Analiza pokretača klizanja na području općine Lobor

Vlahek, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:169:363874

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



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 NA PODRUČJU OPĆINE LOBOR

Diplomski rad

Ivana Vlahek
GI 243

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet Diplomski rad

ANALIZA POKRETAČA KLIZANJA NA PODRUČJU OPĆINE LOBOR

IVANA VLAHEK

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U razdoblju od 2013. do 2015. godine na području općine Lobor aktivirana su brojna klizišta kao posljedica oborina. U okviru ovog diplomskog rada prikupljeni su podaci o klizištima iz različitih izvora: lokalne samouprave općine Lobor, Državnog ureda za zaštitu i spašavanje, 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, Bednja, Krapina, Zabok, Krapinske Toplice i Zlatar. Na osnovi prikupljenih podataka o točnim datumima aktivacije klizišta, utvrđeno je da su ekstremni vremenski uvjeti nastupili 2013. i 2015. godine. Na osnovi analize podataka o oborinama utvrđeno je sedam oborinskih događaja s vrijednostima intenziteta oborina u rasponu od 0,15 do 0,8 mm/h i vrijednostima trajanja oborina u rasponu od 192 do 504 h. Usporedbom ovih podataka s krivuljama intenzitet-trajanje (tzv. ID krivulje) iz svjetske literature, proizlazi da su u analiziranom razdoblju na području općine Lobor nastala klizišta veličine od 10 do 2.500 m^2, uslijed oborinskih događaja koji su premašili granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2008), a šest događaja su također premašili i granične vrijednosti prema Guzzetti i dr. (2008).

Ključne riječi: općina Lobor, klizišta, pokretači klizanja, oborinski događaji, granične vrijednosti intenzitet trajanje.

Diplomski rad sadrži: 51 stranica, 6 tablica, 35 slika i 39 reference.

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 Gazibara, mag. ing. geol.

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, UNIZG-RGNF
Doc. dr. sc. Martin Krkač, UNIZG-RGNF
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, UNIRI-GF

Datum obrane: 21.12.2016.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

ANALYSIS OF LANDSLIDE TRIGGERING FACTORS AT THE AREA OF LOBOR MUNICIPALITY

IVANA VLAHEK

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Institute of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

In the period from 2013 to 2015 in the municipality of Lobor numerous landslides were activated due to rainfall. Within this thesis data were collected for landslides from various sources: archive of local government, the National Center for Protection and Rescue, technical reports and geotechnical studies, as well as information from the media. Field investigation is also performed in order to check data and to collect descriptive data of the exact location of landslides, size of landslides and surface elements at risk. These data were used to analyze triggers of landslides, which were 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, Bednja, Krapina, Zabok, Krapinske Toplice and Zlatar, 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 2013 and 2015. Based on the analysis of data seven precipitation events were found with the values of the intensity of rainfall ranging from 0,15 to 0,80 mm/h and the duration of precipitation values ranging from 192 to 504 h. By comparing these data with intensity-duration curves (ID thresholds) from scientific literature, it is shown that in the analyzed period in the Lobor municipality landslides (in size from 10 to 2500 m^2) were caused due to precipitation events that exceed the limit values according to Guzzetti et al. (2008), and six events were also exceeded the limit values according to Guzzetti et al. (2008).

Keywords: municipality of Lobor, landslides, triggers of landslides, rainfall events, ID thresholds-

Thesis contains: 51 pages, 6 tables, 35 figures and 39 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 Gazibara, MEng.

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

Date of defense: 21 December 2016

Veliku zahvalnost dugujem mentorici izv.prof.dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada. Srdačno zahvaljujem znanstvenoj novakinji Sanji Bernat Gazibara na susretljivosti, ustupljenim materijalima i pomoći oko izrade rada.

Zahvaljujem djelatnicima općine Lobor što su omogućili pristup podacima iz arhiva općine Lobor, kao i DHMZ-u na ustupljenim podacima o oborinama.

Najveće hvala mojoj obitelji i prijateljima na razumijevanju, strpljenju i podršci tijekom studiranja.

SADRŽAJ

1 Uvod 1

2 Općenito o klizištima 3

3 Prirodne značajke područja istraživanja 10

3.1 Geografske značajke istraživanog područja 10

3.2 Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi 11

3.3 Namjena zemljišta 13

3.4 Značajke stijena i tala 15

3.5 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti 20

3.6 Seizmičnost područja 21

4 Ulazni podaci 23

4.1 Inventar klizišta 23

4.2 Podaci o padalinama 27

5 Analize i rezultati 32

5.1 Analiza prostorne distribucije klizišta 32

5.2 Karte klimatskih anomalija za razdoblja aktiviranja klizišta 35

5.3 Analiza tromjesečnih kumulativnih oborina koje su prethodile evidentiranim događajima klizanja 39

5.4 Analiza mjesečnih oborina 42

5.5 Granične vrijednosti intenzitet-trajanje oborine 44

6 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK 47

7 LITERATURA 49

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Osnovni tipovi klizanja (Mihalić Arbanas, 2007) 4

Slika 2.2 Tipovi klizanja stijenske mase a) rotacijsko, b) translacijsko i c) kompleksno. 5

Slika 2.3 Utjecaj cestovnog usjeka na stabilnost padine..... 7

Slika 2.4 Primjer promjena faktora sigurnosti s vremenom (WP/WLI, 1995) 8

Slika 2.5 Vrste faktora klizanja (WP/WLI, 1995) 9

Slika 3.1 Prostorni položaj općine Lobor 10

Slika 3.2 Prikaz planine Ivanščice na osječanom reljefu (izvor: Google Maps) 11

Slika 3.3 Karta nadmorskih visina općine Lobor izrađena na temelju digitalnog modela terena rezolucije 20 x 20 m. Histogrami prikazuju distribuciju nadmorskih visina i nagiba padina, dok ruža-dijagram prikazuje zastupljenost orijentacija padina..... 12

Slika 3.4 Pokrov zemljišta na području općine Lobor prema razini 1..... 14

Slika 3.5 Pokrov zemljišta na području općine Lobor prema razini 2..... 14

Slika 3.6 Prikaz udjela pojedinih stratigrafskih jedinica na istraživanom području poredan abecednim redom..... 16

Slika 3.7 Geološka karta općine Lobor s prikazom glavnih stratigrafskih jedinica prema Osnovnoj geološkoj karti, list Rogatec (Aničić i Juriša, 1983) i list Varaždin (Šimunić i dr., 1982)..... 17

Slika 3.8 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla: a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 475 god, b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god (Herak i dr., 2011)..... 21

Slika 4.1 Prikaz evidentiranih klizišta na području općine Lobor. 24

Slika 4.2 Grafički prikaz broja klizišta s obzirom na površinu klizišta. 24

Slika 4.3 Prikaz broja aktiviranih klizišta u 2013., 2014. i 2015. godini..... 25

Slika 4.5 Analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih količina oborina na mjernim postajama Krapinske Toplice, Krapina, Bednja, Zlatar i Zabok..... 30

Slika 4.6 Prikaz godišnjih oborina za 2012., 2013., 2014. i 2015. godinu za postaje Bednja, Krapinske Toplice, Krapina, Zabok i Zlatar. Crvena linija predstavlja srednju godišnju količinu oborine od 906,8 mm za kišomjernu postaju Zlatar. 31

Slika 5.1 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na pojednostavljenoj geološkoj karti izvedenoj iz OGK lista Rogatec (Aničić i Juriša, 1983) i lista Varaždin (Šimunić i dr., 1982) mjerila 1:100.000. Klizišta su prikazana crvenim točkama. 32

Slika 5.2 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na karti nagiba terena rezolucije 20x20 m. Klizišta su prikazana crvenim točkama. 33

Slika 5.3 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na karti pokrova zemljišta, s podjelom na klase namjene prema Corine klasifikaciji Agencije za zaštitu okoliša (2008). 34

Slika 5.4 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na karti vodotoka i prometnica. Klizišta su prikazana crvenim točkama. 35

Slika 5.5 Odstupanje količine oborine u 2013. godini (DHMZ, 2014). 37

Slika 5.6 Količine oborine u proljeće 2013. izražena u % višegodišnjeg (1961-1990.) odgovarajućeg mjesečnog srednjaka. 37

Slika 5.7 Količine oborine listopad 2014. izražena u % višegodišnjeg (1961-1990.) odgovarajućeg mjesečnog srednjaka. 38

Slika 5.8 Količine oborine u proljeće 2015. izražena u % višegodišnjeg (1961-1990.) odgovarajućeg mjesečnog srednjaka. 39

Slika 5.9 Usporedba tromjesečnih kumulativnih oborina s pet meteoroloških postaja za razdoblje od 15.12.2012. do 15.3.2013. Crvenom točkom je označen datum pokretanja klizišta na području općine Lobor. 40

Slika 5.10 Usporedba tromjesečnih kumulativnih oborina s pet meteoroloških postaja za razdoblje od 20.1.2013. do 20.4.2013. Crvenoim točkama su označeni datumi pokretanja klizišta na području općine Lobor. 40

Slika 5.11 Tromjesečna kumulativna oborina s kišomjerne postaje Zlatar za razdoblje od 1. kolovoza do 31. listopada 2014. godine. Crvenom točkom označen je datum pokretanja klizišta. 41

Slika 5.12 Tromjesečna kumulativna oborina s kišomjerne postaje Zlatar za razdoblje od 10. prosinca do 10. ožujka 2015. godine. Crvenom točkom označen je datum pokretanja klizišta. 41

Slika 5.13 Podaci o oborinama na meteorološkoj postaji Zlatar: svijetlo zeleni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od siječnja do ožujka za 2013. godinu, a tamnije zeleni stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 2006.-2015. godine. 42

Slika 5.14 Podaci o oborinama na meteorološkoj postaji Zlatar: svijetlo zeleni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od rujna 2014. godine do prosinca 2014. godine, a tamnije zeleni stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 2006.-2015. 43

Slika 5.15 Podaci o oborinama na meteorološkoj postaji Zlatar: svijetlo zeleni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od veljače do svibnja za 2015. godinu, a tamnije zeleni stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 2006.-2015. godine. 44

Slika 5.16 Usporedba vrijednosti intenzitet-trajanje (ID) za događaje oborine koji su uzrokovali klizišta na području općine Lobor s ID graničnim vrijednostima prema Clarizia i dr. (1996), Crosta i Fratini (2001), Guzzetti i dr. (2007), te prema Guzzeti i dr. (2008). . 46

POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Definicije stanja aktivnosti (Cruden i Varnes, 1996). 6

Tablica 2.2 Dimenzije klizišta (Cruden i Varnes, 1996). 6

Tablica 4.1 Popis klizišta za koja su poznati točni datumi pokretanja klizišta. 26

Tablica 4.2 Popis meteoroloških postaja na širem istraživanom podrčju. 28

Tablica 5.1 Termini za oborinske prilike iskazani u percentilima 36

Tablica 5.2 Popis korištenih ID graničnih vrijednosti oborina (Guzzetti i dr., 2007, 2008). 45

1 Uvod

Prema Crudenu (1991) " Klizanje je gibanja mase stijena, debrisa ili tla niz kosinu, što podrazumijeva sve tipove gravitacijskih gibanja masa tla i masa stijena, od odronjavanja i prevrtanja stijena, rotacijskih i translacijskih klizanja te tečenja različitih materijala". Pod pojmom 'klizišta' u ovom diplomskom radu podrazumijevaju se sva rotacijska i translacijska klizišta u tlu i/ ili stijeni. Pojava klizanja odnosno klizišta na nekom području posljedica su geološke građe terena, geomorfoloških obilježja područja, hidrogeoloških uvjeta, meteoroloških uvjeta te i vrlo često antropogenog utjecaja. Tipovi klizišta i njihove značajke, kao i prostorna distribucija klizišta, ovisi o uzrocima klizanja (Krkač i dr., 2010). Za određivanje stupnja osjetljivosti na klizanje nekog područja potrebno je poznavati preduvjete klizanja, odnosno skupinu uvjeta i procesa koji su doveli padinu u stanje granične ravnoteže. Preduvjeti klizanja su: uvjeti na padini (vrste stijena/tala koje izgrađuju padinu i njihova fizička, mehanička i hidraulička svojstva); geomorfološki procesi (npr. erozija obala); fizički procesi (npr. trošenje stijena/tala); i antropogeni utjecaj (npr. pretvaranje šuma u oranice i okućnice). U slučaju kada nisu katastrofalna, klizanja predstavljaju ozbiljan problem gotovo u svim dijelovima svijeta, jer uzrokuju ekonomske ili socijalne gubitke, izravne ili neizravne štete, na privatnim i/ili javnim dobrima.

Niz ekstremnih hidroloških događaja u posljednjih nekoliko godina, prilikom kojih su na relativno malom području i u kratkom vremenu aktivirana mnogobrojna klizišta (Bernat Gazibara i dr., 2016) bio je razlog za detaljnije istraživanje klizišta na području općine Lobor. Općina Lobor (površine 44 km^2) nalazi se u Krapinsko-zagorskoj županiji, u sjeverozapadnom dijelu Hrvatskoga zagorja i svega pedesetak kilometara udaljena od Zagreba i Varaždina. Za brdovita područja sjeverozapadne Hrvatske karakteristična su mala površinska do umjereno plitka klizišta, kakva su nastala i na području općine Lobor. Klizišta inicirana oborinama uzrokovala su velike štete na stambenim i gospodarskim objektima te prometnicama općine Lobor.

Cilj ovog diplomskog rada bio je prikupljanje podataka i izrada inventara klizišta koja su aktivirana ili reaktivirana na području općine Lobor u razdoblju od 2013. do 2016. godine, te analiza oborina iz istog razdoblja u svrhu identifikacije događaja koji su pokrenuli klizanja, tzv. pokretači klizanja. Podaci o klizištima prikupljeni su iz različitih izvora, a neovisno o izvoru, sva klizišta su prethodno prijavljena od strane stanovnika općine Lobor, bilo lokalnoj samoupravi ili centru 112 koji djeluje kao jedinstveni komunikacijski centar

za sve vrste hitnih situacija u Republici Hrvatskoj. Podaci o prijavljenim klizištima su dodatno provjereni na terenu radi prikupljanja dodatnih opisnih podataka o klizištima, a koji se odnose na tip klizišta, lokaciju, datum aktivacije i veličinu klizišta. U okviru ovog diplomskog rada analizirani su podaci o oborinama s meteoroloških postaja koje su relevantne za cijelo područje općine, kako bi se utvrdili uvjeti u kojima su pokrenuta prijavljena klizišta.

2 Općenito o klizištima

Padine su najčešći morfološki oblici na Zemlji i iako se na prvi pogled čini da je većina padina stabilna, one su u stvari dinamički sustavi koji se mijenjaju u vremenu. Profili prirodno erodiranih padina primarno zavise o klimatskim uvjetima i tipu stijene koja izgrađuje padinu, a moguće je razlikovati pojedine elemente ili segmente padina (Nakić, 2010). U aridnim područjima ili u stijenama koje su otporne na trošenje i eroziju (npr. kompaktni vapnenci), moguće je razlikovati četiri elementa na padini: konveksna padina (eng. convex slope); slobodna površina ili greben (eng. free-face, cliff); padina debrisa (eng. debris slope); i konkavna padina (eng. concave slope).

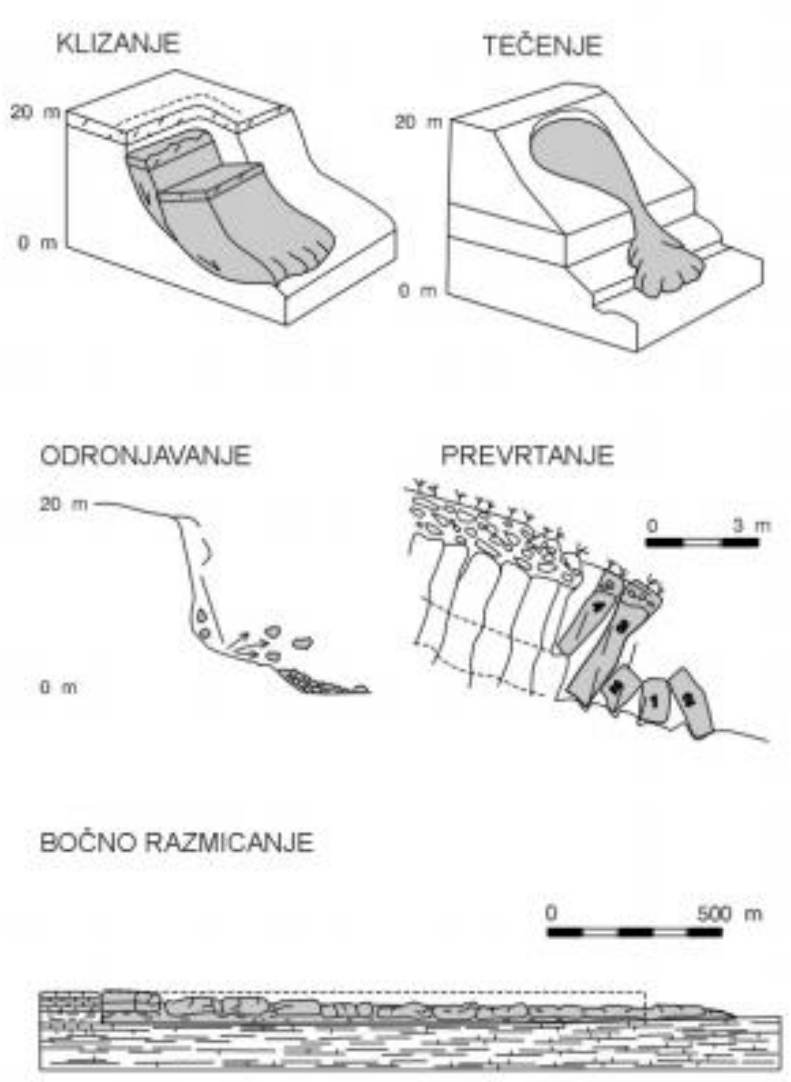
Elementi padine nastali su djelovanjem različitih procesa, a sve padine sadrže barem jedan od navedenih elemenata. Konveksna padina nastaje polaganim kretanjem tla ili stijene niz padinu, poznatijim kao puzanje. Slobodna površina ili greben obično nastaje uslijed odrona stijenske mase. Padina debrisa nastaje postupnom akumulacijom materijala u podnožju padine, a kut nagiba padine debrisa iznosi maksimalno oko 30-35˚, što predstavlja najstrmiji kut stabilnosti rahlog stijenskog materijala. Konkavna padina nastaje djelovanjem vode, koja transportira stijenski materijal niz padinu i postupno izdubljuje matičnu stijenu. U subhumidnim područjima ili u relativno mekanim stijenama (primjerice gline) nalaze se samo dva od četiri elementa padine: konveksna i konkavna padina. Profili padina su znatno zaobljeniji nego u aridnim područjima ili u čvrstim stijenama, zbog debeloga pokrova tla i razdrobljene stijene koja ima malu otpornost na trošenje.

Kretanje mase može biti polagano i jedva zamjetno u vremenu, ali može biti i vrlo brzo i razarajuće. Aktiviranje klizišta pritom uzrokuje velike materijalne štete, a izravno ili neizravno ugrožava i lokalno stanovništvo. Indirektne štete se iskazuju i kroz duže vremensko razdoblje: smanjenjem vrijednosti stambenih prostora na ugroženim područjima, smanjenim učinkom zbog oštećenja na dobrima ili prekida prometa, gubitkom produktivnosti prouzročenim smrću ljudi, ozljedama ili psihološkim traumama i, konačno, troškovima sanacije šteta.

Najčešći aktivni geomorfološki proces na površini zemlje je klizanje tla i/ili stijene kojim nastaju oblici, odnosno pojave koje nazivamo klizišta. Kao što je prethodno spomenuto pojava klizanja odnosno klizišta na nekom području posljedica su geološke građe terena (litološki sastav, slojevitost, stupanj litifikacije, prisutnost pukotina), geomorfoloških

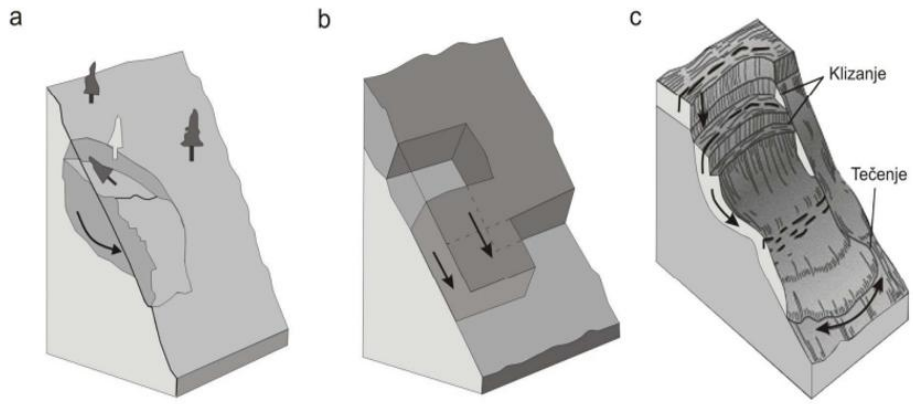
obilježja područja (nagib padine, dužina površine klizanja), hidrogeoloških uvjeta (razina i režim podzemnih voda), meteoroloških uvjeta (količina padalina, topljenje snijega), vegetacijskih uvjeta, antropogenih utjecaja (zasijecanje nožice padine pri građevinskim radovima, natapanje zemljišta otpadnim vodama, nasipavanje materijala na padinama, sječa šuma), ali i vrlo često drugih utjecaja (potresi, vibracije, utjecaj promjene nivoa akumulacije).

