

# Statistička analiza inventara klizišta Podsljemenske zone iz 1979. godine

---

Šagud, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*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:169:222532>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**STATISTIČKA ANALIZA INVENTARA KLIZIŠTA PODSLJEMENSKE ZONE IZ 1979.  
GODINE**

Diplomski rad

Davor Šagud  
GI-163

Zagreb, 2015. godine

**Zahvale:**

*Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svojoj mentorici dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas na stručnim savjetima i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada, i što je uvijek imala strpljenja i vremena za moje brojne upite.*

*Zahvale profesorici dr.sc Rajni Rajić na prijedlozima i konzultacijama kojima je doprinijela kvaliteti rada.*

*Također, zahvaljujem se svim svojim prijateljima i kolegama, koji su uvijek bili uz mene i bez kojih cijeli ovaj tijek mog studiranja ne bi prošao tako lako i zabavno.*

*Posebnu zahvalnost iskazujem djevojci i cijeloj svojoj obitelji koja me je uvijek podržavala i upućivala na pravi put.*

*I na kraju, najveću zaslugu za ono što sam postigao pripisujem svojim roditeljima bez kojih sve ovo ne bi bilo moguće.*

*Veliko hvala svima!*

STATISTIČKA ANALIZA  
INVENTARA KLIZIŠTA PODSLJEMENSKE ZONE IZ 1979. GODINE

DAVOR ŠAGUD

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

U radu je opisano istraživanje područja južnih obronaka Medvednice u Gradu Zagrebu obuhvaćeno granicama inventara klizišta iz 1979. godine kojega je izradila tvrtka Geotehnika-Geoexpert, ukupne površine 105 km<sup>2</sup>. Na ovom području brojna klizišta predstavljaju prijetnju lokalnom stanovništvu i imovini. Podaci o klizištima na brdovitom području grada Zagreba u Podsljemenskoj zoni sustavno su prikupljeni tri puta u posljednjih 50 godina. Dobiveni inventari klizišta međusobno su različiti s obzirom na prostorni položaj klizišta i njihovu veličinu. Velike razlike među povijesnim podacima o klizištima u Podsljemenskoj zoni ukazuju na nepouzdanost podataka o klizištima u postojećim inventarima. Svrha diplomskog rada bila je statistička analiza inventara klizišta iz 1979. godine kako bi se dobio uvid u karakteristična klizišta Podsljemenske zone s obzirom na njihovu veličinu. Ciljevi diplomskog rada bili su digitalizacija analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine, statistička analiza aktivnih i umirenih klizišta i pojava nastalih puzanjem (tzv. puzišta), te interpretacija rezultata s obzirom na karakteristične veličine registriranih klizišta i procjena veličine potencijalnih klizišta. Statističkom analizom obuhvaćeno je 931 klizište i 65 puzišta veličine od 0,41 do 289.341 m<sup>2</sup>. Na području inventara klizišta gustoća klizišta je 9,5 klizišta/km<sup>2</sup>, odnosno 6,2% površine inventara, a njihova ukupna površina je 6,5 km<sup>2</sup>. Rezultati statističkih analiza uspoređeni su s istovrsnim analizama inventara klizišta iz 1979. godine opisanim u disertaciji Podolszki (2014) čiji rezultati su: 812 klizišta raspona površina od 454 do 289.501 m<sup>2</sup>, ukupne površine 9,1 km<sup>2</sup>, odnosno 8,7% cjelokupne površine. Učestalost klizišta različita je za aktivna i za neaktivna klizišta, odnosno puzišta te za klizišta pouzdano i nepouzdanu određenih granica. Općenito se može reći da maksimalnu učestalost imaju klizišta u rasponu površina od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> i to 80 klizišta ili približno 8,03% svih klizišta i puzišta inventara. Rezultati istraživanja potvrdili su veliku gustoću klizišta u Podsljemenskoj zoni, ali je njihova prosječna površina manja nego prosječne površine klizišta u postojećim inventarima. Dominantne vrste klizišta su mala klizišta koja većinom ugrožavaju stambene objekte. Najčešći uzrok su oborine te ljudska aktivnost.

Ključne riječi: klizište, inventar klizišta, statistička analiza, Podsljemenska zona, grad Zagreb  
Diplomski rad sadrži: 47 stranica, 5 tablica, 25 slika i 26 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas  
Pomoć pri izradi: Sanja Bernat, mag.ing.geol.  
Dr. sc. Martin Krkač

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF  
Izv. prof. dr. sc. Rajna Rajić, RGNF  
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, RGNF

Datum obrane: 30. rujna 2015.

STATISTICAL ANALYSIS  
OF LANDSLIDE INVENTORY OF THE PODSLJEME AREA FROM 1979

DAVOR ŠAGUD

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

This work describes research of southern and southeastern hills of Medvednica Mt. in the City of Zagreb encompassed by the boundaries of the landslide inventory from 1979 which was created by Geotehnika-Geoexpert, with the total area of 105 km<sup>2</sup>. Numerous landslides at the area pose a threat to the local population and property. Data about landslides at the hilly area of the Zagreb city (Podsljeme area) was systematically collected three times in last 50 years. This three historical landslide inventories shows that there are significant differences in number of identified landslides as well as in its size. High differences between historical data on landslides in the Podsljeme area indicate the unreliability of the data about landslides in existing inventories. The general objective of the diploma thesis was statistical analyses of landslide inventory from 1979 in order to gain insight into the typical landslide size of Podsljeme area. Specific objectives were digitization of landslide inventory analogue map, statistical analyses of active and inactive landslides and creeping sliding phenomena and interpretation of results due to the characteristic size of registered landslides and size estimate of potential landslides. Statistical analyses encompassed 931 landslides and 65 creeping phenomena with the size from 0,41 to 289.341 m<sup>2</sup>. Landslide density at the area of the inventory is 9,5 landslides per square kilometer, i.e., 6,2% of the inventory area, and its total area is 6,5 square kilometer. Results of statistical analyses were compared with the analyses of the inventory from 1979 described in the PhD thesis Podolszki (2014) which are as follows: 812 landslides with the area from 454 to 289.501 square kilometer, total landslide area of 9,1 km<sup>2</sup>, i.e., 8,7% of the inventory area. Landslide frequency differs for active and inactive landslides and creeping phenomena and for landslides with reliable and unreliable determined landslide contours. Generally, maximum frequency have landslides ranging from 1.995 to 2.511 m<sup>2</sup> in which are 80 landslides or approximately 8,03% of all landslides and creeping sliding phenomena of inventory. The research results confirmed high density of landslides in the Podsljeme zone but their average size is less than the average size of the landslide in existing inventories. The dominant landslide types are small and shallow landslides, which are most frequently triggered by precipitation and man-made activities.

Keywords: landslide, landslide inventory, statistical analysis, Podsljeme area, City of Zagreb

Thesis contains: 47 pages, 5 tables, 25 figures and 26 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Ph. D Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor

Technical support and assistance: Sanja Bernat, MEng  
PhD Martin Krkač

Reviewers: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor, RGNF  
PhD Rajna Rajić, Associate Professor, RGNF  
PhD Željko Arbanas, Full Professor, RGNF

Date of defense: September 30, 2015

# SADRŽAJ

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <i>Popis slika</i> .....   | <i>v</i>   |
| <i>Popis tablica</i> ..... | <i>vii</i> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2. PRIRODNI UVJETI NA PODRUČJU PODSLJEMENSKE ZONE</b> .....                          | <b>6</b>  |
| 2.1 Značajke stijena i tala .....   | 7         |
| 2.2 Geomorfološki uvjeti .....  | 10        |
| 2.3 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti .....   | 12        |
| 2.4 Aktivni geomorfološki procesi .....   | 15        |
| 2.5 Korištenje zemljišta .....  | 18        |
| <b>3. POSTOJEĆI PODACI O INVENTARU KLIZIŠTA IZ 1979. GODINE</b> .....                   | <b>21</b> |
| 3.1 Opis inventara klizišta iz 1979. godine .....                                       | 21        |
| 3.2 Statistička analiza inventara klizišta iz 1979. godine prema Podolszkom (2014)..... | 23        |
| <b>4. STATISTIČKA ANALIZA INVENTARA KLIZIŠTA IZ 1979. GODINE</b> .....                  | <b>25</b> |
| 4.1 Statistička analiza aktivnih klizišta.....  | 26        |
| 4.2 Statistička analiza neaktivnih klizišta.....  | 29        |
| 4.3 Statistička analiza pužišta.....  | 32        |
| <b>5. RASPRAVA</b> .....  | <b>34</b> |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....   | <b>42</b> |
| <b>7. LITERATURA</b> .....  | <b>44</b> |

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 1.1</b> Karta reljefa grada Zagreba i Podsljemenske zone (modificirano prema Bernat i dr. 2014).....   | 1  |
| <b>Slika 1.2</b> Pojednostavljena geološka karta područja obronaka Medvednice u Podsljemenskoj zoni s prikazanim granicama tri povijesna inventara klizišta iz 1967. (Šikić 1967), 1979. (Polak i dr. 1979) i 2007. (Miklin i dr. 2007) preuzeta iz Podolszki (2014).....   | 2  |
| <b>Slika 2.1</b> Pogled iz zraka na istraživano područje u gradu Zagrebu smješteno na južnim obroncima Medvednice i u ravničarskom području oko rijeke Save (izvor: Google Earth 2015).....   | 7  |
| <b>Slika 2.2</b> Geološka karta Zagreba i Podsljemenske zone (modificirano prema Bernat i dr. 2014).....  | 8  |
| <b>Slika 2.3</b> Zone inženjerskogeoloških uvjeta prema Jurak i dr. (2008): a) geološka karta s generaliziranim stratigrafskim jedinicama; b) karta nagiba (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr. 2012).....   | 10 |
| <b>Slika 2.4</b> Mjesečna oborina izračunata za razdoblje od siječnja do ožujka 2013. godine na temelju podataka od 1961. do 1990 (modificirano prema Bernat i dr. 2014).....   | 12 |
| <b>Slika 2.5</b> Kumulativna količina oborina šest meteoroloških postaja za razdoblje od 1. siječnja do 7. travnja 2013. godina (modificirano prema Bernat i dr. 2014).....   | 13 |
| <b>Slika 2.6</b> Tipična klizišta u Podsljemenskoj zoni u odnosu na kuće (modificirano prema Mihalić i dr. 2011).....   | 15 |
| <b>Slika 2.7</b> Dnevne oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič i broj (re)aktiviranih klizišta od siječnja do travnja 2013. godine (modificirano prema Bernat i dr. 2014).....  | 16 |
| <b>Slika 2.8</b> Klizišta koja su ugrozila ili uništila kuću ili prometnice u razdoblju zime i proljeća 2013. godine (Bernat i dr. 2014).....   | 16 |
| <b>Slika 2.9</b> Karta klizišta potaknutih oborinama u razdoblju od 1. siječnja do 7. travnja 2013. godine (modificirano prema Bernat i dr. 2014).....  | 17 |
| <b>Slika 2.10</b> Namjena zemljišta prema prostornom planu grada Zagreba (izvor: Geoportal Grada Zagreba, <a href="https://geoportal.zagreb.hr/Karta?tk=6">https://geoportal.zagreb.hr/Karta?tk=6</a> , 2015).....  | 19 |
| <b>Slika 2.11</b> Detaljan prikaz rasporeda urbaniziranog područja i vegetacije u analiziranom području Podsljemenske zone (modificirano prema Belić i dr. 2014).....   | 20 |
| <b>Slika 3.1</b> Isječci karata klizišta iz studije „Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba“ (Polak i dr. 1979) za područje Podsuseda: a) litološka karta u mjerilu 1:10.000 s granicama klizišta od kojih su dva aktivna (klizište br. 1.1, 1.2) i dva neaktivna (klizište br. 2.1, 2.2); b) karta podložnosti na klizanje u mjerilu 1:10.000. Točkasta područja predstavljaju zonu II – umjereno stabilne padine; područja s vertikalnim linijama predstavljaju zonu III – umjereno nestabilne padine. .... | 22 |
| <b>Slika 3.2</b> Učestalosti površina klizišta prema Podolszkom (2014) na području južnih obronaka Medvednice prema povijesnom inventaru iz 1979. godine (Polak i dr. 1979).....  | 23 |
| <b>Slika 4.1</b> Učestalost površine 227 aktivnih klizišta okonturenih kao poligoni na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina  |    |

|  |    |
|--|----|
| klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu .....   | 27 |
| <b>Slika 4.2</b> Učestalost površine 62 aktivna klizišta djelomično okonturenih linijom na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu .....                                | 28 |
| <b>Slika 4.3</b> Učestalost površine 424 neaktivna klizišta okonturenih kao poligoni na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu ..... | 30 |
| <b>Slika 4.4</b> Učestalost površine 218 neaktivnih klizišta djelomično okonturenih linijom na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu .....                            | 31 |
| <b>Slika 4.5</b> Učestalost površine 65 pužišta okonturenih kao poligoni na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina pužišta za klase od 5.000 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina pužišta u logaritamskom mjerilu c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina pužišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina pužišta u logaritamskom mjerilu .....                | 33 |
| <b>Slika 5.1</b> Prikaz učestalosti površina svih 289 aktivnih klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu.....                      | 36 |
| <b>Slika 5.2</b> Prikaz učestalosti površina svih 642 neaktivna klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m <sup>2</sup> ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu.....                     | 38 |
| <b>Slika 5.3</b> Usporedba veličine površina aktivnih i neaktivnih klizišta i pužišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) .....  | 39 |
| <b>Slika 5.4</b> Usporedba veličine površina svih klizišta i pužišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979).....  | 40 |
| <b>Slika 5.5</b> Distribucija površina klizišta na području južnih obronaka Medvednice prema povijesnom inventaru iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) .....   | 40 |

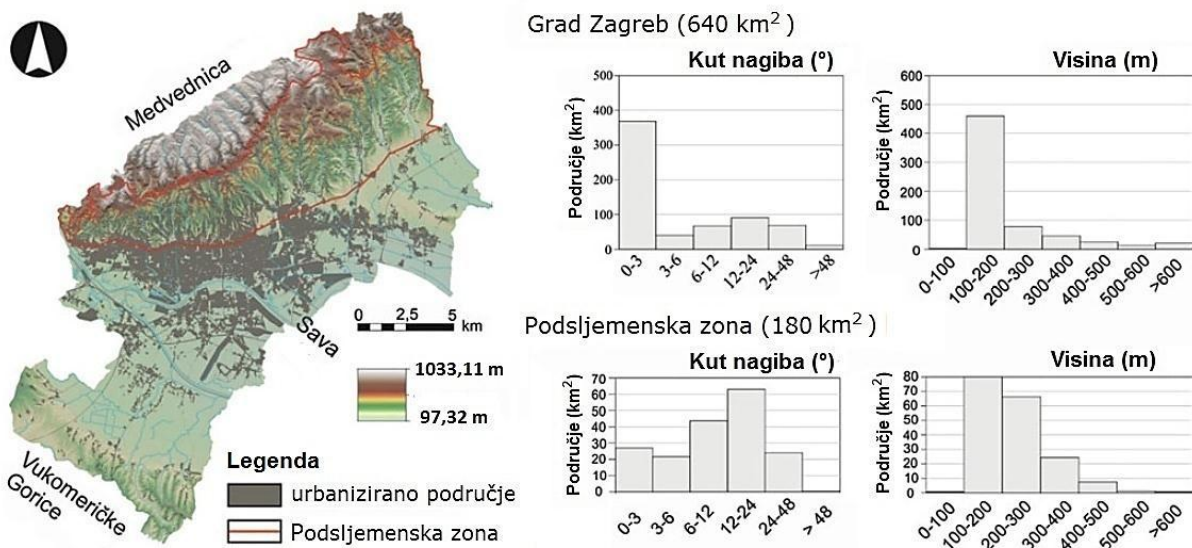


## Popis tablica

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablica 1.1</b> Usporedba 3 inventara klizišta izrađena za područje Podsljemenske zone (modificirano prema Mihalić Arbanas i Arbanas 2014) .....  | 3  |
| <b>Tablica 2.1</b> Opće informacije o meteorološkim postajama i srednjim godišnjim količinama oborina (modificirano prema Bernat i dr. 2014) .....   | 13 |
| <b>Tablica 4.1</b> Podaci o broju digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) .....   | 25 |
| <b>Tablica 5.1</b> Podaci o maksimalnim učestalostima veličine površine klizišta digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) prema rezultatima analiza opisanih u poglavlju 4 ..... | 35 |
| <b>Tablica 5.2</b> Podaci o vjerojatnostima veličine površine klizišta digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) prema rezultatima analiza opisanih u poglavlju 4 .....           | 36 |

# 1. UVOD

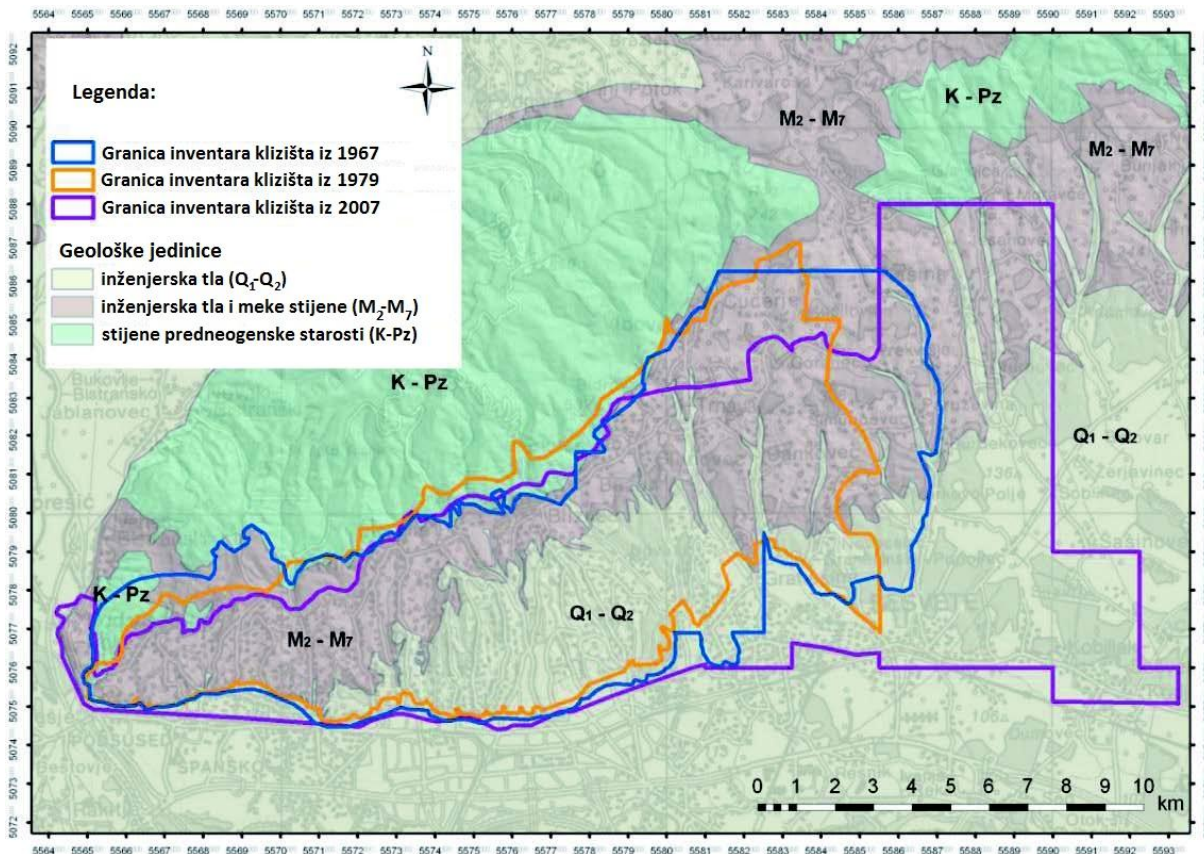
Brdovito područje južnih obronaka Medvednice, koje se nalazi na sjevernom dijelu Grada Zagreba sa statusom županije, veličine je oko 180 km<sup>2</sup> a naziva se još i Podsljemenska zona (slika 1.1). Područje istraživanja ovog rada nalazi se unutar te zone i obuhvaća 105 km<sup>2</sup> zapadnog dijela Podsljemenske zone koji uglavnom pripada administrativnoj jedinici grada Zagreba, odnosno urbaniziranom dijelu županije. Nadmorska visina je u granicama od 115 do 612 metara nad morem, prevladavaju padine (59%) pod nagibom od 6° do 24°, s tim da 84% terena ima nagib veći od 3° te je potencijalno podložan klizanju. Potvrda toga su masovni procesi klizanja aktivirani uslijed obilnih oborina 2013. godine, od kojih je u Podsljemenskoj zoni registrirano oko 60 klizišta (Bernat i dr. 2014).



