

Analiza pokretača klizanja u proljeće 2013. godine na području grada Samobora

Rački, Mateja

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:169:070520>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-01**



Repository / Repozitorij:

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



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

**ANALIZA POKRETAČA KLIZANJA U PROLJEĆE 2013.
GODINE NA PODRUČJU GRADA SAMOBORA**

Diplomski rad

Mateja Rački
GI 119

Zagreb, 2015.

Zahvale:

Dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas,

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

Dr. sc. Kristijanu Posavcu,

Na pomoći, razumijevanju i strpljenju tijekom izrade ovog rada

Sanji Bernat, mag. ing. geol.,

Na pomoći, korekcijama i strpljenju tijekom izrade ovog rada

Marinu Sečanju, mag. ing. geol.,

Na tehničkoj podršci, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada

Gradu Samoboru,

Na ustupljenoj dokumentaciji klizišta; posebno pročelniku Upravnog odjela za komunalne djelatosti gosp. Zvonku Župančiću na organizaciji obilaska terena i omogućavanju pristupa podacima

Državnom hidrometeorološkom zavodu,

Na ustupljenim podacima o oborinama

**ANALIZA POKRETAČA KLIZANJA U PROLJEĆE 2013. GODINE
NA PODRUČJU GRADA SAMOBORA**

MATEJA RAČKI

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

Sažetak

U razdoblju od siječnja do travnja 2013. godine na području Grada Samobora aktivirana su brojna klizišta kao posljedica oborina. U okviru ovog diplomskog rada prikupljeni su podaci o 45 klizišta iz različitih izvora: lokalne samouprave Grada Samobora, Područnog ureda za zaštitu i spašavanje Grada Zagreba, tehničkih izvješća i geotehničkih elaborata, kao i informacija iz medija. Također je provedeno i rekognoscirajuće kartiranje klizišta na terenu u svrhu provjere podataka i prikupljanja opisnih podataka o točnoj lokaciji klizišta, površini klizišta i elementima pod rizikom. Ovi podaci poslužili su za analizu pokretača klizanja, koja se sastojala od identifikacije oborinskih događaja uslijed kojega su klizišta pokrenuta, kao i definiranja intenziteta i trajanja identificiranih oborinskih događaja. Pri analizi oborina korišteni su podaci o oborinama s pet meteoroloških postaja: Samobor, Glažuta, Rakov Potok, Rude i Lipovec. Na osnovi prikupljenih podataka o točnim datumima aktivacije klizišta, utvrđeno je da su ekstremni vremenski uvjeti nastupili u proljeće 2013. godine. Na osnovi analize podataka o oborinama utvrđeno je 14 oborinskih događaja s vrijednostima intenziteta oborina u rasponu od 0,025 do 0,476 mm/h i vrijednostima trajanja oborina u rasponu od 48 do 2.088 sati. Usporedbom ovih podataka s krivuljama intenzitet-trajanje (tzv. ID krivulje) iz svjetske literature, proizlazi da su u analiziranom razdoblju na području općine Bednja nastala klizišta veličine od 500 do 1.500 m², uslijed oborinskih događaja koji su premašili granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2008) i globalne ID granične vrijednosti oborina prema Clarizia i dr. (1996), a odam događaja su također premašili i granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2007).

Ključne riječi: Grad Samobor, klizišta, pokretači klizanja, oborinski događaji, granične vrijednosti intenzitet-trajanje.

Diplomski rad sadrži: 43 stranica, 4 tablica, 22 slika i 35 referenca.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
Pomoć pri izradi: Sanja Bernat, mag. ing. geol., znanstvena novakinja
Marin Sečanj, mag. ing. geol., asistent

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, UNIRI-GF
Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF

Datum obrane: 30. rujna 2015.

**ANALYSIS OF LANDSLIDE TRIGGERS IN THE SPRING OF 2013 AT THE SAMOBOR CITY
AREA**

MATEJA RAČKI

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Institute of Geology and Geological Engineering,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

In the period from January to April 2013 in the city of Samobor numerous landslides were activated due to rainfall. Within this diploma thesis data were collected for 45 landslides from various sources: archive of local government, Regional Office for Protection and Rescue of Zagreb, technical reports and geotechnical studies, as well as information from the media. Field investigation was also performed in order to check data and to collect descriptive data of the exact location of landslides, size of landslides and elements at risk. These data were used to analyze triggers of landslides, which consisted of the identification of rainfall events which caused landslides, as well as defining the intensity and duration of the identified rainfall events. Measurements obtained by five meteorological stations (Samobor, Glažuta, Rakov Potok, Rude i Lipovec) were used to analyze precipitation. Based on data collected on the exact dates of activation of landslides, it was found that the extreme weather conditions occurred in spring of 2013. Based on the analysis of data, 14 precipitation events were identified with the values of the intensity of rainfall ranging from 0.025 to 0.476 mm/h and the duration of precipitation values ranging from 48 to 2,088 hours. By comparing these data with curves intensity-duration (ID thresholds) from scientific literature, it was found that landslides were caused by precipitation events that exceeded the limit values according to Guzzetti et al. (2008) and global ID limit values according to Clarizia i dr. (1996). Moreover, eight events also exceeded the limit values according to Guzzetti et al. (2007). The landslide area of activated landslides is in a range of 500-1,500 m².

Keywords: Samobor city, landslides, triggers of landslides, rainfall events, ID thresholds.

Thesis contains: 43 pages, 4 tables, 22 figures and 35 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor
Technical support and assistance: Sanja Bernat, MEng, Research Assisstant
Marin Sečanj, MEng, Assisstant

Reviewers: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor, RGNF
PhD Željko Arbanas, Full Professor, UNIRI-GF
PhD Kristijan Posavec, Associate Professor, RGNF

Date of defense: September 30, 2015.

SADRŽAJ

| | | |
|-----|---|-----------|
| 1. | UVOD | 1 |
| 2. | ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA..... | 3 |
| 2.1 | Geomorfološki uvjeti..... | 4 |
| 2.2 | Značajke stijena i tala | 5 |
| 2.3 | Hidrološki i hidrogeološki uvjeti | 9 |
| 2.4 | Pokrov zemljišta | 10 |
| 2.5 | Seizmičnost područja..... | 11 |
| 3. | ULAZNI PODACI | 13 |
| 3.1 | Inventar klizišta | 14 |
| 3.2 | Podaci o oborinama | 17 |
| 4. | ANALIZE I REZULTATI..... | 20 |
| 4.1 | Analiza prostorne distribucije klizišta u odnosu na faktore klizanja | 20 |
| 4.2 | Karte klimatskih anomalija za razdoblja aktiviranja klizišta | 23 |
| 4.3 | Analiza kumulativnih oborina koje su prethodile evidentiranim događajima klizanja | 28 |
| 4.4 | Granične vrijednosti intenzitet-trajanje oborine | 34 |
| 5. | DISKUSIJA..... | 37 |
| 6. | ZAKLJUČAK | 39 |
| | LITERATURA | 41 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 2.1. Administrativna granica Grada Samobora. | 3 |
| Slika 2.2. Karta nadmorskih visina Grada Samobora izrađena na temelju digitalnog modela reljefa rezolucije 25x25 m s prikazom hidrografske mreže. Na histogramima su prikazane učestalosti nadmorskih visina i kutova nagiba padina na istraživanom području. | 4 |
| Slika 2.3. Geološka karta područja Grada Samobora s prikazom glavnih stratigrafskih jedinica prema Osnovnoj geološkoj karti, list Zagreb (Šikić i dr. 1972) i list Novo Mesto (Pleničar i dr. 1967). | 6 |
| Slika 2.4. Pokrov zemljišta na području Grada Samobora prema podacima Agencije za zaštitu okoliša (2008). | 10 |
| Slika 2.5. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla agR (temeljno tlo tipa A) prema Herak i dr. (2011): (a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 475$ god.; (b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 95$ god (Herak i dr., 2011). | 11 |
| Slika 3.1. Učestalost veličine površine klizišta (re)aktiviranih u razdoblju zime 2012./2013. i proljeće 2013. godine na području Grada Samobora. Ukupno je analizirano 25 klizišta provjerenih na terenu. | 15 |
| Slika 3.2. Položaji meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) na području Grada Samobora s kojih su analizirani podaci o oborinama u ovom radu. | 18 |
| Slika 3.3. Analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih količina oborina na mjernim postajama Samobor, Glazuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude. | 19 |
| Slika 4.1. Inventar klizišta za područje Grada Samobora prikazan na karti nagiba terena rezolucije 25x25 m. | 21 |
| Slika 4.2. Inventar klizišta za područje Grada Samobora prikazana na pojednostavljenoj geološkoj karti. | 22 |
| Slika 4.3. Karta pokrova zemljišta na području Grada Samobora s prikazom relativne gustoće klizišta u četiri klase pokrova prema CORINE klasifikaciji. | 23 |
| Slika 4.4. Godišnji percentil oborine izračunat na temelju podataka u razdoblju 1961.-1990. godine za: (A) 2012. godinu i (B) 2013. godinu (DHMZ 2014a,b). | 25 |
| Slika 4.5. Mjesečni percentil oborine za proljeće 2013. godine izračunat na temelju podataka u razdoblju od 1961.-1990. godine (DHMZ 2015). | 26 |
| Slika 4.6. Mjesečni percentil oborine izračunat na temelju podataka u razdoblju od 1961.-1990. godine za: (a) siječanj 2013.; (b) veljaču 2013.; (c) ožujak 2013.; i (d) travanj 2013. godine (DHMZ 2014b). | 27 |
| Slika 4.7. Kumulativna oborina za razdoblje od 1. siječnja do 15. ožujka 2013. godine s meteoroloških postaja Lipovec i Samobor. | 28 |
| Slika 4.8. Kumulativna oborina za razdoblje od 1. siječnja do 23. travnja 2013. godine s meteoroloških postaja Samobor, Lipovec, Rude i Rakov Potok za datume aktivacije klizišta u ožujku 2013. godine. | 29 |
| Slika 4.9. Kumulativna oborina za razdoblje od 1. siječnja do 23. travnja 2013. godine s meteoroloških postaja Samobor, Lipovec, Rude i Rakov Potok za datume aktivacije klizišta u travnju 2013. godine. | 30 |
| Slika 4.10. Tromjesečna prethodna oborina za veljaču za razdoblje od 1960. do 2013. godine. | 31 |
| Slika 4.11. Tromjesečna prethodna oborina za ožujak za razdoblje od 1960. do 2013. godine. | 32 |
| Slika 4.12. Tromjesečna prethodna oborina za travanj za razdoblje od 1960. do 2013. godine. | 32 |

Slika 4.13. Podaci o mjesečnim oborinama na meteorološkoj postaji Rakov Potok. Svjetloplavi stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 1960.-2013. godine, a crveni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od studenog 2012. do ožujka 2013. godine. 33

Slika 4.14. Usporedba vrijednosti intenzitet-trajanje (ID) za događaje oborine koji su uzrokovali klizišta na području Grada Samobora s ID graničnim vrijednostima prema Clarizia i dr. (1996), Crosta i Fratini (2001), Guzzetti i dr. (2007), te prema Guzzetti i dr. (2008). 36

POPIS TABLICA

| | | |
|--------------|---|----|
| Tablica 3-1. | Popis klizišta (re)aktiviranih u zimi/proljeću 2013. godine na području Grada Samobora za koja su poznati točni datumi aktivacije | 16 |
| Tablica 3-2. | Geografske koordinate i nadmorske visine meteoroloških postaja u Gradu Samoboru (meteorološke postaje Samobor, Glažuta, Lipovec i Rude) i meteorološke postaje Rakov Potok u neposrednoj blizini..... | 18 |
| Tablica 4-1. | Klasifikacija oborinskih prilika (DHMZ 2014b)..... | 24 |
| Tablica 4-2. | Popis korištenih ID graničnih vrijednosti oborina (Guzzetti i dr. 2007, 2008). | 35 |

1. UVOD

Proces klizanja je pokretanje mase stijena, sitnozrnatog ili krupnozrnatog materijala tla niz kosinu pod utjecajem gravitacije (Varnes 1978; Hutchinson 1988; Cruden 1991; Cruden i Varnes 1996), a nastaje kada posmična naprezanja prekorače posmičnu čvrstoću materijala. Masovne pojava klizišta na nekom uzrokuju ekonomske i socijalne gubitke, na privatnim ili javnim dobrima (Highland i Bobrowsky 2008). Prema Popescu (1994), preduvjeti za pojavu klizanja su uvjeti u podzemlju (npr. značajke stijena i tala), geomorfološki uvjeti i procesi, fizički procesi i antropogeni procesi, dok su inicijatori klizanja fizički procesi (npr. oborine), geomorfološki procesi (npr. erozija u podnožju padine) i antropogeni procesi (npr. zasijecanje padine). Također, većina današnjih procjena opasnosti od klizanja temelji se na pretpostavci da će se budući pokreti na kosinama vjerojatno pojaviti u uvjetima sličnim onima koji su doveli do prijašnjih klizanja.

Cilj istraživanja u ovom diplomskom radu je uspostava kartografske baze podataka klizišta koja bi služila kao podloga izradi ostalih karata prognostičkog karaktera, poput karte opasnosti od klizanja ili hazarda klizanja, odnosno karte podložnosti na klizanje, kao i za karte ugroženosti od klizanja ili rizika klizanja. Također cilj rada je utvrđivanje potencijalno opasnih meteoroloških uvjeta na temelju identifikacije kritičnog oborinskog događaja kao glavnog pokretača klizanja. Područje administrativne jedinice Grada Samobora uzeto je kao obuhvat područja istraživanja u ovom radu. Grad Samobor se nalazi u Zagrebačkoj županiji u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske, a na njegovom području nalazi se Samoborsko i Žumberačko gorje, kao i nizina rijeke Save.

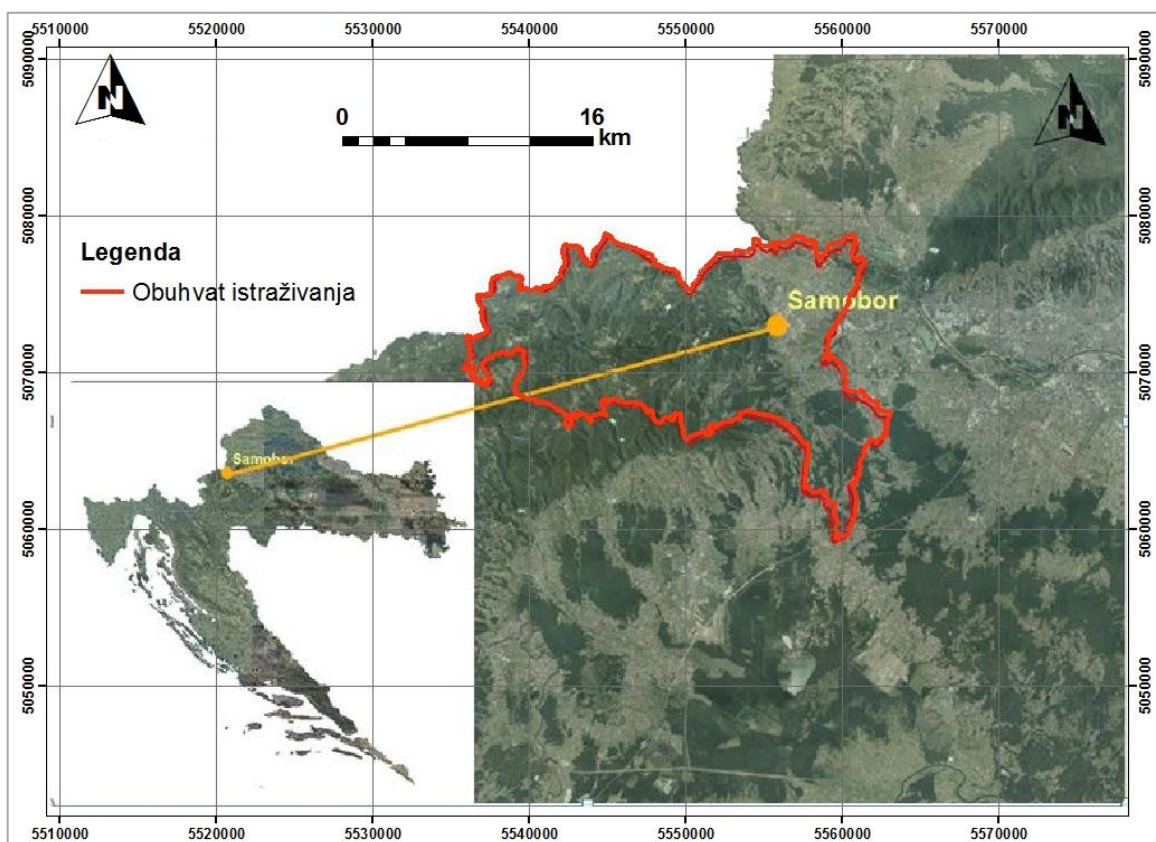
Niz nepovoljnih vremenskih prilika u zimi 2012./2013. godine, kao i u proljeće 2013. godine prouzročio je masovnu pojavu klizišta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Bernat i dr. 2013). U svibnju 2013. godine Župan Zagrebačke županije proglasio je elementarnu nepogodu za dio područja grada Samobora s najvećim posljedicama. Ovaj događaj također je uvršten u dokument „Procjena ugroženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara i okoliša iz 2014. godine za područje Zagrebačke županije“ (Planovi i Procjene 2014) koji je izradila tvrtka Planovi i Procjene j.d.o.o. za Područni ured za zaštitu i spašavanje Zagreb.

Inicijalna faza izrade rada bilo je prikupljanje mnogobrojnih podataka o recentno aktiviranim klizištima. Podaci su prikupljeni iz različitih izvora kao što su: odjeli lokalne samouprave Grada Samobora čija je nadležnost sanacija klizišta i civilna zaštita, mediji (novine, internetske stranice), dojave građana, stručne publikacije i tehnička izvješća. Provjera pouzdanosti prikupljenih podataka učinjena je terenskim obilaskom klizišta na

istraživanom području. Prikupljeni su podaci o 25 klizišta, aktiviranim u razdoblju od siječnja do travnja 2013. godine. Osim toga, u okviru ovog rada analizirani su podaci o oborinama s pet meteoroloških postaja na području Grada Samobora i to s klimatološke postaje Samobor, te kišomjernih postaja Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude.

2. ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

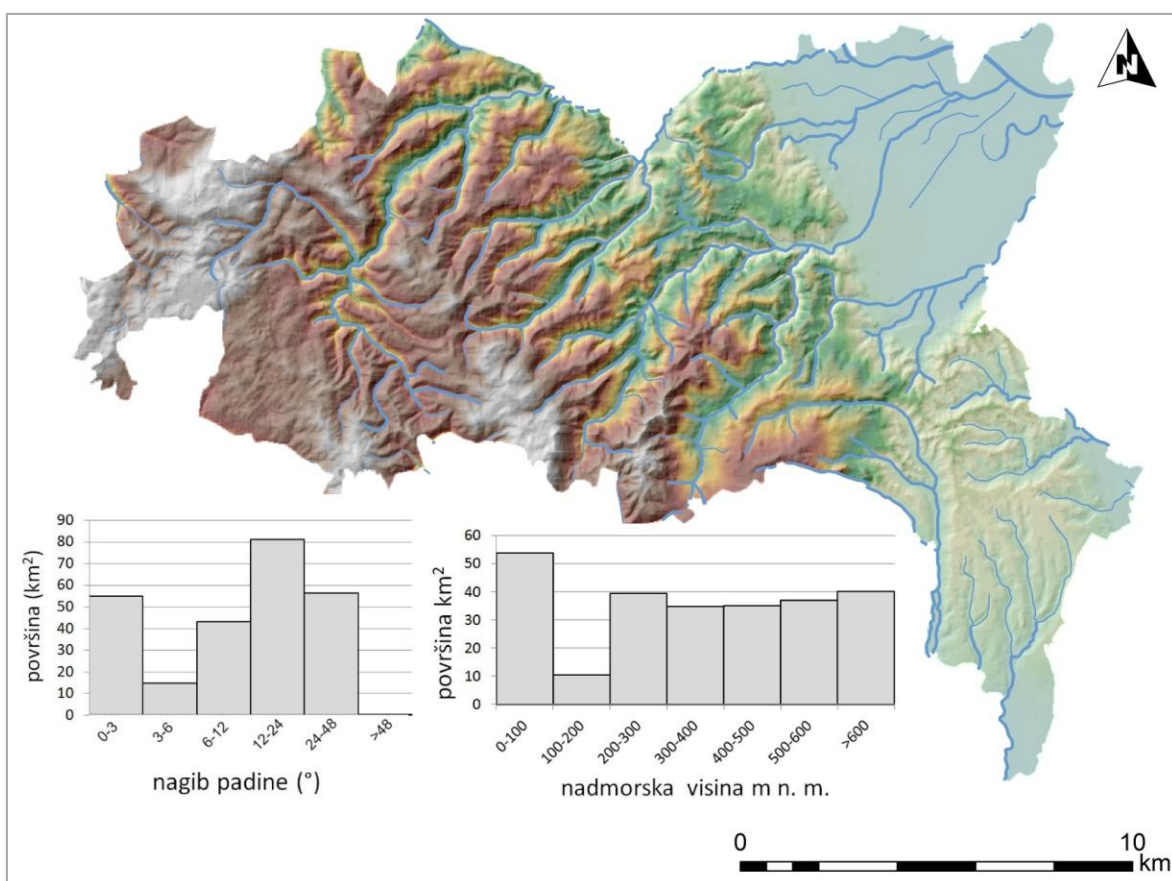
Administrativno područje Grada Samobora smješteno je u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske (slika 2.1). Grad Samobor je udaljeno oko 20 km od Zagreba te je na sjeveru omeđen državnom granicom s Republikom Slovenijom. Njegova površina je 250 km², a prema podacima iz 2011. godine ima ukupno 37.633 stanovnika. Grad Samobor se nalazi na području dvije subgeomorfološke regije: gorskog masiva Žumberačke gore te Samoborske zavale s nizinom Save (Buzjak i dr. 2011). Prema prostornom planu Grada Samobora (Urbanistički zavod Grada Zagreba 2006) ovaj prostor se može podijeliti na nekoliko cjelina koje imaju svoja specifična obilježja: (i) Žumberak u okviru granica Parka prirode, kao najzapadniji dio područja sa najvišim vrhom Ravnice 860 m n.m.; (ii) brdski dio Samoborskog gorja izvan granica Parka prirode je južna granica s maksimalnim visinama do 608 m n.m. (V. Črnc kod Ruda); (iii) jugoistočno prigorje blagog reljefa do s maksimalnom nadmorskom visinom od 278 m n.m. (Srednjak); (iv) gusto izgrađeni urbani prostor na potezu Samobor – Bregana; (v) nizinski dio prigradskih naselja u pretežno poljoprivrednom okruženju prisavske ravnice koji čini istočnu granicu.



Slika 2.1. Administrativna granica Grada Samobora.

2.1 Geomorfološki uvjeti

Na slici 2.2 prikazana je karta nadmorskih visina područja istraživanja izrađena na temelju digitalnog modela reljefa (dalje u tekstu DMR) rezolucije 25x25 m. Uz kartu su prikazani histogrami učestalosti nadmorskih visina i kutova nagiba padina. Iz prikaza je vidljivo da na istraživanom području dominiraju brežuljci i gorje jer 78% područja je na nadmorskim visinama većim od 200 m n.m., dok je 20% područja zaravnjeno s nadmorskim visinama do 100 m n.m. Teren na području Grada Samobora je blago nagnut, a 32,4% područja ima nagibe padina u rasponu 12-24°. Nagibi terena do 3° i nagibi terena u rasponu 24-48° su podjednako zastupljeni (23,2%). Najmanje zastupljeni su tereni nagiba 3°-6° koji se prostiru na manje od 10% istraživanog područja.



Slika 2.2. Karta nadmorskih visina Grada Samobora izrađena na temelju digitalnog modela reljefa rezolucije 25x25 m s prikazom hidrografske mreže. Na histogramima su prikazane učestalosti nadmorskih visina i kutova nagiba padina na istraživanom području.

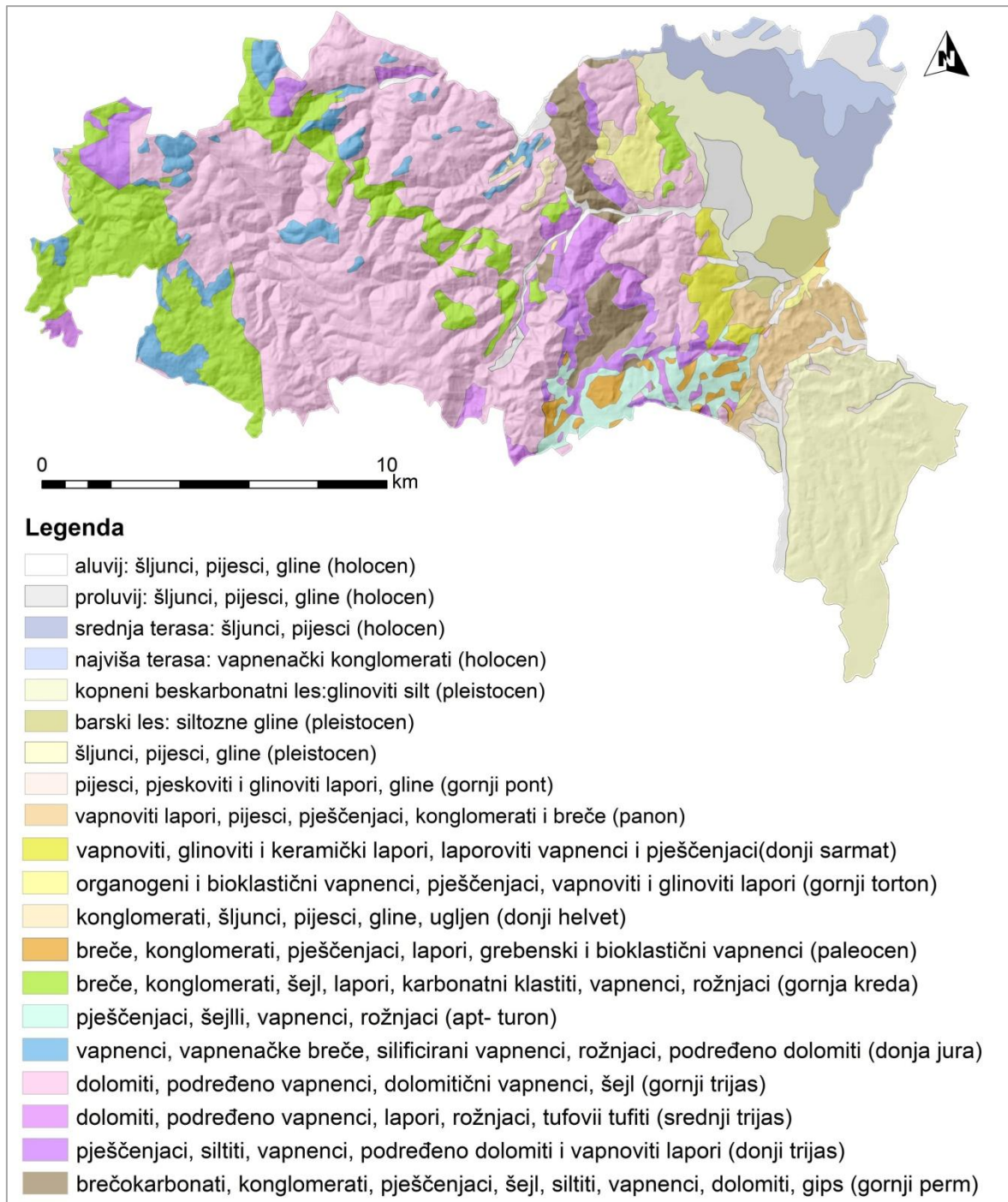
Administrativno područje Grada Samobora s obzirom na hipsometrijske značajke dijeli se na dvije cjeline: nizinsku koja obuhvaća dijelove reljefa do 200 m nadmorske visine i gorsku s nadmorskim visinama od 200 m n.m. do 860 m n.m. Nizinski predio obuhvaća Samoborsku zavalu sa zaravljanim područjem nagiba padina do maksimalno 3° koja je ispunjena nanosima rijeke i njenih pritoka iz Samoborskog gorja. Jasna granica ovog područja sa Samoborskim gorjem obilježena je naglim prijelazom u hipsometrijski više područje s nadmorskim visinama 200-300 m n.m. (Buzjak i dr. 2011). Iako je poznato orogenetsko djelovanje kroz starija razdoblja geološke prošlosti, promjene bitne za oblikovanje današnjeg reljefa događale su se krajem tercijara i u kvartaru. Intenzitetu promjena u recentnom oblikovanju reljefa pridonijela su neotektonska izdizanja čija vrijednost lokalno prelazi i 200 m (Prelogović 1969). Nakon izdizanja slijedila je denudacija, a materijal se taložio u udubljenjima Samoborske zavale. Duž glavnih tektonskih zona formirani su vodotoci. To je područje fluviokrškog i krškog reljefa nastalo kombiniranim djelovanjem procesa okršavanja i fluvijalnih procesa.

2.2 Značajke stijena i tala

Područje istraživanja nalazi se u prijelaznoj zoni dodira tri megageološke strukture: Panonske zavale, Alpa i Dinarida. Te strukture se odlikuju različitim litološkim sastavom te geotektonskom dinamikom što je rezultiralo vrlo složenom geološkom građom. Na ovom području izdvojene su tektonske jedinice Žumberačkog autohtona, sastavljenog od stijena taloženih od srednjeg perma do palogena i Žumberačko-medvedničke navlake izgrađene od naslaga trijasa, jure i krede, koje su savskoj orogenoj fazi navučene na autohtone naslage istočnog dijela Žumberačke gore (Šikić i dr. 1979). Prevladavaju rasjedi i geološke strukture pružanja SI-JZ (Tomljenović 2000) što je vidljivo prema generalnim smjerovima otjecanja vodotoka u hidrografskoj mreži.

Na temelju Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100.000, list Zagreb (Šikić i dr. 1972) i list Novo Mesto (Pleničar i dr. 1967) izrađena je karta stratigrafskih jedinica istraživanog područja (slika 2.3). Slijedi kratak opis stratigrafskih jedinica, od najstarijih prema najmlađima, načinjen prema tumaču Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100.000, list Zagreb (Šikić i dr. 1979).

Naslage srednjeg i gornjeg perma (P_{2,3}) su stratigrafska jedinica izgrađena od najstarijih stijena na istraživanom području. Ove naslage sastoje se od pješčenjaka s



Slika 2.3. Geološka karta područja Grada Samobora s prikazom glavnih stratigrafskih jedinica prema Osnovnoj geološkoj karti, list Zagreb (Šikić i dr. 1972) i list Novo Mesto (Pleničar i dr. 1967).

prijelazima u kvarcne konglomerate i brečokonglomerate. Šejlovi i siltiti dolaze kao prosljoci unutar pješčenjaka. Debljina slojeva impregniranih sa željezovitom tvari, a koja

utječe na boju klastita, je oko 3 do 40 cm. Ukupna debljina ovog stratigrafskog člana je oko 350 metara.

Naslage donjeg trijasa (T_1) izgrađuju pješčenjaci, siltiti, vapnenci, dolomitizirani vapnenci, dolomiti i vapnoviti lapori. Najzastupljeniji litološki član su ljubičastocrveni, zelenkasto sivi, rjeđe sivi do tamnosivi, tankouslojeni pješčenjaci s prijelazima u sitnozrnaste tinjčaste siltite. Debljina ovih naslaga je oko 250 m.

Dominantan litološki član u stratigrafskoj jedinici srednjeg trijasa (T_2) je dolomit s utvrđenim pojavama vapnenaca i podređeno klastita, rožnjaka, tufova i tufita. Crvena boja vapnenaca potječe od željezovite supstance. Također za ove naslage karakteristične su i piroklastične stijene (tufovi i vapnoviti tufovi), često zvane *pietra verde*.

Naslage gornjeg trijasa (T_3) su najzastupljenija stratigrafska jedinica na području. Izgrađuju ga dolomiti svijetlosive do tamnosive boje ukupne debljine od oko 800 metara. Najmlađi dio naslaga sastoji se od izmjene dolomita, sivih vapnenaca i dolomitiziranih vapnenaca.

Stratigrafsku jedinicu lijasa i dogera (J_{1+2}) izgrađuju plitkovodni karbonatni sedimenti koji se sastoje od dolomita, dolomitičnih vapnenaca i oolitičnih vapnenaca, a koji pripadaju najstarijem dijelu lijasa unutar kojih se zapaža silicifikacija uz pojavu proslojaka radiolarijskih rožnjaka. Osim njih, u ovoj jedinici prevladavaju pelagički sedimenti koji se sastoje od izmjene mikrita, biomikrita i rožnjaka. Maksimalna debljina naslaga iznosi oko 30 m.

Stratigrafsku jedinicu apta i turona ($K_{1,2}$) izgrađuju naslage sastavljene od vulkanogeno – sedimentnog kompleksa s grauvaknim pješčenjacima, šejlovima i radiolarijskim rožnjacima koji dolaze u obliku proslojaka; leća ili deblje uslojenih zona. Zone tankopločastih rožnjaka u izmjeni sa šejlovima i pješčenjacima pripadaju najstarijim dijelovima kompleksa.

Naslage gornje krede (K_2) izgrađuju karbonatno-klastične stijene debele serije flišolikih sedimenata smeđkastosive do tamnosive boje, u kojoj prevladavaju vapnoviti i glinoviti lapori, šejlovi i kalkareniti. S njima se izmjenjuju tankopločasti vapnenci i rožnjaci, a mjestimice su prisutni nepravilni ulošci nesortiranih karbonatnih breča s odlomcima i do 20 cm. Tamno sivi do crni rožnjaci dolaze kao proslojci, ulošci i gomolji, a nastali su djelomičnom do potpunom silicifikacijom vapnenačkih slojeva. Ove stijene sadrže brojne radiolarije. Maksimalna debljina gornjokrednih naslaga može se procijeniti na nekoliko stotina metara.

Naslage paleocena (Pc) predstavljaju najznačajniji član paleogenskih sedimenata izgrađen od sivih fosilifernih biogenih i bioklastičnih vapnenaca koji dolaze unutar terigenih klastita kao ulošci i proslojci decimetarskih do metarskih veličina, ili kao gromadasti grebenski vapnenci biohermnog tipa. Glavnina paleocenskih sedimenata sastoji se od sivo, smeđe i crvenkastosmeđe obojenih lapora, silita i subgrauvaknih pješčenjaka unutar kojih dolaze biokalkareniti i koraljno-algalni grebenski vapnenci. U najmlađem dijelu klastita su nesortirani konglomerati.

Najznačajniji litološki član donjeg helveta (${}_1M_2^1$) predstavljaju nesortirani konglomerati koji se trošenjem raspadaju u šljunke unutar kojih dolaze leće ili proslojci glinovitim pijesaka i tinjačastih pjeskovitig glina. Česti član su i tanji proslojci mrkog ugljena uz ugljevite gline i lapore. Debljina ovih naslaga ne prelazi 100 m.

Gornjotortonske naslage (${}_2M_2^2$) izgrađene su pretežno od priobalnih i plitkovodnih marinskih sedimenata, od breča, konglomerata, vapnenačkih pješčenjaka, litavca, litotamniskog vapnenca te glinovito-pjeskovitih i vapnenačkih lapora. Debljina ovih naslaga je promjenjiva, u rasponu 150 – 300 m.

Naslage donjeg sarmata (${}_1M_3^1$) izgrađuju brakični sedimenti, odnosno laporoviti vapnenci i vapnenački lapori u izmjeni s glinovitim laporima ili tanko uslojenim (listićavim) kvarcnim laporima. U ovim naslagama mjestimice se nalaze proslojci ili leće fosilifernih pješčenjaka.

Panonske naslage ($M_3^{1,2}$) izgrađene su od konglomerata, brečokonglomerata, vapnenačkih mikrobreča, krupnozastih pješčenjaka, nevezanih pijesaka, te podređeno proslojaka vapnenaca i leća pjeskovitih lapora.

Naslage gornjeg ponta (Pl_2^1) izgrađuju kaspibrakični sedimenti razvijeni u facijesu Rhomboidea naslaga u kojima su pretežno taloženi raznobojni pijesci ili pjeskoviti i glinoviti lapori. Rjeđi su ulošci glina te su sasvim podređeni tanki proslojci pješčenjaka i leće pjeskovitih šljunaka. Debljina naslaga kreće se u rasponu od 100 do 400 metara.

Pleistocenske naslage (Pl,Q, nova oznaka Q_1) izgrađuju slatkovodni fluvijalno – jezerski sedimenti s nepravilnom izmjenom slabo sortiranih do nesortiranih glinovitim prahova, pjeskovitih glina, pijesaka i šljunaka. U naslagama gline nalaze se tanki proslojci ili leće krupnozastih sedimenata. Šljunci su pretežno nesortirani, a sastoje se od valutica različitih stijena najčešćeg promjera do 5 cm. Rjeđe su pojave valutica promjera 5 – 20 cm. Valutice su mjestimice uložene u glinom onečišćene, nevezane krupnozastije pjeske.

Naslage barskog lesa (Ib) nastale su nasipavanjem plavičastosivog i zelenkastosivog lesa u bare. Po granulometrijskom sastavu prevladava prah s 50 – 70 %, sa značajnim udjelom kalcijevog karbonata u rasponu 9 – 24%. Ove naslage su uglavnom prekrivene mladim aluvijalnim sedimentima. Njihova debljina nije utvrđena.

