

# Procjena hazarda pojave klizanja u flišu

---

**Dugonjić Jovančević, Sanja**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2013**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:188:391856>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-05**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka Library - SVKRI Repository](#)





SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sanja Dugonjić Jovančević

**PROCJENA HAZARDA POJAVE  
KLIZANJA U FLIŠU**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof.dr.sc. Željko Arbanas

Rijeka, 2013.

UNIVERSITY OF RIJEKA  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Sanja Dugonjić Jovančević

**LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT ON  
FLYSCH SLOPES**

DISSERTATION

Rijeka, 2013



Mentor rada: prof.dr.sc. Željko Arbanas

Doktorski rad je obranjen

dana \_\_\_\_\_ u/na \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, pred povjerenstvom u  
sastavu:

1. prof.dr.sc. Čedomir Benac, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, predsjednik povjerenstva
2. prof.dr.sc. Željko Arbanas, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, mentor
3. prof.dr.sc. Leo Matešić, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
4. prof.dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, vanjski član
5. prof.dr.sc. Matjaž Mikoš, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, vanjski član

# ZAHVALA

*Bez pomoći mnogih dragih ljudi ovaj doktorski rad se ne bi mogao realizirati.*

*Iznad svega, hvala mom mentoru prof.dr.sc Željku Arbanasu koji mi je bio najveća podrška tijekom poslijediplomskog dokorskog studija, koji me vodio, savjetovao, poticao i više od toga. Vođa koji me motivirao od početka i uvijek.*

*Hvala prof. dr.sc. Čedomiru Bencu koji me poučio razumjeti geologiju uopće, a posebice geologiju područja istraživanja.*

*Hvala mr.sc.Josipu Rubiniću na dostupnosti, pomoći i savjetima vezanim uz hidrološki dio istraživanja.*

*Hvala Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na provedenim laboratorijskim radovima ispitivanja prikupljenih uzoraka. Posebno hvala prof. dr.sc. Mehi-Saši Kovačeviću i doc.dr.sc. Danijeli Martić.*

*Hvala kolegama s Rudarsko-naftno-geološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, prof.dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas i asistentima na prvim koracima u GIS-u.*

*Hvala hrvatsko-japanskom projektu 'Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia' na raspoloživom softveru u vrijeme izrade disertacije (GIS, LS-Rapid) i svim japanskim kolegama čija su predavanja neizravno utjecala na izradu ovog dokorskog rada. Posebice prof.dr.sc. Kyoji Sassa i dr.sc.Osamu Nagai na uvođenju u LS-Rapid, prof.dr.sc. Hiroshi Yagi i prof.dr.sc. Toyohiko Miyagi na poduci o stereoskopskoj interpretaciji aerofotogrametrijskih snimaka; doc.dr.sc. Chunxiang Wang na savjetima oko analiza unutar GIS-a i svima ostalima.*

*Hvala Državnom hidrometeorološkom zavodu na velikoj količini podataka o dnevnim i mjesečnim oborinama u traženim razdobljima, Institutu građevinarstva Hrvatske, Županijskoj upravi za ceste Istarske županije i ostalima koji su bili glavni izvori*

*prikupljenih podataka o dokumentiranim klizištima u formi geotehničkih elaborata,  
projekata sanacije i dr.*

*Hvala mojim kolegama: Vedranu, Martini i Kristijanu, jer su znali podijeliti teret i  
ostaviti prostora i vremena da ova disertacija ugleda svjetlo dana. Hvala im na  
potpori i prijateljstvu.*

*Hvala mom dragom Marku na ljubavi, poticaju i podršci koju mi je pružao na svakom  
koraku i mojoj Viti koja je bila inspiracija na svoj poseban način. Hvala mojoj obitelji  
jer su bili puni ljubavi i razumijevanja.*

## SAŽETAK

U ovom doktorskom radu prikazani su rezultati istraživanja hazarda pojave klizanja analizirane na području središnje Istre u naslagama fliša. Hazard pojave klizanja definiran je kao vjerojatnost pojave klizišta, kao potencijalno štetnog prirodnog procesa, koji može nanijeti štetu, gubitak i prouzrokovati druge nepovoljne efekte. Izražen je kao vjerojatnost pojave klizišta određenog intenziteta na određenom području, u određenom vremenskom razdoblju. Područje istraživanja nalazi se u sjeveroistočnom dijelu Istre u području Pazinskog paleogenskog flišnog bazena koji se proteže od Tršćanskog zaljeva na zapadu do planine Učka na istoku, dok je na sjeveru ograničen masivom Ćićarije. Slične siliciklastične sedimente stijene paleogenske starosti rasprostranjene su gotovo u cijelom priobalnom području duž hrvatske obale Jadranskog mora, kao i u zaleđu. Na terenima izgrađenim od flišnih naslaga prisutni su intenzivni geomorfološki procesi, osobito erozija i pokreti masa na kosinama. Klizišta na flišnim kosinama Istre relativno su brojna, a tipovi, mehanizmi i uvjeti nastanka klizišta su slični. Provedena istraživanja obuhvatila su slijedeće faze: prikupljanje povijesnih podataka iz stručne dokumentacije i literature, pripremu i obradu podataka, izradu karte postojećih klizišta i karata uzročnika klizanja, laboratorijske analize fizičko-mehaničkih svojstava tla i stijena, prostorne analize uzročnih faktora klizanja, odabir ulaznih podataka i parametara za determinističke analize hazarda klizanja, procjenu hazarda klizanja, verifikaciju modela i diskusiju sa zaključnim razmatranjima. Provedena je deterministička 3D simulacija pokretanja klizanja zasnovana na modelu terena s debljinama pokrivača pretpostavljenim na temelju prethodnih istražnih radova, poznatim geotehničkim parametrima materijala tla/stijene i utjecaju podizanja razine podzemne vode uslijed infiltracije oborinskih voda. Model prikazuje fenomen progresivnog sloma, uzimajući u obzir veličinu pornog pritiska i širenje sloma od inicijalne zone u kojoj je prekoračena čvrstoća materijala, prema okolnom području, što povećava volumen klizišta i samim time ukazuje na područje u kojem je vjerojatna pojava klizanja pri određenim razinama podzemne vode u tlu. Deterministička analiza hazarda klizanja usvojena je kao pouzdana metoda procjene pojave hazarda klizanja u flišu jer omogućava modeliranje heterogenih uvjeta u kosinama u flišu uvjetovanim morfologijom terena, inženjerskogeološkim profilom, geotehničkim parametrima materijala u profilu, veličini

pornog pritiska i dr., te daje objektivne i dovoljno precizne rezultate koji se mogu prikazati u obliku karte podložnosti klizanju ili karte hazarda, a koje se mogu koristiti u prostornom planiranju i korištenju zemljišta. Iz rezultata simulacije u determinističkom modelu razvijenom u programskom paketu LS-Rapid, vidljivo je da je područje s najvišom prostornom vjerojatnošću klizanja zona uz geološku granicu vapnenaca i fliša na sjeveroistoku područja istraživanja, što je potvrđeno postupkom validacije, a koji se sastojao od preklapanja karte hazarda klizanja s kartom postojećih klizišta. Područja visokog hazarda unutar kojih nije registrirano već postojeće klizište smatraju se potencijalno visoko podložna klizanju ukoliko se ostvare utvrđeni uvjeti potrebni za pokretanja klizišta. Kako bi se odredio povratni period, odnosno vremenska vjerojatnost pojave klizanja, osim prostorne analize faktora klizanja provedena je i analiza vremenske komponente hazarda. Analizirane su oborine koje su prethodile događajima klizanja i određene tromjesečne kumulativne oborine koje prelaze kumulativne vrijednosti koje su pokrenule određeno klizište u promatranom razdoblju. Povezivanjem rezultata prostorne determinističke analize s izračunatim povratnim periodima pojave dugotrajnih i kontinuiranih oborina koje su izazvale neka od analiziranih klizišta, omogućuje određivanje hazarda na određenoj lokaciji područja istraživanja. Primijenjena metodologija procjene hazarda klizanja može se koristiti na područjima slične geološke građe i sličnih značajki tla i stijena.

**KLJUČNE RIJEČI:** hazard klizanja, fliš, središnja Istra, deterministička metoda

## SUMMARY

This dissertation shows results of landslide hazard assessment performed in flysch deposits in the area of central Istria. Landslide hazard is defined as probability of landslide occurrence, considered to be a potentially harmful natural process, which can cause damage, loss and bring about other unfavorable effects. Landslide hazard is expressed as probability of landslide occurrence within a specific area and in a specific period of time, with a certain magnitude. The area of investigation is placed in the northeastern part of Istria, in the area of Pazin Paleogene flysch basin which spreads from Trieste Bay in the west, to the Učka Mountain in the east, while in the north it is bordered with Ćićarija Mountain range. Similar siliciclastic sediment rocks of Paleogene age are spread in almost whole Adriatic Croatian coastal zone, as well as in the hinterland. Intensive geomorphologic processes are present in flysch terrains, especially erosion and slope movements. Landslides in flysch slopes in Istria are relatively numerous, and types, mechanisms and conditions of appearance are similar. The performed investigations involved following phases: gathering of historical data from the professional documentation and literature, data preparation and analysis, production of the existing landslide map and landslide causal factor maps, laboratory analyses of physical-mechanical characteristics of soil and rock, spatial analyses of causal factors, selection of the input data and parameters for the deterministic analysis, landslide hazard assessment, model verification and discussion with final conclusions. 3D deterministic simulation of landslide initiation was performed based on the terrain model, cover thickness assumed on the basis of performed investigations, known geotechnical parameters of soil/rock material and influence of the groundwater level rising due to infiltration. Model shows the progressive failure phenomenon, taking into account pore pressure values and expansion of the failure from initial zone in which material strength was exceeded, to the surrounding area, what increases the landslide volume and by that implies to the area in which landslide occurrence is probable at specific groundwater levels. Deterministic landslide hazard analysis was adopted as reliable method of landslide hazard assessment in flysch area, since it allows modeling of heterogeneous conditions in flysch slopes, conditioned with the terrain morphology engineering geological profile, geotechnical parameters of the profile material, pore pressure

value etc., and gives objective and precise results that can be shown on the landslide susceptibility and landslide hazard maps used in regional planning and land use. From the results of simulation inside deterministic model developed in LS-Rapid software it can be seen that area with highest spatial probability of sliding is zone next to the geological boundary between limestone and flysch rock in the northeastern part of investigated area, what was confirmed by validation process which consisted of comparing landslide hazard map with landslide inventory. Areas of high hazard, in which no existing landslide was registered, are considered to be potentially highly susceptible in case established conditions for landslide initiation are achieved. To establish the return period, respectively temporal probability of landslide appearance, analysis of the temporal component of landslide hazard was performed next to spatial analysis of sliding factors. Precipitations that anticipated sliding were analyzed and cumulative precipitations which exceed cumulative values that triggered certain landslide in the observed period were determined. Connecting results of the spatial deterministic analysis with calculated return periods of long term, continuous precipitations that triggered some of the analyzed landslides, allows determination of landslide hazard in a specific location of the investigation area. Applied methodology of landslide hazard assessment can be used in areas of similar geological fabric and similar soil and rock material characteristics.