Klizišta su vrlo raznovrsne pojave po obliku i veličini pokrenute mase, načinu, brzini gibanja i drugim značajkama. Razlikuju se pet osnovnih tipova kretanja mase stijene ili tla niz padinu, a to su tečenje, klizanje, odronjavanje, prevrtanje i bočno razmicanje (slika 2.1).



Slika 2.1 Osnovni tipovi klizanja (Mihalić Arbanas, 2007)

Klizanje je kretanje koherentne mase tla i/ili stijene duž jedne ili više dobro definiranih kliznih ploha niz padinu (Cruden, 1991). Klizna ploha je ploha po kojoj dolazi do klizanja niz padinu, a s obzirom na oblik klizne plohe razlikuje se nekoliko tipova klizišta, a to su rotacijska, translacijska i kompleksna (slika 2.2). Kod rotacijskoga klizišta, masa stijene ili tla kreće se po zakrivljenoj plohi, kod koje se gornji dio kreće prema dolje, a donji dio prema van, tj. prema površini. Kod translacijskoga klizišta, masa stijene ili tla kreće se po plohi koja je približno paralelna površini. Klizišta su najčešće složena kombinacija klizanja i tečenja. Kompleksno klizanje može nastati u slučaju kada stijenska masa zasićena vodom, koja se nalazi u donjem dijelu padine, započinje proces tečenja niz padinu, što uzrokuje pojavu niza rotacijskih klizišta u gornjem dijelu padine.



Slika 2.2 Tipovi klizanja stijenske mase a) rotacijsko, b) translacijsko i c) kompleksno

Aktivnost klizišta obuhvaća: (1) stanje aktivnosti koje opisuje vrijeme gibanja; (2) distribuciju aktivnosti koja opisuje smjer gibanja klizišta; (3) stil aktivnosti koji ukazuje na tip ili kombinaciju tipova gibanja prema njihovom mehanizmu. Stanje aktivnosti opisano je terminologijom danom u tablici 2.1.

Kod određivanja dimenzija klizišta mjeri se ukupna duljina klizišta, dimenzije pokrenute mase i dimenzije plohe sloma. Definicije navedenih dimenzija klizišta dane su u tablici 2.2. Na osnovi poznatog oblika klizišta i njegovih dimenzija na površini moguće je procijeniti dubinu i volumen klizišta, što se koristi prilikom projektiranja mjera sanacije. Na primjer, ploha sloma kod rotacijskih tipova klizišta najčešće se aproksimira pravilnim geometrijskim tijelom koje odgovara polovici elipsoida, pri čemu su njegove osi definirane dubinom plohe sloma (Dr), polovica širine plohe sloma (Wr/2), i polovica duljine plohe sloma (Lr/2) (Cruden i Varnes, 1996). Standardnu nomenklaturu za opis svega navedenoga razradila je, tijekom devedesetih godina, Komisija za klizišta Međunarodnog društva za

inženjersku geologiju, na temelju čega je objavljen višejezični rječnik za klizišta (WP/WLI i Canadian Geotechnical Society, 1993).

Tablica 2.1 Definicije stanja aktivnosti (Cruden i Varnes, 1996).

STANJE AKTIVNOSTI	**DEFINICIJA**
aktivno	klizište u pokretu
trenutačno neaktivno	klizište koje se pokretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutačno ne pokreće
reaktivirano	aktivno klizište koje je prije bilo neaktivno
neaktivno	klizište koje se nije pokretalo posljednjih 12 mjeseci, neaktivna klizišta se dijele na: privremeno umirena, trajno umirena, stabilizirana i reliktna
privremeno umireno	neaktivno klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka
trajno umireno	neaktivno klizište koje više nije pod utjecajem uzroka klizanja
stabilizirano	neaktivno klizište stabilizirano mjerama sanacije
reliktno	neaktivno klizište koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju

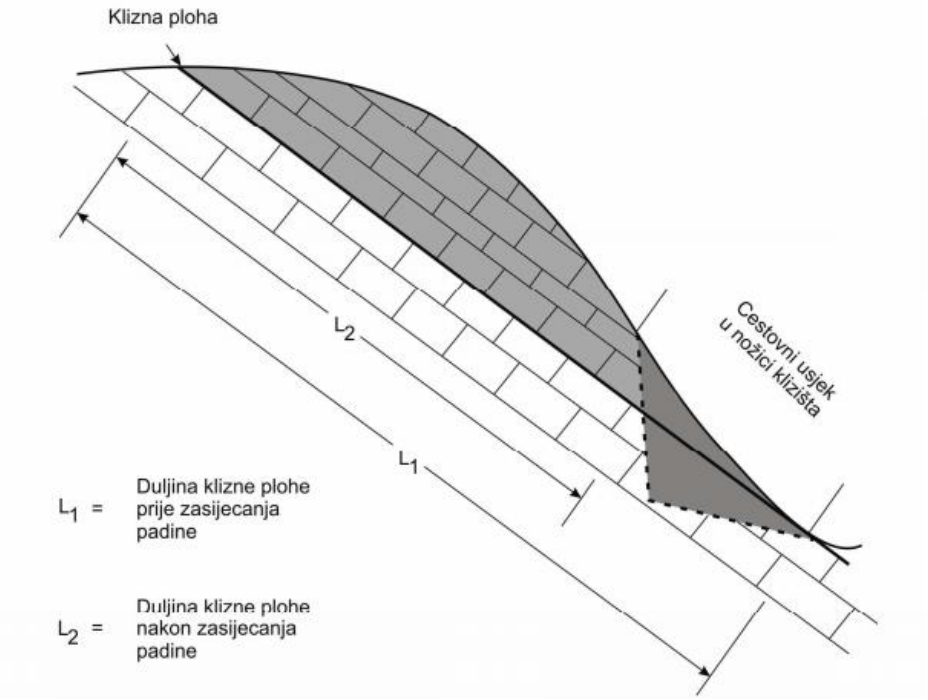
Tablica 2.2 Dimenzije klizišta (Cruden i Varnes, 1996).

DIMENZIJE KLIZIŠTA	**DEFINICIJA**
širina pokrenute mase, Wd	maksimalna širina pokrenute mase okomito na duljinu Ld
širina plohe sloma, Wr	maksimalna udaljenost između bokova klizišta, okomito na duljinu Lr
ukupna duljina, L	maksimalna udaljenost od krune do dna klizišta
duljina pokrenute mase, Ld	maksimalna udaljenost od vrha do dna klizišta
duljina plohe sloma, Lr	minimalna udaljenost od krune klizišta do završetka plohe sloma
dubina pokrenute mase, Dd	maksimalna dubina pokrenute, mjerena okomito na ravninu koju definiraju Wd i Ld
dubina plohe sloma, Dr	maksimalna dubina plohe sloma mjerena od originalne površine okomito na ravninu koju definiraju Wr i Lr

Opća definicija faktora sigurnosti kosine (F) proizlazi iz odnosa posmične čvrstoće materijala (τf) i posmičnih naprezanja (τ) po pretpostavljenoj ili utvrđenoj plohi sloma prema jednadžbi:

$$F = \tau f / \tau. \qquad \text{(jednadžba 2.1.)}$$

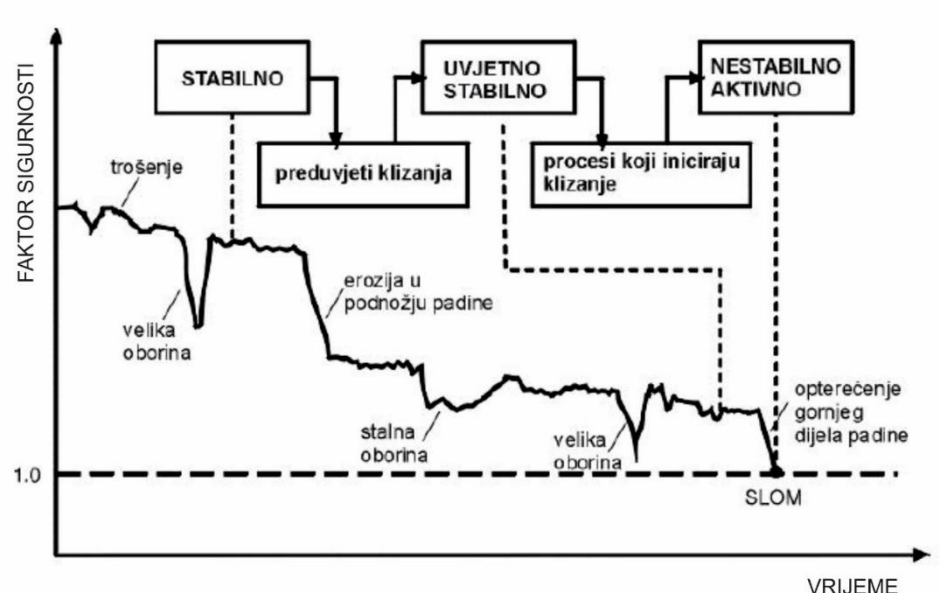
Ako je faktor sigurnosti veći od 1, tada posmična čvrstoća materijala premašuju posmična naprezanja i padina je stabilna. U praksi se padina smatra stabilnom, ako je faktor sigurnosti veći od 1,25. U građevinarstvu se često preporučuje faktor sigurnosti od čak 10; u obzir se uzimaju dodatni utjecaji koji mogu nepovoljno utjecati na stabilnost padine, a to su različite vrste upotrijebljenoga građevinskog materijala i utjecaj građevinskih radova (Nakić, 2010). Zasijecanjem podnožja padine, zbog provođenja trase ceste (slika 2.3), odstranjuje se određena količina materijala na padini i time se djelomično umanjuje sila smicanja. Istovremeno se smanjuju i sile otpora na padini, jer se zasijecanjem padine reducira duljina klizne plohe, a time se značajno umanjuje posmična čvrstoća, koja djeluje duž klizne plohe.



Slika 2.3 Utjecaj cestovnog usjeka na stabilnost padine

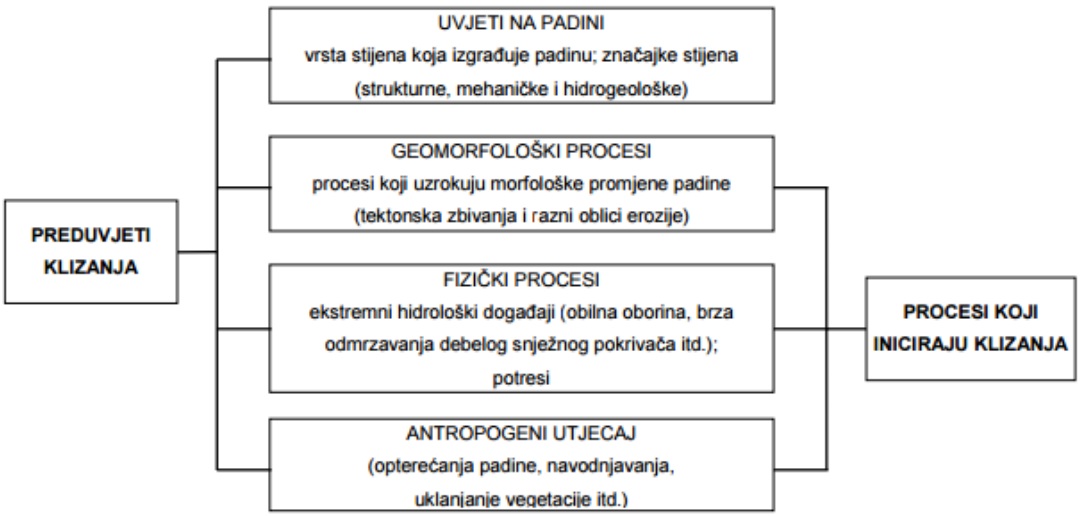
U skladu s ovom definicijom, Terzaghi (1950) je podijelio uzroke klizanja u dvije grupe: (1) vanjski uzroci uslijed kojih se povećavaju posmična naprezanja (npr. geometrijske promjene padine, rasterećenje nožičnog dijela klizišta, opterećenje vrha klizišta, šokovi i vibracije, promjene razine podzemne vode); (2) unutarnji uzroci zbog kojih se smanjuje

posmična čvrstoća (npr. progresivni slom, trošenje, erozija procjeđivanja). Međutim, neki od ovih uzroka mogu istovremeno utjecati i na posmična naprezanja i na posmičnu čvrstoću. Posmična naprezanja i posmična čvrstoća materijala nisu statične, kako se mijenjaju lokalni uvjeti, mijenja se i odnos ovih sila, što znači da se faktor sigurnosti povećava ili smanjuje. Na slici 2.4. prikazan je primjer promjena faktora sigurnosti određene padine u funkciji vremena, a kao posljedica sezonskih promjena oborina i evaporacije (WP/WLI, 1995).



Slika 2.4 Primjer promjena faktora sigurnosti s vremenom (WP/WLI, 1995)

Pomoću faktora sigurnosti razlikuju se samo stabilne padine od nestabilnih. Međutim, korisnije je promatrati padine kao stabilne, granično stabilne i aktivno nestabilne. Stabilne padine su one kod kojih je granica stabilnosti dovoljno visoka da se mogu oduprijeti silama koje ih destabiliziraju. Granično stabilne padine će doživjeti slom u trenutku kada destabilizirajuće sile dosegnu određenu razinu aktivnosti. Aktivno nestabilne padine su one kod kojih destabilizirajuće sile uzrokuju kontinuirano ili povremeno pokretanje. S obzirom na tri stupnja stabilnosti padina, uzročnici klizanja klasificiraju se mogu klasificirati u dvije skupine kao preduvjeti klizanja i pokretači klizanja (slika 2.5). Preduvjeti klizanja čine padinu podložnom klizanju, ali ga ne iniciraju, već samo dovode padinu u stanje granične ravnoteže, dok su pokretači klizanja procesi koji pokreću gibanje, jer padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje.



Slika 2.5 Vrste faktora klizanja (WP/WLI, 1995)

Stabilizacija postojećeg klizanja ili prevencija potencijalnog klizanja provodi se reduciranjem posmičnih naprezanja, odnosno sila koje ga pokreću ili povećanjem sila otpora, odnosno posmične čvrstoće materijala. Sve mjere sanacije moraju uključivati barem jednu od ovih komponenti, a ponekad i obje. Mjere sanacije klizišta je moguće razvrstati u četiri skupine (Popescu, 2001), a to su modifikacija geometrije padine, drenaža, potporne građevine i unutarnje ojačanje padine. Pri sanaciji klizišta dreniranje se smatra glavnom metodom, a vrlo često se koristi i modifikacija geometrije padine. Njihova široka primjena uobičajena je zbog toga što su to jeftinije metode u usporedbi s metodama iz preostale dvije skupine.

3 Prirodne značajke područja istraživanja

3.1 Geografske značajke istraživanog područja

Istraživano područje je ograničeno administrativnom granicom općine Lobor u Krapinsko-zagorskoj županiji. Općina Lobor prostire se na 44,2 km², što čini 3,6% ukupne površine županije. Predmetna općina smještena je podno planine Ivanščice čiji je vrh na 1060 metara nadmorske visine ujedno i najviša točka Hrvatskog zagorja. Na sjeveru općina Lobor graniči s Varaždinskom županijom, na sjeverozapadu s općinom Novi Golubovec i Mihovljan, na jugu s općinom Mače, a na zapadu s gradom Zlatarom (slika 3.1). Prometno geografski položaj je povoljan jer je općina povezana dobrim cestovnim pravcima prema jugu sa Zagrebom, prema sjeveru s Varaždinom, a prema sjeverozapadu s graničnim prijelazom Macelj.

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine, na prostoru općine Lobor živjelo je 3.188 stanovnika (DZS, 2013) u 10 naselja, i to: Cebovec, Lobor, Markušbrijeg, Petrova Gora, Stari Golubovec, Šipki, Velika Petrovagorska, Vinipotok, Vojnovec Loborski i Završje Loborsko. Analizom demografskih pokazatelja evidentan je konstantni pad broja stanovnika te predstavlja zabrinjavajući resursni faktor za razvoj razmatranog područja. Prosječna gustoća naseljenosti u općini Lobor iznosila je 83 st/km^2 za 2001. godinu, što je ispod županijskog prosjeka koji iznosi 121 st/km^2. Većina naselja u općini Lobor smještena je na brežuljcima visine do 300 m n.m.



Slika 3.1 Prostorni položaj općine Lobor

3.2 Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi

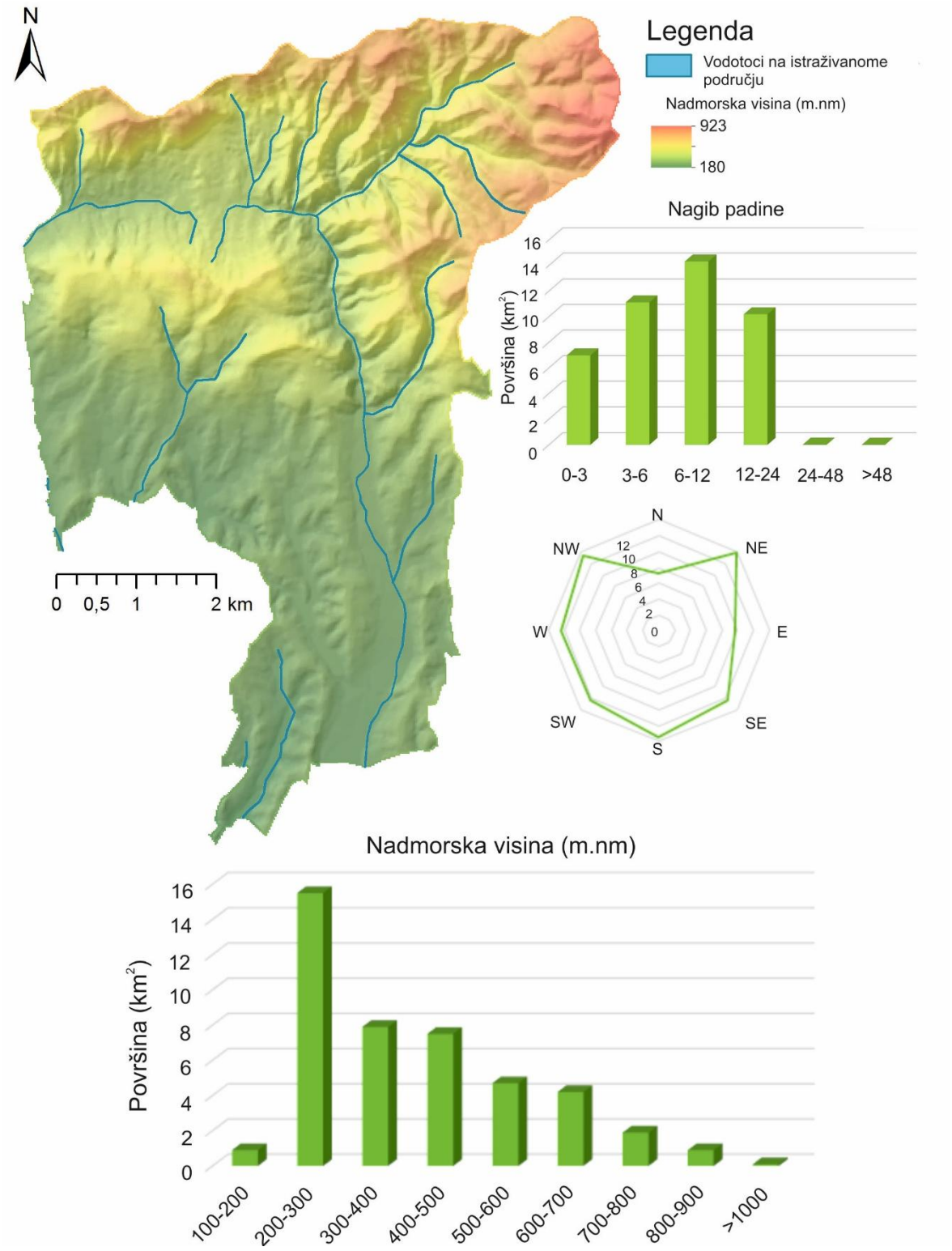
Područje općine Lobor obuhvaća brežuljkasti teren južnih obronaka Ivaščice i mnogobrojne doline kojima protječu potoci. Planina Ivanščica pružanja je istok-zapad te je dugačka oko 30 km i široka do 9 km (slika 3.2).