Naslage kopnenog beskarbonatnog lesa (I) izgrađuju sedimenti lesnog porijekla s malim udjelom kalcijevog karbonata žute, sivožute ili žutosmeđe boje, često prošarani svijetlim glinovitim prugama poligonalnog oblika. Sastoji se od 50 – 70% praha i 10 – 30% čestica veličine gline dok udio pijeska varira u rasponu 5 – 15%.

Naslage proluvija (pr) izgrađuju naslage holocenske starosti razvijene u obliku manjih tijela sastavljenih od krupnozrnastih slabo zaobljenih šljunaka, pomiješanih s pijeskom i glinom. Njihova maksimalna debljina je 10 m.

Aluvijalne naslage rijeke Save su holocenske starosti (a) i to su najmlađe naslage na istraživanom području. Naslage su heterogenog sastava izgrađene od krupnozrnastih sedimenata rijeke Save i sitnozrnastih sedimenata ostalih tokova, kao što su sitni šljunak, pijesak, mulj i glina. Druga savska terasa (a₂) sastoji se od izmjene krupnozrnastih šljunaka i krupnozrnastih pijesaka sa 64 – 88% kvarca, dok su u prvoj savskoj terasi (a₁) slojevi pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Sedimente neposredno uz Savu čine aluvijani nanosi recentnih tokova (a) u kojima prevladava krupnozrnasti pijesak, dok je šljunak slabije zastupljen. Ukupna debljina aluvijalnih naslaga rijeke Save je maksimalno 100 m.

2.3 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti

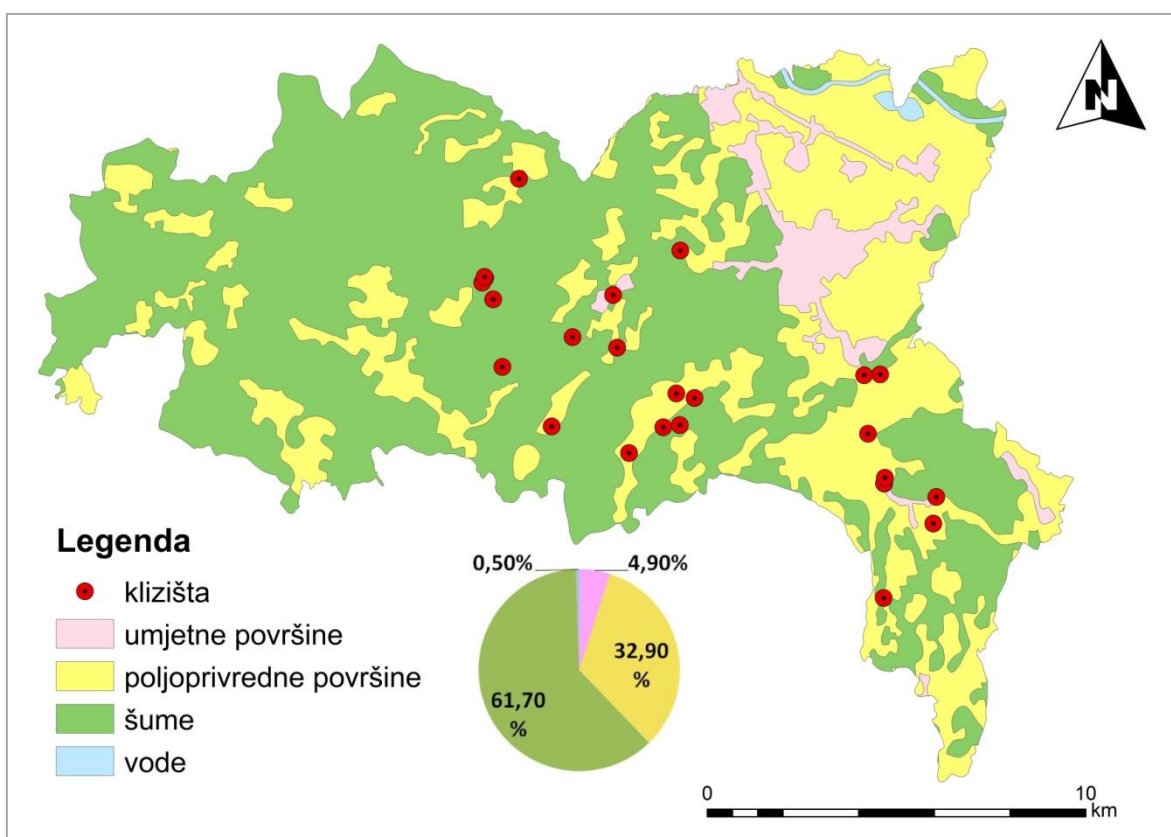
Samoborsko područje nalazi se sjeverozapadnom dijelu Hrvatske koji pripada umjerenoj toploj i kišnoj kontinentalnoj klimi sa srednjom godišnjom količinom oborina od oko 1.000 mm. S obzirom na podatke prikupljene s meteorološke postaje Samobor, Slika 2.2 srednja godišnja temperatura iznosi 10,9 °C. Najhladniji mjesec je siječanj s prosječnom temperaturom 0,5 °C, a najtopliji mjesec je srpanj s prosječnom temperaturom 21,3 °C (Čmelik i dr. 2008). Režim oborina je kontinentalni jer je prvi maksimum u lipnju; a drugi u kolovozu, a najmanje oborina je u siječnju, veljači i ožujku. Područje Samoborskog gorja je u umjerenom toplom pojasu klime, tzv. bukve s izraženim klimatskim diferencijacijom tijekom godine te u klimamorfološkom pogledu pripada tzv. fluvioerozijskoj oblasti umjerenih klima (Bognar 1990).

Hidrografska mreža na istraživanom području, prikazana na slici 2.2, je dobro razvijena sa orijentacijom sjeverozapad – jugoistok, te pripada vodnom području rijeke

Dunava i području podsliva rijeke Save. Obilježena je brojnim tipičnim brdskim vodotocima brzog, strmog gornjeg toka, a nešto mirnijeg donjeg toka na terenima blažeg nagiba. U nizvodnom nizinskom dijelu područja ovi vodotoci slijevaju se u potoke Breganu, Podvrščak, Bistrac, Gradnu i Rakovicu koji utječu u rijeku Savu na sjeveroistoku.

2.4 Pokrov zemljišta

Prema podacima Agencije za zaštitu okoliša (2008) izrađena je pojednostavljena karta pokrova zemljišta (slika 2.4) prema CORINE nomenklaturi s 44 definirana tipa pokrova. Karta je generalizirana na četiri glavne skupine tipova pokrova: (1) umjetne površine, (2) poljoprivredne površine, (3) šume i (4) vode.



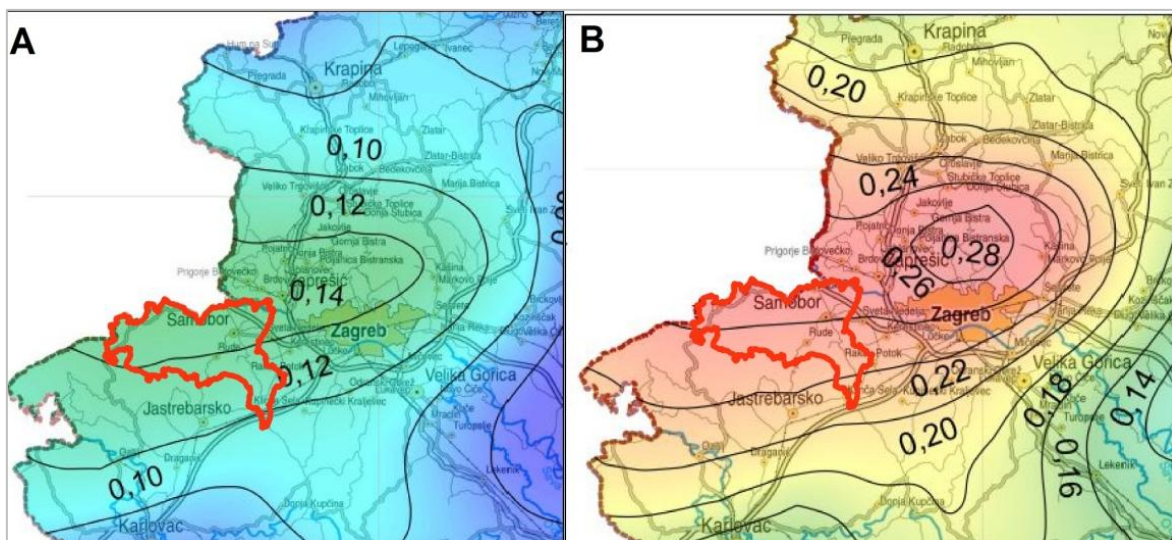
Slika 2.4. Pokrov zemljišta na području Grada Samobora prema podacima Agencije za zaštitu okoliša (2008).

Istraživano područje pretežno je poljoprivredno seosko područje niske gospodarske razvijenosti u kojemu pokrov šumske vegetacije zastupljen na 61.7 % površine. Urbani

centar grada Samobora i naselja Ruda, Galgova, Gradne, Podvrha, kao i ostala pojedinačna naselja zajedno zauzimaju svega 4.9% površine Grada Samobora. Ukupno 0.5% površine koje zauzimaju vodna tijela te 32.9% poljoprivredne površine.

2.5 Seizmičnost područja

Na području Grada Samobora seizmička aktivnost je pojačana što je posljedica intenzivnih tektonskih pokreta u geološkoj prošlosti na području planina Žumberka i Medvednice. Na slici 2.5 prikazana je karta potresnih područja Republike Hrvatske izrađena u približnom mjerilu 1:800.000 (Herak i dr. 2011). Vrijednosti prikazane na karti odgovaraju horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A (a_{gR}) koja se u prosjeku premašuju tijekom povratnog razdoblja od 95 i 475 godina (T_{NCR}). Ubrzanja su izražena u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g ($1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Iznosi poredbenih vršnih ubrzanja na karti prikazani su izolinijama s rezolucijom 0,02 g . Numerički navedene vrijednosti odnose se na prostor između dvije susjedne izolinije. Povratna razdoblja imaju smisla za procjenu ukupnog broja potresa koji se mogu očekivati tijekom nekog duljeg razdoblja (Herak i dr. 2011).



Slika 2.5. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (temeljno tlo tipa A) prema Herak i dr. (2011): (a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 475$ god.; (b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 95$ god (Herak i dr., 2011).

Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR}=475$ za promatrano područje prikazani su na slici 2.5a, a iznose 0,12-0,14 g. Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR}=95$ za promatrano područje prikazani su na slici 2.5b, a iznose 0,22-0,26 g.

3. ULAZNI PODACI

Prikupljanje ulaznih podataka za istraživanje sastojalo se od sljedećih faza: 1. kabinetsko prikupljanje podataka o klizištima i oborinama, 2. verifikacija podataka o klizištima na terenu, 3. priprema i obrada podataka o klizištima i oborinama, 4. odabir ulaznih podataka o klizištima i oborinama za analize.

Prva faza istraživanja obuhvaćala je prikupljanje postojećih podataka o recentnim klizištima iz postojeće dokumentacije kao što su geotehnički elaborati izrađeni za potrebe projektiranja sanacije klizišta koja izazvala štete na komunalnoj infrastrukturi (npr. prometnicama, vodovodu i kanalizaciji). Prikupljeni su podaci o ukupno 45 klizišta koja su se dogodila u razdoblju od zime 2012./2013. godine do ljeta 2013. godine. Također je analizirana i ostala dokumentacija lokalne samouprave Grada Samobora o aktiviranim klizištima, kao što su terenski izvodi odgovornih službi Grada. Izvor podataka bile su i aktualne vijesti o aktiviranim klizištima na internetskim portalima i u javnim glasilima. Podaci o oborinama dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za sve relevantne meteorološke postaje.

Podaci o klizištima su verificirani terenskim obilaskom registriranih klizišta što je učinjeno u drugoj fazi istraživanja. Ukupno je na terenu provjereno 13 klizišta, za koja su procijenjene veličine površina klizišta, te su dodatno provjerene informacije o datumima aktiviranja klizišta.

U trećoj fazi istraživanja provedena je priprema i obrada prikupljenih podataka o klizištima što je uključivalo izradu kartografske baze podataka u Geografskom informacijskom sustavu (GIS-u). Kao glavni alat za obradu, pohranjivanje, upravljanje i prikazivanje podataka korišten je programski paket *ArcGIS* (Geografski Informacijski Sustav) Također, ova faza istraživanja uključivala je i obradu originalnih podataka o oborinama sa sljedećih meteoroloških postaja: Samobor, Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude. Za obradu podataka o oborinama korišten je softver *Microsoft Excel*, a prostorni podaci o meteorološkim postajama također su unijeti u kartografsku bazu podataka izrađenu u *ArcGIS-ArcMAP* softveru sa svrhom određivanja relevantnosti podataka o oborinama za određena klizišta.

U četvrtoj fazi istraživanja proveden je odabir reprezentativnih ulaznih podataka za daljnje analize. Pri odabiru podataka o klizištima glavni kriteriji bili su verificirana lokacija klizišta i datum aktiviranja. Ukupno je odabrano 25 podataka o klizištima. Svim odabranim

klizištima pridruženi su i fotografski snimci s obilaska terena, kao podatak pohranjen u kartografskoj bazi podataka u *ArcMAP* programa.

3.1 Inventar klizišta

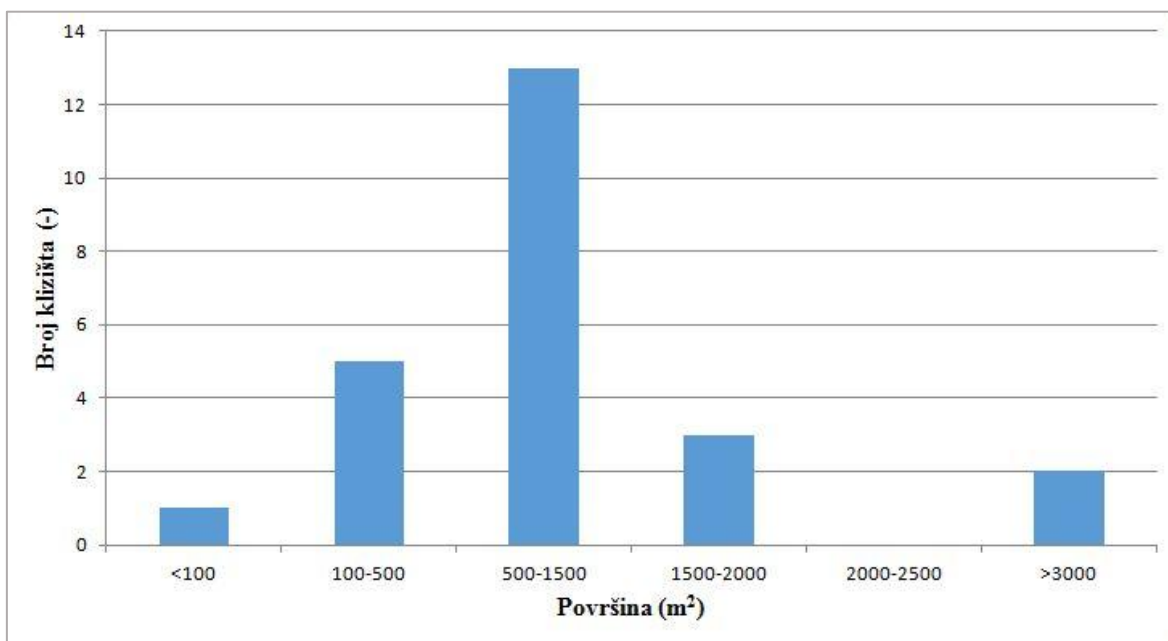
Na području Grada Samobora prikupljeni su podaci o svim klizištima koja su aktivirana u razdoblju od zime 2012./2013. godine do proljeća 2013. godine sa svrhom izrade karte klizišta, odnosno sezonskog inventara klizišta (Guzzetti i dr. 2012). S obzirom da na ovom području nije već prethodno postojala karta klizišta ili sustavna evidencija svih klizišta, podaci o klizištima prikupljeni su iz različitih izvora:

- Područnog ureda za zaštitu i spašavanje (PUZS) Zagreb i Državne uprave za zaštitu i spašavanje (DUZS),
- odjela Grada Samobora u čijoj nadležnosti je sanacija klizišta i civilna zaštita,
- geotehničkih elaborata i izvješća,
- rekognoscirajućim kartiranjem na terenu,
- javno dostupnih podataka u obliku novinskih članaka ili neobjavljenih publikacija (npr. diplomskih radova).

Lokalna samouprava Grada Samobora izradila je popis klizišta (re)aktiviranih u razdoblju od zime 2012./2013. godine do proljeća 2013. godine koja su oštetila prometnice i potpuno ili djelomično onemogućila promet. U lokalnoj samoupravi se također rade popisi klizišta za koja saznaje na temelju dojava stanovnika o oštećenjima na cestama i kućama te za koja je nužno poduzeti hitne mjere sanacije ili trajne mjere stabilizacije i sanacije klizišta. Rekognoscirajuće terensko kartiranje klizišta provedeno je u okviru ovog diplomskog rada, kako bi se provjerili podaci iz navedenih popisa i arhiva te prikupili pouzdani podaci o mjestu i vrsti klizišta, kao i opisni podaci o svakom klizištu. Pri terenskim istraživanjima nastojalo se obići sva prethodno evidentirana klizišta, a također su identificirana i neka nova klizišta. Podaci o klizištima upotpunjeni su podacima iz postojeće baze podataka Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu i podacima iz medija koji su izvještavali o aktiviranjima klizišta tijekom 2013. godine. U sezonskom inventaru za razdoblje zima 2012./2013. i proljeće 2013. godine na području Grada Samobora registrirano je ukupno 45 klizišta, čiji je osnovni mehanizam gibanja klizanje.

Prilikom terenskog obilaska klizišta procijenjena je površina za ukupno 13 klizišta. Na slici 3.1 prikazana je učestalost broja klizišta u razredima površine klizišta. Za

analiziranih 25 klizišta prosječna površina klizišta iznosi 710 m², najveće zabilježeno klizište ima procijenjenu površinu od 3.000 m², a najmanje 50 m². Najveći broj klizišta, točnije njih 13, ima površinu od 500 m² do 1.500 m².



Slika 3.1. Učestalost veličine površine klizišta (re)aktiviranih u razdoblju zime 2012./2013. i proljeće 2013. godine na području Grada Samobora. Ukupno je analizirano 25 klizišta provjerenih na terenu.

Za izradu inventara klizišta na raspolaganju je bilo ukupno tri geotehnička elaborata koji su sadržavali podatke o 5 klizišta za koje je poznata površina klizišta. Uvidom u geotehničke elaborate i izvješća utvrđeno je da je na ukupno tri klizišta provedeno geotehničko istraživanje i izrađen je projekt sanacije, a za 11 ostalih klizišta su provedene hitne, odnosno privremene mjere sanacije.

