2. Opažanja iz zraka	44
5.5. OBRADA PODATAKA	47
5.5.1. Obrada podataka GNSS opažanja	48
5.5.2. Obrada podataka opažanja iz zraka u Pix4Dmatic softveru.....	52
5.5.3. Obrada oblaka točaka u CloudCompare softveru	61

5.5.4. Izrada 3D modela	66
6. REZULTATI.....	68
7. DIGITALNI BLIZANAC KLIZIŠTA U ZRINSKOJ DRAGI	76
8. DISKUSIJA.....	78
9. ZAKLJUČAK.....	82
LITERATURA	84
POPIS SLIKA	88
POPIS TABLICA	91
PRILOZI	92
ŽIVOTOPIS.....	96

1. UVOD

Klizište je dio padine na kojem je zbog poremećaja stabilnosti došlo do klizanja tla, tj. kretanja površinskoga sloja zemlje (URL 1). Klizišta mogu značajno utjecati na društvo uzrokujući gubitak ljudskih života, uništenje infrastrukture i ekonomske gubitke. U tom slučaju radi se o prirodnoj katastrofi koju pod svaku cijenu treba izbjeći. Iz tog razloga je potrebno uspostaviti brz i efikasan način identificiranja i praćenja klizišta. Zahvaljujući tehnološkom napretku, danas postoje brojne metode opažanja (GNSS, Doppler radar, SAR, GB-InSAR, LIDAR, satelitski senzori, inklinometri, ekstenzometri, akcelerometri i ostali sustavi (Casagli i dr. 2023; Marendić i dr. 2017) koje mogu na kvalitetan način bilježiti pomake klizišta pri čemu se troškovi primjene pojedine metode značajno razlikuju. Kao jedan od važnih alata za praćenje pomaka klizišta danas se koristi GNSS tehnologija koja zadovoljava sve kriterije za opažanje pomaka tla na klizištima.

Kontinuirano praćenje aktivnih klizišta izazovan je zadatak te iziskuje velike financijske izdatke bilo da je riječ o primjeni geofizičkih ili geodetskih tehnika, zbog čega se, često koriste periodička opažanja s intervalima ponavljanja opažanja ovisno o karakteristikama i ponašanju klizišta. U tom kontekstu pogotovo se GNSS RTK metoda pokazala dovoljno točnom i pouzdanom, a istovremeno kao i maksimalno fleksibilnom (po izboru točaka opažanja pomaka kao i perioda ponavljanja opažanja) te najekonomičnijom terestričkom metodom te se već duži niz godina primjenjuje za praćenje pomaka tla na klizištima.

U proteklih desetak godina došlo je do ubrzanog razvoja tehnologije bespilotnih letjelica (dronova), čija se primjena izuzetno brzo širi u različitim područjima ljudske djelatnosti, pa tako i u inženjerstvu, odnosno geodeziji. Stoga se opravdano postavlja pitanje, obzirom da je primjena dronova ima određenih prednosti u odnosu na korištenje GNSS RTK tehnologije, mogu li dronovi dovoljno kvalitetno zamijeniti GNSS kao glavnu metodu praćenja klizišta. Naime, prikupljanje podataka o prostoru pomoću drona je jeftinije jer je moguće u kraćem vremenu opažati veće područje, snimiti i cjelokupnu površinu područja – klizišta, a ne samo točkaste podatke kao s GNSS RTK metodom te obraditi i analizirati prikupljene podatke na različite načine.

U ovom diplomskom radu cilj istraživanja je empirički testirati primjenu dviju metoda praćenja pomaka klizišta; GNSS RTK i dronove koji služe kao platforma za fotogrametrijsku metodu opažanja. S ciljem ispitivanja ostvarenih točnosti i pouzdanosti odnosno

komparativnom analizom dobivenih rezultata. U tu svrhu sa stručnjacima s Hrvatskog geološkog instituta (HGI) dogovorena je suradnja u istraživanju klizišta u Zrinskoj Dragi, na području općine Zrin. Na klizištu je uspostavljena mreža stabiliziranih detaljnih točaka koje su opažane dvama metodama u tri epohe opažanja. Podaci opažanja iz zraka obrađeni su korištenjem Pix4Dmatic softvera i CloudCompare softvera. Izlazna rješenja uključuju digitalne ortofoto karte, digitalne modele površine (DSM) i oblake točaka. Teoretski dio rada također uključuje istraživanje o digitalnim blizancima i njihovu upotrebu u svrhu praćenja klizišta. Definiran je teoretski okvir razvoja modela digitalnog blizanca klizišta u Zrinskoj Dragi.

2. KLIZIŠTA I NJIHOVA PRAĆENJA

Klizišta su prirodni procesi koji uključuju pomicanje tla, stijena i drugih materijala niz padinu pod utjecajem gravitacije. Radi se o složenim geološkim fenomenima koji mogu biti potaknuti raznim čimbenicima, uključujući tektonske aktivnosti, oborine, eroziju, promjene u podzemnim vodama, vegetaciju i ljudske aktivnosti poput gradnje i rudarstva.

Klizišta mogu značajno utjecati na društvo uzrokujući gubitak života, uništenje infrastrukture, ekonomske gubitke i trajne promjene u okolišu, što zahtijeva dugotrajne napore za obnovu i prilagodbu pogođenih zajednica.

Prema Casagli i dr. (2023) između 2004. i 2016. godine, procjenjuje se da je 55.997 ljudi izgubilo živote u 4.862 različita klizišta (ne uključujući ona uzrokovana potresima), pri čemu je Azija najviše pogođen kontinent.

Navedeni podatak najbolje govori o tome koliko su klizišta opasna. Zaštita ljudskih života najbitnija je vrijednost svakog društva. Iz tog razloga je potrebno uspostaviti brz i efikasan način identificiranja i praćenja klizišta koja ugrožavaju ljudske živote i infrastrukturu. Najočitiya karakteristika klizišta je smicanje površinskog sloja zemlje što se još može nazvati pomak klizišta. Pravovremenom uspostavom sustava praćenja pomaka, moguće je stvoriti model klizišta kojim se predviđa njegova daljnja aktivnost.

2.1. PRAĆENJE POMAKA KLIZIŠTA

Opasnost od klizišta mogla bi se pogoršati globalnim promjenama kao što su povećanje učestalosti ili količine oborina i degradacija permafrosta. Kao takve, međunarodne organizacije i agencije promiču politike smanjenja rizika od klizišta koje uključuju razumijevanje rizika i povećanje spremnosti na katastrofe za učinkovit odgovor. Obveza 2020 Landslide Kyoto Commitment, na primjer, ima za cilj osigurati alate, informacije, platforme, tehničku stručnost i poticaje za promicanje smanjenja rizika od klizišta na globalnoj razini (Casagli i dr. 2023).

Kako bi se postigli ovi ciljevi, od vitalne je važnosti otkriti prisutnost, pratiti brzinu i predvidjeti uvjete stabilnosti nestabilnih padina i razvoj ovih značajki s vremenom. Međutim, složena i rasprostranjena priroda klizišta zahtijeva točna mjerenja, često s prostornim pokrivanjem koje može ciljati jednu ili više padina i dovoljno visokom

učestalošću snimanja da se uhvate značajne promjene u klizištu. Tehnike nadzora na licu mjesta općenito nisu prikladne za nadzor širokog područja, jer svaki pojedini senzor daje informacije samo o svojoj okolini i može zahtijevati od operatera da uđe u opasna ili nedostupna područja. Metode daljinskih istraživanja stoga su postale nezamjenjiv alat u istraživanju klizišta, budući da nude sustavan, sinoptički i isplativ pogled na površinu tla u različitim mjerilima. Korištenje metoda daljinskih istraživanja omogućilo je bolje razumijevanje složene interakcije između različitih geoloških i geomorfoloških fenomena koji leže u pozadini razarajućih procesa (Casagli i dr. 2023).

Općenito, daljinska istraživanja uključuju alate koji ne zahtijevaju ljudski kontakt s metom i mogu biti svemirski ili zemaljski, a oba se koriste u znanosti o klizištima. Na primjer, satelitske metode daljinskih istraživanja se intenzivno koriste u praćenju klizišta, a njihova upotreba raste od 2000-ih zahvaljujući stalnom tehnološkom napretku, kao što je razvoj algoritama za značajno poboljšanje kvalitete podataka praćenja i lansiranje satelita sa sve višom frekvencijom prikupljanja i prostorna rezolucija. Zemaljsko lasersko skeniranje naširoko se koristi za otkrivanje nestabilnosti padina, mapiranje i praćenje (Casagli i dr. 2023).

2.1.1. Multispektralni satelitski senzori

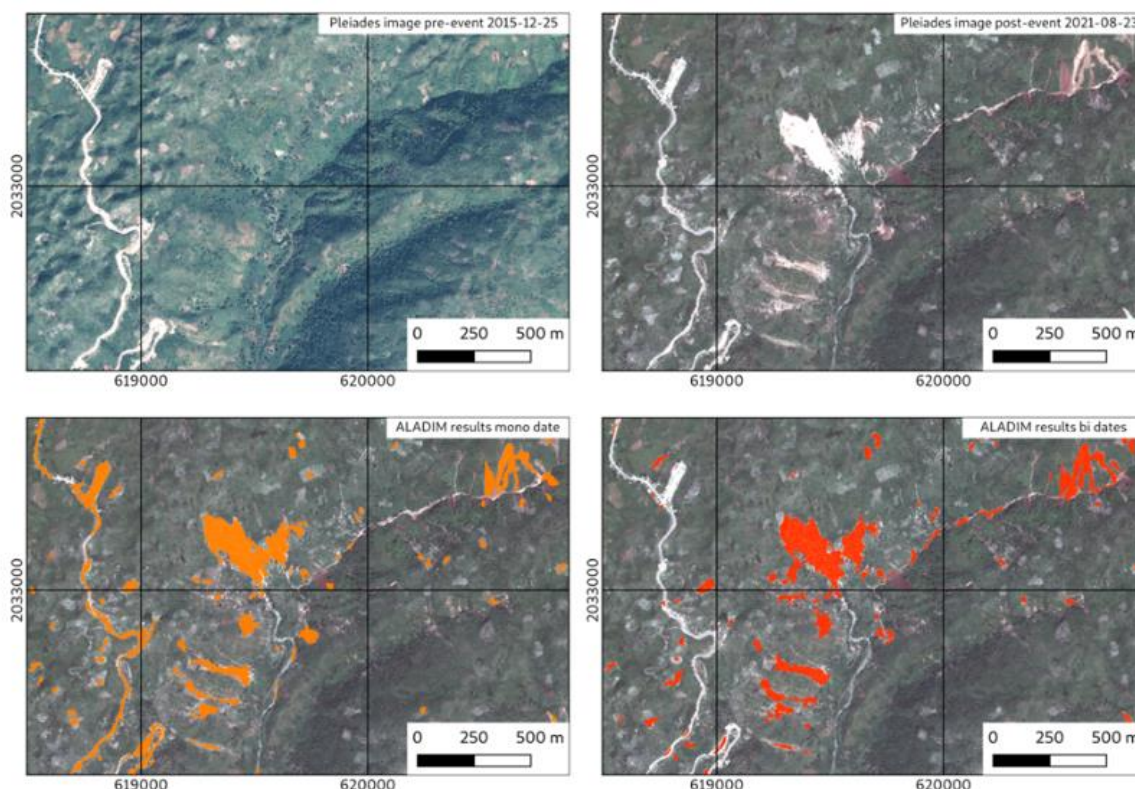
Postoji nekoliko razmatranja pri odabiru satelitskih podataka za korištenje u istraživanju klizišta. Na primjer, vrijeme ponovnog posjeta vrlo je različito među satelitima, u rasponu od dnevne baze (WorldView i Pléiades) do nekoliko dana (QuickBird-2 i GeoEye-1) pa do nekoliko tjedana (16 dana obitelji Landsat i 26 dana SPOT-5). Značajno poboljšanje vremenske učestalosti promatranja omogućeno je usvajanjem virtualne konstelacije multispektralnih satelita srednje rezolucije. Zajedno, Landsat-8 i Landsat-9 (ponovljeni ciklus od 8 dana) i Sentinel-2a i Sentinel-2b (ponovljeni ciklus od 5 dana) daju globalni srednji prosječni interval ponovnog posjeta od 2,3 dana (Casagli i dr. 2023).

Polje zahvata (FOV) također varira između senzora, u rasponu od nekoliko kilometara za VHR satelite (oko 13 km za WorldView-3 i WorldView-4) do 120 km za SPOT-5, 185 km za Landsat-7 i 290 km za Sentinel-2. Udaljenost uzorkovanja s tla varira ovisno o određenom spektralnom pojasu, općenito se povećava od vidljivog i bliskog infracrvenog do kratkovalnog infracrvenog. Lansiranje VHR satelitskih sustava, koji obično pokrivaju vidljive pojaseve i uključuju pankromatsku domenu (miješanje informacija plavih, zelenih i

crvenih pojasa), dovelo je do dobivanja slika s udaljenosti uzorkovanja od 0,25 m do 1 m. Za VHR satelite (na primjer, GeoEye-1 i GeoEye-2, QuickBird-2, Cartosat, WorldView-3, Pléiades-1 i Pléiades-2 i IKONOS), mogućnost pankromatske slike na najnižoj razini je oko četiri puta finija od one kod multispektralnog pojasa. Postoje mnogi algoritmi za spajanje multispektralnih snimaka niske prostorne razlučivosti s pankromatskim snimkama više prostorne razlučivosti radi generiranja jedne slike u boji visoke razlučivosti. Međutim, spajanje podataka različite prostorne i spektralne rezolucije može utjecati na karakteristike snimke korisne za otkrivanje i kartiranje klizišta, kao što su linearne značajke, teksture, kontrast i boja (Casagli i dr. 2023).

Trenutna dostupnost različitih satelitskih platformi povećava mogućnost pravovremenog dobivanja multispektralnih slika bez oblaka nakon velikog klizišta ili tijekom razdoblja velikih deformacija, kada se mora brzo izvršiti praćenje aktivnosti klizišta i predviđanje njegovog mogućeg pokretanja. Unatoč tome, vremenski uvjeti (osobito oblaci i snježni pokrivač) i dnevna svjetlost još uvijek mogu ometati dobivanje odgovarajućih slika, ovisno o klimatskoj zoni i godišnjem dobu. Općenito, planinska područja i područja s vlažnom klimom i kišnim sezonama potencijalno su najnepovoljnija područja i vrijeme za optimalne slike. Nažalost, ovo su često vremena i mjesta kada postoji veća vjerojatnost za pojavu klizišta, što predstavlja veliko ograničenje ove tehnologije (Casagli i dr. 2023).

Na slici 2.1 prikazana je analiza provedena korištenjem snimki Pléiades prije događaja snimljenih 25. prosinca 2015. te snimki poslije događaja snimljenih 23. kolovoza 2021. Gornje snimke predstavljaju fuziju pankromatske i multispektralne snimke prije i poslije događaja. Donja lijeva snimka prikazuje detektirana klizišta korištenjem ALADIM-VHR servisa u mono-date modu što se odnosi na snimke nastale nakon događaja, dok donja desna snimka prikazuje detektirana klizišta korištenjem ALADIM-VHR servisa u bi-date modu koji uzima u obzir i snimke područja prije događaja.



Slika 2.1. Detekcija klizišta korištenjem Pléiades satelitskih snimki i ALADIM-VHR servisa (URL 2).

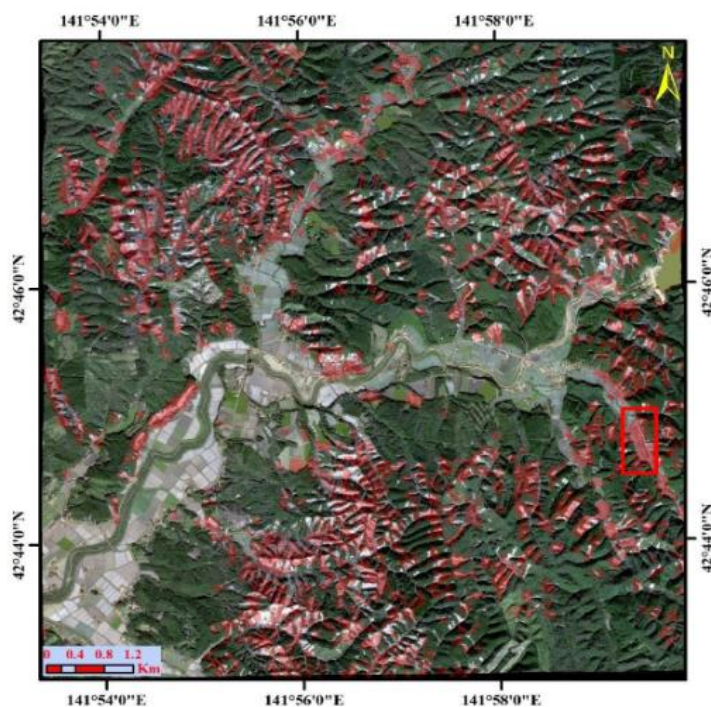
2.1.2. SAR

SAR (Synthetic Aperture Radar) je vrsta radarskog sustava koji koristi kretanje antene za stvaranje slika Zemljine površine visoke rezolucije. Za razliku od tradicionalnog radara, koji šalje jedan impuls i osluškuje odjek, SAR sustavi odašilju niz impulsa dok se kreću duž putanje leta. Kako se radarska antena pomiče, ona zapravo stvara puno veći otvor od svoje fizičke veličine, što omogućuje sliku puno veće rezolucije nego što bi to bilo moguće sa stacionarnom antenom. Zbog toga se naziva "radar sa sintetičkom aperturom". SAR je posebno koristan za kartiranje velikih područja i otkrivanje promjena na Zemljinoj površini. Također je koristan za daljinsko očitavanje, praćenje okoliša i aplikacije za odgovor na katastrofe. SAR može raditi u svim vremenskim uvjetima, danju ili noću, i prodrijeti kroz oblake, vegetaciju, pa čak i neke vrste tla kako bi stvorio točnu sliku ispod terena (URL 3).

Za razliku od pasivnog daljinskog očitavanja, aktivni senzori kao što su SAR instrumenti osiguravaju vlastiti izvor energije za osvjjetljenje. Kao rezultat toga, oni mogu dobiti mjerenja bilo kada, bez obzira na doba dana ili godišnje doba, koristeći opsege mikrovalne domene. Ova značajka je ključna za kontinuirano praćenje i predviđanje klizišta.

SAR slika sastoji se od piksela koji odgovaraju površini tla koju karakteriziraju vrijednosti amplitude i faze. Iako amplituda ovisi o refleksiji osvijetljenih objekata, fazna vrijednost pojedinačne SAR slike djelomično ovisi o udaljenosti senzora od cilja — kada se točka na tlu pomiče, udaljenost između senzora i točke se mijenja, a vrijednost faze bilježi na senzor to utječe na odgovarajući način. Ova je značajka ključni element u interferometrijskim primjenama, širokom pojmu koji se odnosi na iskorištavanje SAR signala najmanje dvije SAR slike. Prostorna razlučivost SAR slika ovisi o korištenom senzoru i njegovom načinu snimanja. Vremenska rezolucija ovisi o vremenu ponovnog posjeta satelita i kreće se od nekoliko tjedana (konstelacija Radarsat) do nekoliko dana (konstelacija Sentinel-1). Prikladan pristup za iskorištavanje varijacije faze između dviju uzastopnih radarskih slika dobivenih na istom ciljnom području je diferencijalni interferometrijski SAR (DINSAR). Nakon topografske kompenzacije, DInSAR omogućuje mjerenje površinskih gibanja od nekoliko desetaka centimetara do 1 cm ili manje (ovisno o valnoj duljini) s odgovarajućom rezolucijom na područjima od desetaka ili stotina kvadratnih kilometara (Casagli i dr. 2023).

Na slici 2.2 prikazana je karta klasifikacije klizišta korištenjem SAR sustava u silaznoj orbiti satelita. Podloga je GeoEye-1 snimka nastala 20. listopada 2018.



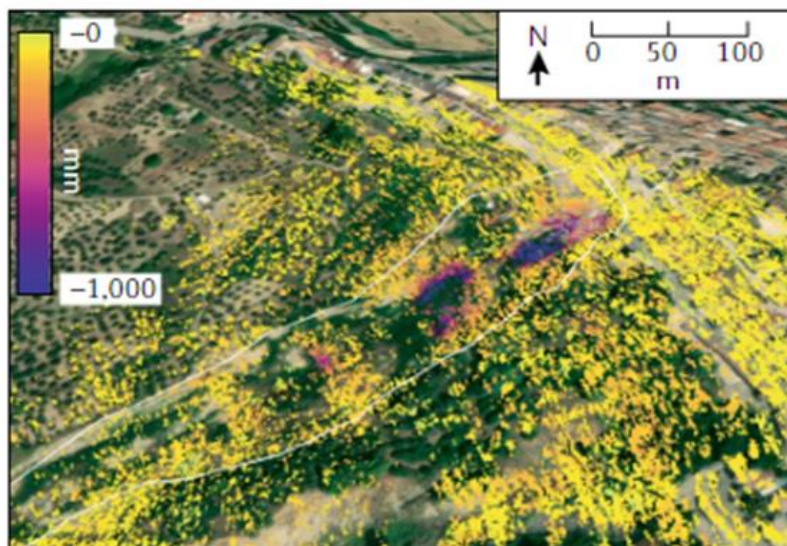
Slika 2.2. Karta klasifikacije klizišta korištenjem SAR tehnologije (Aimaiti i dr. 2019).

2.1.2. Zemaljska interferometrija

GB-InSAR iskorištava isti princip koji se koristi u svemirskom InSAR-u, ali može dati slike jednog nagiba u mnogo kraćim vremenskim intervalima (otprilike svakih 10 minuta), nadilazeći neka od ograničenja satelitskog prikupljanja podataka. U odnosu na svemirski sustav, GB-InSAR nudi značajno veću stopu prikupljanja slike, zajedno s mogućnošću pružanja mjerenja pomaka na ograničenom području (do nekoliko kvadratnih kilometara) s optimalnom geometrijom gledanja i vrlo visokom prostornom rezolucijom. Štoviše, GB-InSAR može raditi u prisutnosti strmih padina kada satelitske slike rade neuspješno (Casagli i dr. 2010).

Većina GB-InSAR instrumenata temelji se na radaru s kontinuiranim valom stepenaste frekvencije kao mikrovalnom primopredajniku. Za formiranje sintetičkog otvora koristi se linearna tračnica dužine 2-3 m po kojoj se dvije antene pomiču u milimetarskim koracima. Mikrovalni odašiljač proizvodi, korak po korak, kontinuirane valove oko središnje frekvencije. Primopredajnik se pomiče duž tračnice, promatrajući dio nagiba koji je određen vidnim poljem stvarne antene. Prijemnik može dati amplitudu i fazu mikrovalnog signala koji je natrag raspršen metom. Sinteza raspona i unakrsnih raspona složenih slika dobivaju se koherentnim zbrajanjem doprinosa signala u odnosu na različite položaje antene i različite mikrovalne frekvencije. Prostorna rezolucija sintetiziranih slika u opisanim slučajevima je oko 2×2 m na udaljenosti od 1 km. Interferometrijska analiza sekvenci uzastopnih slika omogućuje nam izvođenje cjelokupnog deformacijskog polja promatranog dijela s milimetarskom točnošću (Casagli i dr. 2023).

Na slici 2.3 prikazana je karta pomaka klizišta Pomarico u Italiji, generirana korištenjem zemaljske interferometrije i projicirana preko multispektralne slike. Žuti pikseli bili su stabilni tijekom 30 mjeseci, dok ljubičasti pikseli prikazuju kretanje tla prema senzoru.



Slika 2.3. Karta pomaka klizišta Pomarico u Italiji dobivena zemaljskom intereferometrijom (Casagli i dr. 2023).

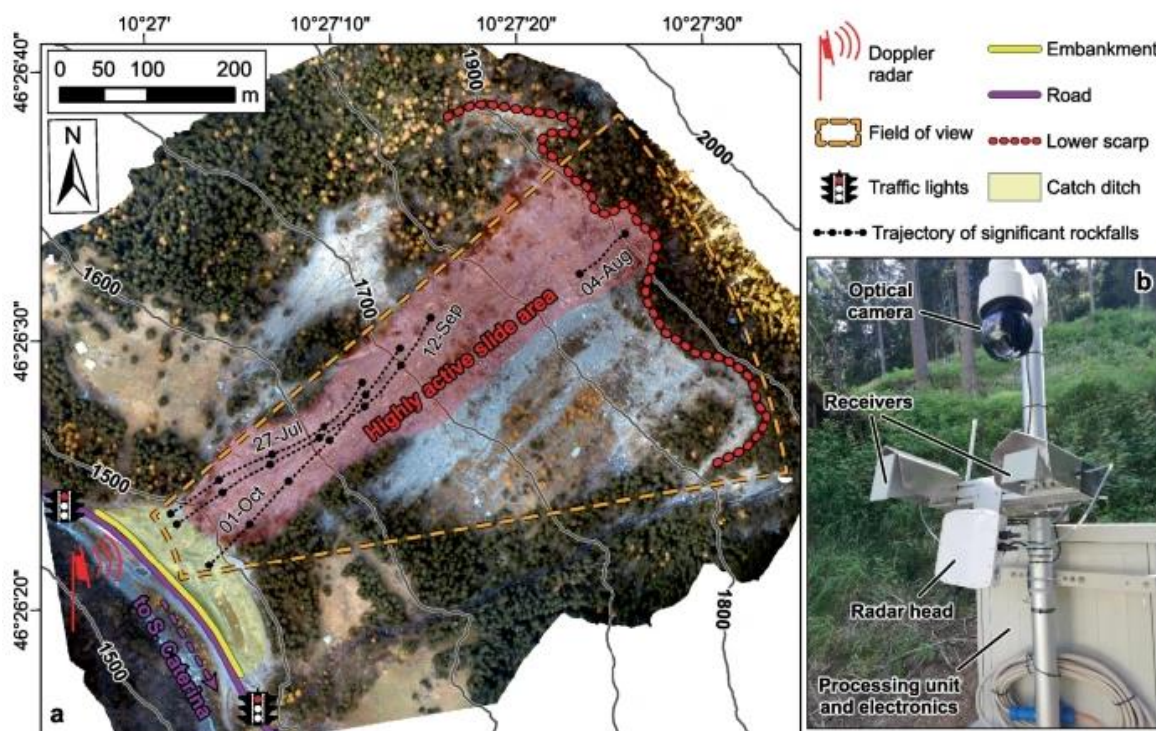
2.1.3. Doppler radar

Nekim vrstama brzih klizišta, kao što su odroni kamenja i tokovi krhotina, često nedostaju značajni prethodnici. Stoga su strategije za smanjenje rizika obično usmjerene na aktivne ili pasivne obrambene konstrukcije i mogu koristiti alate za otkrivanje tekućeg urušavanja; jedan takav alat je sofisticirani radarski sustav koji koristi princip Dopplerovog efekta. Ovi uređaji omogućuju učinkovito praćenje u stvarnom vremenu, tako da se upozorenja izdaju tijekom samog događaja. Budući da se pokretna masa zemlje često nalazi uz padinu na višoj nadmorskoj visini od elemenata koji su izloženi riziku, ovo praćenje u stvarnom vremenu može osigurati vrijeme od nekoliko desetaka sekundi, što bi moglo biti dovoljno za automatsko isključivanje semafor i zatvorite ulicu ili aktivirajte sirenu kako biste očistili područje i omogućili ljudima da dođu do sigurne lokacije (Casagli i dr. 2023).

Princip rada sastoji se u emitiranju elektromagnetskog signala u mikrovalnoj domeni frekvencijom - modulirani radarski senzor kontinuiranog vala. Signal koji se reflektira okolnim scenarijem hvata više prijemnih antena i analizira kako bi se utvrdilo pojavljivanje objekata koji se brzo kreću duž promatrane padine. Ako su dimenzija i brzina objekta dovoljno velike, inducira se i detektira odstupanje u frekvenciji signala ili Dopplerov efekt. Zahvaljujući svojoj sposobnosti da pruži 2D karte brzih događaja, uključujući mjerenje njihove brzine, trajanja i trajektorija, Doppler radar predstavlja operativni alat za otkrivanje i praćenje brzih odrona (bržih od 1 m s^{-1}) i izdavanje alarma (Casagli i dr. 2023).

Detekcija upozorenja se mogu prilagoditi prema odgovarajućim prostornim kriterijima i potrebno ih je filtrirati korištenjem posebnih algoritama za razlikovanje stvarnih događaja od lažnih alarma (kao što su oni uzrokovani atmosferskim poremećajima ili oscilacijama krošnji drveća). Sustav je, dakle, u mogućnosti mjeriti u stvarnom vremenu brzinu klizišta i precizno prostorno predvidjeti njegovu putanju širenja. Moguće je otkriti prisutnost tijela većih od nekoliko kubičnih metara koja se kreću brže od nekoliko metara u sekundi na oko 1–2 km od senzora. Također se može pratiti nekoliko događaja koji se događaju istovremeno, pod uvjetom da su udaljeni jedan od drugog najmanje 10 m. Obavijesti o alarmu (SMS i e-mail) šalje upravljačka jedinica povezana s radarskim senzorom; sustav se također može povezati sa sigurnosnim uređajima kao što su semafori, sirene ili samozatvarajuće rešetke. Ovo rješenje može biti posebno prikladno u slučaju cesta u podnožju stjenovitih zidova padina pogođenih široko rasprostranjenim i ponavljanim fenomenima nestabilnosti (Casagli i dr. 2023).

Na slici 2.4 prikazan je sustav za alarmiranje na klizištu Ruinon u Italiji. Radi se o području koje je podložno odronima stijena, a u samom dnu nalazi se prometnica. Integrirani sustav alarmiranja temelji se na Doppler radaru koji je isprogramiran da u slučaju odrona stijena aktivira zonu isključivanja, tj. na semaforima se upali crveno svjetlo kako bi se promet zaustavio.



Slika 2.4. Prikaz Doppler sustava za alarmiranje na klizištu Ruinon u Italiji (Carlà i dr. 2023).

2.1.4. LIDAR

Djelovanje LIDAR uređaj sastoji se od kombinacije laserskog daljinomjera i mehanizma za skeniranje koji omogućuje precizno mjerenje udaljenosti do cilja i orijentacije laserske zrake. Uređaj za skeniranje radi kroz unutarnju rotaciju jednog ili dva zrcala i/ili rotaciju cijelog uređaja. Dodatne komponente obično uključuju elektroničku jedinicu, uređaj za slikanje (npr. digitalni fotoaparati) i poseban softver za kontrolu cijelog sustava (Jaboyedoff 2018).