Slika 3.2 Prikaz planine Ivanščice na osječanom reljefu (izvor: Google Maps)

Nadmorska visina brežuljaka varira od 250 do 923 metara nad morem, a niže nadmorske visine su duž vodotoka potoka Rieke. Na slici 3.3 prikazana je karta nadmorskih visina za područje općine Lobor koja je izrađena na temelju digitalnog modela terena rezolucije 20 x 20 m. Histogrami prikazuju distribuciju nadmorskih visina terena i nagiba padina, dok ruža-dijagram prikazuje distribuciju orijentacija padina. Više od 90% istraživanog područja se nalazi na visini od 200 do 900 m.nm., pri čemu je 36,40% područja visine od 200 do 300 m.n.m. Prema geomorfološkoj klasifikaciji nagiba (Demek,1972) na istraživanom području dominiraju nagnuti tereni nagiba 6˚-12˚ (33,65%). Klase nagiba 3˚-6˚ čini 26,09%, klasa 12˚-24˚ čini 23,91%, dok je 16,35% područja općine nagiba manjeg od 3˚.

Klizišta registrirana na području općine Lobor su površinom mala klizišta i uglavnom su posljedica nagiba terena, nepovoljne geološke građe te neadekvatne odvodnje oborinskih voda. Općina Lobor nema izgrađen sustav odvodnje otpadnih ni oborinskih voda pa odvodnja otpadnih voda predstavlja ključni infrastrukturni problem razvoja općine. Otpadne vode iz domaćinstva prikupljaju se putem individualnih septičkih jama dok se oborinske vode odvode otvorenim jarcima u lokalne vodovode i kanale uz prometnice, bez ikakvog pročišćavanja.



Slika 3.3 Karta nadmorskih visina općine Lobor izrađena na temelju digitalnog modela terena rezolucije 20 x 20 m. Histogrami prikazuju distribuciju nadmorskih visina i nagiba padina, dok ruža-dijagram prikazuje zastupljenost orijentacija padina.

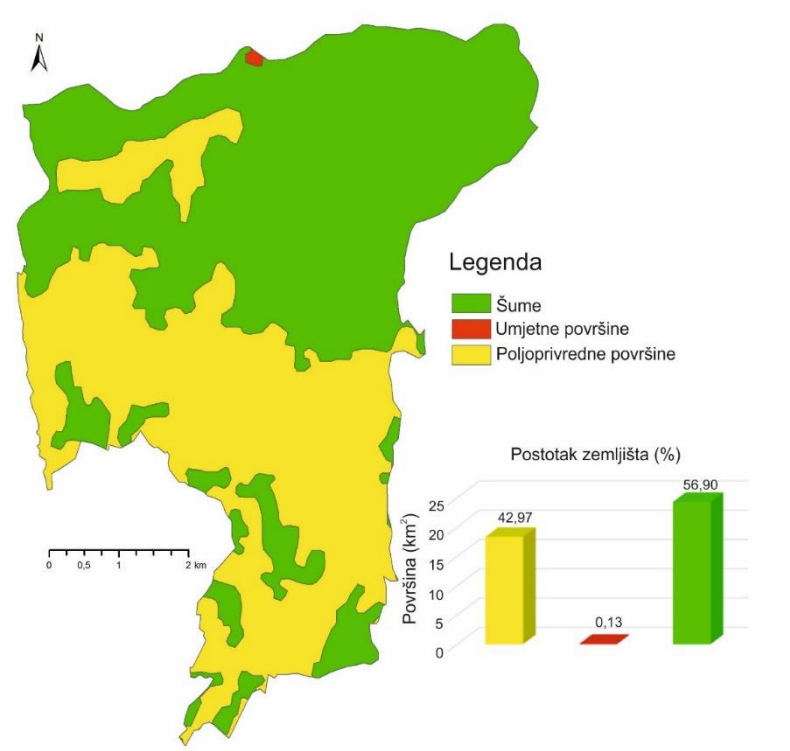
3.3 Namjena zemljišta

Poljoprivredna djelatnost na području Općine Lobor uvjetovana je konfiguracijom terena, kvalitetom tla i tradicionalnim načinom življenja na manjim posjedima. Osnovno obilježje poljoprivrednih gospodarstava je usitnjenost posjeda i njihova rascjepkanost. Poljoprivredna proizvodnja je ekstenzivna i nespecijalizirana. Poljoprivredom se većina gospodarstava bavi za vlastite potrebe. Pretežno laporovita podloga i meki vapnenci uvjetovali su ograničen razvitak plodnijeg jače podzoliranog tla pogodnog za oranične kulture, stvarajući na strmim padinama i valovitim prostrancima brežuljaka pjeskovita ilovasta tla pogodna za vinograde i voćnjake. U najnižim predjelima prevladavaju aluvijalna tla na kojima su livade i sjenokoše (KZZ glasnik, 2008).

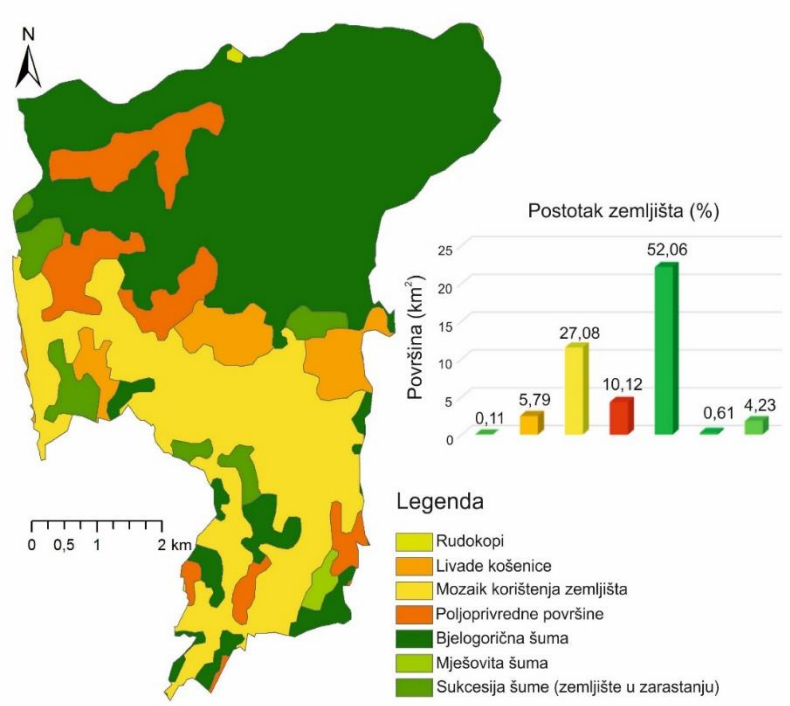
Prema Popisu poljoprivrede 2003. godine, od ukupne površine općine (44,2 km^2) na raspoložive površine poljoprivrednog zemljišta otpada 12,46 km², odnosno 28,19%. U svrhu poljoprivredne proizvodnje koristi se 7,73 km², što je 62,04% od ukupno raspoložive površine poljoprivrednog zemljišta, odnosno 17,49% od ukupne površine općine.

Pokrov zemljišta prema razini 1 na području općine Lobor je prikazan je na slici 3.4. Najmanju površinu, od 0,13% prekrivaju umjetne površine na sjevernom dijelu općine, zatim slijede poljoprivredne površine sa 42,97%. Prevladavaju šume, koje prekrivaju 56,90% ukupne površine. Izračunati udjeli su prema podacima Agencije za zaštitu okoliša (2008).

Detaljnija podjela pokrova zemljišta, prema razini 2. na području općine Lobor prikazana je na slici 3.5. Najmanju površinu, od 0,10% prekrivaju rudokopi na sjevernom dijelu, zatim slijedi mješovita šuma sa 0,61%. Livade košenice i intenzivni pašnjaci prekrivaju 5,78% površine, dok poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije prekrivaju 10,11% površine. Prevladavaju bjelogorične šume, koje prekrivaju 52,06% ukupne površine, zatim slijedi mozaik različitih načina korištenja poljoprivrednog zemljišta sa 27,07% te sukcesija šume, odnosno zemljišta u zarastanju koje prekrivaju 4,23% površine. Izračunati udjeli su prema podacima Agencije za zaštitu okoliša (2008).



Slika 3.4 Pokrov zemljišta na području općine Lobor prema razini 1.

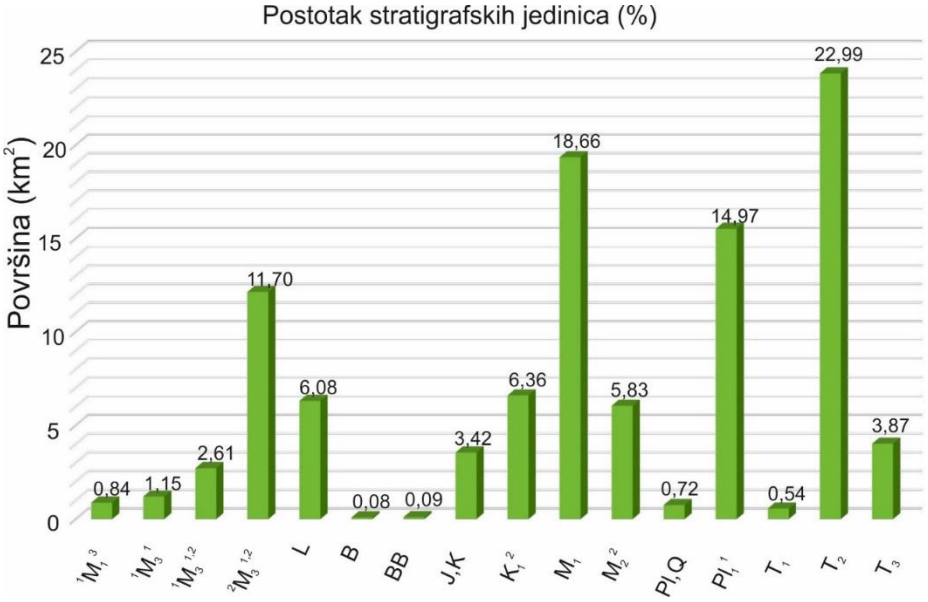


Slika 3.5 Pokrov zemljišta na području općine Lobor prema razini 2.

3.4 Značajke stijena i tala

Tlo Hrvatskog zagorja izgrađuju stijene koje su prema geološkom mjerenju vremena nastajale od paleozoika do kvartara (približno tijekom 440 milijuna godina). Njihov litološki sastav ukazuje da su najvećim dijelom bile taložene u morima ili oceanima, manjim dijelom u slanim i slatkovodnim jezerima, a najmanje ih je nastalo na kopnu. U morima i jezerima istaložene su velike količine klastičnog materijala, čijom su dijagenezom nastale raznovrsne sedimentne stijene. U pojedinim razdobljima bila je pojačana vulkanska aktivnost, te su se eruptivne stijene probijale kroz sedimentne ili su se razlijevale po morskom dnu. Najstarije stijene spuštane su na velike dubine, gdje su zbog povećanja tlaka i temperature bile zahvaćene regionalnom metamorfozom. Kasnije su uslijed tektonskih pokreta ponovno izbacivane na površinu. Kopnene faze bile su rijetke i u geološkim mjerilima kratkotrajne, tako da najduže traje upravo ova današnja faza koja obuhvaća pliocen i kvartar. Tijekom njezinog trajanja (približno oko 5 milijuna godina) iz Hrvatskog zagorja se je povuklo Panonsko more, a izdignute su sve gore i stvoren čitav hidrografski sustav. Zajedničkim djelovanjem denudacije i riječne erozije tijekom poslijednjih 150 000 godina (tijekom gornjeg pleistocena i holocena) nastao je današnji krajolik Hrvatskog zagorja (An.Šimunić, 2006).

Najstarije geološke jedinice prisutne na području općine jesu donjotrijaske (T_1), te srednjetrijaske naslage (T_2) s najvećim postotkom od 22,99 % ukupne istraživane površine. Druga najzastupljenija geološka jedinica na području općine Lobor su ugljenonosne naslage koje prekrivaju 18,66 % područja te sedimenti donjeg ponta koji zauzimaju 14,97 % istraživanog područja (slika 3.6). Manje su zastupljeni sedimenti gornjeg panona ($_2M_3^{1,2}$) odnosno „Banatica“ naslage sa 11,70 %, dok se površine ostalih prisutnih jedinica kreću oko 5 % od ukupne površine. Uz gorja se nalaze naslage eruptivnog porijekla, točnije bazalti (β) koji zauzimaju i najmanji postotak (0,08 %) od ukupne površine područja. U nastavku su dani kratki opisi stratigrafskih jedinica.



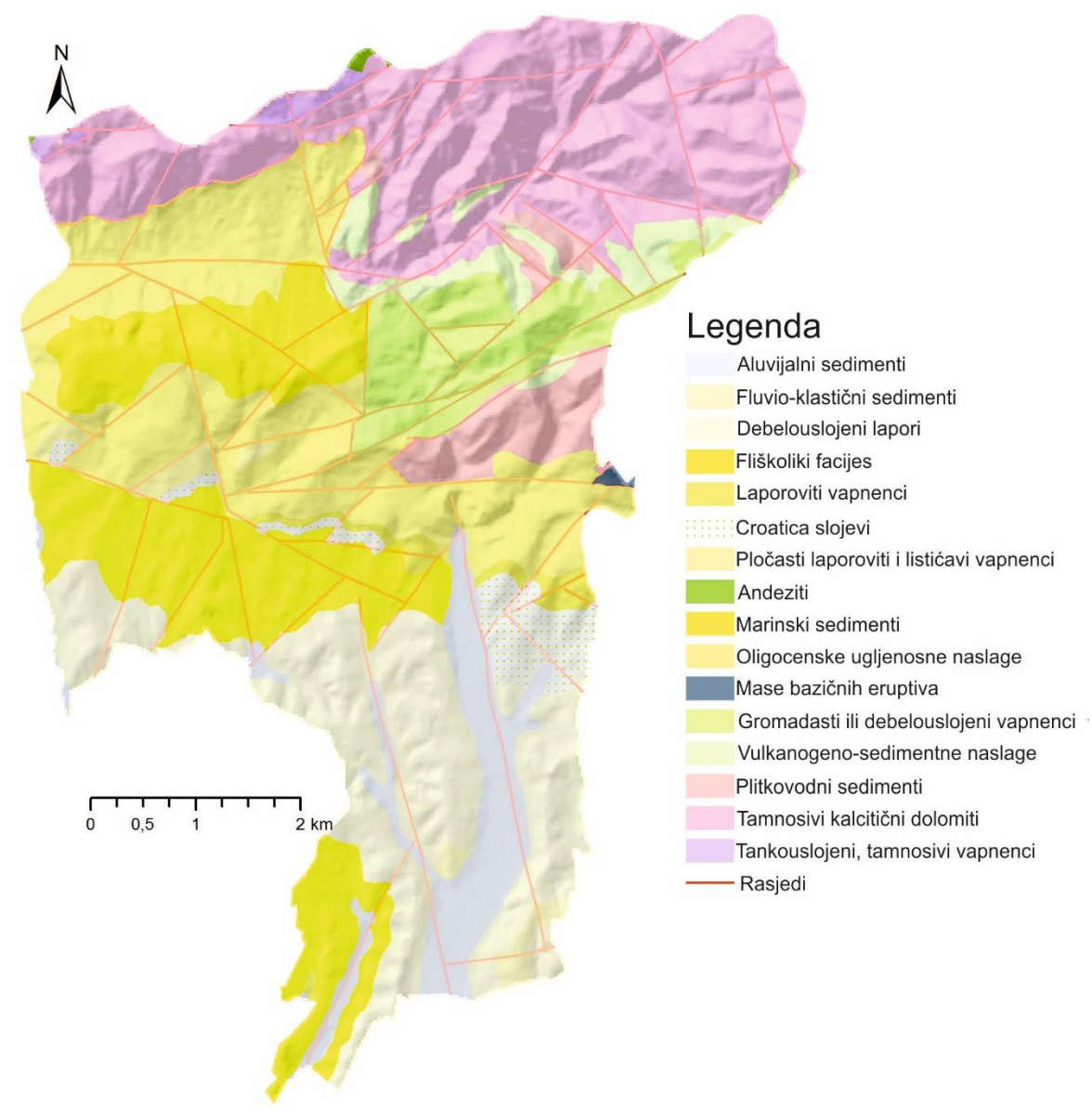
Slika 3.6 Prikaz udjela pojedinih stratigrafskih jedinica na istraživanom području poredan abecednim redom.

Geološka građa područja općine Lobor najdetaljnije je istražena i prikazana Osnovnom geološkom kartom, listom Rogatec (Aničić i Juriša, 1983) i listom Varaždin (Šimunić i dr., 1982), koji su izrađeni u mjerilu 1:100 000. Na slici 3.7 prikazana je geološka građa općine Lobor s prikazom glavnih stratigrafskih jedinica.

Masiv Ivanščice izgrađen je od škriljavih, metamorfoziranih grauvaka i tinjčastih siltita. Karbonatne stijene su okršene, odnosno dobro vodopropusne, dok su ostale uglavnom vodonepropusne. Tijekom donjeg trijasa (T_1) nastavljena je sedimentacija u plitkovodnom i stabilnom marinskom prostoru. Sredina sedimentacije bila je u početku turbulentna, a sitnozrnatost sedimenata ukazuje da u blizini nije bilo izdignuto kopno. U donjem dijelu taloženi su pretežito crvenosmeđi tinjčasti pješčenjaci, siltiti i šejlovi, a rjeđe oolitični vapnenci i lapori. U gornjem dijelu prevladavaju tankouslojeni, tamnosivi vapnenci u koje su ponekad uloženi proslojci šejlova i dolomita.

Kontinuirana sedimentacija nastavljena je i u srednjem trijasu (T_2), čije su naslage izdvojene na istočnom i zapadnom dijelu Ivanščice. Tamnosivi kalcitični dolomiti sadrže i do 88 % dolomitne komponente. Prema reliktnim strukturama pretpostavlja se da su to dolomitizirani krinoidni vapnenci. Nakon taloženja karbonatnih stijena, izmijenjeni su uvjeti sedimentacije, što je bilo uzrokovano tektonskim pokretima. Zbog produbljivanja bazena, talože se dobro uslojeni sitnozrnasti klastiti, pelagički vapnenci, rožnjaci, tufitični sedimenti i tufovi uz koje su prisutni bazični eruptivi.

Smirivanjem sedimentacije u bazenu najveći dio istaloženih karbonata dolomitiziran je dijagenetskim procesima. Mjestimično su u dolomitima ostali sačuvani algalni i tufitični vapnenci. Zbog velike poremećenosti naslaga teško je pratiti slijed sedimentacije, ali ona je nastavljena iz anizika u ladinik.



Slika 3.7 Geološka karta općine Lobor s prikazom glavnih stratigrafskih jedinica prema Osnovnoj geološkoj karti, list Rogatec (Aničić i Juriša, 1983) i list Varaždin (Šimunić i dr., 1982).

Nakon taloženja klastita stabiliziraju se sedimentacijske prilike u bazenu, te se na formiranoj karbonatnoj platformi talože karbonatni sedimenti u „ podplimatskim“ uvjetima. Velik dio dolomitno-vapnenačkih naslaga u centralnom dijelu Ivanščice uvršten je u srednji i gornji trijas. To su pretežno stromatolitni, intraklastični, srednjezrnati dolomiti s rijetkim ulošcima vapnenaca te dolomitne intrabazenske breče. Kod postanka

plitkovodnih sedimenata najvažniju ulogu su imale modrozelene alge (Al. Šimunić i An. Šimunić 1979). One su se intenzivno razvijale u povoljnim prilikama koje su vladale u srednjem i gornjem trijasu (T_3). Pojavljivanje trošnih sivozelenih i maslinastozelenih eruptiva koji su određeni kao bazalti, andezit.- bazalti i spilitizirani bazalti, vezano je uz vulkansku aktivnost izlivno - eksplozivnog tipa, koja je bila uzrokovana tektonskim pokretima početkom anizika i ladinika.

Najveće količine eruptiva poznate su u zapadnom dijelu Ivanščice između Lepoglave i Loborskog Golubovca. Tufovi se pojavljuju u istim područjima kao i srednje trijaski klastiti i eruptivi, te se najčešće izmjenjuju sa srednjezrnastim klastitima. Gornjotrijaske naslage izdvojene su samo na južnim padinama Ivanščice, gdje izgrađuju male izolirane glavice, koje predstavljaju ostatke navlake. Manje pojave ovih naslaga zapažene su kod Pustog Lobora, a sastoje se od gromadastih ili debelouslojenih sivih sitnozrnastih vapnenaca i dolomita.