Za 25 klizišta također su poznati i podaci s objektima koje ugrožavaju, na temelju kojih proizlazi da 60% registriranih klizišta ugrožava prometnice, dok 32% klizišta ugrožava stambene objekte, a 16% poljoprivredno zemljište ili druge namjene zemljišta koje ne uključuju građevine.

Prilikom prikupljanja podataka o klizištima na području Grada Samobora bio je poznat točan datum aktiviranja za 32 klizišta, ali nisu bili poznati podaci o lokacijama 7 klizišta. U tablici 3-1 navedena su i opisana klizišta s poznatim datumom aktiviranja.

Tablica 3-1. Popis klizišta (re)aktiviranih u zimi/proljeću 2013. godine na području Grada Samobora za koja su poznati točni datumi aktivacije .

| Naziv klizišta | Opis lokacije | Koordinate | | Datum aktiviranja | Površina (m ²) | Elementi pod rizikom | Sanacija |
|--|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|
| | | x | y | | | | |
| Cerina | Smerovišće, k br. 32 | 5550980,045 | 5072348,317 | 4.4.2013. | 3000 | stambeni objekt, prometnica | sanirano |
| Zagrebačka ulica | Galgovo, k. br. 40 | 5559518,603 | 5067018,834 | 3.4.2013. | 1500 | prometnica | sanirano |
| Prinčeva ulica | Molvice | 5558032,132 | 5070247,24 | 1.4.2013. | 500 | prometnica | sanirano |
| Kokli | Rude, k. br. 309 | 5552742,373 | 5068916,297 | 8.3.2013. | 1500 | prometnica | sanirano |
| Gradišće | Biščani- Belaki | 5552753,747 | 5073519,77 | 8.3.2013. | 924 | prometnica | sanirano |
| Gvozd | Gregurić Breg, k. br. 30 | 5551087,029 | 5070957,14 | 2.4.2013. | 2000 | prometnica | sanirano |
| Mali Lipovec | Mali Lipovec | 5549354,208 | 5068879,468 | 1.4.2013. | 1500 | prometnica | sanirano |
| Slapnica most | Slapnica | 5548054,557 | 5070447,376 | 20.3.2013. | 1500 | prometnica | sanirano |
| Višnjavec 5 | Višnjavec Podvrški | 5547520,996 | 5072673,379 | 3.4.2013. | 500 | prometnica | - |
| Višnjavec 6 | Višnjavec Podvrški, kapelica | 5547598,003 | 5072795,289 | 3.4.2013. | 1000 | prometnica | sanirano |
| Višnjavec 7 | Višnjavec Podvrški, k br. 7 | 5547581,583 | 5072821,354 | 3.4.2013. | - | prometnica | - |
| Višnjavec 1 | Višnjavec Podvrški | 5547810,282 | 5072231,646 | 3.4.2013. | - | prometnica | sanirano |
| Sv. Martin pod Okićem-Groblje malo | Sv. Martin pod Okićem | 5558137,182 | 5067375,57 | 4.4.2013. | 72 | groblje | sanirano |
| Sv. Martin pod Okićem -Groblje veliko | Sv. Martin pod Okićem | 5558141,386 | 5067369,342 | 4.4.2013. | 468 | groblje | sanirano |
| Tomislavova ulica | Galgovo | 5559438,075 | 5066314,678 | 1.4.2013. | - | stambeni objekt | - |
| Konšćica | Konšćica, ulica Dugava 81 | 5557713,868 | 5068685,99 | 1.4.2013. | - | stambeni objekt | - |
| Kladje | Kladje, Šoićeva ulica | 5557609,732 | 5070227,156 | 1.4.2013. | 1000 | gospodarski objekt | - |
| Črnjak | Rude, k. Br. 76 | 5553127,587 | 5069629,466 | 8.3.2013. | 2000 | stambeni objekt | - |
| Črnec | Rude | 5552647,057 | 5069747,887 | 1.4.2013. | - | padina | sanirano |
| Slapnica | Slapnica, 23a | 5549908,475 | 5071235,504 | 1.4.2013. | 50 | padina | - |
| Drežnik- Gajsko | Drežnik Podokički | 5558128,954 | 5064350,725 | 10.4.2013. | - | padina | - |
| Melinje | Rude, 338, 339, 339a | 5552303,077 | 5068857,928 | 1.4.2013. | 2000 | stambeni objekt | - |
| Grdanjci | Beder- Javorek | 5548488,757 | 5075413,881 | 7.2.2013. | 2565 | prometnica | sanirano |
| Braslovlje | Braslovlje, k br. 21G | 5551399,527 | 5068178,296 | 1.4.2013. | 812 | prometnica | sanirano |
| Mirna ulica | Sv. Martin pod Okićem | 5558156,275 | 5067525,843 | 12.3.2013. | 2000 | stambeni objekt, prometnica | sanirano |

3.2 Podaci o oborinama

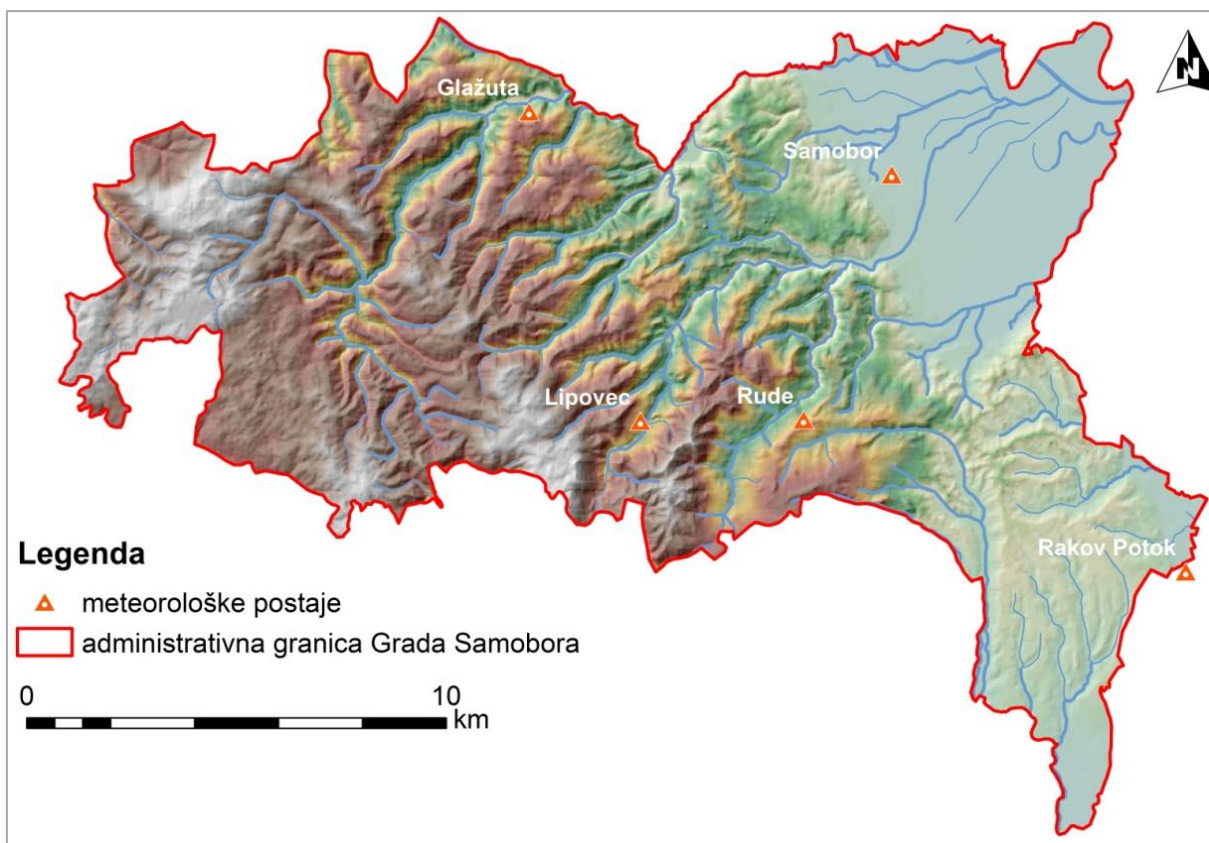
Zbog povezanosti oborina s masovnom pojavom klizišta, kao i potreba za identifikacijom pokretača aktiviranja klizišta u funkciji predviđanja ovih elementarnih nepogoda, te kako bi se općenito smanjile posljedice od klizanja, uobičajena su istraživanja o utjecaju prethodne oborine na pokretanje klizišta. Studije se temelje na prikupljanju i analizi podataka o klizištima aktiviranim u kišnom dijelu godine i o oborinama iz tog razdoblja (Baum i Godt 2010).

Meteorološke postaje u Hrvatskoj dio su sustava za praćenje klime, sa svrhom svakodnevnog prikupljanja meteoroloških i klimatoloških podataka. Na meteorološkim se postajama redovito mjere dnevne količine oborine koja predstavlja 24-satnu količinu oborine izmjerenu u sedam sati svakoga dana. Zbrajanjem dnevnih količina oborine dobivaju se mjesečne količine oborina, a također i godišnje količine oborina. Niz od 12 mjesečnih količina oborina predstavlja godišnji hod oborine. Srednji godišnji hod oborine računa se iz prosjeka dugogodišnjih mjerenja. Hidrološka godina je neprekidno 12-mjesečno razdoblje, odabrano na takav način da su sve promjene na početku i na kraju hidrološke godine minimalne (Žugaj 2000).

Da bi se dobili reprezentativni rezultati analiza godišnjih oborina podaci bi trebali obuhvatiti razdoblje mjerenja od minimalno 30 godina za minimalno tri postaje. U Hrvatskoj je rasprostranjenost kišomjernih postaja jednaka prosječno jedna kišomjerna postaja na svakih 80-100 km². Za Hrvatsku to iznosi oko 650 postaja (Trinić 1981).

Za potrebe ovog rada je provedena analiza oborina na pet postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) i to na s klimatološke postaje Samobor, te kišomjernih postaja Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude. Ove postaje su odabrane jer se nalaze unutar administrativne granice Grada Samobora, kao što je prikazano na slici 3.2. Jedino je mjerna postaja Rakov Potok izvan granica Grada Samobora. U tablici 3-2 navedene su geografske koordinate, nadmorske visine postaja, srednje godišnje oborine, te razdoblja mjerenja za pojedinu postaju.

U ovom radu je provedena analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih količina oborina na mjernim postajama Samobor, Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude. Mjerenja se najduže provode na postaji Rakov Potok i to od 1959. godine, zbog čega je ova postaja također analizirana, iako se nalazi izvan granica Grada Samobora. Godine za koje ne postoje podaci mjerenja izuzete su iz analize oborina karakterističnih za razdoblje od 1959. do 2013. godine. U slučaju postaje Rakov potok to se odnosi na 1959., 1960., 1965. i



Slika 3.2. Položaji meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) na području Grada Samobora s kojih su analizirani podaci o oborinama u ovom radu.

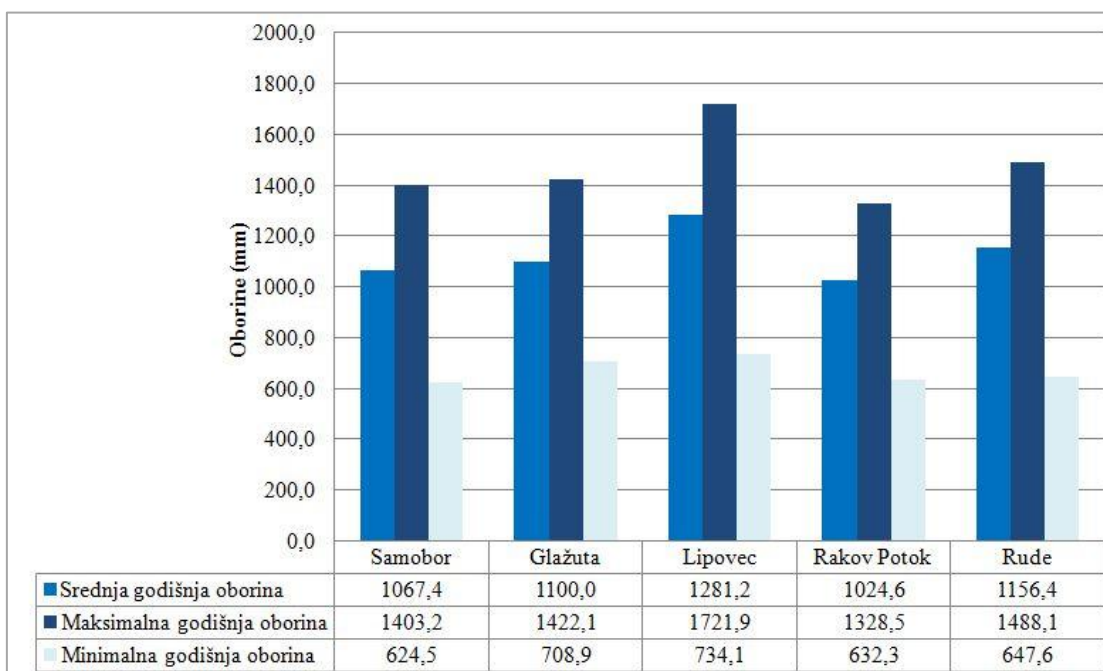
Tablica 3-2. Geografske koordinate i nadmorske visine meteoroloških postaja u Gradu Samoboru (meteorološke postaje Samobor, Glažuta, Lipovec i Rude) i meteorološke postaje Rakov Potok u neposrednoj blizini.

| Meteorološka postaja | Geografske koordinate | | Nadmorska visina (m n.m.) | Sr. god. oborina (mm) | Razdoblje mjerenja (god.) |
|----------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Samobor | x:5555624,884 | y:5075240,406 | 141 | 1038,7 | 32 |
| Glažuta | x: 5546983,8 | y:5076743,888 | 220 | 1027,8 | 19 |
| Lipovec | x5549632,253 | y:5069354,816 | 365 | 1349,2 | 22 |
| Rakov Potok | x:5562632,829 | y:5065766,717 | 145 | 1005,1 | 54 |
| Rude | x:5553521,291 | y:5069386,905 | 287 | 1221,7 | 22 |

1988. godinu. Meteorološka postaja Glažuta provodi mjerenja od 1994. godine, no izostaju kontinuirani podaci o oborinama na kraju 2012. godine, koja je stoga izuzeta iz

mjesečnih analiza za potrebe ovog rada, ali je uzeta u obzir u analizi srednjih godišnjih oborina. Podaci o oborinama također nisu kontinuirani za 1994., 1995. i 1996. godinu. U slučaju postaje Samobor koja ima podatke datirane iz 1981. godine, nedostaju kontinuirani podaci za 1995. i 2000. godinu i za kraj 2013. godine. Za postaju Rude i meteorološku postaju Lipovec raspon mjerenja je 22 godine, a podaci su kontinuirani, osim u slučaju podataka iz 2004. godine za postaju Rude .

Prikaz analize srednjih godišnjih oborina, maksimalnih i minimalnih godišnjih količina oborina na mjernim postajama, omogućuje usporedbu izmjerenih podataka na cijelom području. Iz usporedbe analiziranih podataka prikazane na slici 3.3, vidljivo je da su najveće oborine zabilježene na kišomjernoj postaji Lipovec s vrijednostima maksimalne godišnje oborine od 1.721,9 mm i sa srednjom godišnjom oborinom od 1.281,2 mm. Također se uočava razlika između rezultata mjerenja na svih pet postaja, što je posljedica morfologije terena, odnosno njihova smještaja na različitim nadmorskim visinama koje variraju u rasponu 141-365 m n.m. Sve analizirane postaje mogu smatrati reprezentativnima za određeni dio područja istraživanja.



Slika 3.3. Analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih količina oborina na mjernim postajama Samobor, Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude.

4. ANALIZE I REZULTATI

Analiza ulaznih podataka sastojala se od sljedećih faza: 1. analiza faktora povezanih s klizanjem, 2. analiza rasprostranjenosti klizišta unutar klasa faktorskih karata, 3. statistička obrada obrorinskih podataka, 4. objedinjavanje rezultata u kartografsku bazu.

Prva faza analize obuhvaćala je analizu faktora povezanih s klizanjem i to geoloških faktora (vrsta stijena), morfološki faktori (nagib padina) i antropogeni faktori (pokrov zemljišta). Prostorne analize provedene su u *ArcMAP* softveru sa svrhom kreiranja izvedenih faktorskih karata s klasifikacijom faktora klizanja.

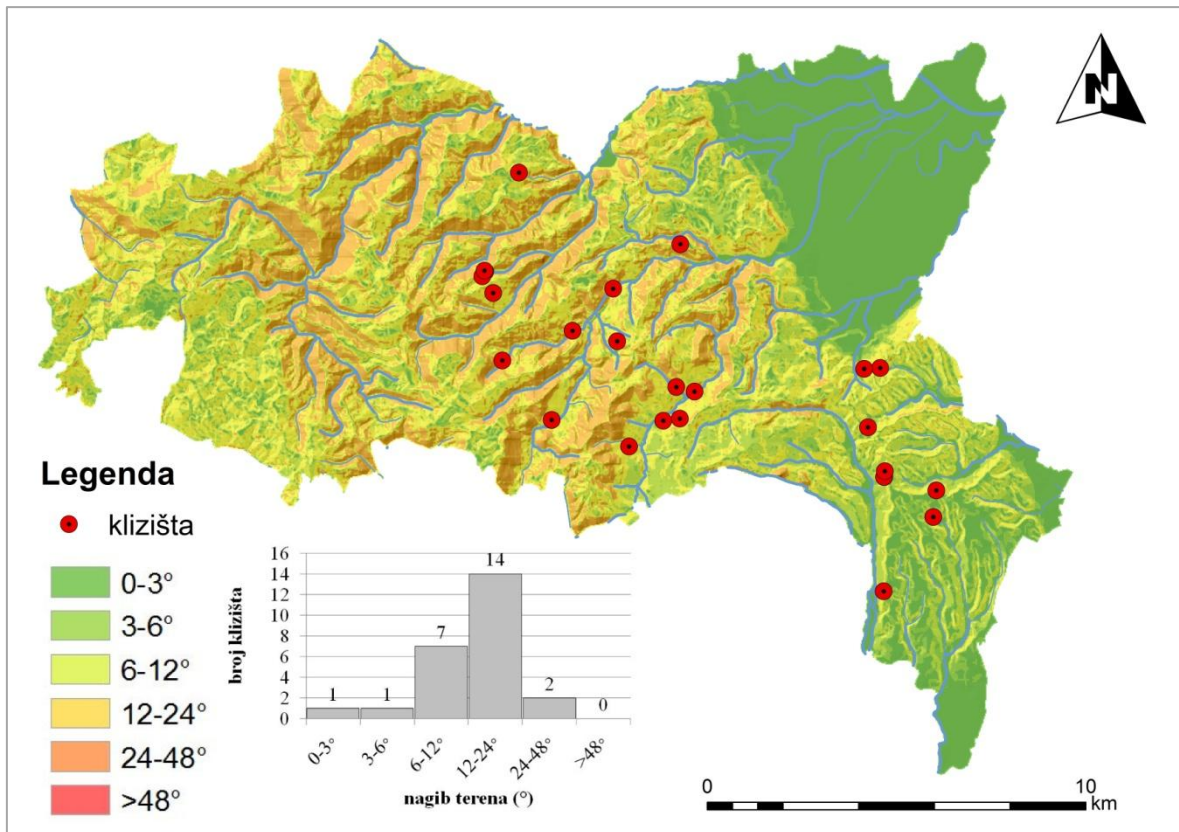
Sljedeća faza bila je prostorna analiza lokacija klizišta i izvedenih faktorskih karta s ciljem kvantifikacije relativnog utjecaja faktora klizanja na formiranje klizišta. U tu svrhu provedena je analiza relativne gustoće klizišta unutar svake pojedine klase faktora klizanja.