**Slika 1.1** Karta reljefa grada Zagreba i Podsljemenske zone (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

Podaci o klizištima na brdovitom području grada Zagreba u Podsljemenskoj zoni sustavno su prikupljeni tri puta u posljednjih 50 godina, 1967., 1979. i 2007. godine (slika 1.2). Dobiveni inventari klizišta međusobno su različiti s obzirom na prostorni položaj klizišta i njihovu veličinu, što je djelomično posljedica i toga da su rađeni u velikim vremenskim razmacima. Međutim, razlike među povijesnim podacima o klizištima u Podsljemenskoj zoni su prevelike čime ukazuju na nepouzdanost podataka sadržanih u povijesnim inventarima klizišta. Usprkos

korištenju istih metoda identifikacije klizišta, kvantitativnim uspoređivanjem glavnih karakteristika karata klizišta, te preklapanjem pojedinih klizišta, sva tri inventara međusobno se razlikuju prvenstveno zbog subjektivnosti istraživača koji su kartirali klizišta (Mihalić Arbanas i Arbanas 2014).



**Slika 1.2** Pojednostavljena geološka karta područja obronaka Medvednice u Podsljemenskoj zoni s prikazanim granicama tri povijesna inventara klizišta iz 1967. (Šikić 1967), 1979. (Polak i dr. 1979) i 2007. (Miklin i dr. 2007) preuzeta iz Podolszki (2014)

U disertaciji Podolszki (2014) navodi se da su inventari klizišta iz 1967. i 2007. rađeni od strane Hrvatskog geološkog instituta u okviru izrade inženjerskogeološke karte Podsljemenske zone. Te karte klizišta pripadaju setu tematskih geoloških karata koje su izrađene za potrebe prostornog uređenja grada Zagreba. Jedino je karta klizišta iz 1979. godine, koju je izradila tvrtka Geotehnika-Geoexpert, izrađena isključivo za potrebe kartiranja klizišta i procjene opasnosti od klizanja. U okviru te studije izrađena je karta inventara klizišta i napravljena je procjena podložnosti sa zoniranjem cijelog područja istraživanja prema relativnoj stabilnosti padina.

**Tablica 1.1** Usporedba 3 inventara klizišta izrađena za područje Podsljemenske zone (modificirano prema Mihalić Arbanas i Arbanas 2014)

| Glavne karakteristike         |   | Inventar iz 1967. godine<br>(Šikić 1967)         | Inventar iz 1979. godine<br>(Polak i dr. 1979)   | Inventar iz 2007. godine<br>(Miklin i dr. 2007) |
|-------------------------------|---|--|--|---|
| Karakteristike karte klizišta | <b>Vrijeme upotrebe karte</b>                         | 12 godina<br>(1967. - 1979.)                     | dio PPGZ 22 godine<br>(1979. - 2001.)            | trenutno dio PPGZ<br>(2009. - danas)            |
|                               | <b>Obuhvaćeno područje</b>                            | 125 km <sup>2</sup>                              | 105 km <sup>2</sup>                              | 175 km <sup>2</sup>                             |
|                               | <b>Tip karte klizišta</b>                             | analogna karta u mjerilu<br>1:10.000             | analogna karta u mjerilu<br>1:10.000             | digitalna GIS karta u mjerilu 1:5.000           |
|                               | <b>Podloga</b>  | litološka karta                                  | litološka karta                                  | litološka karta                                 |
|                               | <b>Druge karte klizišta izrađene u okviru studije</b> | karta podložnosti klizanju<br>(mjerilo 1:10.000) | karta podložnosti klizanju<br>(mjerilo 1:10.000) | /   |
| Izvorni podaci                | <b>Glavne tehnike identifikacije klizišta</b>         | Terensko kartiranje u krupnom mjerilu            | Terensko kartiranje u krupnom mjerilu            | Terensko kartiranje u krupnom mjerilu           |
|                               | <b>Drugi izvori podataka o klizištima</b>             | Povijesni podaci iz geotehničkih izvješća        | Povijesni podaci iz geotehničkih izvješća        | Povijesni podaci iz geotehničkih izvješća       |
|                               | <b>Klasifikacija klizišta</b>                         | Aktivnost klizišta                               | Aktivnost klizišta                               | Aktivnost klizišta                              |
|                               | <b>Opis klizišta</b>                                  | Obrasci klizišta                                 | Kratki tekstualni opis                           | Obrasci klizišta i digitalna baza podataka      |

Usporedba navedenih karata inventara klizišta prikazana je u tablici 1.1, a iz usporedbe se vidi da je u okviru kartiranja klizišta iz 1967. i 1979. godine također načinjeno i zoniranje prema podložnosti terena klizanju dok ova vrsta prognostičke karte nije izrađena 2007. godine. Veličina obuhvata karata klizišta je u rasponu od 105 km<sup>2</sup> do 175 km<sup>2</sup>. Prilikom izrade sva tri inventara klizišta primijenjena je ista tehnika identifikacije klizišta, te su sva klizišta klasificirana prema njihovoj aktivnosti. Gustoća klizišta varira od 4,04 do 7,73 klizišta/km<sup>2</sup>, što je gotovo dvostruka razlika. Slično tome, u različitim inventarima različiti udio terena pripada površinama s klizištem, zbog čega prosječna gustoća klizišta u pojedinom inventaru varira od 6,3% do 11,7%, što također ukazuje na prevelike razlike. Oba pokazatelja, kao i međusobna mala podudarnost prostornog položaja klizišta (Podolszki 2014) ukazuju na moguće pogreške pri identifikaciji klizišta, te na potrebu za daljnjom analizom podataka iz inventara klizišta sa svrhom dobivanja uvida u pouzdanost pojedinih povijesnih inventara klizišta. Ovo je osobito važno zbog praktične primjene karata klizišta. Naime, način primjene karte klizišta prvi puta je definiran 1981. godine kada je donesena „Odluka o mjerama zaštite stabilnosti tla“ (Službeni glasnik Grada Zagreba 2/81) s čime je započela praksa sustavnog korištenja informacija o postojećim i potencijalnim klizištima u sustavu prostornog uređenja, odnosno prostornog planiranja Grada Zagreba. Ova Odluka je vrijedila sve do donošenja Odluke o donošenju Prostornog plana Grada Zagreba (Službeni glasnik Grada Zagreba 8/01) 2001. godine kada je novom Odlukom izostavljena obaveza korištenja karte klizišta iz 1979. godine (Mihalić Arbanas i Arbanas 2014). Međutim, glavni koncept primjene informacija o klizištima u sustavu prostornog uređenja je ostao isti i do danas je na snazi, pri čemu je od 2009. godine do danas obavezujuća primjena karte klizišta (Miklin 2007) iz 2007. godine (Službeni glasnik Grada Zagreba 1/09).

Za inventare klizišta u svijetu je uobičajena statistička analiza veličine klizišta (Malamud i dr. 2004). Ona se provodi na podacima o broju, površini i volumenu klizišta na nekom području. Ova statistička analiza služi za dugoročnu analizu razvoja krajolika u kojem dominiraju procesi erozije, te kako bi se procijenila podložnost terena klizanju i opasnost od klizanja, odnosno rizik klizanja (Guzzetti 2006). Inventari klizišta i karte klizišta nužne su za upravljanje nekim prostorom kako bi se izbjegli rizici od klizanja odnosno umanjile štete nastale uslijed klizanja.

Svrha ovog rada bila je statistička analiza inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr, 1979) kako bi se dobio uvid u karakteristična klizišta Podsljemenske zone s obzirom na

njihovu veličinu. Pri tome je provedena digitalizacija analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine, statistička analiza aktivnih i umirenih klizišta i pojava nastalih puzanjem (tzv. puzišta), te interpretacija rezultata s obzirom na karakteristične veličine registriranih klizišta i procjena veličine potencijalnih klizišta. Radom je obuhvaćeno područje veličine 105 km<sup>2</sup> koje odgovara granicama inventara klizišta iz 1979. godine kojega je izradila tvrtka Geotehnika-Geoexpert.

## 2. PRIRODNI UVJETI NA PODRUČJU PODSLJEMENSKE ZONE

Istraživano područje nalazi se na južnim obroncima Medvednice, unutar obuhvata pilot područja znanstveno-istraživačkog projekta hrvatsko-japanskog SATREPS FY2008, u okviru kojega su u razdoblju 2009.-2014. provedena opsežna istraživanja klizišta u Zagrebu (Mihalić Arbanas i Arbanas 2012). Detaljan pregled prirodnih značajki istraživanog područja dao je Podolszki (2014) u disertaciji „Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice“. U nastavku se daje sažeti prikaz tih značajki.

Područje istraživanja nalazi se unutar granica Grada Zagreba koje je po svom geomorfološkom i geostrukturnom položaju, smješteno u mega-geomorfološkoj regiji Europskog Panonskog bazena (Bognar 2001), u zapadnom dijelu SZ Hrvatske. Prema popisu stanovništva, na području Grada Zagreba, površine 641 km<sup>2</sup>, živi 790.017 stanovnika, odnosno 18,5% stanovnika Republike Hrvatske (DZS RH 2011). Prosječna gustoća naseljenosti na području Grada Zagreba je 1.231,48 stanovnika/km<sup>2</sup>.

Urbanizirano područje grada Zagreba smješteno je na južnim obroncima Medvednice i u ravničarskom području oko rijeke Save, kao što je prikazano na slici 2.1. Južni obronci Medvednice u gradu Zagrebu nazivaju se još i Podsljemenska zona, a prostiru se od Podsuseda na zapadu do Sesveta na istoku, od šumovitih padina Medvednice na sjeveru do ravničarskog područja oko rijeke Save na jugu. Na južnim obroncima Medvednice na području istraživanja smještene su sljedeće gradske četvrti: Podsused – Vrapče (površine 36,05 km<sup>2</sup> s osam naselja), Črnomerec (površine 24,33 km<sup>2</sup> s devet naselja), Gornji grad – Medveščak (površine 10,13 km<sup>2</sup> s tri naselja), Maksimir (površine 14,35 km<sup>2</sup> s jednim naseljem), Podsljeme (površine 59,45 km<sup>2</sup> s četiri naselja) i Gornja Dubrava (površine 40,28 km<sup>2</sup> s 14 naselja). Ovo područje prvobitno je korišteno za poljoprivredne djelatnosti, a s razvojem grada postalo je atraktivno za naseljavanje. Klima u Gradu Zagrebu je umjerena kontinentalna.



**Slika 2.1** Pogled iz zraka na istraživano područje u gradu Zagrebu smješteno na južnim obroncima Medvednice i u ravničarskom području oko rijeke Save (izvor: Google Earth 2015)

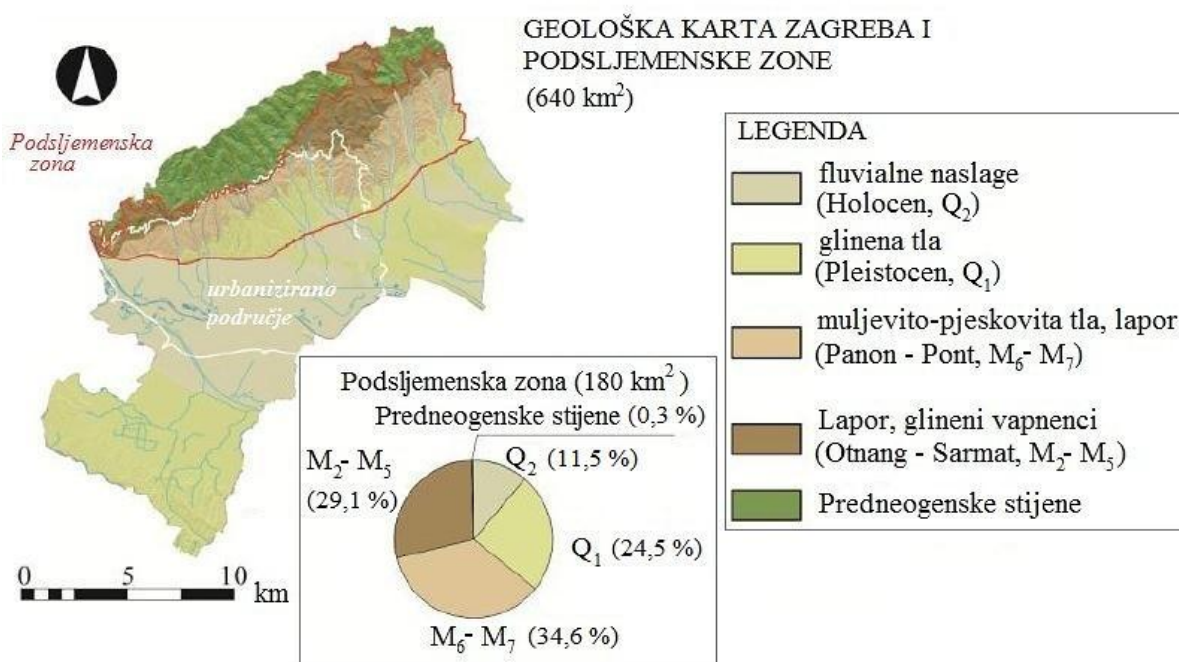
## **2.1 Značajke stijena i tala**

Proučavanjem i istraživanjem područja Medvednice bavili su se mnogi znanstvenici, a ovdje su izdvojeni sljedeći radovi kao važniji: *Vrsaljko i dr. (2005)*, *Vrsaljko i dr. (2006)*, *Kochansky-Devide i Bajraktarević (1981)*, *Avanić i dr. (1995)* i *Šikić (1995)*. Vrsaljko se u svojim radovima bavi srednjomiocenskom paleoekologijom i razvojem okoliša na području Medvednice. Kochansky-Devide i Bajraktarević (1981), te Avanić i dr. (1995) opisuju naslage srednjeg miocena zapadnog dijela Medvednice, dok Šikić (1995) u knjizi „Geološki vodič Medvednice“ daje karakteristične geološke stupove za područje Medvednice.

Područje Podsljemenske zone obuhvaća dio terena izgrađen uglavnom od gornjomiocenskih i kvartarnih sedimenata, kao što je prikazano na generaliziranoj geološkoj karti (slika 2.2). Iz slike je vidljivo da su na površini terena najzastupljenije miocenske stijene, koje izgrađuju ukupno 63,7% površine. Pleistocenske naslage se pojavljuju na 24,5 % površine, a holocenske naslage na 11,5%, dok su predneogenske stijene prisutne na samo 0,3% ukupne površine terena. Na samom području istraživanja koje je smješteno unutar urbaniziranog područja Podsljemenske zone miocenske naslage



starosti panon-pont su prisutne s približno 50%, kao i pleistocenske naslage. Miocenske naslage starosti otnang-sarmat vrlo su malo zastupljene unutar granice urbaniziranog dijela Podsljemenske zone. S obzirom na litološke komplekse, istraživano područje obuhvaća terene izgrađene od sljedećih tipova stijena/tla (Podolszki, 2014): (i) inženjerska tla kvartarne starosti; (ii) inženjerska tla i meke stijene miocenske starosti; i (iii) stijene predneogenske starosti.



**Slika 2.2** Geološka karta Zagreba i Podsljemenske zone (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

Najstarije naslage brdovitog područja južnih obronaka Medvednice pripadaju paleozoiku, a najmlađe kvartaru. Podlogu JZ dijela čine trijski dolomiti i vapnenci, dok u središnjem i SI dijelovima dominiraju kredne naslage (Vrsaljko i dr. 2006).

Miocenske naslage Medvednice diskordantno (tektonsko-erozijska diskordancija) naliježu na mezozojskim naslagama, te se prostorno mogu podijeliti na tri dijela (Kochansky-Devide 1944): (i) JZ dio Medvednice nazvan „Doljanski razvoj“, (ii) središnji dio, „Čučerjanski razvoj“ i (iii) SI dio nazvan „Zelinski razvoj“.

Najstarije miocenske naslage transgresivno prekrivaju mezozojske naslage. Te horizonte čine gornjobandenske breče i konglomerati. Vršnih 10 m ispod površine terena je badenske starosti, karakterizirano slabo fosiliziranim, laminiranim laporima i glinama. Ukupna debljina badenskih sedimenata je oko 100 m (Vrsaljko i dr. 2005).