Nakon raspada trijasko-lijaske karbonatne platforme došlo je do prekida u sedimentaciji koja je trajala do gornjeg malma. Tada je na korodiranoj trijaskoj podlozi započela je sedimentacija tankopločastih, žutih i svjetlosivih vapnenaca. Neki slojevi vapnenaca su rekristalizirani ili silicificirani. Silicifikacija se manifestirala u pojavi kristalića autigenog kvarca ili kao zamjena pojedinih dijelova stijene kvarcom ili kalcedonom. Vapnenci se često izmjenjuju s radiolarijskim šejlovima i radiolarijskim rožnjacima. U gornjem dijelu stupa pojavljuju se i pješčenjaci koji predstavljaju prijelaz u kredne vulkanogeno - sedimentne naslage. One se protežu u obliku uskog isprekidanog pojasa od kolektorske stanice Zagorskog vodovoda (Rieka potok) do Male Ivanščice. Granica jursko-krednih vapnenaca prema trijaskim dolomitima i vapnencima je erozijsko-diskordantna.

U kredu su uvrštena tri tipa naslaga: vulkanogeno-sedimentni kompleks, gornjosenonski flišoliki sedimenti i rudistni vapnenci. Prvi je „Kredu s ofiolitima u Ivanščici“ opisao Herak (1960). Za ove naslage karakteristična je česta nepravilna izmjena pješčenjaka, radiolarijskih šejlova, lapora, rožnjaka, vapnenaca, silicificiranih vapnenaca i tufova. Litološki sastav ovih stijena, kao i kontinuitet sedimentacije iz gornje jure u donju kredu (J,K) ukazuje, da se krajem malma započela stvarati prostrana geosinklinala u kojoj su taložene tzv. vulkanogeno-sedimentne naslage. Prema terenskim zapažanjima čini se da u bazi dominiraju krupnozrnasti sedimenti nad sitnozrnastima, koji prevladavaju u višim horizontima. Sedimentacija sitnozrnastim komponenata ukazuje na smanjen donos

terigenog materijala. To je moglo biti uvjetovano različitim faktorima kao što je produbljivanje bazena, udaljavanje od obale ili smanjivanje energije turbiditnih tokova.

Veće mase bazičnih eruptiva (ββ) izdvojene su na južnim padinama centralnog i južnog dijela Ivanščice. Odnos prema sedimentima je najčešće tektonskog karaktera, jer su eruptivi prilikom boranja predstavljali cjelovite mase, koje su pružale otpor tangencijalnim potiscima. Na temelju petrografskih i kemijskih analiza izdvajaju se dijabazi, spilitizirani dijabazi, spiliti, gabri i lave. Naslage kenozojske ere pokrivaju najveću površinu istraživanog područja. Sedimentacija je započela u paleocenu i uz manje prekide trajala do kvartara. U tercijarnom periodu zastupljene su stijene stvarane pretežno u marinskim i brakičnim te iznimno oslađenim sredinama, a u kvartarno sedimenti kopnene i slatkovodne sredine.

Donji miocen (M_1) sačinjavaju naslage poznate pod nazivom „oligocenske ugljenosne naslage“, zastupljene u južnim predjelima Ivanščice na području Golubovca. Donjomiocenske naslage primarno leže diskordantno na starijoj podlozi, a nastale su kao produkt intenzivne erozije izdignutog reljefa. Dominantan litološki član su grublji klastiti, pijesci, pješčenjaci, konglomerati i šljunci, a zastupljeni su još lapori, gline, tufovi i ugljen. Vezani na zonu naslaga donjeg miocena transgresivno leže andeziti (α) koji su ranije eksploatirani u građevinske svrhe. Zatim slijede tortonske naslage (M_2^2) koje su transgresivni član neogena i svojim većim dijelom okružuju starije stijene. Torton karakteriziraju marinski sedimenti nastali u različitim okoliša zone neritika, uz naglašenu ulogu biogenih elemenata u toku sedimentacije. Naslage donjeg sarmata ($^1M_1^2$) slijede kontinuirano na tortonu. Taložene su isključivo u brakičnoj sredini. Na većem dijelu područja karakterizira ih uniformnost lito i biofacijesa. U litološkome sastavu dominiraju pločasti laporoviti i listićavi vapnenci, pjeskoviti vapnenci, vapnenački lapori, glinovoti i bituminozni lapori. Naslage donjeg panona ($_1M_3^{1,2}$) slijede kontinuirano i konkordantno na sarmatu. Po biofacijelnom na čitavom, a po litofacijelnom na većem dijelu svoga rasprostiranja odgovaraju tzv.“ Croatica“ slojevima. Južno od Ivanščice mogu se te naslage pratiti od Petrove Gore preko Lobora. Dominantan litološki član u donjem panonu su laporoviti vapnenci i vapnenački lapori, a podređeno su zastupljeni lapori, pješčenjaci i pijesci.

Sedimenti gornjeg panona ($_2M_3^{1,2}$) čine kontinuirane pojas pružanja od Velike Petrovagorske preko Purge koja zauzima velik dio Lobora. Gornji panon razvijen je u dva osnovna facijesa. „Banatica“ naslage su lapori neznatnog udjela pješčenjaka, a drugi,

fliškoliki facijes odlikuje se učestalom ritmičkom izmjenom pješčenjaka, pijesaka, siltova, siltita, lapora i konglomerata pa se između ova dva facijesa ne zapaža oštra granica. Sedimenti donjeg ponta (Pl_1^1) taloženi su u kaspibrakičnoj sredini, a slijede kontinuirano i konkordantno na gornjem panonu. U prostoru gdje je gornji panon razvijen u facijesu „Banatica“ slojeva kontinuirano prelaze u „Abichi“ lapore uz postupni pad karbonatne komponente. Lapori su plavičaste i žućkastosive boje, dijelom uslojeni, a sadrže do 50 % CaCO3. Naslage pliocen-kvartara (Pl, Q) otkrivene su na južnim i sjevernim padinama Ivanščice, u Konjščinskoj sinklinali, dolini Lonje i Lepoglavskoj sinklinali. To su klastični, fluvio-jezerski sedimenti molasnog tipa koji su taloženi diskordantno na starije naslage. Izgrađeni su pretežno od pijesaka i šljunaka unutar koji rjeđe dolaze leće i proslojci glina.

Aluvijalni sedimenti (α) recentnih rijeka i potoka prekrivaju znatne površine na istraživanom terenu. Odlikuju se heterogenim sastavom, uglavnom krupnozrnastih sedimenata holocenske starosti. Opis razvoja paleozoika, mezozoika i kenozoika na prostoru sjeverne Hrvatske preuzet je iz Tumač za list Varaždin L 33-69 (Geološki zavod, Zagreb, 1982).

3.5 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti

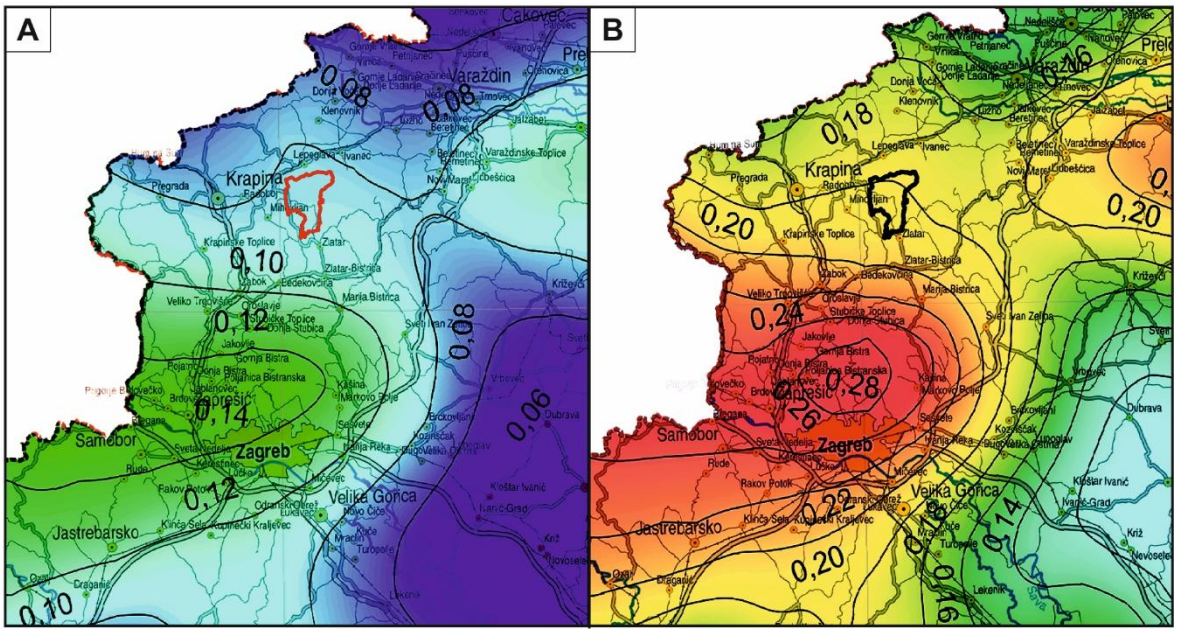
Hidrogeološki uvjeti su prvenstveno geološke grade, odnosno vertikalnog i lateralnog rasporeda litoloških članova različitog granulometrijskog sastava. Hidrogeološke značajke su sekundarna poroznost stijenske mase; nedostatak značajnijih vodonosnih rezervoara na površini te izvori pretežito male izdašnosti i razbijenog tipa i nedefiniranih dubina do podzemne vode. S obzirom na prisustvo trijaskih karbonatnih naslaga mogu se očekivati i izvori veće izdašnosti (MZOIP, 2015). U središnjem dijelu istraživanog područja nalazi se riječna dolina. Najveći i najdublji klisurasti kanjon sjeverne Hrvatske tvori Loborska Rieka na jugozapadnoj padini Ivanščice iznad sela Lobor, dužine oko 4 km i dubok do 400 m. Na istraživanom području u hidrografskom smislu prisutni su površinski vodotoci i podzemne vode.

Općina Lobor je područje kontinentalnoga oborinskog režima s čestim i obilnim kišama u svibnju, lipnju i srpnju, tj. tijekom vegetacijskog perioda. Drugi oborinski maksimum je u mjesecu studenome, dok je najmanje oborina u veljači i ožujku. Maksimum oborina je u ljetnome dijelu godine s težištem na mjesecu srpnju. Karakter tih ljetnih oborina također povećava maksimalno otjecanje zbog koncentracije vode u vodotocima. Na području

općine strujanje vjetrova se modificira pod utjecajem reljefa. Srednja godišnja količina padalina u kraju kreće se između 880 mm i 1020 mm. Posebno su izražene niske minimalne temperature tijekom zimskog razdoblja (KZZ glasnik, 2008).

3.6 Seizmičnost područja

Na području Općine Lobor seizmička aktivnost je pojačana. Seizmičnost na području općine iznosi VII stupnjeva MCS. Na slici 3.8. prikazana je karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 475 god, a na slici 3.7.b) karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god za Republiku Hrvatsku. Karte potresnih područja izrađene su u mjerilu 1:800.000. Vrijednosti prikazane na karti odgovaraju ubrzanjima koja se u prosjeku premašuju tijekom povratnog razdoblja od 475 godina. Ubrzanja su izražena u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g (1 g = 9,81 m/s2). Iznosi poredbenih vršnih ubrzanja na karti prikazani su izolinijama s rezolucijom 0,02 g.



Slika 3.8 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla: a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 475 god, b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god (Herak i dr., 2011).

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). Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja

temeljnog tla agR (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR=475 za promatrano područje prikazani su na slici 3.7 i s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR=95 godina izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, *g*.

Za potrebe definiranja elastičnih i projektnih spektara pri proračunu konstrukcije na potres, koristi se vrijednost ag projektnog ubrzanja u tlu razreda A. Ta vrijednost je dana izrazom:

$$a_g = a_{gR} * \gamma I \qquad \text{(jednadžba 3.1)}$$

gdje je:

- γI - faktor važnosti građevine čije su vrijednosti dane u HRN EN 1998-1:2008 i kreću se od 1,40, za građevine čije bi funkcioniranje neposredno nakon potresa bilo od vitalne važnosti (bolnice, vatrogasne postaje, energetska postrojenja itd.) do vrijednosti od 0,80 za građevine maloga utjecaja na javnu sigurnost
- a_{gR} - poredbeno maksimalno ubrzanje u tlu razreda A

Na temelju karte poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla agr za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 475 god. usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od a_{gR}=0,18 g. Usvaja se vrijednost projektnog ubrzanja u tlu razreda A od a_g=0,18 g.

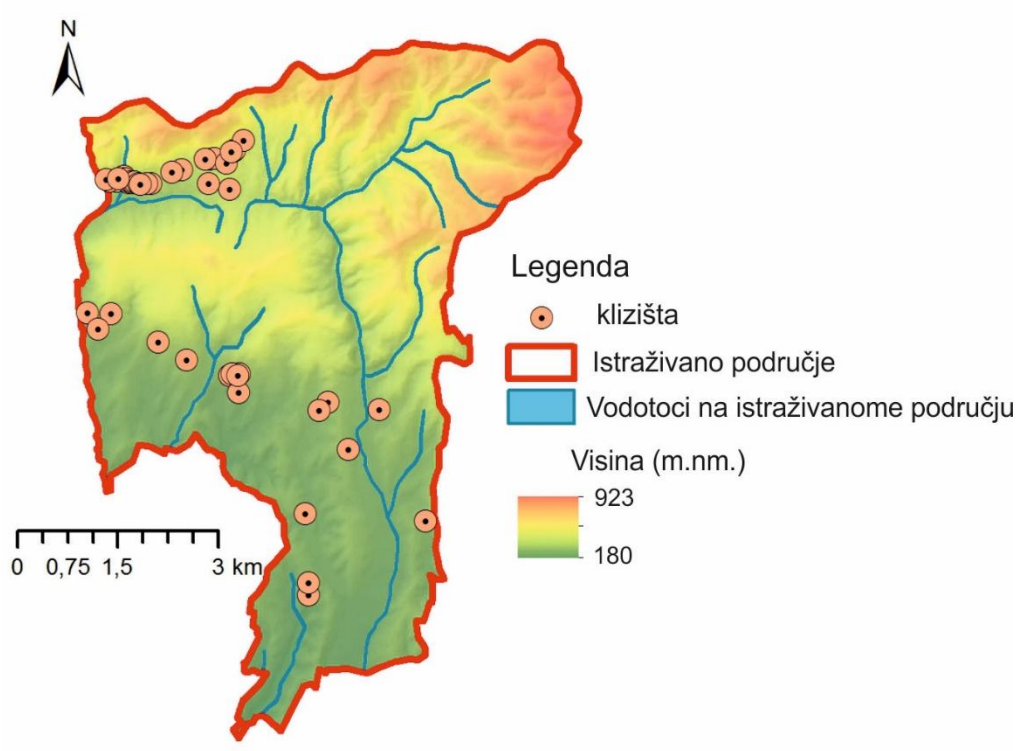
4 Ulazni podaci

4.1 Inventar klizišta

Na području općine Lobor prikupljani su podaci o svim klizištima koja su prijavljena u razdoblju od 2013. do 2016. godine sa svrhom izrade karte klizišta, odnosno inventara klizišta koji predstavlja kartografsku baza podataka o klizištima. S obzirom da na ovom području nije već prethodno postojala karta klizišta ili sustavna evidencija svih klizišta, podaci o klizištima prikupljani su iz različitih izvora, a to su Državni ureda za zaštitu i spašavanje (DUZS), općina Lobor koja je odgovorna za sanacije klizišta i civilnu zaštitu, geotehnički elaborati i izvještaji, rekognoscirajuće kartiranje na terenu, te javno dostupni podaci u obliku novinskih članaka ili neobjavljenih publikacija.

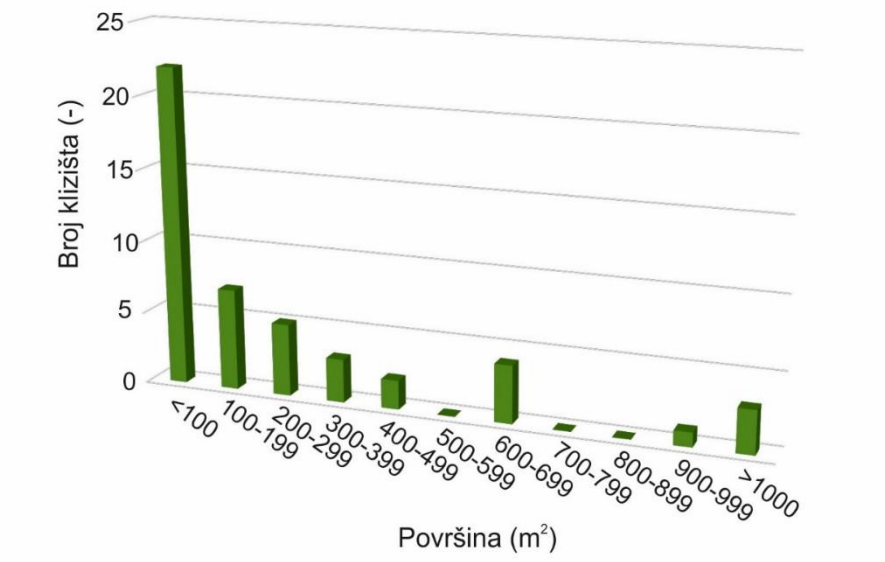
Od DUZS-a dobiven je popis klizišta aktiviranih u proljeće 2013. godine načinjen na temelju dojava lokalnog stanovništva o (re)aktiviranim klizištima. Lokalna uprava općine Lobor također radi popise klizišta za koja saznaje na temelju dojava stanovnika o oštećenjima na cestama i kućama te za koja poduzima privremene 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 točnoj lokaciji klizišta, datumu aktiviranja, površini klizišta, inicijatoru, te elementima koji se nalaze pod rizikom. Prilikom terenskog obilaska klizišta nastojalo se obići sva prethodno evidentirana klizišta, a pri tome su identificirana i neka nova klizišta.

Na području općine Lobor registrirano je ukupno 44 klizišta (slika 4.1) čiji je osnovni mehanizam gibanja klizanje. Inventar čine klizišta koja su rezultat terenskog obilaska područja istraživanja te postoji mogućnost da neka klizišta nisu evidentirana. Sva registrirana klizišta nalaze se u blizini prometnica i/ili stambenih i gospodarskih objekata, a zasigurno postoje i klizišta na području šume koja nisu uočena prilikom terenskog kartiranja i nisu prijavljena od strane lokalnog stanovništva. Ovim inventarom klizišta obuhvaćena su klizišta registrirana od 2013. do prosinca 2015. godine, a izostavljena su klizišta aktivirana nakon prosinca 2015. godine zbog nedostatka podataka s meteoroloških stanica koji su do lipnja 2016. godine.



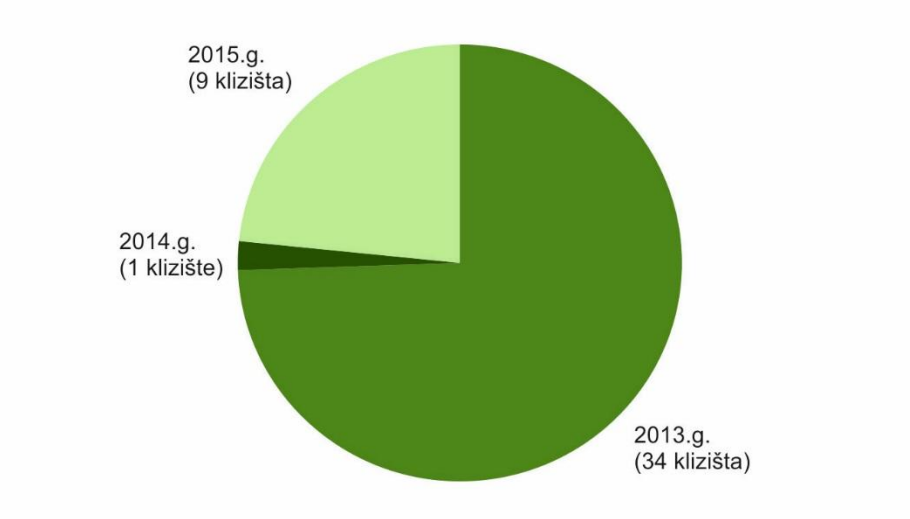
Slika 4.1 Prikaz evidentiranih klizišta na području općine Lobor.