Analize podataka o oborinama sastojale su se od izračuna dnevnih kumulativnih oborina, mjesečnih oborina za prethodna tri mjeseca, odstupanja mjesečnih oborina od prosjeka za odabrane mjesece te za odredbu kritičnog oborinskog događaja za pojedino klizište. Svi izračuni napravljeni su u programskom paketu *Excel*.

4.1 Analiza prostorne distribucije klizišta u odnosu na faktore klizanja

Procjena prostorne distribucije klizišta, odnosno analiza gustoće klizanja unutar klasa faktora provedena je u *ArcMAP* softveru. Pomoću analitičkih i kartografskih funkcija unutar navedenog programa provedena je kombinirana prostorna analiza izvedenih faktorskih karata vrsta stijena, pokrova zemljišta i morfoloških značajki s kartom inventara klizišta.

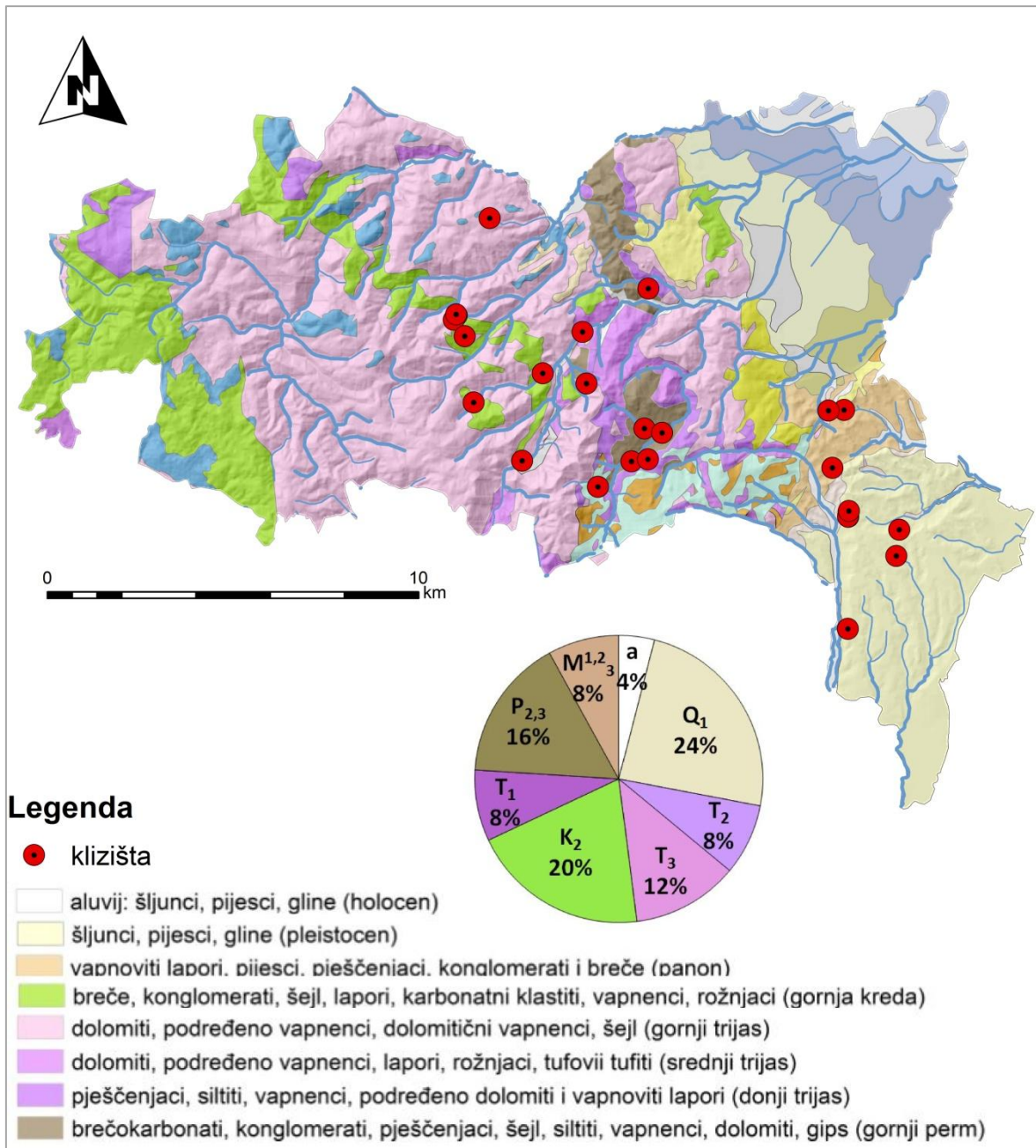
Karta nagiba terena izvedena je iz DMR-a, a reklasificirana je u šest klasa nagiba terena: 0-3°, 3-6°, 6-12°, 12- 24°, 24-48° i >48°. Za svaku klasu nagiba terena izračunat je broj klizišta, a rezultati su prikazani na slici 4.1. Iz histograma prikazanog na slici vidljivo je da je 56% registriranih klizišta nastalo na padinama prosječnog nagiba od 12-24°. Oko 30% klizišta je na terenima prosječnog nagiba manjeg od 12°, a manje od 10% klizišta je na nagibima 24-48°.



Slika 4.1. Inventar klizišta za područje Grada Samobora prikazan na karti nagiba terena rezolucije 25x25 m.

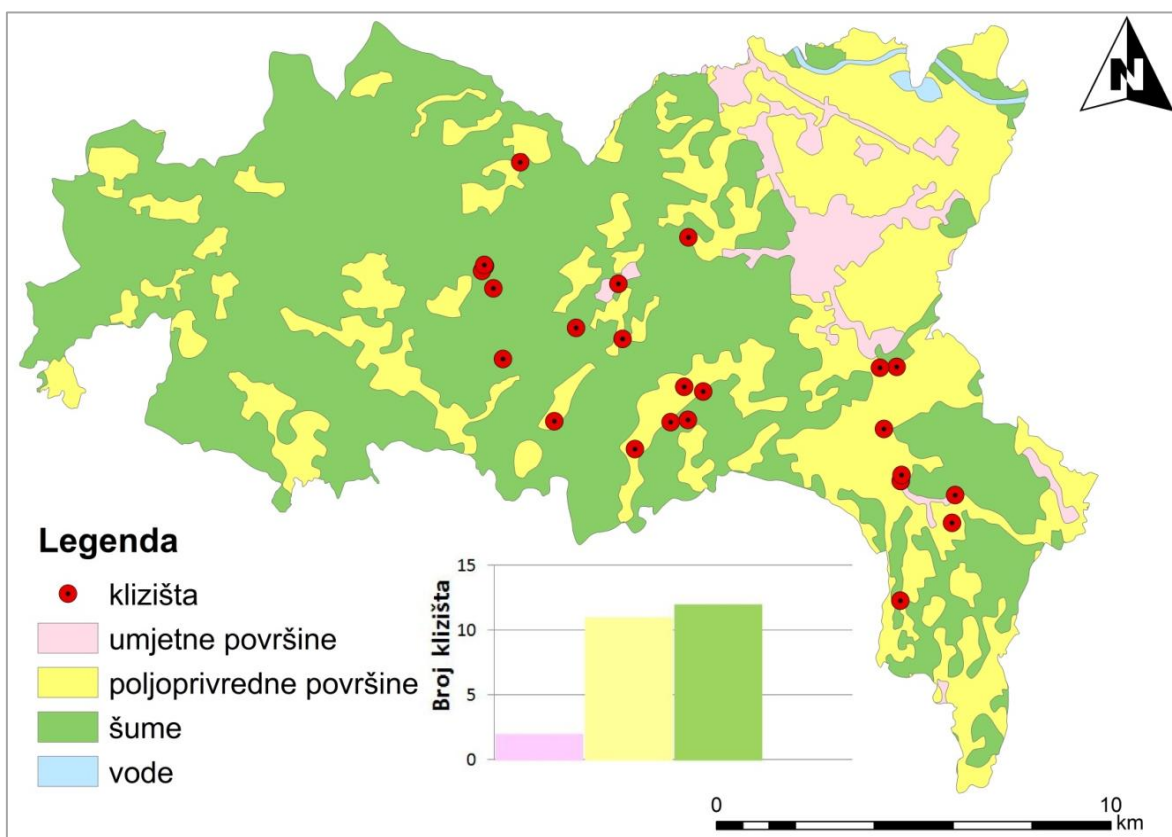
Karta stratigrafskih jedinica izvedena je iz OGK mjerila 1:100.000 (listovi x i y) na kojoj je na području Grada Samobora izdvojeno 20 kartografskih jedinica ili klasa vrsta stijena koje predstavljaju analizirane faktore klizanja. Iz grafičkog prikaza na slici 4.2, vidljivo je da se najveći broj klizišta odnosno 54% klizišta nalazi unutar predneogenskih naslaga. Oko 20% od ukupnog broja klizišta (pet klizišta) je unutar stratigrafske jedinice gornjokredne starosti (K_2) izgrađene od naslaga breča, karbonata, šejlova, lapora, karbonatnih klastita, vapnenaca i rožnjaka. U stratigrafskoj jedinici srednjeg i gornjeg perma ($P_{2,3}$), u kojoj su zastupljeni pješčenjaci s prijelazima u kvarcne konglomerate i brečokarbonate, i proslojcima šejlova i siltita unutar pješčenjaka, prisutno je 16% klizišta (četiri klizišta). U stratigrafskoj jedinici gornjotrijaskih dolomita (T_3) nalazi se svega 12% klizišta, iako je ova jedinica najzastupljenija na području Grada Samobora. U stratigrafskim jedinicama srednjotrijaskih dolomita (T_2) i donjotrijaskih pješčenjaka, vapnenaca, dolomitiziranih vapnenaca, dolomita i vapnovitih lapora (T_1) prisutno je ukupno 8% klizišta, što odgovara pojavama po dva klizišta u svakoj stratigrafskoj jedinici. Na području

stratigrafskih jedinica neogenske starosti nalazi se 36% svih registriranih klizišta. Najviše klizišta (24% odnosno šest klizišta) smješteno je unutar stratigrafske jedinice pleistocenske starosti izgrađene od šljunaka, pijesaka i glina (PIQ, nova oznaka Q₁). Ukupno dva klizišta aktivirala su se na području izgrađenom od naslaga gornjeg pontaa, odnosno pijesaka, pjeskovitih i glinovitih lapora i glina. Jedno od klizišta nalazi se unutar aluvijalnih naslaga.



Slika 4.2. Inventar klizišta za područje Grada Samobora prikazana na pojednostavljenoj geološkoj karti.

Distribucija klizišta unutar klasa pokrova zemljišta provedena je po CORINE podjeli prve razine (Agencija za zaštitu okoliša, 2008). Prema rezultatima ove analize, 48% registriranih klizišta aktiviralo se na području šumskih vegetacijskih pokrova. Unutar pokrova klasificiranog kao poljoprivredne površine aktivirano je 44% klizišta, a unutar klase umjetnih površina aktiviralo se 2% od ukupnog broja analiziranih klizišta.



Slika 4.3. Karta pokrova zemljišta na području Grada Samobora s prikazom relativne gustoće klizišta u četiri klase pokrova prema CORINE klasifikaciji.

4.2 Karte klimatskih anomalija za razdoblja aktiviranja klizišta

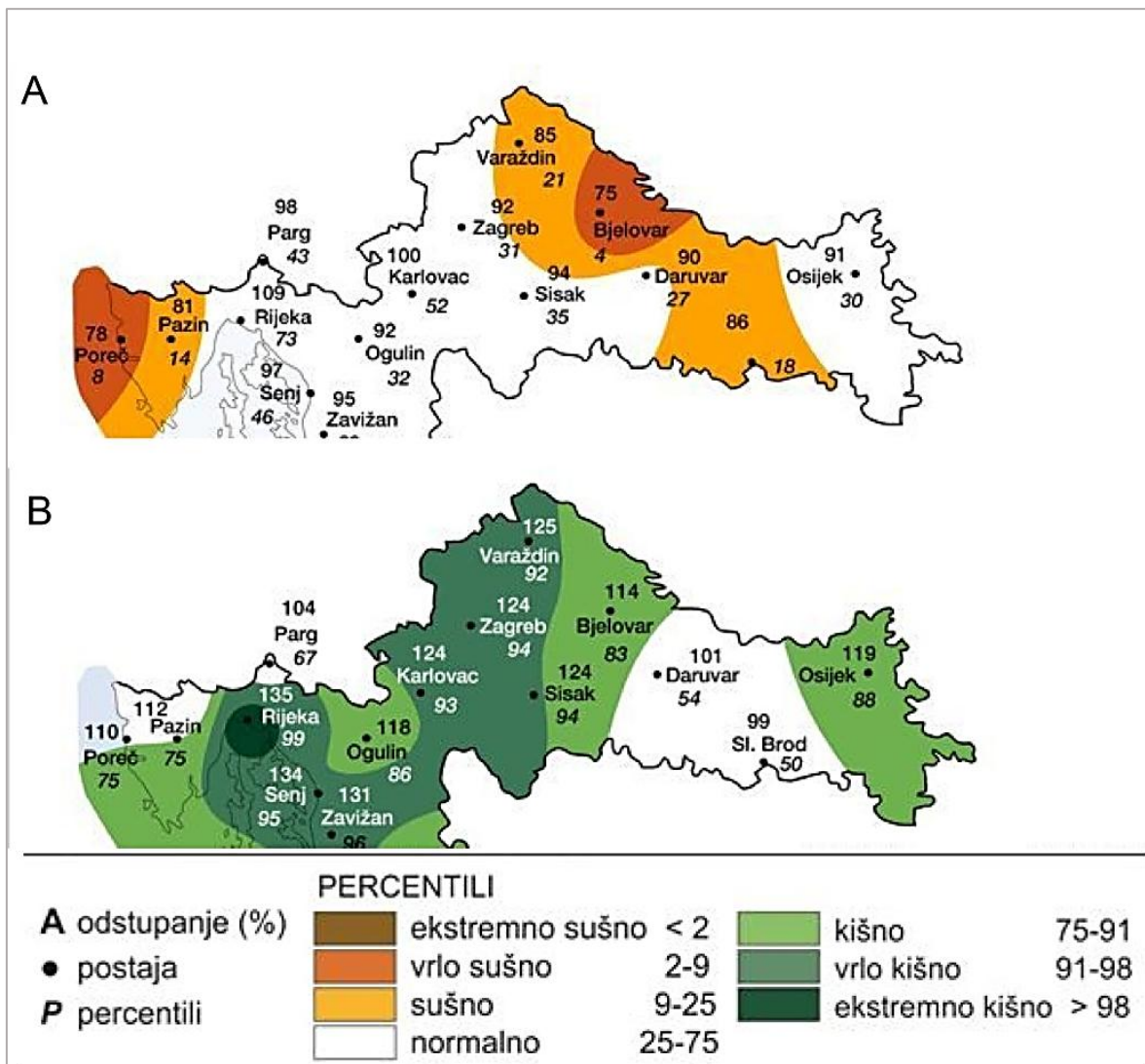
U okviru mreže meteoroloških postaja u Hrvatskoj prati se klima na način da se analiziraju podaci koji se svakodnevno prikupljaju na 30 glavnih meteoroloških postaja (u 7, 14 i 21 sat). Postupak analize klime provodi se pomoću Conrad-Chapmanove metode koja daje odstupanja od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990. godine. Rezultati analize se izražavaju prema klasifikaciji navedenoj u tablici 4-1 kojom su definirani opisni termini za oborinske prilike s pripadajućim graničnim vrijednostima iskazanim u percentilima. Percentili predstavljaju procjenu da odgovarajuća vrijednost anomalije u

promatranom razdoblju nije bila nadmašena, a izražava se u postocima. Na temelju ovih ocjena izrađuju se karte klimatskih anomalija, koje prikazuju odstupanja od višegodišnjih prosjeka za razdoblje 1961.—1990. godine, na način da se provodi zoniranje područja odgovarajućih klasa anomalija za područje cijele Hrvatske. Te ocjene svrstavaju klimatske anomalije u klase u odnosu na navedene višegodišnje prosjeke. Ovakav pristup osigurava objektivnost ocjene klimatskih anomalija izbjegavajući subjektivnost pojedinca.

Tablica 4-1 Klasifikacija oborinskih prilika (DHMZ 2014b).

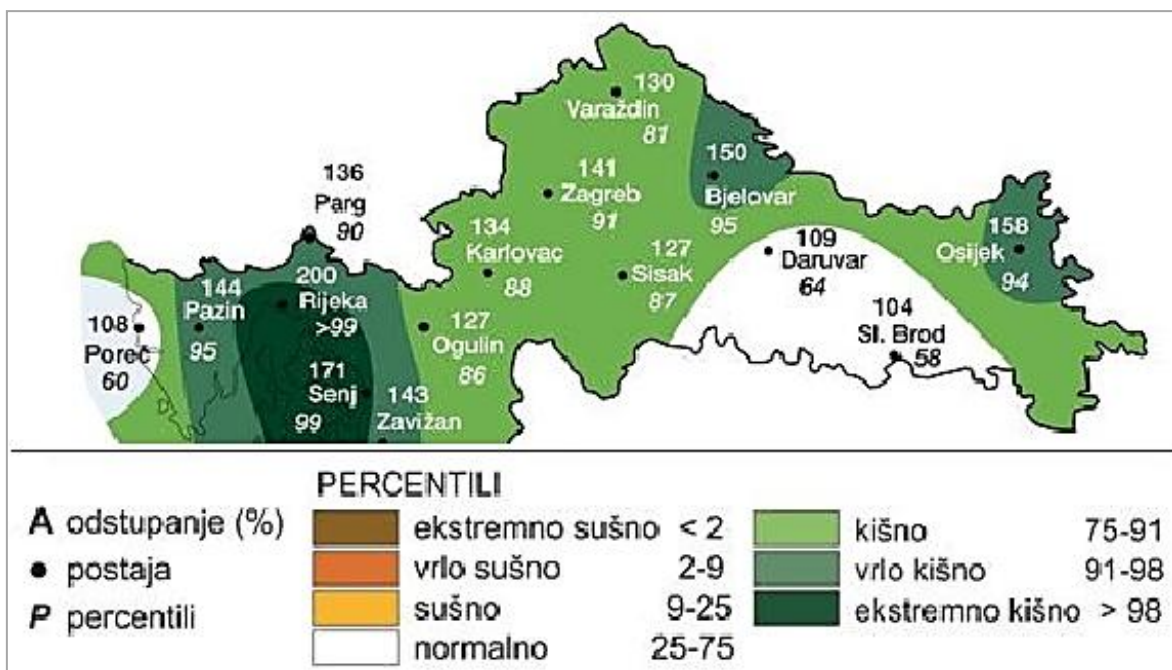
| Kategorije: | Percentili |
|------------------------|-------------------|
| Ekstremno sušno | <2 |
| Vrlo sušno | 2-9 |
| Sušno | 9-25 |
| Normalno | 25-75 |
| Kišno | 75-91 |
| Vrlo kišno | 91-98 |
| Ekstremno kišno | >98 |

Analiza godišnjih, sezonskih i mjesečnih količina oborina izražena je u postocima višegodišnjeg prosjeka za navedeno referentno razdoblje. Pripadnost klasi razdiobe označena je odgovarajućom bojom, od tamno zelenog spektra za ekstremno kišnu klasu do smeđeg dijela spektra za ekstremno suho razdoblje. Broj uz postaju na slici označava percentil prema kojem se postaja svrstava u odgovarajuću klasu (DHMZ 2014b).