**KEYWORDS:** landslide hazard, flysch, central Istria, deterministic method

# SADRŽAJ

ZAHVALA.....	I
SAŽETAK.....	III
SUMMARY.....	V
SADRŽAJ.....	VII
POPIS SLIKA.....	VIII
POPIS TABLICA .....	XII
1 UVOD.....	1
1.1 Problem klizanja u flišu.....	4
1.2 Sadržaj doktorskog rada.....	9
1.3 Ciljevi istraživanja.....	12
1.4 Metodologija istraživanja.....	13
2 ANALIZA I ZONIRANJE HAZARDA KLIZANJA.....	18
3 PRIRODNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA .....	28
3.1 Klimatske značajke.....	28
3.2 Geološka građa.....	33
3.3 Hidrološke i hidrogeološke značajke .....	37
4 PRIKUPLJANJE I OBRADA ULAZNIH PODATAKA ZA PROCJENU HAZARDA KLIZANJA NA FLIŠNIM KOSINAMA SREDIŠNJE ISTRE .....	41
4.1 Pregled stanja klizišta u području flišnih kosina središnje Istre.....	42
4.1.1 Klizište i tok sitnozrnastog materijala Krbavčići .....	46
4.1.2 Klizišta na području Raspadalica .....	51
4.1.3 Klizište Krušvari .....	54
4.1.4 Klizište Drazej.....	56
4.1.5 Klizište Brus .....	58
4.1.6 Klizište Marinci .....	61
4.1.7 Klizište Juradi.....	63
4.2 Inventar klizišta.....	66
4.3 Podaci o oborinama .....	70
4.4 Geotehničke značajke naslaga fliša .....	74
5 ANALIZA UZROČNIH FAKTORA I INICIJATORA KLIZANJA .....	87
5.1 Prostorna analiza na području pokraj Grada Buzeta.....	88
5.2 Vremenska analiza inicijatora klizanja i ocjena karaktera oborina.....	101
6 DETERMINISTIČKI MODEL PROCJENE HAZARDA KLIZANJA.....	114
6.1 Deterministički model za proračun indeksa stabilnosti, SINMAP .....	115
6.2 Deterministički 3D model za simulaciju početka klizanja uzrokovanog oborinama (LS-Rapid).....	122
6.3 Vremenska komponenta hazarda klizanja.....	139
7 DISKUSIJA .....	144
8 ZAKLJUČAK.....	159
LITERATURA.....	161
PRIVITAK- PROCJENA PODLOŽNOSTI KLIZANJU 3D DETERMINISTIČKIM MODELOM U LS-RAPIDU UNUTAR 30 DANA PODIZANJA KOEFICIJENTA PORNOG PRITISKA S VRIJEDNOSTI 0 NA VRIJEDNOST 0,6 (PLAVO-STABILNO PODRUČJE, NARANČASTO-NESTABILNO PODRUČJE) .....	187
ŽIVOTOPIS.....	198



## POPIS SLIKA

<i>Slika 1.1 Shematski prikaz Bouma sekvencije (Tišljar 2004)</i> .....	5
<i>Slika 1.2 Rasprostranjenost flišnih facijesa (Marinčić 1981)</i> .....	6
<i>Slika 1.3 Metodologija istraživanja unutar doktorskog rada</i> .....	14
<i>Slika 2.1 Konceptijska veza između hazarda, elemenata rizika, ranjivosti i rizika (Alexander 2002)</i> ..	20
<i>Slika 2.2 Okvir upravljanja rizikom (Fell i dr. 2008)</i> .....	21
<i>Slika 2.3 Prostorna i vremenska komponenta hazarda klizanja-model za Rheinhessen (Varnes 1984, prilagođen prema Dikau i Jäger 1995, Jäger 1997)</i> .....	22
<i>Slika 2.4 Metode procjene hazarda od pojave klizišta (Aleotti i Chowdhury 1999)</i> .....	24
<i>Slika 2.5 Upotreba GIS-a u kvalitativnoj analizi hazarda (Soeters i van Westen 1996)</i> .....	26
<i>Slika 3.1 Klimatološka karta Istre (Ogrin 2005)</i> .....	29
<i>Slika 3.2 Godišnje količine oborina na području Istre prema podacima DHMZ-a za 2011. godinu (Zaninović i dr. 2008)</i> .....	31
<i>Slika 3.3 Srednje mjesečne količine oborina na području Istre (izrađeno prema podacima sa šest mjernih postaja uključenih u istraživanje) za razdoblje 1961.-2010.</i> .....	32
<i>Slika 3.4 Pojednostavljena geološka karta Istre (modificirano prema Velić i dr. 1995)</i> .....	33
<i>Slika 3.5 Geološki stup siliciklastičnih naslaga paleogena u središnjoj Istri (Bergant i dr. 2003)</i> .....	34
<i>Slika 3.6 Lapor i donjeg dijela flišne serije kod naselja Draguč (foto: Č. Benac, 2002.)</i> .....	35
<i>Slika 3.7 Naslage siltita u ritmičkoj izmjeni s tankim slojevima pješčenjaka: a) lokacija klizišta Brus, 2010.; b) lokacija Jurčiči, 2008.</i> .....	35
<i>Slika 3.8 Pogled na sjeveroistočni dio područja istraživanja, prema položaju reversnog rasjeda i kontaktu flišne stijenske mase s vapnencima.</i> .....	36
<i>Slika 3.9 Karakterističan geološki profil (modificirano prema: Arbanas i dr. 2006)</i> .....	37
<i>Slika 4.1 Područje središnje Istre i područje okolice Grada Buzeta</i> .....	42
<i>Slika 4.2 Recentna dokumentirana klizišta na flišnim kosinama središnje Istre (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	43
<i>Slika 4.3 Geološka karta područja Krbavčiči. Tumač oznaka: 1. paleogenski vapnenci; 2. paleogenski lapori, fliš i kvartarne tvorevine; 3. reversni rasjed; 4. klizište; 5. blatni tok; 6. karakterističan geološki profil (vidi sliku 3.9); 7. povremeni vodotok (modificirano prema: Arbanas i dr. 2006)</i> .....	46
<i>Slika 4.4 Detaljna karta klizišta Krbavčiči: (a) klizište 1979. godine; (b) tok sitnozrnastog materijala tla 2003. godine (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	47
<i>Slika 4.5 Tok sitnozrnastog materijala tla Krbavčiči reaktiviran u siječnju 2003. godine (foto: Ž. Arbanas, 2003.)</i> .....	48
<i>Slika 4.6 Klizišta Raspadalica 1-5 prikazana na preglednoj karti područja istraživanja</i> .....	51
<i>Slika 4.7 Pogled na stepeničasto-valoviti teren i nagnuto drveće na klizištu Krušvari (snimljeno u vrijeme istraživanja, foto: Ž. Arbanas, 2004.)</i> .....	54
<i>Slika 4.8 Detaljna karta klizišta Krušvari (modificirano prema stručnoj dokumentaciji [12])</i> .....	55

<i>Slika 4.9 Fotografije oštećenja prometnice snimljene nakon klizanja na klizištu Drazej (foto: Ž. Arbanas, 2. siječanj 2005.)</i> .....	57
<i>Slika 4.10 Detaljna karta klizišta Drazej (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	57
<i>Slika 4.11 Klizište Brus: a) pogled s glavnog ožiljka klizišta u smjeru nožice (foto: Ž. Arbanas, kolovoz 2005. godine), b) pogled na bočni ožiljak klizišta nekoliko godina nakon klizanja (siječanj 2009.)</i> .....	59
<i>Slika 4.12 Fotografija površine klizne plohe (foto: Ž. Arbanas, kolovoz 2005.)</i> .....	59
<i>Slika 4.13 Detalja karta i uzdužni presjek klizišta Brus (modificirano prema Arbanas i dr. 2010a)</i> .....	60
<i>Slika 4.14 Fotografije snimljene nakon klizanja na klizištu Marinci (foto: Ž. Arbanas, 2006.)</i> .....	62
<i>Slika 4.15 Detaljna karta klizišta Marinci (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012).</i> .....	63
<i>Slika 4.16 Fotografije snimljene nakon početka klizanja na klizištu Juradi: a) i b) fotografije glavnog ožiljka; c) i d) fotografije oštećenja na objektima unutar klizišta (travanj 2011.)</i> .....	64
<i>Slika 4.17 Detaljna karta i uzdužni presjek klizišta Juradi (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012).</i> .....	65
<i>Slika 4.18 Shematski prikaz šest aerofotogrametrijskih snimaka korištenih u analizi prikazanih na ortofoto snimcima području sjeverno od Grada Buzeta</i> .....	67
<i>Slika 4.19 Aerofotogrametrijski snimci iz 2009. godine korišteni u izradi inventara klizišta s uvećanim dijelom područja na stereogramu</i> .....	68
<i>Slika 4.20 Inventar klizišta na području istraživanja</i> .....	69
<i>Slika 4.21 Kartografski prikaz lokacija meteoroloških postaja na području središnje Istre (1. Abrami, 2. Rakitovec, 3. Vodice, 4. Lanišće, 5. Lupoglav, 6. Pazin) s izolinijama srednje godišnja distribucija oborina u milimetrima (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	70
<i>Slika 4.22 Područje utjecaja meteoroloških postaja (MP) na klizišta središnje Istre</i> .....	71
<i>Slika 4.23 Ukupne godišnje oborine sa svih meteoroloških postaja na području središnje Istre uključenih u istraživanje povezane s događajima klizanja</i> .....	73
<i>Slika 4.24 Lokacije na kojima su uzeti uzorci za dodatna laboratorijska ispitivanja. U podlozi je ortofoto snimak područja grada Buzeta iz 2004. godine (crveno su označena postojeća klizišta iz inventara klizišta)</i> .....	74
<i>Slika 4.25 Granulometrijski sastav uzoraka na klizištima središnje Istre (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	77
<i>Slika 4.26 Dijagram plastičnosti s distribucijom uzoraka: a) lokacije dokumentiranih klizišta u Sivoj Istri (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012) b) šest lokacija oko klizišta Krbavčići i Raspadalica (lokacije prikazane na slici 4.24), prema stručnoj dokumentaciji [4]</i> .....	79
<i>Slika 4.27 Stupnjevi trošenja flišne stijenske mase (ISRM 1981): F-svježa (engl. fresh), SW-slabo trošna (engl. slightly weathered), MW-umjereno trošna (engl. moderately weathered), HW- jako rastrošena (engl. highly weathered), CW- potpuno raspadnuta (engl. completely weathered), RS-rezidualno tlo (engl. residual soil)</i> .....	85
<i>Slika 4.28 Trošenje i dekompozicija flišne stijenske mase izložene vodi i atmosferskim uvjetima: a) svježa stijenska masa, b) blago trošna stijenska masa, c) umjereno do jako trošna stijenska masa, d) raspadanje jako trošne stijenske mase pod laganim dodiranjem ruke</i> .....	86
<i>Slika 5.1 Karta namjene zemljišta na području istraživanja izrađena na temelju ortofoto snimaka 2004. godine</i> .....	90

