

Identifikacija i kartiranje klizišta primjenom LiDAR-a na području sliva potoka Kustošak (Grad Zagreb)

Božuk, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:333439>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

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



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

**Identifikacija i kartiranje klizišta primjenom LiDAR-a na području sliva
potoka Kustošak (Grad Zagreb)**

Diplomski rad

Luka Bojčuk

GI 371

Zagreb, 2021.



KLASA: 602-04/21-01/159
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 20.9.2021.

Luka Bojčuk, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/159, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 30.4.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

IDENTIFIKACIJA I KARTIRANJE KLIZIŠTA PRIMJENOM LIDAR-a NA PODRUČJU SLIVA POTOKA KUSTOŠAK (GRAD ZAGREB)

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc. dr. sc. Martin Krkač nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditeljicu Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara.

Voditelj:

(potpis)

Doc. dr. sc. Martin Krkač

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i
studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

IDENTIFIKACIJA I KARTIRANJE KLIZIŠTA PRIMJENOM LIDAR-A NA
PODRUČJU SLIVA POTOKA KUSTOŠAK (GRAD ZAGREB)

LUKA BOJČUK

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog rada je bilo izraditi kartu inventara klizišta na području sliva Kustošak te usporediti ju s već postojećim inventarima iz 1979. i 2007. godine. Za izradu inventara klizišta korišteni su točkasti podaci dobiveni LiDAR snimanjem, iz kojih je u *ArcGIS* programu dobiven DMT (digitalni model terena). Ukupno je otkriveno 205 klizišta u novom inventaru, a za identifikaciju morfologije klizišta korištene su tri morfometrijske karte: karte osjenčanog reljefa, karta nagiba terena i karta slojnica ekvidistancije 1m. Novi inventar uspoređen je s ostalim inventarima na temelju veličine, namjene zemljišta, geološke starosti te nagibu terena.

| | |
|--------------------------|--|
| Ključne riječi: | klizište, inventar klizišta, LiDAR, DMT |
| Diplomski rad sadrži: | 35 stranica, 1 tablicu, 30 slika i 13 referenci |
| Jezik izvornika: | hrvatski |
| Diplomski rad pohranjen: | Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb |
| Mentor: | dr. sc. Martin Krkač, docent, RGNF |
| Komentorica: | dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, poslijedoktorandica, RGNF |
| Ocjenjivači: | dr. sc. Martin Krkač, docent, RGNF Sveučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica, RGNF Sveučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Željko Arbanas, redoviti profesor, GF Sveučilišta u Rijeci |

Datum obrane: 28.9.2021.

IDENTIFICATION AND MAPPING OF LANDSLIDES WITH THE USE OF LIDAR IN
THE AREA OF THE KUSTOŠAK STREAM BASIN (CITY OF ZAGREB)

LUKA BOJČUK

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Geology and Geological Engineering

Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

The goal of this thesis was to make a landslide inventory map in the area of the Kustošak river basin and compare it to the already existing inventories from 1979 and 2007. With the use of the program *ArcGIS*, point features which came from LiDAR scanning, were used for the making of the DEM (digital elevation model). In total 205 landslides were mapped in the new inventory with the use of three morphometric maps: hillshade map, slope map and contour map. The new landslide inventory was compared in regards to size, landuse, geological age and inclination of the slope.

Keywords: landslide, landslide inventory, LiDAR, DEM

Thesis contains: 35 pages, 1 table, 30 figures and 13 references

Original in: croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Martin Krkač, Assistant Professor, UNIZG-RGNF

Co-Supervisor: PhD Sanja Bernat Gazibara, Post-doctoral researcher, UNIZG-RGNF

Reviewers: PhD Martin Krkač, Assistant Professor, UNIZG-RGNF
PhD Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, UNIZG-RGNF
PhD Željko Arbanas, Full Professor, UNIRI-GF

Defence date: 28th September 2021.

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Područje istraživanja | 2 |
| 2.1. Geografske i geomorfološke značajke | 2 |
| 2.2. Geološke značajke | 7 |
| 3. Metodologija | 10 |
| 4. Ulazni podaci..... | 13 |
| 4.1. Morfometrijske karte izvedene iz LiDAR DMT-a za vizualnu identifikaciju i kartiranje klizišta..... | 14 |
| 4.2. Namjena zemljišta..... | 17 |
| 4.3. Postojeće karte klizišta na području podsljemenske zone Grada Zagreba | 19 |
| 5. Rezultati | 21 |
| 5.1. Inventar klizišta dobiven vizualnom interpretacijom LiDAR DMT-a | 21 |
| 5.2. Usporedba inventara klizišta..... | 23 |
| 6. Zaključak..... | 33 |
| 7. Literatura | 34 |

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 2-1 Geografska lokacija područja istraživanja | 3 |
| Slika 2-2 Prikaz nagiba terena | 4 |
| Slika 2-3 Prikaz digitalnog modela reljefa | 5 |
| Slika 2-4 Orijehtacija padina | 6 |
| Slika 2-5 Digitalizirana Osnovna geološka karta 1:100 000 list Zagreb (Šikić et al., 1972) | 9 |
| Slika 3-1 Terminologija vezana za opis klizišta (WP/WLI, 1993b): (a) dijelovi klizišta; (b) dimenzije klizišta..... | 10 |
| Slika 4-1 Različite rezolucije DMT jednog klizišta; a) DMT rezolucije 2 m; b) DMT rezolucije 1 m; c) DMT rezolucije 0,5 m; d) DMT rezolucije 0,3 m; e) DMT rezolucije 0,15 m..... | 13 |
| Slika 4-2 Karta osjenčanosti terena iluminacije 315°/45° | 14 |
| Slika 4-3 Karta nagiba terena | 15 |
| Slika 4-4 Karta slojnica ekvidistancije 1m | 16 |
| Slika 4-5 Raspodjela namjene zemljišta na području istraživanja | 17 |
| Slika 4-6 Prikaz namjene zemljišta na istraživanom području..... | 18 |
| Slika 4-7 Isječci povijesnih inventara: a) inventar iz 1979. godine (Polak et al., 1979); b) inventar iz 2007. godine (Miklin et al., 2007) | 20 |
| Slika 5-1 Primjer klizišta identificiranih i kartiranih na izvedenim morfometrijskim kartama: (a) prozirna karta nagiba na karti osjenčanog reljefa sa slojnicama ekvidistancije 1 m; (b) karta osjenčanosti terena; (c) karta nagiba terena; (d) karta slojnica ekvidistancije 1m..... | 21 |
| Slika 5-2 Primjer vidljivosti klizišta na DOF snimku iz 2019 godine..... | 22 |
| Slika 5-3 Usporedba inventara klizišta..... | 24 |
| Slika 5-4 Histogram veličine klizišta u inventaru iz 1979..... | 25 |
| Slika 5-5 Histogram veličine klizišta u inventaru iz 2007..... | 25 |
| Slika 5-6 Histogram veličine klizišta u inventaru iz 2021..... | 26 |
| Slika 5-7 Površine klizišta s obzirom na namjenu zemljišta u inventaru iz 1979. godine .. | 26 |
| Slika 5-8 Površine klizišta s obzirom na namjenu zemljišta u inventaru iz 2007. godine .. | 27 |
| Slika 5-9 Površine klizišta s obzirom na namjenu zemljišta u inventaru iz 2021. godine .. | 27 |
| Slika 5-10 Površine klizišta s obzirom na geološku starost u inventaru iz 1979. godine.... | 28 |
| Slika 5-11 Površine klizišta s obzirom na geološku starost u inventaru iz 2007. godine.... | 28 |
| Slika 5-12 Površine klizišta s obzirom na geološku starost u inventaru iz 2021. godine.... | 29 |
| Slika 5-13 Raspodjela klizišta po geološkoj starosti | 29 |
| Slika 5-14 Površine klizišta s obzirom na nagib terena u inventaru iz 1979. godine..... | 30 |
| Slika 5-15 Površine klizišta s obzirom na nagib terena u inventaru iz 2007. godine..... | 31 |
| Slika 5-16 Površine klizišta s obzirom na nagib terena u inventaru iz 2021. godine..... | 31 |
| Slika 5-17 Raspodjela klizišta po klasama nagiba terena..... | 32 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 5-1 Usporedba inventara klizišta | 23 |
|--|----|

1. Uvod

Klizište je geomorfološki proces koji opisuje pokret tla ili stijena niz padinu koji se dominantno događa duž klizne plohe ili uske zone smične deformacije, a najčešće su aktivirani prirodnim uzročnicima, poput intenzivnih oborina ili potresa, ali mogu nastati i kao posljedica ljudskih djelatnosti (Mihalić et al., 2011). Pojava klizišta dovodi do smanjenja posmične čvrstoće materijala u padini te uzrokuje velike materijalne štete, a izravno, ili neizravno ugrožavaju i lokalno stanovništvo. Jedan od načina smanjenja ugroženosti od klizišta je izrada karata inventara klizišta, karata podložnosti na klizanje i karata hazarda od klizanja. Inventar klizišta je skup podataka koji može prikazivati klizišta nastala u pojedinom događaju ili klizišta nastala tijekom više događaja, npr. povijesni inventari koji obuhvaćaju sva klizišta (Guzzetti et al., 2012).

U okviru ovog rada izrađen je inventar klizišta za istraživano područje u gradu Zagrebu na temelju DMT-a (digitalnog modela terena) dobivenog LiDAR snimanjem iz zraka 2013. godine. Podaci inventara izrađenog u okviru ovog rada uspoređeni su s podacima povijesnih inventara na području grada Zagreba, iz 1979. i 2007. godine, koji su izrađeni na temelju terenskog kartiranja.

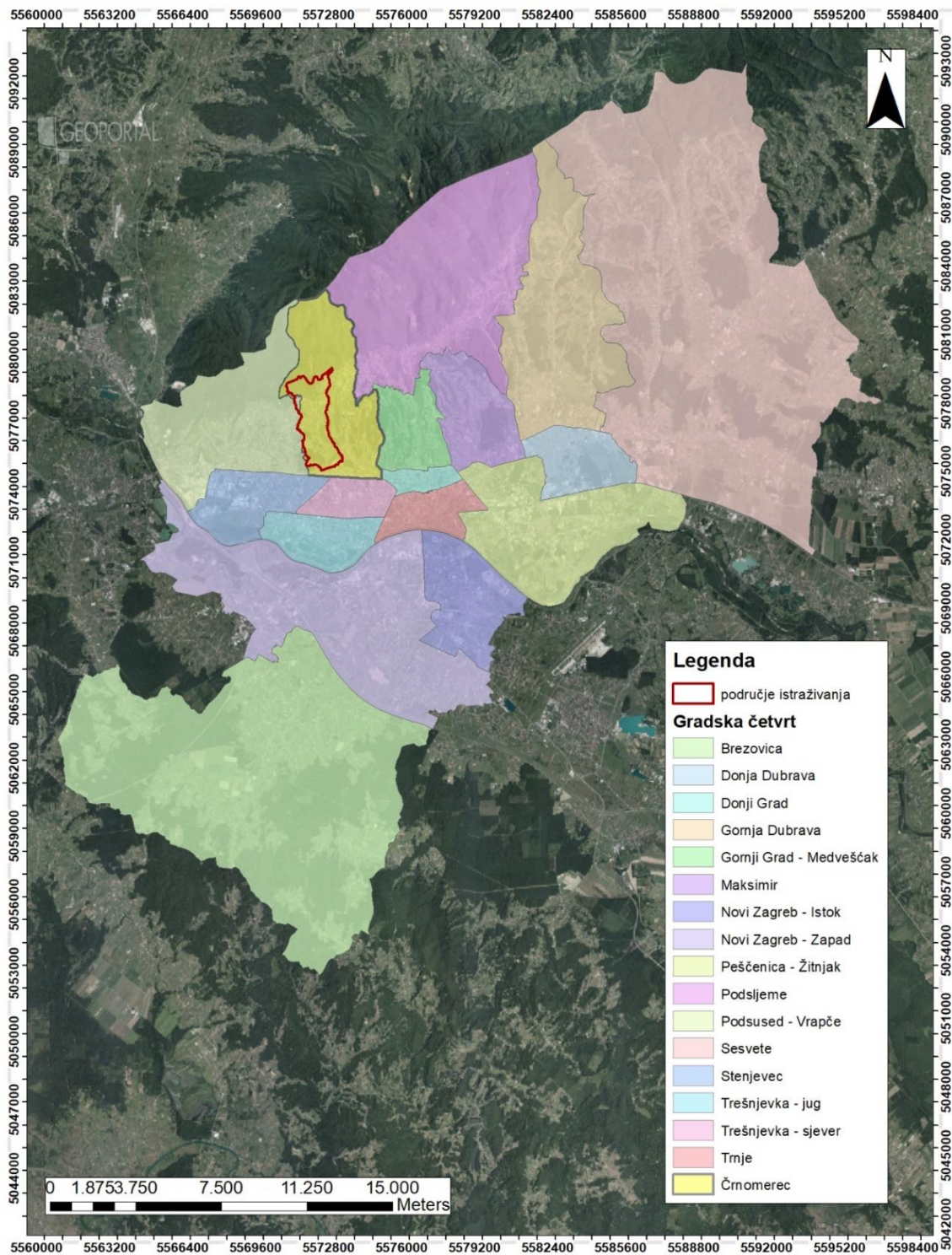
Da bi se dobio inventar klizišta bilo je potrebno izraditi digitalni model terena (DMT) iz oblaka točaka laserskog skeniranja. Nakon toga, iz DMT-a derivirane su morfometrijske karte (karta osjenčanog reljefa, karta nagiba i karta izohipsi). Ove morfometrijske karte dobro odražavaju morfologiju terena, a samim time i dijelove klizišta. Čitavi proces izrade inventara, od izrade DMT do identifikacije i crtanja klizišta proveden je u GIS-u.

2. Područje istraživanja

Opseg istraživanja obuhvaća sliv potoka Kustošak koji se nalazi u zapadnom dijelu grada Zagreba. U ovom poglavlju biti će opisane geografske, geomorfološke te geološke značajke područja istraživanja, budući da utječu na pojavu klizišta.