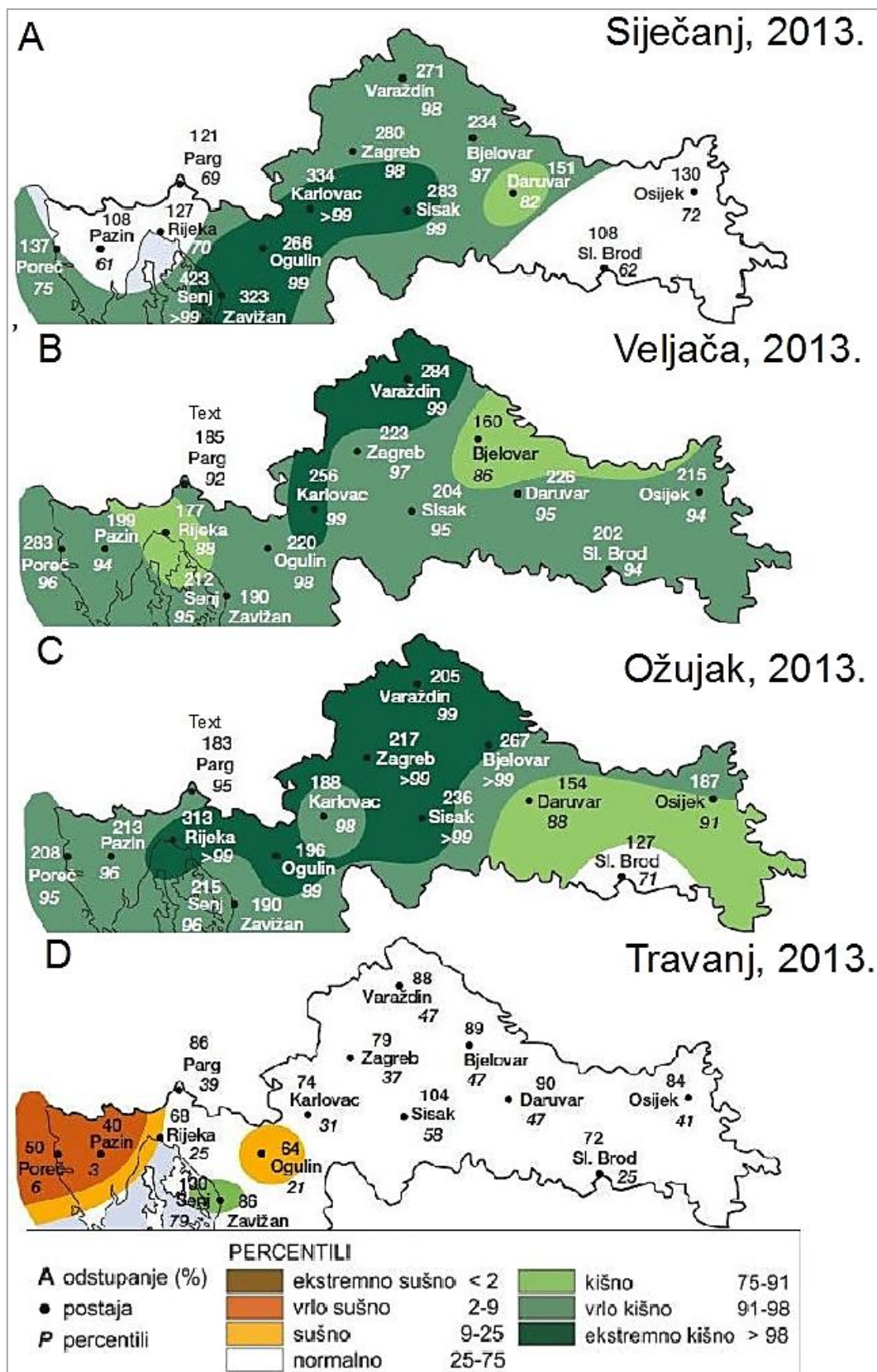
Slika 4.4. Godišnji percentil oborine izračunat na temelju podataka u razdoblju 1961.-1990. godine za: (A) 2012. godinu i (B) 2013. godinu (DHMZ 2014a,b).

Prikaz godišnje klimatološke anomalije na slici 4.4 područje sjeverozapadne Hrvatske omogućuje usporedbu oborinskih uvjeta u 2012. i 2013.godinu iz kojega je vidljivo da je u 2012. godini količina oborine bila prosječna, dok je cijela 2013. godina bila ekstremno kišna. Također, uvidom u karte klimatskih anomalija za sezonsko razdoblje proljeća 2013. godine (slika 4.5) vidi se da su meteorološki uvjeti za ovo razdoblje istraživanja bili viši od prosjeka, odnosno bilo je kišno. Količine oborina, odnosno odstupanja su se kretala od 134% u Karlovcu do 141% u Zagrebu (DHMZ 2013).



Slika 4.5. Mjesečni percentil oborine za proljeće 2013. godine izračunat na temelju podataka u razdoblju od 1961.-1990. godine (DHMZ 2014b).

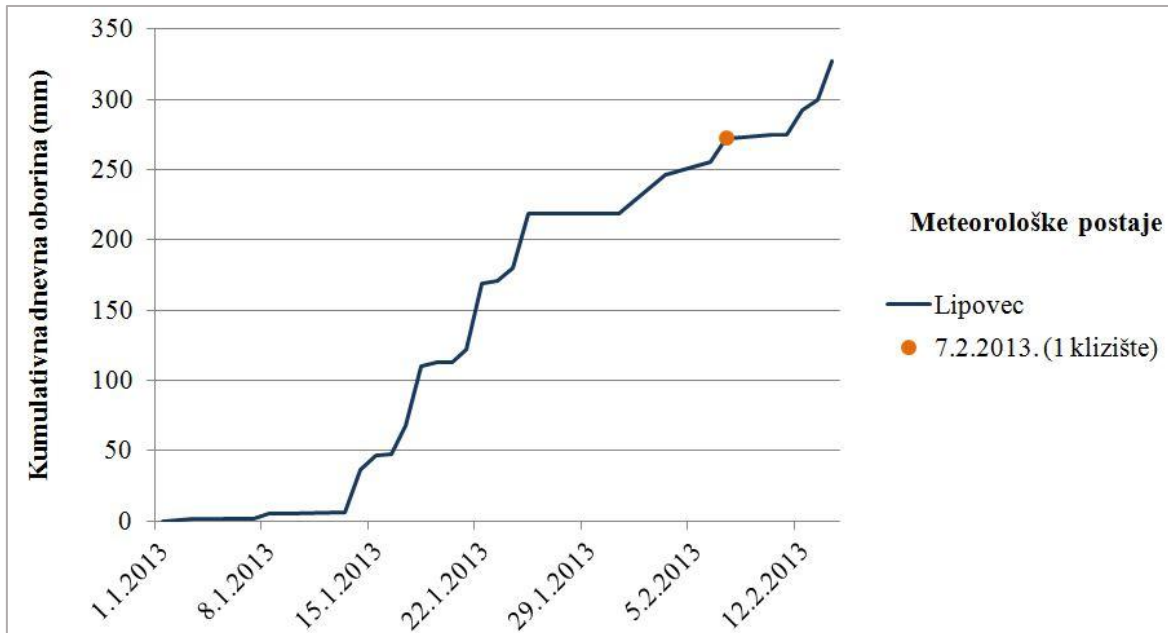
Detaljnijim uvidom u mjesečne karte anomalija od siječnja do travnja 2013. godine, prikazane na slici 4.6, utvrđeno je kako su oborinske prilike na području Grada Samobora za siječanj opisane kao vrlo kišne, dok je razdoblje od veljače do ožujka 2013. godine na istraživanom području opisano kao ekstremno kišno. Veći broj aktiviranih klizišta krajem ožujka i početkom travnja 2013. posljedica su ekstremnih oborinskih događaja koji su zahvatili cijelu sjeverozapadnu Hrvatsku u (Mihalić Arbanas i dr. 2013; Bernat i dr. 2014).



Slika 4.6. Mjesečni percentil oborine izračunat na temelju podataka u razdoblju od 1961.-1990. godine za: (a) siječanj 2013.; (b) veljaču 2013.; (c) ožujak 2013.; i (d) travanj 2013.godine (DHMZ 2014b).

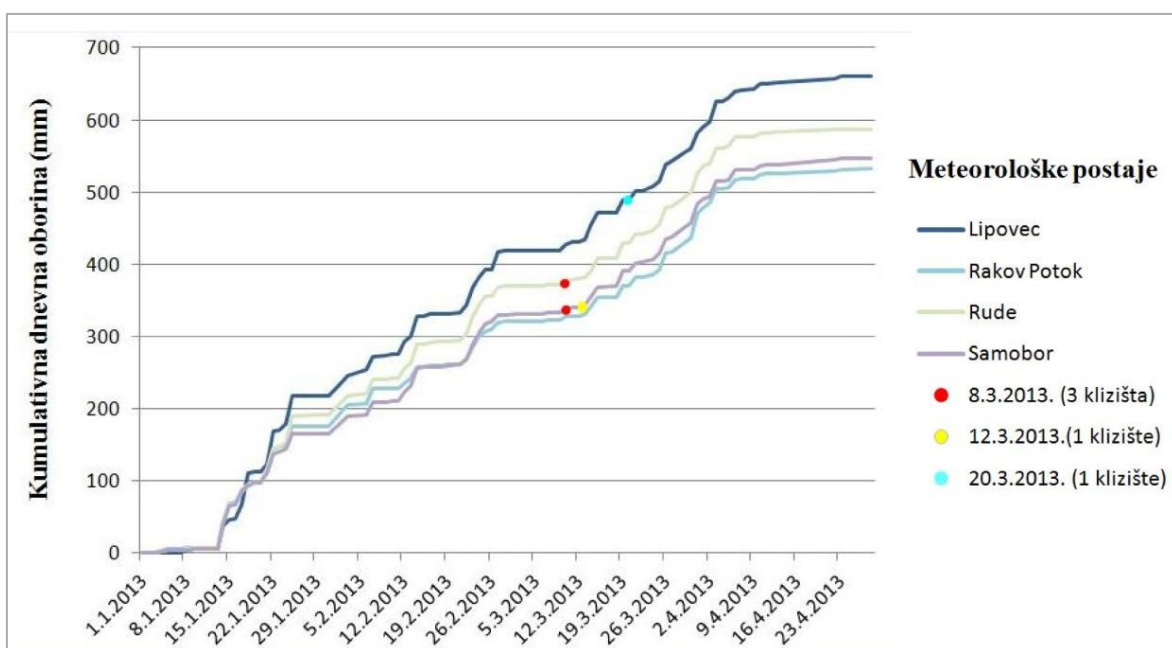
4.3 Analiza kumulativnih oborina koje su prethodile evidentiranim događajima klizanja

Na dostupnim podacima s meteoroloških postaja Samobor, Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude provedene su analize dnevnih oborina za sezonsko razdoblje proljeća 2013. godine. Kako nisu dostupni podaci o visini snijega na predmetnim postajama, nije bilo moguće odrediti kada je otopljen snježni pokrivač i kada je došlo do infiltracije otopljenog snijega u podzemlje. Vremenski raspon analize određen je na temelju poznatih datuma aktivacije klizišta na području Grada Samobora, odnosno od 1.1.2013. do 23.4.2013. godine. Reprerzentativnost kišomjerne postaje za aktivaciju određenih klizišta određena je na temelju zračne udaljenosti između postaja i klizišta, a odabrane su najbliže mjerene postaje. Na slikama 4.7, 4.8 i 4.9 prikazana je kumulativna prethodna oborina na pojedinim analiziranim postajama s datumima kada je došlo do aktiviranja klizišta. U okolini meteorološke postaje Lipovec aktivirano je klizište Grdanjci 7.2.2013. Od 1.1.2013. do 7.2.2013. na postaji Lipovec je registrirano ukupno 272,4 mm oborine, što je 4,5 puta više od srednje mjesečne oborine.

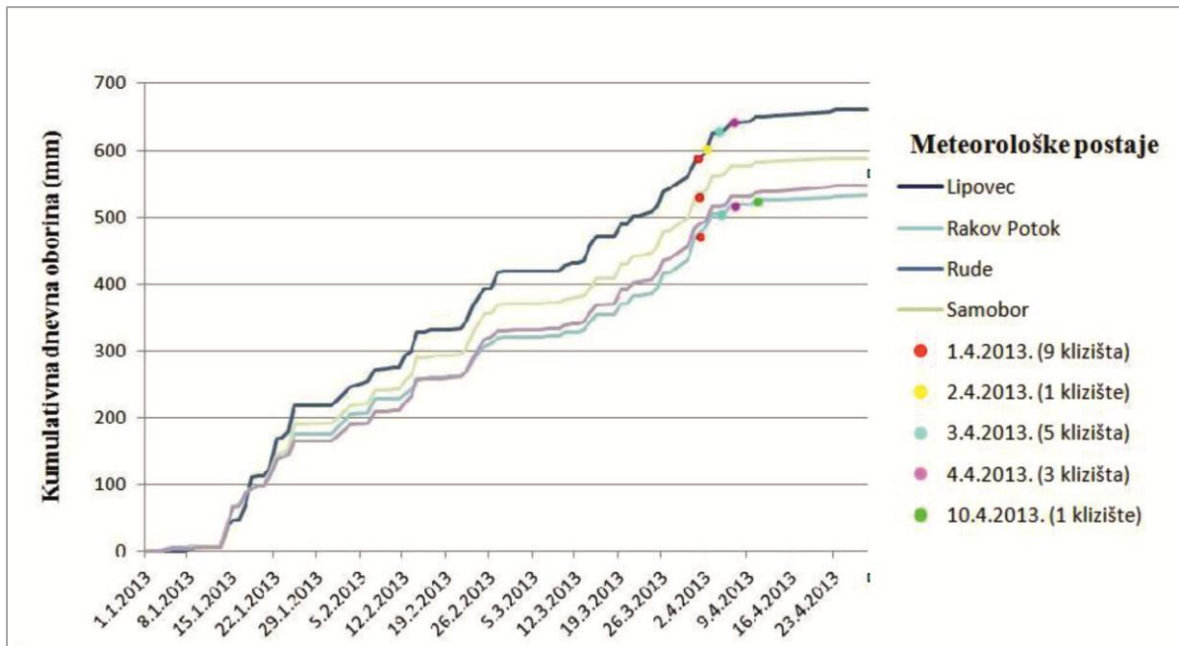


Slika 4.7. Kumulativna oborina za razdoblje od 1. siječnja do 15. ožujka 2013. godine s meteoroloških postaja Lipovec i Samobor.

Tijekom ožujka 2013. aktivirana su ukupno pet klizišta za koja su poznati točni datumi pokretanja, a od 1.4. do 4.4.2013. datumi aktiviranja poznati su za ukupno 14 klizišta. Zbog toga su analizirani podaci s meteoroloških postaja koje su najbliže klizištima i to za razdoblje od 1.1.2013. do 23.4.2013. godine određeno na temelju datuma aktivacije klizišta. Zbog brojnosti podataka, izrađena su dva zasebna prikaza, za mjesec ožujak (slika 4.8) i za travanj (slika 4.9). Na ovim slikama prikazane su kumulativne oborina svih relevantnih meteoroloških postaja s točkastim podacima datuma aktivacije klizišta pri čemu su datumi prikazani na krivuljama pripadajuće meteorološke postaje.

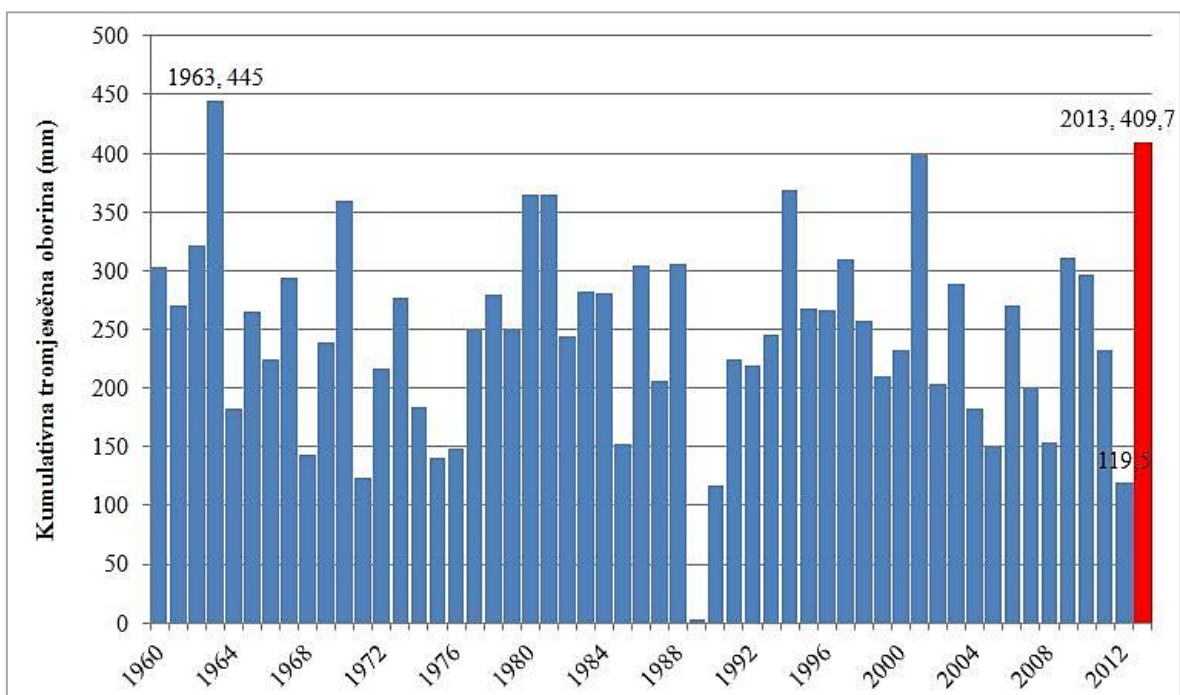


Slika 4.8. Kumulativna oborina za razdoblje od 1. siječnja do 23. travnja 2013. godine s meteoroloških postaja Samobor, Lipovec, Rude i Rakov Potok za datume aktivacije klizišta u ožujku 2013. godine.