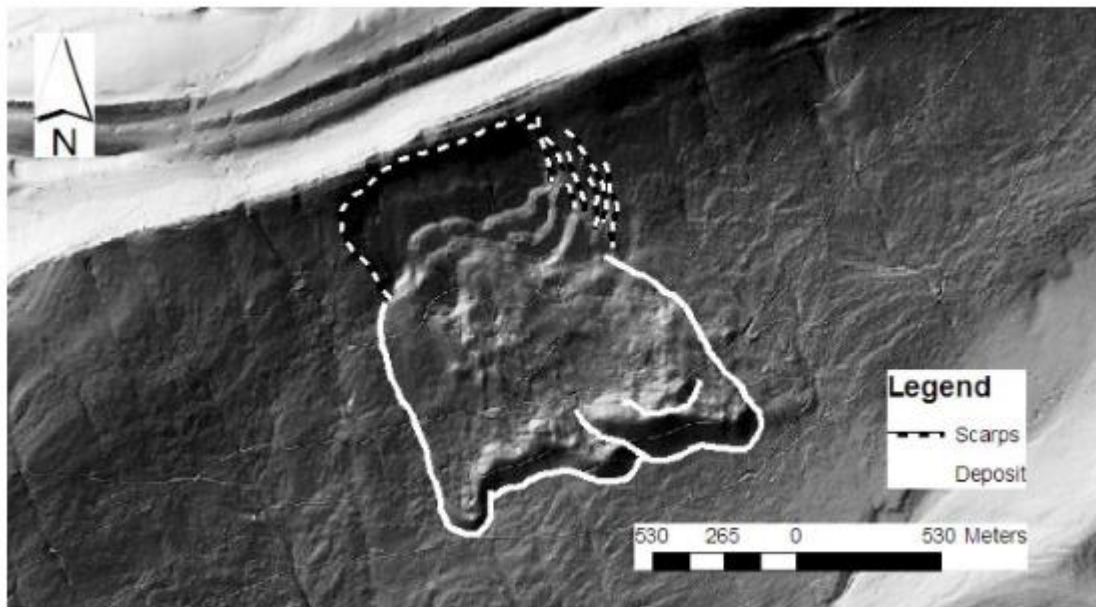
Postoje tri glavne vrste LIDAR-a, koji odgovaraju trima različitim načinima mjerenja dometa, na primjer, udaljenost duž linije vidljivosti (LOS) između senzora i terena: (1) pulsni LIDAR mjeri vrijeme putovanja (TOF) laserskog impulsa, (2) fazni LIDAR koristi fazni pomak između emitiranog i primljenog signala, i (3) triangulacijski LIDAR koristi kameru za lociranje laserske točke na skeniranoj površini (Jaboyedoff 2018).

Izravni rezultat laserskog skeniranja je oblak točaka, čiji su položaji izraženi u polarnim koordinatama u odnosu na središte uređaja. Za određenu kutnu rezoluciju, rezultirajuća gustoća točaka je stoga funkcija udaljenosti laserskog snimanja. Oblaci točaka mogu se analizirati za generiranje 3D modela klizišta. Instrumenti koji se koriste za mjerenje i nadzor zemlje uglavnom se temelje na mjerenju vremena leta za izračun udaljenosti i imaju maksimalne domete od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara (Casagli i dr. 2023).

Lidarski sustavi mogu se koristiti s fiksne pozicije na zemlji (zemaljski LIDAR) ili se mogu montirati na mobilne platforme, kao što su zrakoplovi (zračni LIDAR), dronovi, automobili i brodovi (mobilni LIDAR). Budući da se udaljenosti odnose na fiksni referentni sustav koji je centriran na instrumentu, terestrički LIDAR ne zahtijeva sustave korekcije položaja. Ova značajka smanjuje vrijeme razrade i sprječava potrebu za globalnim navigacijskim satelitskim sustavom za snimanje koordinata (Casagli i dr. 2023).

Prostorna razlučivost zračnog LIDAR-a funkcija je visine i brzine leta, u rasponu od nekoliko centimetara za visine od oko 250 m do nekoliko decimetara za visine leta veće od 1000 m. Točnost podataka ovisi o točnosti uređaja koji se koriste za kompenzaciju pomaka. Stoga je LIDAR iz zraka posebno prikladan kada je potrebno pokriti veliko područje ili ako je istražena padina predaleko da bi se mogla promatrati s zemaljske pozicije. Za optimalno panoramsko gledište, zemaljski LIDAR pruža veću točnost i rezoluciju, posebno na strmim padinama (Casagli i dr. 2023).

Na slici 2.5 prikazano je kartiranje većeg klizišta koje je otkriveno pomoću visoko rezolucijskog DMR-a nastalog korištenjem LIDAR tehnologije. Radi se o klizištu lociranom u kantonu Bern u Švicarskoj. Podatke je omogućio Géodonnées, Swisstopo, DV084371.



Slika 2.5. Kartiranje klizišta pomoću LIDAR tehnologije (Jaboyedoff i dr. 2018).

2.1.5. GNSS

Satelitska geodezija obuhvaća sve tehnike koje imaju za cilj rješavanje osnovnih zadataka geodezije primjenom umjetnih Zemljinih satelita. Zajednički naziv za sve takve sustave je Globalni navigacijski satelitski sustav (Global Navigation Satellite System) – GNSS. Osnovna svrha (zadaća) bilo kojeg od tih satelitskih sustava je omogućiti pozicioniranje i navigaciju u realnom vremenu bilo gdje i bilo kada na i blizu Zemljine površine (Bačić 2020).

Prema Bačić i Bačić (1999) GNSS se sastoji iz tri osnovna segmenta:

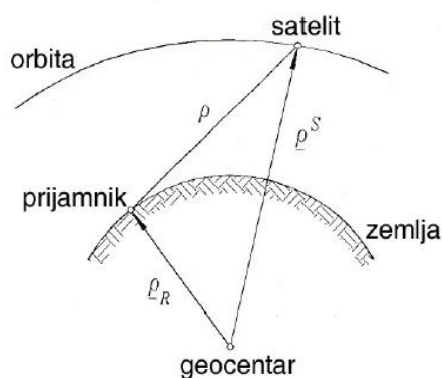
- Svemirskog; kojeg tvore sateliti koji odašilju signale,
- Kontrolnog; koji upravlja cijelim sustavom,
- Korisničkog; koji uključuje različite tipove prijammnika.

Temeljna jednadžba satelitske geodezije može se izraziti, pod pretpostavkom da je satelit zaustavljen na trenutak u orbiti, pri čemu se njegove prostorne koordinate mogu izračunati

iz emitiranih efemerida, te da su satovi satelita i prijamnika točno podešeni na GNSS vrijeme, na sljedeći način:

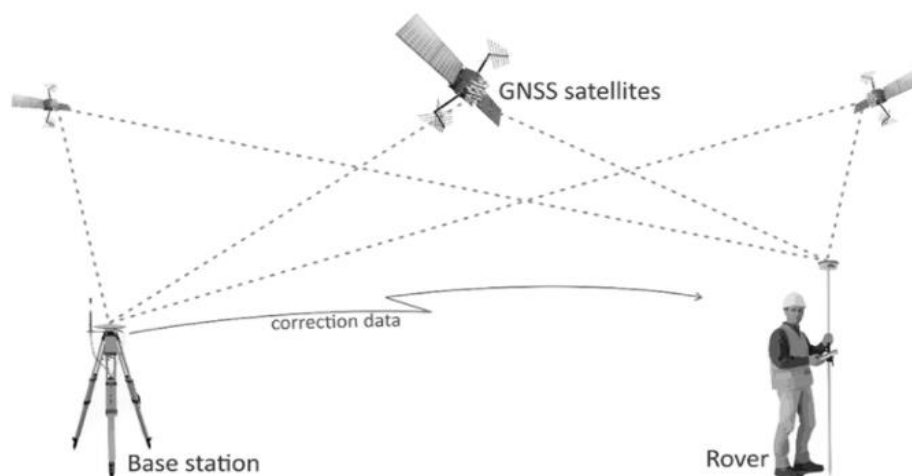
$$\rho = \rho^S - \rho_R \quad (1)$$

Prostorna udaljenost (ρ) između satelita i prijamnika definirana je razlikom prostornih vektora geocentar - satelit (ρ^S) i geocentar - prijamnik (ρ_R) (slika 2.6). U navedenom slučaju, da bi se odredio položaj točke, potrebno je odrediti prostorne udaljenosti od tri satelita (svaka prostorna udaljenost tvori sferu), presjekom kojih se mogu odrediti tri nepoznanice (latituda, longituda i visina) (Bačić i Bašić 1999).



Slika 2.6. Princip satelitskog pozicioniranja (Bačić i Bašić 1999).

Jedna od najzastupljenijih metoda pozicioniranja je kinematičko relativno pozicioniranje u stvarnom vremenu, odnosno RTK metoda. RTK metoda se realizira po principu baza – rover gdje baza označuje referentni prijamnik na točki s poznatim koordinatama, a rover predstavlja prijamnik u pokretu kojemu se koordinate određuju. Dva prijamnika međusobno razmjenjuju podatke radio-vezom zbog čega moraju biti u relativnoj blizini (slika 2.7).



Slika 2.7. RTK metoda pozicioniranja (URL1).

Glavni ograničavajući faktor masovne primjene RTK je bila činjenica da se prijammik u pokretu nije mogao udaljiti više od 20 km od referentnog prijammika. Ovo ograničenje je prevladanom razvojem mreža permanentnih GPS (GNSS) stanica koje omogućuju uz primjenu tehnika Virtualnih referentnih stanica (Virtual Reference Station) korištenje mrežne RTK tehnologije (Network RTK - NRTK) na udaljenostima između pokretne i referentnih stanica do 70 km (Bačić 2020).

Hrvatska državna mreža referentnih GNSS stanica naziva se CROPOS, a njome upravlja Državna geodetska uprava.

CROPOS sustav čine 33 referentne GNSS stanice na međusobnoj udaljenosti od 70 km raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i računanja korekcijskih parametara (URL 4).

CROPOS pruža tri servisa za pozicioniranje: DPS, VPPS i GPPS. DPS predstavlja diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu, VPPS predstavlja visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu, a GPPS predstavlja geodetski precizni servis pozicioniranja. Servisi pružaju različite razine točnosti pozicioniranja koje se mogu ostvariti u realnom vremenu, ali i u naknadnoj obradi podataka što daje najtočnije rezultate (tablica 2.1).

Tablica 2.1. Servisi CROPOS-a (Barković i Zrinjski 2015).

CROPOS servis	Metoda rješenja	Prijenos podataka	Točnost	Format podataka
DPS	Umreženo rješenje kodnih mjerenja u realnom vremenu	Wireless Internet (GPRS, UMTS), NTRIP protokol	$\pm 0,3$ m do $\pm 0,5$ m	RTCM
VPPS	Umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu	Wireless Internet (GPRS, UMTS), NTRIP protokol, GSM	± 2 cm (2D), ± 4 cm (3D)	RTCM
GPPS	Post-processing	Internet (FTP, e-mail)	± 1 cm (2D, 3D)	RINEX

Uvođenje GNSS-a u široku upotrebu pokrenulo je novu tehnološku revolucija u svijetu geodezije koji se dotad oslanjao na terestričke metode izmjere. Jedna od boljki korištenja

GNSS-a kod terenskih mjerenja je u tome što dogledanja između stajališta nisu potrebna. To znači da se točke postavljaju tamo gdje su potrebne, a ne tamo gdje je nužno međusobno dogledanje točaka. Najveće prednosti su globalna dostupnost, ujednačena točnost, jednostavnost i ekonomičnost. GNSS je neovisan o vremenskim uvjetima, stoga se može koristiti u bilo koje doba dana i noći što daje mogućnost kontinuiranog opažanja kroz određeni vremenski period.

Uz navedene prednosti, postoje i mane GNSS-a zbog kojih su terestričke metode izmjere percipirane kao točniji i pouzdaniji način mjerenja kod većine svakodnevnih geodetskih radova. Najveći problem GNSS-a je ovisnost o signalu, tj. ovisnost o vidljivosti dovoljnog broja satelita na nebu što eliminira pozicioniranje u zatvorenim prostorima te predstavlja izazov kod mjerenja u urbanim i šumskim područjima. Podložan je greškama kao što su multipath, cycle slip, atmosferske refrakcije signala te mnoge druge koje mogu u značajnoj mjeri utjecati na točnost pozicioniranja.

Kada se sumiraju prednosti i mane sustava, pokazuje se da je GNSS primjerena metoda za praćenje pomaka klizišta jer omogućuje ujednačenu točnost opažanja te nudi mogućnost automatizacije procesa i kontinuiranog monitoringa većih zemljanih površina.

Primjena GNSS-a za praćenje pomaka klizišta bit će pobliže objašnjena kroz uspješni primjer implementacije na klizištu Umka u Srbiji.

Prema Samardžić-Petrović i dr. (2020) klizište Umka nalazi se u mjestu Čukarica u prigradskom dijelu Beograda. Klizište je formirano uz desnu stranu toka rijeke Save u naseljenom području čime izravno ugrožava živote preko 490 stanovnika tog kraja.

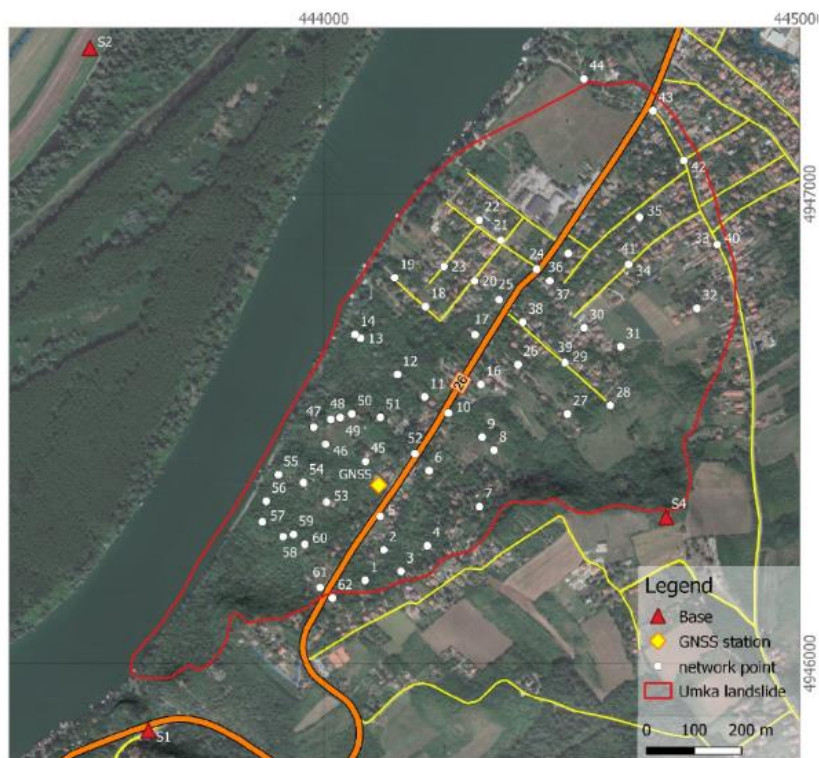
Primjera radi, u svrhu praćenja klizišta Umka u posljednjih 10 godina primijenjeni su različiti geodetski postupci (Samardžić-Petrović i dr. 2020):

1. Automatizirano permanentno praćenje promjene položaja za jednu permanentnu GNSS stanicu u području klizišta u odnosu na tri okolne stabilne GNSS permanentne postaje nacionalnog GNSS servisa, AGROS;
2. Praćenje promjene položaja skupa karakterističnih točaka na području klizišta, u odnosu na skup stabilnih točaka koje okružuju područje klizišta, korištenjem GNSS kinematičkog pozicioniranja, u odabranim vremenskim trenucima (mjernim epohama);

3. Usporedba digitalnih modela terena, kreiranih fotogrametrijom UAV-a u epohama pozicioniranja GNSS kinematike.

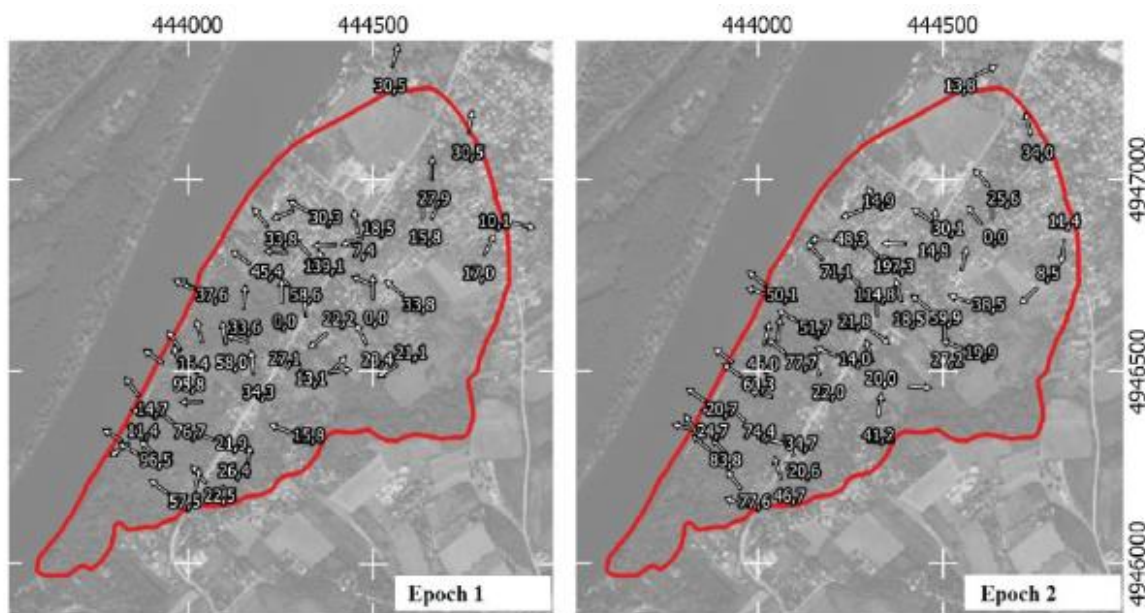
U svrhu praćenja klizišta Umka, uspostavljena je GNSS mreža s četiri stabilne točke (S1, S2, S3, S4) koje su pozicionirane izvan obuhvata klizišta. Stabilne točke su korištene kao bazne točke za relativno kinematičko GNSS pozicioniranje. Mjerenja su provedena u tri epohe: početna Epoha 0 krajem ožujka 2018., Epoha 1 krajem studenog 2018., i Epoha 2 početkom travnja 2019.

Unutar obuhvata klizišta postavljene su 62 točke koje su stabilizirane čeličnim reperima u asfaltu, drvenim kolcima ili uklesanim križevima u betonu (slika 2.8). Koordinate tih točaka određene su naknadnom obradom GNSS podataka, koristeći podatke četiriju baznih točaka, uz točnost od 3 mm za E, 4 mm za N, i 11 mm za h.



Slika 2.8. Mreža pasivnih GNSS točaka i 62 karakteristične točke klizišta Umka (Samardžić-Petrović i dr. 2020).

Pomaci su izračunati usporedbom koordinata iz različitih epoha, a rezultati su pokazali značajne horizontalne pomake, posebno u zoni uz cestu M26 i prema rijeci Savi što je vidljivo na slici 2.9



Slika 2.9. Vektori pomaka klizišta Umka između Epohe 0 i Epohe 1 (lijevo) te Epohe 0 i Epohe 2 (desno) (Samardžić-Petrović i dr. 2020).

Horizontalni pomaci približno 21% svih točaka bili su u rasponu od 0 do 2 cm, 33% u rasponu od 2,01 do 4 cm, 23% od 4,01 do 6 cm, a 33% veći od 6 cm. Najveći horizontalni pomaci zabilježeni su u zoni uz cestu M26 i neposredno ispod nje prema rijeci Savi, za obje epohe (Samardžić-Petrović i dr. 2020).

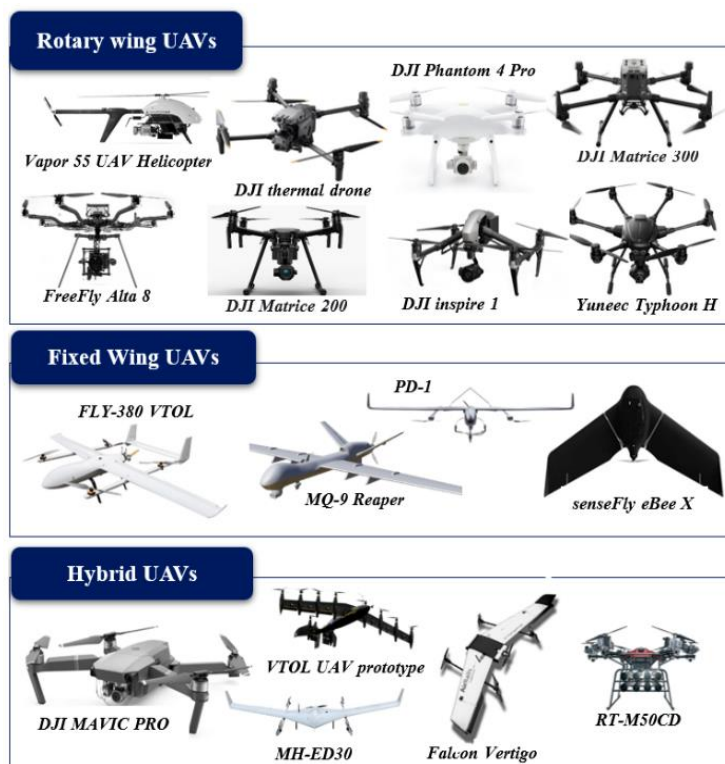
2.1.6. Dronovi – nosači senzora

Bespilotna letjelica (engl. *Unmanned aerial vehicle* – UAV) ili dron vrsta je letjelice koja samostalno izvodi operaciju leta, a moguć je autonomni ili daljinski upravljani let. Opremljeni različitim sensorima dronovi raspolažu sposobnošću brzog prikupljanja velike količine prostornih podataka u kratkom vremenu. Stoga dronovi danas imaju široku komercijalnu primjenu te su nadišli svoju prvotnu vojnu namjenu. U geodeziji dronovi se standardno koriste za izradu ortofoto prikaza, digitalnih modela terena (Digital Elevation Model - DEM), 3D modela, oblaka točaka i drugih prikaza na kojima je moguće izvoditi različite prostorne analize (Perić i dr. 2022).

Prema Singhal i dr. (2018) dronovi se klasificiraju na temelju:

- Aerodinamike
- Uzlijetanja i slijetanja
- Težine i dosega leta

U svom radu Singhal i dr. (2018) navode kako se dronovi na temelju aerodinamike mogu podijeliti na: dronove s fiksnim krilima (engl. *fixed-wing drones*), dronove s pokretnim krilima (engl. *flapping wing drones*), dronovi s integriranim krilima (engl. *fixed/flapping-wing drones*), multirotores i multikoptere (slika 2.10).



Slika 2.10 Vrste dronova (Partheepan i dr. 2023).

Prema Singhal i dr. (2018) dronovi se na temelju uzlijetanja i slijetanja mogu podijeliti na dronove s horizontalnim uzlijetanjem i slijetanjem (engl. *horizontal takeoff landing - HTOL*) i dronove s vertikalnim uzlijetanjem i slijetanjem (engl. *vertical takeoff and landing - VTOL*). HTOL dronovi imaju veliku brzinu leta i glatko slijetanje, dok VTOL dronovi imaju sposobnost lebdenja u mjestu, a karakterizira ih vertikalno slijetanje.

Po težini i doseg leta Singhal i dr. (2018) dronove kategoriziraju na sljedeći način koji je prikazan u tablici 2.2.

Tablica 2.2 Podjela dronova prema težini i doseg leta (Singhal i dr. 2018).

Tip	Maks. težina	Min. doseg leta	Vrste krila
Nano	200 gms	5 km	Fiksna i rotirajuća krila
Mikro	2 kg	25 km	Fiksna i rotirajuća krila
Mini	20 kg	40 km	Fiksna i rotirajuća krila

Tip	Maks. težina	Min. doseg leta	Vrste krila
Lagane	50 kg	70 km	Fiksna i rotirajuća krila
Male	150 kg	150 km	Fiksna krila
Taktičke	600 kg	200 km	Fiksna krila
Srednja visina, dugi let	1000 kg	250 km	Fiksna krila
Velika visina, dugi let	1000 kg	250 km	Fiksna krila
Teške	2000 kg	1000 km	Fiksna krila
Super teške	2500 kg	1500 km	Fiksna krila

Prema Beloev (2016) tehnološki napredak učinio je dronove mnogo pristupačnijima i daleko lakšima za upravljanje. Dronovi se danas aktivno koriste u mnogim aktivnostima i područjima, kao što su snimanje događaja, precizna poljoprivreda, fotogrametrija, geodezija, arheologija, praćenje životnja itd. Mogućnosti primjene dronova su neograničene, no unatoč tome, još uvijek postoji mnogo izazova koje treba riješiti. Prosječno vrijeme leta bespilotnih letjelica još uvijek je manje od jednog sata, a nosivost većine dronova još se mjeri u gramima.

Osim toga, neki autori navode kako većina dronova nije vodootporna, što im otežava rad u nepovoljnim vremenskim uvjetima, poput kiše ili visokih razina vlage. Ove slabosti ograničavaju njihovu primjenu u situacijama gdje je potrebno raditi u zahtjevnim vanjskim okruženjima.

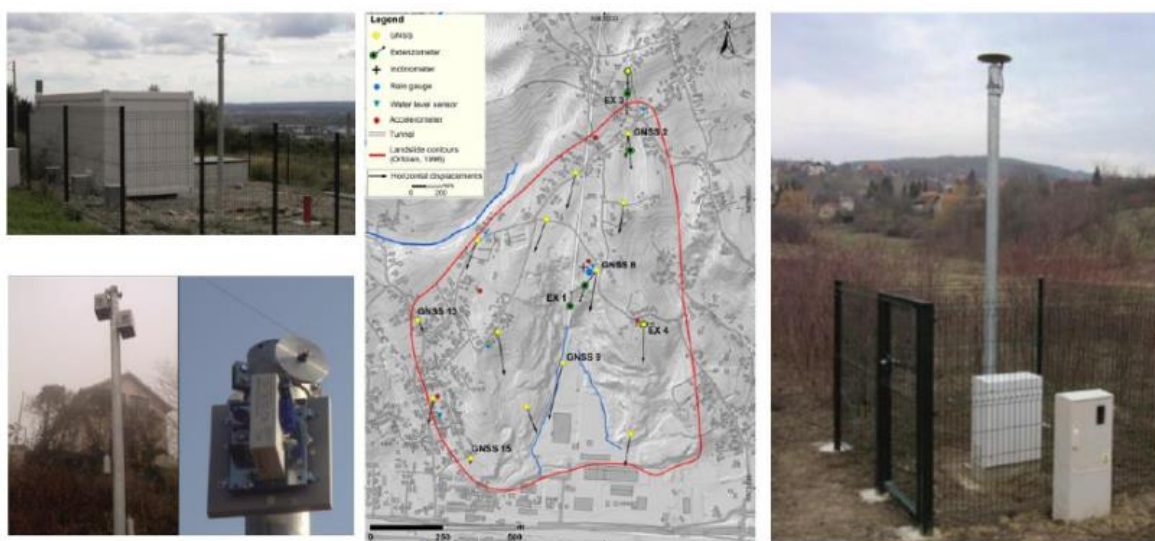
Usprkos određenim nedostacima, koji će bez sumnje u narednih nekoliko godina tehnološkim razvojem biti uklonjeni, dronovi predstavljaju tehnološku revoluciju u svim sferama života. Oni su omogućili brz, pristupačan i ekonomičan način opažanja iz zraka.

2.2. PRIMJERI PRAĆENJA POMAKA KLIZIŠTA U HRVATSKOJ

Postoji nekoliko primjera uspješnog praćenja pomaka klizišta u Hrvatskoj. Klizište Kostanjek najveće je klizište u Hrvatskoj, a nalazi se u Zagrebu između gradskih kvartova Gajnice i Podsused. Klizište zauzima površinu od cca 1 km², a nastalo je antropogenim utjecajem na prirodu u obliku iskopa lapora za tvornicu cementa Sloboda Podsused. Na klizištu se nalazi veći broj obiteljskih kuća kao i popratna prometna i komunalna infrastruktura, stoga je od izuzetne važnosti bilo uspostaviti kontinuirani sustav praćenja pomaka klizišta.

Prema Marenić i dr. (2017) sustav za praćenje sastoji se od više senzorskih mreža za mjerenje (slika 2.11):

1. Vanjskih okidača (mjerač količine oborina, meteorološka stanica i 7 akcelerometara)
2. Pomaka/deformacija/aktivnosti (15 GNSS senzora, 7 ekstenzometra, 4 ekstenzometra za bušotine i inklinometri) , i
3. Hidroloških svojstava (3 mjerača tlaka pora i 5 senzora za praćenje razine vode u bušotinama i bunarima, te 2 senzora za praćenje razine vode pri izljevima).



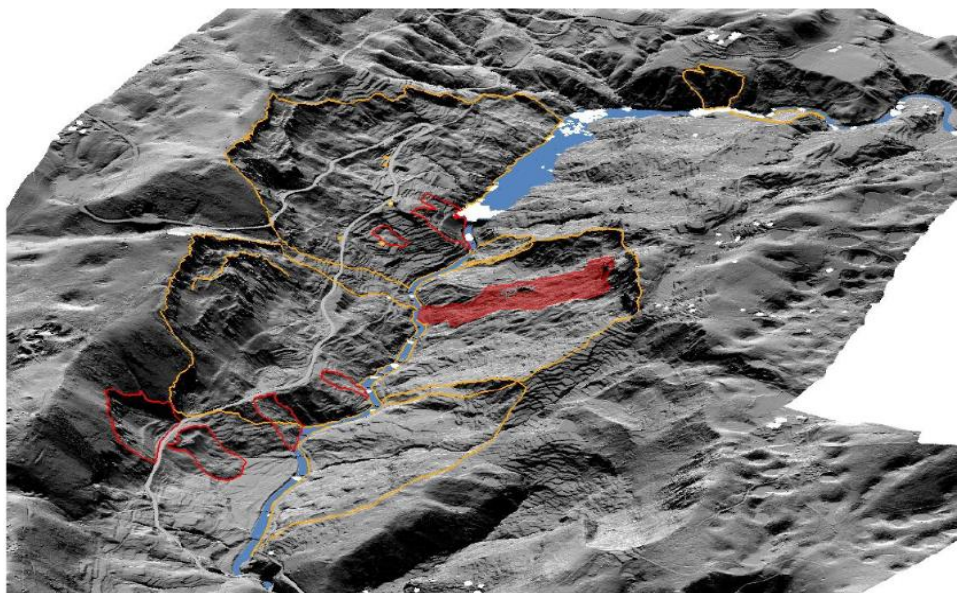
Slika 2.11. Senzori za praćenje klizišta Kostanjek te horizontalni pomaci između siječnja 2013. i siječnja 2015. (Marenić i dr. 2017)

Idući primjer nalazi se u dolini rijeke Rječine, a radi se o području koje je nekoliko puta kroz povijest bilo pogođeno klizištima većih razmjera od kojih je posljednje bilo klizište Grohovo 1996. godine. Kontinuirano praćenje klizišta započeo je 2011. godine u sklopu hrvatsko – japanskog zajedničkog projekta „Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje katastrofa od klizišta i poplava u Hrvatskoj“.

Kao prikladna tehnika za identifikaciju klizišta u dolini rijeke Rječine odabrana je analiza DEM-ova vrlo visoke rezolucije dobivenih laserskim skeniranjem iz zraka u kombinaciji s terenskim kartiranjem. Vizualna identifikacija klizišta temelji se na prepoznavanju obilježja klizišta na sljedećim vrstama topografskih izvedenih karata: konturna karta, karta sjena, karta nagiba, karta zakrivljenosti i karta topografske hrapavosti (Arbanas i dr. 2014).