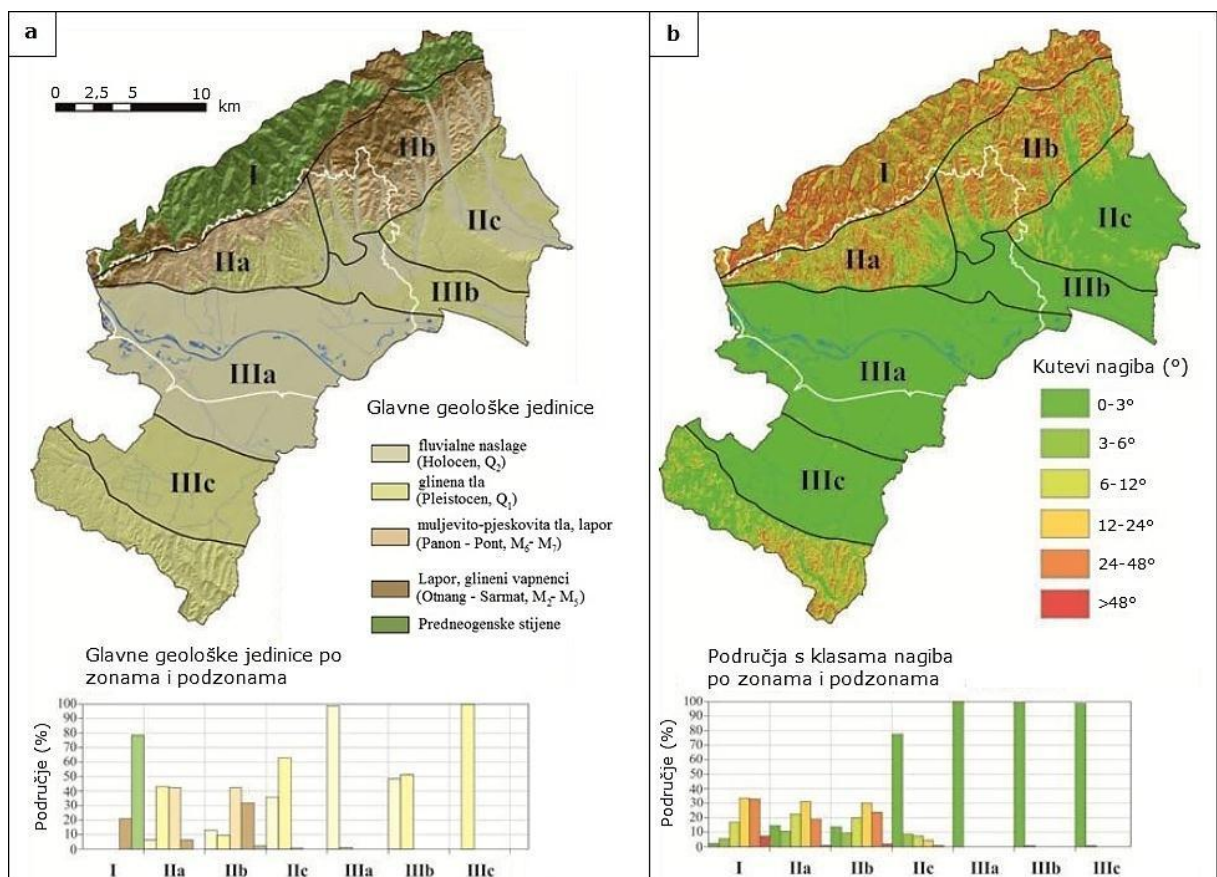
Sarmatski sedimenti uglavnom konkordantno prekrivaju badenske sedimente bez prepoznatljivih litoloških razlika. Plitkovodni badenski vapnenci najčešće su u podlozi sarmatskih klastita, dok dubokovodni marinski lapori leže ispod laminiranih sarmatskih lapora, koji su taloženi u okolišu nižeg saliniteta. U donjem i srednjem sarmatu, prisutni su umetci krupnozrnastih klastita metarskih debljina, dok u najgornjim dijelovima sarmata dominiraju iznimno laminirani lapori. Debljina sarmatskih sedimenata je oko 70 m (Vrsaljko i dr. 2005).

Naslage donjeg panona ("*Croatica naslage*") su u potpunosti razvijene, te dominiraju glinoviti vapnenci i lapori. Ti sedimenti prekrivaju sarmatske lapore i gline, te su debljine oko 50 m. U srednjem panonu često se pojavljuju šljunci i pijesci kao rezultat jakih poplava. Naslage gornjeg panona ("*Banatica naslage*") prekrivaju naslage donjeg panona, uz postupno smanjenje udjela karbonata idući prema mlađim naslagama. Naslage gornjeg panona sastoje se uglavnom od masivnih lapora koji su prekriveni pliocenskim i pleistocenskim šljuncima i glinama. Debljina gornjo-panonskih naslaga se procjenjuje na oko 100 m (Vrsaljko i dr. 2005).

Kvartarne naslage čine heterogene smjese uglavnom nepropusnih glinovitih tla. Geološka granica između miocenskih pjeskovito-muljevutih tala i miocenskih ili kvartarnih glinovitih tala je vrlo podložna klizanju. Uzročnike nestabilnih padina u ovoj zoni predstavljaju inženjerska svojstva tla, geomorfološki procesi te ljudske aktivnosti (Bernat i dr. 2014).

## 2.2 Geomorfološki uvjeti

S obzirom na geomorfološke uvjete Jurak i dr. (2008) na području grada Zagreba izdvajaju tri tipa zona od kojih se tip I odnosi na jezgru Medvednice, tip II na Podsljemensku zonu i tip III na prisavsku naplavnu ravnicu kao što je prikazano na slici 2.3. Razlikuju se tri glavne zone (označene rimskim brojevima I, II i III) i podzone unutar zona II i III (označene slovima a, b i c).



**Slika 2.3** Zone inženjerskogeoloških uvjeta prema Jurak i dr. (2008): a) geološka karta s generaliziranim stratigrafskim jedinicama; b) karta nagiba (modificirano prema Mihalić Arbanas i dr. 2012)

Podsljemenska zona nalazi se na područjima inženjerskogeoloških zona označenih oznakama IIa, IIb i IIc, a područje istraživanja ovog rada obuhvaćeno je zonama IIa i djelomično IIb. Zona IIc predstavlja prijelaz iz Podsljemenske zone u ravničarski dio.

Iz slike 2.3a vidljivo je da se u sjeverozapadnom dijelu zone IIa na površini terena (približne veličine 42% područja zone IIa) nalaze gornjomiocenske naslage panonske i

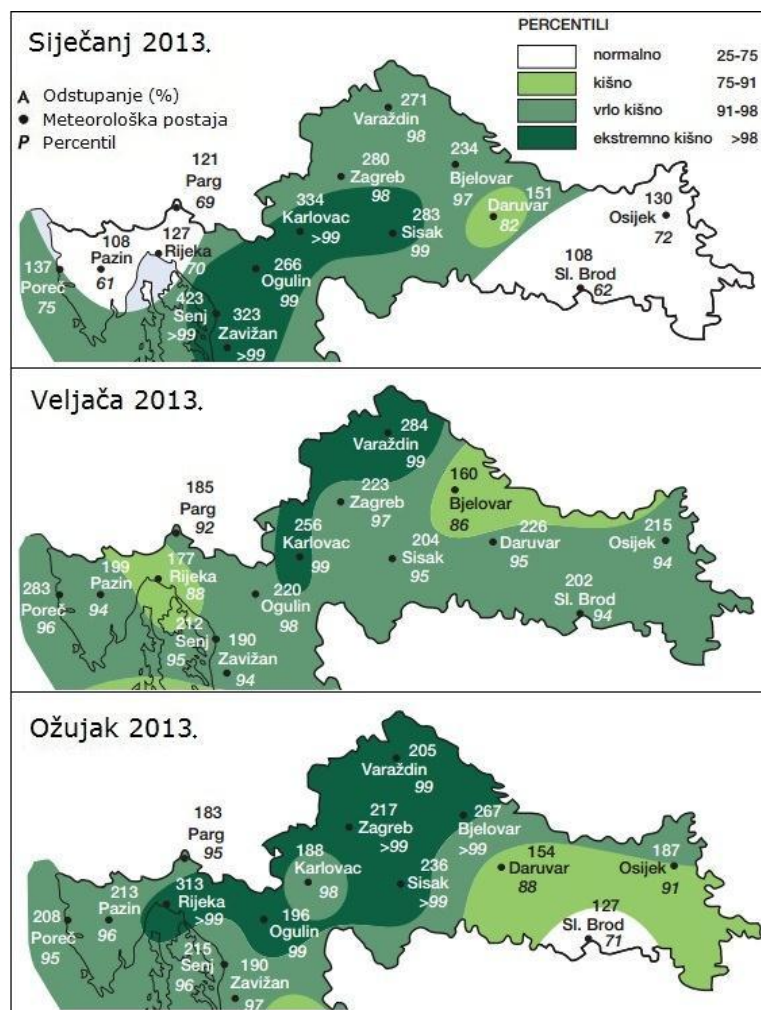
pontske starosti ( $M_6$ - $M_7$ ), koje se uglavnom sastoje od uslojenih sitnozrnastih tala i lapora. U zoni IIa dominiraju inženjerska tla, a samo mjestimično se nalaze i stijenske mase mekih stijena lapora. Relativno tanke površinske naslage se sastoje od eluvijalnih, deluvijalnih i koluvijalnih naslaga. S obzirom da je najveći dio ove zone unutar granice grada Zagreba, dominantni pokrov u zoni IIa su tzv. umjetne površine koje su prisutne na oko 74% površine ove zone. Oko 14% površine ove zone je zaravnjeno područje nagiba manjeg od  $3^\circ$ . Oko 74% područja ove zone su padine nagiba u rasponu  $6$ - $48^\circ$ , na kojima postoji potencijalna opasnost od klizanja i linijske erozije prouzročene bujičnim tokovima. Klizišta uglavnom nastaju na granici između površinskih naslaga i svježeg inženjerskog tla ili lapora, koji pripada tzv. tvrdom tlu-mekoj stijeni (Podolszki 2014).

U zoni IIb vrlo je slična prostorna distribucija nagiba terena i zastupljenost navedenih vrsta stijena kao u zoni IIa (slika 2.3). Ova zona izgrađena je od gornjomiocenskih naslaga panonske i pontske starosti ( $M_6$ - $M_7$ ), uglavnom sitnozrnatih tala i stijenskih masa mekih lapora (oko 43% područja), srednjomiocenskih naslaga starosti otanang do sarmat ( $M_2$ - $M_5$ ), uglavnom vapnenaca i lapora (oko 32% područja) i od kvartarnih naslaga pleistocenske i holocenske starosti ( $Q_1$ - $Q_2$ ) koje se sastoje od inženjerskih tala. S obzirom da je samo manji dio ove zone unutar granice Generalnog urbanističkog plana (GUP-a), dominantni pokrov u zoni IIb je poljoprivredno zemljište, prisutno na oko 57% površine ove zone, a samo oko 17% područja su umjetne površine nastale razvojem naselja u zoni IIb. Oko 13% površine ove zone je zaravnjeno područje nagiba manjeg od  $3^\circ$ . Oko 74% područja ove zone su padine nagiba u rasponu  $6$ - $48^\circ$ , na kojima postoji potencijalna opasnost od klizišta i linijske erozije prouzročene bujičnim tokovima. Klizišta uglavnom nastaju na granici između površinskih naslaga, odnosno inženjerskog tla i svježeg lapora. Također mnoga su klizišta nastala na geološkoj granici između gornjopontskih i pleistocenskih naslaga (Podolszki 2014).

Na slici 2.3a vidljivo je da se na površini zone IIc nalaze isključivo inženjerska tla. Relativno tanke površinske naslage sastoje se od eluvijalnih, deluvijalnih i koluvijalnih i naslaga. S obzirom da je ova zone gotovo u potpunosti nalazi izvan granice grada Zagreba, dominantni pokrov u zoni IIc je poljoprivredno zemljište (oko 52% površine), a samo oko 15% su tzv. umjetne površine. Oko 77% područja ove zone je nagiba manjeg od  $3^\circ$ , zbog čega je pojava klizišta ograničena na svega 23% površine zone IIc (Podolszki 2014).

### 2.3 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti

Grad Zagreb pripada SZ dijelu Hrvatske gdje je klima kontinentalna pod blagim maritimnim utjecajem s prosječnim godišnjim oborinama (kiša i snijeg) od 883,6 mm. Početak 2013. godine bio je osobito vlažan. Od siječnja do ožujka, mjesečna oborina je između 91 i 98 percentila za SZ dio Hrvatske, kako je prikazano na slici 2.4 (DHMZ 2013).



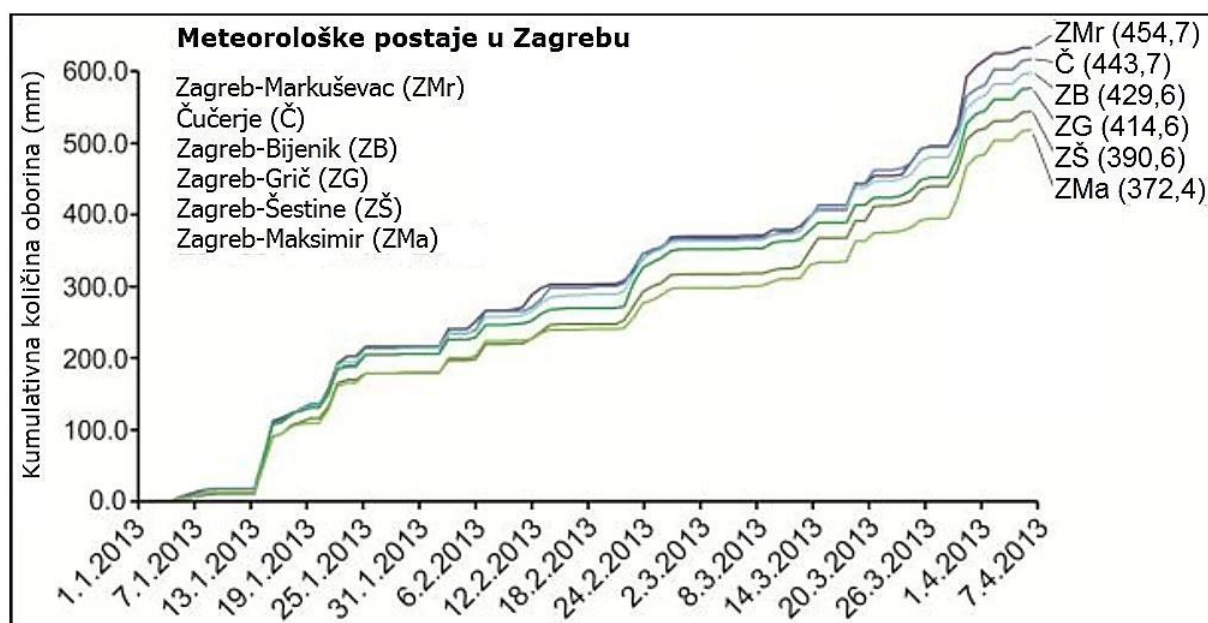
**Slika 2.4** Mjesečna oborina izračunata za razdoblje od siječnja do ožujka 2013. godine na temelju podataka od 1961. do 1990 (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

Opće informacije o meteorološkim postajama i srednjim godišnjim količinama oborina (MAP) navedene su u tablici 2.1 Minimalna vrijednost MAP-a je 849,7 mm je na postaji Zagreb-Maksimir u nizinskom području, a maksimalna vrijednost od 942,3 mm na postaji Zagreb-Šestine u Podsljemenskoj zoni. U radu Bernat i dr. (2014) prikazuju se rezultati

analiza oborina na području Podsljemenske zone. Meteorološka postaja Zagreb-Grič izabrana je za analizu oborina koje su pokrenule više od 60 klizišta 2013. godine. Naime, meteorološka postaja Zagreb-Grič ima najdulju povijest mjerenja (151 godina), a iznos kumulativnih oborina za analizirano kritično razdoblje 2013. godine odgovara srednjoj vrijednosti kumulativnih oborina svih šest postaja (slika 2.5). Dnevni podaci oborina za svaku meteorološku stanicu uključuju količinu oborina i snijega (Bernat i dr. 2014).

**Tablica 2.1** Opće informacije o meteorološkim postajama i srednjim godišnjim količinama oborina (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

| Meteorološka postaja    | Širina | Dužina | Visina (m) | MAP (mm) | Razdoblje (god) |
|-------------------------|--------|--------|------------|----------|-----------------|
| Zagreb-Grič (ZG)        | 45°48' | 15°58' | 157        | 883,6    | 151             |
| Zagreb-Maksimir (ZMa)   | 45°49' | 16°02' | 123        | 849,7    | 64              |
| Zagreb-Bijenik (ZB)     | 45°50' | 15°57' | 220        | 875,7    | 22              |
| Zagreb-Šestine (ZŠ)     | 45°51' | 15°57' | 291        | 942,3    | 22              |
| Zagreb-Markuševac (ZMr) | 45°52' | 16°01' | 240        | 932,1    | 22              |
| Čučerje (Č)             | 45°53' | 45°53' | 246        | 911,2    | 11              |



**Slika 2.5** Kumulativna količina oborina šest meteoroloških postaja za razdoblje od 1. siječnja do 7. travnja 2013. godina (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

Područje jugozapadnih, južnih i istočnih obronaka Medvednice karakterizirano je vrlo gustom razgranatom hidrografskom mrežom s velikim uzdužnim padovima vodotoka u brdskom pojasu, što uz jake intenzitete oborina uzrokuje otjecanje bujičnog karaktera, popraćeno jakim erozijskim procesom i prenošenjem nanosa u središnji i donji dio vodotoka. Medvednica obiluje potocima i izvorima. Oborinske se vode brzo slijevaju, ovisno o nagibu i sastavu stijena koje izgrađuju površinu terena. Izdašnost izvora, a samim time i protoka u potocima uvjetovana je oborinama. U središnjem dijelu prisojne strane Medvednice nalazi se oko 60-tak izvora, a izvori koji su predviđeni za korištenje u sustavu vodoopskrbe Podsljemenske zone imaju prosječno raspoloživu količinu vode od oko 18 l/s. Glavnina ih izvire iznad 750 m.n.m. i u pošumljenim područjima, pa na tim prostorima nema opasnosti od erozije koja predstavlja geohazard s obzirom na potencijalne opasnosti od ovih procesa. Vodotoci južnih obronaka Medvednice, zahvaljujući brojnim izvorima i sakupljanju oborinskih voda s obližnjih padina bogati su vodom cijele godine. Iako su na gradskom prostoru prirodna obilježja voda doživjela znatne promjene, ipak postoje razlike između područja Medvednice, prigorja i ravnice, po specifičnostima reljefa koje uvjetuju glavne karakteristike voda. Glavni medvednički potoci, od ukupno šezdesetak na prisojnoj strani, su (PPGZ 2014): Dolje, Dubravica, Medpotoki, Vrapčak, Kustošak i Črnomerec na zapadnom dijelu područja; Kuniščak, Jelenovec, Kraljevec, Gračanski, i Remetski potok na središnjem dijelu područja; Bliznec, Štefanovec, Čučerska Reka i Vugrov potok na istočnom dijelu područja.