<i>Slika 5.2 Karta površinskih tokova područja istraživanja s prikazom područja zahvaćenih erozijom fliških ogolina</i> .....	91
<i>Slika 5.3 Karta izvedenih litoloških jedinica na područja istraživanja</i> .....	92
<i>Slika 5.4 Digitalni model visina terena istraživanog područja</i> .....	93
<i>Slika 5.5 Karta nagiba kosine izvedena iz DEM-a rezolucije 5x5 m</i> .....	94
<i>Slika 5.6 Karta orijentacije kosina izvedena iz DEM-a rezolucije 5x5 m</i> .....	95
<i>Slika 5.7 Karta područja istraživanja podijeljena u četiri zone uvjetne vjerojatnosti i podložnosti klizanju</i> .....	99
<i>Slika 5.8 Područja od posebnog interesa s preklopljenom kartom klizišta (prema Prostornom planu uređenja Grada Buzeta – stručna dokumentacija [9] i [10])</i> .....	100
<i>Slika 5.9 Ukupne godišnje oborine (mm) zabilježene na meteorološkim postajama povezanim s događajem klizanja i uspoređene s prosječnom količinom oborina na svim mjernim postajama u odgovarajućoj godini (crvena linija pokazuje prosječnu količinu oborina u flišnom području Istre od 1961.-2010. uzimajući u obzir šest mjernih postaja)</i> .....	104
<i>Slika 5.10 Dijagram oborina za klizište Krbavčići 1978.-1979. godine (podaci s mjerne postaje Abrami). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	106
<i>Slika 5.11 Dijagram oborina za tok Krbavčići 2003. godine (podaci s mjerne postaje Abrami). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	107
<i>Slika 5.12 Dijagram oborina za klizište Drazej 2005. godine (podaci s mjerne postaje Pazin). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta)</i> .....	108
<i>Slika 5.13 Dijagram oborina za klizište Brus 2005. godine (podaci s mjerne postaje Lupoglav). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	109
<i>Slika 5.14 Dijagram oborina za klizište Marinci 2006. godine (podaci s mjerne postaje Abrami). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta)</i> .....	110
<i>Slika 5.15 Dijagram oborina za klizište Juradi 2010. godine (podaci s mjerne postaje Lupoglav). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)</i> .....	111
<i>Slika 5.16 Model infiltracije oborina u tlo s pretpostavljenom kliznom plohom</i> .....	112
<i>Slika 6.1 Shematski prikaz dubine klizne plohe i nivoa podzemne vode korištenih u jednadžbi 6.1</i> ..	116
<i>Slika 6.2 Shematski prikaz veličina u jednadžbi stabilnosti beskonačne kosine (modificirano prema: Hammond i dr. 1992, Pack i dr. 1998)</i> .....	117

<i>Slika 6.3 Koncept bezdimenzionalnog faktora kohezije (SINMAP priručnik za korištenje, Pack i dr. 2005).....</i>	<i>119</i>
<i>Slika 6.4 Definicija specifične površine sliva a (SINMAP priručnik za korištenje, Pack i dr.2005).....</i>	<i>121</i>
<i>Slika 6.5 Koncept programskog paketa LS-Rapid: a akceleracija, m masa, W vlastita težina, Fv, Fx, Fy sile potresa, P bočni pritisak, R posmična čvrstoća koja uključuje utjecaj pornog pritiska U, v brzina, a koeficijent potrošene energije bez utjecaja trenja (Sassa i dr. 2010).....</i>	<i>124</i>
<i>Slika 6.6 Projekcija potresnih sila na horizontalnu ravninu. Lijevo, gravitacija i vertikalna potresna sila. Desno, horizontalne potresne sile (x i y smjer) (Sassa i dr. 2010).....</i>	<i>126</i>
<i>Slika 6.7 Prividni koeficijent trenja (<math>\tan \varphi_a</math>), posmični otpor u stanju dinamičke ravnoteže (<math>\tau_{ss}</math>) i koeficijent trenja tijekom kretanja (<math>\tan \varphi_m</math>) (Sassa i dr. 2010) .....</i>	<i>126</i>
<i>Slika 6.8 Odnos između stupnja generiranja pornog pritiska (Bss) i prividnog koeficijenta trenja (<math>\tan \varphi_a</math>), (Sassa i dr. 2010) .....</i>	<i>128</i>
<i>Slika 6.9 Nedrenirano opterećenje putujuće klizne mase na potencijalno nestabilne naslage koji se nalaze na njezinoj putanji (Sassa i dr. 2010).....</i>	<i>130</i>
<i>Slika 6.10 Digitalni model terena za istraživano područje u programu LS-Rapid, mreža 30 m, slojnice 10 m: a) 2D prikaz, b) 3D prikaz.....</i>	<i>133</i>
<i>Slika 6.11 Debljina pokrivača na flišnom području u modelu za program LS-Rapid(zeleno područje s pokrivačem, smeđe područje vapnenaca i pješčenjaka na površini terena) .....</i>	<i>134</i>
<i>Slika 6.12 Procjena podložnosti klizanju u programu LS Rapid uz podizanje koeficijenta pornog pritiska <math>r_u</math> od 0 do 0,6 (plavo stabilno područje, narančasto nestabilno područje) (za pregled utjecaja <math>r_u</math> svakih 24 sata u 30 dana pogledati privitak) .....</i>	<i>136</i>
<i>Slika 6.13 Područja namjene površina prema Prostornom planu uređenja Grada Buzeta preklopljena s područjima podložnim klizanju prema rezultatima determinističkog modela procjene hazarda provedene programom LS- Rapid .....</i>	<i>138</i>
<i>Slika 6.14 Pojava događaja s tromjesečnim velikim oborinama i broj kišnih dana u istom razdoblju. 140</i>	
<i>Slika 6.15 Prikaz proračunatog broja pojava kumulativne oborine koja premašuje kritičnu tromjesečnu vrijednost u jednoj godini, u ovisnosti o povratnom periodu.....</i>	<i>143</i>
<i>Slika 7.1 Karta podložnosti klizanju dobivena bivarijantnom statističkom analizom u GIS-u preklopljena s inventarom klizišta .....</i>	<i>148</i>
<i>Slika 7.2 Usporedba rezultata determinističke analize procjene hazarda klizanja i lokacije postojećih klizišta .....</i>	<i>149</i>
<i>Slika 7.3 Usporedba rezultata statističke analize provedene u GIS-u i rezultata determinističke analize procjene hazarda u programu LS- Rapid .....</i>	<i>151</i>

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 2.1 Definicije osnovnih pojmova (AGS 2007) .....</i>	<i>19</i>
<i>Tablica 3.1 Meteorološke postaje (MP) i podaci o srednjim godišnjim količinama oborina (MAP).....</i>	<i>32</i>
<i>Tablica 3.2 Podaci o srednjim mjesečnim količinama oborina (mm) za razdoblje 1961.-2010. ....</i>	<i>32</i>
<i>Tablica 4.1 Osnovni podaci o recentnim klizištima (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012).....</i>	<i>45</i>
<i>Tablica 4.2 Prikaz dimenzija pojava nestabilnosti Krbavčići (Arbanas i dr. 2006, Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012) .....</i>	<i>48</i>
<i>Tablica 4.3 Prikaz intenziteta oborina u razdoblju nastalih nestabilnosti na meteorološkoj postaji Abrami (Arbanas i dr. 2006) .....</i>	<i>49</i>
<i>Tablica 4.4 Mineralni sastav materijala na kosini (Arbanas i dr. 2006).....</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 4.5 Prikaz dimenzija klizišta Krušvari (prema stručnoj dokumentaciji [12]).....</i>	<i>56</i>
<i>Tablica 4.6 Prikaz dimenzija klizišta Drazej (prema stručnoj dokumentaciji [11]).....</i>	<i>58</i>
<i>Tablica 4.7 Prikaz dimenzija klizišta Brus (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012).....</i>	<i>61</i>
<i>Tablica 4.8 Prikaz dimenzija klizišta Marinci (prema stručnoj dokumentaciji [8]).....</i>	<i>63</i>
<i>Tablica 4.9 Prikaz dimenzija klizišta Juradi (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012) .....</i>	<i>65</i>
<i>Tablica 4.10 Podaci o ukupnim godišnjim i prosječnim oborinama na meteorološkim postajama središnje Istre .....</i>	<i>71</i>
<i>Tablica 4.11 Inženjerski opisi tala pokrivača iz kojih su uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja na lokacijama prikazanim na slici 4.23 (fotografije: područje Buzet, 2010) .....</i>	<i>75</i>
<i>Tablica 4.12 Podaci ispitivanja granulometrijskog sastava uzoraka s lokacija na području istraživanja kraj grada Buzeta (slika 4.23)(prema stručnoj dokumentaciji [3] .....</i>	<i>78</i>
<i>Tablica 4.13 Geotehničke značajke uzoraka tla iz tijela klizišta na području središnje Istre (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012) .....</i>	<i>80</i>
<i>Tablica 4.14 Karakteristike materijala i kosina klizišta na istraživanom području(prema stručnoj dokumentaciji [20], [22], [23], [24], [25]) .....</i>	<i>81</i>
<i>Tablica 4.15 Raspon umanjenih vrijednosti GSI parametra (GSI') određenih povratnim analizama (modificirano prema: Žufić 2011- područje 1 i Gulam 2012 – područje 1 i 2) .....</i>	<i>82</i>
<i>Tablica 4.16 Vrijednosti parametara čvrstoće za reprezentativne vrijednosti čvrstoće intaktne stijene i procijenjene vrijednosti GSI (modificirano prema Žufić 2011).....</i>	<i>84</i>
<i>Tablica 4.17 Stupnjevi trošenja stijenske mase (ISRM 1981).....</i>	<i>86</i>
<i>Tablica 5.1 Tematske karte korištene u analizama.....</i>	<i>89</i>
<i>Tablica 5.2 Gustoća ili uvjetna vjerojatnost klasa faktora klizanja na istraživanom području .....</i>	<i>98</i>
<i>Tablica 5.3 Analiza vjerojatnosti pojave maksimalnih dnevnih oborina .....</i>	<i>102</i>
<i>Tablica 5.4 Analiza vjerojatnosti pojave maksimalnih mjesečnih oborina.....</i>	<i>102</i>
<i>Tablica 5.5 Značajke registriranih oborina na analiziranim lokacijama klizišta .....</i>	<i>103</i>
<i>Tablica 6.1 Definicija razreda stabilnosti (SINMAP priručnik za korištenje, Pack i dr.2005).....</i>	<i>122</i>
<i>Tablica 6.2 Okvirne vrijednosti za parametre tla korištene u programu LS-Rapid (Sassa i dr. 2010) .....</i>	<i>131</i>
<i>Tablica 6.3 Okvirne vrijednosti za uvjete proračuna u programu LS-Rapid (Sassa i dr. 2010) .....</i>	<i>132</i>