Na slici 2.12 prikazan je DEM model doline rijeke Rječine s identificiranim povijesnim klizištima kao produkt mjerenja uz pomoć LIDAR tehnologije. Crvenom bojom je prikazano

klizište Grohovo iz 1996. godine, dok crveni obrubi označuju manja klizišta nastala u skorije vrijeme. Područja označena žutim obrubom označavaju velika povijesna klizišta iz 1750., 1885. i 1893. godine.



Slika 2.12. DEM doline rijeke Rječine s identificiranim povijesnim klizištima (Arbanas i dr. 2014).

Sustav praćenja klizišta može se podijeliti u dvije skupine senzora; geodetski i geotehnički. Geotehnički skup senzora podrazumijeva instrumentarij koji je korišten i na klizištu Kostanjek.

Geodetski nadzor uspostavljen je pomoću automatske totalne stanice za mjerenje 25 geodetskih repera (prizmi) i GPS master jedinice s 9 GPS prijamnika (rovera). Robotska totalna stanica i GPS glavna jedinica nalaze se u stabilnom području, na vrhu suprotne padine. Glavna jedinica sastoji se od robotske totalne stanice TM30 Leica, jednofrekventne GPS glavne jedinice GMX901 Leica (kombinirani prijemnik i antena), meteorološkog senzora i web kamere (slika 2.13). Robotska stanica svakih 30 minuta mjeri 25 repera (prizmi) smještenih na tijelu klizišta, na vrhu glavne škarpe i kao referentne točke 5 prizmi oko klizišta. GPS mreža se sastoji od GPS glavne jedinice koja je referentna stanica za 4 jednofrekventna GPS rovera smještena u tijelu klizišta, 3 jednofrekventna GPS rovera smještena na vrhu vapnenačke škarpe iznad klizišta 1 jednofrekventni GPS rover smješten na brani u blizini klizišta, te 1 referentni jednofrekventni GPS rover koji se nalazi na zgradi Građevinskog fakulteta u Rijeci. Sve prizme za mjerenje robotske totalne stanice postavljene su na iste stupove s GPS prijamnicima. Podaci se putem Wi-Fi sustava prenose od svakog rovera do GPS glavne jedinice povezane s industrijskim glavnim računalom. U računalu

glavne jedinice, softver GNSS Spider stvara datoteke s mjernim podacima (Arbanas i dr. 2011).

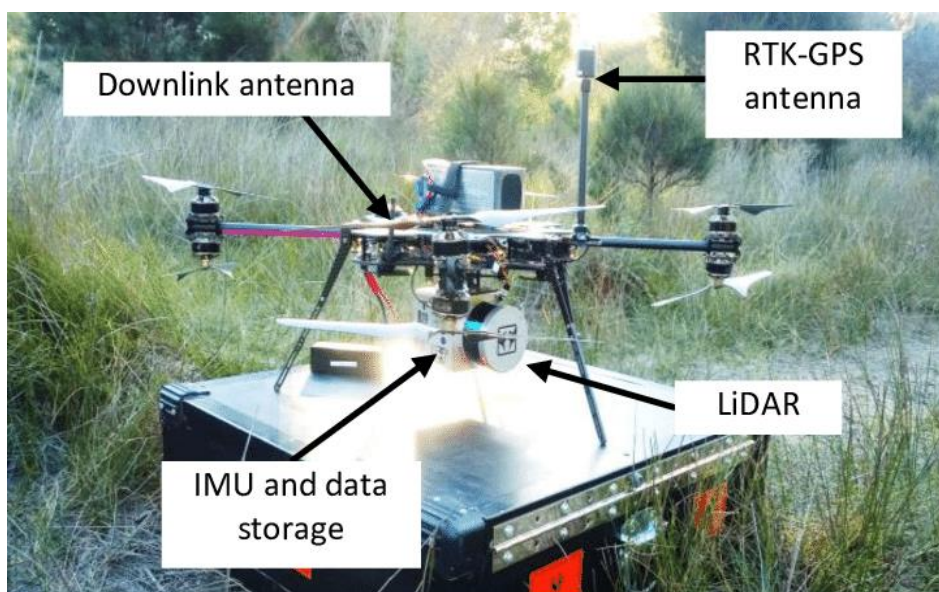


Slika 2.13. Glavna jedinica geodetskog nadzora (Arbanas i dr. 2011)

3. DRONOVI U SVRHU PRAĆENJA KLIZIŠTA

Praćenje klizišta od velikog je značaja za sigurnost ljudi i njihove imovine. Kvalitetno praćenje pomaka na klizištu moguće je jedino uz vjerodostojne i ažurne podatke. Geodetske metode praćenja klizišta pokazale su se izuzetno točnim, međutim one su ograničene na mali set karakterističnih točaka klizišta te predstavljaju financijski izazov. Iz tog razloga se pokušavaju pronaći jeftinije i dovoljno pouzdane alternativne tehnologije s mogućnošću praćenja klizišta većih površina.

Među njima se nalaze i dronovi koje služe kao platforma za različite senzorske sustave kao što su digitalna kamera, hiperspektralna kamera, radar i LIDAR (slika 3.1). Male dimenzije, brzina, težina, niska cijena, mogućnost korištenja u opasnim područjima te mogućnost prikupljanja podataka za velike površine neke su od karakteristika dronova zbog čega je njihova upotreba sve zastupljenija u svijetu inženjerstva.

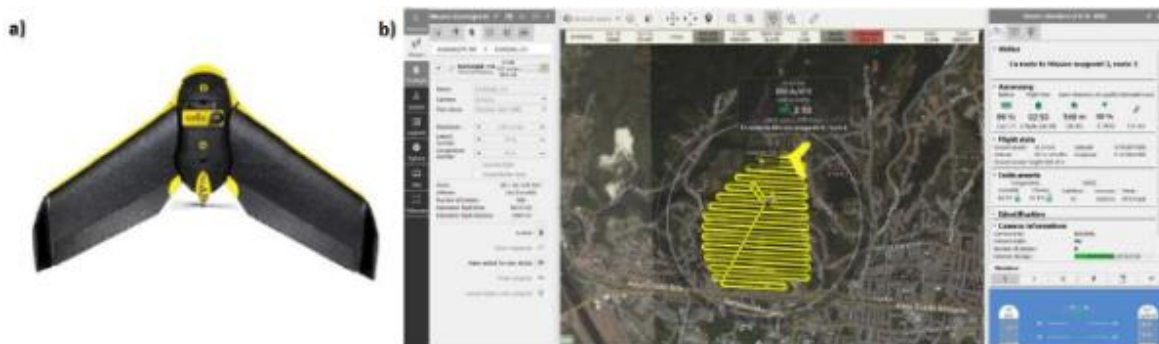


Slika 3.1. Bespilotna letjelica sa senzorskim sustavima (URL 5).

Paralelno s razvojem tehnologije, dronovi su posljednjih godina integrirani s GNSS-om, inercijalnim mjernim jedinicama i kamerama visoke razlučivosti. Dok sateliti i letjelice s ljudskom posadom mogu prikupiti podatke o lokaciji u visokoj razlučivosti od 20-50 cm po pikselu, bespilotne letjelice mogu dobiti još veće razlučivosti od 1 cm po pikselu, budući da mogu letjeti na manjim visinama (Yaprak i dr. 2018).

Prema Marenić i dr. (2017) istraživanja klizišta Kostanjek bespilotnim letjelicama (UAV) obavljena su 20. veljače 2017., 20. ožujka 2017. i 24. travnja 2017. Sva tri leta izvedena su pomoću bespilotne letjelice s fiksnim krilima senseFly eBee RTK (slika 3.2). Letjelica eBee RTK izrađena je od ekspaniranog polipropilenskog pjenastog materijala s karbonskom strukturom i nekim kompozitnim dijelovima, teži približno 0,73 kg i ima raspon krila od 96 cm.

U prvom istraživanju UAV je bio opremljen RGB kamerom Canon PowerShot G9X, dok se u drugom i trećem istraživanju koristila RGB kamera senseFly S.O.D.A. Letjelica senseFly eBee ima integrirani RTK GNSS prijamnik, koji omogućuje precizno određivanje koordinata snimanja slika u realnom vremenu koristeći RTK korekcije iz Hrvatskog pozicijskog sustava (CROPOS). Za planiranje leta korišten je senseFly eMotion3 softver.



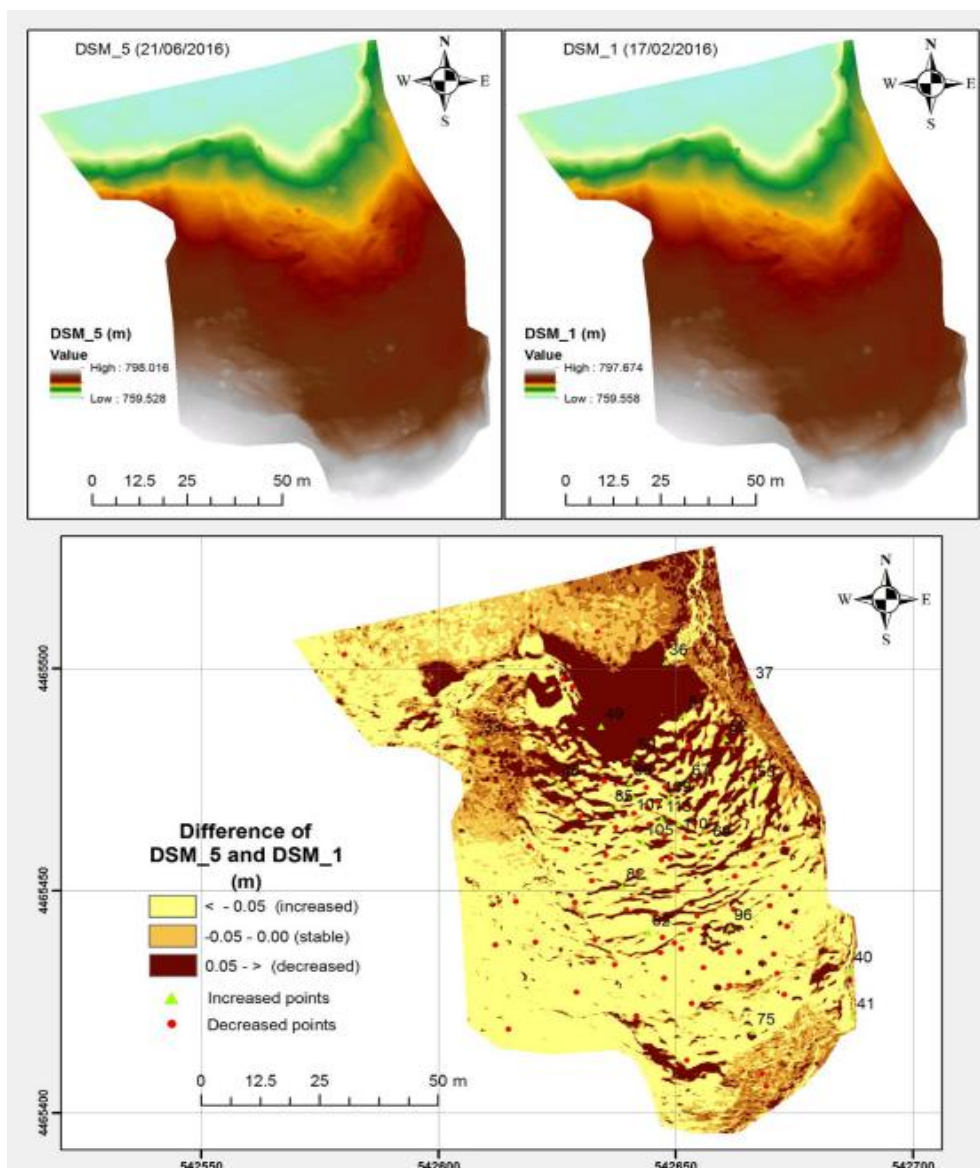
Slika 3.2. Bespilotna letjelica senseFly eBee i senseFly eMotion3 softver (Marenić i dr. 2017).

Prema Yaprak i dr. (2018) provedeno je istraživanje s ciljem praćenja klizišta pomoću bespilotnih letjelica (UAV) u provinciji Tokat. Istraživanje je izvedeno na lokaciji klizišta u organiziranoj industrijskoj zoni blizu kampusa Sveučilišta Gaziosmanpaşa u Turskoj.

Planovi leta izrađeni su na temelju koordinata GCP-ova (engl. *Ground Control Points*) koje su dobivene pomoću GNSS mjerenja. Letovi su obavljeni u pet različitim razdoblja nakon kiše ili snijega, kada je klizište bilo najaktivnije.

Plan leta je definiran primjenom softvera Mission Planner s vertikalnim preklapanjem od 80%, horizontalnim preklapanjem od 65%, visinom leta od 100 metara i brzinom leta od 14 metara u sekundi. Plan leta učitani su u bespilotnu letjelicu, a fotografije su snimljene uz iste ulazne parametre za sve letove, s prosječno 290 snimaka po letu. Fotografije su pohranjene na računalu te analizirane softverom Pix4D.

U prvoj fazi obavljene su provjere kvalitete slika, skupa podataka, optimizacije kamere i GCP-ova. Primijenjena je Helmertova transformacija za orijentaciju i balansiranje oblaka točaka i 3D modela. U drugoj fazi povećana je gustoća 3D točaka, a broj podudaranja postavljen je na tri radi smanjenja šuma. U trećoj fazi stvoren je DEM i ortomozaik za sve epohe mjerenja. DEM je izrađen metodom triangulacije s intervalima mreže od 100 cm. Karte koje prikazuju visinsku promjenu izrađene su usporedbom DEM-ova različitih epoha mjerenja u ArcGIS softveru (slika 3.3).



Slika 3.3. Karte visinskih razlika između različitih epoha mjerenja (Yaprak i dr. 2018).

4. DIGITALNI BLIZANCI KLIZIŠTA

Digitalni blizanci su ključna tehnologija u industrijama poput proizvodnje, građevinarstva, zdravstva i energetike jer omogućuju optimizaciju performansi, predviđanje problema i poboljšanje odluka. S obzirom na njihov potencijal za simulaciju različitih scenarija i analiziranje složenih sustava, digitalni blizanci polako dobivaju na važnosti i u području praćenja prirodnih ugroza kao što su klizišta.

4.1. DIGITALNI BLIZANCI

Digitalni blizanac je virtualni prikaz objekta ili sustava dizajniran da točno odražava fizički objekt. Obuhvaća životni ciklus objekta, ažurira se stvarnim podacima u stvarnom vremenu i koristi simulaciju, strojno učenje i zaključivanje kako bi pomogao u donošenju odluka (URL 6).

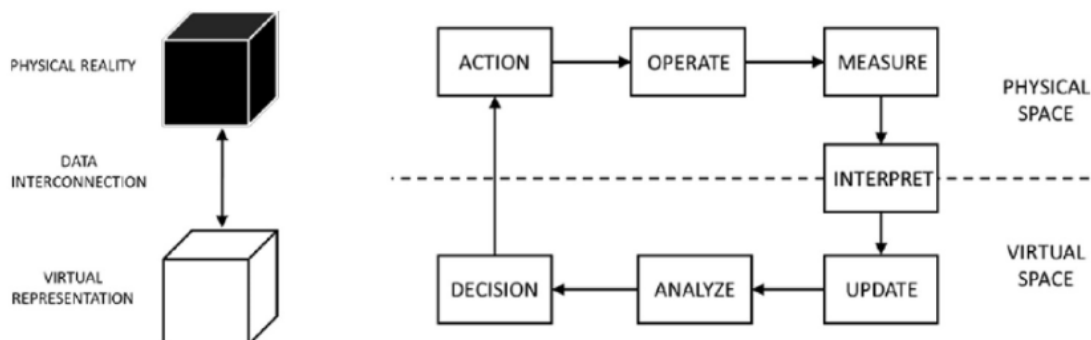
Često se digitalni blizanci spominju u kontekstu simulacije. Simulacije koriste digitalne modele za repliciranje različitih procesa sustava. Digitalni blizanac predstavlja virtualno okruženje, koje omogućuje daleko detaljniju analizu. Glavna razlika između digitalnog blizanca i simulacije leži u opsegu. Simulacija se obično fokusira na jedan određeni proces, dok digitalni blizanac može simultano izvoditi više simulacija kako bi proučio različite procese.

Prema VanDerHorn i Mahadevan (2021) digitalni blizanac identificira se kroz tri glavna elementa:

- fizičko postojanje,
- digitalni prikaz i
- veze koje omogućuju razmjenu informacija između fizičkog postojanja i digitalnog prikaza.

Stvaranje digitalnog blizanca oslanja se na tri ključna elementa. Prvo, potreban je informacijski model koji pojednostavljuje složenosti fizičkog objekta. Zatim, nužno je uspostaviti način komunikacije između digitalnog blizanca i stvarnog objekta, omogućujući razmjenu podataka. Na kraju, tu je jedinica za obradu podataka koja prikuplja podatke iz različitih izvora, obrađuje ih i koristi za stvaranje digitalnog prikaza fizičkog objekta. Ova

tri elementa moraju surađivati kako bi se uspješno izgradio digitalni blizanac (Hananto i dr. 2024). Slika 4.1 prikazuje komponente digitalnog blizanca.

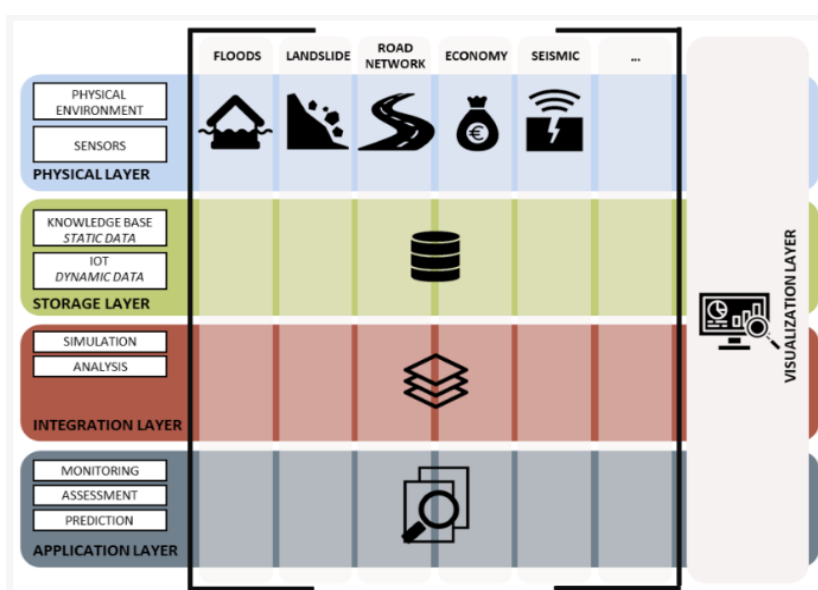


Slika 4.1 Komponente digitalnog blizanca (VanDerHorn i Mahadevan 2021).

4.2. DIGITALNI BLIZANCI U SVRHU PRAĆENJA KLIZIŠTA

Ugliotti i dr. (2023) razvili su model digitalnog blizanca krajolika (engl. *Landscape Digital Twin - LDT*) koji se temelji na metodologiji koja je dizajnirana tako da bude skalabilna, što znači da se može primijeniti na druga područja istraživanja s različitim izvorima podataka i vrstama prirodnih opasnosti. Zbog heterogenog okruženja podataka i multidisciplinarnosti prirode koja karakterizira krajolik, definicija digitalnog blizanca pruža osnovno načelo za budući rad.

Arhitektura LDT-a uključuje pet glavnih slojeva: fizički sloj, sloj pohrane podataka, sloj integracije, aplikacijski sloj i sloj vizualizacije. Slika 4.2 prikazuje arhitekturu LDT modela za analizu rizika od više vrsta opasnosti (Ugliotti i dr. 2023).



Slika 4.2 Arhitektura modela digitalnog blizanca krajolika.

Fizički sloj predstavlja fizičko okruženje i uključuje senzore koji prikupljaju informacije praćenjem relevantnih varijabli: na primjer, kišomjeri ili sustavi za detekciju razvoja klizišta. Podaci sa senzora prenose se u namjensku bazu podataka u sloju za pohranu podataka putem protokola poput HTTP-a (Ugliotti i dr. 2023).

Sloj pohrane podataka identificira dva primarna izvora podataka: statične podatke za bazu znanja o krajoliku i dinamične podatke s IoT uređaja. GIS upravlja kartiranjem fizičkog teritorija. Međutim, BIM (engl. *Building Information Model*) prikazi značajnih zgrada/infrastrukture mogu obogatiti razumijevanje dinamike teritorija (Ugliotti i dr. 2023).

Sloj integracije uključuje obradu i usklađivanje podataka iz različitih izvora. Izvodi simulacije, praćenje i predikcije koristeći različite modele i algoritme. Na primjer, hidrološki i geološki modeli mogu simulirati poplave i klizišta u različitim scenarijima padalina, klimatskih promjena, promjena u korištenju zemljišta itd. Algoritmi za analizu mreža mogu procijeniti utjecaj rizika na performanse i otpornost cestovne mreže u različitim scenarijima pojave opasnosti ili oporavka mreže (Ugliotti i dr. 2023).

Aplikacijski sloj pruža usluge koristeći integrirani pristup podacima putem posrednika. Uključuje razne aplikacije, kao što su praćenje u stvarnom vremenu, procjena opasnosti, procjena rizika, procjena utjecaja, analiza scenarija itd. (Ugliotti i dr. 2023).

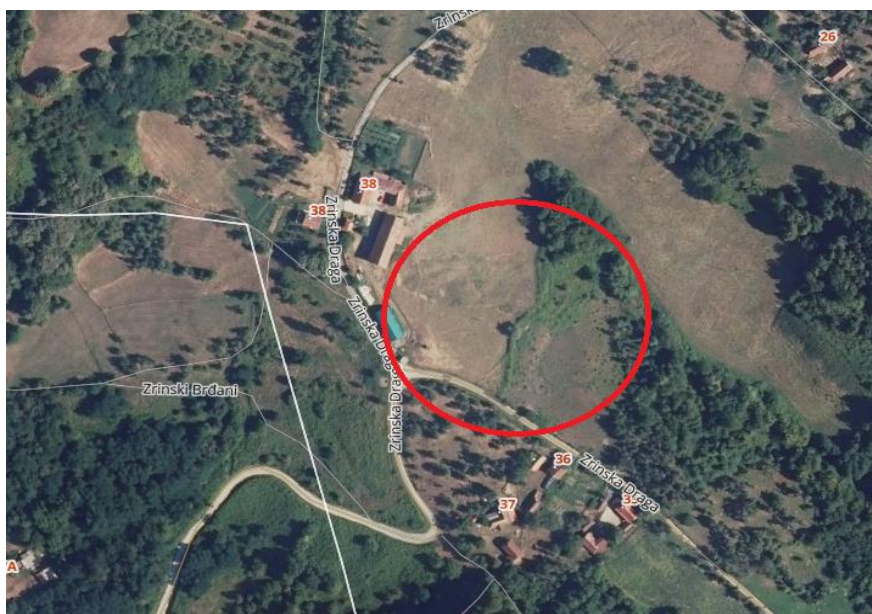
Sloj vizualizacije koristi GIS alate za predstavljanje i komunikaciju rezultata analize podataka u različitim formatima, poput interaktivnih karata, grafikona, tablica i kontrolnih ploča, što korisnicima može pomoći u razumijevanju rizika i utjecaja opasnosti te u istraživanju različitih strategija ublažavanja i prilagodbe (Ugliotti i dr. 2023).

5. PRAĆENJE POMAKA KLIZIŠTA ZRINSKA DRAGA

U ovom poglavlju bit će prikazana dosadašnja istraživanja klizišta Zrinska Draga, kao i metodologija praćenja klizišta koja uključuje stabilizaciju detaljnih točaka, GNSS opažanja, opažanja iz zraka, obradu i analizu prikupljenih podataka te usporedbu rezultata GNSS opažanja i opažanja iz zraka.

5.1. PODRUČJE INTERESA

Područje od interesa nalazi se u mjestu Zrinska Draga na području općine Zrin. Radi se o klizištu koje se aktiviralo prije nekoliko godina ispod lokalne ceste Zrin – Zrinska Draga. Klizište trenutno ne ugrožava nikakvu infrastrukturu, ali ukoliko bi došlo do širenja istog, u opasnost bi došao gospodarski objekt koji se nalazi sjeverozapadno od trenutnog obuhvata klizišta.



Slika 5.1 Prikaz lokacije klizišta na Geoportalu DGU.

Klizište se nalazi na padini koja započinje na nadmorskoj visini od cca 330 m, a završava na nadmorskoj visini od cca 300 m. Izlaskom na teren utvrđeno je kako predmetno područje služi kao pašnjak za krave, čime se osigurava konstantna visina trave. Južni dio klizišta obrastao je vegetacijom i šumom. Prilikom rekognisciranja utvrđeno je kako postoje određeni rascjepi i ulegnuća u zemlji. Posebnu pažnju zaokupila su brdašca s udubinama ispunjenim vodom na sjevernom dijelu klizišta. Na tim mikrolokacijama dolazi do većeg bujanja trave.



Slika 5.2 Rasjepi na klizištu.



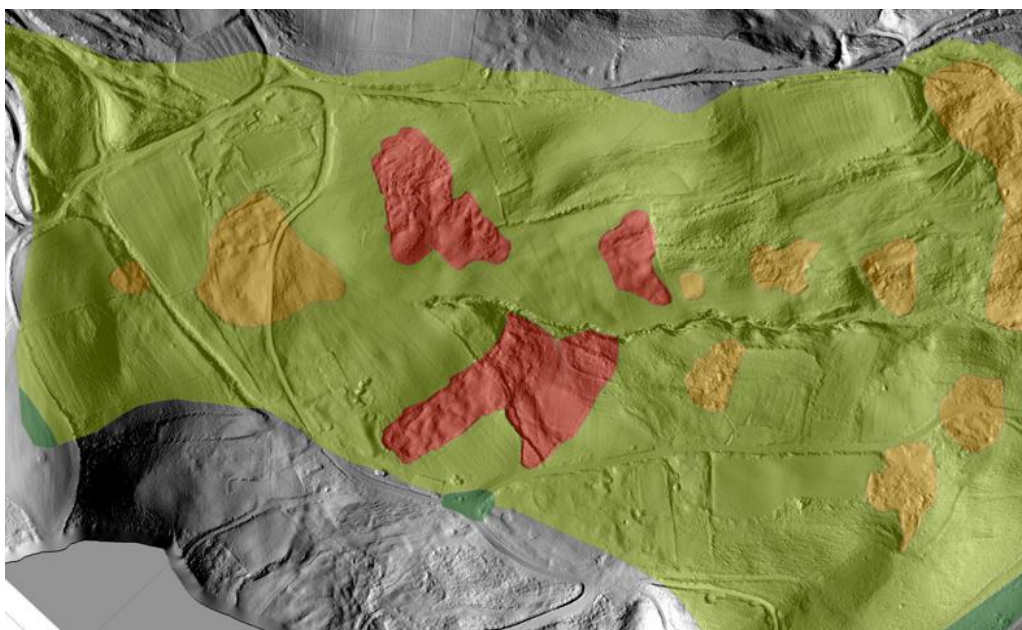
Slika 5.3 Ulegnuća s nakupljenom vodom.

5.2. DOSTUPNI PODACI I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Praktični dio diplomskog rada podrazumijeva izvođenje istraživanja te analizu proizašlih rezultata. Shodno tome, pronalazak adekvatnog aktivnog klizišta u okolini Zagreba nametnuo se kao prvi korak. S tim ciljem pristupilo se Hrvatskom geološkom institutu (HGI), odnosno dr. sc. Vlatku Gulamu i dr.sc. Laszlu Podolszkom koji su rado izašli u susret. Nakon zajedničkog sastanka u HGI-u, na njihov prijedlog se klizište u Zrinskoj Dragi ustanovilo kao najbolja opcija. Klizište u Zrinskoj Dragi već je nekoliko godina predmet

daljinskih istraživanja HGI-ja. Za potrebe izrade diplomskog rada HGI je velikodušno ustupio podatke dosadašnjih istraživanja.

Dosadašnja istraživanja su se fokusirala na identificiranje klizišta i kritičnih područja klizišta pomoću različitih tehnologija, uključujući bespilotne letjelice. Upotreba bespilotnih letjelica pokazala se učinkovitom u praćenju promjena na terenu budući da su snimke iskorištene za izradu karata klizišta (slika 5.4), digitalnog modela površine (DSM) i digitalne ortofoto karte (slika 5.5). Dinamika klizišta pratila se kroz više epoha opažanja što je omogućilo donošenje valjanih zaključaka o aktivnosti istog u budućnosti.



Slika 5.4. Isječak karte klizišta s digitalnim modelom površine (dr.sc. Vlatko Gulam, HGI).

Istraživanja su se vršila upotrebom različitih bespilotnih letjelica kao što su Albris, eBee i DJI. Letovi su odrađeni u tri različite epohe opažanja: u travnju 2018., veljači 2022. i prosincu 2022.

Karte klizišta koje je HGI ustupio na korištenje priložene su kao Prilog 1, Prilog 2 i Prilog 3.



Slika 5.5. Isječak ortofoto karte (dr.sc. Vlatko Gulam, HGI).

5.3. METODOLOGIJA PRAĆENJA

Metodologija praćenja pomaka klizišta podrazumijeva upotrebu GNSS-a i bespilotne letjelice opremljene mjernom kamerom, a ostvaruje se kroz pet koraka:

- Uspostavljanje mreže stabiliziranih detaljnih točaka
- GNSS opažanja uspostavljene mreže u više epoha
- Opažanja iz zraka korištenjem bespilotne letjelice u više epoha
- Obrada i analiza prikupljenih podataka po epohama
- Usporedba rezultata GNSS opažanja i opažanja iz zraka

Petim korakom se žele utvrditi razlike, tj. prednosti i mane, između rezultata GNSS opažanja i opažanja iz zraka. Cilj diplomskog rada je pronaći odgovor na pitanje: Mogu li bespilotne letjelice dovoljno kvalitetno nadomjestiti GNSS kao glavnu metodu praćenja klizišta? Metodologija praćenja klizišta usmjerena je ka ekonomičnosti i brzini prikupljanja podataka.

Opažanja su vršena u tri navrata. Epoha 1 predstavlja opažanja na dan 4. svibnja 2023. Epoha 2 predstavlja opažanja na dan 2. lipnja 2023. Epoha 3 predstavlja opažanja na dan 19. ožujka 2024. GNSS opažanja provedena su u sve tri epohe opažanja, dok su opažanja iz zraka provedena za Epohu 2 i Epohu 3.

5.3.1. Korištena oprema

U svrhu opažanja stabiliziranih detaljnih točaka upotrijebljena su dva uređaja; Trimble R8 i Topcon Hyper SR. Istraživanja za Epohu 1 i Epohu 2 realizirana su upotrebom Trimble R8 uređaja (slika 5.6). Tehničke specifikacije istog nalaze se u tablici 5.1.



Slika 5.6. Trimble R8 (URL 7).

Tablica 5.1 Tehničke specifikacije uređaja Trimble R8 (URL 8).