Prilikom terenskog obilaska procijenjena je površina za svih 44 klizišta te prosječna površina klizišta iznosi 208 m^2 (slika 4.2). Najveće zabilježeno klizište ima površinu od 2500 m^2, a najmanje 10 m^2.



Slika 4.2 Grafički prikaz broja klizišta s obzirom na površinu klizišta.

Iz slike 4.3 vidljivo da je najveći broj klizišta u inventaru, točnije njih 34 nastalo 2013. godine, jedno klizište aktivirano je 2014. godine, te 9 klizišta 2015. godine. Prilikom prikupljanja podataka o klizištima na području općine Lobor utvrđen je točan datum aktiviranja za ukupno 13 klizišta. U tablici 4.1. navedena su i opisana klizišta s poznatim datumom aktiviranja.



Slika 4.3 Prikaz broja aktiviranih klizišta u 2013., 2014. i 2015. godini.

Tablica 4.1 Popis klizišta za koja su poznati točni datumi pokretanja klizišta.

NAZIV KLIZIŠTA	OPIS LOKACIJE	KOORDINATE	DATUM AKTIVIRANJA	POVRŠINA	ELEMENTI POD RIZIKOM	POUZDANOST PROCJENE
Loborsko Završje	Loborsko Završje 61,kč. 1202/12	46.1327348 16.0772323	14.03.2013.	70 m2	kuća, gospodarsko imanje	visoka
Vojnovec	županijska cesta 2128, kč. 2877/1	46.1488001 16.058676	01.04.2013.	150 m2	županijska cesta	visoka
Šipki	Šipki 33, kč.2148/1, 2148/3	46.1230647 16.0519974	04.04.2013	45 m2	kuća, gospodarsko imanje	srednja
Stari Golubovec	Stari Golubovec 9a, kč. 2434/1	46.182575 16.0408003	05.04.2013.	30 m2	cesta, kuće	visoka
Vojnovec Loborski	Vojnovec Loborski 112c, kč. 620	46.090984 16.022972	05.04.2013.	1500 m2	cesta, otežan promet , kapelica	visoka
Vojnovec Loborski	Vojnovec Loborski 109 c, kč.272	46.152545 16.04224	05.04.2013	120 m2	prometnica	visoka
Vojnovec Loborski	Vojnovec Loborski 114kč.490/1	46.1504135 16.041555	08.04.2013.	175 m2	gospodarsko imanje	visoka
Vinipotok	Vinipotok 91, kč.2994/1,2994/11	46.1340484 16.0538249	10.04.2013	630 m2	kuća, gospodarsko imanje	visoka
Vinipotok	Vinipotok 3a	46.14768, 16.05705	10.04.2013.	210 m2	kuća, gospodarsko imanje	visoka
Petrova Gora	Petrova gora 115, kč.462/1	46.16131 16.01221	12.04.2013.	250 m2	cesta, kuće, dvorišta	srednja
Petrova Gora	kč.543/1	46.16109 16.0169	12.04.2013.	120 m2	kuće	srednja
Lobor	Ulica A.G.Krkleca, kč. 2023/5	46.14275 16.0619	18.04.2013.	250 m2	njiva, vikendica, vinograd	visoka
Petrova Gora	kč.760/3	46.1590614 16.0143351	09.03.2015.	300 m2	vinograd, vikendica	visoka
Stari Golubovec	Stari Golubovec 60	46.1784272 16.0249927	27.10.2014.	650 m2	dvorište	srednja
Stari Golubovec	Stari Golubovec bb	46.178879 16.0184285	23.02.2015.	340 m2	dvorište	srednja
Stari Golubovec	Stari Golubovec	46.1790569 16.0201852	23.02.2015.	1600 m2	dvorište	srednja

4.2 Podaci o padalinama

Prema Žugaj (2000) oborina je tekući ili čvrsti proizvod kondenzacije vodene pare koji pada iz oblaka ili se iz zraka taloži na tlo. Oborine se dijele na horizontalne, koje se pojavljuju u obliku inja, mraza, magle i rose, te vertikalne koje se pojavljuju u obliku kiše, snijega i tuče koje će biti analizirane u okviru ovog diplomskog rada. Ako je promjer kišnih kapi manji od 0,5 mm, te brzina padanja kapi manja od v < 0,7 m/s, radi se o sitnoj jednolikoj kiši koja može utjecati na otjecanje ukoliko dugo traje. Za otjecanje vode važna je kiša čiji je promjer kapi veći od 0,5 mm, te se prema intenzitetu dijeli na tri vrste, a to su slaba kiša (< 2,5 mm/h), umjerena kiša (2,5 - 8,0 mm/h), te jaka kiša (> 8,0 mm/h). Susnježica nastaje kad se kapi kiše prolazeći kroz hladan zrak smrzavaju i pretvaraju u led, te na tlo padaju u obliku vlažnih ledenih kuglica promjera 1 - 4 mm, dok se zamrznuta oborina koja nastaje kada kiša pada na tlo čija je temperatura ispod ledišta naziva poledica. Ovisno o gustoći snijega, moguće je da 1 cm visine snijega daje 0,5 - 2,0 mm tekuće oborine. U praktičnim se izračunima, ako nije poznata gustoća snijega, za vodeni ekvivalent snijega prosječno uzima da 1 cm snijega daje 1,0 mm tekuće oborine. S obzirom na nastanak, postoje tri tipa oborine, a to su ciklonske oborine koje nastaju kao posljedica snažnih vrtložnih strujanja u atmosferi, olujna su karaktera i velika intenziteta, konvektivne oborine koje nastaju podizanjem toplog zraka bogatog vlagom iznad Zemlje uslijed čijeg hlađenja dolazi do brze kondenzacije i stvaranja oborina, te orografske oborine koje nastaju podizanjem topla zraka u planinske zapreke (planinske barijere), jače na uzlaznoj nego na silaznoj strani planine.

Na količinu oborine dijeluje pet glavnih čimbenika,a to su utjecaj zemljopisne širine, utjecaj mora, utjecaj konfiguracije tla, utjecaj šuma, te utjecaj velikih gradova. Količina izmjerene oborine koja padne na tlo iskazuje se u milimetrima (mm) koji zapravo predstavljaju litre na četvorni metar (l/m2). Glavni instrumenti za mjerenje oborina su: kišomjer, ombrograf ili pluviograf i totalizator. Kišomjer je opći naziv za bilo koji uređaj kojim se mjeri količina pale oborine. U užem smislu naziv se odnosi na uređaj za mjerenje dnevne količine oborine. Ombrograf je zajednički naziv za instrumente koji bilježe količinu i trajanje tekuće i krute oborine, za bilježenje tekuće rabi se pluviograf, a za krute nifograf. Totalizator je naziv za instrumente koji mjere količinu oborine u nepristupačnim područjima.

Prilikom mjerenja oborina postoje dvije vrste pogrešaka, slučajne (povremene) pogreške koje se redovito odnose na motritelja, rijetko se ponavljaju i nisu od velike opasnosti za rezultate mjerenja, te sustavne (stalne) pogreške koje su mnogo opasnije zbog toga što se zbrajaju, pa u dužem vremenskom razdoblju mogu predstavljati značajnu pogrešku u količini oborina. Na sustavne pogreške u najvećoj mjeri utjecaj ima vjetar (Bonacci, 1987), ali ovise i o drugim čimbenicima poput tipa kišomjera, udjelu snijega, i sl. (Milković, 1986).

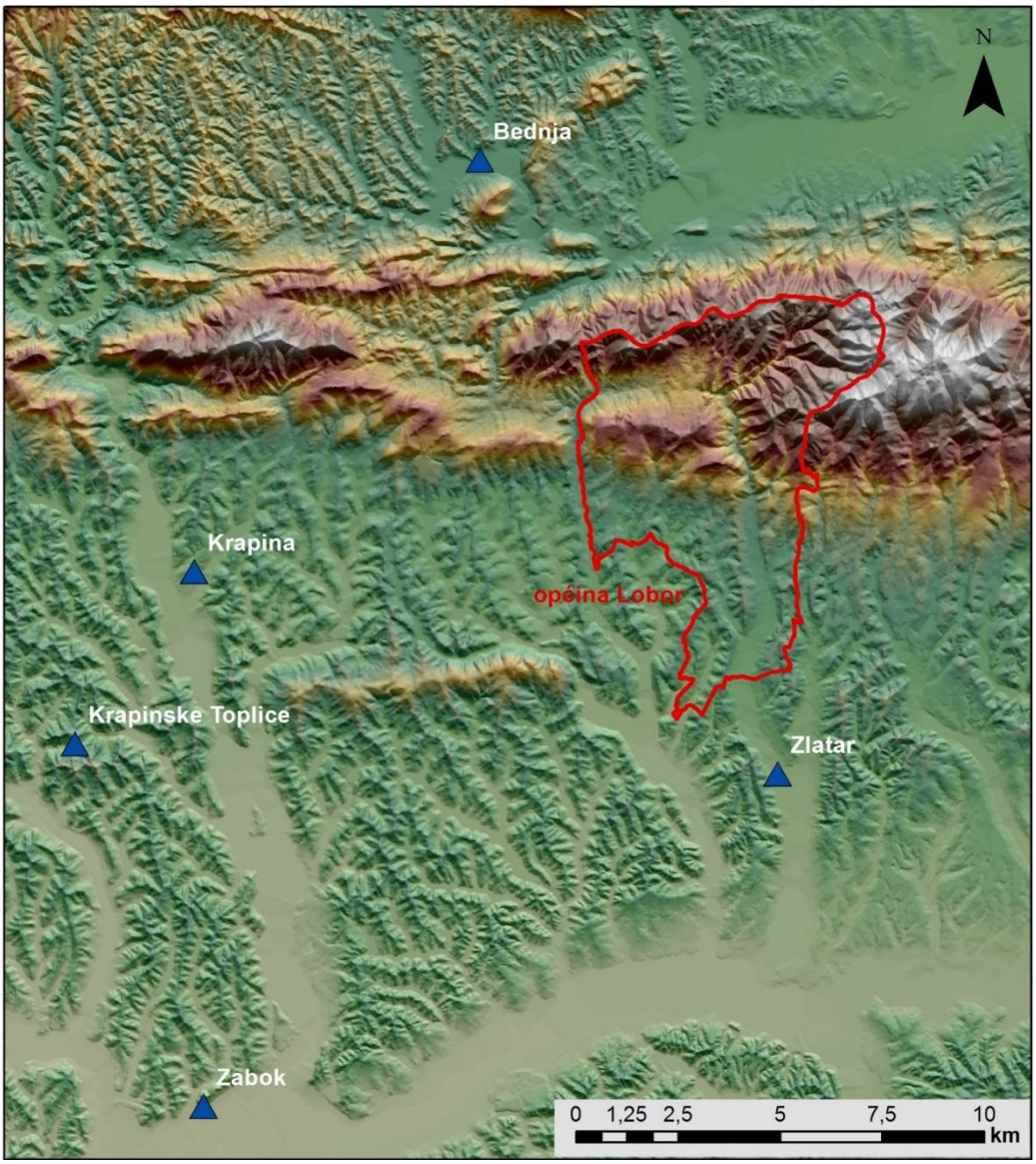
Na meteorološkim se postajama redovito mjere dnevne količine oborine koja predstavlja 24-satnu količinu oborine izmjerene u sedam sati svakoga dana. Zbrajanjem dnevnih količina oborine dobiju se mjesečne količine oborina, a njihovim zbrojem godišnje količine oborina. Niz od 12 mjesečnih količina oborina predstavlja godišnji hod oborine, ako ga se računa kao prosjek iz dugogodišnjih mjerenja, onda je to srednji godišnji hod oborine. 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). Prema meteorološkim standardima potrebne su tri do četiri postaje, te praćenje oborina kroz razdoblje od 30 godina kako bi se dobili iznosi reprezentativnih godišnjih oborina na pojedinoj lokaciji. Općenito je broj kišomjernih postaja koji predstavlja razumnu količinu tih mjernih instrumenata prosječno jedna kišomjerna postaja na svakih 80-100 km2. Za Hrvatsku to iznosi oko 650 postaja (Trninić, 1981).

Na slici 4.4 prikazani su položaji pet meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) na kojima je provedena analiza oborina. Na području općine Lobor ne postoje meteorološke postaje DHMZ-a pa je analiza oborina provedena na klimatološkoj postaji Bednja, te kišomjernim postajama Krapinske Toplice, Krapina, Zabok i Zlatar. U tablici 4.2 navedene su geografske koordinate, kao i nadmorske visine meteoroloških postaja, srednja godišnja oborina i razdoblje za koje postoje mjerenja. Kišomjerna postaja Zabok se nalazi na najvišoj nadmorskoj visini od 450 m n.m., a najniža je postaja Zlatar na 180 m n.m.

Tablica 4.2 Popis meteoroloških postaja na širem istraživanom području.

Meteorološka postaja	**Geografske koordinate**		**Nadmorska visina (m n.m.)**	**Srednja godišnja oborina (mm)**	**Razdoblje mjerenje (god)**
Bednja	5576010,33	5120857,346	240	1013,3	9
Krapina	5569003,93	5110777,53	202	881,8	9

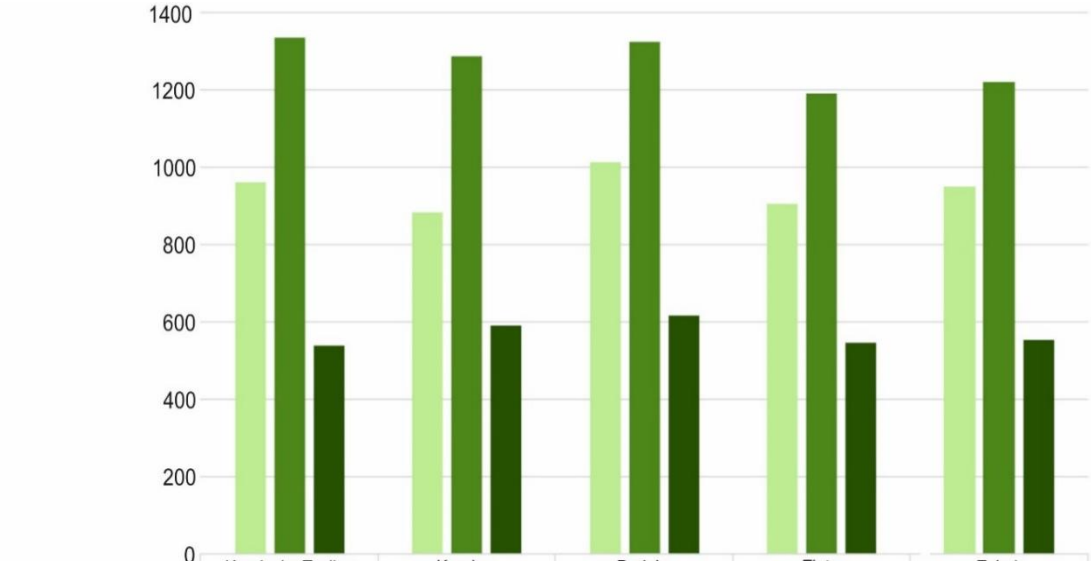
Krapinske Toplice	5566089,14	5106557,80	240	960,8	9
Zabok	5569240,46	5097679,40	450	949,1	9
Zlatar	5583294,73	5105821,79	180	906,8	9



Slika 4.4 Položaji meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) na kojima je provedena analiza oborina na području općine Lobor.

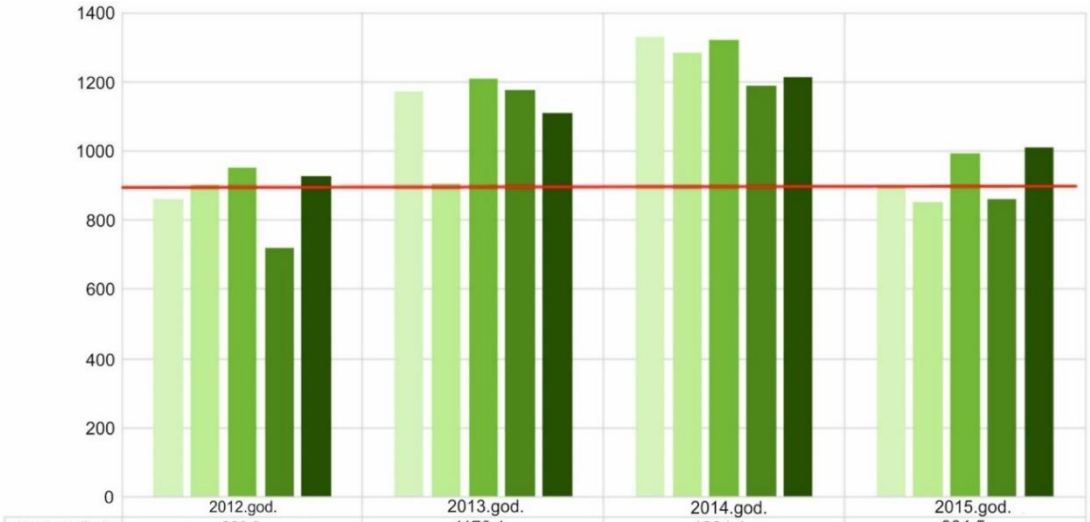
Na odabranim meteorološkim postajama DHMZ-a, načinjena je usporedba srednjih godišnjih oborina prikazana na slici 4.5. Za svih pet meteoroloških postaja korišteni su podaci za 2012., 2013., 2014. te 2015 godinu, tj. za godine iz kojih su poznati točni datumi aktivacije klizišta s tim da je uzeta 2012. godina zbog sumnje u mogućnost utjecaja količine padalina na klizišta iz 2013. godine. Iz slike 4.5 je vidljivo da su srednje, minimalne i maksimalne godišnje oborine sličnih vrijednosti na svih pet meteoroloških

postaja, s time da je najviša srednja godišnja oborina zabilježena na klimatskoj postaji Bednja. Iz prikaza srednje godišnje oborine (slika 4.6) vidljivo je kako se ne uočava bitna razlika među vrijednostima za razdoblje 2013. i 2014. godinu. Godina 2014. specifična je po povećanim količinama srednje godišnje oborine na svih pet postaja, što se dobro uočava usporedbom s crvenom linijom na dijagramu koja prikazuje srednju godišnju količinu oborine od 906,8 mm za kišomjernu postaju Zlatar za razdoblje od 9 godina, koja je analizirana zbog najmanje udaljenosti od promatranog područja. S obzirom na navedeno, sve se analizirane postaje mogu smatrati reprezentativnima za promatrano područje.



	Krapinske Toplice	Krapina	Bednja	Zlatar	Zabok
Srednja godišnja oborina	960,8	881,8	1013,3	906,8	949,1
Maksimalna godišnja oborina	1334,1	1286,8	1326,1	1190,9	1219,9
Minimalna godišnja oborina	540,2	592	618,5	546,2	555,2

Slika 4.4 Analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih količina oborina na mjernim postajama Krapinske Toplice, Krapina, Bednja, Zlatar i Zabok.