<i>Tablica 6.4 Vrijednosti parametara u programu LS-Rapid za odabrano područje analize.....</i>	<i>132</i>
<i>Tablica 6.5 Površine prema karti namjene područja iz Prostornog plana uređenja Grada Buzeta koje su prema determinističkoj analizi provedenoj programom LS- Rapid podložne klizanju .....</i>	<i>139</i>
<i>Tablica 6.6 Registrirane tromjesečne oborine koje prelaze kritičnu vrijednost pokretanja pojedinog klizišta s brojem kišnih dana i maksimalnom oborinom u istom razdoblju .....</i>	<i>141</i>
<i>Tablica 6.7 Nastavak .....</i>	<i>142</i>
<i>Tablica 6.8 Vjerojatnost godišnje pojave uzastopnih mjeseci s količinama oborine većim od kritične vrijednosti zabilježene pri klizanjima većih razmjera.....</i>	<i>142</i>
<i>Tablica 7.1 Površine koje su obuhvaćene određenim razredom podložnosti klizanju prema bivarijantnoj statističkoj analizi provedenoj u GIS-u .....</i>	<i>146</i>

# 1 UVOD

Proces klizanja je pokretanje mase stijene, sitnozrnastog ili krupnozrnastog materijala tla niz kosinu pod utjecajem gravitacije (Varnes 1978, Hutchinson 1988, Cruden 1991, Cruden i Varnes 1996), koje nastaje kada posmična naprezanja prekorače posmičnu čvrstoću materijala. Procesom klizanja nastaju geodinamičke pojave na koje ukazuje karakteristična morfologija terena. S obzirom na raznolikost tipova i oblika klizišta, razvijene su i brojne klasifikacije klizišta (Varnes 1978, Hutchinson 1968). Danas su opće prihvaćene klasifikacije klizišta koje je tijekom devedesetih godina izradila Radna skupina za svjetski inventar klizišta unutar UNESCO-ovog međunarodnog geotehničkog društva (IUGS) (engl. *International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory – WP/WLI*), a koje su objedinjene u Višejezičnom rječniku klizišta (WP/WLI 1993). Klasifikaciju klizišta u tlima dali su Skempton i Hutchinson (1969). Može se reći da je klizanje tla jedna od nekoliko vrsta prirodnih opasnosti (geohazarda) koja predstavlja prijetnju širom svijeta u rasponu od manjih poremećaja do katastrofalnih razmjera, u ekonomskom i socijalnom smislu, uključujući i gubitke ljudskih života.

U literaturi se pojmovi podložnost klizanju (engl. *landslide susceptibility*) i hazard klizanja (engl. *landslide hazard*) često koriste nekonzistentno. Naime, vrlo često se koriste kao sinonimi, iako predstavljaju različite koncepte analiza (Guzzetti 2005, Fell i dr. 2008). Podložnost klizanju je vjerojatnost pojave klizišta na određenom području uslijed karakterističnih lokalnih uvjeta terena (Brabb 1984). Hazard klizanja je vjerojatnost događanja sloma kosine koji će nanijeti potencijalnu štetu na određenom području u određenom vremenskom razdoblju. Definicija koju su predložili Varnes i Komisija za klizišta i druge pokrete masa (engl. *Commission on Landslides and other Mass-Movements*) (1984), unutar Međunarodnog društva za inženjersku geologiju i okoliš (IAEG) (engl. *International Association for Engineering Geology and the Environment*) je najšire prihvaćena definicija prirodnog hazarda, koja hazard definira kao vjerojatnost događanja potencijalno štetne pojave, unutar određenog vremenskog razdoblja, na određenom području. Guzzetti i dr. (2005a) navode slijedeće koncepte koje ona eksplicitno uključuje: (i) jačinu klizanja (*veličina i intenzitet*), (ii) geografsku lokaciju klizanja (*gdje?*), (iii) učestalost događaja (*kada?, koliko često?*). Analiza hazarda klizanja uključuje geotehničke i inženjerskogeološke

procjene, geomorfološke i geografske analize, političku i gospodarsku perspektivu razvoja područja, kao i ekonomske i socijalne okolnosti u analiziranom području, te zahtijeva poznavanje faktora koji utječu na prostorno i vremensko variranje prijetjećeg procesa. Točnost s kojom se hazard klizanja može procijeniti ovisi o kvaliteti i količini dostupnih podataka, utrošenom vremenu za prikupljanje i obradu podataka, te provođenje potrebnih analiza, cijeni koštanja istraživanja elemenata potrebnih za dobivanje ulaznih parametara i dr.

Većina današnjih procjena hazarda klizanja temelji se na pretpostavci da će se budući pokreti na kosinama vjerojatno pojaviti u uvjetima sličnim onima koji su doveli do prijašnjih klizanja. Za predviđanje hazarda klizanja koriste se različite metode, razvijene tijekom posljednjih 40-ak godina, opisane u brojnim preglednim radovima (*Carrara i dr. 1995, Leroi 1996, Chung i Fabbri 2002, Zezere i dr. 2004*). Rezultat procjene hazarda klizanja je karta hazarda koja prikazuje prostornu distribuciju različitih stupnjeva opasnosti od klizanja, uključujući i informaciju o vjerojatnosti odnosno povratnom razdoblju pojave moguće nestabilnosti. Većina metoda procjene hazarda klizanja koje se danas primjenjuju, daje kao rezultat kartu hazarda koja prikazuje prostornu, ali ne i vremensku komponentu, kao ni veličinu i intenzitet klizanja, što nije u skladu s osnovnom definicijom hazarda klizanja. Raznolikosti pristupa procjeni hazarda klizanja rezultirale su brojnim klasifikacijama metoda procjene hazarda klizanja. Jedna od klasifikacija kojom su obuhvaćene sve metode, uključivo i prvi radovi iz tog područja, je podjela na izravne i neizravne metode (*Hansen 1984*). Izravnom metodom geomorfološkog kartiranja istraživač identificira prošla i trenutna klizišta i stvara subjektivne pretpostavke o tome gdje bi se u budućnosti mogla pojaviti klizišta (*Carrara 1984*), dok se neizravne metode sastoje od dodjeljivanja težinskih faktora uzrocima klizanja i obuhvaćaju heurističke metode, iskustvene metode (engl. *knowledge based*), statističke i determinističke metode.

Istraživanjem je proces klizanja od „više sile“ postao shvatljiv geomorfološki proces. Brojni ekonomski i ljudski gubici kroz povijest doveli su do sadašnjih nacionalnih i međunarodnih potreba za smanjenjem opasnosti od aktiviranja klizišta. Brojna su klizišta uzrokovala veliki broj smrtnih slučajeva: klizište Khait, Tadžikistan, 1949. s 12,000 poginulih (*Alexander 1995*); klizište Assam, Indija 1950. s oko 30,000 poginulih (*Nussbaumer 1998*); klizište Ancash, Yungaytal, Peru, 1970. s oko 67,000 poginulih (*Alexander 1995, Nussbaumer 1998*); klizište u Tadžikistanu 1989. s



10,000 poginulih i dva iseljena sela (*Nussbaumer 1998*); blatni tok u Venecueli 1999. s 30,000 žrtava i 400,000 novih beskućnika (*Larsen i dr. 2001*); klizište La Conchita, Kalifornija iz 1995. reaktivirano 2005. s 10 smrtnih slučajeva (*Jibson 2005*) i druga klizišta poznata kroz povijest). U mnogim dijelovima svijeta je formiranje i podjela odgovornosti u pogledu sprječavanja mogućih katastrofa tek u začetku (*Brabb 1991*). U okviru tog problema procjena hazarda i rizika su osobito važni i predstavljaju veliki izazov u znanstvenim istraživanjima, prostornom planiranju i korištenju zemljišta (*Guzzetti 2005*). U razvijenim zemljama su socijalni i ekonomski problemi toliko ozbiljni da ostaje malo raspoloživih sredstava za umanjivanje katastrofalnih učinaka prirodnih hazarda, uključujući i hazard klizanja.

U brojnoj literaturi dan je prikaz pojedinačnih procjena podložnosti i hazarda klizanja provedenih na ograničenom području. Pregledom postojećih radova ustanovljeno je da je za određena područja vrlo detaljno predložen koncept, principi i metodologija za određivanje podložnosti i hazarda klizanja (*Carrara 1983, Brabb 1984a, Crozier 1986, van Westen 1993, Soeters i van Westen 1996, van Westen i dr. 1997, Aleotti i Chowdhury 1999, Guzzetti i dr. 1999, Crozier i Glade 2005, Glade i Crozier 2005, Glade i dr. 2005*). Istovremeno postoji vrlo malo radova u kojima su sustavno uspoređene različite metodologije i gdje je ukazano na njihove prednosti, nedostatke i ograničenja u korištenju (*Carrara i dr. 1995, van Westen 1993, Lee i dr. 2004, Crozier i Glade 2005, Glade i dr. 2005*). Samo nekoliko autora opisuje dugoročne projekte vezane uz procjenu hazarda pojave nestabilnosti kosina: u SAD-u (*Nilsen i Brabb 1977, Brabb i dr. 1978, Mark 1992, Brabb 1995*), Francuskoj (*Humbert 1976, 1977, Antoine 1977, Landry 1979, Porcher i Guiloppe 1979, Delaunay 1981, Godefroy i Humbert 1983, Leroi 1996*), Hong Kongu (*Brand 1988, Brand i dr. 1982*), Italiji kartiranje klizišta (*Carrara 1978, Cotecchia 1978*) i akademski pilot projekti (*Carrara 1983, Carrara i dr. 1991, 1995, 2003, Guzzetti i dr. 1999, 2005b, 2006a*).

Procjena hazarda pojave klizanja u Hrvatskoj do danas uglavnom nije provedena, za razliku od procjene podložnosti klizanju, koja je provedena na razini područja općina i gradova ili njihovih dijelova i to u svrhu urbanističkog planiranja tijekom izrade provedbenih i/ili generalnih planova prostornog uređenja (stručna dokumentacija [13], [14], [18], [19], [21]). U hrvatskoj praksi postoji veći broj primjera gdje su provedena izravna geomorfološka kartiranja tijekom kojih su istraživači