SPECIFIKACIJE PERFORMANSI
Mjerenje
<ul style="list-style-type: none"> • Napredni Trimble Maxwell 6 Custom Survey GNSS čipovi s 440 kanala • Trimble 360 praćenje • Visoko precizni višestruki korelator za mjerenja GNSS pseudoudaljenosti • Nefiltrirana, un-smoothed podaci mjerenja pseudoudaljenosti za niske vrijednosti šuma, male multipath pogreške, low time domain korelacije i high dynamic response • Vrlo nizak šum GNSS carrier phase mjerenja s <1 mm preciznošću na 1 Hz bandwidth • Signal-to-Noise odnosi u dB-Hz • Dokazana Trimble tehnologija praćenja niske elevacije • Simultano praćenje satelitskih signala: <ul style="list-style-type: none"> - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 - SBAS: L1C/A, L5 (za SBAS satelite koji podržavaju L5) - Galileo: E1, E5A, E5B - BeiDou (COMPASS): B1, B2 • SBAS: QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN • Pozicioniranja: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, i 20 Hz
PERFORMANSE POZICIONIRANJA
Kodno diferencijalno GNSS pozicioniranje

<ul style="list-style-type: none"> • Horizontalno: 0.25 m + 1 ppm RMS • Vertikalno: 0.50 m + 1 ppm RMS • Preciznost SBAS diferencijalnog pozicioniranja: tipično <5 m 3DRMS
Statičko GNSS mjerenje
<ul style="list-style-type: none"> • Visoko precizna statika: <ul style="list-style-type: none"> - Horizontalno: 3 mm + 0.1 ppm RMS - Vertikalno: 3.5 mm + 0.4 ppm RMS • Statika i brza statika: <ul style="list-style-type: none"> - Horizontalno: 3 mm + 0.5 ppm RMS - Vertikalno: 5 mm + 0.5 ppm RMS
Postprocesirano kinematičko (PPK) GNSS mjerenje
<ul style="list-style-type: none"> • Horizontalno: 8 mm + 1 ppm RMS • Vertikalno: 15 mm + 1 ppm RMS
Kinematičko mjerenje u realnom vremenu
<ul style="list-style-type: none"> • Jedna baza <30 km: <ul style="list-style-type: none"> - Horizontalno: 8 mm + 1 ppm RMS - Vertikalno: 15 mm + 1 ppm RMS • Mrežni RTK: <ul style="list-style-type: none"> - Horizontalno: 8 mm + 0.5 ppm RMS - Vertikalno: 15 mm + 0.5 ppm RMS - Vrijeme inicijalizacije: tipično <8 sekundi - Pouzdanost inicijalizacije: . tipično >99.9%
HARDVER
Fizička svojstva
<ul style="list-style-type: none"> • Dimenzije: 19 cm x 10.4 cm, uključujući konektore • Težina: 1.52 kg s internom baterijom, internim radiom i antenom, 3.81 kg navedene stavke uz štap, kontroler i interni radio • Operativna temperatura: -40° C do +65° C • Temperatura skladištenja: -40° C do +75° C • Vlažnost: 100%, kondenzirajuća • Zaštita prodora: IP67 otpornost na prašinu, zaštićeno od privremenog potopa na dubinu od 1 m • Šok i vibracije: <ul style="list-style-type: none"> - Šok: <ol style="list-style-type: none"> 1. Neoperativno: izdržava pad sa štapom s 2 m visine na beton 2. Operativno: do 40G, 10 msec, sawtooth - Vibracije: MIL-STD-810F, FIG.514.5C-1
ELEKTRIČNA SVOJSTVA

- Napajanje 11 V DC do 24 V DC vanjsko napajanje sa zaštitom od prenapona na Port 1 (7-pin Lemo)
- Punjiva, izmjenjiva 7.4 V, 2.8 Ah Li-Ion smart baterija
- Potrošnja struje <3.2 W u RTK rover modu s internim radiom i upaljenim Bluetoothom
- Operativno vrijeme s internim baterijama:
 - 450 Mhz prijem: 5.0 sati
 - 450 Mhz prijem/prijenos (0.5 W): 2.5 sati
 - Cellular prijem: 4.0 sata

KOMUNIKACIJE I POHRANA PODATAKA

- Serijski: 3 žični serijski (7-pin Lemo) na Port 1; puni RS-232 serijski (Dsub 9 pin) na Port 2
- Radio modem potpuno integriran, hermetički zatvoren 450 MHz wide band prijemnik/transmitter s rasponom frekvencije od 403 MHz do 473 MHz, podržava Trimble, Pacific Crest i SATEL radio protokole:
 - Prijenos snage: 0.5 W
 - Domet: 3-5 km tipično / 10 km optimalno
- Modem potpuno integriran, hermetički zatvoren interni GSM/GPRS/EDGE/UMTS/HSPA+ modem. Podržani CSD (Circuit-Switched Data) i PSD (Packet-Switched Data). Global Operation:
 - Penta-Band UMTS/HSPA+ (850/800, 900, 1900 i 2100 MHz)
 - Quad-Band GSM/CSD & GPRS/EDGE (850, 900, 1800 i 1900 MHz)
- Bluetooth: potpuno integriran, potpuno hermetički zatvoren 2.4 GHz komunikacijski port (Bluetooth)
- Vanjski komunikacijski uređaju su podržani na serijskom i Bluetooth portu
- Pohrana podataka: 56 MB interne memorije, 960 sati raw opažanja (otprilike 1.4 MB/dan), bazirano na snimanju svakih 15 sekundi s prosječno 14 satelita

Formati podataka

- CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1 ulazi i izlaz
- 23 NMEA output, GSOF, RT17 i RT27 output, podržava BINEX i smoothed carrier

WebUI

- Pruža jednostavnu konfiguraciju, rad, status i prijenos podataka
- Dostupan putem serijskog kabela i bluetooth komunikacije

Podržani Trimble kontroleri

- Trimble TSC3, Trimble Slate, Trimble CU, Trimble Tablet Rugged PC

CERTIFIKATI

- FCC Part 15 (Class B device), Part 15.247 i Part 90; ICES-003, RSS-210 i RSS-119; CE Mark; C-Tick; Bluetooth EPL

Zbog nedostupnosti Trimble R8 uređaja, istraživanja za Epohu 3 realizirana su upotrebom Topcon Hyper SR uređaja (slika 5.7). Tehničke specifikacije istog nalaze se u tablici 5.2.



Slika 5.7. Topcon Hyper SR (URL 9).

Tablica 5.2 Tehničke specifikacije uređaja Topcon Hyper SR (URL 10).

PRAĆENJE	
Broj kanala	226 kanala
Praćenje signala	GPS, GLONASS, SBAS, QZSS, Galileo i Compass
Tip antene	Integrirana antena „Fence“
PRAĆENJE POZICIONIRANJA	
RTK (L1+L2)	H: 10 mm + 1.0 ppm, V: 15 mm + 1.0 ppm
Brza statika (L1)	H: 3 mm + 0.8 ppm, V: 4 mm + 1.0 ppm
Brza statika (L1+L2)	H: 3 mm + 0.5 ppm, V: 5 mm + 0.5 ppm
DGPS	H: 0.04 m, V: 0.06 m
SBAS	H: 1.0 m, V: 1.5 m
KOMUNIKACIJA	
RTK prijenos	LongLink 300m+ doseg do 3 rovera istovremeno
U/I	Bluetooth, serijski, USB
PODACI I MEMORIJA	

Memorija	Interna, 4GB (2GB za firmware)
Prijenos podataka u stvarnom vremenu	TPS, RTCM SC104 v 2x, 3x; CMR/CMR+
ASCII izlaz	NMEA 0183 verzija 2x i 3.0
FIZIČKI	
Dimenzije	150x150x64 mm
Težina	850 g
Statusni ekran/ploča	MINTER
Vanjski konektor za napajanje	Da
Vrijeme rada	Do 20 sati
OKOLINA	
Temperatura rada	Od -20°C do +65°C s internim baterijama Od -40°C do +65°C s vanjskim napajanjem
Temperatura skladištenja	Od -40°C do +70°C
Vlaga	100%, kondenzacija
Otpornost na vodu/prašinu	IP67

U svrhu istraživanja iz zraka upotrijebljena je Phantom 4 Pro V2.0 bespilotna letjelica koju odlikuje pristupačna cijena (slika 5.8). Tehničke specifikacije iste nalaze se u tablici 5.3.



Slika 5.8. Bespilotna letjelica Phantom 4 Pro V2.0 (URL 11)

Tablica 5.3 Tehničke specifikacije uređaja Phantom 4 Pro V2.0 (URL 12).

LETJELICA	
Težina	1375 g
Dijagonalna veličina (bez propelera)	350 mm
Maksimalna brzina	S – mod: 72 km/h A – mod: 58 km/h P – mod: 50 km/h
Maksimalna visina	6000 m
Maksimalna otpornost na vjetar	10 m/s
Baterija	5870 mAh LiPo 4S
Maksimalna duljina leta	Oko 30 minuta
Operativni temperaturni raspon	0° do 40°C
Satelitsko pozicioniranje	GPS/GLONASS
Točnost letenja	Vertikalna: ±0.1 m (Vizualno pozicioniranje) ±0.5 m (GNSS pozicioniranje) Horizontalna: ±0.3 m (Vizualno pozicioniranje) ±1.5 m (GNSS pozicioniranje)
VIZUALNI SUSTAV	
Vizualni sustav	Forward Vision System Backward Vision System Downward Vision System
FOV	Forward: 60° (horizontalno), ±27° (vertikalno) Backward: 60° (horizontalno), ±27° (vertikalno) Downward: 70° (naprijed i natrag), 50° (lijevo i desno)
Operativna okolina	Površina s jasnim uzorkom i odgovarajućim osvjetljenjem (lux>15)
KAMERA	
Senzor	1-inč CMOS, Efektivni pikseli: 20M
Leće	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (ekvivalent formatu 35 mm) f/2.8-f/11 auto fokus od 1 m do ∞
Veličina slike	3:2, 5472×3648 4:3, 4864×3648 16:9, 5472×3078
Formati slika	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Formati videozapisa	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)

DALJINSKI UPRAVLJAČ	
Operativna frekvencija	2.400-2.483 GHz i 5.725-5.850 GHz
Maksimalna transmisijska udaljenost	6000 m
Baterija	6000 mAh LiPo 2S
APLIKACIJA	
Aplikacija	DJI GO 4
Kvaliteta prijenosa uživo	720P @ 30fps, 1080P @ 30fps

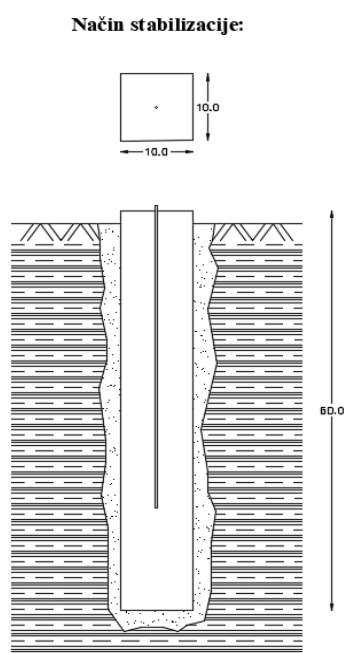
Za preciznije izvođenje GNSS opažanja korišten je tronožac. Pribor za stabilizaciju betonskih stupova uključivao je kramp, lopatu, svrdlo za bušenje rupa i čekić. U svrhu identifikacije detaljnih točaka na snimkama iz zraka, izrađeni su odgovarajući kartonski markeri (slika 5.9). Markeri su dimenzija 60x60 cm s prorezom u sredini dimenzija 12x12 cm. Gornja strana markera oblijepljena je crvenom i bijelom PVC folijom.



Slika 5.9. Kartonski marker.

5.3.2. Stabilizacija točaka

Stabilizaciji točaka prethodilo je planiranje mreže detaljnih točaka klizišta, koja je usuglašena s mentorom prof. dr. sc. Bačićem i asistentom dr. sc. Zvonimirom Nevistićem. Mreža je konfigurirana na način da ista optimalno pokriva obuhvat klizišta. Prvi korak je uključivao rekognosciranje terena i približno utvrđivanje položaja detaljnih točaka korištenjem GNSS uređaja. Točke koje se nalaze u obuhvatu klizišta stabilizirane su betonskim stupovima dimenzija 60x10x10 cm sa željeznom šipkom u sredini (slika 5.10). Drugi korak je podrazumijevao iskop rupa dubine cca 60 cm uz pomoć krampa i svrdla za bušenje rupa. Zemlja na dnu rupa je utabana kako ne bi došlo do potonuća betonskih stupova. Stupovi su stabilizirani na način da su rupe zatrpane zemljom te utabane uz pomoć lopate, čekića i drugih pomagala, a vrhovi stupova ostavljeni su do 3 cm iznad površine zemlje kako bi bili bolje uočljivi.

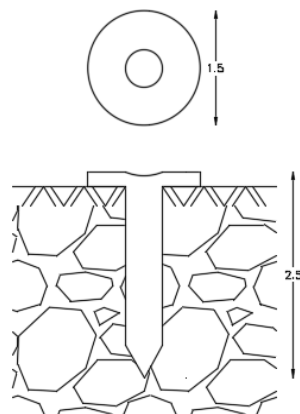


Slika 5.10. Stabilizacija točaka betonskim stupom.

Kontrolne točke su stabilizirane geodetskim bolcnama dužine 2,5 cm u asfalt ceste (slika 5.11). U prvoj epohi mjerenja 4. svibnja 2023. stabilizirane su i mjerene kontrolne točke KON1 i KON2. Izlaskom na teren 2. lipnja 2023. utvrđeno je da su iste točke uništene prilikom obnove ceste Zrin – Zrinska Draga zbog čega je stabilizirana nova kontrolna točka KON3. Prilikom treće epohe prikupljanja podataka 19. ožujka 2024. utvrđeno je da je i

prethodno spomenuta kontrolna točka uništena, stoga je kao nepomična točka u prostoru uzeta točka KON4 koja predstavlja vrh nepomičnog drvenog stupa.

Način stabilizacije:



Slika 5.11. Stabilizacija točaka geodetskom bolcnom.

Pri stabilizaciji točaka sudjelovali su Antonio Kolobarić, Iva Krmek, dr.sc. Zvonimir Nevistić i Albert Seitz. Vrijeme je bilo sunčano s povremenom naoblakom, a tlo je bilo razmjerno vlažno i blatnjavo. Na slici 5.12 prikazana je stabilizacija točke 3, dok slika 5.13 prikazuje mrežu svih stabiliziranih točaka.



Slika 5.12 Stabilizacija točke 3.



Slika 5.13 Prikaz svih stabiliziranih točaka na DOF-u.

5.4. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Prikupljanje podataka provedeno je u tri različite epohe opažanja: Epoha 1 (4. svibnja 2023.), Epoha 2 (2. lipnja 2023.) i Epoha 3 (19. ožujka 2023.). Po načinu prikupljanja podataka, opažanja se mogu podijeliti na GNSS opažanja i opažanja iz zraka. Prilikom prve epohe provedena su samo GNSS opažanja što je vidljivo u tablici 5.4.

Tablica 5.4 Epohe opažanja.

Epoha 1 (4. svibnja 2023.)	Epoha 2 (2. lipnja 2023.)	Epoha 3 (19. ožujka 2023.)
<ul style="list-style-type: none"> • GNSS opažanja 	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS opažanja • Opažanja iz zraka 	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS opažanja • Opažanja iz zraka

5.4.1. GNSS opažanja

Nakon stabilizacije točaka betonskim stupićima uslijedila su GNSS opažanja koja predstavljaju Epohu 1 (4. svibnja 2023.). Opažanja su provedena upotrebom Trimble R8 GNSS uređaja i CROPOS VPPS servisa koji garantira položajnu točnost od ± 2 cm i visinsku točnost od ± 4 cm. Opažanja su izvođena na način da se svaka točka snimala u pet epoha mjerenja u vremenskom razdoblju od 20 sekundi. Za preciznije izvođenje opažanja korišten je tronožac (slika 5.14). Opažane su točke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, KON1 i KON2.

Opažanja za Epohu 2 također su provedena upotrebom Trimble R8 GNSS uređaja i CROPOS VPPS servisa. Opažanja su izvođena na način da se svaka točka snimala u tri epohe mjerenja u vremenskom razdoblju od 30 sekundi. Prilikom rekognisciranja terena utvrđeno je da su kontrolne točke KON1 i KON2 uništene. Za preciznije izvođenje opažanja korišten je tronožac. Opažane su točke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 i KON3.

Opažanja za Epohu 3 provedena su upotrebom Topcon Hyper SR GNSS uređaja i CROPOS VPPS servisa. Opažanja su izvođena na način da se svaka točka snimala u tri epohe mjerenja u vremenskom razdoblju od 30 sekundi. Prilikom rekognisciranja terena utvrđeno je da je kontrolna točka KON3 uništena. Opažane su točke 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 i KON4.



Slika 5.14 GNSS opažanja na točki 6 za Epohu 1.

5.4.2. Opažanja iz zraka

Opažanja iz zraka za Epohu 2 i 3 obavljena su pomoću Phantom 4 Pro V2.0 bespilotne letjelice. Zbog nedostatka vremena, opažanja iz zraka nisu provedena za Epohu 1. Postupak započinje sastavljanjem elisa bespilotne letjelice te pokretanjem daljinskog upravljača i bespilotne letjelice. Nakon uspostavljanja veze između daljinskog upravljača i bespilotne letjelice pokreće se aplikacija DJI GO 4. Tijekom pripreme za opažanje Epohu 3, aplikacija je ukazala na potrebu kalibracije kompasa bespilotne letjelice. Kalibraciju je potrebno provesti nakon svakog dužeg perioda nekorištenja uređaja.

Postupak kalibracije kompasa bespilotne letjelice izvodi se idućim redoslijedom:

1. Uređaj je potrebno udaljiti od svih magnetnih i metalnih objekata
2. U aplikaciji DJI GO 4 otvara se *Aircraft Status Bar*
3. Pod stavkom *Compass* odabire se *Calibrate*

4. Uređaj se rotira horizontalno 360° u smjeru obrnutom od kretanja kazaljke sata
 - tijekom izvođenja postupka, indikatori na uređaju svijetle žutom bojom
 - postupak se izvodi do trenutka kada se na indikatorima pojavi zeleno svjetlo
5. Uređaj se okreće vertikalno s kamerom usmjerenom prema tlu te se rotira 360° u smjeru obrnutom od kretanja kazaljke sata
 - postupak se izvodi do trenutka kada se na indikatorima pojavi trepereće zeleno svjetlo
6. Uređaj se postavlja na ravnu otvorenu površinu kako bi se zagrijao
7. Uređaj je spreman za let kada se u aplikaciji *Status* promijeni u *Ready to Go*

Nakon provedene kalibracije kompasa slijedi planiranje leta. Čitav postupak opažanja iz zraka je automatiziran i autonoman, što značajno pojednostavljuje upotrebu. Ipak, kako bi se osiguralo kvalitetno prikupljanje podataka, ključno je precizno definirati sve parametre leta. U tu svrhu pokreće se aplikacija Ctrl+DJI. Prvi korak je odabir opcije Open PIX4Dcapture gdje se izabire vrsta nove misije (slika 5.15). Moguće opcije su: Polygon Mission, Grid Mission, Double Grid Mission, Circular Mission i Free Flight Mission. Za potrebe ovog rada koristila se misija Double Grid Mission na temelju koje se može kreirati 3D model terena.



Slika 5.15 Vrste misija snimanja.

Idući korak u postupku planiranja leta je definiranje područja leta koje se nalazi iznad obuhvata klizišta. Određeno je prikladno područje leta dimenzija 173x144 m te visina leta od 42 m iznad početne točke leta. Početna točka leta predstavlja lokaciju s koje bespilotna letjelica uzlijeće i kreće u misiju te se nakon obavljanja vraća i spušta na istu. Definirano je

međusobno preklapanje snimki od 80% i kut snimanja od 75%. Za potrebe ovog rada postavljena je prostorna rezolucija (GSD) od 1,19 cm/px. Opažanja za Epohu 2 i Epohu 3 imala su iste postavke leta. Razlog tomu je željena ujednačenost prikupljenih podataka kako bi rezultati bili međusobno usporedivi. Tijekom izvođenja leta, bespilotna letjelica se kreće uzduž pravilne mreže koju automatski generira aplikacija unutar zadanog obuhvata leta. Po završetku misije, letjelica se spušta na početnu točku te sinkronizira prikupljene snimke na OneDrive. U Epohi 2 prikupljeno je 407 snimki, dok je u Epohi 3 prikupljeno 406 snimki. Prikaz sučelja aplikacije tokom izvođenja opažanja prikazan je na slici 5.16.



Slika 5.16 Prikaz sučelja aplikacije Ctrl+DJI tokom izvođenja opažanja.

Prije pokretanja misije potrebno je obratiti pažnju na atmosferske uvjete. Optimalni uvjeti su vedro vrijeme bez naoblake i bez vjetra, a temperatura ne smije biti ispod 5 °C. Vedro vrijeme pridonosi boljoj osvjetljenosti podloge koja se snima. Vjetar može utjecati na kretanje bespilotne letjelice i time je skrenuti od pravilne putanje. Prilikom opažanja za Epohu 2 vrijeme je bilo povremeno oblačno uz poneki lokalni pljusak zbog čega je trebalo posebno obratiti pažnju (slika 5.17). Opažanja za Epohu 3 obilježilo je vedro vrijeme i slabi udari vjetra.



Slika 5.17 Opažanja iz zraka u Epohi 2.

5.5. OBRADA PODATAKA

Iduća bitna stavka u realizaciji zadatka je obrada prikupljenih podataka. Njih možemo razvrstati s obzirom na način prikupljanja. U ovom slučaju, radi se o GNSS opažanjima i opažanjima iz zraka. Prvi korak je obrada GNSS opažanja. Rezultati navedenog dat će nam uvid u dinamiku detaljnih točaka klizišta, ali isto tako predstavljaju bitan faktor u obradi

opažanja iz zraka, što čini drugi korak u obradi podataka. Treći korak se odnosi na obradu proizašlog skupa podataka u svrhu provođenja analize.

5.5.1. Obrada podataka GNSS opažanja

Kao što je prethodno već navedeno, GNSS opažanja izvođena su na način da je svaka točka mjerena u više epoha mjerenja u vremenskom razdoblju od 20 ili 30 sekundi. Koordinate točaka dobivene su računanjem aritmetičke sredine mjerenih podataka, a kao pokazatelj točnosti mjerenja izračunata su i standardna odstupanja po koordinatama. Izračun je proveden u programu Microsoft Excel.

GNSS opažanja za Epohu 1 čine podaci u pet epoha mjerenja za svaku točku, izuzev točke 1 koja je opažana u četiri epohe mjerenja. Koordinate točaka mjerenih u Epohi 1 i njihove točnosti prikazane su u tablici 5.5.

Tablica 5.5 GNSS opažanja za Epohu 1.

Točka	Mjerenja			Koordinate točaka			Točnost mjerenja	
	E [m]	N [m]	H [m]	E [m]	N [m]	H [m]		
1	488464.808	5005746.903	328.767	488464.806	5005746.905	328.761	s _E =	0.32 cm
	488464.807	5005746.906	328.760				s _N =	0.15 cm
	488464.807	5005746.906	328.763				s _H =	0.59 cm
	488464.801	5005746.906	328.753					
2	488490.026	5005751.399	324.517	488490.026	5005751.399	324.517	s _E =	0.15 cm
	488490.025	5005751.398	324.506				s _N =	0.09 cm
	488490.026	5005751.400	324.517				s _H =	0.71 cm
	488490.026	5005751.400	324.526					
	488490.029	5005751.400	324.518					
3	488548.976	5005762.779	315.483	488548.977	5005762.785	315.485	s _E =	0.23 cm
	488548.977	5005762.784	315.488				s _N =	0.40 cm
	488548.975	5005762.786	315.485				s _H =	0.21 cm
	488548.978	5005762.789	315.487					
	488548.981	5005762.788	315.484					
4	488570.550	5005714.876	309.391	488570.549	5005714.874	309.394	s _E =	0.09 cm
	488570.550	5005714.873	309.394				s _N =	0.19 cm
	488570.550	5005714.875	309.395				s _H =	0.16 cm
	488570.549	5005714.873	309.395					
	488570.548	5005714.871	309.394					
5	488550.575	5005741.033	315.235	488550.575	5005741.029	315.240	s _E =	0.15 cm
	488550.574	5005741.028	315.242				s _N =	0.23 cm
	488550.577	5005741.028	315.244				s _H =	0.35 cm

Točka	Mjerenja			Koordinate točaka			Točnost mjerenja	
	E [m]	N [m]	H [m]	E [m]	N [m]	H [m]		
	488550.575	5005741.027	315.238					
	488550.573	5005741.029	315.239					
6	488592.447	5005700.798	306.076	488592.448	5005700.800	306.077	s _E =	0.08 cm
	488592.448	5005700.801	306.086				s _N =	0.15 cm
	488592.448	5005700.801	306.080				s _H =	0.57 cm
	488592.447	5005700.802	306.072					
	488592.449	5005700.800	306.073					
7	488610.044	5005724.594	299.238	488610.044	5005724.596	299.246	s _E =	0.10 cm
	488610.045	5005724.595	299.247				s _N =	0.19 cm
	488610.043	5005724.596	299.248				s _H =	0.47 cm
	488610.045	5005724.599	299.248					
	488610.043	5005724.596	299.250					
8	488600.227	5005672.110	308.990	488600.227	5005672.105	309.007	s _E =	0.23 cm
	488600.224	5005672.106	309.002				s _N =	0.30 cm
	488600.225	5005672.105	309.006				s _H =	1.20 cm
	488600.227	5005672.104	309.019					
	488600.230	5005672.102	309.018					
9	488551.065	5005689.972	315.100	488551.064	5005689.977	315.100	s _E =	0.12 cm
	488551.064	5005689.975	315.101				s _N =	0.34 cm
	488551.065	5005689.977	315.101				s _H =	0.15 cm
	488551.064	5005689.981	315.102					
	488551.062	5005689.978	315.098					
KON1	488539.224	5005658.801	320.650	488539.230	5005658.804	320.638	s _E =	0.43 cm
	488539.227	5005658.806	320.636				s _N =	0.53 cm
	488539.232	5005658.813	320.633				s _H =	0.72 cm
	488539.233	5005658.801	320.637					
	488539.234	5005658.801	320.632					
KON2	488501.817	5005683.888	324.471	488501.817	5005683.888	324.473	s _E =	0.07 cm
	488501.818	5005683.887	324.474				s _N =	0.08 cm
	488501.817	5005683.889	324.473				s _H =	0.13 cm
	488501.816	5005683.887	324.474					
	488501.817	5005683.888	324.474					

GNSS opažanja za Epohu 2 čine podaci u tri epohe mjerenja za svaku točku, izuzev točke 2 koja je opažana u četiri epohe mjerenja. Koordinate točaka mjerenih u Epohi 2 i njihove točnosti prikazane su u tablici 5.6.

Tablica 5.6 GNSS opažanja za Epohu 2.

Točka	Mjerenja			Koordinate točaka			Točnost mjerenja	
	E [m]	N [m]	H [m]	E [m]	N [m]	H [m]		
1	488464.781	5005746.898	328.776	488464.778	5005746.897	328.772	$s_E=$	0.31 cm
	488464.779	5005746.893	328.768				$s_N=$	0.32 cm
	488464.775	5005746.899	328.773				$s_H=$	0.40 cm
2	488490.042	5005751.392	324.501	488490.047	5005751.389	324.518	$s_E=$	0.41 cm
	488490.046	5005751.389	324.512				$s_N=$	0.22 cm
	488490.051	5005751.387	324.528				$s_H=$	1.35 cm
	488490.050	5005751.388	324.529					
3	488548.982	5005762.778	315.525	488548.981	5005762.777	315.525	$s_E=$	0.15 cm
	488548.979	5005762.775	315.526				$s_N=$	0.15 cm
	488548.981	5005762.777	315.524				$s_H=$	0.10 cm
4	488570.581	5005714.852	309.357	488570.580	5005714.852	309.361	$s_E=$	0.15 cm
	488570.580	5005714.853	309.364				$s_N=$	0.10 cm
	488570.578	5005714.851	309.362				$s_H=$	0.36 cm
5	488550.628	5005740.991	315.285	488550.629	5005740.993	315.287	$s_E=$	0.15 cm
	488550.631	5005740.993	315.290				$s_N=$	0.15 cm
	488550.629	5005740.994	315.286				$s_H=$	0.26 cm
6	488592.484	5005700.847	306.082	488592.486	5005700.841	306.075	$s_E=$	0.21 cm
	488592.487	5005700.838	306.064				$s_N=$	0.49 cm
	488592.488	5005700.839	306.080				$s_H=$	0.99 cm
7	488610.105	5005724.587	299.221	488610.104	5005724.588	299.227	$s_E=$	0.15 cm
	488610.102	5005724.589	299.229				$s_N=$	0.12 cm
	488610.104	5005724.589	299.232				$s_H=$	0.57 cm
8	488600.236	5005672.103	309.026	488600.232	5005672.107	309.021	$s_E=$	0.32 cm
	488600.230	5005672.108	309.023				$s_N=$	0.32 cm
	488600.231	5005672.109	309.014				$s_H=$	0.62 cm
9	488551.121	5005690.029	315.044	488551.120	5005690.026	315.045	$s_E=$	0.10 cm
	488551.120	5005690.026	315.041				$s_N=$	0.30 cm
	488551.119	5005690.023	315.050				$s_H=$	0.46 cm
KON3	488476.345	5005683.011	326.171	488476.342	5005683.011	326.173	$s_E=$	0.30 cm
	488476.342	5005683.014	326.172				$s_N=$	0.25 cm
	488476.339	5005683.009	326.177				$s_H=$	0.32 cm

GNSS opažanja za Epohu 3 čine podaci u tri epohe mjerenja za svaku točku, izuzev točke 5 koja je opažana u četiri epohe mjerenja. Kao što je već spomenuto, GNSS opažanja za Epohu 3 provedena su upotrebom Topcon Hyper SR uređaja koji u memoriji nema pohranjen službeni model geoida za Republiku Hrvatsku HRG2009. Iz tog razloga Topcon Hyper SR kao rješenje daje elipsoidnu visinu, dok Trimble R8 uređaj kao rješenje daje ortometrijsku

visinu u službenom referentnom visinskom sustavu Republike Hrvatske HVRS71. Zbog nedostupnosti modela geoida HRG2009, visine je bilo nužno računski obraditi.

Rješenje je pronađeno u vidu računanja srednje vrijednosti razlika mjerenja između Epohe 3 te Epoha 1 i 2. Izračunata srednja vrijednost predstavlja undulaciju geoida za područje istraživanja te ja kao takva oduzeta od mjerenih visina čime su dobivene približne ortometrijske visine. Postupak računanja visina točaka za Epohu 3 prikazan je u tablici 5.7, dok su koordinate točaka mjerenih u Epohi 3 i njihove točnosti prikazane su u tablici 4.8.

Tablica 5.7 Izračun visina za Epohu 3.

Točka	Mjerene visine			Razlike mjerenih visina		$H_3 = H'_3 - U$
	H_1	H_2	H'_3	ΔH_{32}	ΔH_{31}	
1	328.761 m	328.772 m	374.525 m	45.753 m	45.764 m	328.775 m
2	324.518 m	324.518 m	370.284 m	45.766 m	45.767 m	324.534 m
3	315.485 m	315.525 m	361.217 m	45.692 m	45.731 m	315.467 m
4	309.394 m	309.361 m	355.136 m	45.775 m	45.742 m	309.386 m
5	315.240 m	315.287 m	361.015 m	45.728 m	45.775 m	315.265 m
6	306.077 m	306.075 m	351.827 m	45.751 m	45.749 m	306.077 m
7	299.246 m	299.227 m	345.060 m	45.833 m	45.814 m	299.310 m
8	309.007 m	309.021 m	354.679 m	45.658 m	45.672 m	308.929 m
9	315.100 m	315.045 m	360.835 m	45.790 m	45.735 m	315.085 m
				Srednje vrijednosti		
				H_{32}	H_{31}	
				45.750 m	45.750 m	
				Undulacija geoida (U)		
				45.750 m		

Tablica 5.8 GNSS opažanja za Epohu 3.