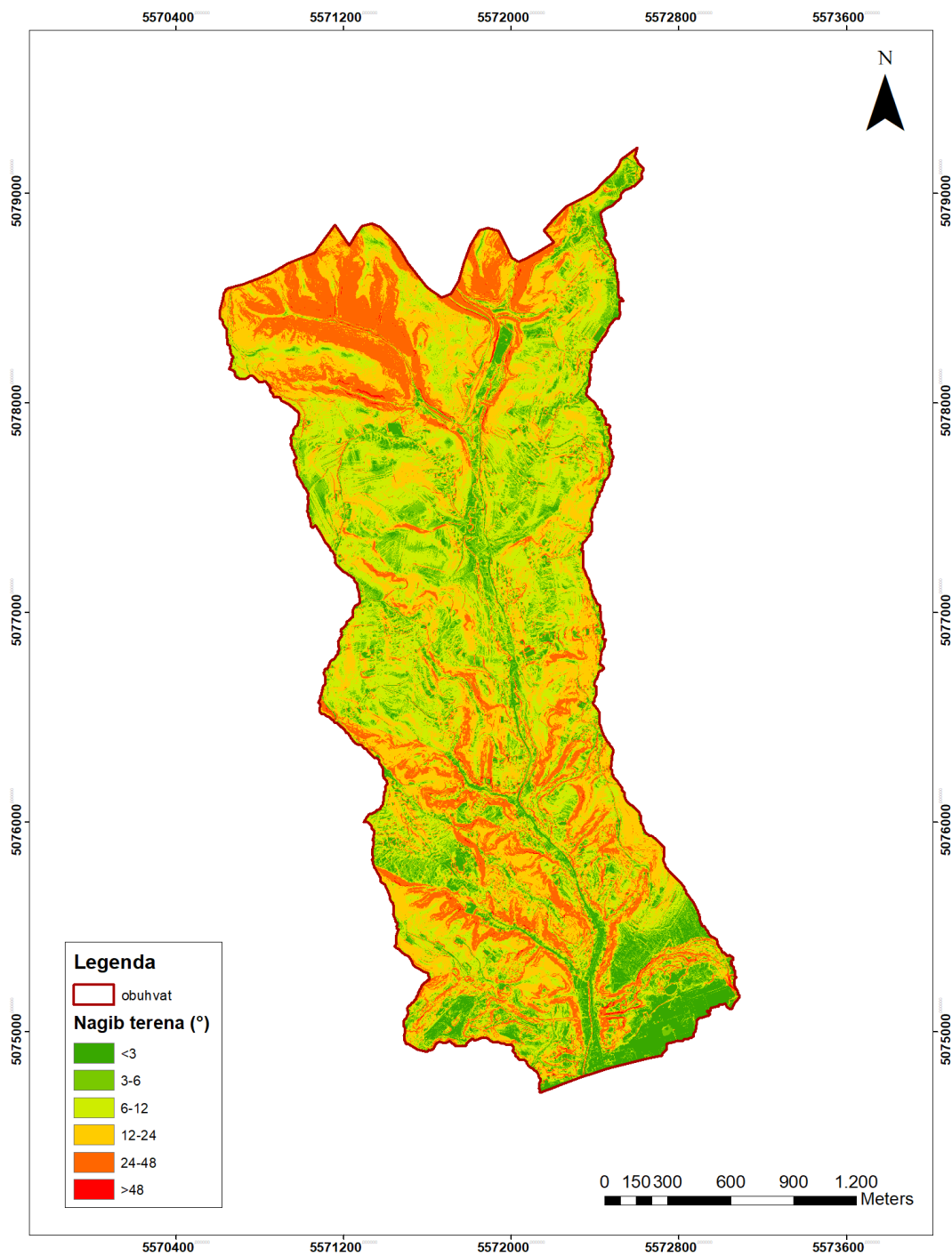
2.1. Geografske i geomorfološke značajke

Potok Kustošak prolazi kroz zagrebačko naselje Kustošak, koje je dio gradske četvrti Črnomerec. Nalazi se na sjeverozapadnom dijelu grada Zagreba, između gradskih četvrti Podsljeme na sjeveroistoku, Donji grad i Gornji grad – Medveščak na istoku, Trešnjevka – sjever na jugu, Stenjevec na jugozapadu i Podsused – Vrapče na sjeverozapadu. Površina gradske četvrti je 24,23 km² dok je površina istraživanog područja 5,51 km². Na slici 2-1 prikazano je područje istraživanja u odnosu na grad Zagreb.



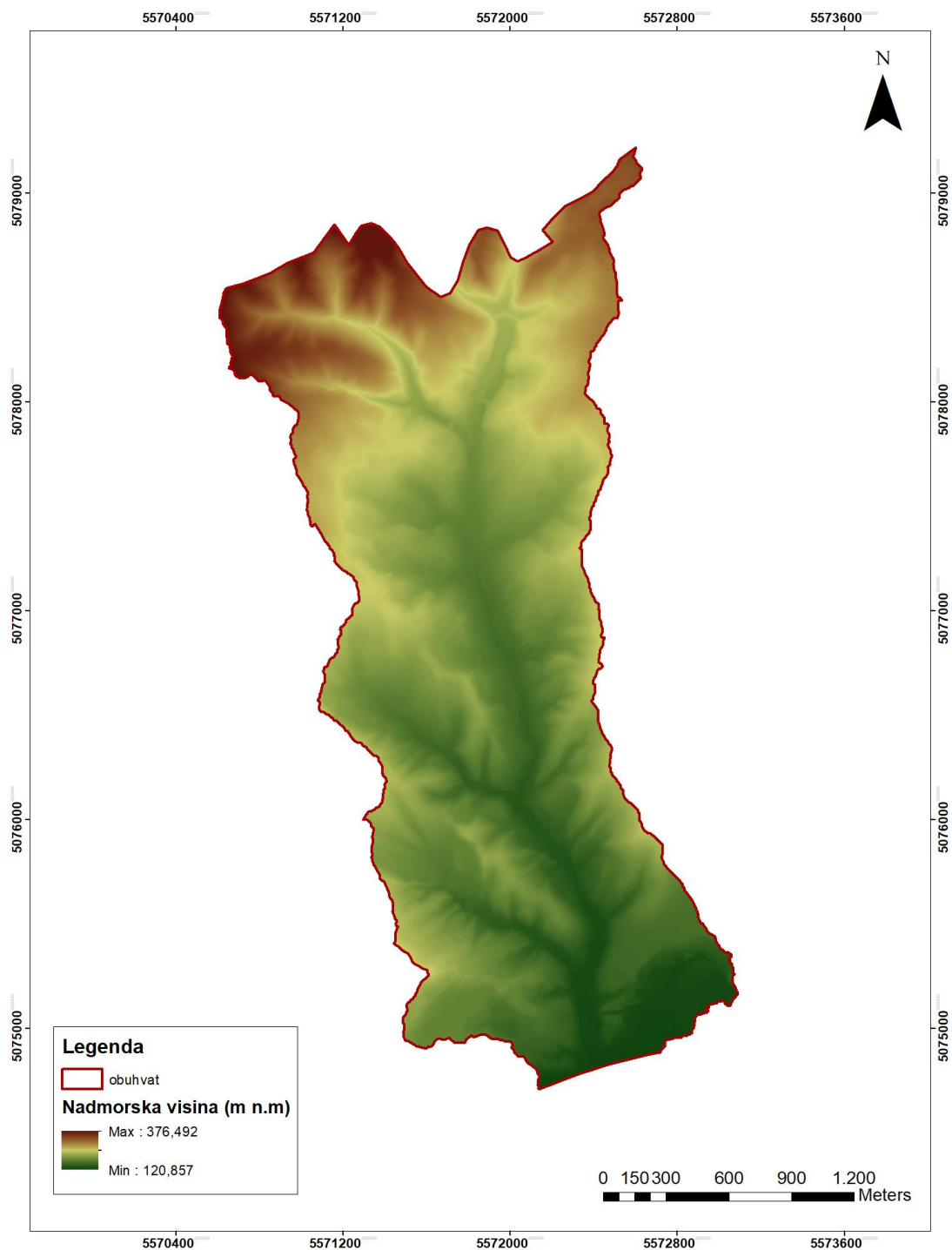
Slika 2-1 Geografska lokacija područja istraživanja

Sjeverni dio istraživanog područja je pretežito brdovitog i brežuljkastog karaktera, dok je tek mali dio na jugu nizinsko područje (slika 2-2). Na terenu su najzastupljeniji nagibi 12-24% (oko 30% površine istraživanja), te 6-12% (oko 29% površine), a zatim slijede nagibi 24-48 (oko 18% površine), 3-6 (oko 13% površine), te < 3 (oko 9% površine). Nagibi preko 48% se pojavljuju na samo 0,40 % površine stoga je utjecaj odrona zanemariv.



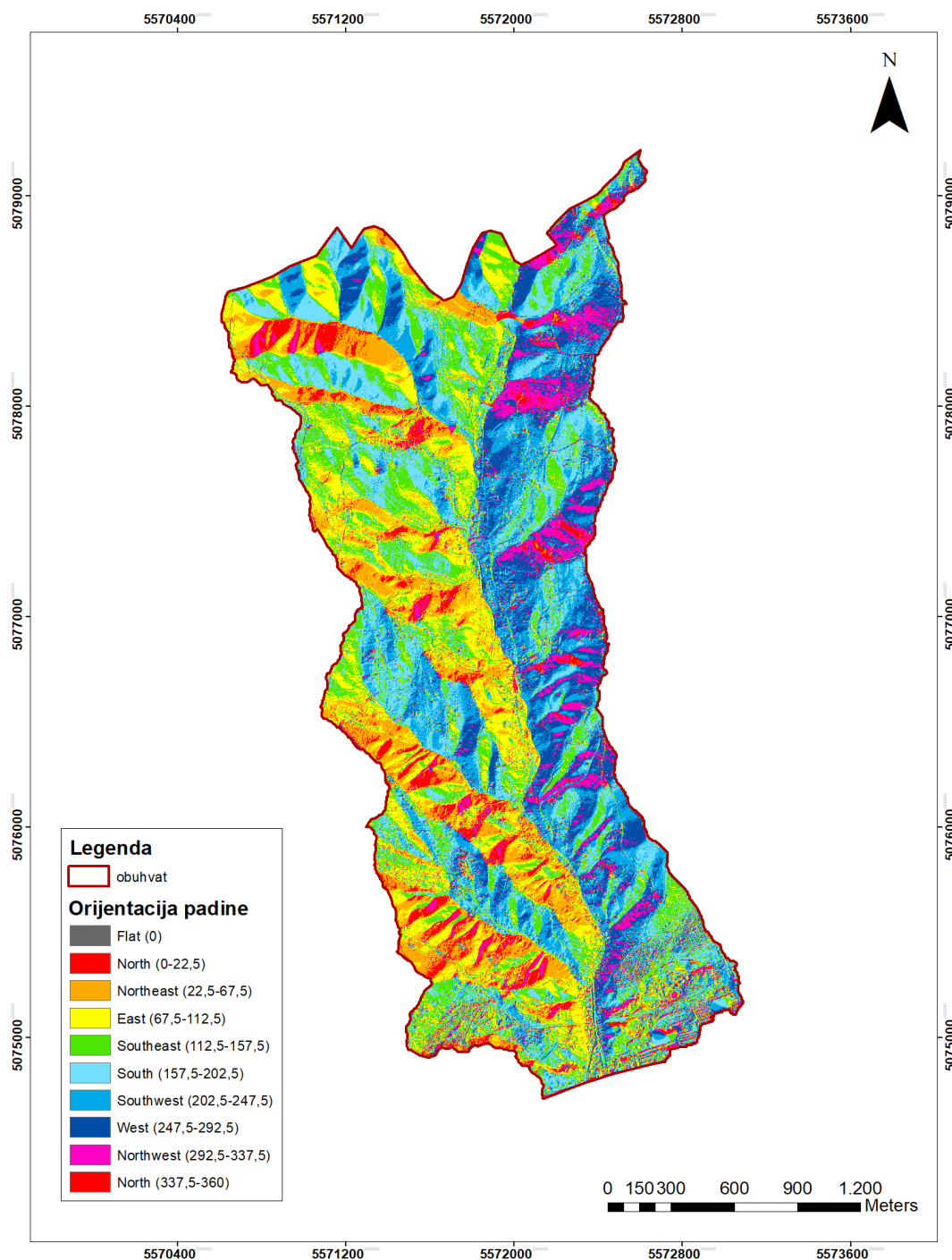
Slika 2-2 Prikaz nagiba terena

Najviša vrijednost nadmorske visine na istraživanom području doseže 376 m n.m., a najniža vrijednost je oko 120 m n.m. Visina općenito raste od južnog prema sjevernom dijelu, kao što je vidljivo na digitalnom modelu reljefa (Slika 2-3).



Slika 2-3 Prikaz digitalnog modela reljefa

Padine su generalno nagnute u smjeru juga i istoka te manjim dijelom u smjeru zapada, dok je najmanji dio terena orijentiran prema sjeveru (Slika 2-4). U smjeru juga orijentirano je oko 17,3% terena, a zatim slijede jugoistok s oko 17,1%, te istok s oko 15,1%. Najmanji postotak terena je orijentiran u smjeru sjevera (oko 6%), sjeverozapada (oko 6,3%), te sjeveroistoka (oko 11,6%). Slika 2-4 prikazuje orijentaciju padine na području istraživanja.



Slika 2-4 Orijetacija padina

2.2. Geološke značajke

Geološka građa istraživanog područja prikazana je na Listu Zagreb (Šikić et al., 1972) Osnovne geološke karte (OGK) M 1:100 000. U nastavku ove cjeline opisane su sve geološke jedinice područja istraživanja prema podacima iz tumača OGK lista Zagreb (Šikić et al., 1972). Na slici 2-5. prikazana je digitalizirana geološka karta istraživanog područja.

Najstarije naslage na istraživanom području pripadaju razdoblju devon-karbon (D,C?). Pojavljuju se na sjeverozapadu kao tektonsko okno. Debljine ovih naslaga nisu određene, a radi se o parametamorfitima.

Gornjotortonske naslage (${}^2M_2^2$) prevladavaju na sjevernom dijelu terena. Debljina varira od 150-300 m. Ove naslage izgrađene su od vapnenačkih stijena, točnije breča, konglomerata, vapnenačkih pješčenjaka, litavaca, litotamnijskog vapnenca, te glinovito-pjeskovitih i vapnenačkih lapora. Genetski se mogu podijeliti na sedimente nastale kao rezultat intenzivne organske aktivnosti, dok drugi tip nosi obilježja klastičnih naslaga s prisustvom terigenog materijala.

Brakični sedimenti donjega sarmata na jugoistočnim padinama Medvednice tvore suvislu zonu, koja se proteže od Mikulića do Podsuseda. Naslage donjosarmatske starosti (${}^1M_3^1$) izgrađene su od lapora, glinovitih lapora, vapnenaca i pješčenjaka. Vapnenci su determinirani kao biokalkareniti, oolitični kalkareniti, kalcisiliti i pjeskovito-laporoviti vapnenci, u kojima morfološke karakteristike detritusa i oolitične tvorevine ukazuju na dužu abraziju i nemirne uvjete plitkog obalnog pojasa.

Sedimenti donjeg panona (${}^1M_3^{1,2}$) izdvojeni su na jugoistočnim padinama Medvednice, te u osnovi leže kontinuirano preko donjosarmatskih slojeva. Mjestimice diskordantno zalijeganje na paleozojske i tortonske naslage Medvednice rezultat je lokalnih ingresija u toku donjeg panona. Najkarakterističniji sedimenti donjeg panona su tzv. „preponti bijeli vapneni lapori“ (D. Gorjanović-Karmberger, 1890.). Litološki su to bijeli pločasti vapnenački lapori ili laporoviti vapnenci, koji mjestimice sadrže rijetke i tanke proslojke vapnenačkih pješčenjaka.

Donjopontske naslage (Pl_1^1) protežu se jugoistočnim obroncima Medvednice u obliku cjelovite zone od Stenjeva do Blizneca. U litološkom smislu sedimenti donjeg pontsa veoma

su monotoni. Razvijeni su isključivo u facijesu abichi naslaga, a najčešći sedimenti su lapori različitih nijansa sive boje. Debljina donjopontskih naslaga se kreće između 80 i 150 metara.