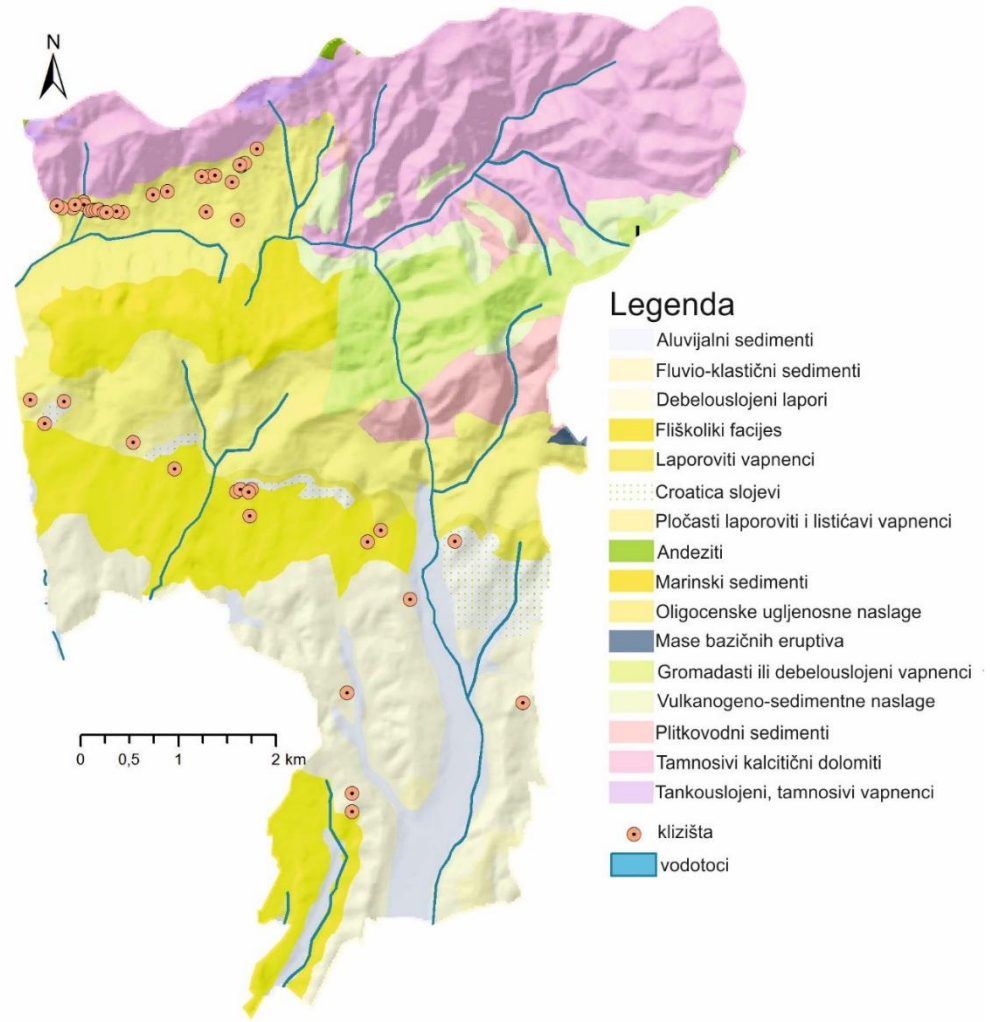
	2012.god.	2013.god.	2014.god.	2015.god.
Krapinske Toplice	863,3	1176,1	1334,1	904,5
Krapina	904,5	907,3	1286,8	853,2
Bednja	951,7	1212,1	1326,1	995,7
Zlatar	719,8	1177	1190,9	861,9
Zabok	929,4	1110	1217,4	1013,5

Slika 4.5 Prikaz godišnjih oborina za 2012., 2013., 2014. i 2015. godinu za postaje Bednja, Krapinske Toplice, Krapina, Zabok i Zlatar. Crvena linija predstavlja srednju godišnju količinu oborine od 906,8 mm za kišomjernu postaju Zlatar.

5 Analize i rezultati

5.1 Analiza prostorne distribucije klizišta

Slika 5.1. prikazuje kartu inventara klizišta općine Lobor s ukupno 44 klizišta. Vidljivo je da je najveći broj evidentiranih klizišta, točnije njih 27, odnosno 60 % od ukupnog broja klizišta, na području donjomiocenskih (M_1) naslaga poznatih pod nazivom „oligocenske ugljenosne naslage“, koje su zastupljene u južnim predjelima Ivanščice na području Golubovca. Dominantan litološki član donjomiocenskih naslaga su grublji klastiti, pijesci, pješčenjaci, konglomerati i šljunci, a zastupljeni su jos lapori, gline, tufovi i ugljen. U naslagama donjeg panona ($^1M_3^{1,2}$) tj. laporovitim vapnencima i vapnenačkim laporima, registrirana su samo 2 klizišta, dok je u naslagama laporovitih vapnenaca ($^1M_1^3$) registrirano ukupno 3 klizišta, odnosno 6,66 % od ukupnog broja klizišta.

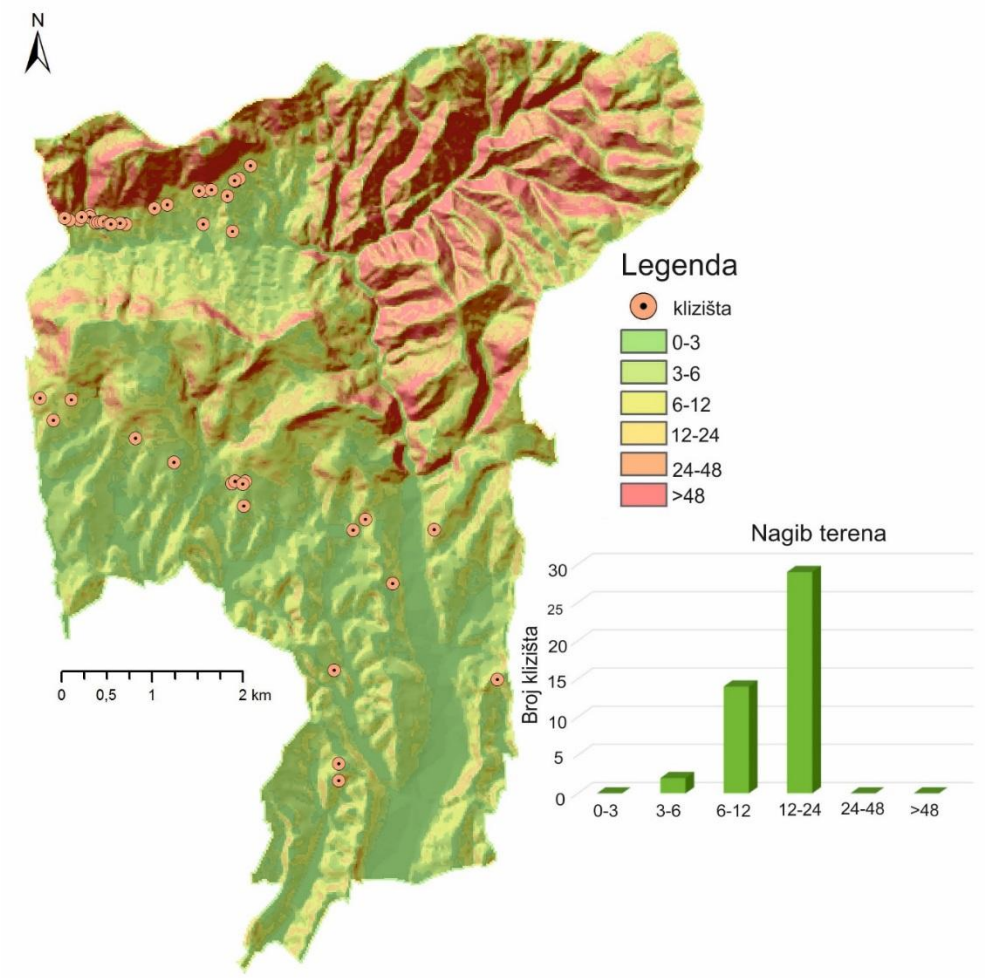


Slika 5.1 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na pojednostavljenoj geološkoj karti izvedenoj iz OGK lista Rogatec (Aničić i Juriša, 1983) i lista Varaždin (Šimunić i dr., 1982) mjerila 1:100.000. Klizišta su prikazana crvenim točkama.

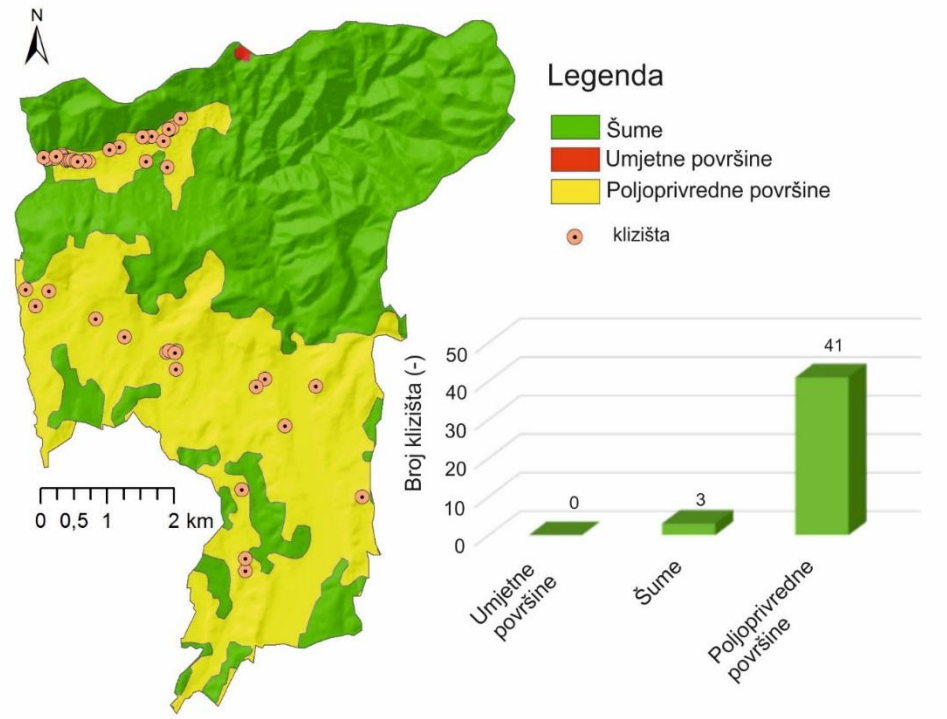
U sedimentima gornjeg panona ($^{2}M_{3}^{1,2}$) registrirano je 7 klizišta, odnosno 17,7% od ukupnog broja klizišta, dok su u sedimentima donjeg ponta (Pl_{1}^{1}),sa 11,11% od ukupnog broja klizišta registrirana 5 klizišta.

Na slici 5.2. prikazana je karta nagiba terena općine Lobor, s podjelom na klase nagiba: 0-3˚, 3-6˚, 6-12˚, 12-24˚, 24-48˚, >48˚. Dva klizišta nalaze se u području nagiba 3-6˚, 13 klizišta u području nagiba 6-12˚, dok je najveći broj klizišta u području nagiba terena 12-24˚, tj. 29 klizišta.

Na slici 5.3 prikazana je karta pokrova zemljišta općine Lobor, s podjelom na klase namjene prema CORINE klasifikaciji Agencije za zaštitu okoliša (2008). Sa slike je vidljivo je da se najveći broj registriranih klizišta (97,61 %) nalazi na području poljoprivrednih površina sa značajnim udjelom prirodne vegetacije, zatim slijede površine prekrivene šumama (2,39 %) dok na umjetnim površinama nema klizišta.



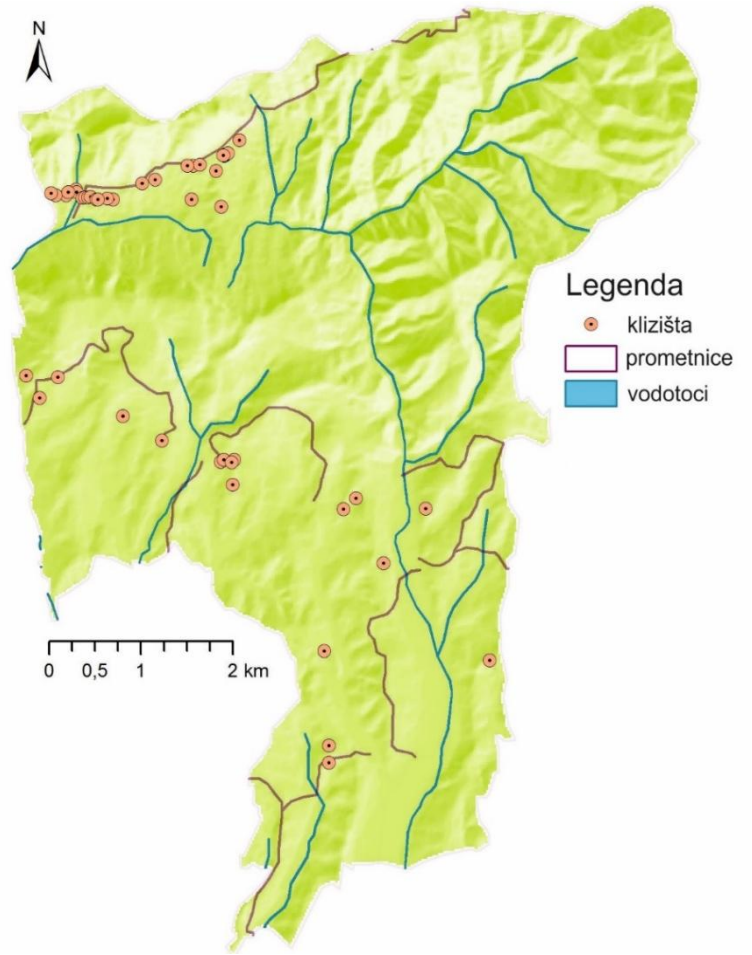
Slika 5.2 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na karti nagiba terena rezolucije 20x20 m. Klizišta su prikazana crvenim točkama.



Slika 5.3 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na karti pokrova zemljišta, s podjelom na klase namjene prema Corine klasifikaciji Agencije za zaštitu okoliša (2008).

U sklopu prostornih analiza, provedena je analiza udaljenosti evidentiranih klizišta u inventaru od vodotoka. Pod terminom "vodotoci" podrazumijevaju se svi potoci, rijeke i jaruge na istraživanom području. Iz slike 5.4 je vidljivo da nema klizišta u blizini vodotoka koji prolaze kroz istraživano područje.

Analiza udaljenosti klizišta od prometnica je pokazala da se čak 36 klizišta nalazi na prometnicama (slika 5.4), odnosno na udaljenosti od dva metra od prometnice, što je i očekivano s obzirom na to da je terenski obilazak klizišta proveden po mreži prometnica u općini Lobor.



Slika 5.4 Karta inventara klizišta za područje općine Lobor prikazana na karti vodotoka i prometnica. Klizišta su prikazana crvenim točkama.

5.2 Karte klimatskih anomalija za razdoblja aktiviranja klizišta

U okviru mreže meteoroloških postaja u Hrvatskoj djeluje sustav za praćenje klime čiji sastavni dio analiziranje podataka koji se svakodnevno prikupljaju s 30 glavnih meteoroloških postaja (termini 7, 14 i 21 sat). Tako prikupljeni podaci, uz dan zakašnjenja, kompatibilni su s postojećim dugogodišnjim nizovima klimatoloških podataka koji su nastali na temelju istovrsnih klimatoloških motrenja. Postupak ocjene klime provodi se pomoću Conrad-Chapmanove metode, koja se zasniva na odstupanjima od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990. godina. U tablici 5-1 navedeni su opisni termini za oborinske prilike s pripadajućim graničnim vrijednostima iskazanim u percentilima.

Tablica 5.1 Termini za oborinske prilike iskazani u percentilima

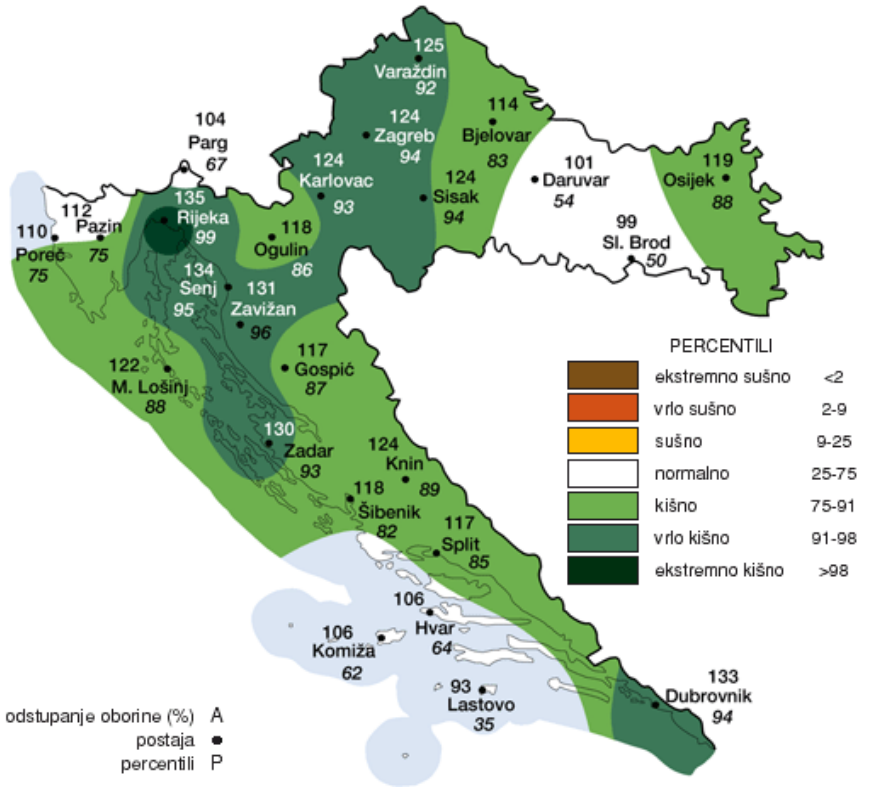
KATEGORIJE:	**PERCENTILI**
Ekstremno sušno	< 2
Vrlo sušno	2 - 9
Sušno	9 - 25
Normalno	25 - 75
Kišno	75 - 91
Vrlo kišno	91 - 98
Ekstremno kišno	> 98

Percentili predstavljaju procjenu vjerojatnosti (izraženu u postotcima) da odgovarajuća vrijednost anomalije u promatranom razdoblju nije bila nadmašena. Na temelju ovih ocjena izrađuju se karte klimatskih anomalija (odstupanja od višegodišnjih prosjeka za razdoblje 1961.-1990. godine) na način da se provodi zoniranje područja odgovarajućih klasa (razreda) anomalija za područje cijele Hrvatske. Te ocjene svrstavaju klimatske anomalije u klase u odnosu na navedene višegodišnje prosjeke. Taj pristup osigurava objektivnost ocjene klimatskih anomalija izbjegavajući tako subjektivnost pojedinca.

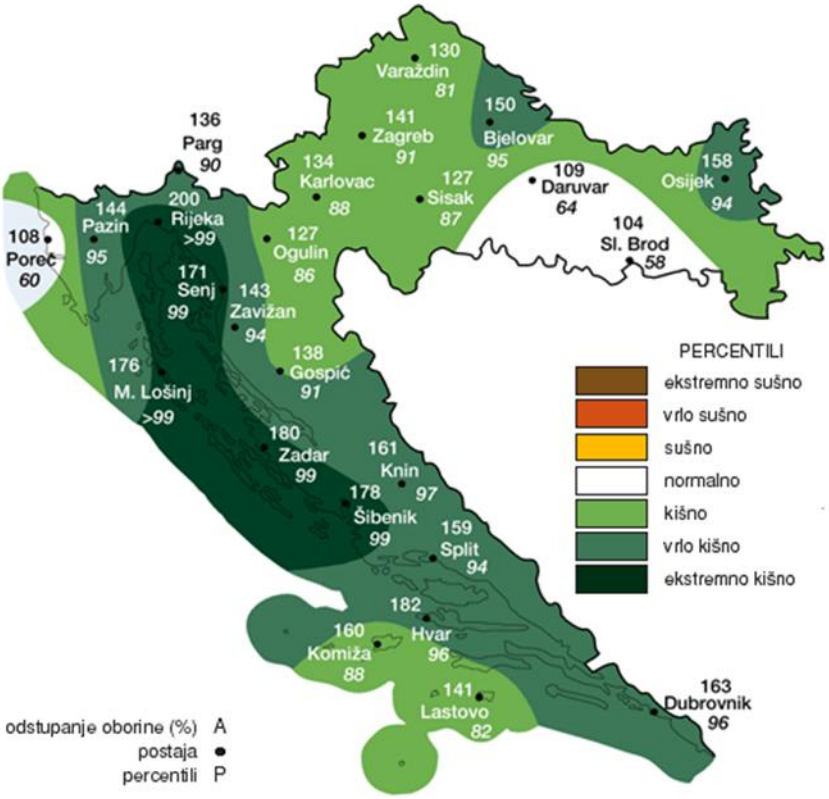
Na kartama anomalija uz svaku meteorološku postaju naznačena su dva broja. Gornji broj označava odstupanje meteorološkog elementa od višegodišnjeg prosjeka, za količinu oborine to je izraženo u postotcima (%). Donji broj uz postaju na kartama označava percentil prema kojem se postaja svrstava u odgovarajuću klasu (DHMZ, 2014b).

Analiza godišnjih količina oborine koje su izražene u postocima (%) višegodišnjeg prosjeka (1961.-1990.) pokazuje da je u 2013. godini u Hrvatskoj, oborine bilo više od prosjeka na većini analiziranih postaja (slika 5.5). U kategoriji vrlo kišno nalazi se dio sjeverozapadne i središnje Hrvatske, zatim dio sjevernog i srednjeg Jadrana s pripadnim zaleđem te šire područje Dubrovnika dok je ekstremno kišno bio na širem području Rijeke.

S obzirom na količine oborina u proljeće 2013. godine područje općine Lobor nalazi se u kategoriji kišno (slika 5.6). Klizišta su evidentirana u rano proljeće, odnosno sredinom ožujka aktivirano je jedno klizište i ukupno 11 klizišta početkom travnja 2013. godine, što se podudara sa kišnim razdobljem.