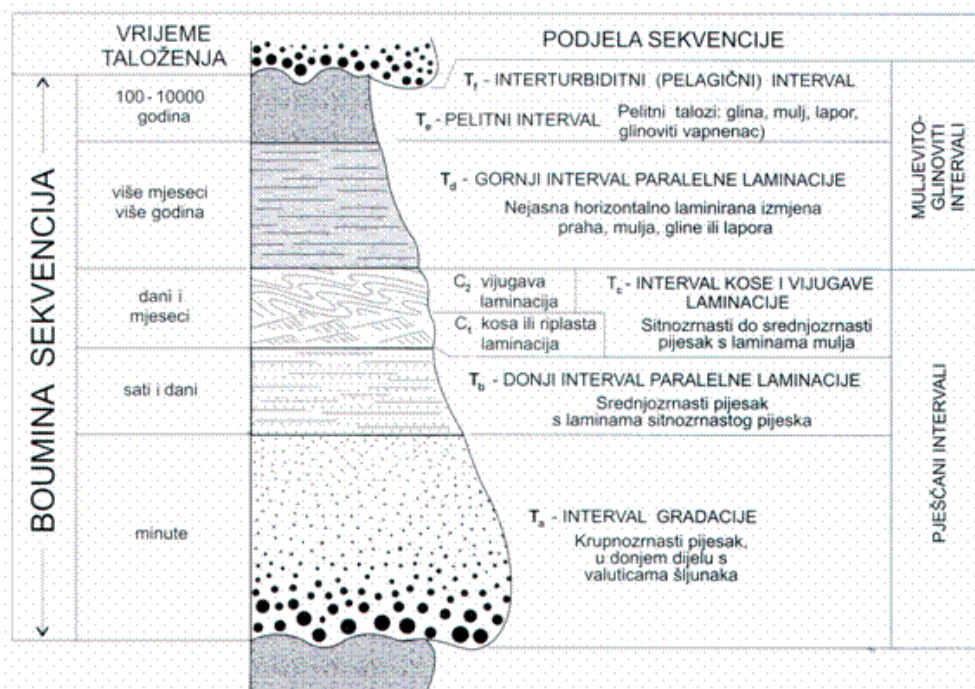
identificirali klizišta različitog stupnja aktivnosti i izložili subjektivne pretpostavke o tome gdje bi se u budućnosti mogla pojaviti klizišta, kao npr. na području Općine Vinodolske, stručna dokumentacija [7]). Za potrebe generalnog urbanističkog plana Grada Zagreba, tvrtka Geoexpert i drugi su u travnju 1988. godine na karti mjerila 1:10,000 metodama izravnog geomorfološkog kartiranja, proveli zoniranje prema relativnoj stabilnosti i to podjelom brdovitog područja Podsljemenske zone u četiri kategorije: stabilni tereni gdje je moguća izgradnja bez prethodnih sanacijskih radova; uvjetno stabilni tereni na kojima su opažani rijetki, manji i plići pokreti; područja na kojima je registrirana prisutnost većeg broja složenih klizišta i puzišta; nestabilni tereni (*Stanić i Mihalić 1995, Mihalić Arbanas i dr. 2012*). Ukupna površina obuhvaćena ovim zoniranjem podložnosti klizanja do sada je najveća u Hrvatskoj, a obuhvaća 175 km<sup>2</sup> (*Mihalić i dr. 2012*). Za razliku od toga, na području malog sliva potoka Starča u Samoborskom gorju veličine 12 km<sup>2</sup> provedena je univarijantna statistička analiza podložnosti klizanju na jedinicama jedinstvenih uvjeta (*Mihalić i Vujnović 2005, Mihalić i dr. 2008a,b*), kao i analize neuralnim mrežama (*Marjanović i dr. 2011*). *Loparić i Pahernik (2012)* proveli su bivarijantne statističke analize podložnosti klizanju na 66 km<sup>2</sup> područja Grada Lepoglave. Prostorne analize podložnosti klizanju provedene su na području sliva Boljunčice u Istri (ukupne veličine 25 km<sup>2</sup>) na način da su uvjeti uslijed kojih je aktivirano klizište Brus analizirani u GIS okruženju (engl. *Geographic Information System*), čime je analizirana samo prostorna vjerojatnost translacijskog klizanja u flišu (*Mihalić i dr. 2011*). Zoniranje podložnosti i hazarda klizanja najčešće su financirani od strane lokalne samouprave, ali kako u Republici Hrvatskoj ne postoji zakonska obaveza za njihovo provođenje, ove analize su još uvijek na razini pojedinačnih primjera.

## 1.1 Problem klizanja u flišu

Fliš (engl. *flysch*) je opisni termin za kompleks klastičnih sedimentnih stijena nastalih mutnim tokovima odnosno podmorskim klizanjima sedimenata (*Benac 2013*). Termin je u geološku literaturu uveo Švicarac Bernhard Studer (1827), a odnosio se na tip litologije, posebice na izmjenu serije pješčenjaka i škriljavaca sa sadržajem breča, konglomerata i vapnenaca Gornje Krede švicarske regije Siemmental. Etimološki je termin proizašao iz njemačke riječi *fließen* što znači teći, i na

njemačkom jeziku označava učestala klizanja tla u području navedenih geoloških formacija. Za detaljniji opis spomenutih sedimentoloških koncepata i razumijevanje složenosti ovih formacija značajnu važnost imaju radovi slijedećih autora: *Kuenen i Migliorini (1950)*, *Flores (1955)*, *Bouma (1962)*, *Esteban i Santanach (1974)*, *Mutti i dr. (2003)*, *Kendall (2006)*, *Mutti i dr. (2009)*.

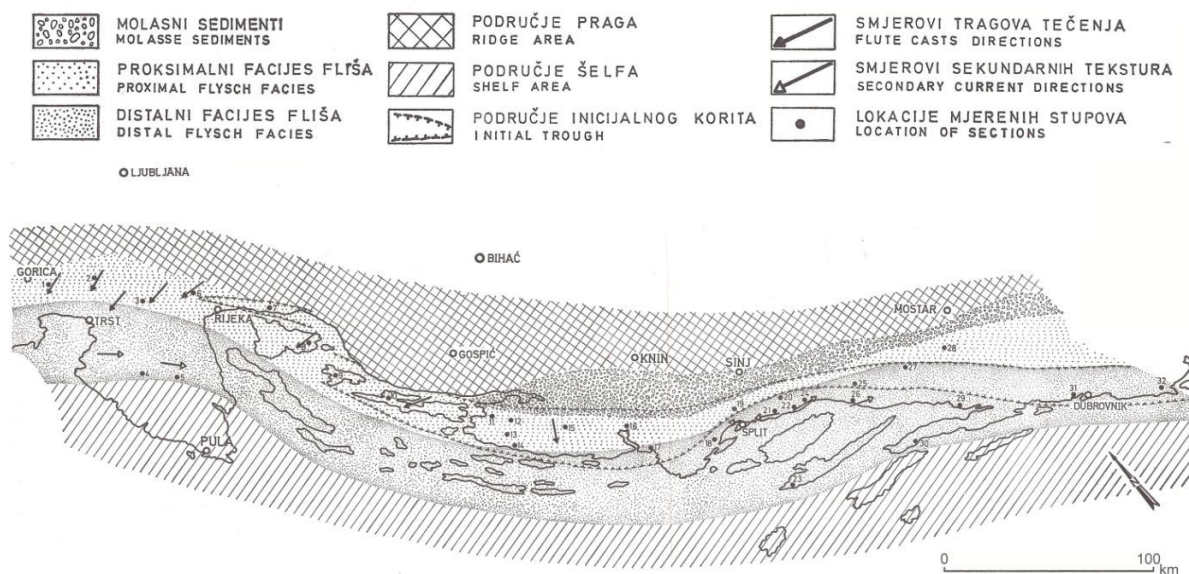
Flišni sedimenti su prethodno nastali kao posljedica brze erozije okolnog uzdignutog gorja, a transportirani su vodenim tokovima do kontinenteskog praga. Mogu biti pokrenuti velikom energijom novih tokova s kopna ili pak potresom u obliku mutnih struja i istaloženi u kontinenteskom podnožju (*Hancock i Skinner 2000*). Za flišni kompleks stijena karakteristična je sukcesivna izmjena sitnozrnastih sedimentnih stijena kao što su šejl, siltit, lapor i pješčenjak. Fliš može sadržavati breče, konglomerate i vapnence. Fliš se također može definirati kao sinorogeni sediment kontroliran tektonskim pokretima nastao gravitacijskim tečenjem i taloženjem hidroplastične terigene suspenzije. Rezultat tog taloženja u idealnim uvjetima predstavlja Bouma sekvencija s intervalima  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ ,  $T_d$ ,  $T_e$  tj. kompletna taložna jedinica nastala taloženjem iz jedne turbiditne struje (*Tišljar 2004*) (slika 1.1).



Slika 1.1 Shematski prikaz Bouma sekvencije (Tišljar 2004)

Iako su na područjima flišnih kosina u Istri do sada registrirane brojne pojave nestabilnosti, do danas nije provedena procjena hazarda klizanja na tim prostorima.

Klizišta na istraživanom području su uglavnom predodređena uvjetima u tlu te geomorfološkim i fizičkim procesima koji su prisutni na kosinama. Inicijatori klizanja na kosinama izgrađenim od flišnih naslaga najčešće su infiltracija i porast razine podzemne vode uzrokovani velikom količinom oborina u dužem vremenskom razdoblju, a većinom su se događala krajem zime ili u proljeće (*Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012*). U postojećoj dokumentaciji o geotehničkim istraživanjima klizišta uglavnom su zabilježeni tipovi pokreta klizanja i odronjavanja, a na samo jednoj lokaciji pojava blatnog toka. Uzrok pojavama nestabilnosti na većini istraženih lokacija je poremećaj prirodno uspostavljene ravnoteže unutar kosine izazvane velikom količinom infiltriranih oborinskih voda koja prodire u deluvijalno-koluvijalni pokrivač izgrađen pretežno od čestica gline i praha te slojeva flišne stijenske mase različitog stupnja trošnosti, sve do gotovo nepropusne svježe flišne stijenske mase u podlozi. Posljedica tog procesa je porast razine podzemne vode, pojava hidrodinamičkih sila uslijed tečenja vode kroz pokrivač niz kosinu te povećanje pornih pritiska i posljedični pad posmične čvrstoće uzrokovan padom ukupnih na efektivne vrijednosti naprezanja sve do dosizanja granične vrijednosti čvrstoće i sloma u kosini. Zbog relativno male propusnosti materijala u pokrivaču, infiltracija površinskih voda je relativno spora, a koeficijent otjecanja velik. Stoga su za pokretanje klizanja presudna dugotrajna kišna razdoblja, dok intenzivne, ali kratkotrajne oborine značajno utječu na eroziju, a manje na pojavu klizanja (*Gulam 2012*).



Slika 1.2 Rasprostranjenost flišnih facijesa (Marinčić 1981)

Fliš središnje Istre je dio velikog flišnog bazena koji se prostire od Gorice u Italiji sve do Albanije, na sjeveroistoku do linije Trnovski Gvozd – Dolina Rječine-Vinodolska dolina sjeveroistočne obale otoka Krk, Rab i Pag, zatim Bukovica – Dabrarsko Polje u Hercegovini, a prema jugozapadu do središnje Istre i na većinu jadranskih otoka (*Marinčić 1981*) (slika 1.2).

Taj veliki sedimentacijski sistem nastao je tijekom pirinejske orogenetske faze na kraju paleogenskog razdoblja. Tektonski pokreti iz tog geološkog razdoblja, zajedno s onim naknadnim, uzrokovali su oblikovanje boranih i rasjednih struktura pružanja NW-SE. Promjenom smjera kretanja Jadranske tektonske mikroploče prema sjeveru promijenjen je smjer regionalnog naprezanja od NE-SW prema N-S. Konačni oblik geoloških struktura postignut je tektonskom reaktivacijom, uz desne pomake uzduž reversnih rasjeda od gornjeg pliocena do danas (*Korbar 2009*). Posljedica tih tektonskih pokreta bila je mjestimično jako suženje dijelova flišnog sedimentacijskog bazena u jadranskom pojasu i reducirano pojavljivanje tih stijena na površini terena (*Velić i Vlahović 2009*).