Točka	Mjerenja			Koordinate točaka			Točnost mjerenja	
	E [m]	N [m]	H' [m]	E [m]	N [m]	H [m]	s_E	s_H
1	488464.817	5005746.877	374.529	488464.811	5005746.892	328.775	$s_E =$	0.56 cm
	488464.810	5005746.898	374.508				$s_N =$	1.31 cm
	488464.806	5005746.901	374.538				$s_H =$	1.54 cm
2	488490.070	5005751.389	370.288	488490.068	5005751.387	324.534	$s_E =$	0.15 cm
	488490.067	5005751.390	370.285				$s_N =$	0.38 cm
	488490.068	5005751.383	370.278				$s_H =$	0.51 cm
3	488548.966	5005762.760	361.219	488548.965	5005762.759	315.467	$s_E =$	0.26 cm
	488548.967	5005762.759	361.214				$s_N =$	0.06 cm
	488548.962	5005762.759	361.217				$s_H =$	0.25 cm

Točka	Mjerenja			Koordinate točaka			Točnost mjerenja	
	E [m]	N [m]	H '[m]	E [m]	N [m]	H [m]		
4	488570.583	5005714.836	355.133	488570.588	5005714.842	309.386	s _E =	0.46 cm
	488570.589	5005714.843	355.134				s _N =	0.56 cm
	488570.592	5005714.847	355.141				s _H =	0.44 cm
5	488550.614	5005741.027	361.007	488550.614	5005741.028	315.265	s _E =	0.05 cm
	488550.615	5005741.030	361.013				s _N =	0.14 cm
	488550.614	5005741.028	361.020				s _H =	0.63 cm
	488550.614	5005741.027	361.020					
6	488592.469	5005700.811	351.816	488592.472	5005700.815	306.077	s _E =	0.25 cm
	488592.472	5005700.813	351.832				s _N =	0.47 cm
	488592.474	5005700.820	351.832				s _H =	0.92 cm
7	488610.107	5005724.606	345.047	488610.110	5005724.607	299.310	s _E =	0.25 cm
	488610.110	5005724.608	345.058				s _N =	0.12 cm
	488610.112	5005724.608	345.075				s _H =	0.75 cm
8	488600.186	5005672.066	354.672	488600.198	5005672.083	308.929	s _E =	1.12 cm
	488600.201	5005672.086	354.678				s _N =	1.62 cm
	488600.208	5005672.098	354.687				s _H =	0.75 cm
9	488551.105	5005689.991	360.834	488551.107	5005689.992	315.085	s _E =	0.17 cm
	488551.108	5005689.995	360.836				s _N =	0.23 cm
	488551.108	5005689.991	360.835				s _H =	0.10 cm
KON4	488471.786	5005699.224	373.883	488471.807	5005699.203	328.136	s _E =	2.10 cm
	488471.807	5005699.217	373.890				s _N =	2.99 cm
	488471.828	5005699.169	373.885				s _H =	0.36 cm

5.5.2. Obrada podataka opažanja iz zraka u Pix4Dmatic softveru

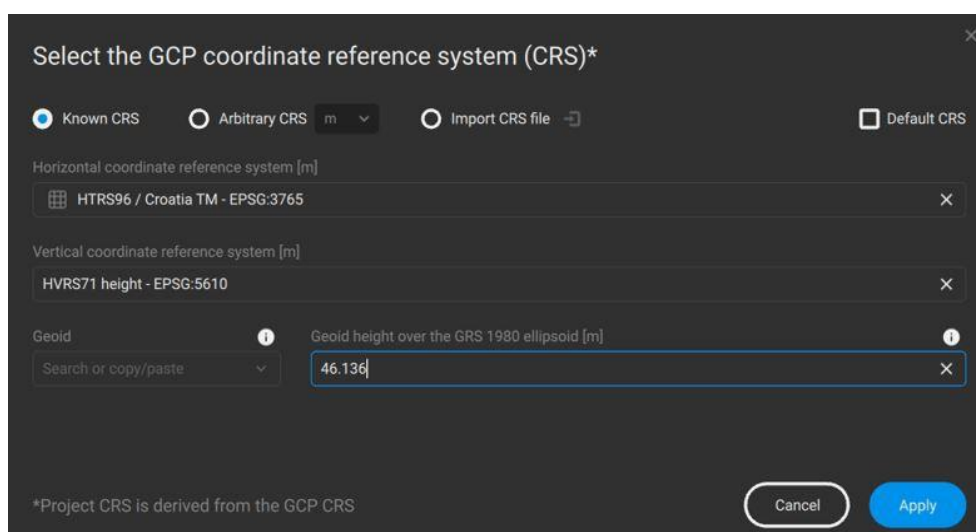
Pix4D je softver za obradu fotogrametrijskih snimaka kojeg nudi istoimena švicarska kompanija. Korištenjem naprednih algoritama i preciznih fotogrametrijskih tehnika, softver generira oblake točaka, digitalne modele površine (DSM) i ortomozaike vrlo visoke razlučivosti. Pix4D također ima cijeli spektar uređaja za prikupljanje podataka, uključujući kamere i senzore koji nadopunjuju softver. Postoji više aplikacija koje su usmjerene na pružanje specifičnih rješenja u posebnim područjima kao što su: fotogrametrijska izmjera i kartografija, poljoprivreda, građevinarstvo i rudarstvo (URL 13).

Pix4Dmatic je inačica softvera specijalizirana za fotogrametrijsku izmjeru i kartografiju. Softver omogućuje lakši rad s velikim brojem snimaka uz zadržavanje preciznosti na razini

geodetskih mjerenja. Radi se o komercijalnom softveru koji je uz prijavu besplatno dostupan u probnoj verziji do 15 dana.

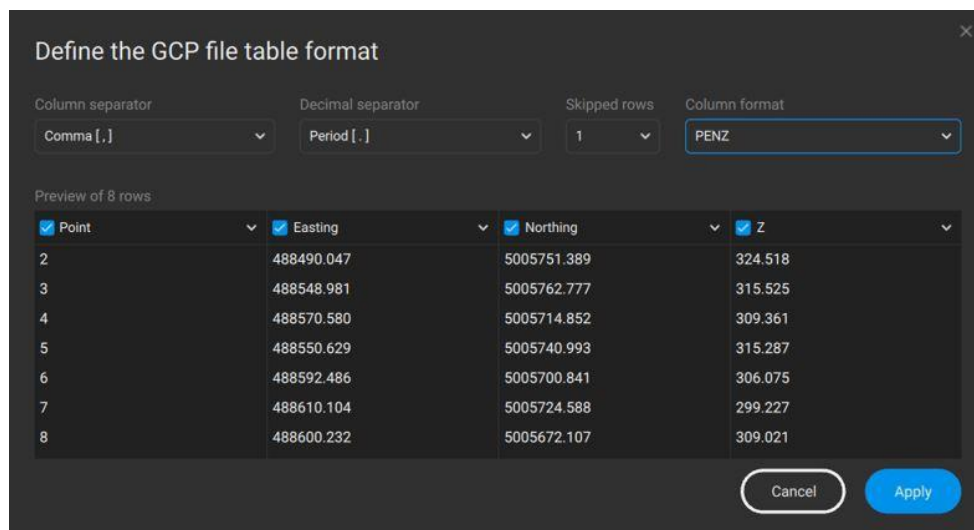
Pokretanjem programa otvara se sučelje u kojem se pomoću *Drag and drop* opcije učitavaju snimke *.jpg*, *.jpeg*, *.tiff* ili *.tif* formata, a potom se kreira projekt te se definira *path* do mape u kojoj će rezultati biti pohranjeni.

Nakon učitavanja snimki i kreiranja projekta može se primijetiti da su snimke učitane u WGS84 / UTM zone 33N koordinatnom sustavu uz model geoida EGM96. To će se promijeniti definiranjem koordinatnog sustava u kojem se nalaze GCP (engl. *Ground Control Points*). GCP su točke poznatih koordinata na snimkama koje se koriste kako bi iste mogle biti georeferencirane. U ovom slučaju, radi se o stabiliziranim GNSS točkama koje su na snimkama označene crveno-bijelim markerima. Za horizontalni referentni koordinatni sustav odabire se HTRS96/TM, a za visinski referentni koordinatni sustav odabire se HVRS71. Softver ne uključuje model geoida HRG2009, ali nudi opciju aproksimacije putem konstantne visine iznad elipsoida GRS1980 koja iznosi 46,136 m. Definirani koordinatni sustavi GCP-a prikazani su na slici 5.18.



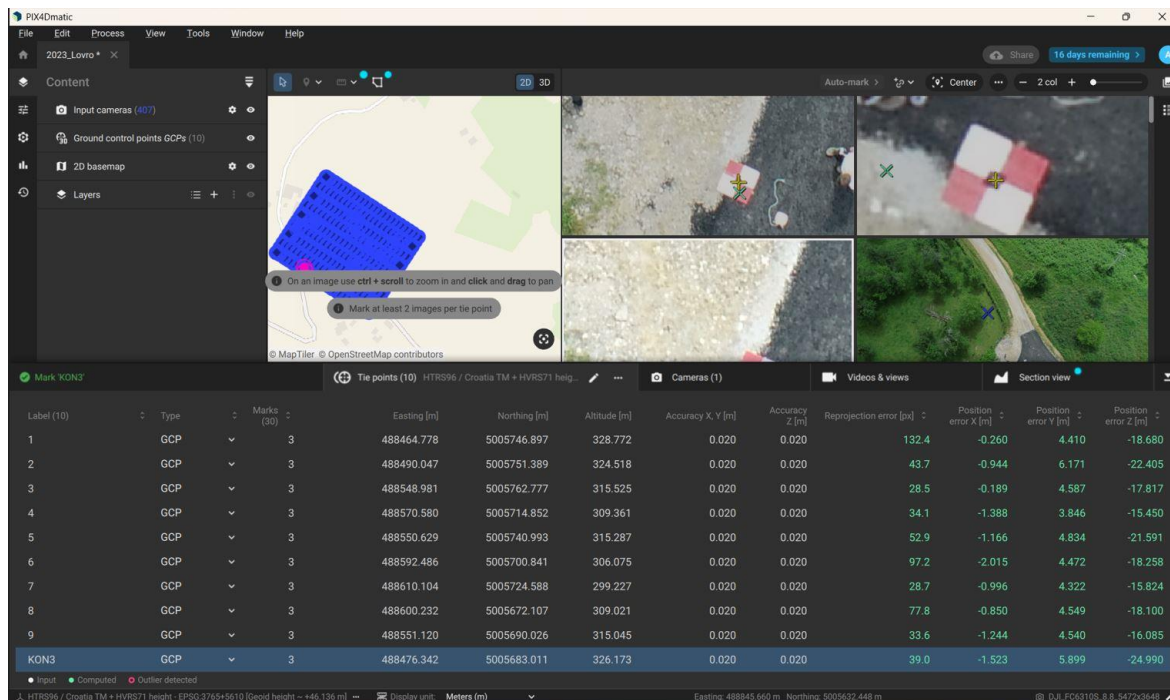
Slika 5.18 Koordinatni sustavi GCP-a.

Shodno tome, u idućem koraku naredbom *import GCPs* učitavaju se GCP u uređenom *.csv* formatu s redosljedom stupaca u PENZ obliku (slika 5.19). Uvezene GCP predstavljaju koordinate GNSS točaka mjerenih u odgovarajućoj epohi opažanja, a služiti će kao vezne točke (engl. *Tie points*).



Slika 5.19 Koordinate učitanih GCP-a.

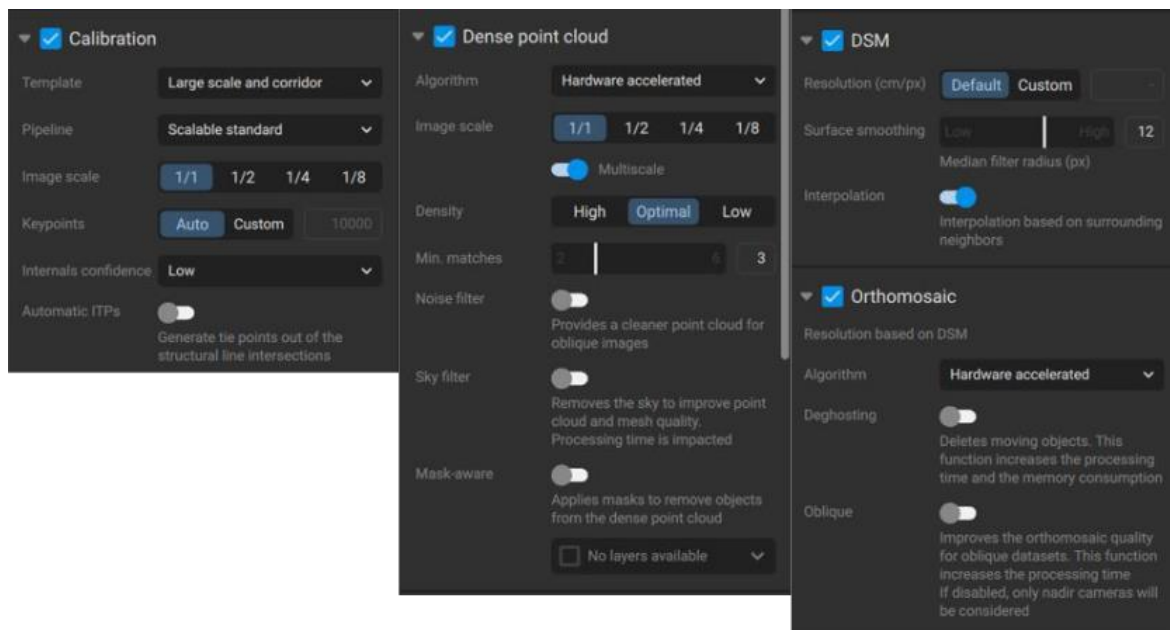
Poslije uvoza GCP-a slijedi ručno markiranje veznih točaka na snimkama. Svaku točku je potrebno označiti na minimalno dvije snimke, no u ovom slučaju točke su označene na tri snimke. Položaj veznih točaka na snimkama nije precizan s obzirom da se određuje samo na osnovu početne približne lokacije i orijentacije kamere. Na slici 5.20 prikazani su postupak pridruživanja veznih točaka snimkama te položajne i reprojekcijske pogreške.



Slika 5.20 Pridruživanje GCP-a snimkama.

Idući potez je procesuiranje snimki, stoga je potrebno definirati parametre kalibracije kamere kao i parametre izlaznih rješenja. Klikom na ikonu *Processing options* otvara se prozor u

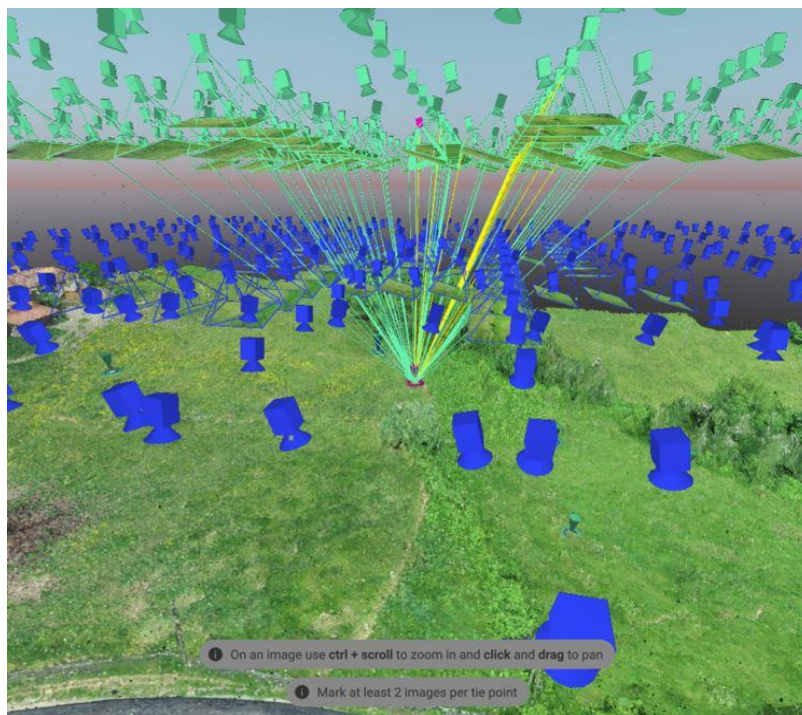
kojem se odabiru željene postavke koje su prikazane na slici 5.21. Za izlazna rješenja odabrane su stavke *Quality report*, *Dense point cloud*, *DSM.tiff* i *Orthomosaic.jpg*.



Slika 5.21 Postavke za procesuiranje snimki.

Nakon višesatne obrade, položaji kamere za svaku snimku su kalibrirani na centimetarsku točnost. Međutim, dobivene položajne točnosti za Epohu 2 nisu bile zadovoljavajuće jer je prosječna položajna pogreška od 3,130 cm premašivala dopušteni iznos koji smije biti do 1,5 puta veći od GSD-a (engl. *Ground Sampling Distance*) pri čemu je isti iznosio 1,4 cm. Prethodno navedeno bilo je jasno naznačeno u *Quality report*-u, a pojedine točke su imale visinsku pogrešku do 7,5 cm. Kako bi se točnost podataka poboljšala, u stavci *Cameras* trebalo je promijeniti postavke točnosti kamere *Accuracy X, Y i Z* s prethodnih 5 metara na 10 metara. Tim potezom, softveru se daje veći prostor za manipuliranje položajem kamere pri kalibraciji čime se pospješuje visinska točnost podataka. Uz spomenuto, korištena je i opcija *Auto-mark* koja, uz pomoć algoritma i ručno pridruženih veznih točaka, automatski markira vezne točke na ostalim snimkama. U prozoru *Processing options* odabire se opcija *Reoptimization* te *Rematch* čime se optimiziraju unutarnji i vanjski parametri kamere. Također je potrebno generirati nova izlazna rješenja.

Na slici 5.22 vidljivi su položaji kamere tijekom prikupljanja snimki na kojima je vidljiva točka 5. Zeleno obojene zrake označavaju vizure s kojih je točka 5 vidljiva, dok žute zrake označavaju 13 snimki na kojima je točka 5 označena kao vezna točka.



Slika 5.22 Vizure kamere prema točki 5.

Kao što je već prethodno navedeno, PIX4Dmatic generira izvješće o kvaliteti (engl. *Quality report*) koje daje pregled projekta i procjenu njegove točnosti i kvalitete. U izvješću za Epohu 2 može se iščitati da je kontrola kvalitete zadovoljena (slika 5.23). Prosječni GSD iznosi 1,4 cm, dok prosječna položajna pogreška iznosi 2,013 cm. Relativna razlika između početnih i optimiziranih unutarnjih parametara kamere iznosi 0,95%. Na slici 5.24 prikazana je tablica dobivenih položajnih pogrešaka, odnosno položajnih točnosti GCP-a. Iz nje se može zaključiti kako se položajne točnosti (X, Y) nalaze u domeni odstupanja od -2,7 cm do 3,6 cm. Srednja vrijednost položajnih točnosti iznosi 0,0 cm, međutim bolji pokazatelj je srednja kvadratna pogreška koja za X koordinate iznosi 1,6 cm, a za Y koordinate 1,7 cm. Visinska točnost je nešto većeg iznosa pa tako varira u rasponu od -4,7 cm do 3,5 cm sa srednjom vrijednosti od -0,1 cm i srednjom kvadratnom pogreškom od 2,7 cm. Srednja kvadratna pogreška pogreške reprojeckije iznosi 0,6 piksela.

QR-7/20/24/ 2023_Lovro

Quality Report

PIX4Dmatic v1.63.0



Camera	DJI_FC6310S_8.8_5472x3648
Average GSD	1.4 cm
Project CRS	HTRS96 / Croatia TM + HVRS71 height - EPSG:3765+5610 [Geoid height ~ +46.136 m]

Quality check i

Matches	Median of 21399 matches per calibrated image	✔
Dataset	100% calibrated (407/407), 1 block	✔
Camera optimization	0.95% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
GCPs	10 GCPs, Mean RMS position error 2.013 cm / Sigma 2.012	✔
Checkpoints	0 Checkpoints	
MTPs	0 MTPs	
aITPs	0 aITPs	
mITPs	0 mITPs	
ATPs	3412829 ATPs	

Slika 5.24 Kontrola kvalitete za Epohu 2.

QR-7/20/24/ 2023_Lovro

Tie points i

Ground control points (GCPs)

Label	Position error			Reprojection error [px]	Accuracy		Verified/Marked
	X [m]	Y [m]	Z [m]		X/Y [m]	Z [m]	
1	0.032	-0.016	0.007	0.8	0.020	0.020	26/26
2	0.003	-0.011	-0.008	0.5	0.020	0.020	36/36
3	0.005	0.017	-0.008	0.4	0.020	0.020	49/49
4	-0.011	0.016	0.035	0.3	0.020	0.020	46/46
5	-0.013	0.036	-0.044	0.4	0.020	0.020	13/13
6	0.007	-0.019	-0.001	0.4	0.020	0.020	21/21
7	-0.001	0.002	0.026	0.6	0.020	0.020	46/46
8	0.016	-0.004	-0.047	0.5	0.020	0.020	13/13
9	-0.027	-0.019	0.034	0.3	0.020	0.020	27/27
KON3	-0.014	-0.001	-0.002	0.5	0.020	0.020	30/30
Min	-0.027	-0.019	-0.047	0.0			
Max	0.032	0.036	0.035	2.1			
Mean	-0.000	0.000	-0.001	0.5			
Median	0.001	-0.003	-0.002	0.4			
Sigma	0.016	0.017	0.027	0.3			
RMS	0.016	0.017	0.027	0.6			


Slika 5.23 Točnosti GCP-a za Epohu 2.

U izvješću za Epohu 3 može se zaključiti da je kontrola kvalitete zadovoljena (slika 5.25). Prosječni GSD iznosi 1,3 cm, dok prosječna položajna pogreška iznosi 1,800 cm. Relativna razlika između početnih i optimiziranih unutarnjih parametara kamere iznosi 0,86%. Na slici 5.26 prikazana je tablica dobivenih položajnih pogrešaka, odnosno položajnih točnosti GCP-a. U njoj je vidljivo kako se položajne točnosti (X, Y) nalaze u domeni odstupanja od -2,4 cm do 2,7 cm. Srednja vrijednost položajnih točnosti iznosi 0,0 cm, dok srednja kvadratna pogreška za X koordinate iznosi 1,1 cm, a za Y koordinate 1,5 cm. Visinska točnost je očekivano većeg iznosa pa tako varira u rasponu od -5,6 cm do 3,6 cm sa srednjom vrijednosti od -0,5 cm i srednjom kvadratnom pogreškom od 2,7 cm. Srednja kvadratna pogreška kod pogreške reprojekcije iznosi 0,4 piksela.

QR-7/20/24/ 2024_1_Lovro

Quality Report

PIX4Dmatic v1.63.0



Camera	DJLFC6310S_8_8_5472x3648
Average GSD	1.3 cm
Project CRS	HTRS96 / Croatia TM + HVR571 height - EPSG:3765+5610 [Geoid height ~ +46.136 m]

Quality check i

Matches	Median of 14950 matches per calibrated image	✓
Dataset	100% calibrated (406/406), 1 block	✓
Camera optimization	0.86% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
GCPs	9 GCPs, Mean RMS position error 1.800 cm / Sigma 1.784	✓
Checkpoints	0 Checkpoints	
MTPs	0 MTPs	
mITPs	0 mITPs	
ATPs	2280701 ATPs	

Slika 5.25 Kontrola kvalitete za Epohu 3.

QR-7/20/24/ 2024_1_Lovro

Tie points



Ground control points (GCPs)

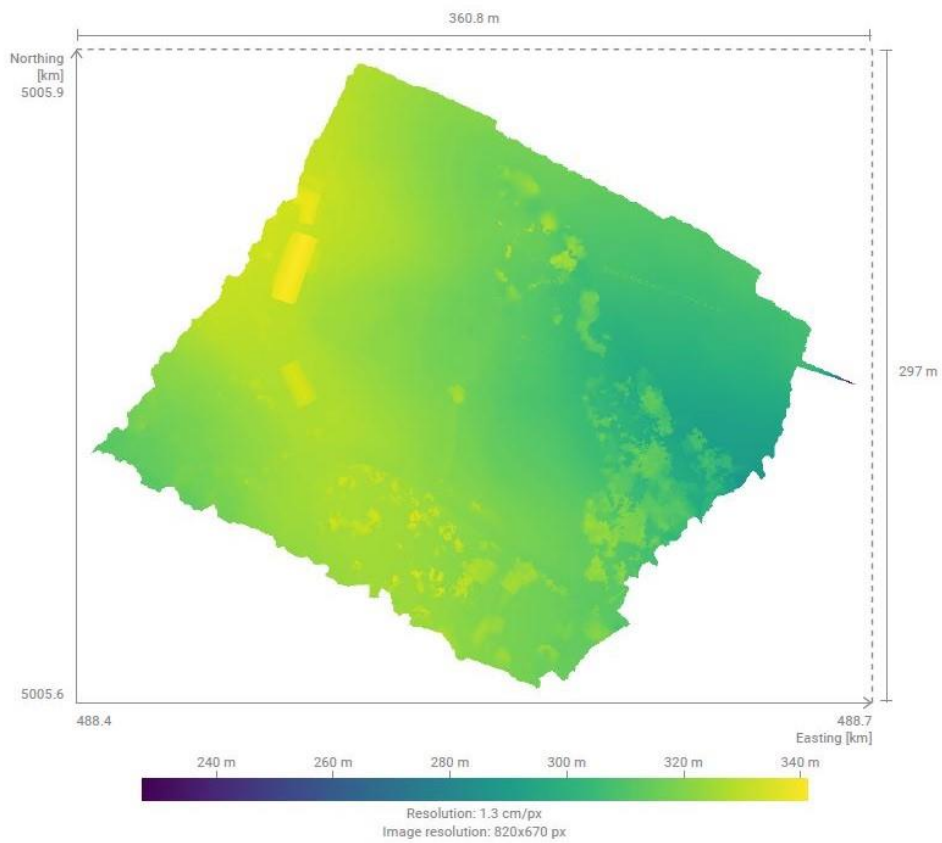
Label	Position error			Reprojection error [px]	Accuracy		Verified/Marked
	X [m]	Y [m]	Z [m]		X/Y [m]	Z [m]	
1	0.002	-0.008	0.009	0.6	0.020	0.020	3/3
2	-0.011	-0.010	-0.029	0.3	0.020	0.020	3/3
3	0.013	0.008	0.017	0.1	0.020	0.020	3/3
4	-0.012	0.027	0.036	0.4	0.020	0.020	3/3
5	0.013	-0.005	-0.056	0.3	0.020	0.020	3/3
6	0.002	-0.002	-0.004	0.1	0.020	0.020	3/3
7	-0.008	-0.024	0.008	0.4	0.020	0.020	3/3
8	0.014	-0.007	-0.039	0.4	0.020	0.020	3/3
9	-0.013	0.018	0.010	0.5	0.020	0.020	3/3
Min	-0.013	-0.024	-0.056	0.1			
Max	0.014	0.027	0.036	0.8			
Mean	0.000	-0.000	-0.005	0.4			
Median	0.002	-0.005	0.008	0.4			
Sigma	0.011	0.015	0.028	0.2			
RMS	0.011	0.015	0.029	0.4			

Slika 5.26 Točnost GCP-a za Epohu 3.

Izlazna rješenja obrađenih podataka su gusti oblaci točaka, digitalni modeli površina (DSM) i ortofoto karte. Na slici 5.27 prikazana je digitalna ortofoto karta za Epohu 2, a na slici 5.28 prikazan je DSM za Epohu 3.



Slika 5.27 Digitalna ortofoto karta za Epohu 2.



Slika 5.28 DSM za Epohu 3.

Pogledom na tablicu 5.9 vidljivo je kako se koordinate točke KON3 dobivene iz ortofoto karte i GNSS opažanja minimalno razlikuju. Točnije, najveće odstupanje je po E koordinati koje iznosi 1,7 cm. Točka KON3 korištena je kao GCP, stoga bilježi visoku točnost. Točka KON4 bilježi velike koordinatne razlike između GNSS opažanja i koordinata dobivenih iz ortofoto karte. Najveća razlika po E koordinati iznosi 2,3 cm. Najveća razlika po N koordinati iznosi 9,9 cm, dok najveća razlika po H koordinati iznosi čak 19,1 cm. Ako se pretpostavi da je točka KON4 ostala nepomična u prostoru, ovi podaci su od izuzetne važnosti jer pokazuju pad kvalitete podataka za područja izvan uskog kruga detaljnih točaka koje su služile kao GCP. Kontrolne točke KON1, KON2 i KON3 nažalost su uništene zbog rekonstrukcije postojeće ceste Zrin – Zrinska Draga, stoga se apsolutna kvaliteta podataka svodi samo na kontrolnu točku KON4.

Tablica 5.9 Koordinate kontrolnih točaka.

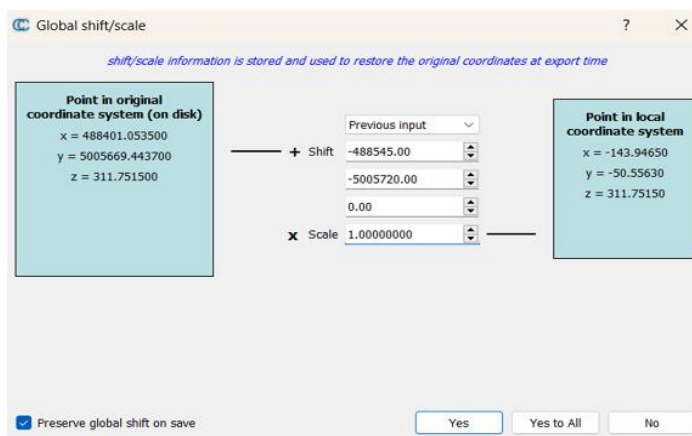
KON4			KON3		
E	N	H	E	N	H
GNSS			GNSS		
488471.807 m	5005699.203 m	328.136 m	488476.342 m	5005683.011 m	326.173 m
DOF - Epoha 2			DOF - Epoha 2		
488471.784 m	5005699.147 m	328.053 m	488476.325 m	5005683.008 m	326.170 m
DOF - Epoha 3					
488471.812 m	5005699.104 m	327.945 m			

5.5.3. Obrada oblaka točaka u CloudCompare softveru

CloudCompare je slobodni softver za uređivanje i obradu 3D oblaka točaka i *mesh*-eva. Izvorno je dizajniran za usporedbu između dva gusta 3D oblaka točaka ili između oblaka točaka i *mesh*-a. Oslanja se na specifičnu *oktree* strukturu namijenjenu ovoj zadaći. Kasnije je proširen na općenitiji softver za obradu oblaka točaka, uključujući mnoge napredne algoritme (registracija, ponovni uzorci, rukovanje poljima boja/normala/skalarnih vrijednosti, izračun statistike, upravljanje senzorima, interaktivna ili automatska segmentacija, poboljšanje prikaza, itd.) (URL 14).