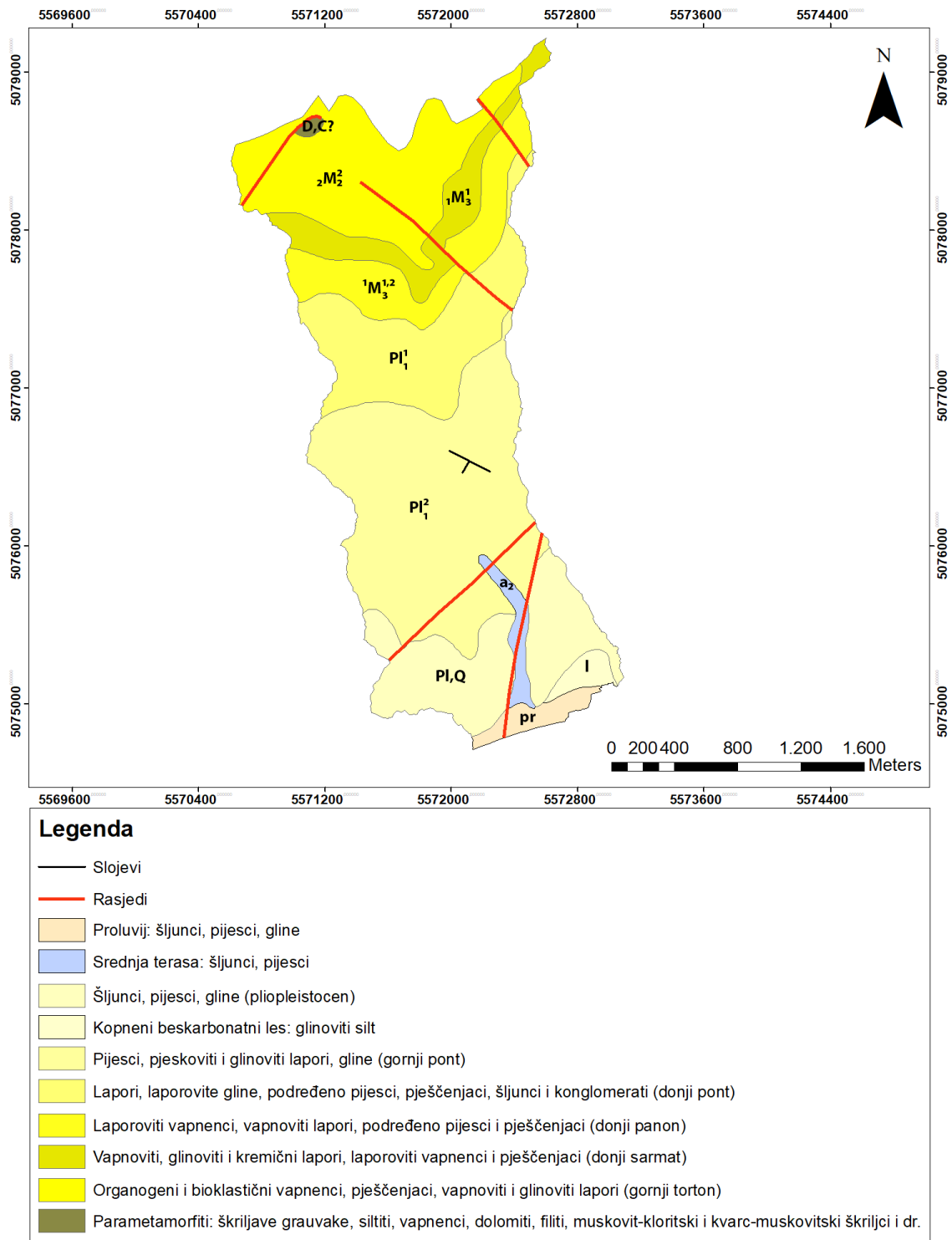
Taloženje gornjopontskih sedimenata (Pl_1^2) se nastavlja iz donjeg ponta. Pretežno su taloženi raznobojni pijesci ili pjeskoviti i glinoviti lapori. Rjeđe se javljaju ulošci glina, te sasvim podređeno, tanki proslojci pješčenjaka i leće pjeskovitih šljunaka. Debljina gornjopontskih naslaga također je različita po područjima i kreće se u rasponu od 100 do 400 metara.

Naslage levant-donjeg pleistocena (Pl, Q) leže na jugoistočnim, sjevernim i sjeverozapadnim obroncima Medvednice te su izgrađene od šljunaka, pijeska i glina u međusobnoj izmjeni. Rjeđe se mogu naći ulošci pješčenjaka i konglomerata. Za levantske naslage može se pretpostaviti da im maksimalna debljina u razmatranom području ne prelazi 150 metara.

Pod nazivom kopneni beskarbonatni les (l) izdvojeni su sedimenti lesnog porijekla, koji su pod utjecajem atmosferilija i djelomično podzemnih voda pretrpjeli pedogenetske promjene. Debljina kopnenog beskarbonatnog lesa nije poznata, jer je taložena na vrlo izraženom reljefu.

Aluvijalni nanos druge savske terase (a_2) razvijen je uz manje prekide duž čitavog toka rijeke Save na listu Zagreb. Nastao je usijecanjem Save u starije aluvijalne sedimente. Sastoji se od izmjene krupnozrnatih šljunaka i pijesaka, a količina pijeska u odnosu na šljunak povećava se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. u smjeru toka Save. Debljina naslaga druge savske terase dosta varira, jer su taložene nakon intenzivne erozije.

Proluvijalne naslage (pr) nalaze se u manjim količinama na južnim i zapadnim padinama Medvednice. Razvijene su uglavnom u obliku krupnozrnatih slabo zaobljenih šljunaka, koji su pomiješani s pijeskom i glinom. U ovim naslagama nije nađena nikakva makro ni mikrofauna. Njihova debljina ne prelazi 10 m.

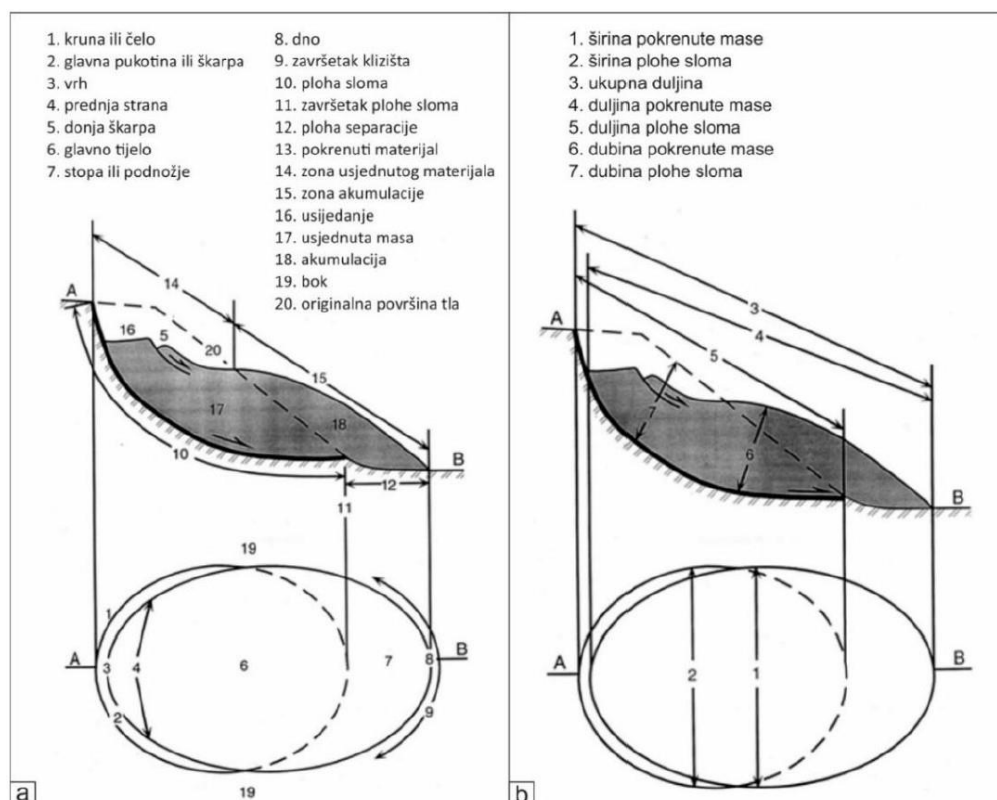


Slika 2-5 Digitalizirana Osnovna geološka karta 1:100 000 list Zagreb (Šikić et al., 1972)

3. Metodologija

Cilj ovog poglavlja je definirati osnovne pojmove vezane za pojavu i klasifikaciju klizišta te ukratko opisati metode i tehnike koje se danas koriste za izradu karata klizišta. Inventari klizišta prikazuju lokacije i granice klizišta. Inventar klizišta je skup podataka koji može prikazivati klizišta nastala u pojedinom događaju (npr. masovno aktiviranje klizišta kao posljedica ekstremnih oborina u jednom određenom razdoblju) ili klizišta nastala tijekom više događaja, npr. povijesni inventari koji obuhvaćaju sva klizišta (Guzzetti et al., 2012).

Gibanje materijala na padini rezultira stvaranjem zone usijedanja koja predstavlja područje klizišta sniženo u odnosu na originalnu površinu terena te nastankom zone akumulacije, odnosno područja klizišta izdignutog u odnosu na originalnu površinu terena. Glavni dijelovi klizišta su glavna pukotina, bokovi i stopa klizišta, kojima je definirana i granica klizišta na površini terena, te ploha sloma, odnosno klizna ploha koja predstavlja granicu između pokrenutog i nepokrenutog materijala u podzemlju (Bernat Gazibara, 2019). Na slici 3-1a prikazani su svi dijelovi, a na slici 3-1b dimenzije klizišta prema UNESCO-vom priručniku za izradu Svjetskog inventara klizišta (WP/WLI, 1993).



Slika 3-1 Terminologija vezana za opis klizišta (WP/WLI, 1993b): (a) dijelovi klizišta; (b) dimenzije klizišta

Uzročnici (faktori) klizanja se mogu klasificirati na preduvjete klizanja, koji dovode padinu u stanje granične ravnoteže, odnosno padinu čine podložnom na klizanje, i inicijatore klizanja, koji padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje, odnosno iniciraju pokretanje klizišta. Najčešće je pokretanje klizišta inicirano samo jednim procesom, dok je predisponirano brojnim preduvjetima i procesima. Intenzivne i/ili dugotrajne oborine ili naglo otapanje snijega, erozija padine uzrokovana porastom razine vode u vodotocima i jezerima, podizanje razine vode u akumulacijama, ili nagli pad razine vode u vodotocima nakon poplava. Osim navedenih fizičkih procesa, klizanje mogu inicirati i potresi (Crozier, 1986).

Inventari klizišta mogu biti jednostavni ili detaljni. Jednostavni inventari prikazuju granicu klizišta, odnosno njegov prostorni položaj. Detaljni inventari uz položaj klizišta sadrže i dodatne informacije o njemu kao vrstu materijala, aktivnost, tip pokreta i dubinu klizanja. Izradom odgovarajućih karata klizišta te implementiranjem kroz sustav prostornog uređenja u prostorne planove i planirane namjene zemljišta moguće je smanjenje od posljedica klizanja. Implementacijom inventara klizišta u prostorne planove, jedinice lokalne i područne samouprave mogu procijeniti rizik od katastrofa te upoznati lokalno stanovništvo o postojanju rizika te odrediti mjere zaštite. Neke od mjera zaštite su izgradnja i održavanje drenažnih kanala, sadnja raslinja s dubokim korijenjem te izbjegavanje iskopa u nožici padine.

Karte inventara klizišta se mogu izraditi različitim postupcima, a oni ovise o namjeni karte, iskustvu istraživača, mjerilu topografskih podloga i dostupnih snimaka te o financijskim sredstvima. Prilikom detaljnih istraživanja, klizišta se najčešće kartiraju kao poligoni, dok se za potrebe karte inventara koje se koriste za analizu podložnosti na klizanje vrlo često kartiraju kao točka, npr. točka na glavnoj pukotini ili u središtu klizišta. Podloge dobivene daljinskim metodama istraživanja koje se najčešće primjenjuju prilikom izrade inventara klizišta su podaci dobiveni laserskim skeniranjem, optičke, termalne i mikrovalne radarske snimke te avionske snimke. Metode istraživanja koje se primjenjuju za izradu karata inventara klizišta mogu se podijeliti u nekoliko skupina: (i) vizualna interpretacija snimaka, (ii) (polu)automatizirana klasifikacija snimaka na temelju spektralnih svojstava, (iii) (polu)automatizirana klasifikacija snimaka na temelju topografskih svojstava, (iv) terenske metode istraživanja, (v) prikupljanje povijesnih podataka, (vi) metode datiranja starosti klizišta, (vii) monitoring klizišta (van Westen et al., 2008).

Terensko kartiranje omogućava visoku točnost ukoliko se prilikom kartiranja koristi GPS, ali ono nije primjenjivo na nepristupačnim terenima (npr. strmi tereni obrasli gustom vegetacijom), a uz to je vremenski zahtjevno i samim time skupo (Bernat Gazibara, 2019).

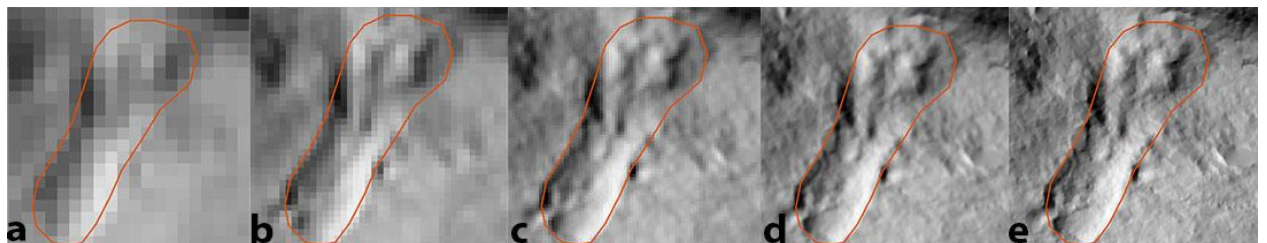
LiDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) je skraćena koja se koristi za 3D lasersko skeniranje, odnosno postupak snimanja objekata korištenjem preciznog uređaja, laserskog skenera koji radi na principu odašiljanja laserskih zraka prema objektu te mjeri njihovu refleksiju od objekta. Kombinacija izmjerene udaljenosti i kuta s određenog stajališta daje koordinate tražene točke u 3D prostoru. Snimanje iz zraka izvodi se uz pomoć lasera pričvršćenog na avion koji skeniranjem mjeri udaljenost do Zemljine površine, a geografski položaj aviona se mjeri pomoću GPS tehnologije. Rezultat je skup trodimenzionalnih XYZ točaka koji se naziva oblak točaka (eng. *point cloud*). Oblak točaka na istraživanom području se sastoji od 22 069 657 točaka iz kojih se derivirao DEM (engl. *digital elevation model*).