Flišna stijenska masa podložna je kemijskom trošenju, što značajno utječe na promjenu fizičko-mehaničkih svojstava flišne stijenske mase. Najočitiije je izluživanje  $\text{CaCO}_3$  komponente i oksidacijski procesi te bubrenje. Kemijsko trošenje osobito je izraženo u sitnozrnastim vrstama stijena, posebice varijetetima prahovnjaka. Postupnom razgradnjom svježije stijene nastaje zona trošnog fliša izgrađena od glinovito-prahovitog inženjerskog tla. Trošni fliš je podložan eroziji i klizanju. Mjestimične akumulacije erodiranih naslaga izrazito su nestabilne (*Arbanas i dr. 1999, Arbanas i dr. 2007, Benac i dr. 2005*). S obzirom na visoku podložnost trošenju pod djelovanjem atmosferilija, pojedini litološki članovi flišnog kompleksa značajno mijenjaju i fizičko-mehanička svojstva u relativno kratkom vremenskom intervalu trošenja. Radi toga je značajno kojem stupnju trošnosti stijenske mase pripadaju pojedini slojevi (*ISRM 1978, 1981*). Mehaničko trošenje pomaže i ubrzava kemijsko trošenje koje je karakteristično za flišnu stijensku masu (*Attewell i Farmer 1979*).

Ispitivanja u glinovitim šejlovima, dakle naslagama koji imaju sličan litološki sastav kao i sitnozrnasti članovi fliša, pokazala su da rezultati bitno ovise o orijentaciji i gustoći pukotina kalavosti (*Attewell i Farmer 1979*). Kemijsko raspadanje osobito je izraženo u sitnozrnastim članovima, posebice varijetetima siltita. Akcesorni minerali, nastali u stijeni tijekom dijageneze, u oksidacijskim uvjetima i uz povremeno vlaženje

postaju nestabilni (*Doornkamp 1986*). U prvom stupnju raspadanja karakteristična sivoplavičasta boja postaje žućkastosmeđa. Uzrok tomu je oksidacija raspršenog pirita koji povećava svoj volumen i razara strukturu matične stijene (*Attewell i Farmer 1979*). Prodiranje vlage kroz pukotine izaziva bubrenje minerala gline posebice onih ekspanzivnih iz montmorillonitne ili montmorillonit - ilitne grupe (*Huggett 2003*).

U procesu raspadanja sitnozrnastih članova flišnog kompleksa značajno je izluživanje  $\text{CaCO}_3$  komponente kojim obiluju siliciklastične stijene paleogenske starosti u jadranskom pojasu Hrvatske. Uz opisane procese oksidacije to je osnovni uzrok pogoršanja fizičko - mehaničkih značajki flišnog kompleksa u zonama trošenja flišnog stijenskog kompleksa (*Roje-Bonacci i dr. 1986*). Zbog toga stijenska masa postupno povećava svoj obujam, omekšava i pretvara se u smjesu gline i praha. To se posebice odnosi na litološke članove s velikim sadržajem minerala gline i čestica praha, a znatno manje na grauvake i kalkarenite u kojima su čak ustanovljene kaverne zbog lokalnog okršavanja (*Benac 1994*).

Flišni stijenski kompleks izazvao je zanimanje stručnjaka i znanstvenika iz područja geotehnike kada je počela izgradnja zahtjevnih građevina u Hrvatskoj na terenima takve geološke građe. *Klainer i dr. (1968)* opisuju probleme temeljenja luke za rasute terete u Bakarskom zaljevu, a *Klainer i dr. (1978)* opisuju probleme izvedbe platoa za postrojenje koksare u Bakru. *Magdalenić i dr. (1980)* analiziraju probleme vezane za građevinske radove u flišu. *Jurak i dr. (1987)* u geotehničko-seizmičkom mikrozoniranju opisuju geotehničke značajke fliša u okolici Dubrovnika. *Magdalenić i dr. (1992)* opisuju inženjerskogeološke značajke flišnih kosina u jugoistočnom dijelu Bakarskog zaljeva. *Jašarević i Kovačević (1994)* analiziraju odnos mineraloško - petrografskog sastava i geotehničkih svojstava fliša. *Arbanas i dr. (1994)* te *Jardas i dr. (1996)* opisuju geotehničke značajke fliša i probleme prouzročen građanjem na dionici brze ceste kod Rijeke. *Benac (2000)* te *Benac i dr. (2001)* govore o utjecaju flišnog kompleksa na prostorno planiranje u kvarnerskom području.

Već su *Jašarević i Jurak (1987)* ukazali na probleme stabilnosti flišnih kosina u obalnoj zoni Hrvatske. *Benac (1994)* u sklopu doktorskog rada opisuje klizišta u području Plomina. *Mlinar i dr. (1995)* opisuju veliko klizište Raspadalnica kod Buzeta. *Arbanas i dr. (1999)* opisuju klizišta malih dimenzija koja su česta u području središnje Istre. *Arbanas i dr. (2006)* opisuju pojavu toka sitnozrnastog materijala u

podnožju Ćićarije. *Dugonjić Jovančević i Arbanas (2012)* daju pregled recentnih klizišta na flišnim kosinama Istre.

## 1.2 Sadržaj doktorskog rada

Doktorski rad se sastoji od sažetka na hrvatskom i engleskom jeziku, sadržaja, popisa slika i popisa tablica, osam glavnih poglavlja rada opisanih u nastavku, popisa literature, privitka i životopisa. Glavni sadržaj doktorskog rada sastoji se od osam poglavlja podijeljenih u određeni broj potpoglavlja.

U SAŽETKU rada ukratko su opisane osnove problema istraživanja, područje na kojem je provedena procjena hazarda klizanja i osnovni procesi koji se događaju na flišnim kosinama u Istri. Nabrojene su provedene faze istraživanja hazarda klizanja, osnove provedene determinističke analize i provedene analize oborina koje su prethodile klizanju, te je pojašnjena usvojena metodologija za procjenu hazarda klizanja u flišu.

Poglavlje 1. UVOD sastoji se od četiri potpoglavlja: Problem klizanja u flišu; Sadržaj doktorskog rada; Ciljevi istraživanja; Metodologija istraživanja. Unutar ovog poglavlja definirani su osnovni pojmovi vezani uz procjenu hazarda klizanja, dan je pregled postojećih istraživanja hazarda klizanja na međunarodnoj razini i na području Hrvatske, čime je prikazana i osnova problema istraživanja i motivacija za istraživanje klizanja na flišnim kosinama središnje Istre. Opisani su problemi klizanja u flišu, osnovne karakteristike tla i stijenske mase na flišnim terenima, rasprostranjenost fliša na teritoriju Republike Hrvatske te procesi trošenja karakteristični u nastajanju flišnih naslaga. Opisani su ciljevi i metodologija doktorskog rada s detaljnim opisom pojedinih faza istraživanja.

Unutar poglavlja 2. ANALIZA I ZONIRANJE HAZARDA KLIZANJA definirani su osnovni pojmovi i terminologija vezana uz problem procjene hazarda klizanja, kao i pojmovi korišteni u ovom doktorskom radu. Pojašnjena je razlika u konceptu analiza podložnosti klizanju, hazarda i rizika klizanja, dan je kratak pregled i podjela metodologije procjene hazarda klizanja koja je opće prihvaćena u svijetu.

Poglavlje 3. PRIRODNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA sastoji se od tri potpoglavlja: Klimatske značajke; Geološka građa; Hidrološke značajke. Unutar njih su opisane klimatske značajke istarskog poluotoka (temperatura zraka, osunčavanje, oborine) uvjetovane zemljopisnim položajem. Opisana je geološka

građa i tri osnovne geološke cjeline Istre, s posebnim osvrtom na središnji dio poluotoka oblikovan u flišnim naslagama. Opisan je karakteristični geološki profil postojećih klizišta, kao i osnovne hidrološke i hidrogeološke značajke šireg područja istraživanja.

Poglavlje 4. PRIKUPLJANJE I OBRADA ULAZNIH PODATAKA ZA PROCJENU HAZARDA KLIZANJA NA FLIŠNIM KOSINAMA SREDIŠNJE ISTRE sadrži četiri potpoglavlja: Pregled stanja klizišta u području fliških kosina središnje Istre (koje sadrži sedam potpoglavlja); Inventar klizišta; Podaci o oborinama; Geotehničke značajke naslaga fliša. Unutar ovog poglavlja detaljno je prikazana veličina područja istraživanja, volumen istraženih klizišta te osnovni podaci o tipu, lokaciji, dimenzijama, vremenu događanja te inicijatorima klizanja. Kronološki je detaljno popisano i prikazano sedam lokacija istraženih klizišta koja predstavljaju karakteristične pojave nestabilnosti u području središnje Istre. Prikazana je izrada inventara klizišta korištenjem stereoskopske interpretacije aerofotogrametrijskih snimaka za odabrano pilot područje površine oko 13 km<sup>2</sup> u području okolice Grada Buzeta. Opisane su provedene analize podataka o oborinama, dobivenih sa šest mjernih postaja na području istraživanja, u razdoblju od 1961. do 2010. godine, te je izvršena njihova korelacija s pojavom klizanja. U cilju utvrđivanja geotehničkih značajki flišnih naslaga, prikupljeni su podaci iz postojećih geotehničkih izvještaja, kao i novi uzorci tla na istraženom području koji su dodatno ispitani u laboratoriju.

Poglavlje 5. ANALIZA UZROČNIH FAKTORA I INICIJATORA KLIZANJA se sastoji od dva potpoglavlja: Prostorna analiza na području pored Grada Buzeta; Vremenska analiza inicijatora klizanja i ocjena karaktera oborina. Prikazana je provedena prostorna bivarijantna statistička analiza hazarda klizanja na pilot području okolice Grada Buzeta, kojom je izrađena karta podložnosti klizanju. Također je prikazana vremenska analiza inicijatora klizanja i ocjena karaktera oborina kroz analizu podataka o dnevnim, mjesečnim i godišnjim količinama oborina, prikupljenim na šest mjernih postaja. Prikazana je analiza oborina koje su prethodile pojavama klizanja, pri čemu je ukazano na važnost dugotrajnih oborina u vremenskom razdoblju od tri mjeseca prije pokretanja klizanja. Analiza je prikazana za oborine koje su prethodile pokretanju šest klizišta s pouzdanim podacima o vremenu početka klizanja.



Poglavlje 6. DETERMINISTIČKI MODEL PROCJENE HAZARDA KLIZANJA sastoji se od tri potpoglavlja: Deterministički model za proračun indeksa stabilnosti (SINMAP); Deterministički 3D model za simulaciju početka klizanja uzrokovanog padalinama (LS-Rapid); Vremenska komponenta hazarda klizanja. Prikazana je teorijska osnova jednodimenzionalnog determinističkog modela za proračun indeksa stabilnosti (SINMAP) te trodimenzionalnog determinističkog modela za simulaciju početka klizanja uzrokovanog oborina (LS-Rapid). Razmotrena je primijenjena programskog paketa LS-Rapid za determinističke analize prostornih analiza podložnosti klizanju, iako mu je osnovna namjena analiza stabilnosti kosine na pojedinoj lokaciji. Prikazana je provedena 3D deterministička analiza hazarda i parametri koji su korišteni u analizi područja okolice Grada Buzeta, te rezultati provedenih analiza. Analizirana je vremenska komponenta hazarda kroz podizanje razine podzemne vode u modelu, čime je moguće povezati prostornu i vremensku komponentu analize hazarda za odabrano područje. U ovom poglavlju su prikazane i analize povratnih perioda pojave oborina koje premašuju kritične vrijednosti za pokretanje klizišta.