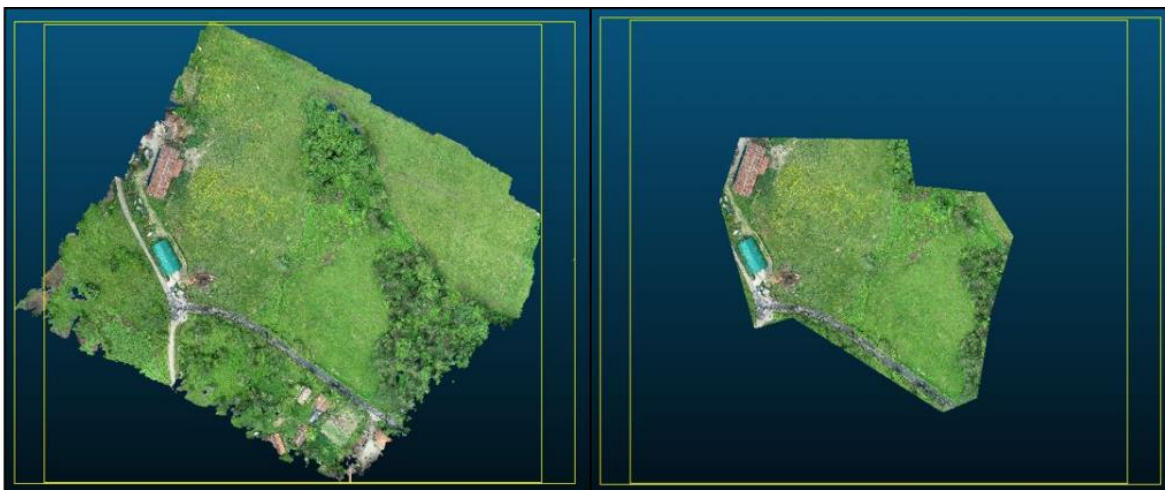
Postupak započinje učitavanjem oblaka točaka koji su pohranjeni u *.laz* formatu podataka. Oblak točaka za Epohu 2 naziva se *2023_Lovro-dense_point_cloud*, a oblak točaka za Epohu 3 naziva se *2024_1_Lovro-dense_point_cloud*. Prilikom učitavanja otvara se skočni prozor pod nazivom *Global shift/scale*. Radi se o funkciji koja upozorava korisnika na velike koordinate (veće od 10^5) te predlaže pomicanje ili skaliranje oblaka točaka u lokalni

koordinatni sustav s manjim koordinatama kako bi se pospješila brzina obrade podataka (slika 5.29).



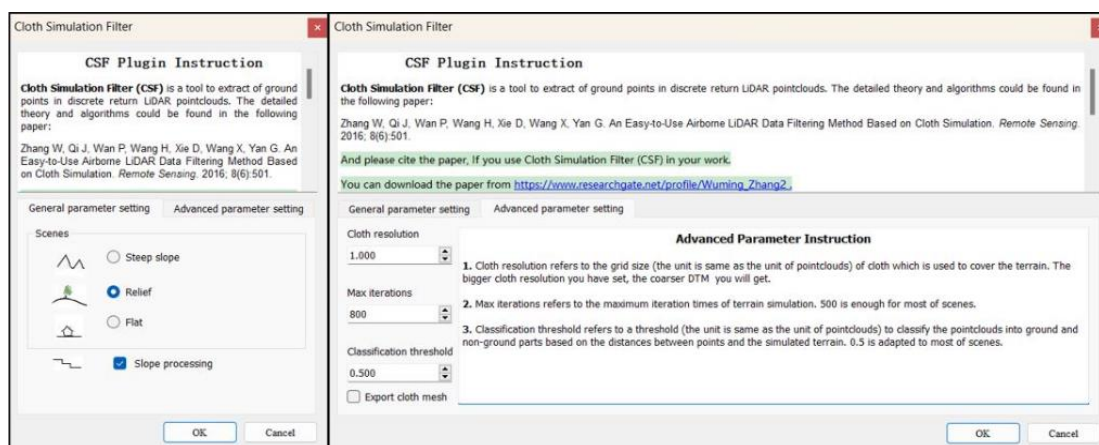
Slika 5.29 Global shift/scale prilikom učitavanja oblaka točaka.

Nakon učitavanja oblaka točaka, iste je potrebno izrezati kako bi se zadržalo samo područje od interesa. Tim postupkom se također ubrzava postupak obrade podataka. U alatnom okviru odabire se ikona *Segment*. Crtanjem linije označava se granica željenog obuhvata, a zatim se odabire opcija *Segment In*. Na slici 5.30 prikazana je usporedba učitanih i izrezanih oblaka točaka.

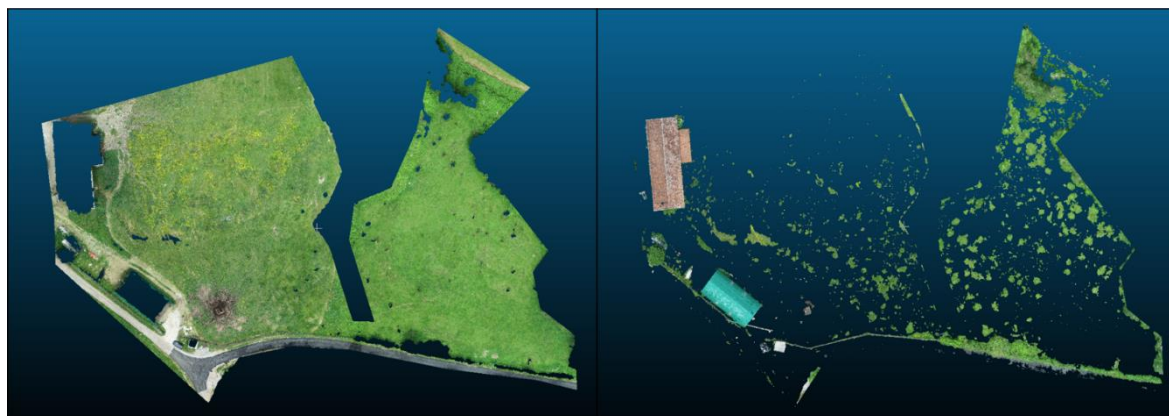


Slika 5.30 Usporedba učitanih i izrezanih oblaka točaka.

Treći korak obrade podrazumijeva klasifikaciju oblaka točaka na točke tla (engl. *Ground points*) i ostale točke. Klasifikacija je realizirana korištenjem plug-ina *Cloth Simulator Filter (CSF)* koji je posebno osmišljen za fotogrametriju i daljinska istraživanja, a sadrži jedinstvene algoritme za obradu točaka građevina i drveća. Više o istom moguće je pronaći u Zhang i dr. (2016). Nakon višestrukih promjena, utvrđeno je da parametri prikazani na slici 5.31 daju najbolji rezultat. Na lijevoj strani slike 5.32 prikazane su klasificirane točke tla (*Ground points*), a na desnoj strani su prikazane klasificirane ostale točke. Oblak točaka tla bit će korišten u sljedećim koracima obrade podataka.

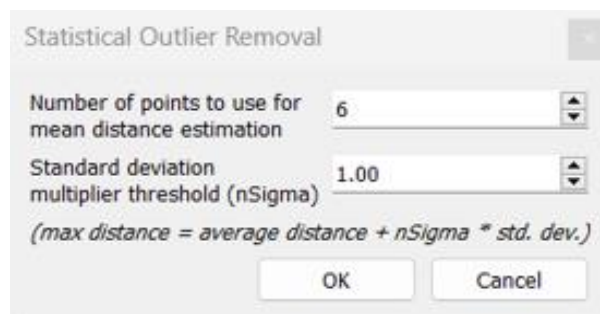


Slika 5.32 Cloth Simulator Filter (CSF).

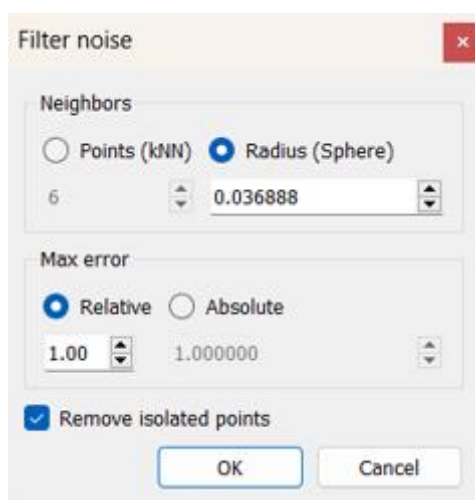


Slika 5.31 Klasificirani oblak točaka koristeći CSF.

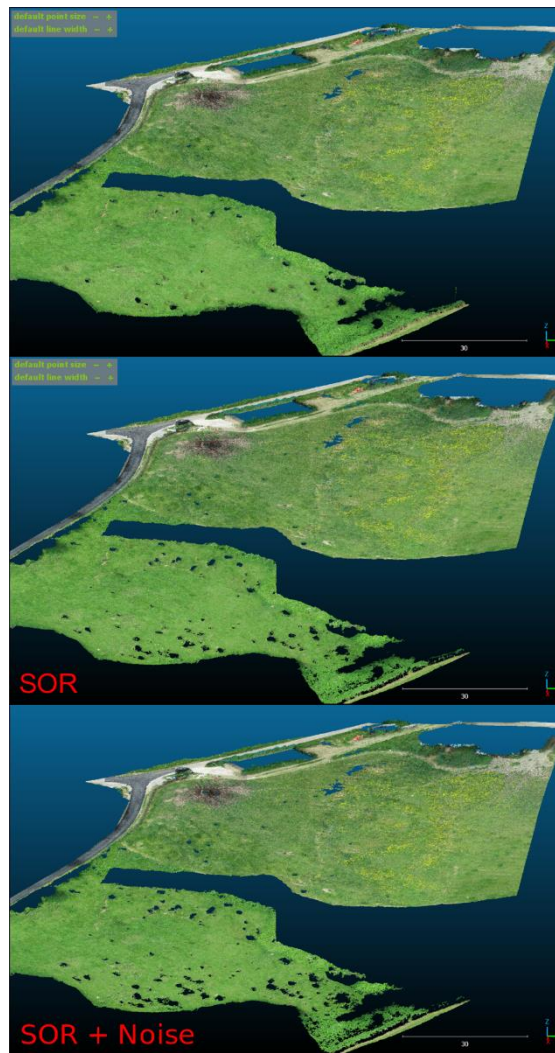
Četvrti korak obrade odnosi se na filtriranje i uklanjanje šumova u klasificiranom oblaku točaka. *SOR (Statistical Outlier Removal) filterom* izbacuju se točke koje po udaljenosti odskaku od oblaka točaka. Prema URL 15 alat računa prosječnu udaljenost svake točke do njenih susjeda (uzimajući u obzir k najbližih susjeda za svaku točku - k je prvi parametar). Zatim odbacuje točke koje su udaljenije od prosječne udaljenosti plus nekoliko puta standardnu devijaciju (drugi parametar). Odabrani parametri prikazani su na slici 5.33.

Slika 5.33 Parametri *SOR filter* alata.

Idući potez je uklanjanje preostalih šumova u oblaku točaka što je učinjeno pomoću *Noise filtera*. Prema URL 16 alat nalikuje na *SOR filter*, ali umjesto udaljenosti do susjeda, uzima u obzir udaljenost do ishodišne površine. Za procjenu ishodišne površine, korisnik može definirati radijus ili konstantan broj susjeda. Korisnik također može birati između relativne i apsolutne pogreške. Odabrani parametri prikazani su na slici 5.34.

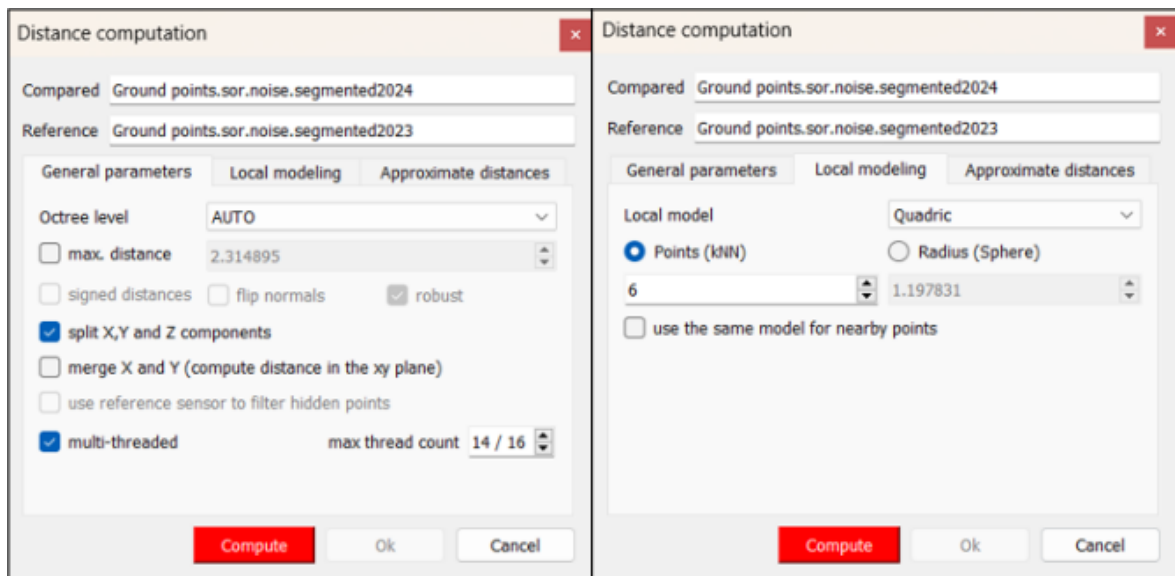
Slika 5.34 Parametri *Noise filter* alata.

Na slici 5.35 prikazana je usporedba oblaka točaka prije filtriranja i uklanjanja šumova te nakon istoga korištenjem *SOR* i *Noise filtera*. Uočljivo je kako su izbačene točke koje su se nalazile u područjima grmlja i niskog drveća.



Slika 5.35 Usporedba oblaka točaka nakon filtriranja i uklanjanja šumova.

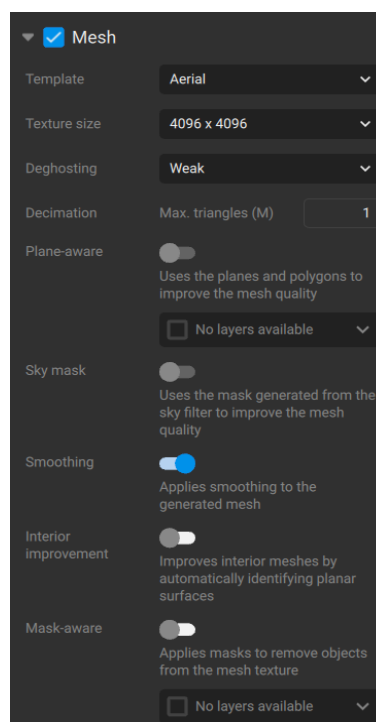
Posljednji korak, ujedno i analiza, podrazumijeva usporedbu dvaju obrađenih oblaka točaka iz Epoha 2 i 3 kako bi se dobili podaci o pomacima klizišta. U tu svrhu korišten je alat *Cloud-to-Cloud Distance* koji računa udaljenosti između dva oblaka točaka po X, Y i Z osi. Referentni oblak je *Ground points.sor.noise.segmented2023*, dok *Ground points.sor.noise.segmented2024* predstavlja oblak točaka koji se uspoređuje s referentnim. Na slici 5.36 prikazani su odabrani parametri iz kojih je vidljivo da će generirane udaljenosti biti razdvojene na X, Y i Z osi. Za bolju aproksimaciju plohe koristi se kvadratna (*quadric*) metoda interpolacije koja daje najbolje rezultate zaglađivanja. Završetak ove analize bit će detaljnije opisan u poglavlju Rezultati.



Slika 5.36 Parametri Cloud-to-Cloud Distance alata.

5.5.4. Izrada 3D modela

Posljednji korak je izrada 3D modela, odnosno 3D mreže (engl. *mesh*) od oblaka točaka, gdje se točke povezuju u trokute, čime se stvara površina modela. Takav model daje bolji uvid u područje istraživanja. Na slici 5.37 prikazane su korištene postavke u Pix4Dmatic softveru u svrhu izrade 3D modela.



Slika 5.37 Parametri za izradu mesh-a.

Na slikama 5.38 i 5.39 prikazan je generirani 3D model područja istraživanja. Na slici 5.39 jasno su prikazane GCP, odnosno detaljne točke. One daju bolji uvid u obuhvat klizišta.



Slika 5.39 Generirani 3D model područja istraživanja.



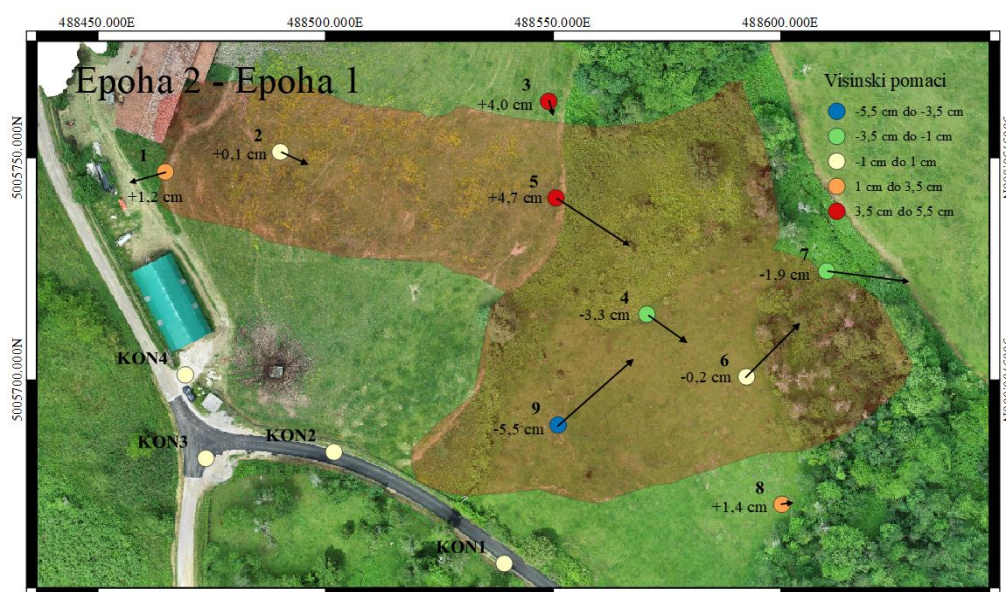
Slika 5.38 Generirani 3D model područja istraživanja s prikazanim GCP.

6. REZULTATI

Razlikom mjerenih koordinata detaljnih točaka klizišta između Epohe 2 i Epohe 1 dobivaju se njihovi pomaci u razdoblju između 2. lipnja 2023. i 4. svibnja 2023. Iz tablice 6.1 može se iščitati kako nije došlo do većih pomaka klizišta. Većina detektiranih pomaka nalazi se u domeni garantirane točnosti pozicioniranja ± 2 cm položajno te ± 4 cm visinski, osim točaka 5, 7 i 9 koje bilježe položajne pomake do 6 cm i visinske pomake do -5,5 cm. Na slici 6.1 prikazani su vektori pomaka mjerenih detaljnih točaka klizišta između Epohe 2 i Epohe 1. Uočljivo je kako se klizište sastoji od dva kraka. Sjeverni krak klizišta zabilježio je pomake točaka u jugoistočnom smjeru kretanja što se odnosi na točke 2, 3, 4, 5 i 7. Južni krak klizišta zabilježio je pomake u sjeveroistočnom smjeru kretanja što se odnosi na točke 6, 8 i 9. Točka 1 jedina je točka koja bilježi pomak u smjeru zapada.

Tablica 6.1 Pomaci detaljnih točaka između Epohe 2 i Epohe 1.

Točka	Epoha 1			Epoha 2			Epoha 2 - Epoha 1		
	E [m]	N [m]	H [m]	E [m]	N [m]	H [m]	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]
1	488464.806	5005746.905	328.761	488464.778	5005746.897	328.772	-2.7	-0.9	1.2
2	488490.026	5005751.399	324.517	488490.047	5005751.389	324.518	2.1	-1.0	0.1
3	488548.977	5005762.785	315.485	488548.981	5005762.777	315.525	0.3	-0.9	4.0
4	488570.549	5005714.874	309.394	488570.580	5005714.852	309.361	3.0	-2.2	-3.3
5	488550.575	5005741.029	315.240	488550.629	5005740.993	315.287	5.5	-3.6	4.7
6	488592.448	5005700.800	306.077	488592.486	5005700.841	306.075	3.9	4.1	-0.2
7	488610.044	5005724.596	299.246	488610.104	5005724.588	299.227	6.0	-0.8	-1.9
8	488600.227	5005672.105	309.007	488600.232	5005672.107	309.021	0.6	0.1	1.4
9	488551.064	5005689.977	315.100	488551.120	5005690.026	315.045	5.6	4.9	-5.5

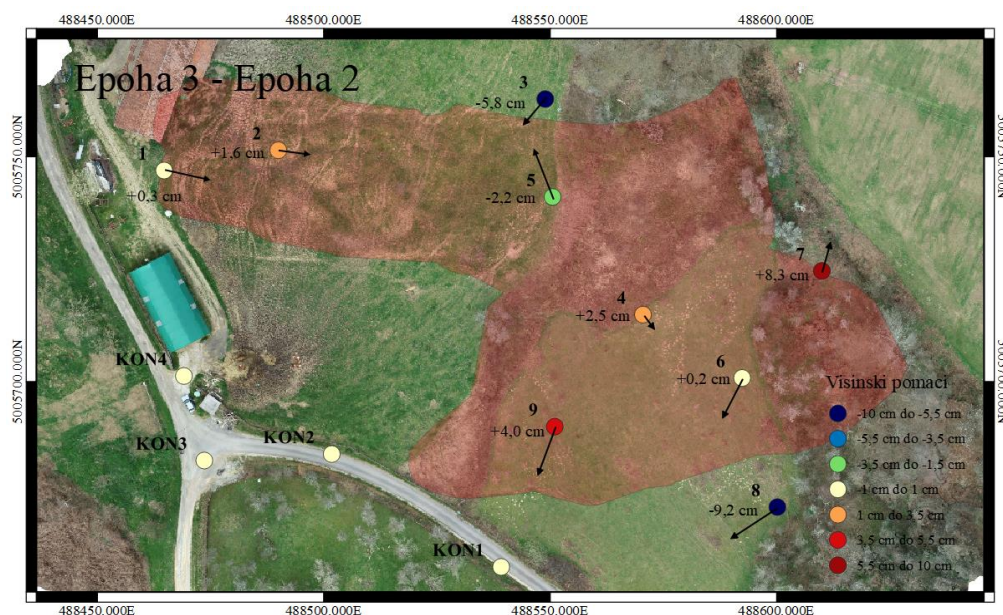


Slika 6.1 Prikaz pomaka između Epohe 2 i Epohe 1.

Razlikom mjerenih koordinata detaljnih točaka klizišta između Epohe 3 i Epohe 2 dobivaju se njihovi pomaci u razdoblju između 19. ožujka 2024. i 2. lipnja 2023. Razlika ovih dvaju epoha od posebne je važnosti zbog mogućnosti usporedbe s rezultatima opažanja iz zraka. Iz tablice 6.2 može se iščitati da nije došlo do većih pomaka klizišta. Većina detektiranih pomaka je u domeni garantirane točnosti pozicioniranja ± 2 cm položajno te ± 4 cm visinski, osim točaka 3, 7 i 8 koje bilježe nešto veće pomake u visinskom smislu. Uočljivo je kako se kod sve tri točke radi o promjeni trenda rasta, odnosno spuštanja terena u odnosu na prethodno razdoblje. Na slici 6.2 prikazani su vektori pomaka mjerenih detaljnih točaka klizišta između Epohe 3 i Epohe 2. Primjetno je kako je došlo do promjene smjera kretanja kod većine detaljnih točaka. Slične obrasce kretanja bilježe točke 1 i 2 koje bilježe pomake u smjeru istoka te točke 6, 8 i 9 koje bilježe pomake u smjeru jugozapada.

Tablica 6.2 Pomaci detaljnih točaka između Epohe 3 i Epohe 2.

Točka	Epoha 2			Epoha 3			Epoha 3 - Epoha 2		
	E [m]	N [m]	H [m]	E [m]	N [m]	H [m]	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]
1	488464.778	5005746.897	328.772	488464.811	5005746.892	328.775	3.3	-0.5	0.3
2	488490.047	5005751.389	324.518	488490.068	5005751.387	324.534	2.1	-0.2	1.6
3	488548.981	5005762.777	315.525	488548.965	5005762.759	315.467	-1.6	-1.7	-5.8
4	488570.580	5005714.852	309.361	488570.588	5005714.842	309.386	0.8	-1.0	2.5
5	488550.629	5005740.993	315.287	488550.614	5005741.028	315.265	-1.5	3.5	-2.2
6	488592.486	5005700.841	306.075	488592.472	5005700.815	306.077	-1.5	-2.7	0.2
7	488610.104	5005724.588	299.227	488610.110	5005724.607	299.310	0.6	1.9	8.3
8	488600.232	5005672.107	309.021	488600.198	5005672.083	308.929	-3.4	-2.3	-9.2
9	488551.120	5005690.026	315.045	488551.107	5005689.992	315.085	-1.3	-3.4	4.0

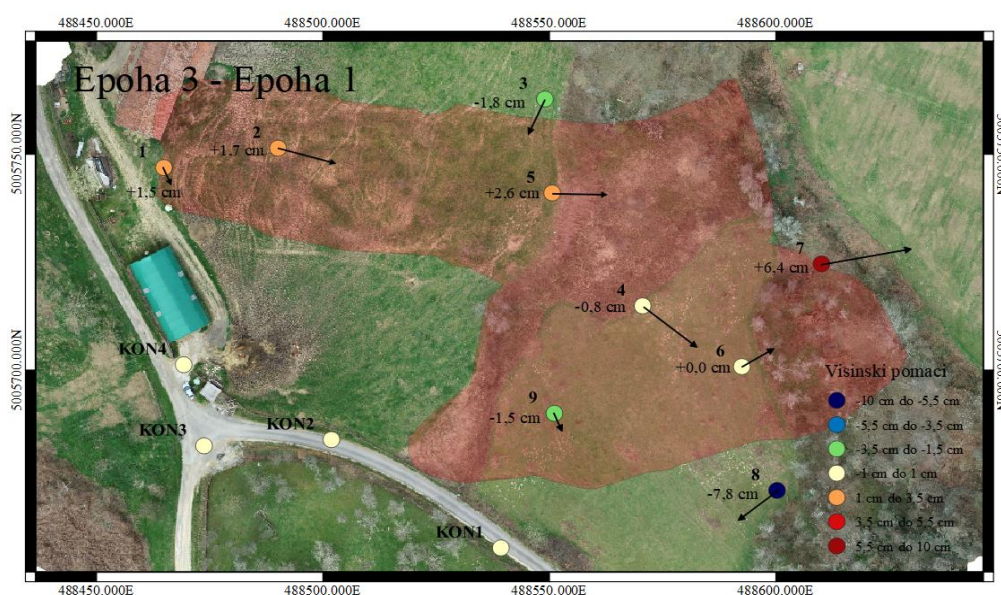


Slika 6.2 Prikaz pomaka između Epohe 3 i Epohe 2.

Posljednja razlika mjerenih koordinata detaljnih točaka između Epohe 3 i Epohe 1 daje nam uvid u apsolutne pomake u razdoblju između 19. ožujka 2024. i 4. svibnja 2023. Podaci iz tablice 6.3 prikazuju stanje iz kojeg se može zaključiti da do većih pomaka nije došlo. Skoro svi registrirani pomaci nalaze se unutar domene točnosti pozicioniranja ili s njom graniče. Blagi pomaci primjetni su na točkama 7 i 8. Točka 7 bilježi položajni pomak od 6,6 cm i visinsko uzdizanje od 6,4 cm. Točka 8 bilježi visinsko slijeganje tla od -7,8 cm. Na slici 6.3 prikazani su vektori pomaka mjerenih detaljnih točaka klizišta između Epohe 3 i Epohe 1. Iz nje se može iščitati obrazac pomaka sjevernog kraka klizišta u smjeru istoka. Jedina točka koja bilježi drukčiji smjer kretanja je točka 3 koja bilježi pomak u smjeru juga, međutim treba naglasiti kako se radi o iznosima pomaka koji graniče s položajnom točnosti pozicioniranja.

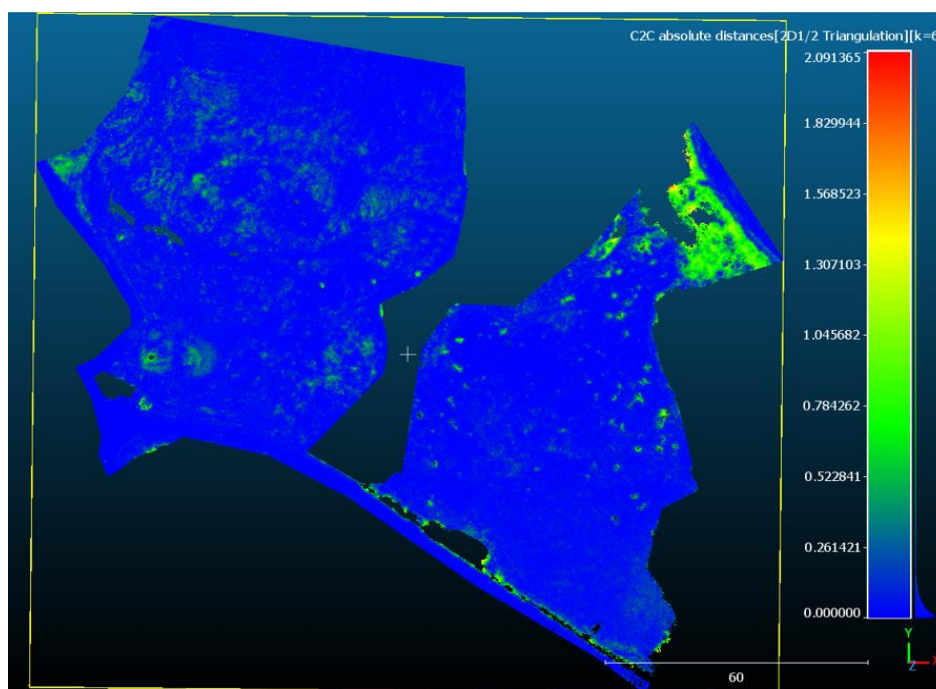
Tablica 6.3 Pomaci detaljnih točaka između Epohe 3 i Epohe 1.