Prije korištenja LiDAR podataka za izradu digitalnog modela terena za potrebe kartiranja klizišta, potrebna je prethodna detaljna obrada podataka kako bi se postigla određena razina kvaliteta. Riječ je o "*bare-earth*" modelu reljefa koji podrazumijeva da su informatičkom obradom podataka nakon laserskog skeniranja uklonjeni objekti i vegetacija koji se nalaze na površini. Digitalni model reljefa (DMR) upotrebljava se kao općeniti izraz za sve modele, digitalni model terena (DMT) najčešće se odnosi na fizičku površinu Zemlje (visinu stvarne površine), dok digitalni model površine (DMP) opisuje gornju plohu koja uključuje i visine vegetacije, izgrađenih i ostalih objekata na površini Zemlje (Bernat Gazibara, 2019).

Pomoću alata u GIS (engl. *Geographic Information System*) programima, iz digitalnog modela reljefa bez vegetacije mogu se izraditi mnogobrojne morfometrijske karte koje se koriste prilikom vizualne identifikacije i kartiranja klizišta. Najčešće korištene morfometrijske karte su karta osjenčanog reljefa, karta nagiba i karta izohipsi ekvidistancije 1m. Navede morfometrijske karte su opisane u slijedećem poglavlju.

4. Ulazni podaci

Lasersko skeniranje iz zraka podsljemenske zone Grada Zagreba provedeno je 12.12. i 24.12.2013. godine od strane tvrtke Geofoto d.o.o. Laserski skener korišten za prikupljanje podataka u ovom istraživanju ima učestalost mjerenja od 266.000 Hz kod kuta mjerenja od oko 60°. Nizovi su skenirani iz dva smjera, azimuta 55° i 235°. Oblak točaka je isporučen u obliku LAS datoteka. Kvaliteta, odnosno rezolucija DMT-a ovisi o točnosti, gustoći i distribuciji točaka u oblaku točaka te primijenjenoj metodi interpolacije (Bernat Gazibara, 2019.). Prilikom izrade DMT-a korištena je metoda prirodnih susjeda (alat *Natural Neighbor*), metoda interpolacije dostupna u ekstenziji *Spatial Analyst* u *ArcGIS-u 10.1.* te je izvedeno pet DMT-a rezolucije 0,15x0,15 m, 0,3x0,3 m, 0,5x0,5 m, 1x1 m te 2x2 m. Iz LiDAR DMT-a rezolucije 0,3x0,3 m izvedene su tri morfometrijske karte za vizualnu identifikaciju i kartiranje klizišta. Korištena je rezolucija 0,3x0,3 m jer pruža dobru kvalitetu podataka, a ima manje potencijalnih šumova od rezolucije 0,15x0,15 m. Na slici 4-1 prikazana je usporedba različitih rezolucija na kartama osjenčanog terena na primjeru jednoga klizišta.

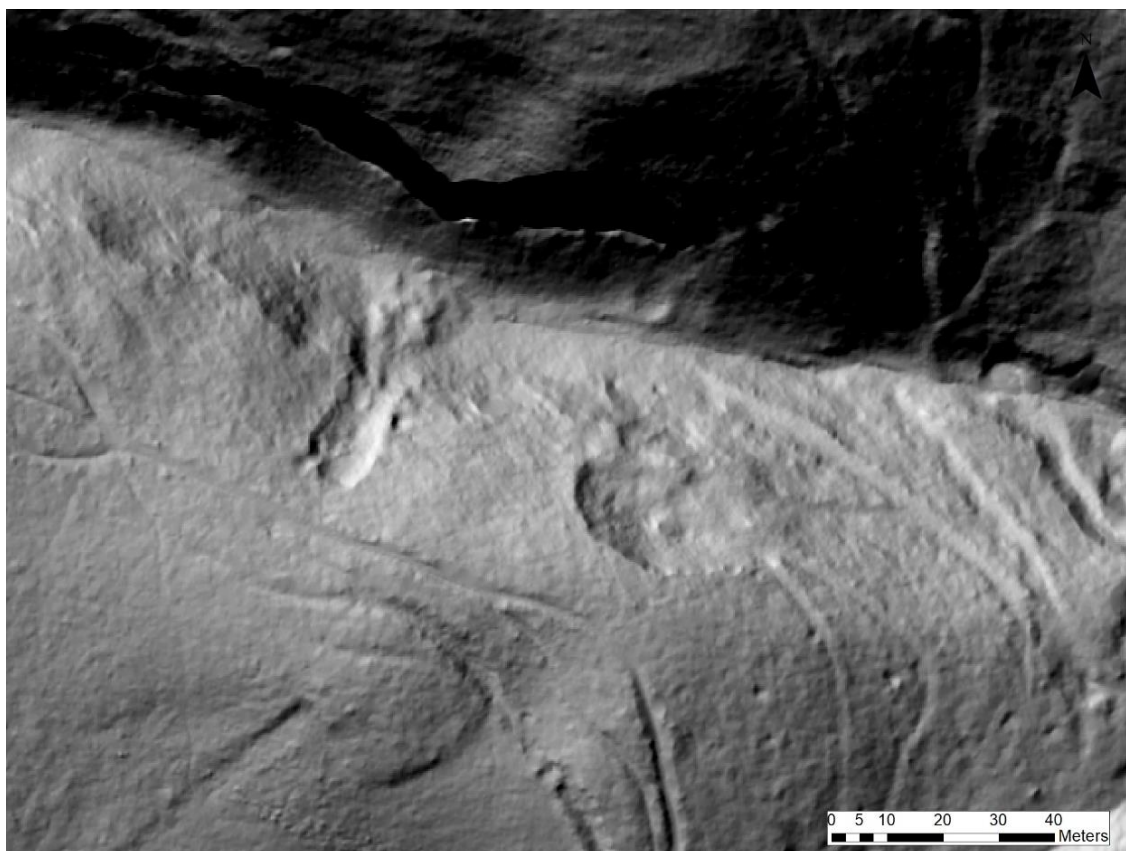


Slika 4-1 Različite rezolucije DMT jednog klizišta; a) DMT rezolucije 2 m; b) DMT rezolucije 1 m; c) DMT rezolucije 0,5 m; d) DMT rezolucije 0,3 m; e) DMT rezolucije 0,15 m

4.1. Morfometrijske karte izvedene iz LiDAR DMT-a za vizualnu identifikaciju i kartiranje klizišta

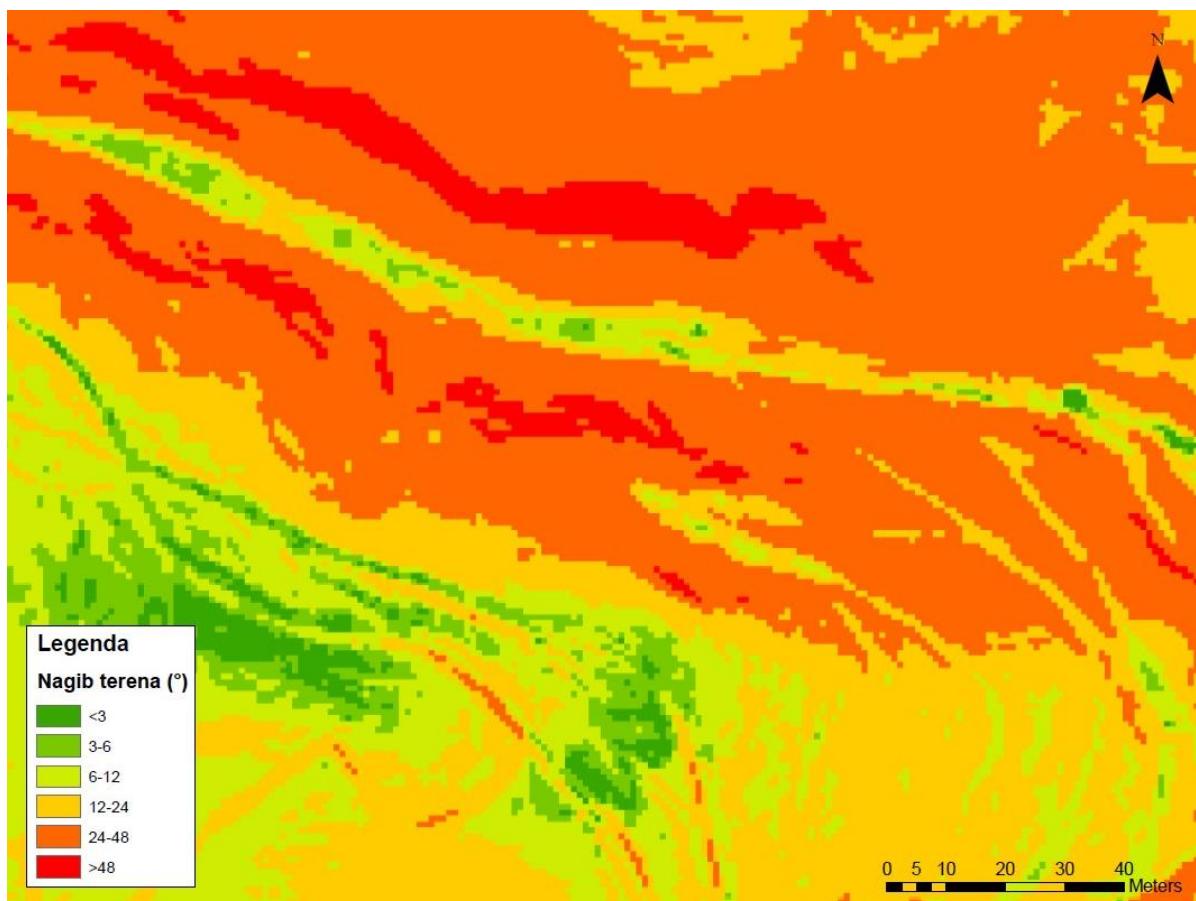
Morfometrijske karte korištene prilikom vizualne identifikacije klizišta u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba izrađene su u računalnom programu *ArcGIS-u 10.1* iz LiDAR DMT-a rezolucije 0,3x0,3 m. Za identifikaciju morfologije klizišta korištene su tri morfometrijske karte: karte osjenčanog reljefa (engl. *hillshade map*), karta nagiba terena (engl. *slope map*) i karta slojnica ekvidistancije 1m (engl. *conture map*).

Prema Guzzeti et al. 2012 karta osjenčanog reljefa (Slika 4-2) predstavlja pseudo-trodimenzionalni prikaz površine terena koji se koristi za vizualnu interpretaciju morfoloških karakteristika. Karta osjenčanosti izvedena je pomoću ekstenzije *Spatial Analyst* (alata *Hillshade*) pri čemu se simuliraju uvjeti iluminacije definirane azimutom položaja sunca u rasponu od 0° do 360° i kutom upada sunčevih zraka u rasponu od 0° do 90°. Svaka ćelija rastera poprima određenu vrijednost osvjetljenosti površine (0 do 255), ovisno o izravnoj izloženosti površine zadanim uvjetima iluminacije.



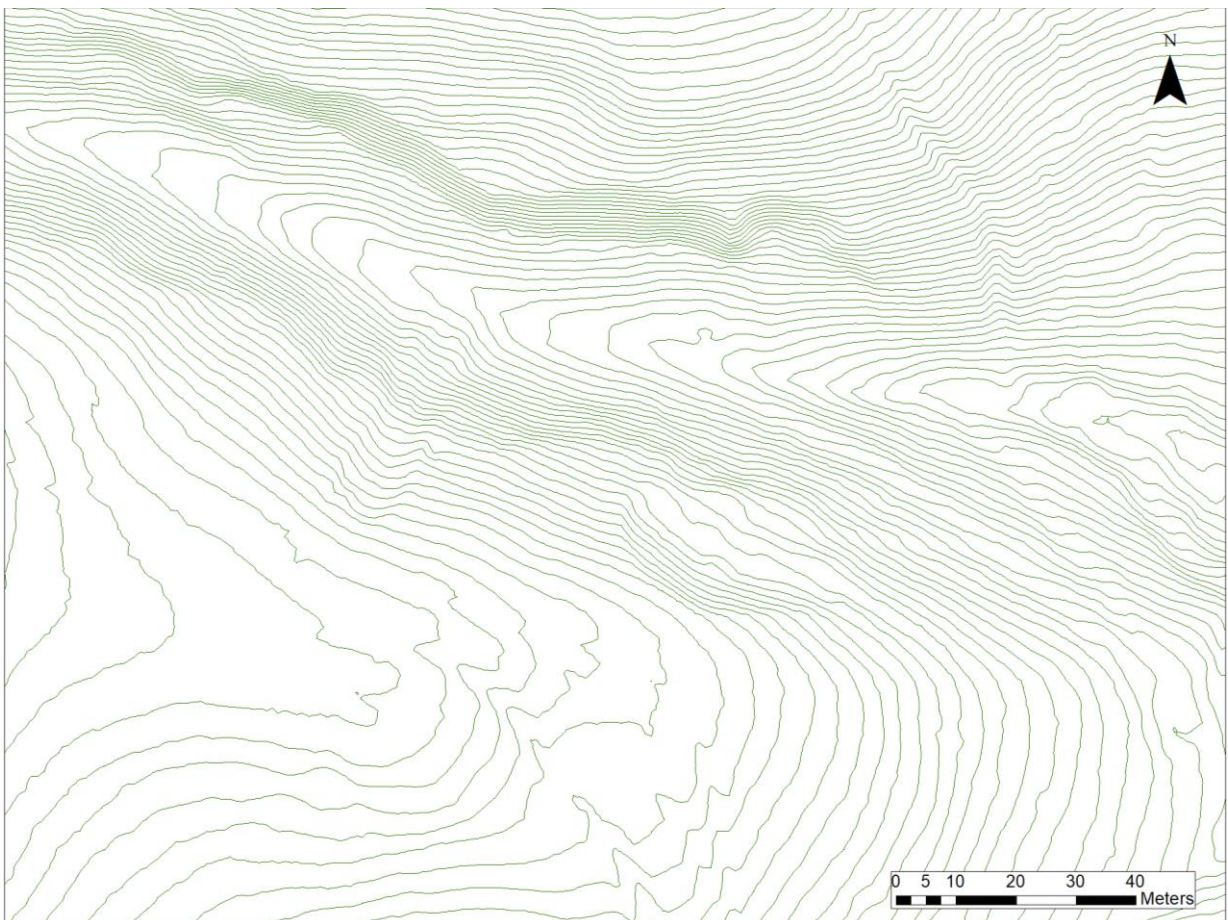
Slika 4-2 Karta osjenčanosti terena iluminacije 315°/45°

Nagib terena se često smatra najvažnijim morfometrijskim parametrom koji se koristi za učinkovitije analiziranje i opisivanje reljefa. Karta nagiba terena (Slika 4-3) izvedena je pomoću ekstenzije *Spatial Analyst* (alata *Slope*) te prikazuje prostornu distribuciju vrijednosti kutova nagiba u rasponu od 0° do 90°. Općenito, funkcija nagiba uklapa x-y plohu i z-vrijednost unutar područja od 3x3 ćelija, te različitim metodama za središnju ćeliju i osam susjednih ćelija računa vrijednost nagiba. Karta nagiba, osim što omogućava identifikaciju i klasifikaciju terena različitog nagiba, omogućava i identificiranje manjih promjena u reljefu, kao što su strmiji dijelovi klizišta, glavna pukotina, bokovi klizišta i nožica klizišta (Bernat Gazibara, 2019). Pomoću alata *reclassify* vrijednosti nagiba kategorizirane su u šest skupina ovisno o nagibu (<3°, 3°-6°, 6°-12°, 12°-24°, 24°-48° i >48°).