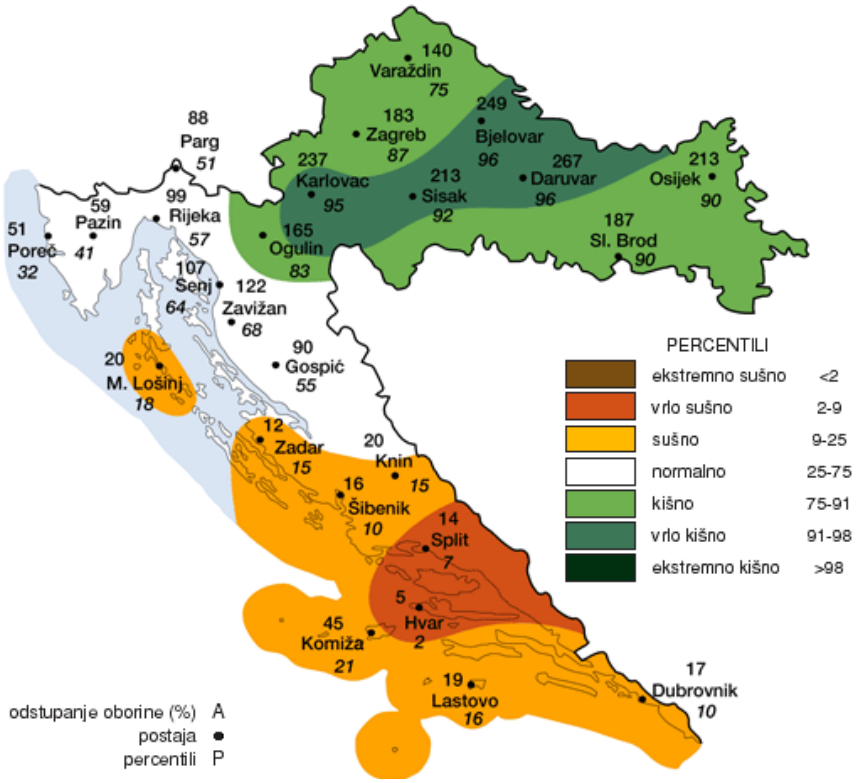


Slika 5.5 Odstupanje količine oborine u 2013. godini (DHMZ, 2014).



Slika 5.6 Količine oborine u proljeće 2013. izražena u % višegodišnjeg (1961-1990.) odgovarajućeg mjesečnog srednjaka.

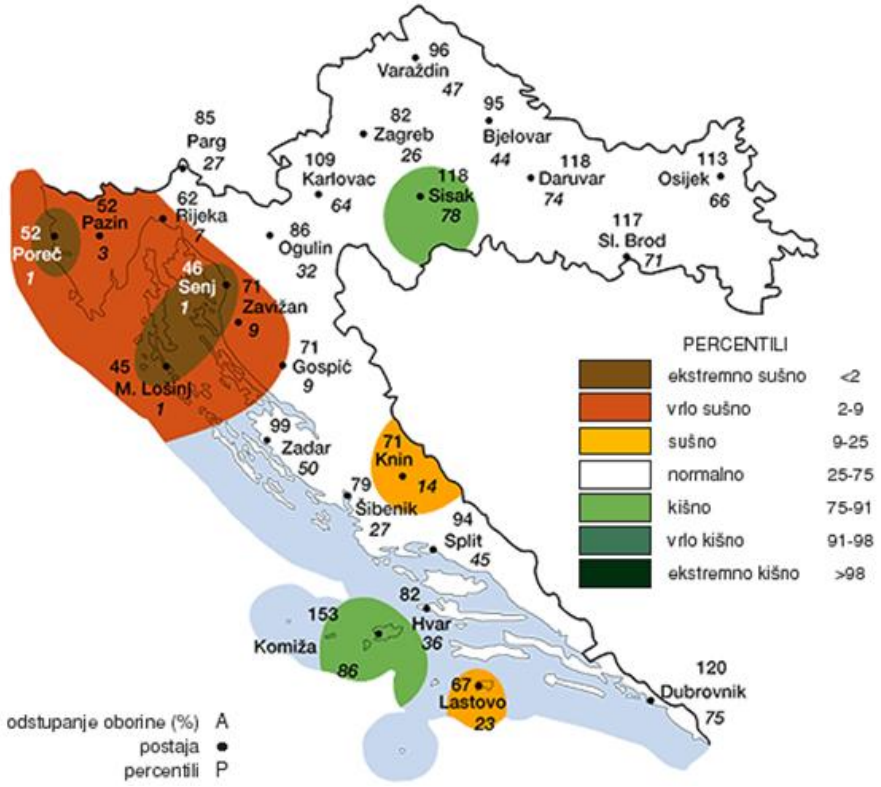
Za jedno od klizišta u inventaru registrirano je da je pokrenuto u listopadu 2014. godine, a oborinske prilike na području općine Lobor su za to razdoblje klasificirane kao kišno razdoblje (slika 5.7).



Slika 5.7 Količine oborine listopad 2014. izražena u % višegodišnjeg (1961-1990.) odgovarajućeg mjesečnog srednjaka.

S obzirom na količine oborina u proljeće 2015. godine područje općine Lobor nalazi se u kategoriji normalno (slika 5.8). Klizišta su evidentirana u rano proljeće, odnosno krajem veljače su aktivirana dva klizišta i početkom ožujka 2015. je aktivirano jedno klizište.

Oborinske prilike u Hrvatskoj za razdoblje od proljeća 2013. godine do proljeća 2015. godine opisane su sljedećim kategorijama: normalno, kišno i vrlo kišno. Osobito kišno bilo je početkom 2013. godine od siječnja do ožujka. Oborinske prilike u Hrvatskoj za razdoblje od siječnja do ožujka 2013. godine opisane su sljedećim kategorijama: normalno, kišno, vrlo kišno i ekstremno kišno. Veći broj klizišta zabilježen je krajem ožujka, te početkom travnja 2013. godine je potvrda o iznimnim uvjetima koji su zadesili sjeverozapadnu Hrvatsku u razdoblju od siječnja do travnja 2013. godine (Mihalić Arbanas i dr., 2013; Bernat i dr., 2014).

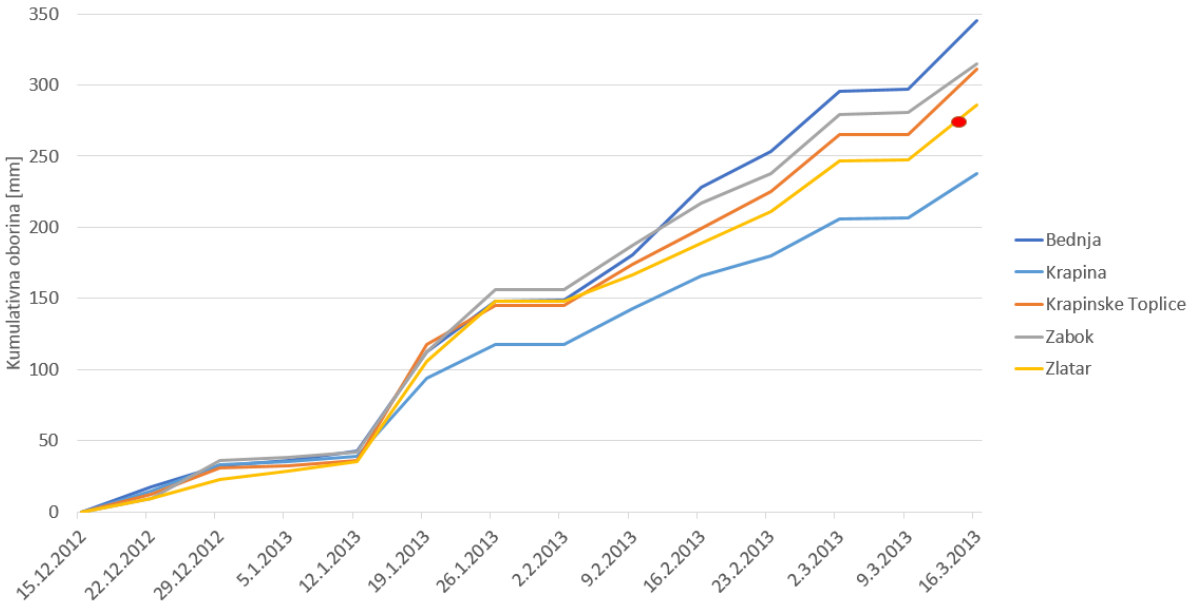


Slika 5.8 Količine oborine u proljeće 2015. izražena u % višegodišnjeg (1961-1990.) odgovarajućeg mjesečnog srednjaka.

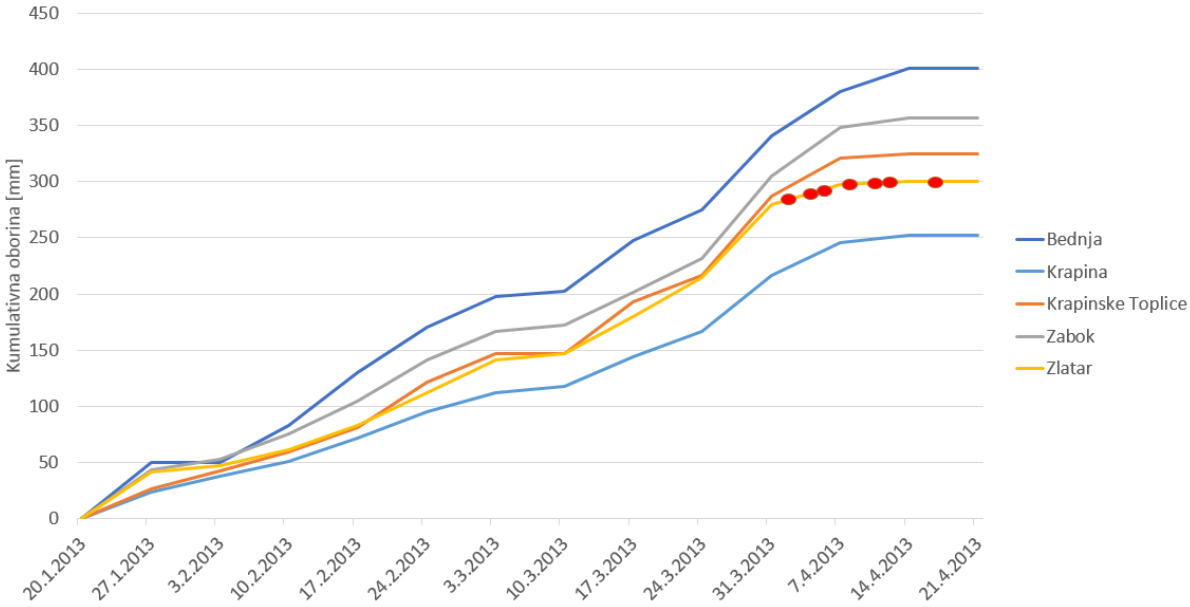
5.3 Analiza tromjesečnih kumulativnih oborina koje su prethodile evidentiranim događajima klizanja

Na temelju dostupnih podataka za meteorološke postaje Bednja te kišomjernih postaja Krapina, Krapinske Toplice, Zabok i Zlatar provedene su analize kumulativne oborine za razdoblja u kojima su poznati datumi pokretanja klizišta. U ovom radu je analizirana tromjesečna kumulativna oborina (slika 5.9) koja je prethodila klizanju. Za analizu tromjesečne kumulativne oborine koja je prethodila evidentiranim događajima klizanja odabrana je kišomjerna postaja Zlatar iz razloga što je ta postaja najbliža istraživanom području.

Za klizišta pokrenuta u proljeće 2013. godine, analizirani su podaci za razdoblje od 1. veljače do 1.svibnja 2013. godine (slika 5.10). Prvo poznato klizište pojavilo se 14. ožujka u Loborskom Završju (slika 5.9), zatim slijede pet klizišta u prvom tjednu travnja (1.4.-5.4.) te dva klizišta 10. travnja, dva klizišta 12. travnja i jedno klizište 18. travnja na području općine Lobor (slika 5.10). Iz slike 5.9 je vidljivo da je do pokretanja klizišta 14.3.2013. došlo nakon što je u tri mjeseca palo gotovo 286,1 mm oborina, a klizišta pokrenuta početkom travnja (slika 5.10) su inicirana nakon što je palo 279,8 mm oborine.

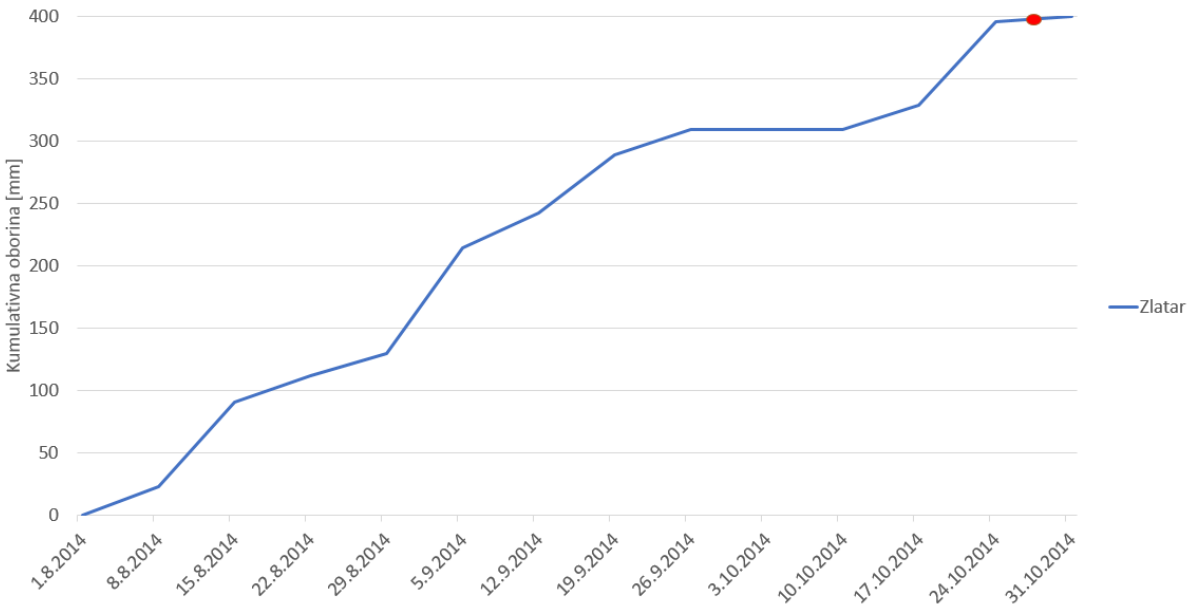


Slika 5.9 Usporedba tromjesečnih kumulativnih oborina s pet meteoroloških postaja za razdoblje od 15.12.2012. do 15.3.2013. Crvenom točkom je označen datum pokretanja klizišta na području općine Lobor.



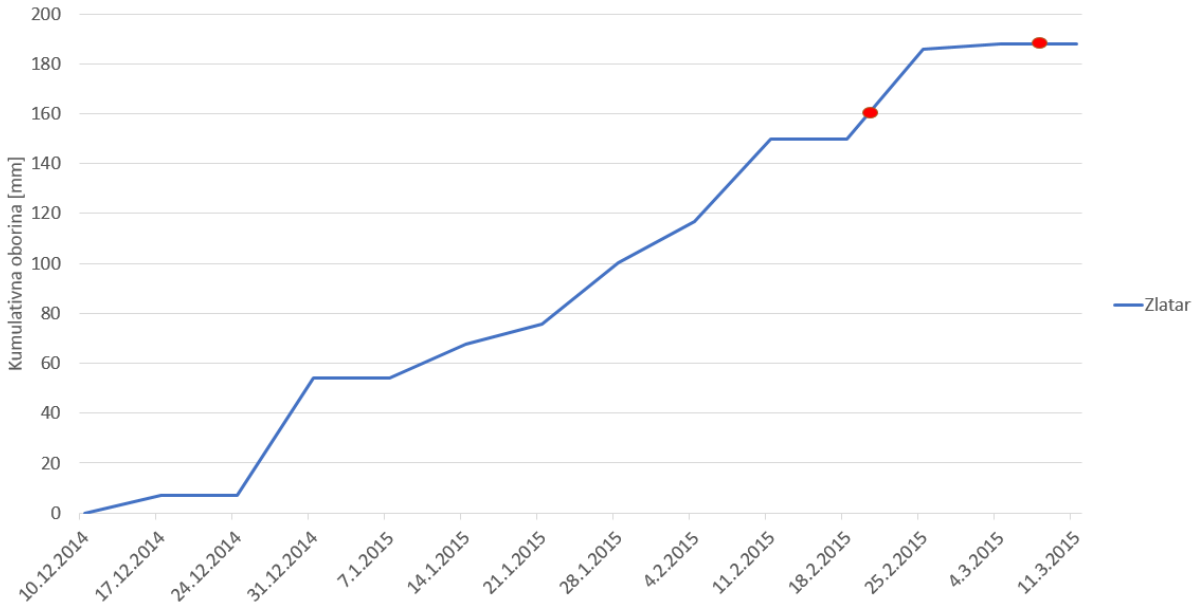
Slika 5.10 Usporedba tromjesečnih kumulativnih oborina s pet meteoroloških postaja za razdoblje od 20.1.2013. do 20.4.2013. Crvenoim točkama su označeni datumi pokretanja klizišta na području općine Lobor.

Za klizište u Starom Golubovcu aktivirano 27. listopada 2014. godine, analizirani su podaci s kišomjerne postaje Zlatar za razdoblje od 1. kolovoza do 31. listopada 2014. godine. Iz slike 5.11 je vidljivo da je do pokretanja klizišta došlo nakon što je u tri mjeseca palo gotovo 395,3 mm oborina.



Slika 5.11 Tromjesečna kumulativna oborina s kišomjerne postaje Zlatar za razdoblje od 1. kolovoza do 31. listopada 2014. godine. Crvenom točkom označen je datum pokretanja klizišta.

Za klizišta aktivirana 23. veljače i 9. ožujka 2015. godine u Starom Golubovcu analizirani su podaci sa kišomjerne postaje Zlatar za razdoblje od 10. prosinca do 10. ožujka 2015. godine (slika 5.12). Iz slike 5.12 je vidljivo da je do pokretanja klizišta došlo nakon što je u tri mjeseca palo gotovo 149,8 mm oborina.

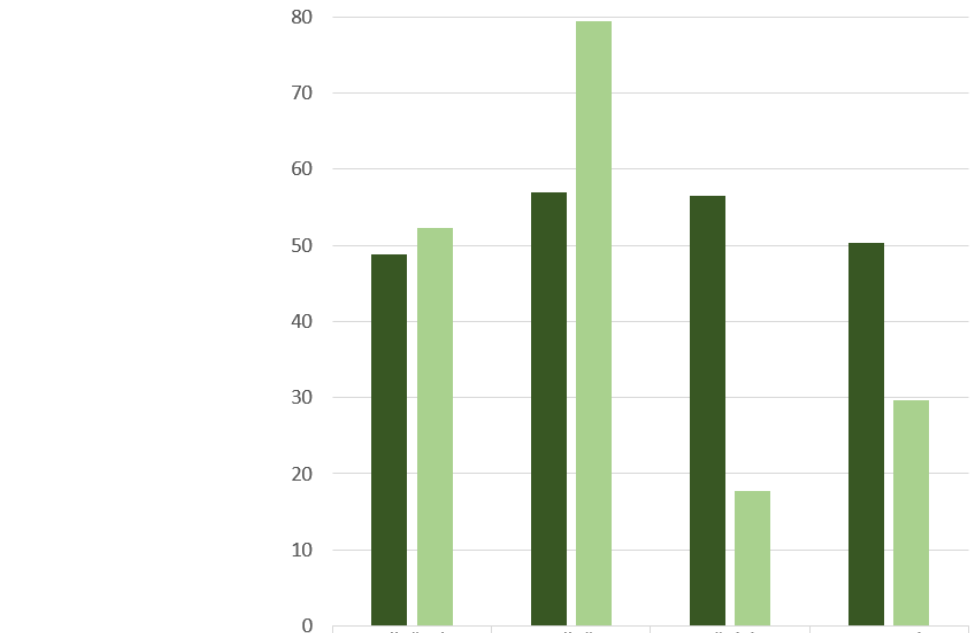


Slika 5.12 Tromjesečna kumulativna oborina s kišomjerne postaje Zlatar za razdoblje od 10. prosinca do 10. ožujka 2015. godine. Crvenom točkom označen je datum pokretanja klizišta.

5.4 Analiza mjesečnih oborina

Za analizu mjesečnih oborina odabrana je meteorološka postaja Zlatar iz razloga što su za tu postaju dostupni podatci za razdoblje mjerenja od 9 godina i najbliža je postaja pokrenutim klizištima. Na temelju povijesnih podataka o oborinama za meteorološku postaju Zlatar izračunate su srednje mjesečne količine oborine za razdoblje od 2006. do 2015. godine. Ovi podaci uspoređeni su s mjesečnim oborinama za tri mjeseca koja su prethodila datumima aktivacije klizišta iz 2013., 2014., te 2015. godine.