Na dijelu površine južnih obronaka Medvednice nalaze se naslage kvartarne starosti (holocen do pleistocen,  $Q_2-Q_1$ ) u kojima se vodonosnici odlikuju dobrom do srednjom izdašnošću i transmisivnošću, te međuzrnskom poroznošću. U naslagama miocenske starosti (otnang do pont,  $M_7-M_2$ ) vodonosnici se odlikuju slabom do nikakvom izdašnošću i transmisivnošću, te međuzrnskom i pukotinskom poroznošću, dok se u naslagama predneogenske starosti (kreda do paleozoik, K-Pz) vodonosnici odlikuju srednjom do nikakvom izdašnošću i transmisivnošću, te pukotinskom poroznošću (Podolszki 2014).

## 2.4 Aktivni geomorfološki procesi

Klizišta su jedan od najzastupljenijih aktivnih geomorfoloških procesa na Podsljemenskom području. Točan broj klizišta nije poznat jer varira u tri povijesna inventara koji su djelomično opisani u disertaciji Podolszki (2014). Za većinu klizišta nema potpunih podataka, no u radu Mihalić i dr. (2011) provedena je analiza na temelju podataka za 82 klizišta Podsljemenske zone. Izvori podataka su stručni i znanstveni radovi, inventari klizišta iz različitih razdoblja te izvješća o preliminarnim ili detaljnim istraživanjima provedenim u razdoblju od 1968. do 2008. godine. Ukupno je pronađen 71 geotehnički izvještaj o klizištima na temelju čega je poznata detaljna ili približna dimenzija 47 klizišta. Ukupna veličina klizišta je u rasponu od 0,04 do 18 hektara, a prosječna veličina analiziranih klizišta je 2,11 ha. Maksimalna dubina za 15 klizišta je u rasponu od 2 do 10 m a prosječna dubina iznosi 6,18 m. Vrijeme aktivacije je poznato za samo 6 klizišta, a reaktivirana klizišta su vrlo česta. Uzroci klizanja su poznati za 19 klizišta i svi su antropogenog podrijetla. Podaci o mjerama sanacija pronađeni su za samo 29 klizišta (Mihalić i dr. 2011).

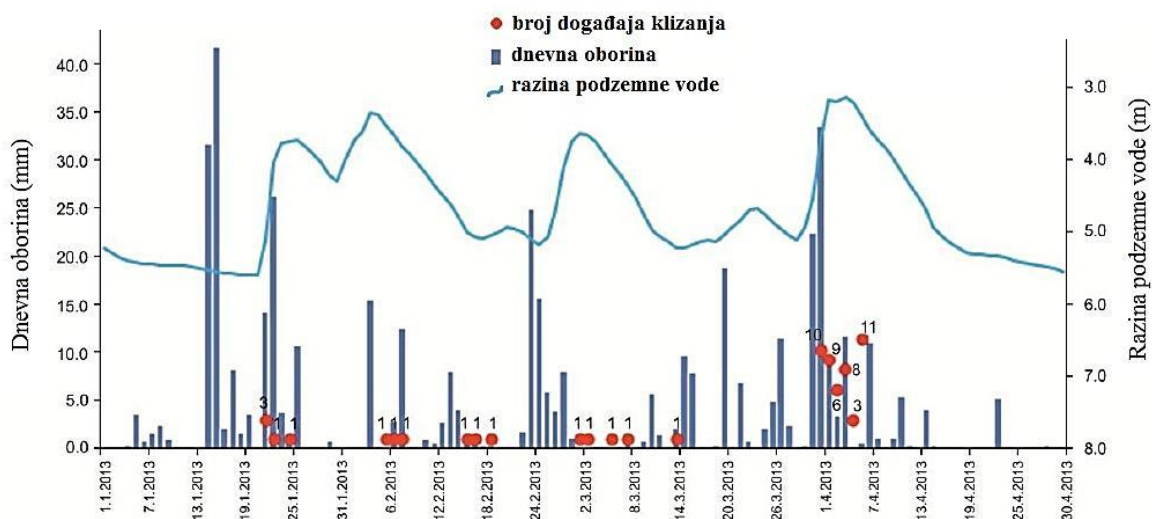


**Slika 2.6** Tipična klizišta u Podsljemenskoj zoni u odnosu na kuće (modificirano prema Mihalić i dr. 2011)

Iako su se dogodili u ekstremnim hidrometeorološkim uvjetima, za razinu opasnosti reprezentativni su podaci iz 2013. godine koji su objavljeni u članku Bernat i dr. (2014), a odnose se na aktiviranja klizišta iz 2013. godine. Od 1. siječnja do 7. travnja 2013. godine, grad Zagreb je doživio razdoblje intenzivne kiše i snijega s kumulativnom vrijednosti



tijekom razdoblja od 97 dana iznad 400 mm, što predstavlja 46% srednje godišnje količine oborina. Za odabrano razdoblje, mjesečna količina oborina kretala se od 130% (veljača i ožujak) do 190% (siječanj) prosječne mjesečne vrijednosti oborine za razdoblje od 1862. do 2012. godine. Dnevni podaci o oborinama za isto razdoblje, zajedno s brojem klizišta koji su se dnevno dogodili prikazani su na slici 2.7 (Bernat i dr. 2014).



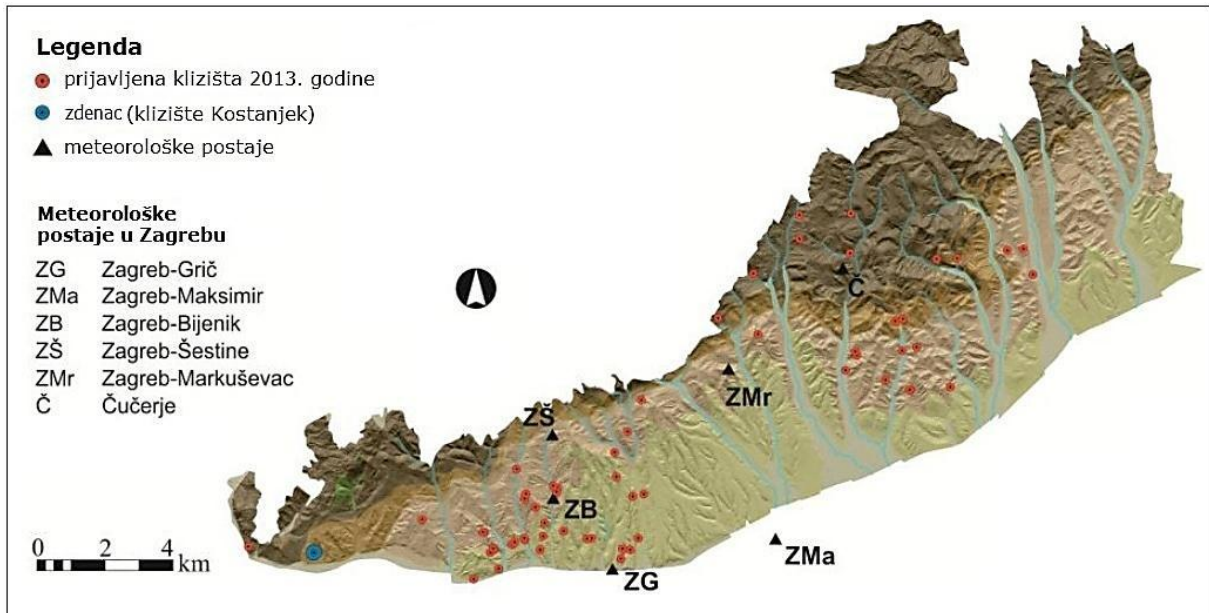
**Slika 2.7** Dnevne oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič i broj (re)aktiviranih klizišta od siječnja do travnja 2013. godine (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

Značajna količina oborina pala je u razdoblju od 30. ožujka do 3. travnja 2013. godine. Taj 5-dnevni događaj bio je obilježen kumulativnom oborinom od 70 mm, te je tijekom tog razdoblja (re)aktivirano 47 klizišta u Zagrebu (Bernat i dr. 2014). Informacije o reaktivaciji klizišta u zimskom razdoblju 2012./2013. dobivene su od građana koji su informirali Gradsku upravu koja je odgovorna za sanacije klizišta i civilnu zaštitu. Slika 2.8 prikazuje tri primjera gdje klizišta ugrožavaju ili oštećuju ceste i privatne kuće (Bernat i dr. 2014).



**Slika 2.8** Klizišta koja su ugrozila ili uništila kuću ili prometnice u razdoblju zime i proljeća 2013. godine (Bernat i dr. 2014)

Dokazi o prijavljenim klizištima su zabilježeni u gradskim uredima u obliku lista s podacima o mjestu klizišta i datumu aktivacije. Na temelju podataka prikupljenih iz Gradske uprave, online medija i terenskog istraživanja u studenom 2013. napravljena je karta inventara klizišta (slika 2.9) s ukupno 63 klizišta (re)aktiviranih tijekom obilnih kišnih razdoblja u 2013. godini (Bernat i dr. 2014).



**Slika 2.9** Karta klizišta potaknutih oborinama u razdoblju od 1. siječnja do 7. travanja 2013. godine (modificirano prema Bernat i dr. 2014)

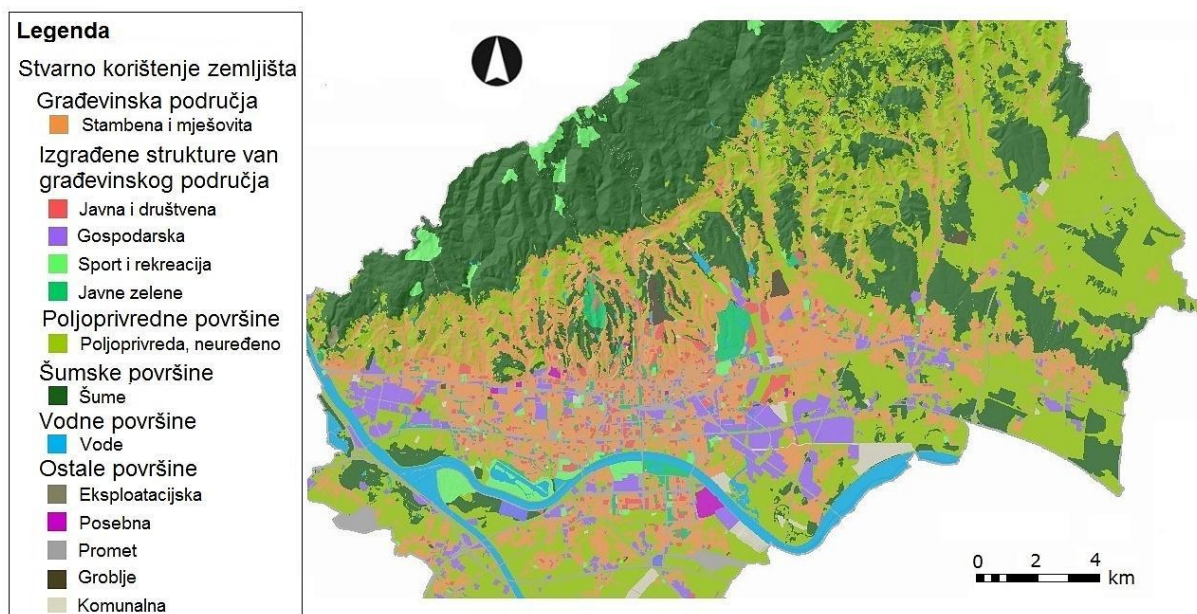
## 2.5 Korištenje zemljišta

Prostornim planom Grada Zagreba (PPGZ) koji se donosi temeljem odluka o donošenju PPGZ-a (Službeni glasnik Grada Zagreba 8/01, 16/02, 11/03, 2/06, 1/09, 8/09, 21/14) obuhvaćeno je područje Grada Zagreba utvrđeno Zakonom o područjima županija, gradova i općina u Republici Hrvatskoj (Narodne novine 10/97, 124/97, 68/98, 22/99, 117/99 i 128/99), površine oko 640 km<sup>2</sup> (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2014). Unutar administrativne jedinice Grada Zagreba koji ima status županije nalazi se 70 manjih naselja i grad Zagreb.

Urbani razvoj grada Zagreba određivan je posljednjih četrdesetak godina nizom urbanističkih planova, od kojih je svaki obilježio grad pozitivnim, ali i u manjoj mjeri negativnim razvojnim odrednicama. Sadašnji GUP 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 sagrađene urbane supstancije, očuvanjem i uređivanjem neizgrađenih prostora, te poboljšavanjem urbane mreže i komunikacijskih sustava, posebice javnog prometa. Kvalitativna preobrazba zagrebačkog prostora ostvaruje se osobito zahvaljujući prostorno - razvojnim i resursnim značajkama, prirodnim i kulturnim dobrima, ljudskim potencijalima i dostignutoj razini razvitka, a posebno raznolikosti i osobitostima prostora. Jedno od temeljnih određenja prostorno - razvojnih i resursnih značajki Grada Zagreba je raznolikost, jer, iako jedinstven u svom administrativno - teritorijalnom smislu, zagrebački je prostor izuzetno raznolik, što mu daje posebnu vrijednost i nameće potrebu posebne osjetljivosti u definiranju općih i posebnih odrednica prostornog i ukupnog razvoja. Unutar gradskog teritorija, prema kriterijima fizionomijskih, zemljopisnih i povijesnih karakteristika, izdvajaju se tri temeljna prostora za urbane transformacije: Podsljemenski prostor, područje urbane obnove, te Novi Zagreb. Podsljemenski se prostor uređuje visokom kontrolom neizgrađenog prostora i očuvanjem prirodnog krajolika. Nekomolirana se gradnja planski sprječava očuvanjem zelenila, posebno parkova i park-šuma te uspostavom novih javnih prostora (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2014).

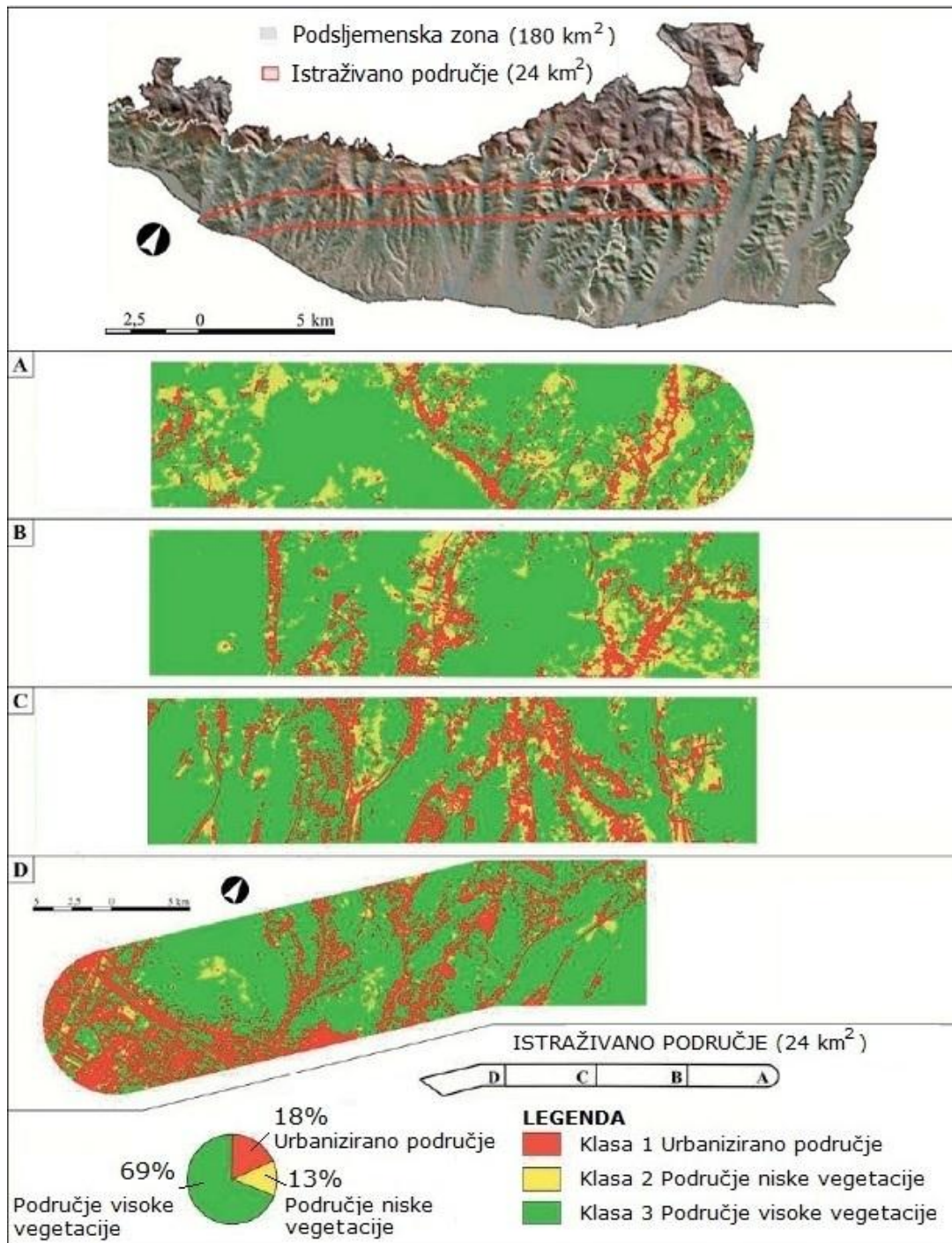
Trenutna namjena zemljišta prema prostornom planu Grada Zagreba (slika 2.10) uključuje: građevinska područja (281,95 km<sup>2</sup>), izgrađene građevine van građevinskog područja (20,47

km<sup>2</sup>), poljoprivredne površine (156,55 km<sup>2</sup>), šumske površine (158,38 km<sup>2</sup>), vodne površine (14,5 km<sup>2</sup>) i ostale površine (8,15 km<sup>2</sup>). Građevinsko područje se nalazi ispod šumskog područja Medvednice na sjeveru i proteže se preko nizinskog područja rijeke Save prema jugu (Zavod za prostorno uređenje Grada Zagreba 2014).