U poglavlju 7. DISKUSIJA dan je kritički osvrt na ulazne parametre i faktore klizanja uključene u analizu kao i na rezultate provedenih analiza. Provedena je validacija modela usporedbom dobivenih rezultata i inventara klizišta. Pokazano je da rezultati determinističkih analiza daju relativno dobro prostorno poklapanje zona podložnih klizanju s područjima u kojima su se klizišta u prošlosti dogodila, značajno bolje nego rezultati bivarijantnih statističkih analiza. To ukazuje na potrebu korištenja determinističkih modela u procjeni podložnosti i hazarda klizanja na flišnim kosinama kao i litološki sličnim stijenskim masama. Usvojeno je da su dugotrajne kumulativne oborine i njihova infiltracija u tlo od presudnog značaja za pokretanje klizišta. Prikazane su veličine kumulativnih oborina i vremenski intervali u kojima se one pojavljuju prije pokretanja klizanja. Dana je usporedba rezultata dobivenih u drugim europskim zemljama za klizišta aktivirana na terenima slične geološke građe, čime su validirani rezultati vremenske komponente hazarda. Unutar ovog poglavlja dane su smjernice za daljnji rad, razvoj i poboljšanje modela, te smjernice za korištenje odabrane metodologije na drugim područjima srodnih značajki.

U poglavlju 8. ZAKLJUČAK navedeni su glavni zaključci i doprinosi istraživanja provedenog unutar ovog doktorskog rada. Kao jedan od doprinosa istraživanja

navodi se uspostava korelacije između kumulativnih oborina koje su prethodile klizanju i pokretanja klizišta. Korelacije su uspostavljene na temelju analize uvjeta nastanka klizišta i prethodno mjerenih oborina na području sjeverne i središnje Istre. Na temelju provedenih analiza kompleksnih značajki klizišta, kao i inženjerskogeoloških, morfoloških, hidrogeoloških i geotehničkih značajki tla i stijenske mase, određeni su elementi za provođenje analiza podložnosti i hazarda klizanja. Pokazano je da su zbog čestih promjena geotehničkih značajki naslaga na kosinama u flišnom području Istre, rezultati provedenih determinističkih analiza podložnosti i hazarda pojave klizanja znatno pouzdaniji. Stoga je iste modele moguće koristiti u sličnim uvjetima. Vremenska komponenta procjene hazarda klizanja izražena je preko vjerojatnosti pojave oborina sličnih značajki, određenih trajanjem i kumulativnom vrijednosti u tom razdoblju.

Na kraju rada naveden je popis LITERATURE i korištene dokumentacije koja uključuje geotehničke izvještaje i projekte sanacije, izvještaje o ispitivanjima uzoraka tla/stijene, inženjerskogeološkim i geofizičkim istražnim radovima, te planove prostornog uređenja. Priloženi PRIVITAK prikazuje rezultate procjene podložnosti klizanju primjenom trodimenzionalnih determinističkih analiza na području pokraj Grada Buzeta.

### **1.3 Ciljevi istraživanja**

Ne postoji opće prihvaćeni okvir ili izraz za procjenu hazarda klizanja, niti postoji zakonom propisana odgovornost neke organizacije ili jedinice uprave u Hrvatskoj da izradi takvu procjenu, a ista predstavlja prvi korak u smanjenju mogućih gubitaka izazvanih klizanjem tla. Na osnovi dosadašnjih saznanja ustanovljeno je da je na području središnje i sjeverne Istre u prošlosti evidentiran relativno veliki broj klizišta na kosinama izgrađenim u naslagama fliša. Za očekivati je da će se klizišta na flišnim kosinama i dalje pojavljivati i izazivati ekonomske i druge gubitke kao posljedicu, pa je to područje izabrano kao područje istraživanja za određivanje hazarda pojave klizanja. Cilj procjene hazarda pojave klizanja na kosinama oblikovanim u naslagama fliša središnje Istre je na osnovi raspoloživih podloga i podataka o pojavi klizišta odrediti vjerojatnost pojave klizišta, odnosno razinu potencijalne prijetnje od klizanja. Cilj ovog doktorskog rada je identifikacijom i utvrđivanjem odnosa faktora kao što su geomorfološki uvjeti terena, geološka građa terena, debljina i geotehničke značajke

pokrivača, seizmičnost područja, dinamika kretanja površinskih i podzemnih voda, klimatske značajke područja, učestalost oborina koje su prethodile klizanju i antropogeni utjecaji, ukazati na uzorke i moguće pokretanje klizanja na kosinama oblikovanim u naslagama fliša. Uspostavljeni odnos svih navedenih faktora i parametara trebao bi omogućiti korelaciju između geomorfoloških, inženjerskogeoloških, hidrogeoloških i drugih prirodnih značajki određene lokacije s geotehničkim značajkama tla i uvjetima u kojima se pokreću klizanja u naslagama fliša.

Utvrđena procjena trebala bi se verificirati usporedbom rezultata procjene hazarda pojave klizanja i u povijesti ostvarenih klizanja na lokacijama na kojima su evidentirani elementi začetaka klizanja i lokacijama na kojima se klizanje dogodilo u prošlosti. Samim tim bila bi potvrđena i osnovna teza istraživanja da će „uvjeti koji su doveli do klizanja u prošlosti uzrokovat slične pojave i u budućnosti“ (engl. „*past and present are keys to the future*“) (Varnes i dr. 1984, Carrara i dr. 1991, Hutchinson 1995, Carrara i dr. 1995, Aleotti i Chowdhury 1999, Guzzetti i dr. 1999, Zezere i dr. 2004). Konačan cilj je na osnovi ustanovljenih odnosa izraditi okvir procjene hazarda karakterističan za klizišta u sličnim područjima i razviti smjernice za procjenu hazarda pojave klizanja na sličnim područjima gdje osnovnu stijensku masu čini fliš ili litološki slične sedimentne stijene.

Dobivena saznanja o hazardu klizanja na flišu moći će koristiti brojnim izravnim i neizravnim korisnicima, znanstvenicima i inženjerima, upravama, razvojnim agencijama, građevinskim i komunalnim društvima i osiguravajućim organizacijama. Značajan cilj rada je doprinos potrebama održivog razvoja prostora izravnim utjecajem na prostorno planiranje prostora u flišu i ograničenjem gradnje na zone s malim ili prihvatljivim hazardom te isključenjem područja s neprihvatljivim hazardom pojave klizišta iz zona intenzivne urbanizacije.

## 1.4 Metodologija istraživanja

Metodologija istraživanja može se podijeliti u sedam faza i to: 1. kabinetsko prikupljanje podataka, 2. priprema i obrada podataka, 3. analiza faktora povezanih s klizanjem, 4. odabir ulaznih podataka, 5. procjena hazarda klizanja, 6. verifikacija modela, 7. diskusija i zaključna razmatranja. Shematski prikaz metodologije istraživanja prikazan je na slici 1.3.



Slika 1.3 Metodologija istraživanja unutar doktorskog rada

Prva faza istraživanja obuhvaća prikupljanje postojećih podataka o recentnim klizištima iz postojeće dokumentacije. Prikupljanje podataka na području flišnih kosina koje obuhvaća oko 550 km<sup>2</sup>, započelo je 2008. godine na Zavodu za hidrotehniku i geotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Korištene su arhiva Zavoda za hidrotehniku i geotehniku Građevinskog fakulteta u Rijeci, Županijske uprave za ceste Istarske županije i Instituta građevinarstva Hrvatske. Prikupljena dokumentacija uključuje geotehničke elaborate izrađene za potrebe projektiranja sanacije klizišta koja su se dogodila na cestama i željeznicama na istraživanom području. Prikupljeni su raspoloživi podaci o 19 klizišta koja su se dogodila u razdoblju od 1979. do 2010. godine (prema stručnoj dokumentaciji

navedenoj u popisu literature). Za potrebe analiza dobavljene su geodetske podloge i to digitalni model terena rezolucije 5x5 m, topografske karte (u mjerilu 1: 5,000), ortofoto snimci iz 2004. godine (u mjerilu 1: 5,000), aerofotogrametrijski snimci rezolucije 30 cm snimljeni 2009. godine te postojeće geološke karte (u mjerilu 1: 100,000) i karte namjene zemljišta (u mjerilu 1: 5,000). Prikupljeni podaci su u funkciji raspoloživog fonda za istraživanje, vremena i drugih ograničavajućih parametara, pa su kvalitativni nedostaci ulaznih podataka sagledani u kasnijim poglavljima rada.

Druga faza istraživanja obuhvaća pripremu i obradu prikupljenih podataka. Analiza recentnih klizišta na području istraživanja uključuje utvrđivanje morfoloških sličnosti, sistematizaciju podataka o postojećim laboratorijskim ispitivanjima tla i stijenske mase, obradu postojeće nacrtne dokumentacije o klizištima koja je u jednostavnijem, ujednačenom obliku prikazana u opisima recentnih klizišta (prikaz situacije, poprečni presjeci), te obradu podataka o oborinama povezanim s nastankom klizanjem. Kao glavni alat u pohranjivanju, upravljanju i prikazivanju prikupljenih podataka korišten je GIS. Dan je pregled klizišta i njihovih najvažnijih značajki koja ujedno predstavljaju i karakteristične tipove nestabilnosti na području istraživanja. Pritom se vodilo računa o nekim neizbježnim ograničavajućim parametrima kao na primjer pretpostavci da su u analizu uključena sva klizišta na području istraživanja i nemogućnosti evidentiranja promjena u stanju na kosini tijekom vremena, te uslijed klimatskih promjena i prisutnih procesa trošenja, pa su za analize usvojeni oni uvjeti na lokacijama klizišta koji su zatečeni u vrijeme provođenja istražnih radova i elaborirani u korištenoj dokumentaciji. Obradeni su podaci o geotehničkim parametrima materijala tla i stijene sadržani u postojećim geotehničkim izvještajima. U ovoj fazi istraživanja izrađen je inventar klizišta za područje pokraj Grada Buzeta korištenjem stereoskopske interpretacije aerofotogrametrijskih snimaka (*Paine i Kiser 2012*). Provedene su osnovne analize prikupljenih podataka o oborinama i digitalizirani su podaci s ortofoto snimaka, topografske i geološke karte koji će se koristiti kao ulazni podaci u prostornoj analizi uzroka i preduvjeta klizanja te su izrađene izvedene karte nagiba i orijentacije kosine u GIS-u.