Na slici 5.13 . je vidljivo da su srednje mjesečne količine oborina podjednake za siječnj, veljaču i ožujku i iznose oko 55 mm. U siječnju 2013. godine su oborine bile nešto više od prosjeka, u veljači 2013. godine je palo 39% više oborine od prosjeka, u ožujku 2013. je 31% manje oborine od prosjeka, kao i u travnju 41% manje oborine od prosjeka. Klizanja su se dogodila sredinom ožujka i prvu polovicu travnja 2013. godine.

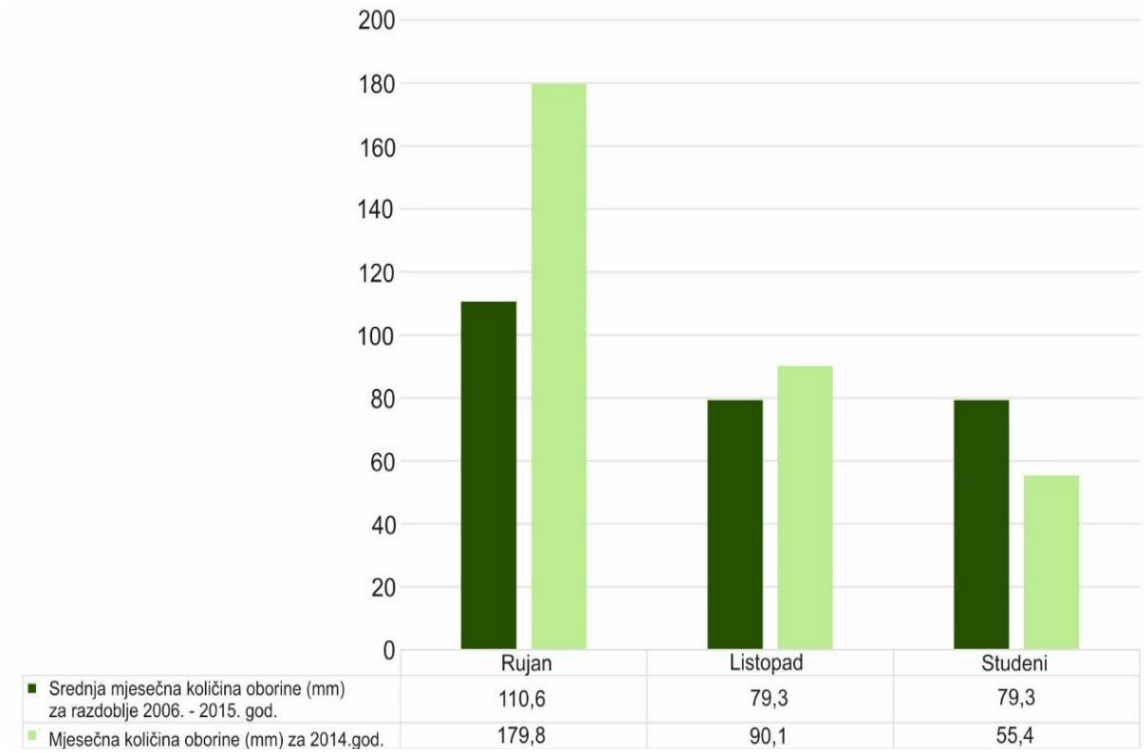


	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj
Srednja mjesečna količina oborine (mm) za razdoblje 2006. - 2015. g.	48.8	57	56.5	50.3
Mjesečna količina oborine (mm)za 2013. g.	52.3	79.4	17.8	29.7

Slika 5.13 Podaci o oborinama na meteorološkoj postaji Zlatar: svijetlo zeleni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od siječnja do ožujka za 2013. godinu, a tamnije zeleni stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 2006.-2015. godine.

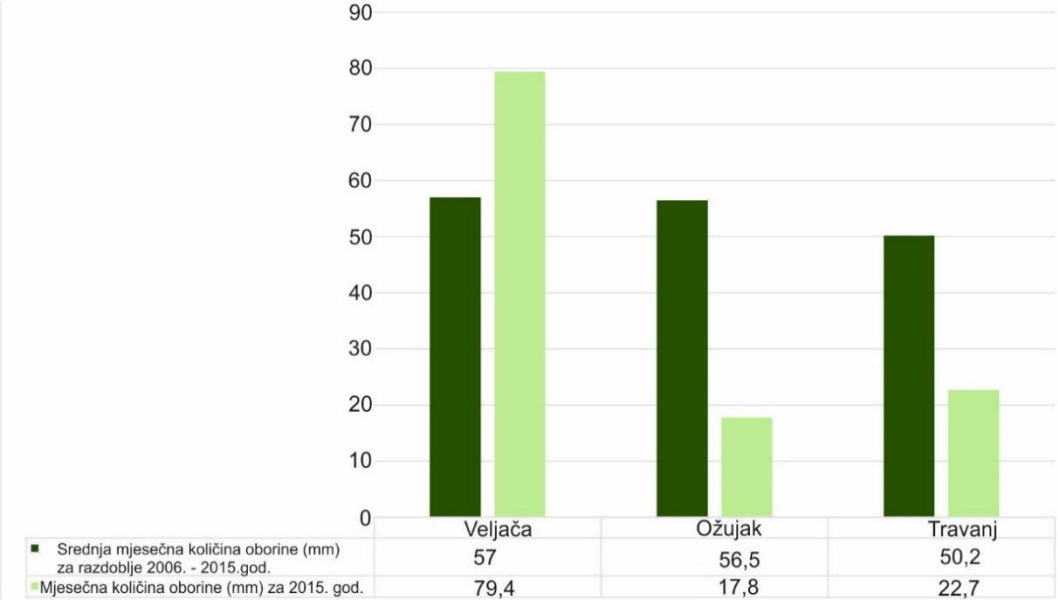
Prosječne srednje mjesečne oborine iznose 110,6 mm za rujan, dok za listopad i studeni iznose 90,1 mm i 55,4 mm (slika 5.14). U rujnu 2014. godine mjesečne količine oborine su veće 63% od srednje mjesečne količine oborine izmjerene za razdoblje 2006.-2015.

godine, dok je u listopadu palo 14% oborine više od prosjeka. U studenom 2014. godine je palo 32% manje oborine od srednje mjesečne količine oborine za studeni. Klizanje se dogodilo u listopadu 2014. godine.



Slika 5.14 Podaci o oborinama na meteorološkoj postaji Zlatar: svijetlo zeleni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od rujna 2014. godine do prosinca 2014. godine, a tamnije zeleni stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 2006.-2015.

Na slici 5.15 je vidljivo da su srednje mjesečne količine oborina podjednake za veljaču, ožujku i travanj te iznose oko 55 mm. U veljači 2015. godine mjesečne količine oborine su veće 39% od srednje mjesečne količine oborine izmjerene za razdoblje 2006.-2015. godine, dok je u ožujku i travnju palo 32% i 45% oborine manje od prosjeka. Klizanja su se dogodila krajem veljače i početkom ožujka 2015. godine.



Slika 5.15 Podaci o oborinama na meteorološkoj postaji Zlatar: svijetlo zeleni stupci prikazuju količine mjesečnih oborina od veljače do svibnja za 2015. godinu, a tamnije zeleni stupci prikazuju srednje mjesečne količine oborine za razdoblje 2006.-2015. godine.

5.5 Granične vrijednosti intenzitet-trajanje oborine

Empirijske granične vrijednosti mogu definirati uvjete oborina koji će kada oborina postigne ili premaši taj iznos vjerojatno izazvati klizišta (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 različito velika područja istraživanja, na globalnoj, nacionalnoj, regionalnoj ili lokalnoj razini, a također se razlikuju i vrste informacija o oborinama koje se koriste kao ulazni podaci za ove analize (Guzzetti i dr., 2007, Guzzetti i dr. 2008).

Procjena pouzdanih regionalnih i lokalnih graničnih vrijednosti oborina zahtijevaju prikupljanje podataka o točnim datumima aktiviranja klizanja, ali i prikupljanje informacija o zemljopisnom položaju i količini oborine koja je prouzročila za masovna aktiviranja klizišta. Iz tog razloga je nužno 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 općine Lobor prikupljani su u okviru ovog diplomskog rada iz različitih izvora, i to: Državnog ureda za zaštitu i spašavanje (DUZS), općine Lobor koja je odgovorna za sanacije klizišta i civilnu zaštitu, geotehničkih elaborata i izvješća, rekognoscirajućim kartiranjem na terenu, javno dostupnih podataka u obliku novinskih članaka ili neobjavljenih publikacija (npr. diplomskih radova).

U inventaru su za svaki oborinski događaj koji je pokrenuo jedno ili više klizišta dani opisni podaci koji uključuju: identifikaciju događaja, lokaciju klizišta, klasifikaciju klizišta, vremensku informaciju (dan, mjesec, godina, vrijeme, datum, vremensku preciznost), te podatke o oborinama (mjerenje 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.

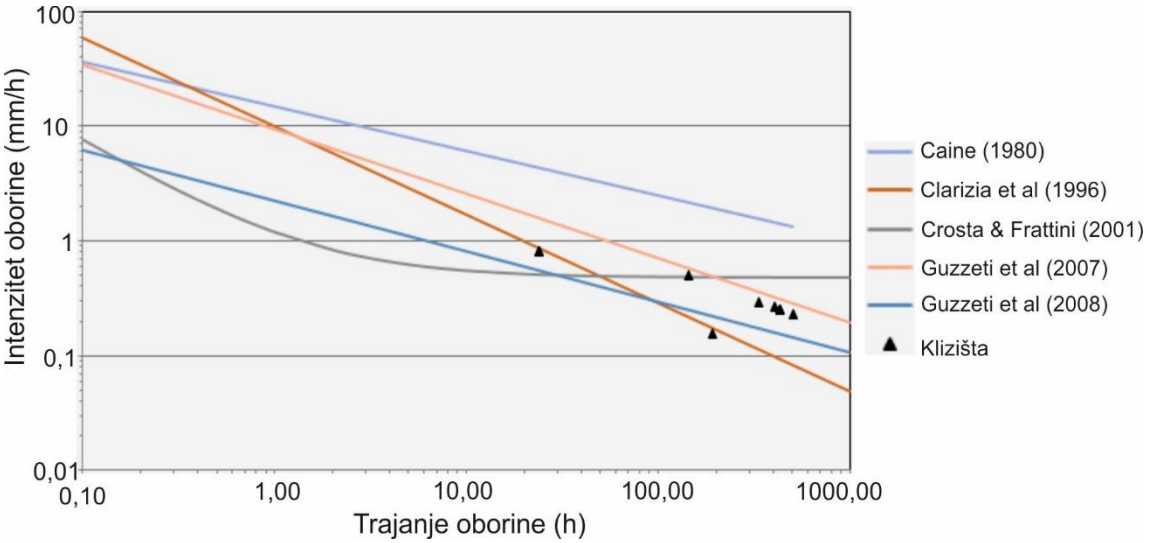
Trajanje oborina (D) određuje se kao vrijeme proteklo između početka oborine i vremena aktiviranja klizišta. Usvojeno je da su dva oborinska događaja odvojena kada postoji minimalno razdoblje bez oborine. Razdoblje od četiri dana bez oborine je određeno za kasnu jesen i zimu (listopad-travanj), a razdoblje od tri dana bez oborine za preostali dio godine (svibanj-rujan). Kada je 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 općine Lobor 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) (tablica 5.2).

Tablica 5.2 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 5.16 pokazuje da su uvjeti, koji su uzrokovali klizišta na području općine Lobor, premašili globalne ID granične vrijednosti oborina prema Clarizia i dr. (1996) za puzanje tla i Guzzeti i dr. (2008) za plitka klizišta, dobivene na temelju podataka na globalnoj razini. Iznimka je klizište u Loborskom Završju aktivirano 14.3.2013. koje pada ispod svih ID krivulja. ID vrijednosti dobivene za područje općine Lobor najsličnije su graničnim vrijednostima prema Guzzeti i dr. (2007) za sve tipove klizišta, dobivenim za područje Italije.



Slika 5.16 Usporedba vrijednosti intenzitet-trajanje (ID) za događaje oborine koji su uzrokovali klizišta na području općine Lobor s ID graničnim vrijednostima prema Clarizia i dr. (1996), Crosta i Fratini (2001), Guzzetti i dr. (2007), te prema Guzzeti i dr. (2008).

6 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Na području općine Lobor od 2013. do 2015. godine aktivirana su više puta klizanja, a u okviru ovog diplomskog rada prikupljeni su podaci o 44 klizišta iz više izvora, od kojih najviše njih iz kartiranja klizišta na terenu. Klizišta predstavljaju geološke hazarde jer uzrokuju materijalne štete na prometnicama, te stambenim objektima, zbog čega su na nekima od evidentiranih klizišta provođena i geotehnička istraživanja u svrhu sanacije klizišta i omogućavanja funkcioniranja prometnica, odnosno sprečavanja ljudskih žrtava oštećivanjem obiteljskih kuća. Usprkos tome, na području općine Lobor 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, a za primjenu u sustavu prostornog uređenja, gradnje ili civilne zaštite. Osnovni preduvjet za prognozu potencijalno opasnih područja je izrada karte klizišta ili inventara klizišta, ali i analiza uzroka klizanja.

U okviru diplomskog rada, kao polazište za organizaciju istraživanja, prikupljeni su mnogobrojni podaci iz različitih izvora. Podaci su prikupljeni iz lokalne samouprave općine Lobor koja je odgovorna za sanacije klizišta i civilnu zaštitu, Državnog ureda za zaštitu i spašavanje, terenskih obilazaka, s internetskih stranica te drugih tehničkih izvješća. Zbog nepouzdanosti prikupljenih podataka, u okviru ovog diplomskog rada, obavljeno je terensko istraživanje sa svrhom provjere podataka na terenu, kao i upotpunjavanja podataka o klizištima. Provjerom postojećih podataka utvrđena su 44 klizišta, od kojih su neka klizišta reaktivirana tijekom 2013., 2014. i 2015. godine. Sva registrirana klizišta nalaze se blizu prometnica ili kuća, te zasigurno postoje i klizišta koja nisu uočena, jer nisu prijavljena od strane lokalnog stanovništva. Na temelju ovih podataka izrađen je inventar oborinom iniciranih klizišta, koji sadrži evidenciju o tipu, lokaciji, datumu pokretanja i površini klizišta. Također su analizirane oborine na području općine Lobor. Iz analize meteoroloških podataka vidljivo je kako se ni jedna klimatološka postaja ne nalazi unutar granica općine Lobor. Usporedbom podataka o godišnjim oborinama, ne uočava se bitna razlika među rezultatima mjerenja, što je rezultat neposredne blizine istih, ali i ujednačene morfologije terena, stoga se sve analizirane postaje mogu smatrati reprezentativnima za promatrano područje. Unatoč tome što je postaja Zlatar dovoljna za reprezentativne iznose oborina s obzirom na veličinu općine, postaje Bednja, Zabok, Krapina i Krapinske Toplice uzete su u obzir zbog provjere podataka i usporedbe podataka. U analizama koje su provedene na podacima o oborinama, posebna je pažnja posvećena

oborinama iz 2013., 2014., i 2015. godine, iz razloga što podaci o točnim datumima aktivacije klizišta potječu upravo iz tih godina, te što su oborinski uvjeti tih godina bili na pragu elementarne nepogode. Uvjeti, koji su uzrokovali klizišta na području općine Lobor, premašili su globalne granične vrijednosti oborina intenzitet-trajanje (ID) dobivene na temelju podataka iz različitih dijelova svijeta prema Clarizia i dr. (1996) i Guzzeti i dr. (2008), te pokazuju vrijednosti najsličnije onima prema Guzzeti i dr. (2007) koje su karakteristične za geografsko područje Italije, te je bilo očekivano da će izazvati klizišta. Poznati su i opisni podaci za 44 klizišta s obzirom na objekte koje ugrožavaju. Više od 81% registiranih klizišta ugrožava prometnice, dok približno 15% klizišta ugrožava stambene objekte. Svi podaci s terena zajedno s interpretiranim geomorfološkim jedinicama objedinjeni su u kartografsku bazu podataka u GIS-u (geografskom informacijskom sustavu) u kojemu je napravljena kartografska baza podataka registriranih i intepretiranih podataka.

7 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.

Aničić., B. i Juriša, M., 1983. Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000. List Rogatec, L 33-68. Beograd: Savezni geološki zavod.

Aničić., B. i Juriša, M., 1985. Tumač za List Rogatec, L 33-68 Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100.000. Beograd: Savezni geološki zavod.

Bernat Gazibara, S., Mihalić Arbanas, S., Krkač, M. 2016. Catalog of precipitation events that triggered landslides in northwestern Croatia. Proceedings of the 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region, Beograd, Srbija, 6.-9. ožujka 2013. U tisku.

Bernat, S., Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., 2014. Landslides Triggered in the Continental Part of Croatia by Extreme Precipitation in 2013. Proceedings of the XII IAEG Congress 'Engineering Geology for Society and Territory', Vol. 2 'Landslide Processes'. Heidelberg: Springer, 2014, str. 1599-1603.

Bonacci, O., 1987. Korekcije sistemskih grešaka mjerenje oborina. Vodoprivreda, 19 (108, 4), str. 193-204.

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. 463487.

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.

Demek, J., 1972. Manual for Detailed Geomorphological Mapping, IGU Commission on Geomorphic Survey and Mapping, Academia, Prague, 1972. 320 str.

DHMZ, Državni hidrometeorološki zavod, 2010. Praćenje i ocjena klime u 2013. 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.

Herak, M., 1960. Kreda s ofiolitima u Ivanščici (sjeverozapadna Hrvatska).(Kreide mit Ophiolithen in der Ivanščica, (NW Croatia), Acta geol. 2 (Prir. Istraž. JAZU 29), 11-120, Zagreb.

Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, V., Marić, K., Markušić, S., Sović, I., 2011. Karta potresnih područja Republike Hrvatske. Zagreb: Državna geodetska uprava.

Krkač, M, Pletikosić, N., Klanfar, M., Bedenicki, N., Mihalić. S., 2010. Analiza osjetljivosti na klizanje u slivu Boljunčice (Istra, Hrvatska). Georeks, 2013, str. 2-3.

Mihalić Arbanas, S., 2007. Osnove inženjerske geologije, Interna skripta RGN fakulteta, Zagreb, 15 poglavlje

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.

Milković, J., 1986. Sistematska pogreška u mjerenju oborina, Rasprave, 21, str. 77-91.

Nakić, Z., 2010. Skripta Geologije okoliša, str.52-57.

Popescu, M. E. 2001. A suggested method for reporting landslide remedial measures. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 60(1), str. 69-74.

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.

Šimunić, An., Šimunić, Al., 1979. Geološka građa Ivanščice i Ravne gore. Geol. vjesnik 31, 157-174, Zagreb.

Šimunić, A., Pikija, M., Hećimović, I., 1982. Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000. Tumač za list Varaždin, L 33-69. Zagreb: Arhiv Hrvatskog geološkog instituta.

Šimunić, A., 2006. Geološke osobitosti hrvatskog Zagorja, Zagreb

Terzaghi, K., 1950. Mechanism of landslides.Application of Geology to Engineering Practice. New York: Geological Society of America, str. 83-123.

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.

WP/WLI (International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) and Canadian Geotechnical Society, 1993. Multilingual landslide glossary. Richmond: BiTech Publishers.

WP/WLI (International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 52, str. 75-78.

Žugaj, R., 2000. Hidrologija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

WWW IZVORI:

Azra, Agencija za razvoj Varaždinske županije, 2016. Strategija razvoja općine Lobor za razdoblje do 2020. godine. Varaždin. URL: http://lobor.hr/wp-content/uploads/2016/06/LRS-Lobor-kona%C4%8Dni-prijedlog.pdf (10.08.2016)

DZS, Državni zavod za statistiku, 2013. Popis stanovništva 2011, Zagreb. URL: http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2012/SI-1468.pdf. (10.8.2016)

Hrvatsko Zagorje, 2015. URL : http://hr .metapedia. org/ wiki/ Hrvatsko_Zagorje # Klima _ Hrvatskog _Zagorja (10.08.2016).

Ivanščica,URL:http://planinarenje.hr/kt/gorja/hrvatsko/hrvatsko-zagorje-i-meimurje/ivanscica/. (10.8.2016)

KZZ glasnik, 2008 URL : http://www. Prostor kzz.hr/ assets /files / prostorni_ planovi/ sluzbeni_glasnik /kzz_glasnik_2008_7%5B1%5D.pdf (10.08.2016)

MZOIP, 2015. URL: http://www.mzoip.hr/doc/elaborat_zastite_okolisa_113.pdf, 2015 (20.11.2016).