Slika 4-3 Karta nagiba terena

Karta slojnica (Slika 4-4) je vrlo značajna prilikom kartiranja granice klizišta, osobito u kombinaciji s kartom osjenčanog reljefa i kartom nagiba (Đomlija, 2018.). Karta slojnica s ekvidistancijom od 1 m izvedena je pomoću ekstenzije *Spatial Analyst* (alata *Contour*). Slojnice omogućavaju pouzdaniju identifikaciju reljefnih oblika, kao što su klizišta, jer jasno odražavaju specifične konveksne i konkavne dijelove terena, te na taj način ukazuju na zonu depresije i na zonu akumulacije. Kod aktivnih i relativno nedavno aktiviranih klizišta, moguće je vrlo precizno iscrtati granicu klizišta zbog karakterističnih „oštrih lomova“ slojnica (Bernat Gazibara, 2019).

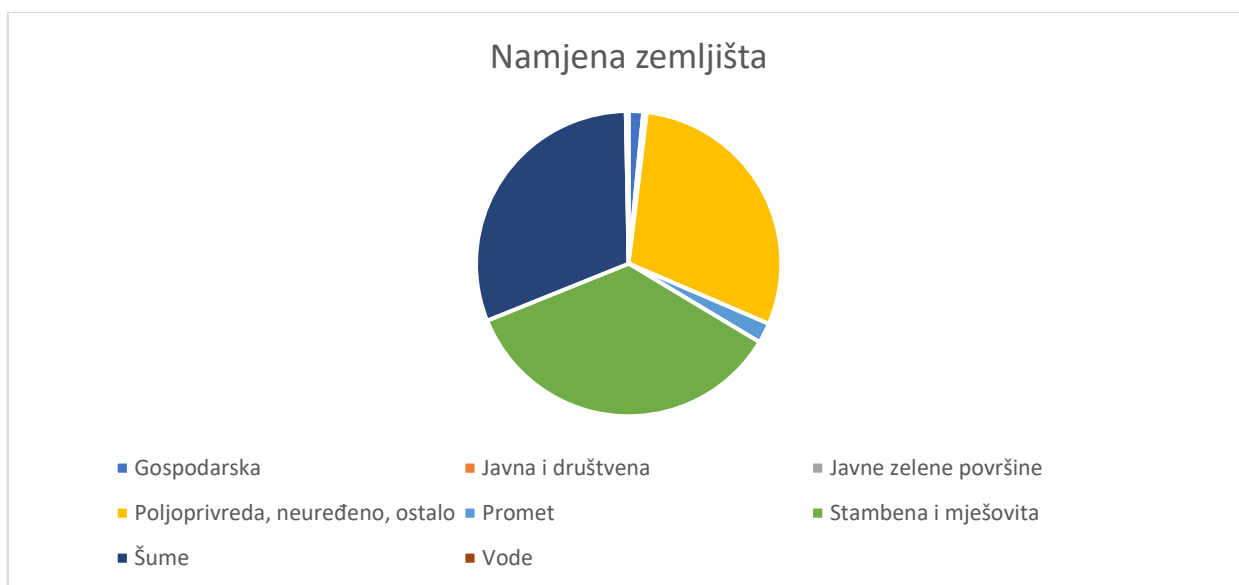


Slika 4-4 Karta slojnica ekvidistancije 1m

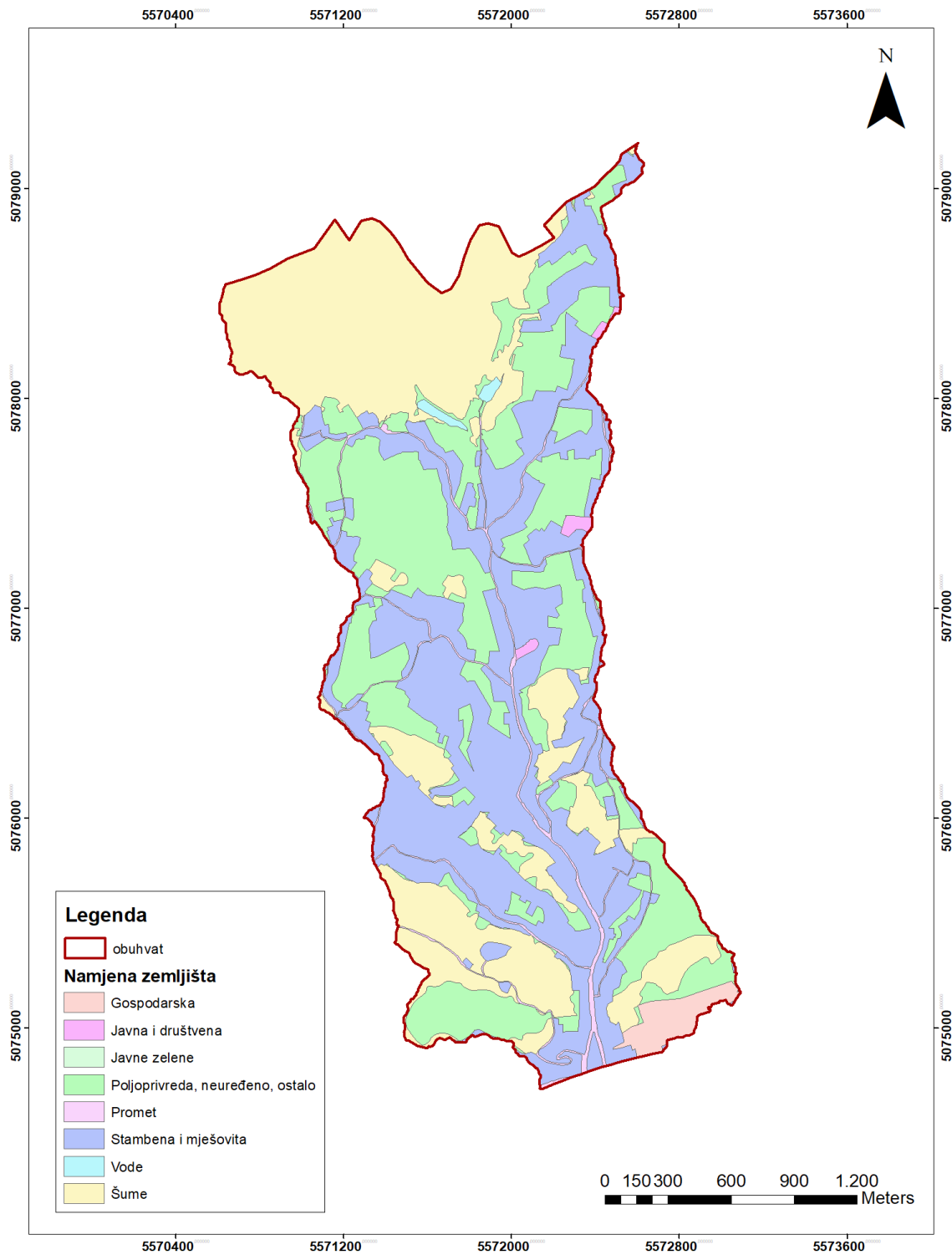
4.2. Namjena zemljišta

Urbani razvoj grada Zagreba određivan je nizom urbanističkih planova. Sadašnji prostorni plan smanjio je granice za urbani rast grada, ukazujući time na vrijednost neizgrađenog prostora i potrebu konsolidiranja grada, te se temelji na urbanoj obnovi kao razvojnom cilju. Konsolidacija urbanog područja trebala bi se poticati progušćivanjem izgrađenog područja, rehabilitacijom izgrađene urbane supstancije, očuvanjem i uređivanjem neizgrađenih prostora, te poboljšanjem urbane mreže i komunikacijskih sustava (Šagud, 2015). Kako bi se prostor optimalno iskoristio, potrebno je uzeti u obzir utjecaj klizišta na područje i integrirati karte podložnosti na klizanje u prostorne planove.

Informacije o namjeni zemljišta (Slika 4-5) odgovaraju stvarnoj namjeni zemljišta u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba te su kao gotove rasterske datoteke spremne za korištenje i analizu u ArcMap programu (Slika 4-6). Najveću površinu istraživanog područja zauzimaju „stambena i mješovita namjena“ s površinom od 1,95 km² ili 35% površine, „šume“ s 1,7 km² ili 31% površine te „poljoprivreda, neuređeno, ostalo“ s 1,63 km² ili 30% površine. Preostalih 4% površine zauzimaju „promet“ s 0,121 km², „gospodarska“ s 0,08 km², „javna i društvena“ s 0,02 km² te „voda“ s 0,01 km² (Slika 4-5).



Slika 4-5 Raspodjela namjene zemljišta na području istraživanja



Slika 4-6 Prikaz namjene zemljišta na istraživanom području

4.3. Postojeće karte klizišta na području podsljemenske zone Grada Zagreba

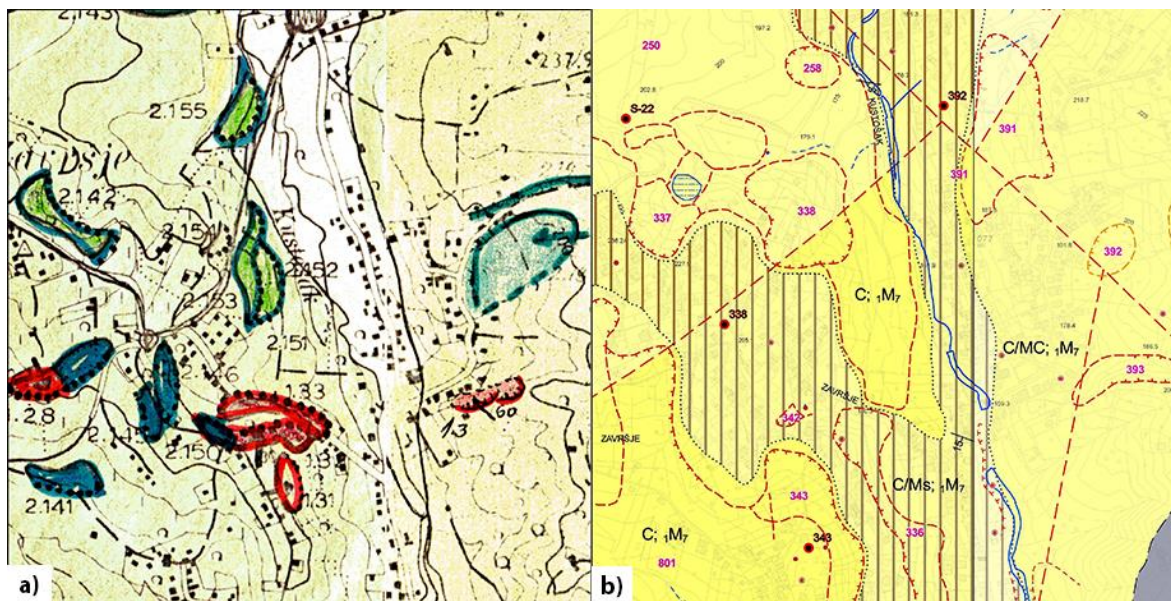
Na području podsljemenske zone, podaci za inventare klizišta prikupljeni su pet puta u proteklih 60 godina i to u okviru sljedećih studija ili istraživanja:

1. Studija „*Inženjerska geologija Zagreb – sjever i jug*“ (Šikić, 1967);
2. Studija „*Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti*“ (Polak et al., 1979);
3. Studija „*Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone u mjerilu 1:5 000, DIGK – Faza I*“ (Miklin et al., 2007);
4. Doktorska disertacija „*Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice*“ (Podolzski, 2014); i
5. Doktorska disertacija „*Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnoga modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba*“ (Bernat Gazibara, 2019).

U ovom radu korišteni su inventari iz 1979. (Slika 4-7a) i 2007. godine (Slika 4-7b) koji su u nastavku ukratko opisani.

Inventar klizišta iz 1979. za brežuljkasto područje grada Zagreba rađen je u okviru studije nazvane „*Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba*“ (Polak et al., 1979). Studiju je izradio tim stručnjaka iz bivše tvrtke „Geotehnika-Geoexpert d.o.o.“ na temelju opsežnih terenskih kartiranja klizišta i podataka iz arhive geotehničke dokumentacije. Inventar klizišta obuhvaća područje površine 105 km² te je izrađen na osnovi sustavnog terenskog kartiranja na topografskim kartama u mjerilu 1:10.000, a samo djelomično na osnovi daljinskih istraživanja, fotogrametrijskim analizama stereo-parova avionskih snimaka, te na temelju informacija iz arhive geotehničkih izvješća. U inventaru klizišta također su kartirane i pojave nastale puzanjem, odronjavanjem i erozijom, kao i nasipi i iskopi, močvare i siparišta (Šagud, 2015). U ovom inventaru registrirano je ukupno 1.019 pojava, od kojih je 812 klizišta (406 aktivna klizišta, 294 umirena klizišta, 112 pojava puzanja) i 58 siparišta. Ukupna površina klizišta je 2,44 km², odnosno 2,32 % površine područja istraživanja, a relativna gustoća klizišta je 9,7 klizišta/km². Površina kartiranih klizišta je u rasponu od 454 do 289.501 m², a najbrojnija klizišta u inventaru su površine između 4.000 i 5.000 m².

Hrvatski geološki institut (HGI) je 2007. godine izradio kartu inventara klizišta pod nazivom „Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone u mjerilu 1:5.000, DIGK – Faza I“, a izrađen je na temelju geomorfološkog kartiranja, geotehničkih izvješća i povijesnih podataka (Miklin et al. 2007). U ovom inventaru registrirano je ukupno 707 pojava (538 klizišta, 15 klizišta do tecišta, 14 odrona, 11 puzišta do klizišta, 114 puzišta i 15 pojava nedefiniranog tipa). Na većem dijelu područja istraživanja nisu određene granice pojedinačnih klizišta, nego veće zone, interpretirane kao nestabilne. Ukupna površina klizišta je 20,23 km², odnosno 11,56 % površine područja istraživanja, a relativna gustoća klizišta je 4,0 klizišta/km². Površina kartiranih klizišta je u rasponu od 284 do 927.168 m², a najbrojnija klizišta u inventaru su površine od oko 9.000 m². Podaci iz ovog inventara dostupni na službenom portalu za kartografske podatke grada Zagreba, odnosno na Geoportalu (<https://geoportal.zagreb.hr/>).