**Slika 2.10** Namjena zemljišta prema prostornom planu grada Zagreba (izvor: Geoportal Grada Zagreba, <https://geoportal.zagreb.hr/Karta?tk=6>, 2015)

U radu Belić i dr. (2014) provedena je automatska klasifikacija ortofoto snimaka jednog karakterističnog dijela Podsljemenske zone veličine 24 km<sup>2</sup> s obzirom na korištenje zemljišta. Namjena zemljišta je klasificirana na tri klase: (i) urbano područje, (ii) područje niske vegetacije, (iii) područje visoke vegetacije. Na slici 2.11 prikazana je dobivena prostorna distribucija navedenih tipova korištenja zemljišta koja se može smatrati karakterističnom za taj urbanizirani dio Grada Zagreba. Na prikazanom području dominira visoka vegetacija s približno 69%. Uz nju je s oko 13% zastupljena niska vegetacija, pa urbanizirano područje zauzima oko 18% terena. S obzirom da je na najzapadnijem dijelu zahvaćen i nizinski prostor, udio urbaniziranog područja još je manji od navedenog. Ovo područje je reprezentativno za Podsljemensku zonu s izuzetkom krajnjeg zapadnog dijela kojim je zahvaćen jedan dio izgrađenog područja u nizinskom dijelu.



*Slika 2.11* Detaljan prikaz rasporeda urbaniziranog područja i vegetacije u analiziranom području Podsljemenske zone (modificirano prema Belić i dr. 2014)

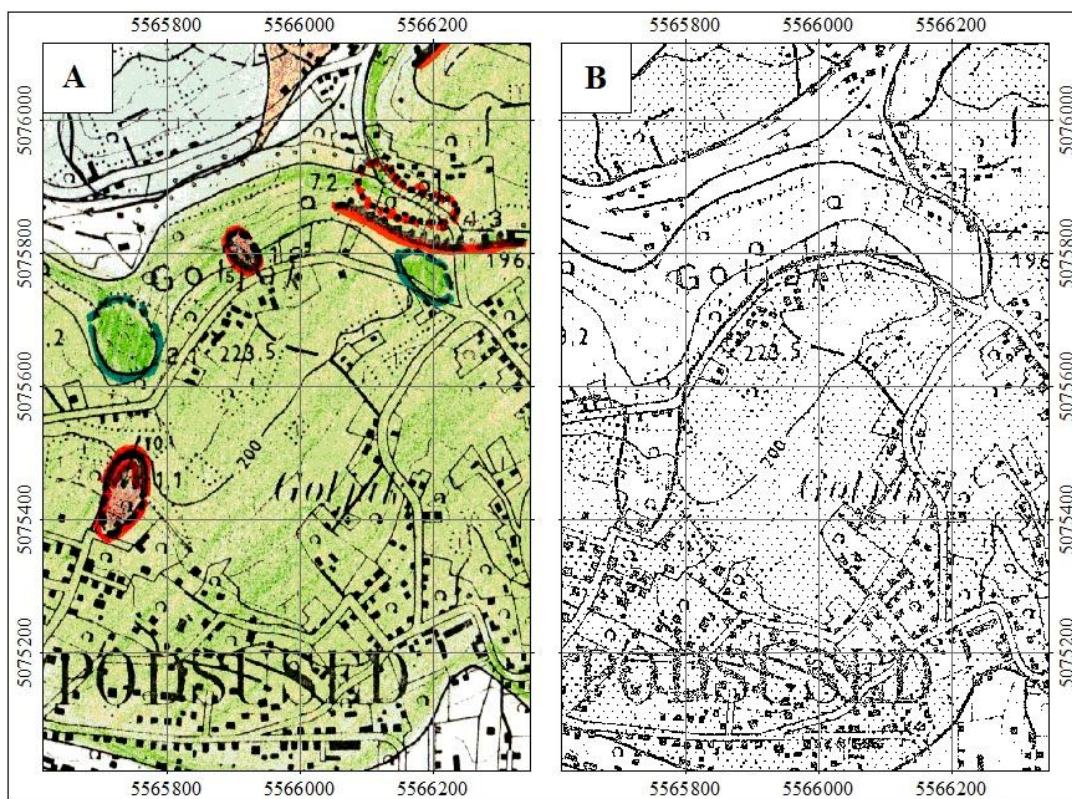
### **3. POSTOJEĆI PODACI O INVENTARU KLIZIŠTA IZ 1979. GODINE**

#### **3.1 Opis inventara klizišta iz 1979. godine**

Inventar klizišta iz 1979. rađen je u okviru studije nazvane „Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba“ (Polak i dr. 1979). Studija obuhvaća urbanizirani dio južnih i jugoistočnih obronaka Medvednice čija ukupna površina iznosi približno 105 km<sup>2</sup>. Sastavni dio studije su analogne karte u mjerilu 1:10.000 (Mihalić Arbanas i Arbanas 2014): (i) litološka karta s prikazom klizišta i drugih aktivnih geomorfoloških procesa; i (ii) karta zoniranja prema podložnosti terena na klizanje. Studiju je izradio tim stručnjaka iz bivše tvrtke “Geotehnika-Geoexpert“ na temelju opsežnih terenskih kartiranja klizišta i podataka iz arhive geotehničke dokumentacije.

Inventar klizišta 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. Klizišta su klasificirana kao aktivna i umirena, te su kartirana na temelju vidljivih značajki kao što su glavna pukotina, bočne pukotine i akumulacija materijala u nožici klizišta. U inventaru klizišta također su kartirane i pojave nastale puzanjem, odronjavanjem i erozijom, kao i nasipi i iskopi, močvare i siparišta. U popratnom izvješću (Polak i dr. 1979) se navodi da karta inventara ukupno sadržava 877 klizišta (259 aktivnih klizišta, 545 umirenih klizišta, 73 pojava nastalih puzanjem) i 58 siparišta. Autori karte inventara klizišta aktivnim klizištima su smatrali ona klizišta koja su izrazito svježa, ali i ona kod kojih se aktivnost ne vidi na prvi pogled, jer su obrasla travom ili drugom vegetacijom, prvenstveno radi opreza. U ovo stanje aktivnosti svrstana su klizišta koja su bila aktivna unatrag deset godina. Neaktivna klizišta kartirana su na temelju različitih pokazatelja nestabilnosti, uglavnom ostataka nekog dijela nekadašnjeg klizišta, a također su ovdje svrstani i zasjeci uz granicu posjeda ili kulture. Puzanjem su smatrali pojave bez jasno izraženih granica, koje ne zahvaćaju debeli pokrov već samo plitku površinsku zonu trošenja. Područja puzanja su uglavnom označena kao veće površine u čijem okviru kojih je registrirano više malih nestabilnosti.

Skupine malih klizišta su najčešće obuhvaćene jednom većom zajedničkom granicom. Slika 3.1a prikazuje inventar klizišta s litološkim jedinicama u podlozi okonturenih klizišta. Vrlo kratki opis svih nestabilnosti dan je u popratnom izvješću Polak i dr. (1979). Litologija je prikazana na karti u obliku pojednostavljenih geoloških jedinica s Osnovne geološke karte u mjerilu 1:100.000, List Zagreb (Šikić i dr. 1972) i List Ivanić Grad (Basch 1976). Slika 3.1b prikazuje kartu podložnosti na klizanje s četiri zone: zona I – stabilna područja koja se sastoje od aluvija u kojima ne postoji mogućnost za razvoj nestabilnosti; zona II – područja rijetkih i malih klizišta uzrokovanih antropogenim aktivnostima; zona III – područje velikih klizišta s dubokom kliznom plohom; zona IV – područja nepovoljnih prirodnih uvjeta u pogledu stabilnosti kosina (npr. erozije, strme padine, itd.). Također je za svaku zonu opisana i mogućnost gradnje. Podložnost na klizanje je procijenjena heurističkim metodama tijekom terenskog kartiranja, uglavnom na temelju gustoće klizišta (Mihalić Arbanas i Arbanas 2014).

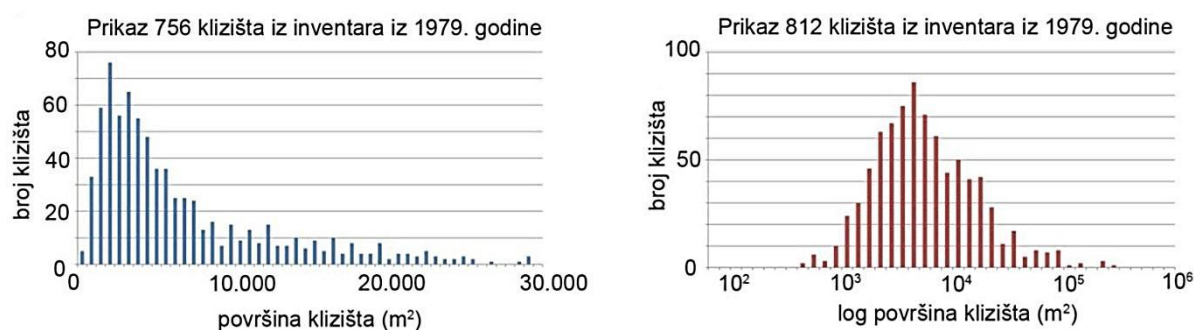


**Slika 3.1** Isječci karata klizišta iz studije „Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba“ (Polak i dr. 1979) za područje Podšuseda: a) litološka karta u mjerilu 1:10.000 s granicama klizišta od kojih su dva aktivna (klizište br. 1.1, 1.2) i dva neaktivna (klizište br. 2.1, 2.2); b) karta podložnosti na klizanje u mjerilu 1:10.000. Točkasta područja predstavljaju zonu II – umjereno stabilne padine; područja s vertikalnim linijama predstavljaju zonu III – umjereno nestabilne padine.

### 3.2 Statistička analiza inventara klizišta iz 1979. godine prema Podolszkom (2014)

Podolszki (2014) je u okviru svoje disertacije „Stereoskopska analiza i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice“ proveo statističku analizu klizišta u Podsljemenskoj zoni na temelju pet različitih izvora podataka, tri povijesna inventara klizišta i dva inventara klizišta koja je izradio u okviru disertacije interpretacijom stereomodela dvije generacije različitog mjerila. U disertaciji su prikazani rezultati statističkih analiza površine klizišta iz inventara klizišta iz 1967. (Šikić 1967), 1979. (Polak i dr. 1979) i 2007. godine (Miklin i dr. 2007). Dva nova inventara klizišta izrađena su na osnovi stereomodela iz 1964. godine (mjerila 1:8.000) i 1998. godine (mjerila 1:20.000).

Za inventar iz 1979. godine Podolszki (2014) je digitalizirao 812 klizišta s originalne analogne karte. Digitalizirao je ukupno 406 aktivnih klizišta, 294 neaktivna klizišta i 112 puzišta s rasponom veličine površina klizišta od 454 do 289.501 m<sup>2</sup>. Na slici 3.2 prikazane su učestalosti površina klizišta iz inventara iz 1979. godine prema Podolszkom (2014), izračunate iz podataka o digitaliziranim aktivnim klizištima, neaktivnim klizištima i puzištima. Lijevi dijagram na slici 3.2 prikazuje učestalosti površina 756 klizišta veličine do 30.000 m<sup>2</sup> u klasama po 600 m<sup>2</sup>. Desni dijagram na slici 3.2 prikazuje logaritamsku podjelu klasa površina svih klizišta u inventaru iz 1979. godine. Maksimalnu učestalost prema ovoj raspodjeli imaju klizišta u rasponu površina 3.981-5.012 m<sup>2</sup> u kojemu ima 86 klizišta ili približno 11% svih klizišta inventara (Podloszki 2014).



**Slika 3.2** Učestalosti površina klizišta prema Podolszkom (2014) na području južnih obronaka Medvednice prema povijesnom inventaru iz 1979. godine (Polak i dr. 1979)



Maksimalna površina identificiranih klizišta najmanja je u inventaru iz 1979. godine (289.501 m<sup>2</sup>), a zatim po veličini slijede inventari iz 1967. (506.932 m<sup>2</sup>) i 2007. (927.168 m<sup>2</sup>) godine. Razlog za to je taj što su jedino u inventaru iz 1979. godine uglavnom identificirane granice pojedinih klizišta, a u inventarima iz 2007. godine i 1967. godine su identificirane zone za koje je procijenjeno da su nestabilne. Osim toga, karakteristične dimenzije najučestalijih klizišta iz inventara iz 1979. godine su također najmanje, a iznose od 24x49 m do 60x120 m za oko 63% klizišta ovog inventara. Karakteristične dimenzije najučestalijih klizišta iz inventara iz 1967. godine su veće, jer iznose od 42x85 m do 62x125 m. Međutim, njihova zastupljenost u ovom inventaru je manja, oko 45%, a oko 50% klizišta je većih dimenzija. Karakteristične dimenzije najučestalijih klizišta iz inventara iz 2007. godine nije moguće odrediti na isti način, ali je vidljivo da je 77% klizišta većih dimenzija od 52x104 m (Podolszki 2014).

U radu Podolszki (2014) inventar klizišta iz 1979. godine također je korišten i za verifikaciju inventara dobivenih analizama stereomodela iz 1964. i 1998. godine. Prema Guzzetti i dr. (2005) u inventarima temeljenim na identifikaciji klizišta na terenu, klizišta općenito imaju veće površine nego u inventarima temeljenim na analizi stereomodela.

Na temelju stereomodela iz 1964. i 1998. godine identificirano je ukupno 2.192 klizišta. Prema inventaru iz stereomodela iz 1964. godine na području obuhvata inventara ukupne površine 51,14 km<sup>2</sup> identificirano je 963 klizišta. Prema tim podacima proizlazi da je gustoća klizišta 17,8 klizišta/km<sup>2</sup>. Površine klizišta kreću se u rasponu od 78 do 281.886 m<sup>2</sup>. Te ukupno zauzimaju 2,05 km<sup>2</sup>, što iznosi 3,8% cjelokupne površine (Podolszki 2014).

Karta klizišta prema stereoskopskoj analizi stereomodela iz 1998. godine sadrži 1.229 klizišta na području ukupne površine od 99,79 km<sup>2</sup>. Prema ovim podacima proizlazi da je gustoća klizišta na području stereomodela iz 1998. godine 12,3 klizišta/km<sup>2</sup>. Ukupna površina klizišta je 7,8 km<sup>2</sup>, što iznosi 7,3% udjela površine stereomodela. Prema inventaru iz 1998. godine površine klizišta su u rasponu od 103 do 276.643 m<sup>2</sup> (Podolszki 2014).

#### 4. STATISTIČKA ANALIZA INVENTARA KLIZIŠTA IZ 1979. GODINE

Analogna karta inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) je digitalizirana za potrebe provedbe statističke analize klizišta, opisane u ovom radu. S obzirom da su na karti inventara klizišta zasebno označena aktivna klizišta, neaktivna klizišta i pužišta, ova klasifikacija također je primijenjena i prilikom organizacije kartografske baze podataka. Ukupno je digitalizirano 289 aktivnih klizišta, 642 neaktivnih klizišta i 65 pužišta. Unutar aktivnih i neaktivnih klizišta također se razlikuju klizišta koja su na analognoj karti prikazana zatvorenim granicama klizišta, od klizišta čija granica je samo djelomično iscrtana. Prva skupina klizišta je grafički prikazana u obliku poligona (227 aktivnih i 424 neaktivnih klizišta), a druga skupina (62 aktivnih i 218 neaktivnih klizišta) je digitalizirana u obliku linija koje su nacrtane na originalnoj analognoj karti. U tablici 4.1 prikazani su skupni podaci za svih 996 klizišta koja su digitalizirana s analogne karte. Svega nekoliko klizišta nije digitalizirano zbog nejasnog prikaza na originalnoj karti, odnosno zbog nedostatka granica klizišta, a njihov broj iznosi približno 15.

**Tablica 4.1** Podaci o broju digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979)

| Tipovi klizišta    | Način prikaza klizišta na karti |                           | Ukupno     |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------|------------|
|                    | Zatvorena granica (poligon)     | Otvorena granica (linija) |            |
| Aktivno klizište   | 227                             | 62                        | 289        |
| Neaktivno klizište | 424                             | 218                       | 642        |
| Pužište            | 65                              | 0                         | 65         |
| <b>Ukupno</b>      | 716                             | 280                       | <b>996</b> |

Analiza učestalosti veličina površina 931 klizišta i 65 pužišta identificiranih i digitaliziranih prema povijesnim podacima iz 1979. godine prikazana je zasebno za aktivna klizišta (poglavlje 4.1), neaktivna klizišta (poglavlje 4.2) i za pužišta (poglavlje 4.3). Učestalosti površina klizišta analizirane su na sljedeće načine (Guzzetti 2006): (1) kao distribucija nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po razredima površine klizišta (engl. *non-cumulative number-area distribution*); (2) kao distribucija nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine unutar određenog

razreda površine klizišta (engl. *non-cumulative frequency-area distribution* ili *frequency density, FD*), što je u daljnjem tekstu nazvano gustoća učestalosti određenog razreda površine klizišta; i (3) kao normalizirana distribucija nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine unutar određenog razreda površine klizišta s ukupnim brojem klizišta u inventaru (engl. *non-cumulative probability-density distribution*, ili *probability density, PD*), što je u daljnjem tekstu nazvano gustoća vjerojatnosti određenog razreda površine klizišta. Pri analizama broja klizišta po razredima površina klizišta, korištene su dvije podjele na razrede, po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> za klizišta i 5.000 m<sup>2</sup> za puzišta, odnosno po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu što je rezultiralo različitim rasponima veličina površina klizišta u razredima.