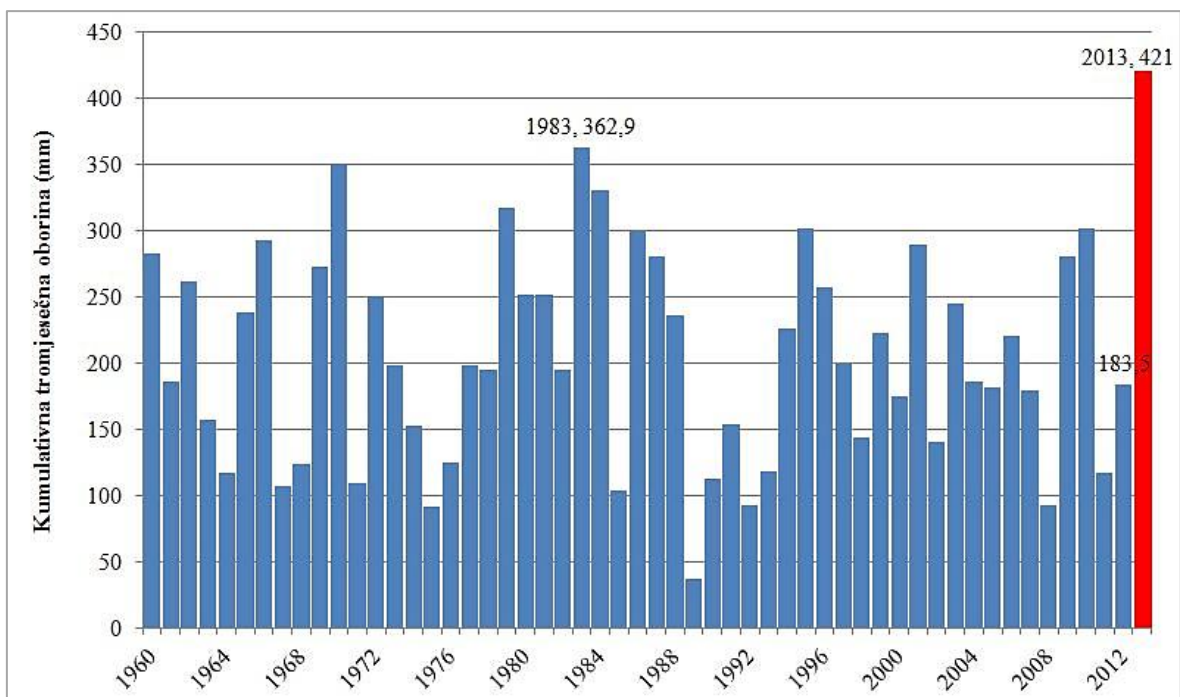
Slika 4.9. Kumulativna oborina za razdoblje od 1. siječnja do 23. travnja 2013. godine s meteoroloških postaja Samobor, Lipovec, Rude i Rakov Potok za datume aktivacije klizišta u travnju 2013. godine.

Tromjesečna oborina koja je prethodila klizanju uspoređena je s tromjesečnim oborinama za razdoblje od 1960. do 2013. godine s meteorološke postaje Rakov Potok. Za ovu analizu je odabrana postaja Rakov Potok zbog najduljeg vremena mjerenja, ukupno 53 godine mjerenja s vrlo kratkim razdobljima bez podataka, koja su izuzeta iz analize. Analiza je provedena za klizišta aktivirana u veljači 2013. na način da su obrađeni podaci iz studenog i prosinca 2012. i siječnja 2013. godine (slika 4.10). Tromjesečna kumulativna oborina za veljaču predstavlja zbroj mjesečnih oborina za prosinac, siječanj i veljaču za razdoblje od 1960. do 2013. godine. Iz usporedbe je vidljivo da je tromjesečna oborina u veljači 2013., koja iznosi 407,7 mm, druga najviša oborina na mjernoj postaji Rakov Potok. Najviša tromjesečna oborina za veljaču registrirana je 1964. godine i iznosi 445 mm.

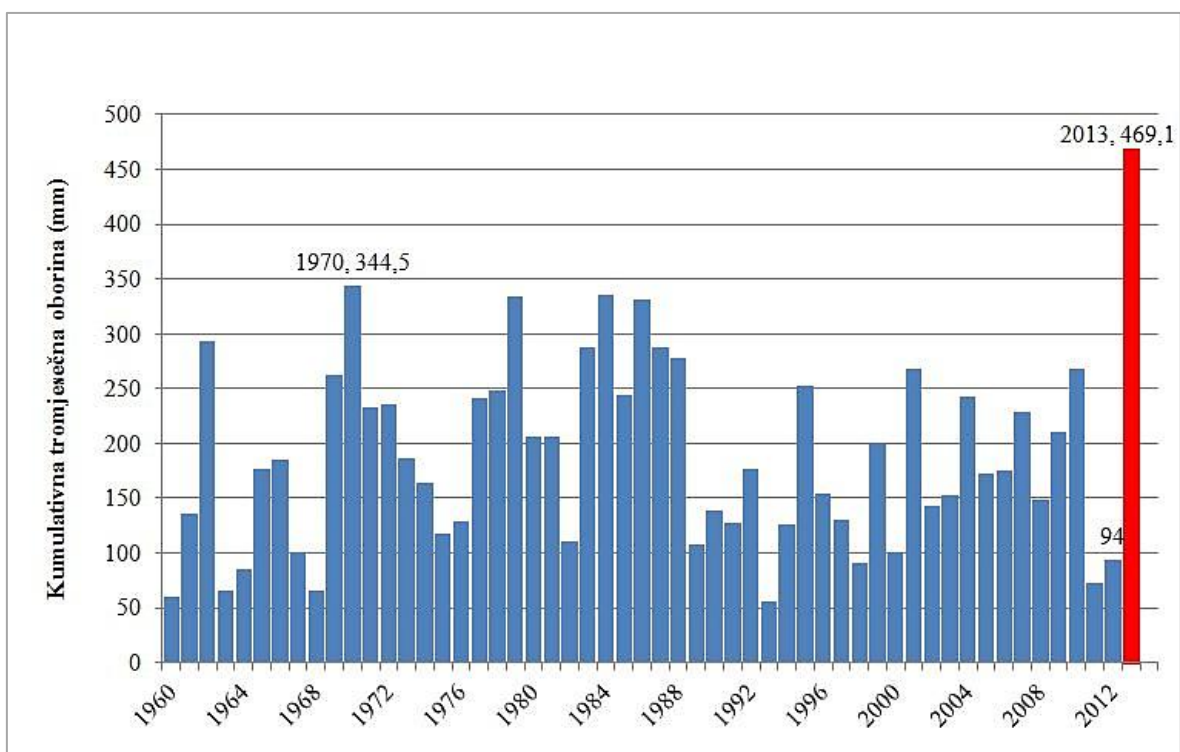


Slika 4.10. Tromjesečna prethodna oborina za veljaču za razdoblje od 1960. do 2013. godine.

Usporedbom tromjesečnih oborina za ožujak (slika 4.11), vidljivo je da je u analiziranom razdoblju od 1960.-2013. godine najviša registrirana oborina iz 2013. godine koja iznosi 421 mm, što je 16% posto više od druge najviše registrirane oborine u analiziranom razdoblju koja je izmjerena 1983. godine. Također, na slici 4.12 prikazana je usporedba tromjesečnih oborina za travanj iz koje vidljivo kako je najviša registrirana oborina iz 2013. godine i iznosi 469,1 mm, što je 36% posto više od druge najviše registrirane oborine u analiziranom razdoblju koja je izmjerena 1970. godine.

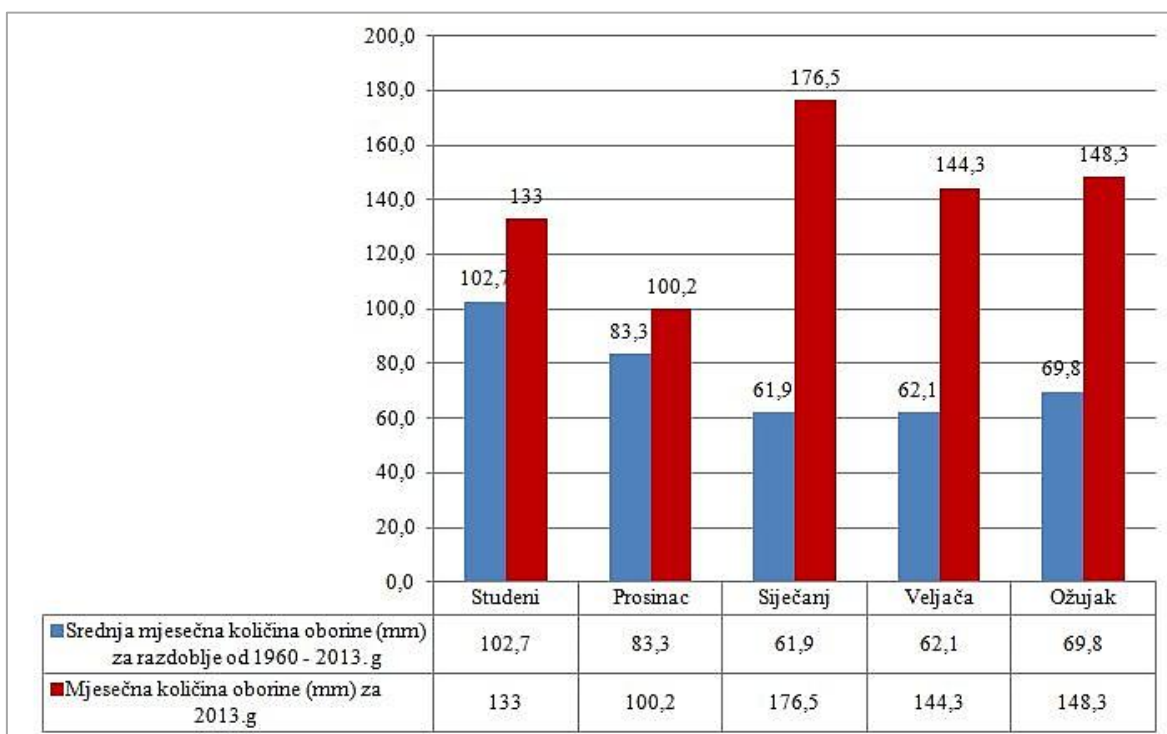


Slika 4.11. Tromjesečna prethodna oborina za ožujak za razdoblje od 1960. do 2013. godine.



Slika 4.12. Tromjesečna prethodna oborina za travanj za razdoblje od 1960. do 2013. godine.

Napravljena je i usporedba srednjih mjesečnih količina oborina za studeni, prosinac, siječanj, veljaču i travanj za razdoblje od 1960. do 2013. godine s mjesečnim količinama oborina za studeni i prosinac 2012. godine i za siječanj, veljaču i travanj 2013. godine (slika 4.13). Iz ove usporedbe je vidljivo da je mjesečna oborina u studenom 2012. godine viša 29% od srednjih mjesečnih oborina za isti mjesec tijekom prethodne 53 godine, odnosno 20% je viša u prosincu 2012. godine. U siječnju 2013. godine mjesečna oborina je viša 185% u odnosu na srednje mjesečne oborine za analizirano povijesno razdoblje, što se može smatrati uzrokom aktiviranja prvih klizišta početkom veljače 2013. godine. Mjesečne oborine u veljači i ožujku 2013. godine više su za 132%, odnosno 112% u odnosu na srednje mjesečne oborine za iste mjesece tijekom prethodne 53 godine, što također ukazuje na ekstremne oborinske uvjete u veljači i ožujku 2013. godine kada je aktivirano jedno odnosno pet klizišta te u travnju 19 klizišta.



Slika 4.13. Podaci o mjesečnim oborinama na meteorološkoj postaji Rakov Potok. Svijetloplavi stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 1960.-2013. godine, a crveni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od studenog 2012. do ožujka 2013. godine.

4.4 Granične vrijednosti intenzitet-trajanje oborine

Empirijske granične vrijednosti definiraju oborinske uvjete koji će vjerojatno izazvati klizišta kada ih količina oborine postigne ili premaši (Reichenbach i dr. 1998). Granične vrijednosti se mogu definirati kroz statističke analize prethodnih oborinskih događaja koji su doveli do klizanja. One se mogu odrediti za područja istraživanja različite veličine, odnosno mogu se definirati globalne, nacionalne, regionalne ili lokalne granične vrijednosti oborina, a pri tome se razlikuju i vrste informacija o oborinama koje se koriste kao ulazni podaci za navedenu analizu (Guzzetti i dr. 2007, 2008).

Definiranje pouzdanih regionalnih i lokalnih graničnih vrijednosti oborina zahtijeva prikupljanje podataka o točnim datumima aktiviranja klizišta, ali i prikupljanje informacija o zemljopisnom položaju i količini oborine koja je uzrokovala klizišta na nekom području. Iz tog razloga nužno je izraditi inventar oborinskih događaja koji sadrži informacije o događajima koji su uzrokovali klizišta, a također i o događajima koji nisu uzrokovali klizišta. Informacije o datumima aktiviranja klizišta za istraživano razdoblje na području Grada Samobora prikupljeni su u okviru ovog diplomskog rada iz različitih izvora, i to: (i) novina, a posebno onih koji su dostupne on-line, (ii) blogova, (iii) povijesnih baza podataka, (iv) izvješća PUZS-a Zagreb, i (v) novijih stručnih i znanstvenih publikacija i drugih tehničkih izvještaja. Glavni izvor informacija bile su vijesti objavljene na internetskim stranicama novina, na dan aktiviranja klizišta ili neposredno nakon toga.

U inventaru klizišta su također sadržani i podaci o oborinskim događajima koji su pokrenuli jedno ili više klizišta. Ovi opisni podaci uključuju: identifikaciju događaja, lokaciju klizišta, klasifikaciju klizišta, vremenske informacije o događaju aktiviranja klizišta (dan, mjesec, godina, vrijeme, datum, vremensku preciznost), te podatke o oborinama (izmjerene količine oborine, trajanje oborine - D, intenzitet oborine - I, kumulativnu oborinu - E).

Izbor reprezentativne kišomjerne postaje za rekonstrukciju oborinskog događaja koji je uzrokovao (re)aktivaciju klizanja, načinjen je na temelju sljedećih kriterija: (i) geografskoj udaljenosti između kišomjerne postaje i klizišta, (ii) usporedbi između nadmorske visine kišomjerne postaje i klizišta, te (iii) drugih topografskih i morfoloških karakteristika.

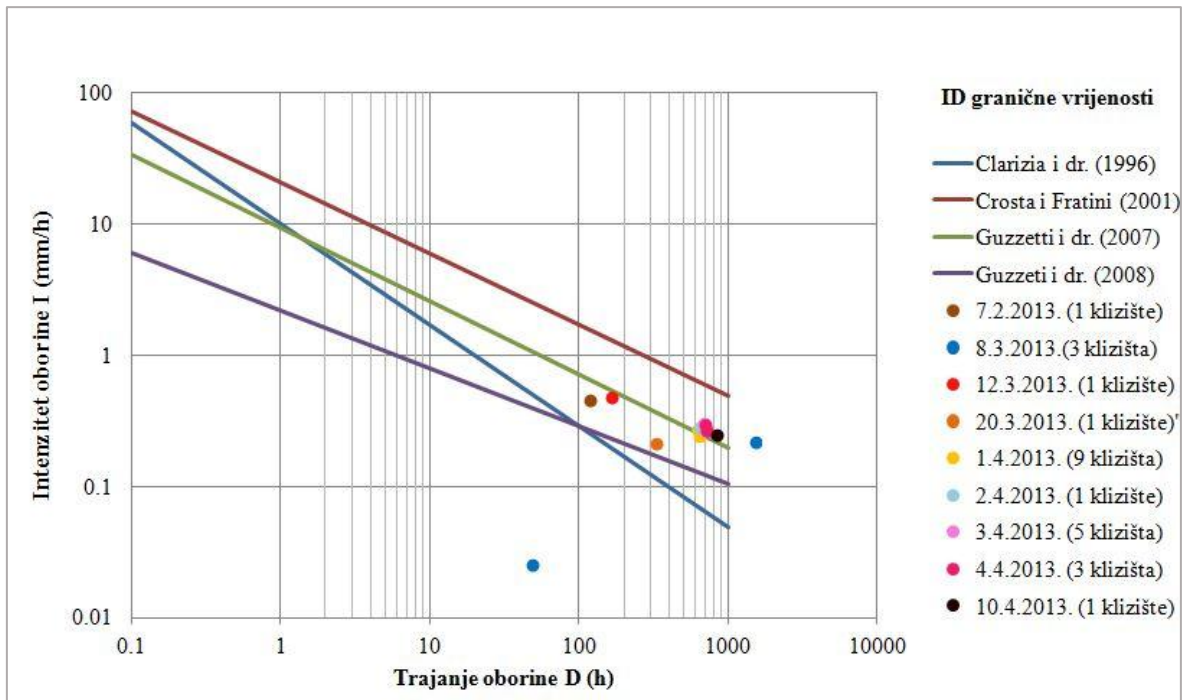
Trajanje oborina (D) određuje se kao vrijeme proteklo između početka oborinskog događaja i vremena aktiviranja klizišta. Usvojeno je da su dva oborinska događaja odvojena kada postoji minimalno razdoblje bez oborine. Razdoblje od četiri dana bez

oborine je određeno za kasnu jesen i zimu (listopad-travanj), a razdoblje od dva dana bez oborina za preostali dio godine (svibanj-rujan). Kada je oborinski događaj identificiran, može se izračunati trajanje oborine - D [h], kumulativna oborina - E [mm], te intenzitet oborina - I [mm/ h-1] (Gariano i dr. 2012).