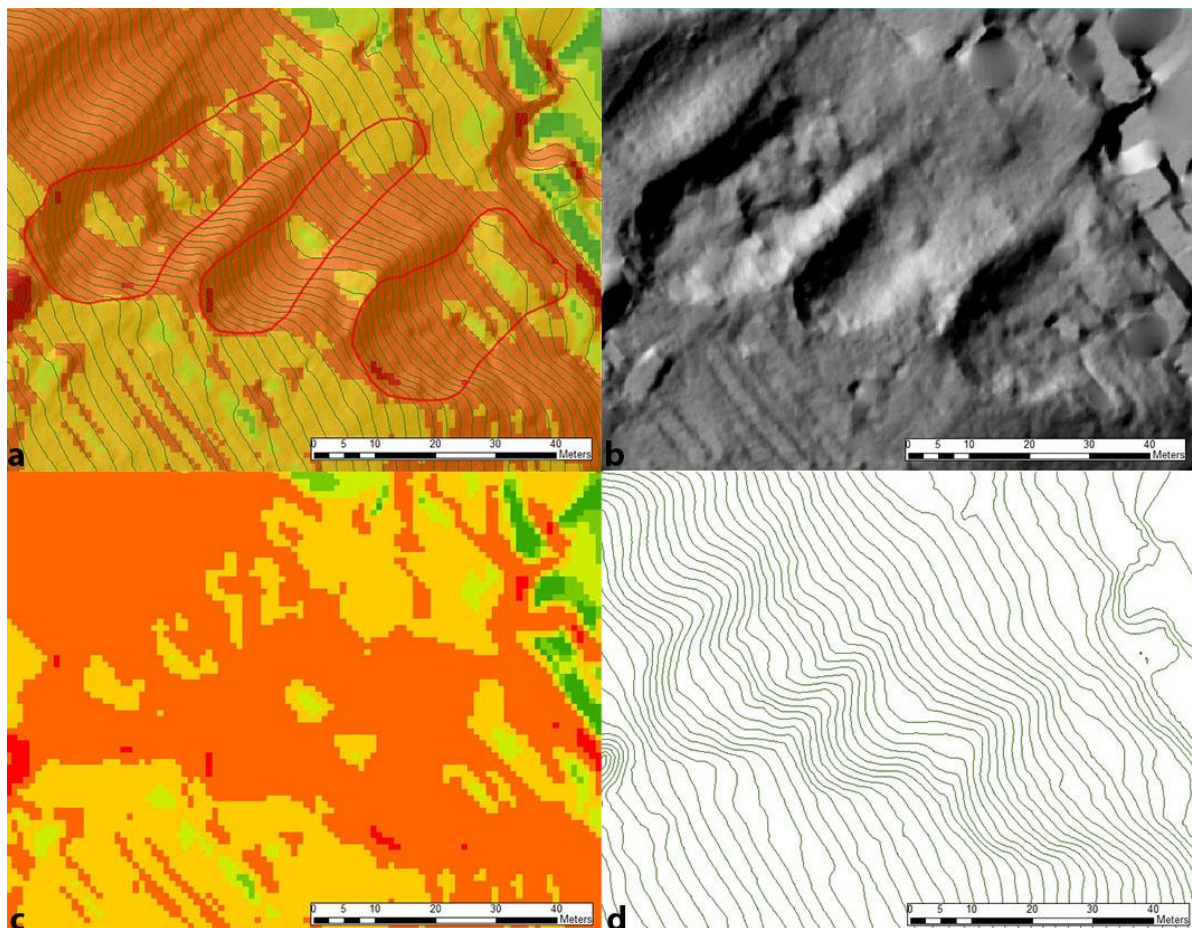
Slika 4-7 Isječci povijesnih inventara: a) inventar iz 1979. godine (Polak et al., 1979); b) inventar iz 2007. godine (Miklin et al., 2007)

5. Rezultati

5.1. Inventar klizišta dobiven vizualnom interpretacijom LiDAR DMT-a

LiDAR DMT visoke rezolucije i izvedene morfometrijske karte omogućavaju precizno i pouzdano kartiranje klizišta u detaljnom mjerilu, osobito na područjima prekrivenim gustom vegetacijom kao što je podsljemenska zona Grada Zagreba (Mihalić et al., 2011). Vizualna identifikacija i kartiranje klizišta provedena je interpretacijom morfometrijskih karata izvedenih iz LiDAR DMT-a snimljenog u prosincu 2013. godine.

Za identifikaciju morfologije klizišta korištene su tri morfometrijske karte (Slika 5-1), a to su karta osjenčanog reljefa, karta nagiba terena i karta slojnica ekvidistancije 1 m. Navedene karte izrađene su u *ArcGIS-u 10.1* iz DMT-a rezolucije 0,3x0,3 m.



Slika 5-1 Primjer klizišta identificiranih i kartiranih na izvedenim morfometrijskim kartama: (a) prozirna karta nagiba na karti osjenčanog reljefa sa slojnicama ekvidistancije 1 m; (b) karta osjenčanosti terena; (c) karta nagiba terena; (d) karta slojnica ekvidistancije 1m

Prilikom vizualne identifikacije i kartiranja klizišta, osim navedenih morfometrijskih karata, korištene su ortofoto (DOF) snimke iz 2019. godine (Slika 5-2). Avionske snimke korištene su kako bi se izvršila verifikacija, odnosno za provjeru jesu li pojedini morfološki oblici nastali antropogenim zahvatom u okolišu, npr. nasipi uz prometnice i građevine ili odlagališta otpada mogu imati sličnu morfologiju kao i klizišta na morfometrijskim kartama izvedenim iz LiDAR DMT-a (Bernat Gazibara 2019.). Ortofoto snimke se ne koriste za identifikaciju klizišta jer većina klizišta nije vidljiva zbog vegetacije, a manja klizišta nisu vidljiva zbog niske rezolucije snimke.



Slika 5-2 Primjer vidljivosti klizišta na DOF snimku iz 2019 godine

Klizišta su identificirana na temelju strme, konkavne glavne pukotine, zatim nožice klizišta karakterističnog konveksnog oblika te nepravilne morfologije samog klizišta koji su bili vidljivi na različitim kombinacijama morfometrijskih karata izvedenih iz LiDAR DMT-a (Slika 5.1).

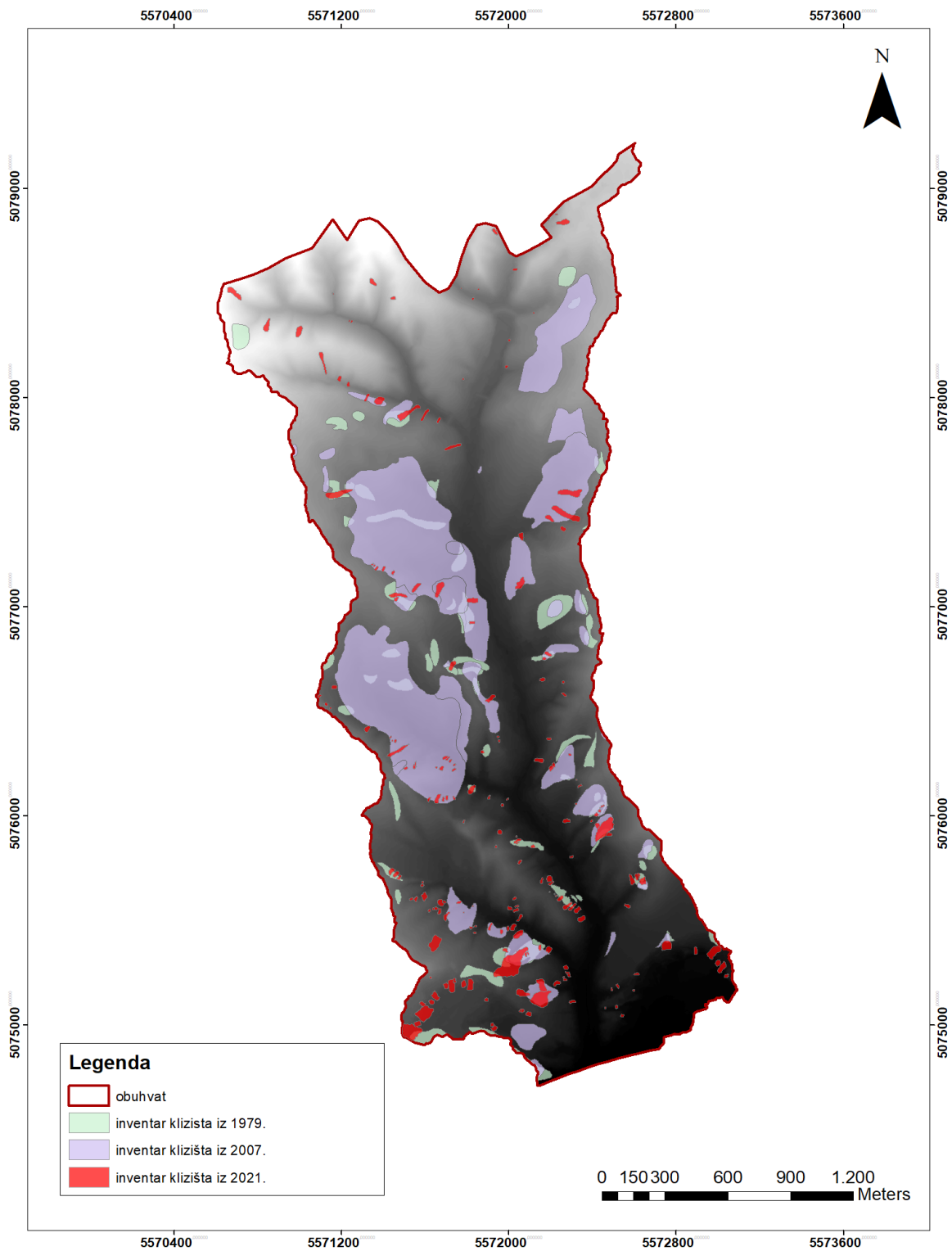
5.2. Usporedba inventara klizišta

Na slici 5-3 prikazana je usporedba triju inventara klizišta: Polak et al. (1979) izrađen na osnovi sustavnog terenskog kartiranja na topografskim kartama u mjerilu 1:10 000, Miklin et al. (2007) dobiven geomorfloškim istraživanjima te inventar dobiven interpretacijom LiDAR DMT-a (2021).

Na istraživanom području od 5,51 km², povijesni inventar iz 1979. godine sastoji se od 65 klizišta, inventar klizišta iz 2007. od 37 klizišta, a inventar dobiven interpretacijom LiDAR DMT-a sastoji se od 205 klizišta odnosno tri do pet puta više klizišta nego prijašnji inventari. Ukupna površina inventara iz 1979. godine iznosi 253.902 m², površina inventara iz 2013. godine je 1.064.825,13 m², dok inventar iz 2021. pokriva 133.631 m², odnosno dva do osam puta manju površinu. Najveće klizište u povijesnom inventaru iz 1979. prostire se na 18.638 m², u inventaru iz 2007. prostire se na 289.299,50 m², a u novom inventaru 11.495 m². Najmanje klizište dobiveno interpretacijom LiDAR DMT-a je 30 m², odnosno 16 puta manje nego u inventaru iz 2007. godine gdje je najmanje klizište bilo 495,50 m² tj. 15 puta manje od najmanjeg klizišta inventara iz 1979. U tablici 5-1 prikazani su statistički podaci inventara.

Tablica 5-1 Usporedba inventara klizišta

| | Ukupna površina (m ²) | Udio u istraživanom području (%) | Srednja površina (m ²) | Broj klizišta | MAX (m ²) | MIN (m ²) |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| Inventar(2021) | 133631,00 | 2,43% | 651,86 | 205 | 11495,00 | 30,00 |
| Inventar(2007) | 1064825,13 | 19,33% | 28779,06 | 37 | 289299,50 | 495,50 |
| Inventar(1979) | 253902,00 | 4,61% | 3906,18 | 65 | 18638,00 | 448,00 |



Slika 5-3 Usporedba inventara klizišta

U inventaru iz 1979. godine veličina klizišta je u rasponu od 448 m² do 18.638 m², s medijanom od 2.889 m². Najviše klizišta u ovom inventaru veličine je oko 7.500 m² kao što je vidljivo na slici 5-4 Inventar iz 2007. godine sadrži najveća klizišta od promatranih inventara i to u rasponu od 495,5 m² do 289.299,5 m². Ovaj inventar sadrži samo četiri klizišta manja od 2.000 m², dok je većina preko 5.000 m² (Slika 5-5).

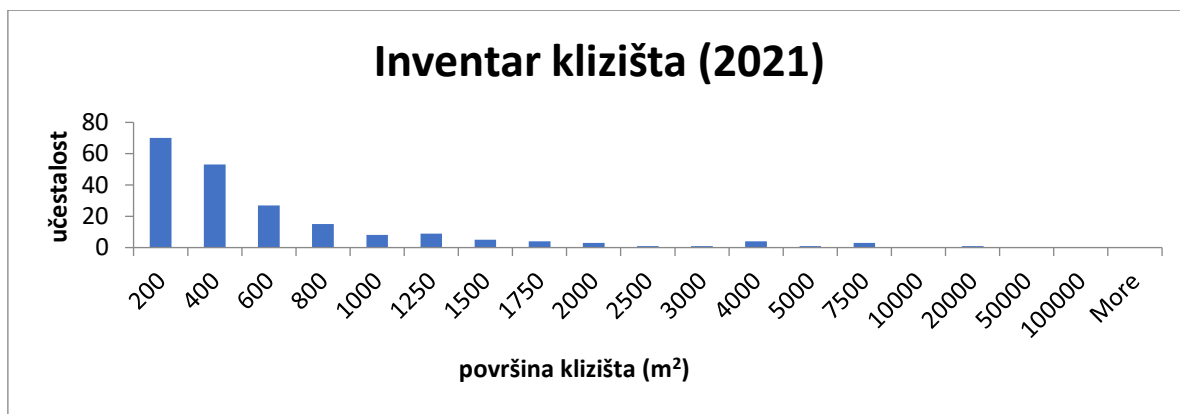
Na slici 5-6 prikazan je histogram veličine klizišta u inventaru iz 2021. godine. Veličina klizišta je u rasponu od 30 m² do 11.495 m², od čega je 75% manje od 800 m². Najveće klizište u ovom inventaru manje je nego srednja površina klizišta iz 2007. godine.