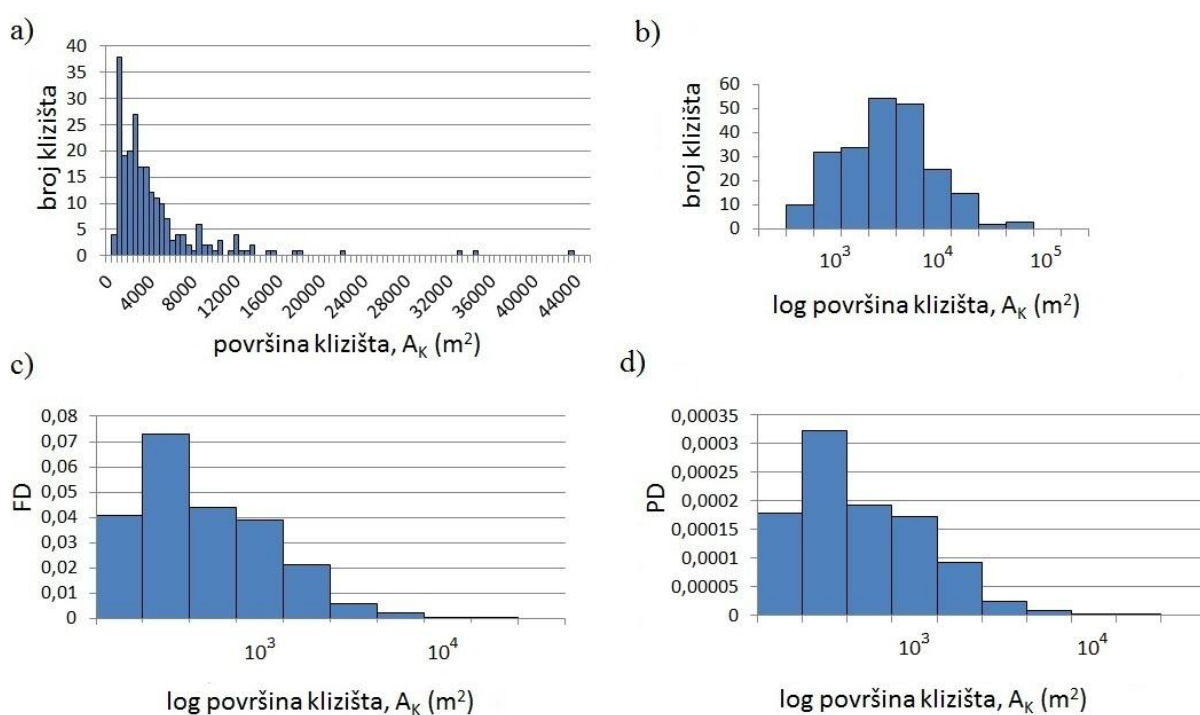
Veličine površina 931 klizišta zastupljenih u inventaru iz 1979. godine su u rasponu su od 0,41 do 43.228,2 m<sup>2</sup>, dok su veličine površina 65 puzišta znatno veće i to u rasponu od 5.825,5 do 289.341 m<sup>2</sup>. Maksimalne vrijednosti gustoće vjerojatnosti površina klizišta ukazuje na raspon najčešće zastupljenih površina klizišta u inventaru.

#### **4.1 Statistička analiza aktivnih klizišta**

Na slici 4.1 prikazana je analiza učestalosti veličine površina 227 aktivnih klizišta okonturenih kao poligoni prilikom digitalizacije originalne karte klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> je 38 klizišta i to u rasponu površina od 500 do 1.000 m<sup>2</sup> (slika 4.1a). Najučestalija su klizišta približnih dimenzija od 16x32 m do 22x45 m. U razredima površina klizišta od 500 do 5.000 m<sup>2</sup> prisutno je 171 klizište. Tim veličinama pripadaju klizišta približnih dimenzija od 16x32 m do 50x100 m. U analiziranom inventaru je ukupno 75,3% klizišta navedenih dimenzija, 1,8% klizišta manjih dimenzija, a 22,9% klizišta je veće od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu je 54 klizišta (ili približno 23,8%) i to u rasponu površina od 1.778 do 3.162 m<sup>2</sup> (slika 4.1b). Sličnu učestalost ima i razred od 3.162 do 5.623 m<sup>2</sup> koji ima 52 klizišta.

Iz distribucije nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz

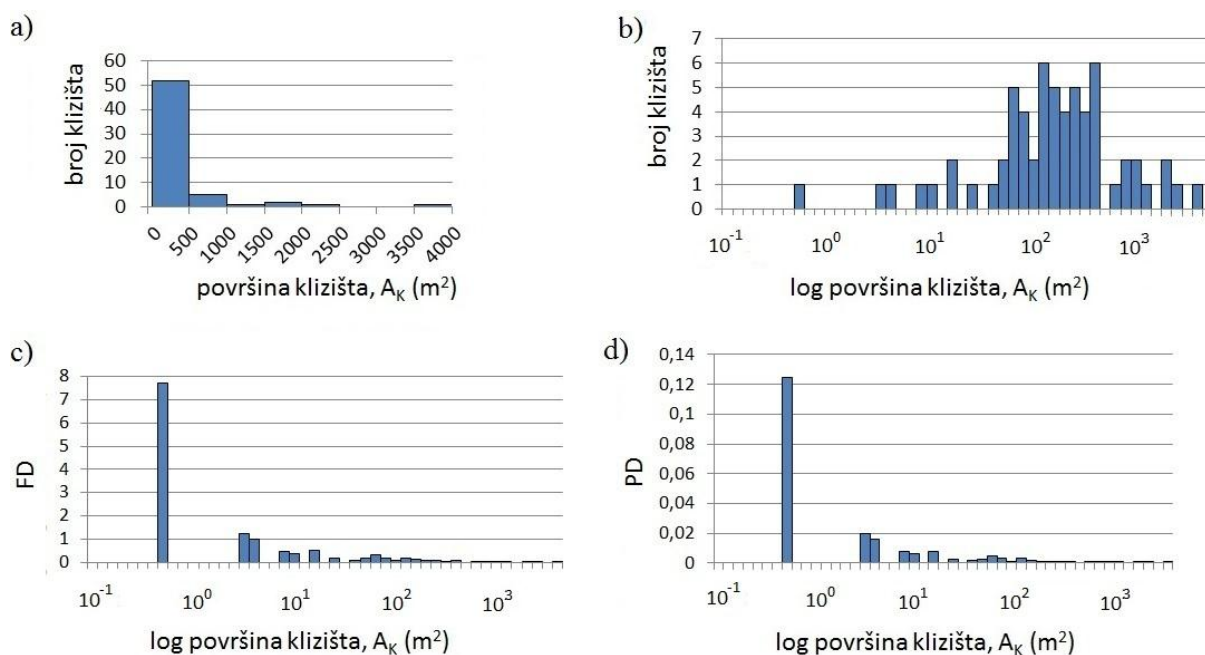
distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 562 do 1.000 m<sup>2</sup> s 0,073 klizišta po jedinici površine razreda, odnosno po m<sup>2</sup> (slika 4.1c). Drugom normalizacijom broja klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu (slika 4.1d) s ukupnim brojem klizišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 562,34 do 1.000 m<sup>2</sup>) iznosi 0,0003 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano klizište ima površinu u rasponu od 562 do 1.000 m<sup>2</sup> je 15%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da 57% aktivnih klizišta ima površinu manju od 3.162 m<sup>2</sup>, a 91% klizišta ima površinu manju od 10.000 m<sup>2</sup>.



**Slika 4.1** Učestalost površine 227 aktivnih klizišta okonturenih kao poligoni na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m<sup>2</sup>; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu

Na slici 4.2 prikazana je analiza učestalosti veličine površina 62 aktivna klizišta okonturenih linijom prilikom digitalizacije originalne karte klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> je 52 klizišta i to u rasponu površina od 0 do 500 m<sup>2</sup> (slika 4.2a).

Najučestalija su klizišta približnih dimenzija do 16x32 m. U razredima površina klizišta od 0 do 1.000 m<sup>2</sup> prisutno je 57 klizišta. Tim veličinama pripadaju klizišta približnih dimenzija do 22x45 m. U analiziranom inventaru je ukupno 83,9% klizišta navedenih dimenzija, te samo 16,1% klizišta većih od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu je 6 klizišta (ili približno 9,7%) i to u rasponu površina od 100 do 125 m<sup>2</sup> (slika 4.2b). Jednaku učestalost ima i razred od 316 do 398 m<sup>2</sup>.



**Slika 4.2** Učestalost površine 62 aktivna klizišta djelomično okonturenih linijom na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m<sup>2</sup>; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu

Iz distribucije nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 0,398 do 0,5 m<sup>2</sup> sa 7,71 klizištem po jedinici površine razreda (slika 4.2c). Naime, najveće vrijednosti gustoće učestalosti imaju upravo najmanji razredi površina s vrijednostima do 100 m<sup>2</sup>, iako se unutar njih nalazi maksimalno po dva klizišta.

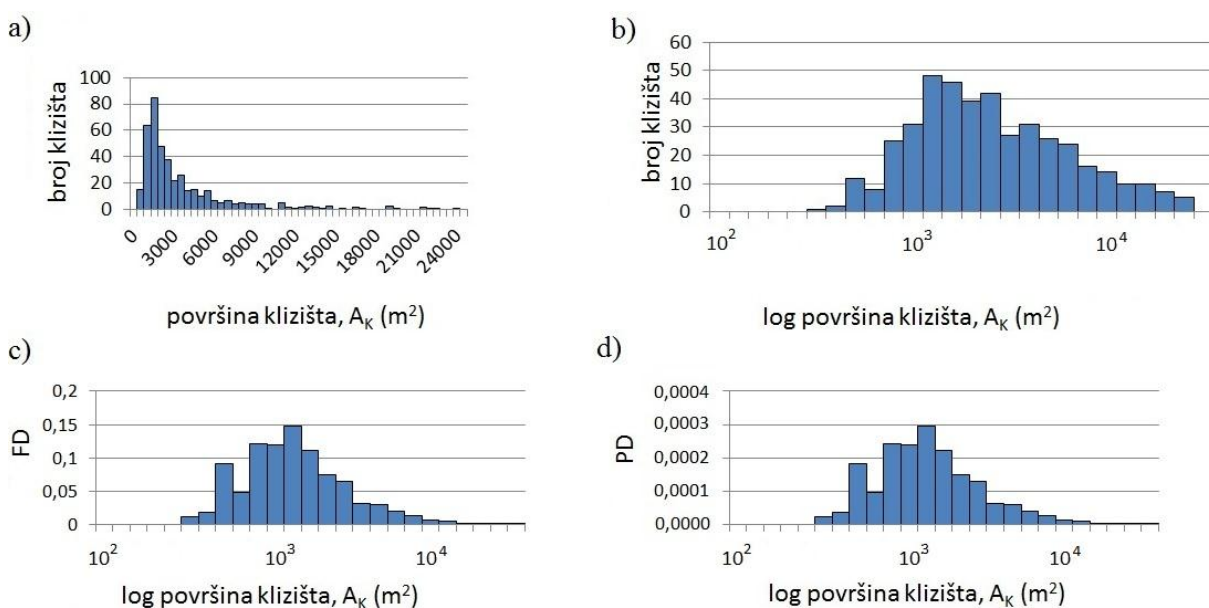
Zbog toga ove vrijednosti gustoća učestalosti nisu reprezentativne. Osim toga, klizišta malih površina na originalnoj karti su samo djelomično okonturena linijom, te ih također ne možemo smatrati pouzdanim i reprezentativnim podatkom. Reprezentativnijim pokazateljima smatraju se razredi površine klizišta unutar kojih se nalazi veći broj klizišta, koji su svi veći od 100 m<sup>2</sup>. Ukoliko zanemarimo razrede izrazito malih površina klizišta, iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 100 do 125 m<sup>2</sup> s 0,18 klizišta po jedinici površine razreda, odnosno po m<sup>2</sup> (slika 4.2c). Drugom normalizacijom broja klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu (slika 4.2d), s ukupnim brojem klizišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 100 do 125 m<sup>2</sup>) iznosi 0,003 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano klizište ima površinu u rasponu od 100 do 125 m<sup>2</sup> je 9,7%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da oko 53% aktivnih klizišta ima površinu manju od 158 m<sup>2</sup>, a 92% klizišta ima površinu manju od 1.000 m<sup>2</sup>.

#### **4.2 Statistička analiza neaktivnih klizišta**

Na slici 4.3 prikazana je analiza učestalosti veličine površina 424 neaktivna klizišta okonturenih kao poligoni prilikom digitalizacije originalne karte klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> je 85 klizišta i to u rasponu površina od 1.000 do 1.500 m<sup>2</sup> (slika 4.3a). Najučestalija su klizišta približnih dimenzija od 22x45 m do 27x56 m. U razredima površina klizišta od 500 do 3.500 m<sup>2</sup> prisutno je 283 klizišta. Tim veličinama pripadaju klizišta približnih dimenzija od 16x32 m do 42x84 m. U analiziranom inventaru je ukupno 66,7% klizišta navedenih dimenzija, 3,5% klizišta manjih dimenzija, a 29,8% klizišta je veće od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu je 48 klizišta (ili približno 11,3%) i to u rasponu površina od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> (slika 4.3b). Sličnu učestalost ima i razred od 1.258 do 1.584 m<sup>2</sup> koji ima 46 klizišta.

Iz distribucije nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> s 0,147 klizišta po jedinici površine razreda (slika

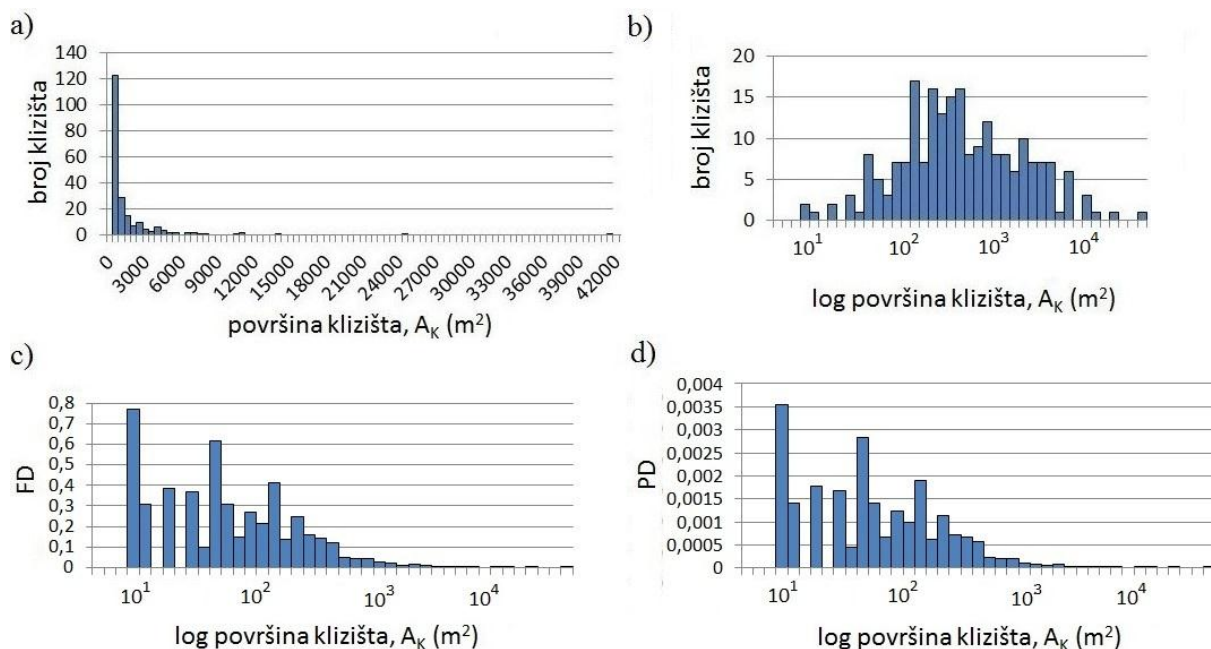
4.3c). Drugom normalizacijom broja klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu (slika 4.3d) s ukupnim brojem klizišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup>) iznosi 0,0003 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano klizište ima površinu u rasponu od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> je 11%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da 50% neaktivnih klizišta ima površinu manju od 1.995 m<sup>2</sup>, a 92% klizišta ima površinu manju od 10.000 m<sup>2</sup>.



**Slika 4.3** Učestalost površina 424 neaktivna klizišta okonturenih kao poligoni na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m<sup>2</sup>; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu

Na slici 4.4 prikazana je analiza učestalosti veličine površina 218 neaktivnih klizišta okonturenih linijom prilikom digitalizacije originalne karte klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> je 123 klizišta i to u rasponu površina od 0 do 500 m<sup>2</sup> (slika 4.4a). Najučestalija su klizišta približnih dimenzija do 16x32 m. U razredima površina klizišta od 0 do 1.500 m<sup>2</sup> prisutno je 167 klizišta. Tim veličinama pripadaju klizišta približnih dimenzija do 27x56 m. U analiziranom inventaru je ukupno 76,6% klizišta navedenih dimenzija, te 23,4% klizišta većih od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po

razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu je 17 klizišta (ili približno 7,8%) i to u rasponu površina od 125 do 158 m<sup>2</sup> (slika 4.4b). Sličnu učestalost imaju i razredi od 199 do 251 m<sup>2</sup> i od 398 do 501 m<sup>2</sup> koji imaju po 16 klizišta.



**Slika 4.4** Učestalost površine 218 neaktivnih klizišta djelomično okonturenih linijom na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m<sup>2</sup>; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu

Iz distribucije nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 7,94 do 10 m<sup>2</sup> s 0,77 klizišta po jedinici površine razreda (slika 4.4c). Kao što je već ranije navedeno, najveće vrijednosti gustoće učestalosti imaju upravo najmanji razredi površina klizišta s vrijednostima do 100 m<sup>2</sup>, iako se unutar njih nalazi maksimalno po osam klizišta. Zbog toga ove vrijednosti gustoća učestalosti nisu reprezentativne. Osim toga, klizišta malih površina na originalnoj karti su samo djelomično okonturena linijom, te ih također ne možemo smatrati pouzdanim i reprezentativnim podatkom. Reprezentativnijim pokazateljima smatraju se razredi površine klizišta unutar



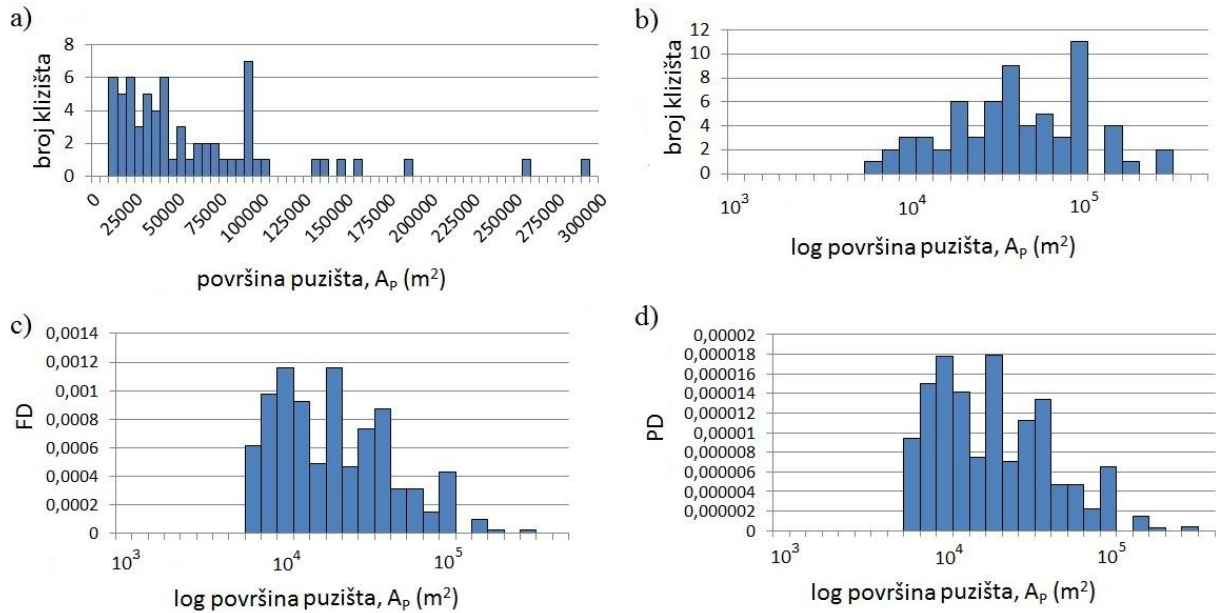
kojih se nalazi veći broj klizišta, koji su svi veći od 100 m<sup>2</sup>. Ukoliko zanemarimo razrede izrazito malih površina klizišta, iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 125 do 158 m<sup>2</sup> s 0,41 klizišta po jedinici površine razreda, odnosno po m<sup>2</sup> (slika 4.4c). Drugom normalizacijom broja klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu (slika 4.4d) s ukupnim brojem klizišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 125 do 158 m<sup>2</sup>) iznosi 0,002 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano klizište ima površinu u rasponu od 125 do 158 m<sup>2</sup> je 8%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da oko 56% aktivnih klizišta ima površinu manju od 501 m<sup>2</sup>, a 91% klizišta ima površinu manju od 3.981 m<sup>2</sup>.