Točka	Epoha 1			Epoha 3			Epoha 3 - Epoha 1		
	E [m]	N [m]	H [m]	E [m]	N [m]	H [m]	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]
1	488464.806	5005746.905	328.761	488464.811	5005746.892	328.775	0.5	-1.3	1.5
2	488490.026	5005751.399	324.517	488490.068	5005751.387	324.534	4.2	-1.2	1.7
3	488548.977	5005762.785	315.485	488548.965	5005762.759	315.467	-1.2	-2.6	-1.8
4	488570.549	5005714.874	309.394	488570.588	5005714.842	309.386	3.9	-3.2	-0.8
5	488550.575	5005741.029	315.240	488550.614	5005741.028	315.265	3.9	-0.1	2.6
6	488592.448	5005700.800	306.077	488592.472	5005700.815	306.077	2.4	1.4	0.0
7	488610.044	5005724.596	299.246	488610.110	5005724.607	299.310	6.6	1.1	6.4
8	488600.227	5005672.105	309.007	488600.198	5005672.083	308.929	-2.8	-2.2	-7.8
9	488551.064	5005689.977	315.100	488551.107	5005689.992	315.085	4.3	1.6	-1.5



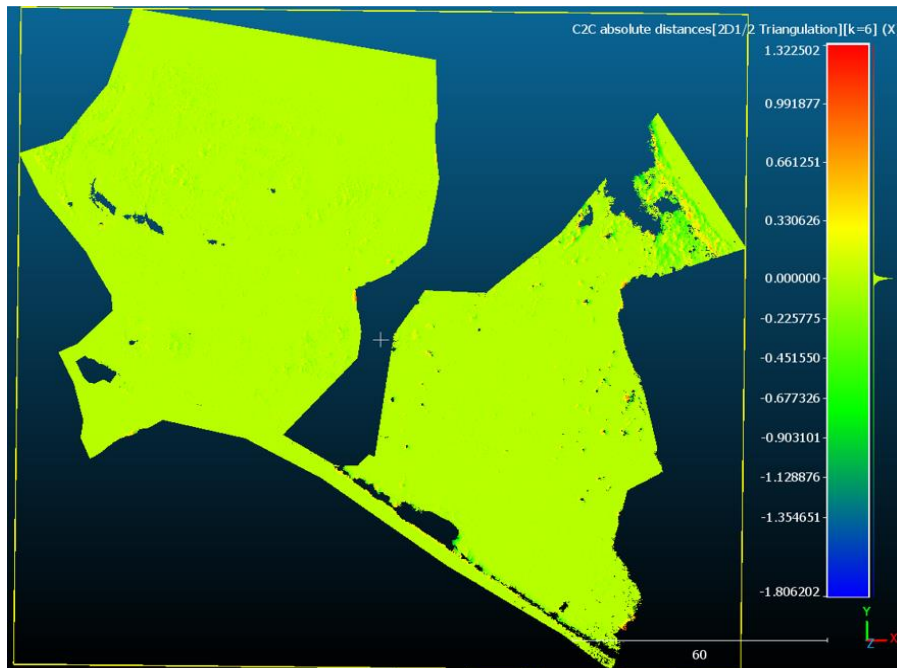
Slika 6.3 Prikaz pomaka između Epohe 3 i Epohe 1.

Rezultati obrade oblaka točaka u CloudCompare softveru raščlanjeni su u četiri različita rješenja. Prvo rješenje daje apsolutne udaljenosti između dvaju oblaka točaka što je prikazano na slici 6.4. Sa slike se može iščitati kako apsolutne udaljenosti idu do 2,09 m razlike, međutim primjetno je da se najveće vrijednosti odnose na točke vegetacije koje nisu uspješno klasificirane te su pogreškom algoritma svrstane u točke tla. Većina podataka nalazi se u domeni do 10 cm razlike, a pogledom na zapadni krak klizišta uočljive su zanimljive promjene u obliku malih nabora.



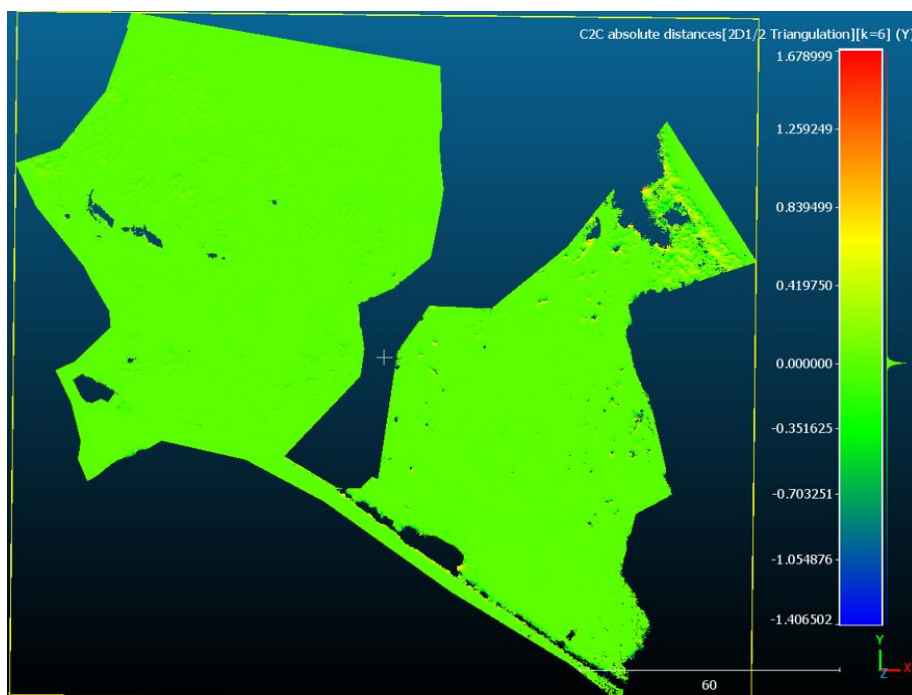
Slika 6.4 Apsolutne udaljenosti između oblaka točaka.

Iduće rješenje odnosi se na generirane udaljenosti između dvaju oblaka točaka po X osi. Na slici 6.5 može se uočiti kako gotovo čitavo područje ne bilježi veće pomake po X osi, a većina razlika nalazi se u domeni do nekoliko centimetara. Kao i u prethodnom slučaju, velike vrijednosti predstavljaju pogrešno klasificirane točke vegetacije koja je izgubila lišće u razdoblju između 2. lipnja 2023. i 19. ožujka 2024.



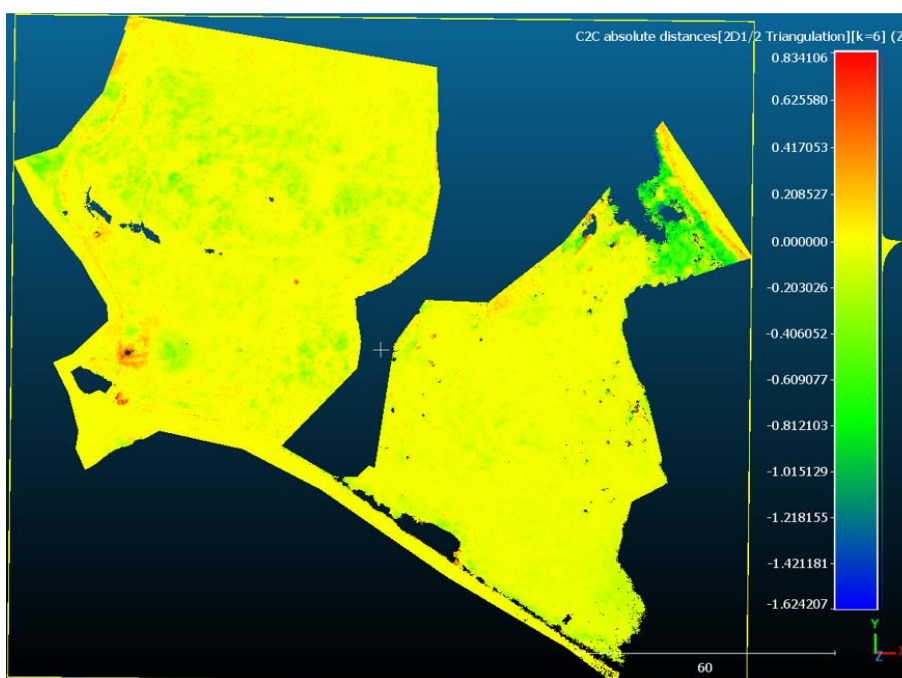
Slika 6.5 Udaljenosti između dvaju oblaka točaka po X osi.

Sljedeće rješenje predstavlja generirane udaljenosti između dvaju oblaka točaka po Y osi. Iz slike 6.6 može se iščitati kako se skoro sve vrijednosti nalaze u domeni do nekoliko centimetara. Kao i u prethodnim slučajevima, velike vrijednosti odnose se na pogrešno klasificirane točke vegetacije. Ovim se može zaključiti kako nije došlo do većih položajnih pomaka na klizištu što korespondira podacima GNSS opažanja detaljnih točaka.



Slika 6.6 Udaljenosti između dvaju oblaka točaka po Y osi.

Posljednje rješenje odnosi se na generirane udaljenosti između dvaju oblaka točaka po Z osi što je prikazano na slici 6.7. Na prvi pogled odmah je uočljivo kako se radi o različitom rješenju u odnosu na generirane udaljenosti po X i Y osi. U visinskom smislu došlo je do nešto većih oscilacija od kojih se većina podataka nalazi u rasponu do -15 centimetara. Na jugozapadnom dijelu klizišta vidljiva je narančasta do crvena mrlja koja predstavlja mjesto na kojem se krave hrane. Radi se o gomili gnojiva koja je s vremenom dobila na visini u iznosu do 80 centimetara. Kao što je već primijećeno na prikazu apsolutnih udaljenosti, zapadni krak klizišta bilježi određena potonuća terena u obliku malih nabora koja tonu do -50 centimetara. Rekognisciranjem terena utvrđeno je kako se radi o brdašcima s udubinama ispunjenim vodom. U skladu s prethodnim prikazima, sjeveroistočni dio klizišta prikazuje veće generirane udaljenosti zbog pogrešno klasificiranih točaka vegetacije.



Slika 6.7 Udaljenosti između dvaju oblaka točaka po Z osi.

Analizom rezultata obrade oblaka točaka utvrđeno je kako vegetacija ima veliki utjecaj na kvalitetu prikupljenih podataka što umanjuje reprezentativnost dobivenih rezultata. Usporedbu točnosti rezultata GNSS opažanja i opažanja bespilotnom letjelicom moguće je provesti korištenjem detaljnih točaka klizišta. Radi se o točkama koje ni u kojem slučaju nisu bile zaklonjene vegetacijom. Koordinate detaljnih točaka opažanih iz zraka pribavljene su iz digitalne ortofoto karte korištenjem QGIS programa.

U tablici 6.4 prikazana je razlika koordinata točaka dobivenih GNSS opažanjem i opažanjem iz zraka za Epohu 2. Iz nje se može iščitati kako se položajne razlike nalaze u rasponu između -2,80 cm i 2,67 cm. Srednja vrijednost koordinatne razlike po E iznosi 1,34 cm. Srednja vrijednost koordinatne razlike po N iznosi 2,04 cm. Visinske razlike nalaze se u rasponu između -2,50 cm i 5,60 cm. Srednja vrijednost visinske razlike iznosi 3,04 cm.

Tablica 6.4 Razlika koordinata točaka dobivenih GNSS opažanjem i opažanjem iz zraka za Epohu 2.

Točka	Epoha 2					
	DOF			Razlika DOF - GNSS		
	E	N	H	ΔE	ΔN	ΔH
1	488464.805 m	5005746.879 m	328.779 m	2.67 cm	-1.77 cm	0.67 cm
2	488490.053 m	5005751.382 m	324.518 m	0.58 cm	-0.70 cm	0.05 cm
3	488548.987 m	5005762.797 m	315.511 m	0.63 cm	2.03 cm	-1.40 cm
4	488570.572 m	5005714.865 m	309.396 m	-0.77 cm	1.30 cm	3.50 cm
5	488550.621 m	5005741.032 m	315.264 m	-0.83 cm	3.93 cm	-2.30 cm
6	488592.478 m	5005700.822 m	306.116 m	-0.83 cm	-1.93 cm	4.07 cm
7	488610.103 m	5005724.578 m	299.276 m	-0.07 cm	-1.03 cm	4.87 cm
8	488600.241 m	5005672.105 m	308.996 m	0.87 cm	-0.17 cm	-2.50 cm
9	488551.103 m	5005689.998 m	315.101 m	-1.70 cm	-2.80 cm	5.60 cm
KON3	488476.325 m	5005683.008 m	326.170 m	-1.70 cm	-0.33 cm	-0.33 cm
KON4	488471.784 m	5005699.147 m	328.053 m			
				SE	SN	SH
				1.34 cm	2.04 cm	3.04 cm

U tablici 6.5 prikazana je razlika koordinata točaka dobivenih GNSS opažanjem i opažanjem iz zraka za Epohu 3. Iz nje se može iščitati kako se položajne razlike nalaze u rasponu između -5,63 cm i 3,77 cm. Srednja vrijednost koordinatne razlike po E iznosi 1,06 cm. Srednja vrijednost koordinatne razlike po N iznosi 2,74 cm. Visinske razlike nalaze se u rasponu između -20,80 cm i 3,97 cm. Srednja vrijednost visinske razlike iznosi 6,98 cm. Uočljivo je kako su najveća visinska i koordinatna razlika po N zabilježene kod kontrolne točke KON4 što je već prethodno opisano.

Tablica 6.5 Razlika koordinata točaka dobivenih GNSS opažanjem i opažanjem iz zraka za Epohu 3.

Točka	Epoha 3					
	DOF			Razlika DOF - GNSS		
	E	N	H	ΔE	ΔN	ΔH
1	488464.810 m	5005746.878 m	328.806 m	-0.10 cm	-1.30 cm	3.07 cm
2	488490.059 m	5005751.370 m	324.515 m	-0.93 cm	-0.53 cm	-1.89 cm
3	488548.974 m	5005762.768 m	315.487 m	0.90 cm	3.77 cm	2.01 cm
4	488570.582 m	5005714.879 m	309.358 m	-0.60 cm	2.30 cm	-2.83 cm
5	488550.629 m	5005741.024 m	315.243 m	1.47 cm	0.40 cm	-2.23 cm
6	488592.481 m	5005700.807 m	306.059 m	0.93 cm	0.73 cm	-1.79 cm
7	488610.097 m	5005724.589 m	299.253 m	-1.27 cm	-2.93 cm	-5.73 cm
8	488600.213 m	5005672.075 m	308.969 m	1.47 cm	2.17 cm	3.97 cm
9	488551.096 m	5005690.006 m	315.063 m	-1.10 cm	0.57 cm	-2.23 cm
KON4	488471.812 m	5005699.088 m	327.928 m	0.50 cm	-5.63 cm	-20.80 cm
				SE	SN	SH
				1.06 cm	2.74 cm	6.98m

7. DIGITALNI BLIZANAC KLIZIŠTA U ZRINSKOJ DRAGI

U prethodnom poglavlju Digitalni blizanci opisana je arhitektura modela digitalnog blizanca krajolika koja pruža osnovni okvir razvoju pojedinačnih modela u ovisnosti o prirodnoj opasnosti. Slijedom toga, razvoj digitalnog blizanca klizišta u Zrinskoj Dragi mogao bi se kretati u tom smjeru.

Razvoj bi se u teoriji mogao opisati kroz nekoliko koraka (slika 4.3):

- Prikupljanje podataka
- Pohrana podataka
- Izrada modela terena
- Integracija podataka i modeliranje
- Aplikacija
- Vizualizacija



Slika 7.1 Razvoj modela digitalnog blizanca klizišta u Zrinskoj Dragi.

Prikupljanje podataka obuhvaća pribavljanje geoloških, topografskih i hidroloških karata koje bi služile kao podloge. U tom skupu trebala bi se pronaći i dosadašnja geološka istraživanja kao i povijest aktivnosti klizišta i uzroci. Velika stavka u prikupljanju podataka odnosi se na Opažanja pod koja spadaju geotehnički senzori, mjerači količine oborina, GNSS opažanja i opažanja bespilotnom letjelicom. Konkretno govoreći GNSS opažanja i opažanja bespilotnom letjelicom bila bi periodičnog karaktera, dok bi ostali senzori bili umreženi pomoću IoT uređaja kako bi odašiljali podatke u stvarnom vremenu.

Pohrana podataka vršila bi se po principu odijeljivanja statičnih podataka o krajoliku od dinamičnih podataka s IoT uređaja na sensorima. Statični podaci predstavljaju razne prikupljene karte i izrađene podloge.

Izrada modela terena bila bi moguća temeljem podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom. Izlazna rješenja uključivala bi digitalnu ortofoto kartu, digitalni model površine (DSM) i oblake točaka.

Integracija podataka i modeliranje su stavka gdje se podaci s IoT senzora sabiru i povezuju u GIS-u. Na temelju integriranih podataka bilo bi moguće modelirati i simulirati pomake u određenom geotehničkom softveru kao što je PLAXIS.

Aplikacija predstavlja komponentu koja bi generirala rješenja kao što su procjena rizika i analiza scenarija. Uz navedeno bio bi omogućen prikaz prikupljenih podataka u stvarnom vremenu.

Vizualizacija predstavlja komponentu u kojoj bi korisnici mogli na interaktivan način upravljat rješenjima kao što su tablice, grafikoni i interaktivne karte.

Uspostavljeni model digitalnog blizanca bi se jednostavno i brzo upotpunjavao podacima prikupljenim bespilotnim letjelicama, omogućujući u blizu realnom vremenu dobivanje informacija o stanju klizišta. Ovi podaci bi omogućili precizniju procjenu dinamike klizišta te praćenje njegovih promjena kroz vrijeme. Nadalje, temeljem opažanja iz više epoha i uključivanjem meteoroloških podataka, kao što su oborine i vlaga tla, mogla bi se raditi procjena i predviđanje smjera kretanja klizišta.

8. DISKUSIJA

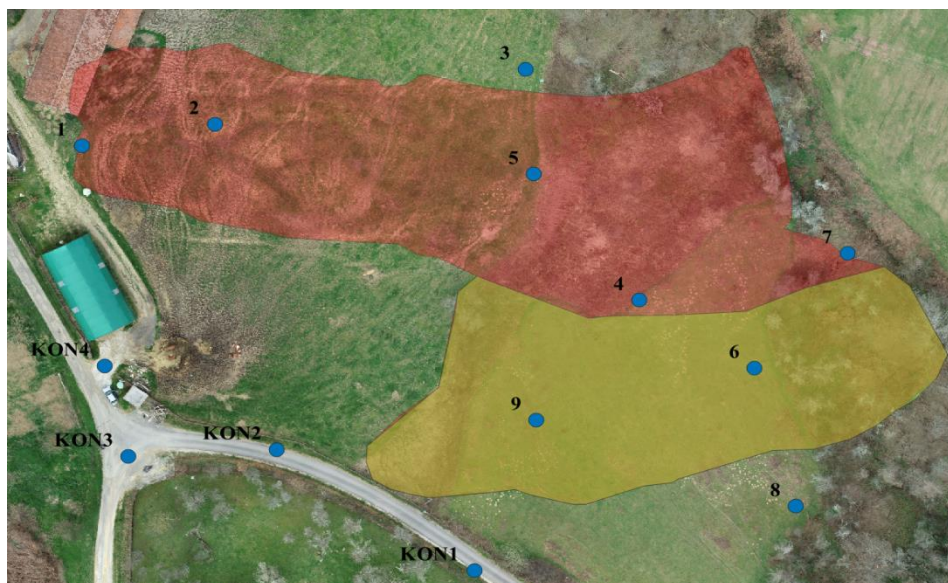
Praćenje pomaka klizišta u Zrinskoj Dragi ostvareno je kombinacijom GNSS opažanja i fotogrametrijskih opažanja iz zraka bespilotnom letjelicom. Cilj diplomskog rada je usporediti navedene metode i utvrditi mogu li bespilotne letjelice dovoljno kvalitetno nadomjestiti GNSS kao glavnu metodu praćenja klizišta?

Treba naglasiti kako se ovaj rad dotakao samo jednog dijela sposobnosti koje nude GNSS i bespilotne letjelice. Bespilotne letjelice služe kao platforma brojnim senzorskim sustavima kao što su digitalna kamera, hiperspektralna kamera, radar i LIDAR.

Praktični zadatak praćenja klizišta ostvaren je GNSS RTK metodom pozicioniranja korištenjem CROPOS VPPS servisa i bespilotnom letjelicom opremljenom mjernom kamerom pristupačne cijene. Tim odabirom instrumentarija i metoda opažanja, htjelo se pokazati kako će istraživanje biti usmjereno ka ekonomičnosti i brzini prikupljanja podataka.

Točnost pozicioniranja korištenjem CROPOS VPPS servisa u položajnom smislu iznosi ± 2 cm, dok u visinskom smislu iznosi ± 4 cm. To bi značilo da svi registrirani pomaci koji su manji od navedenih iznosa ne mogu nedvosmisleno ukazivati na pomak tla.

Analizom rezultata GNSS opažanja utvrđeno je kako su najveći pomaci zabilježeni između Epohe 2 i Epohe 1. Radi se o vremenskom razdoblju između 2. lipnja i 4. svibnja 2023. U tom razdoblju zabilježeni su položajni pomaci u rasponu od -5,5 cm do 6,0 cm. Vrijedi spomenuti kako se radi o vrlo kišnom razdoblju tijekom kojeg su aktivirana mnoga nova klizišta u kontinentalnoj Hrvatskoj. Indikativan je smjer kretanja detaljnih točaka klizišta, iz kojeg je moguće iščitati kako se klizište sastoji od dva kraka (slika 7.1). Sjeverni krak klizišta sadrži točke 1, 2, 3, 4, 5 i 7. Sve točke osim točke 1 bilježile su kretanje u smjeru jugoistoka. Južni krak klizišta sadrži točke 6, 8 i 9. Sve točke bilježile su pomake u smjeru sjeveroistoka. Moglo bi se sa sigurnošću reći kako se cijelo klizište zamaklo u smjeru istoka.



Slika 8.1 Sjeverni krak klizišta (crveno) i južni krak klizišta (žuto).

Idući period istraživanja odnosio se na Epohu 3 i Epohu 2, što se odvijalo između 19. ožujka 2024. i 2. lipnja 2023. Analizom rezultata GNSS opažanja utvrđeno je kako u ovom razdoblju nije došlo do većih položajnih pomaka, međutim točke 3, 7 i 8 zabilježile su visinske pomake u rasponu od -9,2 cm do 8,3 cm te promjenu trenda rasta, odnosno slijeganja tla. Indikativna je promjena smjera kretanja svih detaljnih točaka klizišta osim točaka 2 i 4.

Opažanja za Epohu 2 i Epohu 3 provedena su pomoću GNSS-a i opažanja iz zraka bespilotnom letjelicom čime se osigurala mogućnost usporedbe podataka. Ista je provedena računanjem koordinatne razlike između koordinata detaljnih točaka mjerenih GNSS-om i koordinata pribavljenih iz generirane digitalne ortofoto karte. Rezultati ukazuju kako se radi o malim položajnim razlikama koje prosječno odstupaju do 2,74 cm, dok visinske razlike bilježe veće iznose koje prosječno odstupaju do 6,98 cm. Iz rezultata se može iščitati kako najveće koordinatne razlike bilježi kontrolna točka KON4 koja nije korištena kao GCP, čime bi njene koordinate ostale fiksne u prostoru. Time se može zaključiti kako kvaliteta podataka opažanih iz zraka opada udaljavanjem od detaljnih točaka koje su služile kao GCP. Kontrolne točke KON1, KON2 i KON3 nažalost su uništene zbog rekonstrukcije postojeće ceste Zrin – Zrinska Draga, stoga se apsolutna kvaliteta podataka svodi samo na kontrolnu točku KON4.

Razlike oblaka točaka između Epohe 3 i Epohe 2 jasno ukazuju kako nije došlo do većih položajnih pomaka klizišta što je istovjetno s podacima GNSS opažanja. Treba naglasiti kako GNSS ostvaruje bolju točnost opažanja od fotogrametrijske metode izmjere, čime se

moгу registrirati finiji pomaci detaljnih točaka klizišta. Rezultati razlike oblaka točaka sugeriraju kako je na određenim mikrolokacijama došlo do umjerenih visinskih pomaka klizišta koji idu do -50 cm. To se posebno odnosi na sjeverni krak klizišta koji je prožet brdašcima s udubinama ispunjenim vodom. Određena slijeganja, do -15 cm, zabilježena su i na južnom kraku klizišta.

Bitno je spomenuti kako je prilikom obrade oblaka točaka uočeno da veliki problem predstavljaju pogrešno klasificirane točke vegetacije koje su pridružene točkama tla. Izlaskom na teren 19. ožujka 2024. ustanovljeno je kako je razina vegetacije opala u odnosu na 2. lipnja 2023. Klizište se nalazi na pašnjaku koji služi kao ispaša za krave, stoga je visina trave uglavnom nepromijenjena. Međutim, razlika postoji upravo na dijelu koji je prožet brdašcima s udubinama ispunjenim vodom. Na tim mikrolokacijama dolazi do većeg bujanja trave čime se narušava kvaliteta prikupljenih podataka.

Praćenje pomaka klizišta putem oblaka točaka daje dobre rezultate kod većih površina i zemljanih masa. Praćenje pomaka klizišta putem GNSS-a fokusira se na ključne detaljne točke klizišta koje moraju biti pomno odabrane. One daju uvid u dinamiku i smjer pomaka određenih dijelova klizišta. Konstantno praćenje klizišta putem GNSS-a zahtjeva mrežu GNSS stanica što iziskuje mnogo logistike i financijske potpore. Ovakva rješenja daju vrlo precizne podatke i preporučljiva su za klizišta koja predstavljaju izniman rizik za ljudske živote i infrastrukturu. Za potrebe rada korištena je GNSS RTK metoda pozicioniranja koja može poslužiti za periodična opažanja klizišta uz minimalne financijske troškove.

Upotrijebljena metodologija praćenja klizišta pokazuje kako kombiniranje rezultata dvaju metoda opažanja daje najbolje rezultate. Fotogrametrijska metoda izmjere i GNSS međusobno se nadopunjuju. Pokazalo se kako je fotogrametrijska metoda podložna pogreškama vezanim uz klasifikaciju tla i vegetacije čime se narušava kvaliteta podataka. U ovom slučaju, GNSS se pokazao kao pouzdanija metoda praćenja klizišta, ali treba naglasiti kako je došlo do uništenja većine kontrolnih točaka koje bi služile kao pouzdani pokazatelj apsolutne točnosti podataka.

Bespilotne letjelice kao platforma nude mogućnost nošenja raznih senzorskih sustava kao što su LIDAR, digitalna kamera, hiperspektralna kamera, radar itd. Istraživanjima u budućnosti potrebno je utvrditi razlike između GNSS-a i ostalih senzorskih sustava.

Model digitalnog blizanca klizišta u Zrinskoj Dragi temeljio bi se na arhitekturi modela digitalnog blizanca krajolika definiranog u Ugliotti i dr. 2023. Uspostavljeni model digitalnog blizanca bi se jednostavno i brzo upotpunjavao podacima prikupljenim bespilotnim letjelicama, omogućujući u blizu realnom vremenu dobivanje informacija o stanju klizišta, a uključivanjem ostalih senzorskih sustava bilo bi moguće raditi predviđanje pomaka tla.

9. ZAKLJUČAK

Zaštita ljudskih života uistinu je najvažnija vrijednost svakog društva, a prirodne katastrofe poput klizišta predstavljaju ozbiljnu prijetnju kako ljudima, tako i infrastrukturi. Zbog toga je ključno uspostaviti brz, efikasan i održiv sustav identifikacije i praćenja klizišta, kako bi se mogle poduzimati pravovremene akcije. Danas se u svijetu sve više primjenjuje koncept izrade digitalnih blizanaca u različite svrhe, a upravo on bi omogućio efikasno praćenje klizišta u realnom vremenu. Uspostava digitalnog blizanca klizišta omogućila bi različite analize, a među najvažnijima su one koje predviđaju smjer pomaka klizišta i vrijeme njegove aktivnosti što bi u velikoj mjeri doprinijelo spašavanju ljudskih života. Kod svakog digitalnog blizanca najvažniji su prikupljeni podaci, u ovom radu prikazano je kako GNSS podaci i podaci prikupljeni bespilotnim letjelicama uvelike doprinose razvoju ovakvog modela.

Na primjeru klizišta u Zrinskoj Dragi, u ovom radu napravljena je usporedba točnosti praćenja klizišta na temelju podataka prikupljenih GNSS-om i bespilotnim letjelicama. Analizom rezultata GNSS opažanja i opažanja iz zraka utvrđeno je kako nije došlo do većih položajnih pomaka klizišta. To potvrđuju obje provedene metode opažanja. Najveći položajni pomaci zabilježeni su GNSS-om između Epohe 2 i Epohe 1. U tom razdoblju zabilježeni su položajni pomaci u rasponu od -5,5 cm do 6,0 cm. Sa sigurnošću se može reći kako se cijelo klizište pomaklo u smjeru istoka. Razdoblje između dvaju epoha opažanja karakteriziralo je vrlo kišno vrijeme što je potaklo aktivaciju mnogih novih klizišta u kontinentalnoj Hrvatskoj. Rezultati GNSS opažanja između Epohe 3 i Epohe 2 daju podatke koji govore kako su točke 3, 7 i 8 zabilježile visinske pomake u rasponu od -9,2 cm do 8,3 cm te promjenu trenda rasta, odnosno slijeganja tla. Ukoliko pogledamo smjer kretanja svih detaljnih točaka klizišta, osim točaka 2 i 4 koje su jedine nastavile kretanje u smjeru istoka, sve preostale točke promijenile su kroz vrijeme smjer kretanja.

Usporedbom rezultata GNSS opažanja i opažanja iz zraka detaljnih točaka klizišta utvrđeno je kako se radi o malim položajnim razlikama koje prosječno odstupaju do 2,74 cm, dok visinske razlike bilježe iznose prosječnog odstupanja do 6,98 cm.

Provjerom kontrolne točke KON4 utvrđeno je da kvaliteta podataka opažanja iz zraka opada udaljavanjem od GCP-a i to do -20,80 cm u visinskom smislu. Treba naglasiti kako ovaj podatak treba uzeti s dozom rezerve zbog uništenja preostalih kontrolnih točaka.

Primijećeni su problemi kod klasifikacije oblaka točaka gdje su točke vegetacije u određenom broju klasificirane kao točke tla. Time se pokazalo kako je GNSS pouzdanija metoda praćenja klizišta od fotogrametrijske metode opažanja.

Zaključno, iako je GNSS točnija i pouzdanija metoda praćenja klizišta, bespilotne letjelice također mogu biti korištene, a prikupljeni podaci mogu služiti uspostavi modela digitalnog blizanca što omogućuje praćenje klizišta u blizu realnom vremenu.