Slika 5-4 Histogram veličine klizišta u inventaru iz 1979

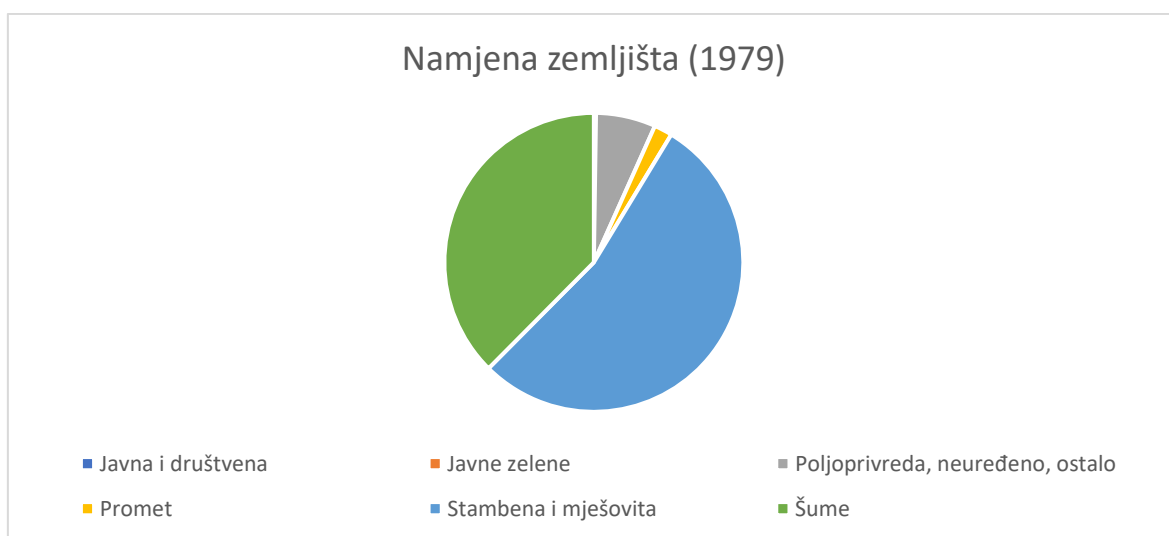


Slika 5-5 Histogram veličine klizišta u inventaru iz 2007



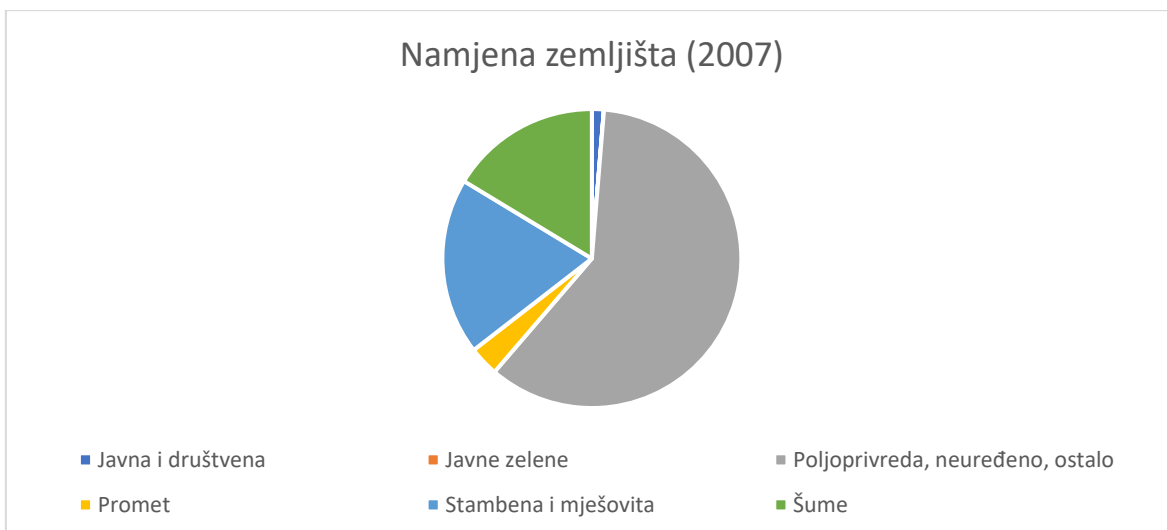
Slika 5-6 Histogram veličine klizišta u inventaru iz 2021

Klizišta inventara iz 1979. godine se pretežito nalaze na zemljištima sa stambenom i mješovitom namjenom (54% površine), zatim u šumama (38%), dok poljoprivreda, neuređeno i ostalo zauzima 6%, a promet samo 2% (Slika 5-7).



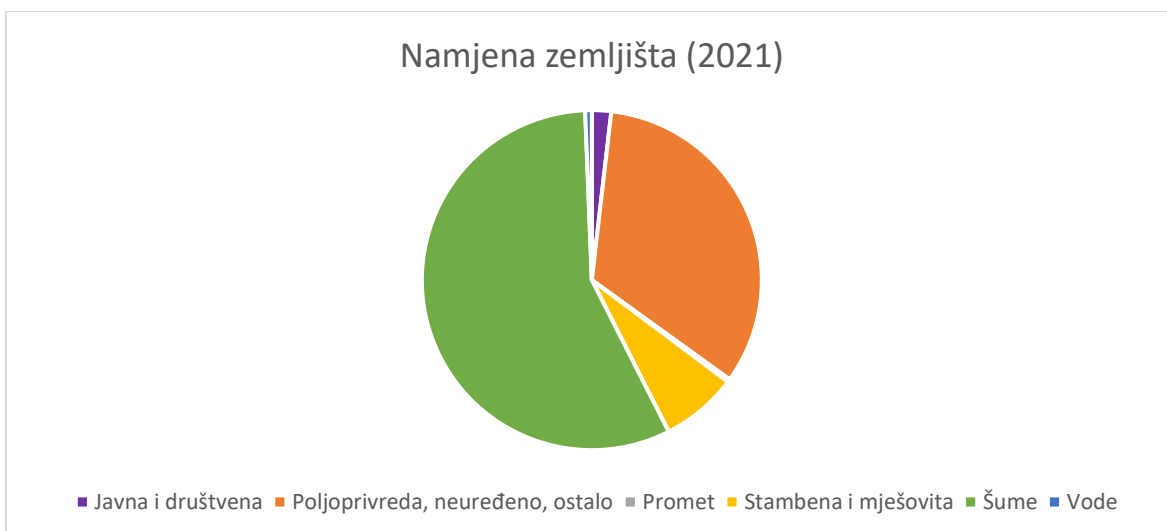
Slika 5-7 Površine klizišta s obzirom na namjenu zemljišta u inventaru iz 1979. godine

Podaci o namjeni zemljišta, na kojima se javljaju klizišta, u inventaru iz 2007. odstupaju od podataka iz starijeg inventara. Klizišta se u ovom inventaru najčešće javljaju na poljoprivrednim zemljištima (60% područja), zatim na zemljištima sa stambenom namjenom (19%) te u šumama (16%). Klizišta na prometnicama zauzimaju 3% površine a zatim slijede javna i društvena namjena s 1% (Slika 5-8).



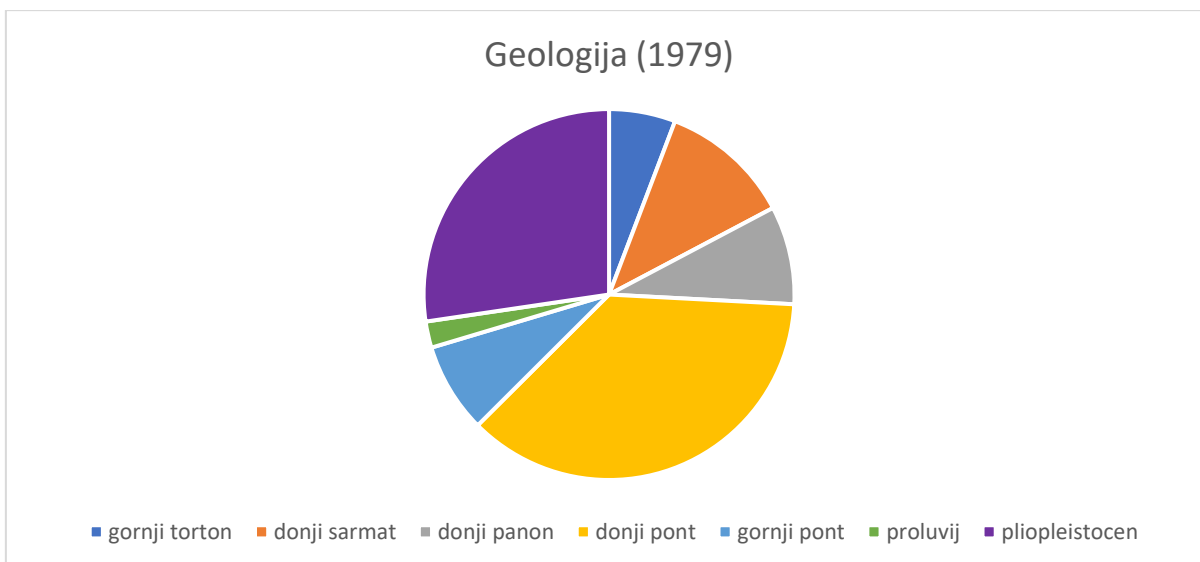
Slika 5-8 Površine klizišta s obzirom na namjenu zemljišta u inventaru iz 2007. godine

Inventar iz 2021. godine razlikuje se po tome, što se većina klizišta nalazi u šumama (57%) te zatim na poljoprivrednim zemljištima (33%). Na stambenu i mješovitu namjenu u ovom inventaru otpada samo 7% što je najmanje u promatranim inventarima (Slika 5-9).



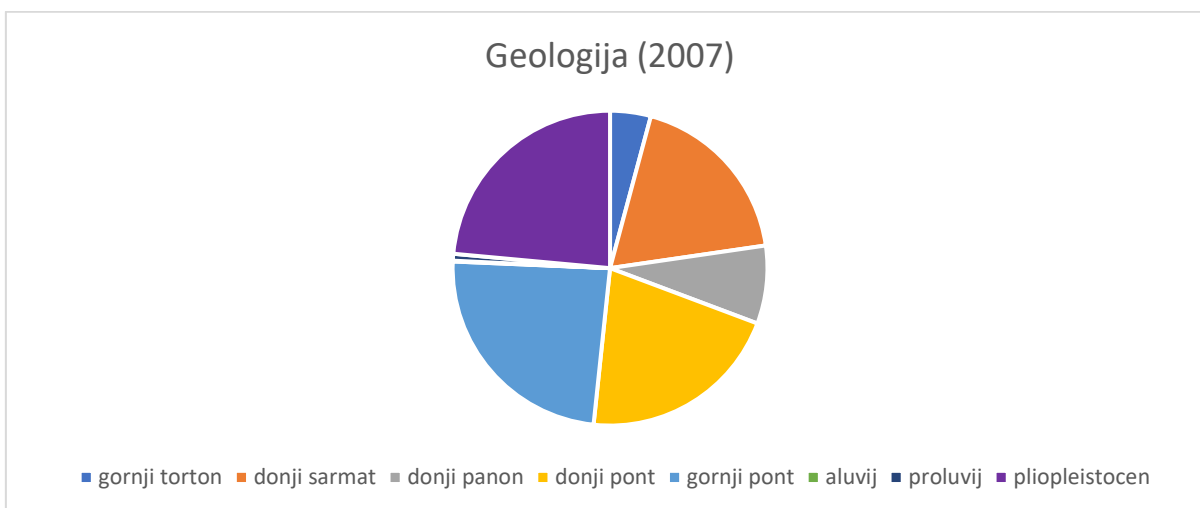
Slika 5-9 Površine klizišta s obzirom na namjenu zemljišta u inventaru iz 2021. godine

Najviše klizišta iz inventara 1979. godine pojavljuju se u naslagama donjopontske starosti (oko 37 % površine) te u pliopleistocenskim naslagama (oko 27% površine). U gornjopontskim, donjopanonskim i donjosarmatskim naslagama nalazi se oko 30 % klizišta, odnosno oko 10% u svakoj od njih (Slika 5-10).



Slika 5-10 Površine klizišta s obzirom na geološku starost u inventaru iz 1979. godine

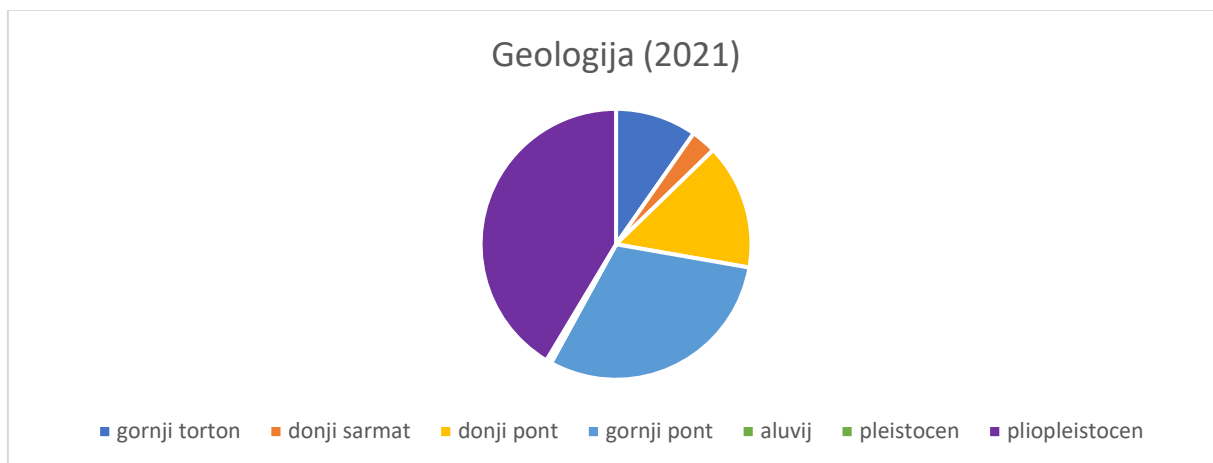
Inventar iz 2007. godine sadrži najviše klizišta u gornjopontskim i plioleistocenskim naslagama sa oko 24% površine za svaku od njih. Klizišta u donjosarmatskim naslagama zauzimaju oko 19 % površine, a u donjopontskim oko 21 % površine, što je skoro upola manje od starijeg inventara (Slika 5-11).



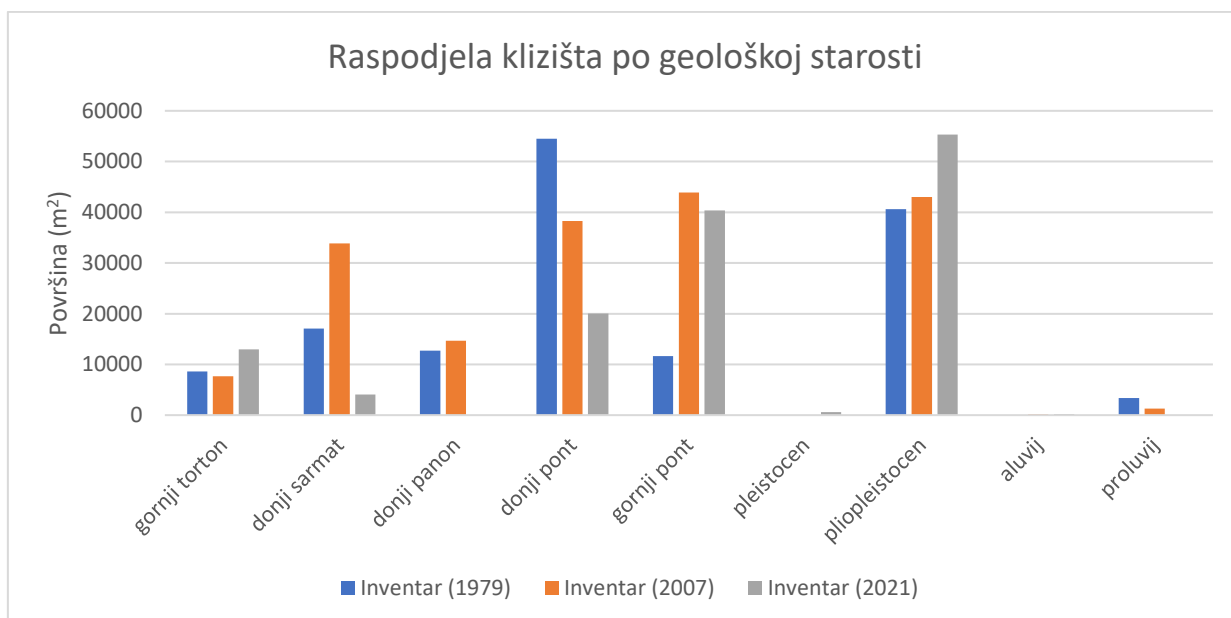
Slika 5-11 Površine klizišta s obzirom na geološku starost u inventaru iz 2007. godine

Podaci inventara iz 2021. godine razlikuju se po tome što se najveći udio klizišta nalazi u plioleistocenskim naslagama s oko 41 % površine, pa zatim gornjopontskim naslagama s

oko 30% površine. U ovom inventaru na klizišta u donjopontskim naslaga otpada još manji dio nego u prijašnjem inventaru sa 15 % površine, dok na gornjotortonske naslage otpada oko 10% površine (Slika 5-12). Na slici 5-13 prikazana je usporedba sva tri inventara s obzirom na geološku starost.