### 4.3 Statistička analiza puzišta

Na slici 4.5 prikazana je analiza učestalosti veličine površina 65 puzišta okonturenih kao poligoni prilikom digitalizacije originalne karte klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina puzišta od 5.000 m<sup>2</sup> je 7 puzišta i to u rasponu površina od 85.000 do 90.000 m<sup>2</sup> (slika 4.5a). Najučestalija su puzišta približnih dimenzija od 206x413 m do 212x425 m. U razredima površina puzišta od 5.000 do 40.000 m<sup>2</sup> prisutno je 35 puzišta. Tim veličinama pripadaju puzišta približnih dimenzija od 50x100 m do 142x282 m. U analiziranom inventaru je ukupno 53,8% puzišta navedenih dimenzija, te 46,2% puzišta većih od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po razredima veličine površina puzišta u logaritamskom mjerilu je 11 puzišta (ili približno 16,9%) i to u rasponu površina od 79.432 do 100.000 m<sup>2</sup> (slika 4.5b). Sličnu učestalost ima i razred od 31.622 do 39.810 m<sup>2</sup> koji ima 9 puzišta.

Iz distribucije nekumulativne učestalosti puzišta ili broja puzišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina puzišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost puzišta ima razred površina puzišta od 15.848 do 19.952 m<sup>2</sup> s 0,0012 puzišta po jedinici površine razreda (slika 4.5c). Drugom normalizacijom broja puzišta u razredima veličine površina puzišta u logaritamskom mjerilu (slika 4.5d) s ukupnim brojem puzišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 15.848 do 19.952 m<sup>2</sup>) iznosi 0,000018 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano puzište ima površinu u rasponu od 15.848 do 19.952

$m^2$  je 9%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da oko 54% puzišta ima površinu manju od  $39.810 m^2$ , a 89% puzišta ima površinu manju od  $100.000 m^2$ .



**Slika 4.5** Učestalost površine 65 puzišta okonturenih kao poligoni na karti inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina puzišta za klase od  $5.000 m^2$ ; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina puzišta u logaritamskom mjerilu c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina puzišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina puzišta u logaritamskom mjerilu

## 5. RASPRAVA

U popratnom izvješću uz kartu inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) navedeno je da je na karti prikazano ukupno 877 klizišta klasificiranih kao aktivna klizišta (259 pojava), umirena ili neaktivna klizišta (545 pojava) i 73 pužišta, odnosno pojava nastalih procesom puzanja. U radu Podolszki (2014) prikazana je statistička analiza digitaliziranih klizišta, te se navodi da je digitalizirano ukupno 812 klizišta, od toga 406 aktivnih klizišta, 294 neaktivnih klizišta i 112 pužišta. Za potrebe ovoga rada također su digitalizirana klizišta s originalne analogne karte i to 289 aktivnih klizišta, 642 neaktivna klizišta i 65 pužišta. Iz navedenog je vidljivo da postoji određena nepouzdanost u podacima o ukupnom broju klizišta navedenih u elaboratu i broju klizišta prikazanih na analognoj karti inventara klizišta. Do takvog odstupanja moglo je doći iz razloga što se grupa klizišta nalazi pod istim brojem oznake klizišta te se digitalizacijom svakog klizišta zasebno povećao ukupni broj klizišta. Osim toga, jasno je vidljivo i da se broj klizišta međusobno razlikuje na dvije verzije digitalizirane karte, što ukazuje na moguće pogreške prilikom digitalizacije. Osim toga, s obzirom da su neka klizišta samo djelomično okonturena linijom, izračun njihovih površina bio je vrlo subjektivan proces koji umanjuje točnost i pouzdanost veličina površina klizišta, zbog čega su površine klizišta okonturenih poligonom pouzdaniji podatak o veličinama klizišta.

U tablici 5.1 prikazani su podaci o maksimalnim učestalostima veličine površine klizišta digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) prema rezultatima analiza opisanih u poglavlju 4. Iz tablice je vidljivo koji razredi veličine klizišta su najzastupljeniji, ovisno o tome je li klizište klasificirano kao aktivno ili neaktivno i ovisno o tome je li njegova granica pouzdano utvrđena ili je samo djelomično prikazana. Rezultati analize učestalosti također se razlikuju ovisno o tome jesu li rasponi razreda veličine površina isti ili različiti, kao kod logaritamske podjele. Iz tablice 5.1 proizlazi da su najučestalija aktivna klizišta pouzdano utvrđenih granica u rasponu granica 500-1.000 m<sup>2</sup> (16,7% klizišta) ako se analiziraju jednaki razredi površina klizišta, odnosno u rasponu granica 1.778-5.623 m<sup>2</sup> (46,7% klizišta) ako se analiziraju razredi veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu. Za najučestalija neaktivna klizišta pouzdano utvrđenih granica proizlazi da su u rasponu granica 1.000-1.500 m<sup>2</sup> (20,1% klizišta) ako se analiziraju jednaki razredi površina klizišta, odnosno u rasponu granica 1.000-1.584 m<sup>2</sup> (22,2% klizišta) ako se analiziraju razredi veličine površina klizišta u

logaritamskom mjerilu. U tablici 5.2 prikazane su vjerojatnosti pojave klizišta određene površine, također prema rezultatima analiza iz poglavlja 4. Iz tih rezultata proizlazi da je oko 90%-tna vjerojatnost pojave klizišta pouzdano utvrđenih granica, aktivnih ili neaktivnih, s površinom <math><10.000\text{ m}^2</math>. Ako se promatra 50%-tna vjerojatnost pojave klizišta, tada su očekivane površine klizišta manje od  $1.995\text{ m}^2$  (prema analizi neaktivnih klizišta), odnosno manje od  $3.162\text{ m}^2$  (prema analizi aktivnih klizišta). Očekivane površine klizišta su daleko manje, ako se promatraju rezultati nepouzdanosti utvrđenih granica klizišta, bilo aktivnih ili neaktivnih.

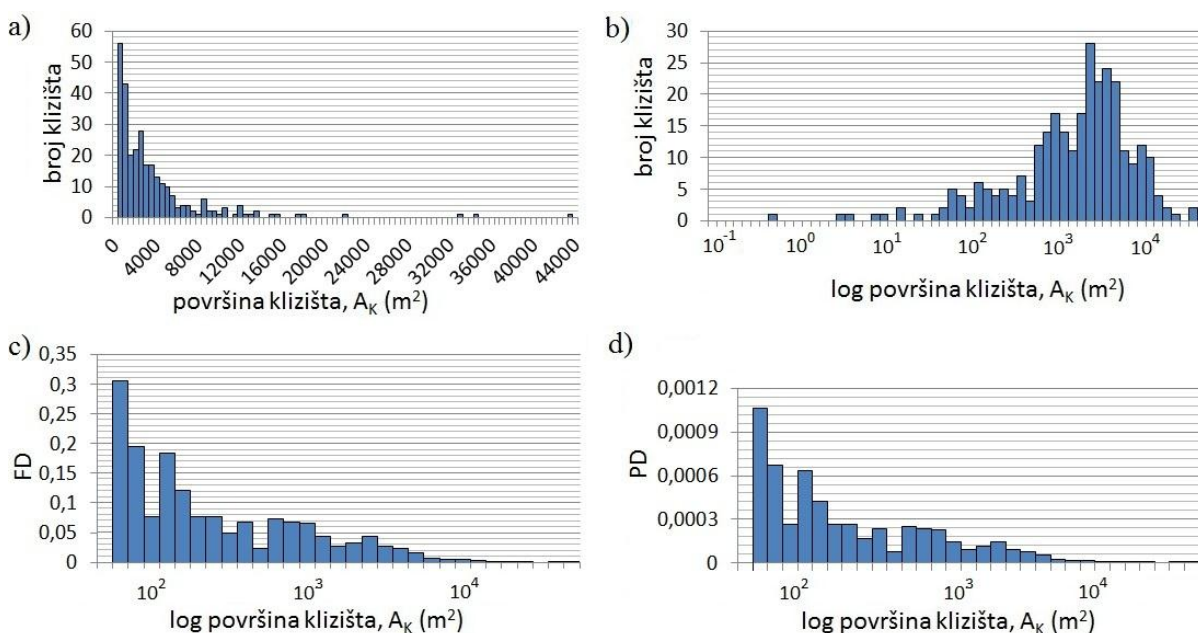
Objedinjavanjem poligona i linija aktivnih klizišta i neaktivnih klizišta prikazanim na slikama 5.1 i 5.2, distribucija histograma učestalosti površina klizišta nije se mijenjala u većoj mjeri u odnosu na dobivene vrijednosti prikazane u poglavljima 4.1 i 4.2. Od ukupnog broja aktivnih i neaktivnih klizišta, prikazanih na slici 5.1 i 5.2, izostavljene su vrijednosti gustoće učestalosti (FD) i gustoće vjerojatnosti (PD) za klizišta s veličinom površina do  $100\text{ m}^2$  iz razloga što takav podatak nije statistički reprezentativan zbog male površine razreda koja uzrokuje veliku vrijednost.

**Tablica 5.1** Podaci o maksimalnim učestalostima veličine površine klizišta digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) prema rezultatima analiza opisanih u poglavlju 4

| Maksimalna učestalost   |   |   |
|---|---|---|
| Tipovi klizišta   | Razredi površina klizišta od $500\text{ m}^2$ | Razredi površina klizišta u logaritamskom mjerilu |
| <b>Aktivno klizište, pouzdana granica</b>                     | $500-1.000\text{ m}^2$<br>(38 klizišta)       | $1.778-3.162\text{ m}^2$<br>(54 klizišta)         |
|   |   | $3.162-5.623\text{ m}^2$<br>(52 klizišta)         |
| <b>Aktivno klizište, djelomično pretpostavljena granica</b>   | $0-500\text{ m}^2$<br>(52 klizišta)           | $100-125\text{ m}^2$<br>(6 klizišta)              |
|   |   | $316-398\text{ m}^2$<br>(6 klizišta)              |
| <b>Neaktivno klizište, pouzdana granica</b>                   | $1.000-1.500\text{ m}^2$<br>(85 klizišta)     | $1.000-1.258\text{ m}^2$<br>(48 klizišta)         |
|   |   | $1.258-1.584\text{ m}^2$<br>(46 klizišta)         |
| <b>Neaktivno klizište, djelomično pretpostavljena granica</b> | $0-500\text{ m}^2$<br>(123 klizišta)          | $125-158\text{ m}^2$<br>(17 klizišta)             |
|   |   | $199-251\text{ m}^2$<br>(16 klizišta)             |
|   |   | $398-501\text{ m}^2$<br>(16 klizišta)             |
|   |   |   |
| <b>Puzište</b>  | $85.000-90.000\text{ m}^2$<br>(7 puzišta)     | $79.432-100.000\text{ m}^2$<br>(11 puzišta)       |

**Tablica 5.2** Podaci o vjerojatnostima veličine površine klizišta digitaliziranih klizišta s originalne analogne karte inventara klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) prema rezultatima analiza opisanih u poglavlju 4

| Vjerojatnost površine klizišta                                      |                             |                  |                             |                  |
|---|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| Tipovi klizišta   | Površina klizišta ( $A_K$ ) | Vjerojatnost (%) | Površina klizišta ( $A_K$ ) | Vjerojatnost (%) |
| Aktivno klizište, pouzdana granica (227 pojava)                     | <3.162 m <sup>2</sup>       | 57%              | <10.000 m <sup>2</sup>      | 91%              |
| Aktivno klizište, djelomično pretpostavljena granica (62 pojava)    | <158 m <sup>2</sup>         | 53%              | <1.000 m <sup>2</sup>       | 92%              |
| Neaktivno klizište, pouzdana granica (424 pojava)                   | <1.995 m <sup>2</sup>       | 50%              | <10.000 m <sup>2</sup>      | 92%              |
| Neaktivno klizište, djelomično pretpostavljena granica (218 pojava) | <501 m <sup>2</sup>         | 56%              | <3.981 m <sup>2</sup>       | 91%              |
| Puzište (65 pojava)   | <39.810 m <sup>2</sup>      | 54%              | <100.000 m <sup>2</sup>     | 89%              |



**Slika 5.1** Prikaz učestalosti površina svih 289 aktivnih klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m<sup>2</sup>; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu

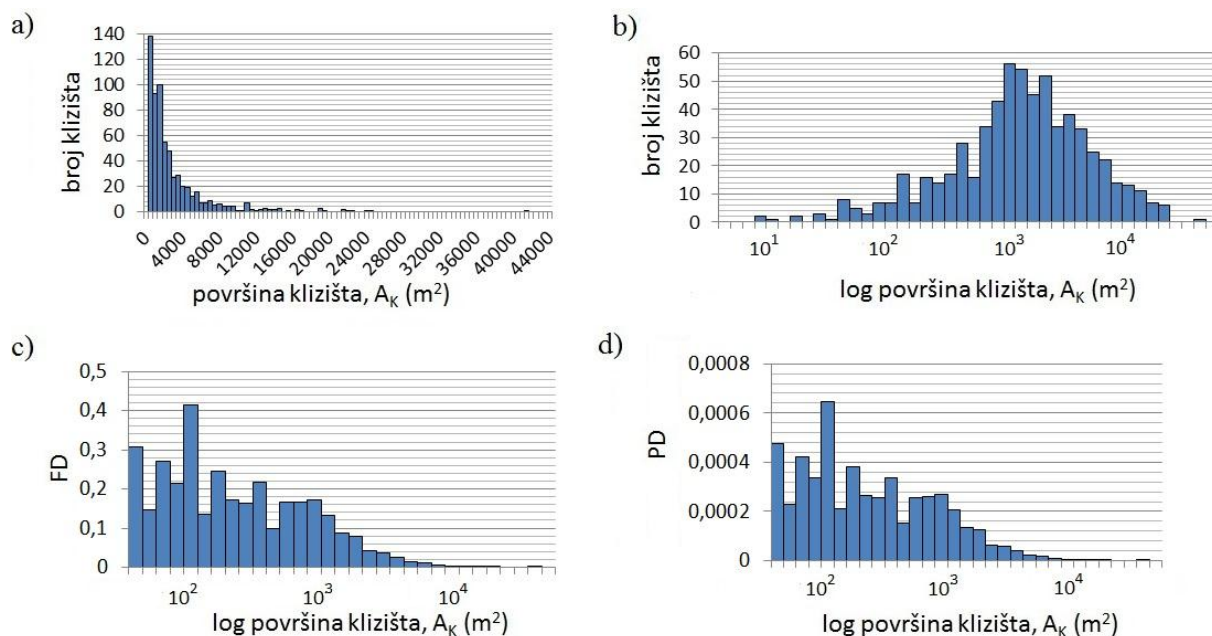
Na slici 5.1 prikazana je analiza učestalosti veličine površina svih aktivnih klizišta (289 klizišta) povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> je 56 klizišta i to u rasponu površina od 0

do 500 m<sup>2</sup> (slika 5.1a). Najučestalija su klizišta približnih dimenzija do 16x32 m. U razredima površina klizišta od 0 do 5.000 m<sup>2</sup> prisutno je 237 klizišta. Tim veličinama pripadaju klizišta približnih dimenzija do 50x100 m. U analiziranom inventaru je ukupno 82% klizišta navedenih dimenzija, a 20% klizišta je veće od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu je 28 klizišta (ili približno 9,7%) i to u rasponu površina od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> (slika 5.1b). Sličnu učestalost ima i razred od 3.162 do 3.981 m<sup>2</sup> koji ima 24 klizišta.

Iz distribucije nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 50 do 63 m<sup>2</sup> s 0,31 klizištem po jedinici površine razreda, odnosno po m<sup>2</sup> (slika 5.1c). Kao što je već ranije navedeno, najveće vrijednosti gustoće učestalosti imaju upravo najmanji razredi površina klizišta s vrijednostima do 100 m<sup>2</sup> koje nisu reprezentativne. Osim toga, klizišta malih površina na originalnoj karti su samo djelomično okonturena linijom, te ih također ne možemo smatrati pouzdanim i reprezentativnim podatkom. Reprezentativnijim pokazateljima smatraju se razredi površine klizišta unutar kojih se nalazi veći broj klizišta, koji su svi veći od 100 m<sup>2</sup>. Ukoliko zanemarimo razrede izrazito malih površina klizišta, iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 100 do 125 m<sup>2</sup> s 0,18 klizišta po jedinici površine razreda, odnosno po m<sup>2</sup> (slika 5.1c). Drugom normalizacijom broja klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu (slika 5.1d), s ukupnim brojem klizišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 100 do 125 m<sup>2</sup>) iznosi 0,0006 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano klizište ima površinu u rasponu od 100 do 125 m<sup>2</sup> je 2,1%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da 49% aktivnih klizišta ima površinu manju od 1.995 m<sup>2</sup>, a 93% klizišta ima površinu manju od 10.000 m<sup>2</sup>.