LITERATURA

- Aimaiti Y., Liu W., Yamazaki F., Maruyama Y. (2019.): Earthquake-Induced Landslide Mapping for the 2018 Hokkaido Eastern Ibari Earthquake Using PALSAR-2 Data, Remote Sensing, vol. 11, 20, <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/20/2351>
- Arbanas Ž., Mihalić Arbanas S., Vivoda Prodan M., Peranić J., Dugonjić Jovančević S., Jagodnik V. (2014.): Identification, monitoring and simulation of landslides in the Rječina River Valley, Croatia, Konferencija: SATREPS Workshop on Landslides, volume: Landslide Risk Assessment Technology, Hanoi, Vijetnam
- Arbanas Ž., Jagodnik V., Ljutić K., Dugonjić Jovančević S., Vivoda Prodan M. (2011.): Establishment of the Grohovo Landslide monitoring system, Konferencija: Proceedings of 2nd Project Workshop: Monitoring and Analyses for disaster mitigation of landslides, debris flow and floods, Rijeka
- Bačić Ž., Bašić B. (1999.): Satelitska geodezija II, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Bačić Ž. (2020.): Satelitsko pozicioniranje, PowerPoint prezentacija s predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Belojev H. I. (2016.): A Review on Current and Emerging Application Possibilities for Unmanned Aerial Vehicles, Acta Technologica Agriculturae 3, Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2016, pp. 70–76
- Barković Đ., Zrinjski M. (2015.): Terenska mjerenja, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Carlà T., Gigli G., Lombardi L., Nocentini M., Meier L., Schmid L., Wahlen S., Casagli N. (2023.): Real-time detection and management of rockfall hazards by ground-based Doppler radar, Landslides, vol. 21. 155–163, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-023-02144-1>
- Casagli N., Catani F., Del Ventisette C., Luzi G. (2010.): Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry, Landslides, vol. 7, 291–301, <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0215-y>

Casagli N., Intrieri E., Tofani V., Gigli G. (2023.): Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques, *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 4, 51–64, <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00373-x>

Hananto A. L., Tirta A., Herawan S. G., Idris M., Elahi M. Soudagar M., Djamari D. W., Veza I. (2024.): Digital Twin and 3D Digital Twin: Concepts, Applications, and Challenges in Industry 4.0 for Digital Twin, *Computers* 13(4), 100

Jaboyedoff M. (2018.): Mapping and Monitoring of Landslides Using LIDAR iz knjige *Natural Hazards: Earthquakes, Volcanoes, and Landslides*, CRC Press Taylor & Francis Group, 397 – 420

Jaboyedoff M., Abellán A., Carrea D., Derron M.H., Matasci B., Michoud C. (2018.): Mapping and monitoring of landslides using LiDAR, *Natural Hazards*, 397–420, CRC Press, DOI : 10.1201/9781315166841-17

Jiang N., Li H., Li C., Xiao H., Zhou J. (2022.): A Fusion Method Using Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry for Landslide Deformation Monitoring Under Complex Terrain Conditions, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 60:1-1, DOI:10.1109/TGRS.2022.3181258

Krkač M., Bernat Gazibara S., Sečanj M., Sinčić M., Mihalić Arbanas S. (2021.): Kinematic model of the slow-moving Kostanjek landslide in Zagreb, Croatia, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 36(2), 59-68, DOI:10.17794/rgn.2021.2.6

Marendić A., Paar R., Tomić H., Roić M., Krkač M. (2017.): Deformation monitoring of Kostanjek landslide in Croatia using multiple sensor networks and UAV, *Konferencija: INGENIO 2017 – 7 th International Conference on Engineering Surveying*, Lisbon, Portugal

Partheepan S., Sanati F., Hassan J. (2023.): Autonomous Unmanned Aerial Vehicles in Bushfire Management: Challenges and Opportunities, *Drones* 7(1), DOI:10.3390/drones7010047

Perić M., Bačić Ž., Nevistić Z. (2022.): Testiranje programskih rješenja za obradu podataka snimljenih dronom pri inspeksijskom snimanju, *Geodezija i vode, Zbornik radova 15. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije*, str. 109-115

Samardžić-Petrović M., Popović J., Djurić U., Abolmasov B., Pejić M., Marjanović M. (2020.): Permanent GNSS monitoring of landslide Umka, Savremena teorija i praksa u graditeljstvu, no. 14, DOI : 10.7251/STP2014091S

Singhal G., Bansod B., Mathew L. (2018.): Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review, Preprints, DOI:10.20944/preprints201811.0601.v1

Ugliotti F. M., Osello A., Daud M., Yilmaz O. O. (2023.): Enhancing Risk Analysis toward a Landscape Digital Twin Framework: A Multi-Hazard Approach in the Context of a Socio-Economic Perspective, Sustainability, 15(16), <https://doi.org/10.3390/su151612429>

VanDerHorn E., Mahadevan S. (2021.): Digital Twin: Generalization, characterization and implementation, Decis. Support Syst., 145

Yaprak S., Yildirim O., Susam – Tokat T., Inyurt – Zonguldak S., Oguz – Tokat I. (2018.): The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Monitoring Rapidly Occurring Landslides, Geodetski list, 2, 113-132

Zhang W., Qi J., Wan P., Wang H., Xie D., Wang X., Yan G. (2016.): An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation, Remote Sensing, 8(6), 501.

Mrežne adrese

URL 1. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/kliziste> (9.9.2024.)

URL 2. <https://en.poletterresolide.fr/analysis-performed-with-the-aladim-gep-service-to-construct-automated-landslide-inventories-using-pleiades-very-high-resolution-images/> (2.4.2024.)

URL 3. <https://defensebridge.com/article/what-is-a-synthetic-aperture-radar-sar-and-how-does-it-work.html> (18.3.2024.)

URL 4. <https://www.cropos.hr/o-sustavu/koncept-umrezenih-referentnih-stanica> (1.6.2023.)

URL 5. https://www.researchgate.net/figure/The-integrated-UAV-LiDAR-system-in-the-study-environment_fig1_336318076 (6.6.2024.)

- URL 6: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (3.9.2024.)
- URL 7: <https://ts-geosystems.com/product/trimble-r8-rtk-gps/> (19.5.2024.)
- URL 8: https://geomatika-smolcak.hr/wp-content/uploads/shop/docs/Tehnicki_podaci_Trimble_R8s.pdf (19.5.2024.)
- URL 9: <https://www.linkedin.com/pulse/topcon-hiper-sr-network-rover-kit-august-special-receive-deaton> (19.5.2024.)
- URL 10: https://geocentar.com/wp-content/uploads/2014/01/HiPer_SR_Brochure_A_TEAM_HR_EU_Low.pdf (3.9.2024.)
- URL 11: <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2> (20.5.2024.)
- URL 12: <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2/specs> (20.5.2024.)
- URL 13: <https://uavlatam.com/en/pix4d-que-es-para-que-sirve-ejemplos/> (6.8.2024.)
- URL 14: <https://adp.uq.edu.au/cloud-compare> (13.8.2024.)
- URL 15: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/SOR_filter (18.8.2024.)
- URL 16: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Noise_filter (3.9.2024.)

POPIS SLIKA

SLIKA 2.1. DETEKCIJA KLIZIŠTA KORIŠTENJEM PLÉIADES SATELITSKIH SNIMKI I ALADIM-VHR SERVISA (URL 2).	6
SLIKA 2.2. KARTA KLASIFIKACIJE KLIZIŠTA KORIŠTENJEM SAR TEHNOLOGIJE (AIMAITI I DR. 2019).....	7
SLIKA 2.3. KARTA POMAKA KLIZIŠTA POMARICO U ITALIJI DOBIVENA ZEMALJSKOM INTEREFEROMETRIJOM (CASAGLI I DR. 2023).	9
SLIKA 2.4. PRIKAZ DOPPLER SUSTAVA ZA ALARMIRANJE NA KLIZIŠTU RUINON U ITALIJI (CARLÀ I DR. 2023).	10
SLIKA 2.5. KARTIRANJE KLIZIŠTA POMOĆU LIDAR TEHNOLOGIJE (JABOYEDOFF I DR. 2018).....	12
SLIKA 2.6. PRINCIP SATELITSKOG POZICIONIRANJA (BAČIĆ I BAŠIĆ 1999).	13
SLIKA 2.7. RTK METODA POZICIONIRANJA (URL1).	13
SLIKA 2.8. MREŽA PASIVNIH GNSS TOČAKA I 62 KARAKTERISTIČNE TOČKE KLIZIŠTA UMKA (SAMARDŽIĆ-PETROVIĆ I DR. 2020).	16
SLIKA 2.9. VEKTORI POMAKA KLIZIŠTA UMKA IZMEĐU EPOHE 0 I EPOHE 1(LIJEVO) TE EPOHE 0 I EPOHE 2 (DESNO) (SAMARDŽIĆ-PETROVIĆ I DR. 2020).....	17
SLIKA 2.10 VRSTE DRONOVA (PARTHEEPAN I DR. 2023).	18
SLIKA 2.11. SENZORI ZA PRAĆENJE KLIZIŠTA KOSTANJEK TE HORIZONTALNI POMACI IZMEĐU SIJEČNJA 2013. I SIJEČNJA 2015. (MARENDIĆ I DR. 2017)	20
SLIKA 2.12. DEM DOLINE RIJEKE RJEČINE S IDENTIFICIRANIM POVIJESNIM KLIZIŠTIMA (ARBANAS I DR. 2014).	21
SLIKA 2.13. GLAVNA JEDINICA GEODETSKOG NADZORA (ARBANAS I DR. 2011)	22
SLIKA 3.1. BESPILOTNA LETJELICA SA SENZORSKIM SUSTAVIMA (URL 5).	23
SLIKA 3.2. BESPILOTNA LETJELICA SENSEFLY EBEE I SENSEFLY EMOTION3 SOFTVER (MARENDIĆ I DR. 2017).	24
SLIKA 3.3. KARTE VISINSKIH RAZLIKA IZMEĐU RAZLIČITIH EPOHA MJERENJA (YAPRAK I DR. 2018).....	25
SLIKA 4.1 KOMPONENTE DIGITALNOG BLIZANCA (VANDERHORN I MAHADEVAN 2021).....	27
SLIKA 4.2 ARHITEKTURA MODELA DIGITALNOG BLIZANCA KRAJOLIKA.	27
SLIKA 5.1 PRIKAZ LOKACIJE KLIZIŠTA NA GEOPORTALU DGU.....	29
SLIKA 5.2 RASCJEPI NA KLIZIŠTU.....	30
SLIKA 5.3 ULEGNUĆA S NAKUPLJENOM VODOM.	30

SLIKA 5.4. ISJEČAK KARTE KLIZIŠTA S DIGITALNIM MODELOM POVRŠINE (DR.SC. VLATKO GULAM, HGI).....	31
SLIKA 5.5. ISJEČAK ORTOFOTO KARTE (DR.SC. VLATKO GULAM, HGI).....	32
SLIKA 5.6. TRIMBLE R8 (URL 7).....	33
SLIKA 5.7. TOPCON HYPER SR (URL 9).....	36
SLIKA 5.8. BESPILOTNA LETJELICA PHANTOM 4 PRO V2.0 (URL 11).....	37
SLIKA 5.9. KARTONSKI MARKER.....	39
SLIKA 5.10. STABILIZACIJA TOČAKA BETONSKIM STUPOM.	40
SLIKA 5.11. STABILIZACIJA TOČAKA GEODETSKOM BOLCNOM.	41
SLIKA 5.12 STABILIZACIJA TOČKE 3.	41
SLIKA 5.13 PRIKAZ SVIH STABILIZIRANIH TOČAKA NA DOF-U.	42
SLIKA 5.14 GNSS OPAŽANJA NA TOČKI 6 ZA EPOHU 1.	44
SLIKA 5.15 VRSTE MISIJA SNIMANJA.	45
SLIKA 5.16 PRIKAZ SUČELJA APLIKACIJE CTRL+DJI TOKOM IZVOĐENJA OPAŽANJA.	46
SLIKA 5.17 OPAŽANJA IZ ZRAKA U EPOHI 2.....	47
SLIKA 5.18 KOORDINATNI SUSTAVI GCP-A.....	53
SLIKA 5.20 KOORDINATE UČITANIH GCP-A.	54
SLIKA 5.19 PRIDRUŽIVANJE GCP-A SNIMKAMA.	54
SLIKA 5.21 POSTAVKE ZA PROCESUIRANJE SNIMKI.....	55
SLIKA 5.22 VIZURE KAMERE PREMA TOČKI 5.	56
SLIKA 5.24 TOČNOSTI GCP-A ZA EPOHU 2.....	57
SLIKA 5.23 KONTROLA KVALITETE ZA EPOHU 2.....	57
SLIKA 5.26 KONTROLA KVALITETE ZA EPOHU 3.....	58
SLIKA 5.25 TOČNOST GCP-A ZA EPOHU 3.....	59
SLIKA 5.27 DIGITALNA ORTOFOTO KARTA ZA EPOHU 2.....	60
SLIKA 5.28 DSM ZA EPOHU 3.	60
SLIKA 5.29 GLOBAL SHIFT/SCALE PRILIKOM UČITAVANJA OBLAKA TOČAKA.....	62
SLIKA 5.30 USPOREDBA UČITANOG I IZREZANOG OBLAKA TOČAKA.	62
SLIKA 5.32 CLOTH SIMULATOR FILTER (CSF).	63
SLIKA 5.31 KLASIFICIRANI OBLAK TOČAKA KORISTEĆI CSF.	63
SLIKA 5.33 PARAMETRI SOR FILTER ALATA.	64
SLIKA 5.34 PARAMETRI NOISE FILTER ALATA.	64
SLIKA 5.35 USPOREDBA OBLAKA TOČAKA NAKON FILTRIRANJA I UKLANJANJA ŠUMOVA.....	65
SLIKA 5.36 PARAMETRI CLOUD-TO-CLOUD DISTANCE ALATA.....	66

SLIKA 5.37 PARAMETRI ZA IZRADU MESH-A.	66
SLIKA 5.38 GENERIRANI 3D MODEL PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....	67
SLIKA 5.39 GENERIRANI 3D MODEL PODRUČJA ISTRAŽIVANJA S PRIKAZANIM GCP.....	67
SLIKA 6.1 PRIKAZ POMAKA IZMEĐU EPOHE 2 I EPOHE 1.....	68
SLIKA 6.2 PRIKAZ POMAKA IZMEĐU EPOHE 3 I EPOHE 2.....	69
SLIKA 6.3 PRIKAZ POMAKA IZMEĐU EPOHE 3 I EPOHE 1.....	70
SLIKA 6.4 APSOLUTNE UDALJENOSTI IZMEĐU OBLAKA TOČAKA.....	71
SLIKA 6.5 UDALJENOSTI IZMEĐU DVAJU OBLAKA TOČAKA PO X OSI.	72
SLIKA 6.6 UDALJENOSTI IZMEĐU DVAJU OBLAKA TOČAKA PO Y OSI.	72
SLIKA 6.7 UDALJENOSTI IZMEĐU DVAJU OBLAKA TOČAKA PO Z OSI.....	73
SLIKA 7.1 RAZVOJ MODELA DIGITALNOG BLIZANCA KLIZIŠTA U ZRINSKOJ DRAGI.....	76
SLIKA 8.1 SJEVERNI KRAK KLIZIŠTA (CRVENO) I JUŽNI KRAK KLIZIŠTA (ŽUTO).	79

POPIS TABLICA

TABLICA 2.1. SERVISI CROPOS-A (BARKOVIĆ I ZRINJSKI 2015).....	14
TABLICA 2.2 PODJELA DRONOVA PREMA TEŽINI I DOSEGU LETA (SINGHAL I DR. 2018).....	18
TABLICA 5.1 TEHNIČKE SPECIFIKACIJE UREĐAJA TRIMBLE R8 (URL 8).....	33
TABLICA 5.2 TEHNIČKE SPECIFIKACIJE UREĐAJA TOPCON HYPER SR (URL 10).....	36
TABLICA 5.3 TEHNIČKE SPECIFIKACIJE UREĐAJA PHANTOM 4 PRO V2.0 (URL 12).....	38
TABLICA 5.4 EPOHE OPAŽANJA.	43
TABLICA 5.5 GNSS OPAŽANJA ZA EPOHU 1.	48
TABLICA 5.6 GNSS OPAŽANJA ZA EPOHU 2.	50
TABLICA 5.7 IZRAČUN VISINA ZA EPOHU 3.....	51
TABLICA 5.8 GNSS OPAŽANJA ZA EPOHU 3.	51
TABLICA 5.9 KOORDINATE KONTROLNIH TOČAKA.	61
TABLICA 6.1 POMACI DETALJNIH TOČAKA IZMEĐU EPOHE 2 I EPOHE 1.....	68
TABLICA 6.2 POMACI DETALJNIH TOČAKA IZMEĐU EPOHE 3 I EPOHE 2.....	69
TABLICA 6.3 POMACI DETALJNIH TOČAKA IZMEĐU EPOHE 3 I EPOHE 1.....	70
TABLICA 6.4 RAZLIKA KOORDINATA TOČAKA DOBIVENIH GNSS OPAŽANJEM I OPAŽANJEM IZ ZRAKA ZA EPOHU 2.	74
TABLICA 6.5 RAZLIKA KOORDINATA TOČAKA DOBIVENIH GNSS OPAŽANJEM I OPAŽANJEM IZ ZRAKA ZA EPOHU 3.	75

PRILOZI

Popis priloga:

Prilog 1 – Digitalna ortofoto karta klizišta u Zrinskoj Dragi, HGI





Prilog 2 – Karta zona aktivnosti klizišta u Zrinskoj Dragi 1, HGI

Prilog 3 – Karta zona aktivnosti klizišta u Zrinskoj Dragi 2, HGI

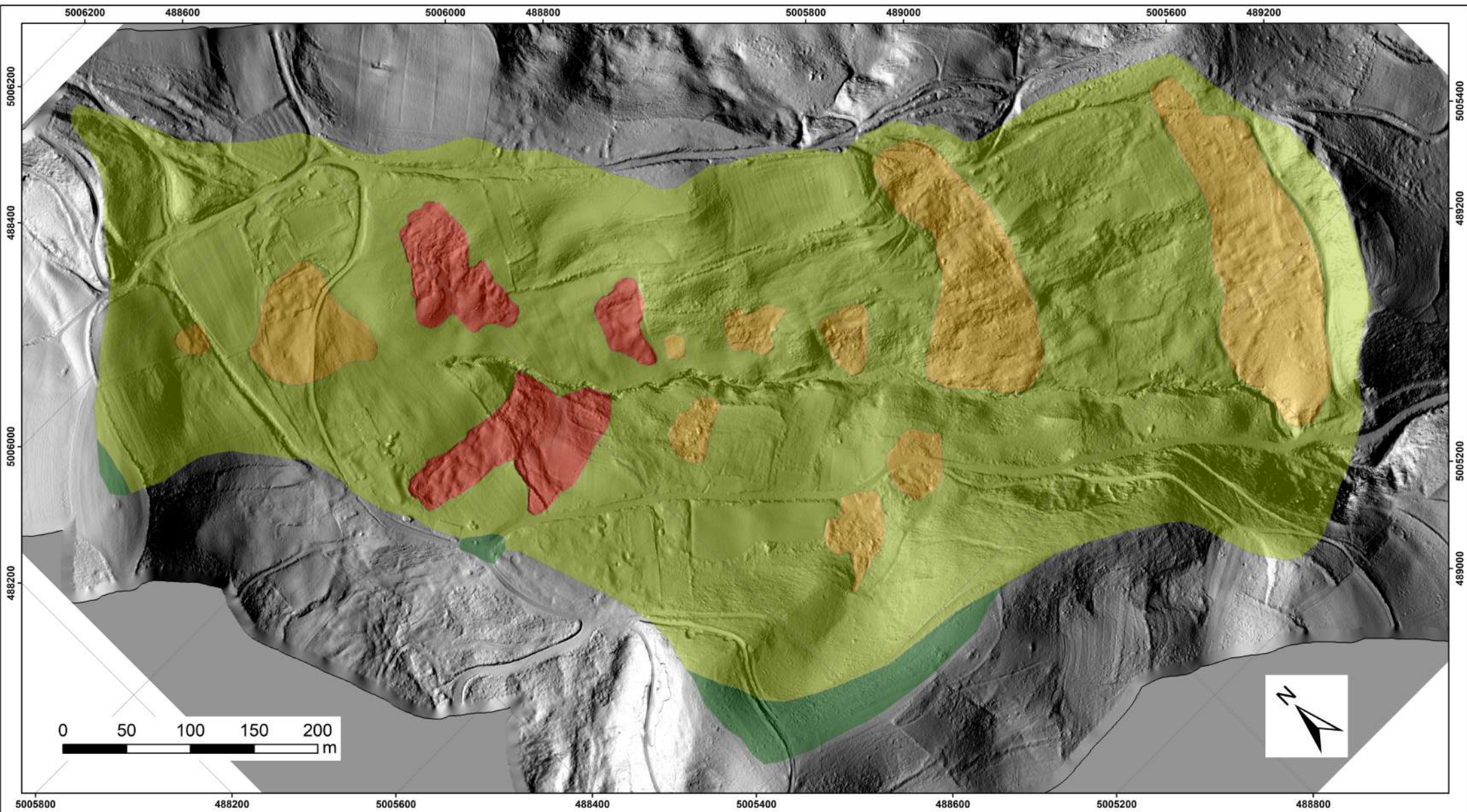
Prilog 1. Digitalna ortofoto karta klizišta u Zrinskoj Dragi, HGI







Legend

-  Zona 1 - Aktivna klizišta - Područja na kojima su tijekom ekstremnijih klimatoloških događaja vrlo izvjesni pomaci tla
-  Zona 2 - Neaktivna klizišta - Područja na kojima se zamjećuju pomaci no nije izvjesna njihova aktivacija tijekom ekstremni klimatoloških događaja
-  Zona 3 – Nestabilna području – Područja na kojima nisu jasno vidljivi znaci klizanja. Uzroci nestabilnosti mogu biti uvjetovani razni čimbenicima: geomorfološki, antropogeni, litološki i sl.
-  Zona 4 – Stabilna područja – Područja na kojima se ne očekuju pomaci uzrokovani prirodnim čimbenicima. Jedini mogući uzrok njihove nestabilnosti može biti čovjek

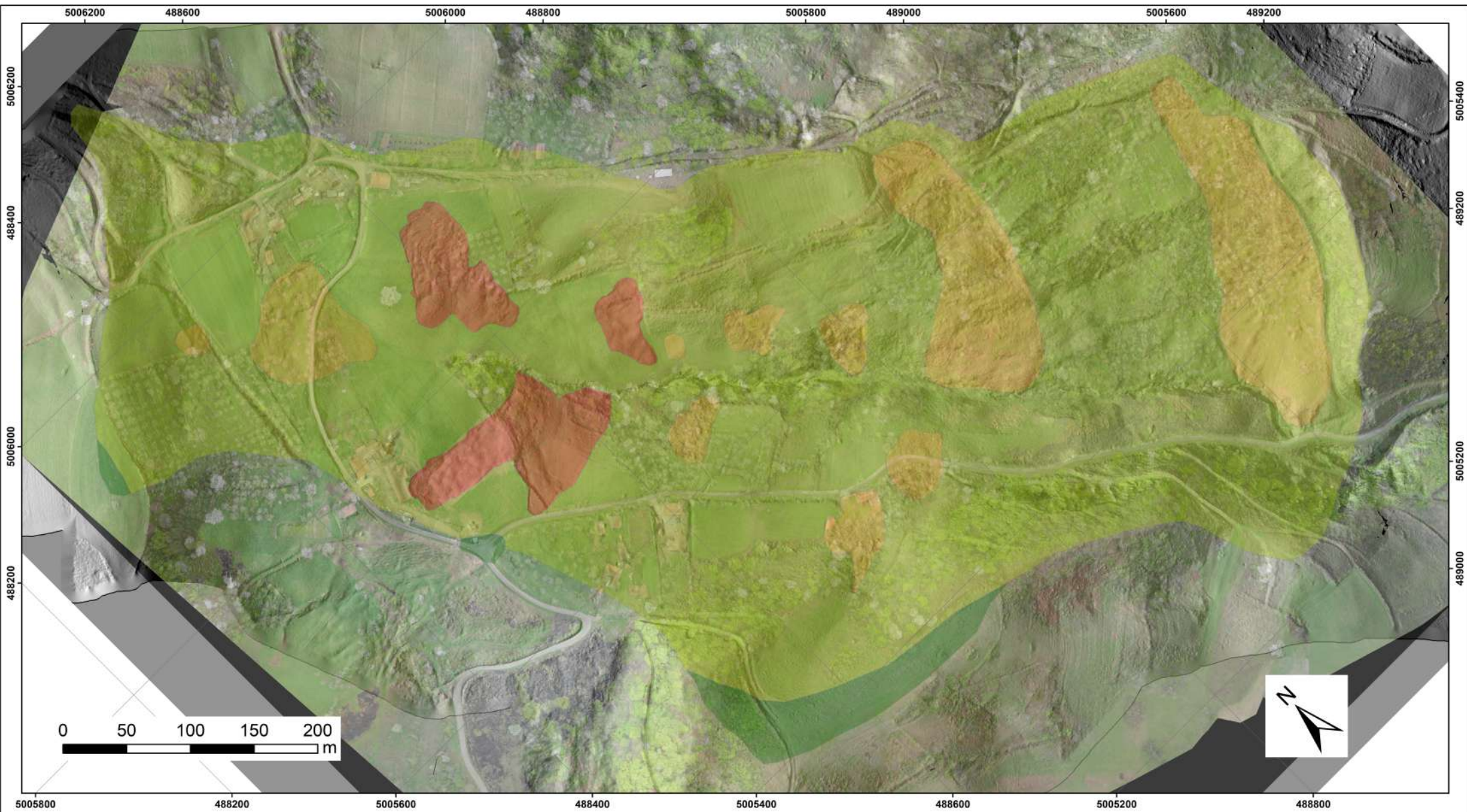
Prilog 2. Karta zona aktivnosti klizišta u Zrinskoj Dragi 1, HGI



Legend

-  Zona 1 - Aktivna klizišta - Područja na kojima su tijekom ekstremnijih klimatoloških događaja vrlo izvjesni pomaci tla
-  Zona 2 - Neaktivna klizišta - Područja na kojima se zamjećuju pomaci no nije izvjesna njihova aktivacija tijekom ekstremni klimatoloških događaja
-  Zona 3 – Nestabilna području – Područja na kojima nisu jasno vidljivi znaci klizanja. Uzroci nestabilnosti mogu biti uvjetovani razni čimbenicima: geomorfološki, antropogeni, litološki i sl.
-  Zona 4 – Stabilna područja – Područja na kojima se ne očekuju pomaci uzrokovani prirodnim čimbenicima. Jedini mogući uzrok njihove nestabilnosti može biti čovjek

Prilog 3. Karta zona aktivnosti klizišta u Zrinskoj Dragi 2, HGI



Legend

- Zona 1 - Aktivna klizišta - Područja na kojima su tijekom ekstremnijih klimatoloških događaja vrlo izvjesni pomaci tla
- Zona 2 - Neaktivna klizišta - Područja na kojima se zamjećuju pomaci no nije izvjesna njihova aktivacija tijekom ekstremni klimatoloških događaja
- Zona 3 – Nestabilna području – Područja na kojima nisu jasno vidljivi znaci klizanja. Uzroci nestabilnosti mogu biti uvjetovani razni čimbenicima: geomorfološki, antropogeni, litološki i sl.
- Zona 4 – Stabilna područja – Područja na kojima se ne očekuju pomaci uzrokovani prirodnim čimbenicima. Jedini mogući uzrok njihove nestabilnosti može biti čovjek

ŽIVOTOPIS

EUROPEAN CURRICULUM VITAE FORMAT



OSOBNJE OBAVIJESTI

Ime	Antonio Kolobarić
Adresa	Rid Šumet 17, 20236 Mokošica
Telefon	+385996728569
E-pošta	toni.kolobaric@gmail.com
URL	
Nacionalnost	Hrvat
Državljanstvo	Hrvatsko
Datum rođenja	15.2.1999.

RADNO ISKUSTVO

- Datum (od – do) 27.11.2023. -
- Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja Geodata Projekt d.o.o., Vrisnička 6, Zagreb
 - Vrsta posla ili područje Inženjerska geodezija, katastarska izmjera
- Zanimanje i položaj koji obnaša Zaposlenik
 - Osnovne aktivnosti i odgovornosti Iskolčenje i kontrola građevinskih radova na projektu izgradnje tvornice FACCC u Jakovlju, terenska mjerenja za katastarske izmjere k.o. Adžamovci i k.o. Katuni

- Datum (od – do) 1.3.2023. – 1.9.2023.
- Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja Hrvatsko kartografsko društvo, Kačićeva 26, Zagreb
 - Vrsta posla ili područje Izrada XML dokumenata
- Zanimanje i položaj koji obnaša Student
 - Osnovne aktivnosti i odgovornosti Izrada XML dokumenata u svrhu izrade internetskih članaka časopisa Kartografija i geoinformacije

- Datum (od – do) 1.10.2022. – 1.2.2023.
- Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb
 - Vrsta posla ili područje Demonstrator iz kolegija Digitalna kartografija

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Zanimanje i položaj koji obnaša <ul style="list-style-type: none"> • Osnovne aktivnosti i odgovornosti | <p>Student</p> <p>Pomoć studentima u izradi digitalne karte korištenjem QGIS i GRASS GIS programa</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Datum (od – do) | <p>30.6.2018 – 31.7.2018 i 30.6.2019 – 31.7.2019.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja <ul style="list-style-type: none"> • Vrsta posla ili područje | <p>Geo Vrtine d.o.o., Vukovarska 30, Dubrovnik</p> <p>Terenska izmjera u svrhu izrade geodetskih elaborata, izrada geodetskih elaborata</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Zanimanje i položaj koji obnaša <ul style="list-style-type: none"> • Osnovne aktivnosti i odgovornosti | <p>Student</p> <p>Figurant, mjerenje GNSS uređajem, vođenje skice izmjere, izrada geodetskih elaborata korištenjem SDGE sustava</p> |

ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Datum (od – do) | <p>2021. – 2024.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Naziv i vrsta obrazovne ustanove <ul style="list-style-type: none"> • Osnovni predmet /zanimanje • Naslov postignut obrazovanjem • Stupanj nacionalne kvalifikacije | <p>Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Diplomski studij Geoinformatika</p> <p>Magistar inženjer geodezije i geoinformatike</p> <p>VSS</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Datum (od – do) | <p>2017. – 2021.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Naziv i vrsta obrazovne ustanove <ul style="list-style-type: none"> • Osnovni predmet /zanimanje • Naslov postignut obrazovanjem • Stupanj nacionalne kvalifikacije | <p>Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Preddiplomski studij Geodezija i geoinformatika</p> <p>Sveučilišni prvostupnik inženjer geodezije i geoinformatike</p> <p>VŠS</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Datum (od – do) | <p>2013. – 2017.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Naziv i vrsta obrazovne ustanove <ul style="list-style-type: none"> • Osnovni predmet /zanimanje • Naslov postignut obrazovanjem • Stupanj nacionalne kvalifikacije | <p>Gimnazija Dubrovnik</p> <p>Opća gimnazija</p> <p>Dakle ništa</p> <p>SSS</p> |

OSOBNJE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

MATERINSKI JEZIK

HRVATSKI JEZIK

DRUGI JEZICI

ENGLESKI JEZIK

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • sposobnost čitanja • sposobnost pisanja • sposobnost usmenog izražavanja | <p>IZVRSNO</p> <p>IZVRSNO</p> <p>IZVRSNO</p> |
|--|--|

**SOCIJALNE VJEŠTINE I
SPOSOBNOSTI**

*Življenje i rad s drugim ljudima u
višekulturnim okolinama gdje je
značajna komunikacija, gdje je
timski rad osnova (npr. u kulturnim
ili sportskim aktivnostima).*

ODLIČNO

**ORGANIZACIJSKE
VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI**

*Npr. koordinacija i upravljanje
osobljem, projektima, financijama;
na poslu, u dragovoljnom radu (npr.
u kulturi i športu) i kod kuće, itd.*

ODLIČNO

**TEHNIČKE VJEŠTINE I
SPOSOBNOSTI**

*S računalima, posebnim vrstama
opreme, strojeva, itd.*

MS Office paketi, AutoCAD, QGIS, GRASS GIS, Pix4D,
CloudCompare**VOZAČKA DOZVOLA**

B