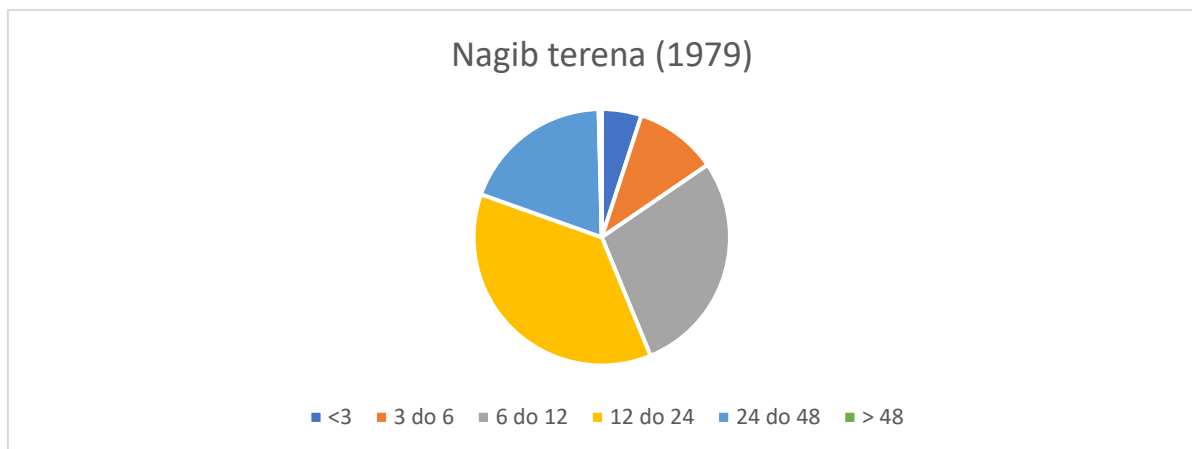


Slika 5-12 Površine klizišta s obzirom na geološku starost u inventaru iz 2021. godine

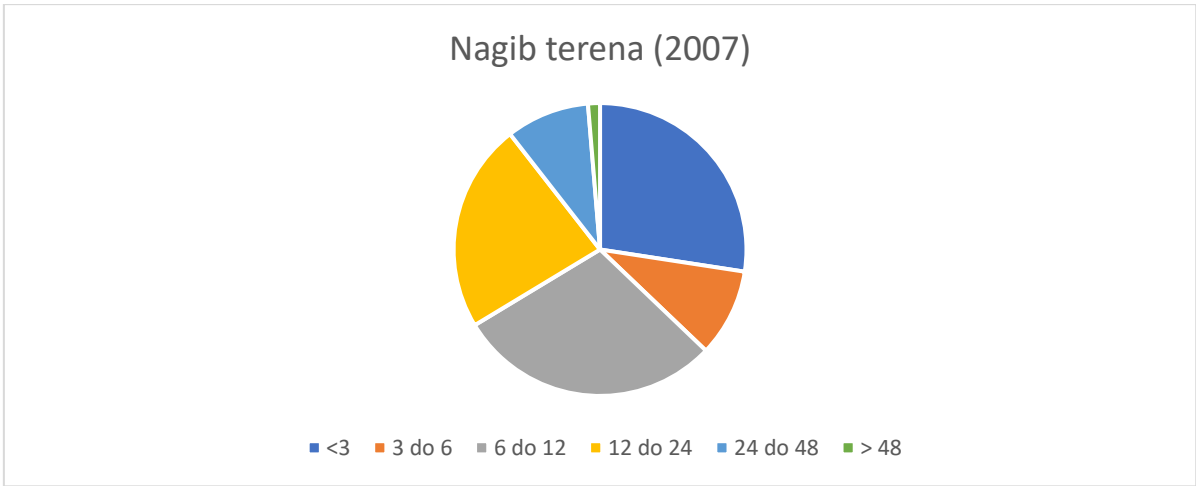


Slika 5-13 Raspodjela klizišta po geološkoj starosti

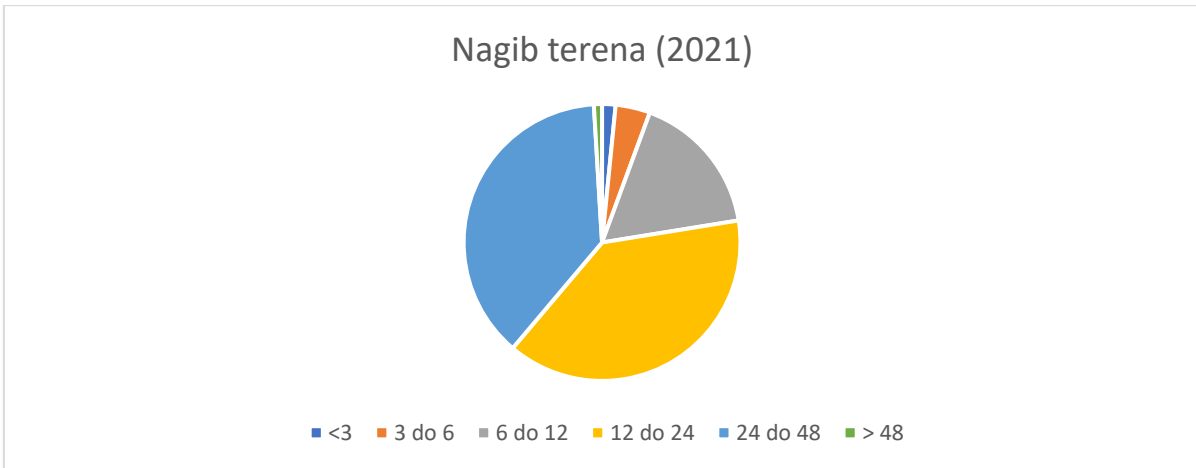
Inventari su uspoređeni i s obzirom na nagib terena, a inventar iz 2007. godine uvelike odstupa od preostala dva inventara po tom pogledu. Naime, u inventaru iz 2007. udio klizišta koji se javlja na nagibima $< 3^\circ$ je oko 27 % površine, dok na istu klasu u starijem inventaru otpada oko 5% površine, a u novom inventaru tek 2% površine. U starijim inventarima (Slika 5-14) na klasu nagiba od 3° do 6° otpada oko 0% površine, a u inventaru iz 2021. godine oko 4% površine. Klasa nagiba od 6° do 12° zauzima najveći udio površine klizišta iz 2007. godine s oko 29 % površine (Slika 5-15), dok u starijem inventaru zauzima oko 28 % površine, a u LiDAR inventaru samo 17% površine. Najveći udio klizišta u inventaru iz 1979. spada u klasu nagiba od 12° do 24° s oko 37 % površine, a ista klasa nagiba zauzima i najveći dio klizišta inventara iz 2021. godine s oko 39 % površine. Nagibi od 24° do 48° zauzimaju oko 19 % površine inventara iz 1979. godine, oko 9 % površine inventara iz 2007.godine i oko 38 % površine novog inventara (Slika 5-16). Klasa nagiba $>48^\circ$ u svim inventarima zauzima tek 1 % površine. Na slici 5-17 prikazana je usporedba sva tri inventara s obzirom na klasu nagiba terena.



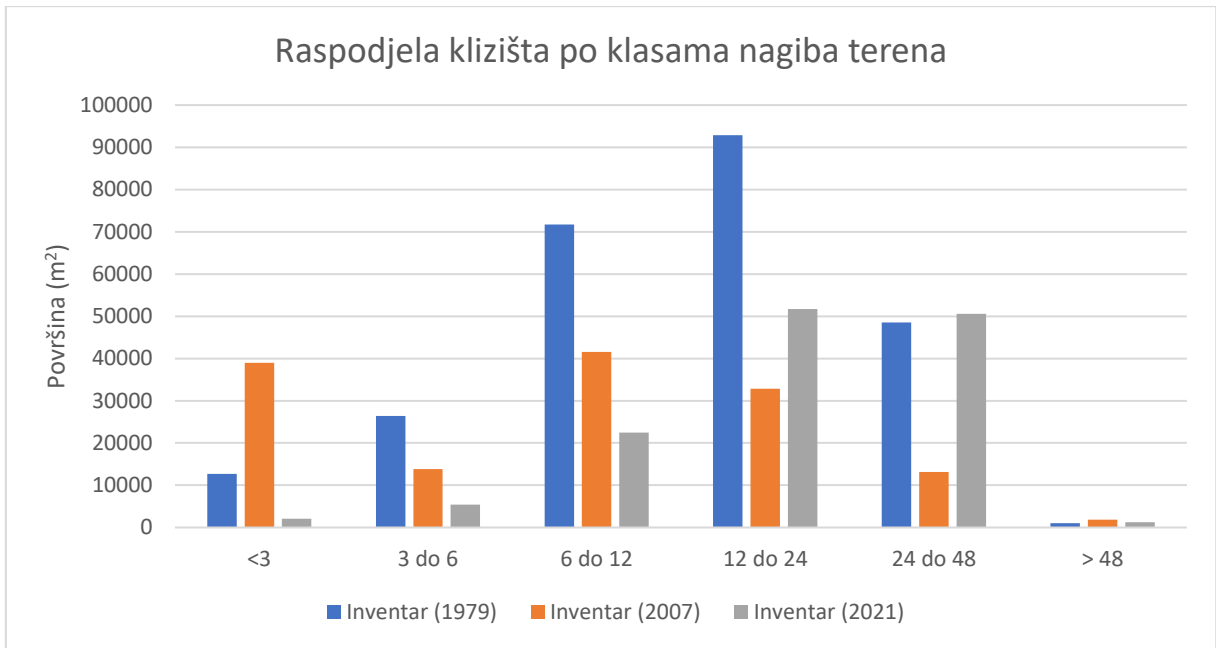
Slika 5-14 Površine klizišta s obzirom na nagib terena u inventaru iz 1979. godine



Slika 5-15 Površine klizišta s obzirom na nagib terena u inventaru iz 2007. godine



Slika 5-16 Površine klizišta s obzirom na nagib terena u inventaru iz 2021. godine



Slika 5-17 Raspodjela klizišta po klasama nagiba terena

6. Zaključak

U ovom radu provedena je identifikacija klizišta na DMT-a dobivenom LiDAR snimanjem. Ukupno je otkriveno 205 klizišta te su lokacije predstavljene konturama klizišta. Ukupna površina zahvaćena klizanjem iznosi 133.631 m² što predstavlja 2,4% površine istraživanja. Srednja veličina klizišta u LiDAR inventaru iznosi 651,86 m², a 75% kartiranih klizišta je manje od 800 m². Klizišta se najvećim dijelom nalaze u klasama nagiba terena od 12° do 24° (oko 39% površine) i od 24° do 48° (oko 38% površine). Padine su generalno orijentirane prema sjeveroistoku (oko 23% površine), istoku (oko 16% površine), sjeveru (oko 14% površine) te jugoistoku (oko 14% površine). Najviše se klizišta javlja u naslagama pliopleistocenske starosti (oko 41% površine), a zatim u gornjopontskim (oko 30% površine), donjopontskim (oko 15% površine) te gornjotortonskim naslagama (oko 10% površine).

Inventar iz 2021. godine je uspoređen s dosadašnjim inventarima, a dobiveni podaci razlikuju se uvelike prema veličini, distribuciji i gustoći klizišta. Novi inventar klizišta razlikuje se znatno po broju kartiranih klizišta te njihovoj veličini, a razlog tome je nepristupačni teren, subjektivnost istraživača i što su kartiranja izvedena u velikim vremenskim razmacima. Povijesni inventar iz 1979. godine relativno je sličan novom inventaru s obzirom na red veličine klizišta, ali inventar iz 2007. godine razlikuje se uvelike po veličini klizišta. Tako je pr. najveće klizište ovog inventara dvostruko veće od ukupne površine iskartiranih klizišta LiDAR snimanjem.

Kao neophodan podatak koji je temelj svih analiza podložnosti na klizanje ističe se inventar klizišta i njegova pouzdanost te točnost. Poznato je da je, generalno gledajući, velika većina korištenih inventara sa stajališta sitnog mjerila nepotpuna, što je glavni problem s kojim se stručnjaci suočavaju prilikom izvođenja analiza (Boričević, 2020).

Iz provedene usporedbe može se zaključiti da LiDAR DMT visoke rezolucije i izvedene morfometrijske karte omogućavaju precizno i pouzdano kartiranje klizišta u detaljnom mjerilu, osobito na područjima prekrivenim gustom vegetacijom kao što je podsljemenska zona Grada Zagreba. Nedostatak LiDAR snimanja je što identifikacija dugo traje kod većih područja i visoka cijena snimka, no ona je isplativa ako se uzme u obzir kvaliteta dobivenih podataka. LiDAR snimke se mogu koristiti i u drugim strukama, tako bi se sa jednim snimanjem dobilo podatke koji se mogu koristiti za više različitih projekata.

7. Literatura

- BERNAT GAZIBARA, S., 2019. Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnoga modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, doktorska disertacija, str. 35-149.
- BORIČEVIĆ, M., 2020. Preliminarna analiza podložnosti na klizanje grada Jastrebarsko, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, diplomski rad, str. 84
- CROZIER, M. J., 1986. Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Helm Ltd, London,
- ĐOMLIJA, P., 2018. Identifikacija i klasifikacija klizišta i erozije vizualnom interpretacijom digitalnoga modela reljefa Vinodolske udoline, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, doktorska disertacija,
- GUZZETTI, F., CESARE MONDINI, A., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M., CHANG, K.T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), str. 42-66.
- MIKLIN, T., MLINAR, T., BRKIĆ, T., HEĆIMOVIĆ, I., DOLIĆ, M., 2007. Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone u mjerilu 1:5.000 (DIGK-Faza I). Izvještaj. Knjige 1-4, 44 priloga. Zagreb: Hrvatski geološki institut.
- MIHALIĆ, S., BERNAT, S., HAMASAKI, E., GERBER, N., 2011. Historical landslides in the City of Zagreb: Landslide distribution analysis and 3D modeling of typical landslides in ADCALC3D. U: *Proceedings of the 2nd Japanese-Croatian Project Workshop*. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, 2011, str. 122-126.
- POLAK, K., KLEMAR, M., NEJKOVA, M., RADOŠEVIĆ, N., STEPAN, Z., MIROSLAV, M., KRITANIĆ, Z., 1979. Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba. Zagreb: Geotehnika-Geoexpert, 107 str.
- ŠAGUD, D., 2015. Statistička analiza inventara klizišta Podsljemenske zone iz 1979. Godine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, diplomski rad, str. 9-21.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, A., ŠIMUNIĆ, A., 1972., Osnovna geološka karta 1:100 000 I tumač za List Zagreb, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1972.

VAN WESTEN, C.J., CASTELLANOS, E., KURIAKOSE, S.L., 2008., Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: an overview, Engineering Geology, str. 112-131.

WP/WLI, 1993., Multilingual landslide glossary, Bitech Publishers Ltd, Richmond, British Columbia, Canada, str. 59

WEB izvori:

WMS server DGU, <https://geoportal.dgu.hr/> (15.6.2021.)