Događaji oborine koji su uzrokovali klizišta na području Grada Samobora uspoređeni su s ID graničnim vrijednostima prema Clarizia i dr. (1996), Crosta i Fratini (2001), Guzzetti i dr. (2007), te prema Guzzeti i dr. (2008), čije karakteristike su navedene u tablici 4-2. Na osnovi analize podataka o oborinama utvrđeno je 14 oborinskih događaja s vrijednostima intenziteta oborina u rasponu od 0,025 do 0,476 mm/h i vrijednostima trajanja oborina u rasponu od 48 do 2.088 h. Širok raspon proračunatih vrijednosti daje rasuti skup podataka, no usporedbom ovih podataka s krivuljama intenzitet-trajanje (tzv. ID krivulje) iz svjetske literature (slika 4.14) pokazuje se da su identificirani uvjeti premašili granične vrijednosti. Oborinski događaji koji su uzrokovali klizišta u analiziranom razdoblju na području Grada Samobora premašili su granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2008) za plitka klizišta i globalne ID granične vrijednosti oborina prema Clarizia i dr. (1996) za puzanje tla, a također i granične vrijednosti prema Guzzeti i dr. (2007) za sve tipove klizišta, dobivenim za područje Italije. Izuzetak predstavlja oborinski događaj od 8.3.2013. godine, a koji je povezan s nastankom tri klizišta, predstavlja izuzetak, jer se nalazi ispod graničnih vrijednosti definiranih empirijskim ID krivuljama (slika 4.14).

Tablica 4-2. Popis korištenih ID graničnih vrijednosti oborina (Guzzetti i dr. 2007, 2008).

| Autor | Tip klizišta | Geografski raspon | Tip granične vrijednosti | Jednadžba | Raspon |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------|
| Clarizia i dr. (1996) | Puzanje tla | globalno | ID | $y = 10x^{-0,77}$ | 0,1<D<1000 |
| Crosta i Fratini (2001) | Plitko klizište | globalno | ID | $y = 0,48 + 7,2x^{-1,0}$ | 0,1<D<1000 |
| Guzzetti i dr. (2007) | Svi tipovi | nacionalno | ID | $y = 9,4x^{-0,56}$ | 0,1<D<4000 |
| Guzzeti i dr. (2008) | Plitko klizište | globalno | ID | $y = 2,2x^{-0,44}$ | 0,1<D<1000 |



Slika 4.14. Usporedba vrijednosti intenzitet-trajanje (ID) za događaje oborine koji su uzrokovali klizišta na području Grada Samobora s ID graničnim vrijednostima prema Clarizia i dr. (1996), Crosta i Fratini (2001), Guzzetti i dr. (2007), te prema Guzzetti i dr. (2008).

5. DISKUSIJA

Za potrebe izrade diplomskog rada prikupljeni su mnogobrojni podaci iz različitih izvora. Prikupljena dokumentacija uključuje geotehničke elaborate izrađene za potrebe projektiranja mjera sanacije klizišta koja su oštetila i onemogućila daljnje korištenje komunalne infrastrukture (npr. prometnice, vodovod, kanalizacija). Dobiveni su podaci o 45 registriranih klizišta koja su se dogodila u razdoblju od zime 2012. do ljeta 2013. godine, a detaljniji podaci prikupljeni su za 25 klizišta aktiviranih unutar razdoblja od tri mjeseca 2013. godine. Također, važan izvor podataka bili su izvještaji lokalne samouprave Grada Samobora o aktiviranim klizištima na području Grada. Izvor podataka bile su i dojave građana, kao i aktualne vijesti o aktiviranim klizištima na internetskim portalima i glasilima. U okviru ovog diplomskog rada također je provedena verifikacija prikupljenih podataka terenskim obilaskom klizišta, kao i upotpunjavanja podataka o klizištima. Sva registrirana klizišta nalaze se blizu prometnica ili kuća, zbog čega zasigurno postoje i klizišta koja nisu uočena, jer nisu prijavljena od strane lokalnog stanovništva. Na temelju ovih podataka napravljena je karta sezonskog inventara klizišta, iniciranih oborinama u zimskom, razdoblju 2012./2013. godine i proljeće 2013. godine. U inventaru su sadržani podaci o tipu, lokaciji i površini klizišta, kao i o datumu aktiviranja klizišta.

U okviru diplomskog rada napravljena je analiza učestalosti klizišta ovisno o mogućim uzrocima klizanja, koji su prikazani na tzv. faktorskim kartama. Svrha ove analize bila je određivanje relativnog utjecaja pojedinog uzroka (faktora) klizanja na klizanje, a analizirani su sljedeći preduvjeti klizanja: vrsta stijena, morfološki uvjeti, odnosno reljef i pokrov zemljišta koji odražava postojeće korištenje zemljišta. Prostorna analiza provedena je u *ArcGIS-ArcMAP* softveru. S obzirom na mali broj podataka o klizištima u odnosu na pretpostavljeni ukupni broj klizišta rezultati ovih analiza mogu se smatrati samo grubim pokazateljem preduvjeta klizanja. Naime analiza je provedena s ukupno 25 klizišta, što je oko 50% ili manje klizišta prijavljenih u analiziranoj sezoni. Osim toga, ako se uzme u obzir da je na području Grada Samobora prosječna gustoća između 5 i 10 klizišta po kvadratnom kilometru područja s nagibima terena $>3^\circ$ (približne ukupne površine oko 190 km²), očekivani ukupni broj klizišta je oko 1.000-2.000.

U ovom radu je napravljena i analiza oborinskih podataka s pet meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a): klimatološke postaje Samobor, te kišomjernih postaja Glažuta, Lipovec, Rakov Potok i Rude. Provedene su analize podataka o oborinama u odnosu na datume aktivacije klizišta, a za pripadajuće meteorološke postaje za razdoblje od 1.1.2013. do 23.4.2013. godine. Ove analize

uključivale su analize dnevnih kumulativnih oborina, mjesečnih oborina i tromjesečnih prethodnih oborina za razdoblje koje je prethodilo klizanju. Podaci o oborinama iz analizirane sezone masovne pojave klizišta uspoređeni su s prosječnim podacima o oborinama za razdoblje od 1960. do 2013. godine s meteorološke postaje Rakov Potok, zbog najduljeg niza odnosno raspona od 53 godine mjerenja. Ovima analizama dokazani su ekstremni meteorološki uvjeti na području Grada Samobora u razdoblju masovne pojave klizišta, a neki od ovih uvjeta pojavili su se po prvi puta u posljednjih 50 godina, što je vjerojatno i posljedica klimatskih promjena.

Usporedbom oborinskih uvjeta u 2012. i 2013. godinu za područje sjeverozapadne Hrvatske vidljivo da je u 2012. godini količina oborine bila prosječna, dok je cijela 2013. godina bila ekstremno kišna. Dugotrajne oborine nakon sušnog razdoblja uzrokuju naglo podizanje razine podzemne vode u padini, promjenu hidrauličkog gradijenta i povećanje brzine toka, te može doći do trošenja i odnošenja materijala koji izgrađuju padinu. Količina infiltracije za suho tlo je inicijalno visoka, a s vremenom se smanjuje na konstantnu vrijednost (Campbell 1985). Važan proces tijekom infiltracije je i bubrenje tla. Naime klizne plohe se uglavnom vežu na glinovite vodonepropusne slojeve koji su skloni vezivanju vode i povećavanju volumena i 10 do 15 puta. Također obujam se vrlo značajno mijenja uslijed vlaženja i isušivanja, pa jaka ispucanost u nekim teškim tlima primjerice glini omogućuje vrlo veliku infiltraciju (Marshall 1959). Nagli porast razine podzemne vode i hidrostatskog tlaka u sedimentima stvara destabilizirajuće uvjete, te ubrzava proces uravnoteženja istih što može rezultirati klizanjem na padini.

Analize oborina u odnosu na datume aktiviranja klizišta omogućile su identifikaciju oborinskih događaja koji su inicirali klizišta. Rezultati ovih događaja podudaraju se s rezultatima istraživanja u svijetu, što je prikazano na empirijskim krivuljama graničnih vrijednosti intenzitet-trajanje (tzv. ID krivulje) oborine. Izuzetak u analizi oborinskih događaja predstavlja događaj od 8.3.2013. godine, jer se nalazi ispod graničnih vrijednosti definiranih empirijskim ID krivuljama. Taj oborinski događaj povezan je s aktiviranjem klizišta Gradišće, a kod analize oborinskog događaja odabrani su podaci meteorološke postaje Samobor iako bi podaci meteorološke postaje Glažuta koja je najbliža klizištu bili reprezentativniji. No za analizirano razdoblje oborinski podaci sa meteorološke postaje Glažuta su nekontinuirani pa nisu uzeti u analizu. Osim toga, datum aktiviranja klizišta Gradišće nije sasvim pouzdan, jer prema navodima nekih stanovnika, postoji mogućnost da je klizište aktivirano nekoliko mjeseci ranije, a u analizi je korišten datum obilaska klizišta od strane predstavnika Grada. Ovo ukazuje na važnost evidentiranja što točnijih i preciznijih podataka o vremenu aktiviranja klizišta.

6. ZAKLJUČAK

Na području Grada Samobora u proljeće 2013. došlo je do masovnog aktiviranja klizišta koja su prouzročila materijalne štete na prometnicama, stambenim objektima i drugim objektima komunalne infrastrukture. Visima šteta je bila tolika da je na nekim dijelovima područja Zagrebačke županije, a koji su bili najviše pogođeni ovim događajem, proglašena elementarna nepogoda. U okviru ovog diplomskog rada prikupljeni su detaljniji podaci o 25 klizišta iz više izvora, ponajviše iz evidencija dojava stanovnika i ophodnji cesta od strane komunalnih redara. Za klizišta koja su prouzročila veće štete, ponajviše u vidu onemogućavanja ili otežavanja funkcioniranja prometnica, i danas se provede geotehnička istraživanja u svrhu projektiranja mjera sanacije, dok su na manjim klizištima provedene interventne mjere u funkciji omogućavanja prometa.

Za izabrano područje istraživanja ne postoji baza podataka o klizištima koja bi se koristila kao podloga za izradu različitih vrsta karata klizišta s prikazom postojećih klizišta ili prognozu područja potencijalno opasnih za nastanak novih klizišta, kao i za primjenu u sustavu prostornog uređenja, gradnje ili civilne zaštite. Karta klizišta odnosno inventar klizišta temelj je za sve daljnje analize uzroka klizanja i prognoze nastanka novih klizišta, odnosno planiranje mjera ublažavanja opasnosti od klizanja.

Prema rezultatima prostornih analiza provedenih u ovom radu proizlazi da je 56% registriranih klizišta, odnosno njih 14 aktivirano na padinama nagiba od 12-24°, da se najveći broj klizišta, odnosno 54% klizišta, nalazi unutar predneogenskih naslaga, i to 20% (pet klizišta) je unutar stijena gornjokredne starosti (K_2) opisanog kao naslage breča, karbonata, šejlova, lapora, karbonatnih klastita, vapnenaca i rožnjaka u Osnovnoj geološkoj karti mjerila 1:100.000 list Zagreb (Šikić i dr. 1972). Na području startigrafskih jedinica neogenske starosti nalazi se 36% registriranih klizišta, ponajviše unutar inženjerskih tala pleistocenske starosti (šljunci, pijesci i gline, Q_1) i to s udjelom od 24% odnosno šest klizišta. Analizom pokrova zemljišta pokazano je da se 48% registriranih klizišta aktiviralo na području šumskih vegetacijskih pokrova. Slično tome, velika je zastupljenost aktiviranih klizišta (44%) na poljoprivrednim površinama. U izgrađenim područjima aktiviralo se svega 2% klizišta.

Prema rezultatima analiza oborina zaključeno je da su prethodne tromjesečne oborine za travanj, ožujak i veljaču 2013. godine najveće ili druge najveće u razdoblju od posljednje 53 godine. Iz analiza mjesečnih oborina vidljivo je da je najveće odstupanje za mjesec siječanj 2013. godine, koje je 185 % više od prosjeka. Ovo je još jedan pokazatelj

izvanrednih oborinskih uvjeta koji su nastupili početkom 2013. godine, iz kojeg razdoblja postoji najveći broj poznatih datuma aktivacije klizišta.

Također su uvjeti, koji su uzrokovali klizišta u analiziranom razdoblju na području Grada Samobora uslijed oborinskih događaja, premašili granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2008) za plitka klizišta, globalne ID granične vrijednosti oborina prema Clarizia i dr. (1996) za puzanje tla. Osim toga, premašene su i granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2007) za sve tipove klizišta, dobivenim za područje Italije.

LITERATURA

- AGENCIJA ZA ZAŠTITU OKOLIŠA, 2008. CORINE land cover Hrvatska. Karta pokrova zemljišta mjerila 1:1.000.000 za 2006 godinu. Zagreb: Agencija za zaštitu okoliša.
- BAUM, R.L., GODT, J., W., 2010. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debrisflows in the USA. *Landslides*, 7(3).
- BERNAT, S., MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M., 2013. Inventory of precipitation triggered landslides in the winter of 2013 in Zagreb (Croatia, Europe). U: *Proceedings of the 3rd World Landslide Forum, Landslide Science for a Safer Geoenvironment, Volume 2: Methods of Landslide Studies*. Heidelberg: Springer, 2014, str. 829-836.
- BERNAT, S., MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M., 2014. Landslides Triggered in the Continental Part of Croatia by Extreme Precipitation in 2013. U: *Proceedings of the XII IAEG Congress 'Engineering Geology for Society and Territory', Vol. 2 'Landslide Processes'*. Heidelberg: Springer, 2014, str. 1599-1603.
- BOGNAR, A., 1990. Geomorfološke i inženjerskogeomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reljefa, *Geografski glasnik*, 52, str. 49 – 65.
- BUZJAK, N., DUJMOVIĆ, I., FELETAR, D., FELETAR, P., HOLJEVAC, Ž., IBRIŠEVIĆ, R., PETRIĆ, H., RAGUŽ, J., RAZUM, S., SIJERKOVIĆ, M., SOMEK, P., VOJAK, D., ŽEGARAC PEHARNIH, M., ŽELLE, M., 2011. *Samobor–zemljopisno povijesna monografija*, *Bibliotheca Geographia Croatica*, knjiga 41-svezak 1, prvo izdanje. Samobor: Izdavačka kuća Meridijani, str. 45- 49.
- CAMPBELL, G.S., 1985. *Soil physics with basic transport models for soil-plant systems*, *Developments in soil science 14*, Amsterdam, Nizozemska: Elsevier Science B.V., str. 73-75.
- CLARIZIA, M., GULLA, G., SORBINO, G., 1996. Sui meccanismi di innesco dei soil slip. *International Conference Prevention of Hydrogeological Hazards: the Role of Scientific Research*. L'Artistica Savigliano pub, 1, str. 585-597.
- CROSTA, G. B., FRATINI, P., 2001. rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. *Proceedings 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*, Siena, str. 463-487.
- CRUDEN, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 43, str. 27-29.
- CRUDEN, D.M., VARNES, D.J., 1996. *Landslide types and processes*. U: Turner, A.K., Schuster, R.L. (ur.): *Landslides investigation and mitigation*, *Transportation Research Board, US National Research Council, Special Report 247*, Washington, DC 1996, str. 36-75.

- ČMELIK, Z., MIROŠEVIĆ, N., HUSINJAK S. 2008. Regionalizacija voćarske i vinogradarske proizvodnje u Zagrebačkoj županiji. Izvješta. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 13 str.
- DHMZ, Državni hidrometeorološki zavod, 2014a. Praćenje i ocjena klime u 2012. godini. Zagreb: DHMZ.
- DHMZ, Državni hidrometeorološki zavod, 2014b. Praćenje i ocjena klime u 2013. godini. Zagreb: DHMZ.
- GARIANO, S. L., IOVINE, G., BRUNETTI M. T., PERUCCACCI, S., LUCIANI S., BARTOLINI D., PALLADINO, M., VESSIA, G., VIERO, A., VENNARI, C., ANTRONICO, L., DEGANUTTI, A. M., LUINO, F., PARISE, M., TERRANOVA, O. G., AND GUZZETTI, F., 2012. Populating a catalogue of rainfall events that triggered shallow landslides in Italy. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 21, str. 396–398.
- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C.P., 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98, str. 239-267.
- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C.P., 2008. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5, str. 3–17.
- GUZZETTI, F., MONDINI, A.C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTAGELO, M., CHANG K-T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth Science Reviews*, 112, str. 42-66.
- HERAK, M., ALLEGRETTI, i., HERAK, D., IVANČIĆ, I., KUK, V., MARIĆ, K., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I., 2011. Karta potresnih područja Republike Hrvatske. Karta i tumač. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odjel.
- HIGHLAND, L.M., BOBROWSKY, P., 2008. *The Landslide Handbook: A Guide to Understanding Landslides*, Reston, Virginia, U.S. Geological Survey 1325
- HUTCHINSON, J. N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and geomorphology. U: *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslide*, Lausanne, str. 3-35.
- MARSHAL, Z.J., 1959. Relations between water and soil. U: *Technical Communication No. 50*. Harpenden, UK: Commonwealth Bureau of Soils, str. 15.
- MIHALIĆ ARBANAS, S., ARBANAS, Ž., BERNAT, S., KRKAČ, M., KALINIĆ, P., MARTINOVIĆ, K., FABRIS, N., SAJKO, J., ANTOLOVIĆ, A., 2013. Upravljanje kriznim situacijama uslijed pokretanja klizišta. U: *Zbornik radova V. konferencije Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa*. Zagreb: Državna uprava za zaštitu i spašavanje, 2013, str. 151-164.
- PLANOVI I PROCJENE, 2014., Procjena ugorženosti stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara okoliša za područje Zagrebačke županije, revizija. Izvještaj, Zagreb: Planovi i Procjene j.o.o.

- PLENIČAR, M., PREMUR, U., HERAK, M., 1967. Osnovna geološka karta, list Novo Mesto mjerila 1:100 000. Ljubljana: Geološki zavod Ljubljana.
- POPESCU, M. E., 1994. A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 50(1), str. 71-74.
- PRELOGOVIĆ, E., 1969. Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. *Geološki vjesnik*, 23, str. 1551-161.
- REICHENBACH, P., CARDINALI, M., DE VITA, P., GUZZETI, F., 1998. Hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (Central Italy). *Environm. Geol.*, 35(2-3), str. 146-159.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1972. Osnovna geološka karta SFRJ , list Zagreb mjerila 1:100 000. Zagreb: Institut za geološka istraživanja.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1979. Osnovna geološka karta, 1:100 000. Tumač za list Zagreb. Beograd: Savezni geološki zavod.
- URBANISTIČKI ZAVOD GRADA ZAGREBA, 2006. Prostorni plan uređenja Grada Samobora, tekstualni dio prostornog plana. Zagreb: Urbanistički zavod Grada Zagreba d.o.o.
- TOMLJENOVIĆ, B., 2000. Kinematske značajke srednjomiocenske ekstenzije u području Samoborskog gorja. U: Zbornik radova 2. Hrvatskog geološkog kongresa Cavtat, Hrvatska, 17-20.05.2000, Zagreb: Institut za geološka istraživanja, 2000. str. 433-440.
- TRNINIĆ, D., 1981. Meteorološki i hidrološki uslovi koji dovode do formiranja pojave velikih voda s posebnim osvrtom na 1979. i 1981. godinu. *Vodoprivreda*, 13(74), str. 449-454.
- VARNES, D.J., 1978. Slope movements: types and processes. U: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(ur.): *Landslide Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report 176, Washington D.C.: National Academy Press, str. 11–33.
- ŽUGAJ, R., 2000. Hidrologija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.