Na slici 5.2 prikazana je analiza učestalosti veličine površina svih neaktivnih klizišta (642 klizišta) povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979). Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta od 500 m<sup>2</sup> je 138 klizišta i to u rasponu površina od 0 do 500 m<sup>2</sup> (slika 5.2a). Najučestalija su klizišta približnih dimenzija do 16x32 m. U razredima površina klizišta od 0 do 5.500 m<sup>2</sup> prisutno je 557 klizišta. Tim veličinama

pripadaju klizišta približnih dimenzija do 53x104 m. U analiziranom inventaru je ukupno 86,8% klizišta navedenih dimenzija, a 13,2% klizišta je veće od karakterističnih dimenzija. Maksimalna učestalost po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu je 56 klizišta (ili približno 8,7%) i to u rasponu površina od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> (slika 5.2b). Sličnu učestalost ima i razred od 1.258 do 1.584 m<sup>2</sup> koji ima 54 klizišta.

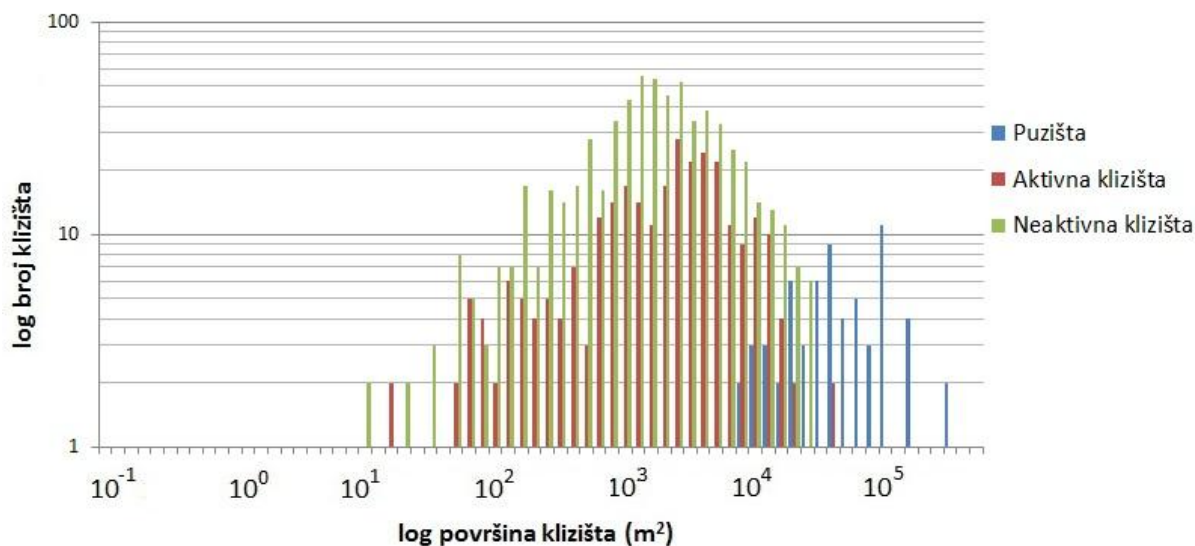


**Slika 5.2** Prikaz učestalosti površina svih 642 neaktivna klizišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979): a) prikaz učestalost po razredima veličine površina klizišta za klase od 500 m<sup>2</sup>; b) prikaz učestalosti po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; c) prikaz gustoće učestalosti (FD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu; d) prikaz gustoće vjerojatnosti (PD) po razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu

Iz distribucije nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine razreda (unutar razreda veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu), odnosno iz distribucije gustoće učestalosti proizlazi da maksimalnu učestalost klizišta ima razred površina klizišta od 125 do 158 m<sup>2</sup> s 0,41 klizištem po jedinici površine razreda (slika 5.2c). Drugom normalizacijom broja klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu (slika 5.2d), s ukupnim brojem klizišta u inventaru dobivena je gustoća vjerojatnosti koja za dominantni razred (od 125 do 158 m<sup>2</sup>) iznosi 0,0007 m<sup>-2</sup>. Vjerojatnost da slučajno izabrano klizište ima površinu u rasponu od 125 do 158 m<sup>2</sup> je

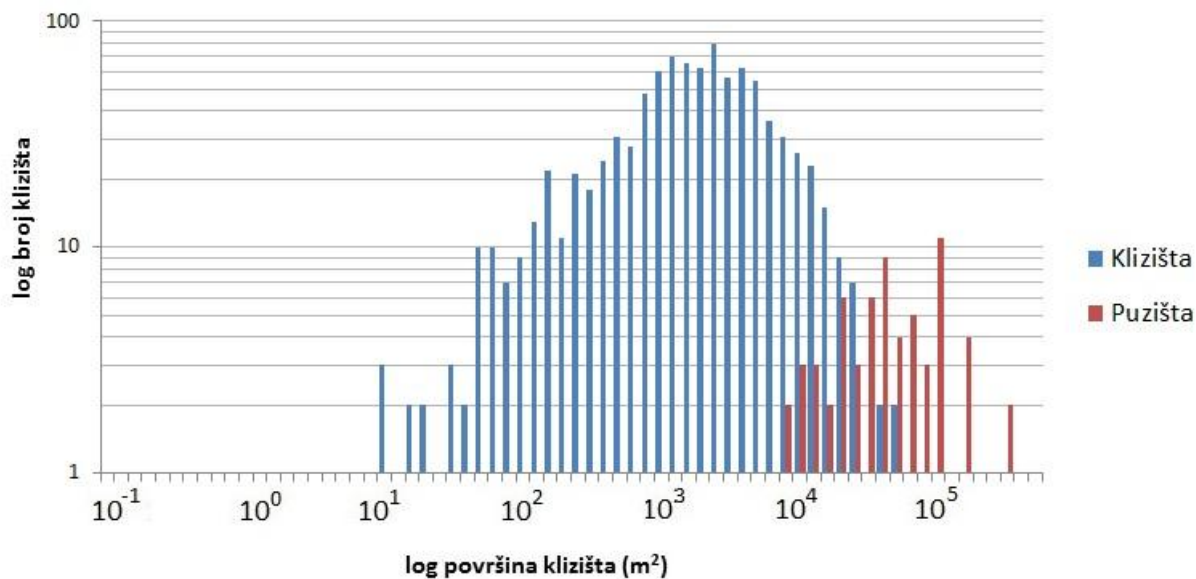
2,7%. Iz histograma gustoće vjerojatnosti također proizlazi da 53% neaktivnih klizišta ima površinu manju od 1.584 m<sup>2</sup>, a 94% klizišta ima površinu manju od 10.000 m<sup>2</sup>.

Objedinjavanje svih podataka prikazano je u logaritamskom mjerilu na slici 5.3 i 5.4. Usporedbom svih klizišta s pužištima, dobiven je odnos veličine površine klizišta i pužišta. Aktivna i neaktivna klizišta su približno jednake dimenzije, što je očekivani rezultat, pri čemu je broj neaktivnih klizišta veći od broja aktivnih klizišta. Suprotno tome, pužišta su puno većih površina od klizišta. S obzirom da njihove prevelike dimenzije nisu u skladu s dimenzijama aktivnih i neaktivnih klizišta, iskazane površine, a time i granice pužišta ne smatraju se realnima, te ih je zbog nepouzdanosti preporučljivo izostaviti iz svih razmatranja.



**Slika 5.3** Usporedba veličine površina aktivnih i neaktivnih klizišta i pužišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979)





**Slika 5.4** Usporedba veličine površina svih klizišta i puzišta povijesnog inventara iz 1979. godine (Polak i dr. 1979)

Na slici 5.5 prikazana je logaritamska raspodjela površina 931 klizišta i 65 puzišta veličine od 0,41 do 289.341 m<sup>2</sup>. Maksimalna učestalost prema ovoj raspodjeli imaju klizišta u rasponu površina od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> u kojem ima 80 klizišta ili približno 8,03% svih klizišta i puzišta inventara.



**Slika 5.5** Distribucija površina klizišta na području južnih obronaka Medvednice prema povijesnom inventaru iz 1979. godine (Polak i dr. 1979)

Prema inventaru klizišta iz 1979. godine (Polak i dr. 1979) na području obuhvata inventara ukupne površine 105 km<sup>2</sup> identificirano je 996 klizišta (zajedno s pužistima). Prema tim podacima proizlazi da je gustoća klizišta 9,5 klizišta/km<sup>2</sup>. Površine klizišta se kreću u rasponu od 0,41 do 289.341 m<sup>2</sup>, te ukupno zauzimaju 6,5 km<sup>2</sup> što iznosi 6,2% cjelokupne površine. Podolszki (2014) za inventar klizišta iz 1979. godine dobiva ukupno 812 klizišta raspona površina od 454 do 289.501 m<sup>2</sup> koja zauzimaju 9,1 km<sup>2</sup>, odnosno 8,7% cjelokupne površine. S obzirom na statističku analizu ostalih inventara klizišta koji obuhvaćaju područje Podsljemenske zone iz Podolszki (2014), za inventar klizišta iz 1964. godine dobiven je podatak da klizišta prekrivaju ukupno 3,8% cjelokupne površine inventara s gustoćom klizišta od 17,8 klizišta/km<sup>2</sup>, a za inventar klizišta iz 1998. godine udio površine inventara pod klizištem je 7,3% s gustoćom klizišta od 12,3 klizišta/km<sup>2</sup>.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu provedena je digitalizacija karte klizišta iz 1979. godine sa svrhom statističke analize podataka inventara klizišta, odnosno analize učestalosti površina klizišta. Analiza je provedena s obzirom na četiri grupe podataka, ovisno o aktivnosti klizišta i o pouzdanosti identificiranih granica klizišta koje također utječu na pouzdanost digitaliziranih podataka.

Učestalosti površina klizišta analizirane su na sljedeće načine: (1) kao distribucija nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po razredima površine klizišta; (2) kao distribucija nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine unutar određenog razreda površine klizišta (gustoća učestalosti) i (3) kao normalizirana distribucija nekumulativne učestalosti klizišta ili broja klizišta po jedinici površine unutar određenog razreda površine klizišta s ukupnim brojem klizišta u inventaru (gustoća vjerojatnosti).

Iz analize učestalosti klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu za aktivna klizišta okonturena poligonima proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 1.778 do 3.162 m<sup>2</sup> s 54 klizišta. U razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu broj klizišta po jedinici površine u razredu od 1.778 do 3.162 m<sup>2</sup> iznosi 0,04 klizišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizišta gdje ona iznosi 23,8%.

Iz analize učestalosti klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu za aktivna klizišta djelomično okonturena linijom proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 100 do 125 m<sup>2</sup> i od 316 do 398 m<sup>2</sup> s po 6 klizišta. U razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu broj klizišta po jedinici površine u razredu od 100 do 125 m<sup>2</sup> iznosi 0,18 klizišta po m<sup>2</sup>, a u razredu od 316 do 398 m<sup>2</sup> 0,058 klizišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizišta gdje ona iznosi 9,7% za svaki razred.

Iz analize učestalosti klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu za neaktivna klizišta okonturena poligonima proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> s 48 klizišta. U razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu broj klizišta po jedinici površine u razredu od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup>

iznosi 0,15 klizišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizišta gdje ona iznosi 11,3%.

Iz analize učestalosti klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu za neaktivna klizišta djelomično okonturena linijom proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 125 do 158 m<sup>2</sup> sa 17 klizišta. U razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu broj klizišta po jedinici površine u razredu od 125 do 158 m<sup>2</sup> iznosi 0,41 klizišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizišta gdje ona iznosi 7,8%.

Iz analize učestalosti pužišta u razredima veličine površina pužišta u logaritamskom mjerilu proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 79.432 do 100.000 m<sup>2</sup> s 11 pužišta. U razredima veličine površina pužišta u logaritamskom mjerilu broj pužišta po jedinici površine u razredu od 79.432 do 100.000 m<sup>2</sup> iznosi 0,0004 pužišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću pužišta gdje ona iznosi 16,9%.

Kada se zajedno promatraju podaci svih aktivnih klizišta iz analize učestalosti klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> s 28 klizišta. U razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu broj klizišta po jedinici površine u razredu od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> iznosi 0,043 klizišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizišta gdje ona iznosi 9,7%.

Kada se zajedno promatraju podaci svih neaktivnih klizišta iz analize učestalosti klizišta u razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> s 56 klizišta. U razredima veličine površina klizišta u logaritamskom mjerilu broj klizišta po jedinici površine u razredu od 1.000 do 1.258 m<sup>2</sup> iznosi 0,17 klizišta po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizišta gdje ona iznosi 8,7%.

Kada promatramo podatke svih klizišta i pužišta zajedno, iz analize učestalosti klizanja u razredima veličine površina u logaritamskom mjerilu proizlazi da je najveća učestalost u rasponu od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> s 80 klizanja. U razredima veličine površina u logaritamskom mjerilu broj klizanja po jedinici površine u razredu od 1.995 do 2.511 m<sup>2</sup> iznosi 0,15 klizanja po m<sup>2</sup>. To je ujedno i pokazatelj razreda s najvećom vjerojatnošću klizanja gdje ona iznosi 8%.

## 7. LITERATURA

AVANIĆ, R., BRKIĆ, M., MIKNIĆ, M., ŠIMUNIĆ, A., PAVELIĆ, D., 1995. Gornjobadenske i sarmatske naslage Gornje Kustošije [The Upper Badenian and Sarmatian deposits of the Gornja Kustošija – in Croatian]. U: Geološki vodič Medvednice. Zagreb: Hrvatski geološki institut, str. 71-73.

BASCH, O., 1976. Osnovna geološka karta, List Ivanić Grad, M 1:100.000. Zagreb: Geološki zavod Zagreb.

BELIĆ, N., MIHALIĆ ARBANAS, S., ŠIŠKO, D., GAJSKI, D., 2014. Derivation of Historical Land Cover Map Based on Digital Orthophoto Images of the Zagreb Area. Landslide and Flood Hazard Assessment. U: Proceedings of the 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region. Zagreb: Ured za upravljanje u hitnim situacijama Grada Zagreba, 2014, str. 63-66.

BERNAT, S., MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M., 2014. Inventory of Precipitation Triggered Landslides in the Winter of 2013 in Zagreb (Croatia, Europe). U: Proceedings of the World Landslide Forum 3. Heidelberg: Springer, 2014, str. 829-836.

BOGNAR, A., 2001. Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. Acta Geographica Croatica, 34, str. 7-26.

DHMZ - DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD, 2013. Meteorološki i hidrološki bilten, 1-3. 2013. URL: [http://digured.srce.hr/webpac-hidra-pprh2-pregled/?rm=results&show\\_full=1&f=IDbib&v=SD052065](http://digured.srce.hr/webpac-hidra-pprh2-pregled/?rm=results&show_full=1&f=IDbib&v=SD052065) (15.6.2015)

DZS RH – Državni zavod za statistiku, 2011. Statistička izvješća - Popis stanovništva iz 2011. godine. URL: <http://www.dzs.hr> (15.5.2015)

GRAD ZAGREB, 2011. Zagrebačka infrastruktura prostornih podataka, GEOPORTAL. URL: <https://geoportal.zagreb.hr/Karta?tk=6> (15.7.2015)

GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., CARDINALI, M., GALLI, M., ARDIZZONE, F., 2005: Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72, str. 272-299.

GUZZETTI, F., 2006. *Landslide hazard and risk assessment*. Doktorska disertacija. Bonn: University of Bonn, 389 str.

JURAK, V., ORTOLAN, Ž., IVŠIĆ, T., HERAK, M., ŠUMANOVAC, F., VUKELIĆ, I., JUKIĆ, M., 2008. Geotechnical and seismic microzonation of Zagreb: Attempts and realization. U: *Proceedings of the Conference 'Development of the Zagreb'*. Zagreb: Izdavač, 2008, str. 99-108.

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V., 1944. Fauna marinskog miocena južnog pobočja Medvednice–Zagrebačke gore. *Vjesnik Hrv. drž. geol. zavoda i Hrv. drž. geol. muzeja*, 2(3), str. 171-272.

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V., BAJRAKTAREVIĆ, Z., 1981. Miocen (baden i sarmat) najzapadnijeg ruba Medvednice. *Geol. vjesnik*, 33, str. 43-48.

MALAMUD, B. D., TURCOTTE, D. L., GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., 2004: Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, str. 687-711.

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.

MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ M., BERNAT S, ARBANAS Ž., 2012. Use of existing data in the City of Zagreb (Croatia, Europe) for the purpose of geo-planning. U: *Proceedings of 13th World Conference of ACUUS*. Singapore: Research Publishing, 2012, str. 465-477.

MIHALIĆ ARBANAS, S., ARBANAS, Ž., 2013. The Croatian–Japanese joint research project on landslides: activities and public benefits. U: Landslides: Global risk preparedness. Heidelberg: Springer, str. 333-349.

MIKLIN, Ž., MLINAR, Ž., BRKIĆ, Ž., 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.

PODOLSZKI, L., 2014: Stereoskopska analiza klizišta i relativne opasnosti od klizanja na južnim obroncima Medvednice. Doktorska disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 322 str.

POLAK, K., KLEMAR, M., NEJKOVA, M., RADOŠEVIĆ, N., STEPAN, Z., MIROSLAV, M., KRIŽANIĆ, Z., 1979. Litološka obrada i kategorizacija terena prema stabilnosti tla obronaka Medvednice na području grada Zagreba. Zagreb: Geotehnika-Geoexpert, 107 str.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1972. Osnovna geološka karta, List Zagreb, M 1:100.000. Zagreb: Geološki zavod Zagreb.

ŠIKIĆ, K., 1995. Geološki vodič Medvednice. Zagreb: Institut za geološka istraživanja i INA-Industrija nafte, str. 199

ŠIKIĆ, V., 1967. Inženjerska geologija Zagreb – sjever i jug. Zagreb: Institut za geološka istraživanja, 152 str.

VRŠALJKO, D., PAVELIĆ, D. & BAJRAKTAREVIĆ, Z., 2005: Stratigraphy and palaeogeography of Miocene Deposits from the Marginal Area of Žumberak Mt. and Samoborsko Gorje Mts. (Northwestern Croatia). *Geologia Croatica, Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society*, Zagreb, 58(2), str. 133-150.

VRŠALJKO, D., PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., BRKIĆ, M., KOVAČIĆ, K., HEĆIMOVIĆ, I., HAJEK-TADESSE, V., AVANIĆ, R., KURTANJEK, N., 2006: Middle

Miocene (Upper Badenian/Sarmatian) Palaeoecology and Evolution of the Environments in the Area of Medvednica Mt. (North Croatia). *Geologia Croatica*, Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society, Zagreb, 59(1), str. 51-63.

ZAVOD ZA PROSTORNO UREĐENJE GRADA ZAGREBA, 2014. Prostorni plan Grada Zagreba (PPGZ) - izmjene i dopune 2014, Tekstualni dio izmjena i dopuna Prostornog plana Grada Zagreba, Knjiga 2. Zagreb. URL: <http://www.zagreb.hr/default.aspx?id=25182> (15.7.2015)