Treća faza istraživanja obuhvaća analizu svih faktora povezanih s klizanjem, kako uzročnih (uvjeti tla/stijene, geomorfološki procesi) tako i onih koji uzrokuju pokretanje klizišta (fizički proces dužih kontinuiranih oborina). U prostornoj analizi na području pokraj Grada Buzeta provedenoj u GIS-u, korištena je bivarijantna

statistička analiza u kojoj je svaki faktor kombiniran s distribucijom klizišta i u kojoj su težinske vrijednosti određene na osnovi frekvencije klizišta (*Siddle i dr. 1991, van Westen 1993, Yin 1994*). Analiza se sastoji od slijedećih koraka: odabira i kartiranja značajnih faktora klizanja i njihove kategorizacije u određeni broj razreda, preklapanja karte klizišta s kartama pojedinog faktora klizanja, dodjele težinskih vrijednosti pojedinom faktoru klizanja i konačno preklapanja tih vrijednosti za pojedinu česticu terena kako bi se dobila karta podložnosti klizanju. U analizu su uključene slijedeće karte faktora klizanja: karta namjene zemljišta (izvedena iz digitalne ortofoto snimke terena u mjerilu 1: 5,000; podijeljena u tri glavne jedinice: umjetne površine koje pokrivaju urbanizirana područja, obradive površine koje pokrivaju oranice i livade, te šumska područja), hidrološka karta (izrađena na osnovi postojećih podataka o trajnim i povremenim površinskim tokovima, nadopunjena podacima iz topografske karte u mjerilu 1: 5,000), litološka karta područja koja sadrži dvije osnovne jedinice i to: flišne naslage i vapnenci, te izvedene karte nagiba terena i orijentacije kosine (izrađene iz digitalnog modela terena rezolucije 5x5 m). Utvrđen je relativni utjecaj pojedinog faktora klizanja koji će se koristiti u daljnjim prostornim analizama, uz pretpostavku da je u prošlim i sadašnjim klizanjima moguće pronaći odgovore na pitanja o uvjetima pojave budućih nestabilnosti.

U analizi inicijatora klizanja korišteni su podaci o dnevnim, mjesečnim i godišnjim oborinama u razdoblju od 1961. do 2010. godine sa šest meteoroloških postaja smještenih na području istraživanja (Abrami, Pazin, Rakitovec, Lupoglav, Vodice, Lanišće). Analizirane su kumulativne vrijednosti oborina dobivene zbrajanjem dnevnih količina oborina za razdoblja od jednog tjedna do šest mjeseci, za potrebe analize njihovog utjecaja na stabilnost kosina. U analizu učestalosti pojave klizanja uključene su slijedeće činjenice i pretpostavke: točno vrijeme klizanja preuzeto iz postojeće dokumentacije, pretpostavka da će mehanizam i faktor pokretanja budućih klizanja biti slični prošlima, te korelacije s događajima koji su potaknuli pojavu nestabilnosti (vrijeme i kumulativne količine kontinuiranih i dugotrajnih oborina).

U fazi odabira ulaznih podataka za procjenu hazarda klizanja izvršeno je snimanje profila trošnosti kosina na području Istre da bi se ustanovile debljine pokrivača iznad flišne stijenske mase u podlozi. Pripremljeni su ulazni podaci o geotehničkim značajkama flišne stijenske mase iz ranije dokumentiranih klizišta koji su dopunjeni novim podacima iz provedenih laboratorijskih analiza na uzorcima

uzetim na lokacijama područja istraživanja. U ovoj fazi prikupljeni su uzorci za dodatna laboratorijska ispitivanja na šest lokacija. Na prikupljenim uzorcima tla su ispitane granice plastičnosti, konzistencija materijala i granulometrijski sastav. Zaključeno je da će ove značajke tla omogućiti usporedbu naslaga tla na mjestima uzetih uzoraka s lokacijama klizišta na kojima su provedena ista istraživanja.

S obzirom na dostupne podatke, kao i rezultate preliminarnih analiza uzroka i uvjeta nastanka klizanja, odabran je deterministički pristup za analizu hazarda klizanja. Ovaj pristup primijenjen je korištenjem 3D modela za simulaciju početka klizanja pokrenutog oborinama u programskom paketu LS-Rapid (*Sassa i dr. 2010*). Deterministički model se bazira na fizičkim zakonima ponašanja, usvojenim mehanizmima sloma i kriterijima sloma, poznatim geotehničkim parametrima i utjecaju podzemne vode, a koristi se 3D analizom stabilnosti kosine za utvrđivanje prostorne distribucije faktora sigurnosti pri određenim uvjetima podzemne vode u modelu. Parametri koji se koriste u modelu određeni su ispitivanjem na terenu i u laboratoriju ili su korištene preporučene vrijednosti prema *Sassa i dr. 2010*.

U fazi verifikacije modela uspoređeni su karta hazarda dobivena determinističkom metodom s kartom inventara klizišta. U diskusiji i zaključnim razmatranjima dan je kritički osvrt na provedene analize i dobivene rezultate te su izneseni osnovni zaključci. Prikazane su prednosti i nedostaci modela kao i smjernice za daljnja istraživanja i primjenu predložene metodologije na područjima sličnih uvjeta.

## 2 ANALIZA I ZONIRANJE HAZARDA KLIZANJA

Pod pojmom analize i zoniranja hazarda klizanja podrazumijevaju se prostorne analize vjerojatnosti pojave klizanja i grafički prikaz rezultata u obliku zoniranja određenog područja s obzirom na relativnu opasnost od klizanja. *Fell i dr. (2008)* razlikuju sljedeće vrste zoniranja prema opasnosti od klizanja, a prema stupnju složenosti analiza: zoniranje podložnosti klizanja; zoniranje hazarda; zoniranje rizika klizanja.

U literaturi se često miješaju pojmovi podložnosti klizanju i hazarda klizanja. Često se ovi termini koriste kao sinonimi, ali zapravo su vrlo različiti s obzirom da se pod njima podrazumijevaju dva različita koncepta analiza. Definicije pojmova koji se koriste u analizama hazarda i rizika klizanja prvi put su predložene u okviru Odbora organizacije ujedinjenih naroda za ublažavanje posljedica prirodnih katastrofa (UNDRO, engl. *United Nations Disaster Relief Coordinator*) i UNESCO-a (*Varnes 1984*). *Fell (1994)* je Varnesove definicije prilagodio procjeni hazarda i rizika klizanja. U tablici 2.1 navode se definicije Međunarodnog društva za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo (ISSMGE, engl. *International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*), koje se temelje na IUGS radnoj grupi za klizišta (*IUGS 1997*), a njihovo značenje se koristi i u ovom doktorskom radu.

Podložnost klizanju je vjerojatnost procesa klizanja na nekom području na osnovi lokalnih uvjeta terena (*Brabb 1984a*). To je mjera u kojoj teren može biti pogođen pokretima na kosini, tj. procjena gdje će se klizište vjerojatno pojaviti. Podložnost ne uzima u obzir vremensku vjerojatnost događaja (tj. kada ili koliko često se klizišta događaju), niti nužno uzima u obzir veličinu očekivanog klizišta (tj. koliko velik ili razoran će slom biti) (*Committee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy 2004*). Matematičkim jezikom podložnost klizanju je vjerojatnost prostornog događanja sloma kosine za dani set geoloških i okolišnih uvjeta. Hazard klizanja je vjerojatnost da će se klizište određene veličine dogoditi u određenom razdoblju na određenom području. Osim predviđanja „gdje“ će se dogoditi slom kosine, hazard klizanja prognozira „kada“ ili „koliko često“ će se dogoditi, te „koliko veliko“ će biti klizište (*Guzzetti i dr. 2005b*). Jasno je da je teže procijeniti hazard klizanja od podložnosti klizanju, jer je podložnost klizanju samo prostorna komponenta hazarda, bez vremenske komponente koja to čini hazardom.

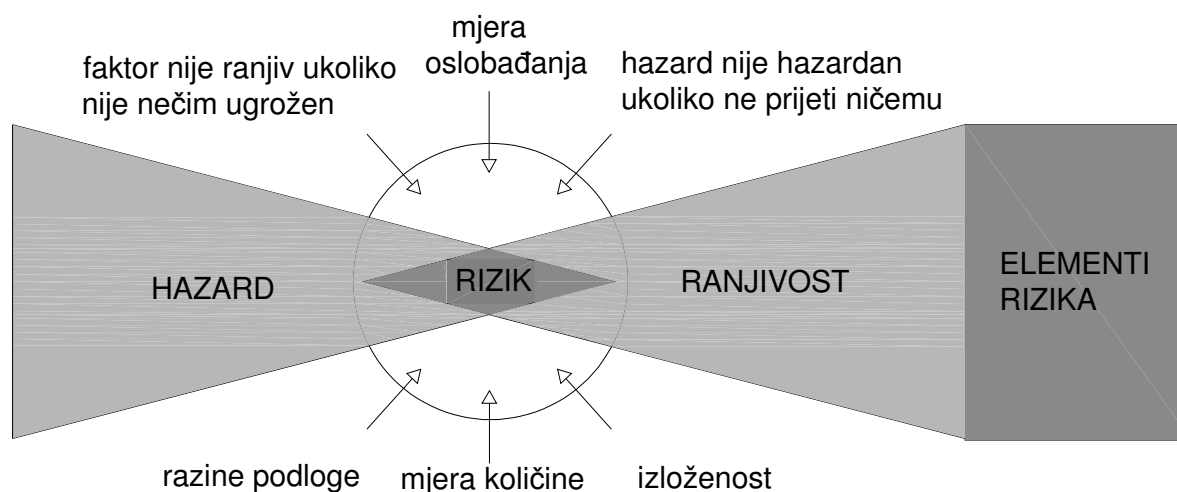


Općenito, podložnost klizanju analizira pojave koje su se dogodile u prošlosti, dok se procjena hazarda klizanja sastoji u predviđanju onoga što će se dogoditi u budućnosti. Predmet istraživanja ove disertacije je utvrđivanje optimalne metodologije zoniranja hazarda klizanja za uvjete koji vladaju na flišnim kosinama na području središnje Istre.

Tablica 2.1 Definicije osnovnih pojmova (AGS 2007)

Pojam	Definicija
Klizište	Pokretanje mase stijene, krupnozrnastog ili sitnozrnastog materijala (tla) niz kosinu.
Inventar klizišta	Inventar lokacije, klasifikacije, volumena, aktivnosti i vremena pojave individualnog klizišta na nekom području.
Zoniranje	Zoniranje je podjela određenog područja na homogene cjeline ili domene i njihov poredak s obzirom na podložnost klizanju, hazard ili rizik.
Podložnost klizanju	Kvantitativna ili kvalitativna procjena klasifikacije, volumena (ili površine) i prostorne distribucije klizišta koja postoje ili se potencijalno mogu dogoditi na području. Podložnost također može uključivati i opis brzine i intenziteta postojećih ili potencijalnih klizišta.
Hazard klizanja	Hazard klizanja bi trebao uključivati lokaciju, volumen (ili površinu), klasifikaciju i brzinu potencijalnog klizišta, kao i vjerojatnost njihovog pojavljivanja u određenom vremenskom razdoblju.
Rizik klizanja	Razina vjerojatnosti i težine utjecaja na zdravlje, materijalno dobro ili okoliš. Često procijenjen kao umnožak vjerojatnosti pojave nestabilnosti i njezinih posljedica.
Ranjivost	Stupanj gubitka određenog elementa ili skupine elemenata rizika unutar područja ugroženog hazardom klizanja. Izražena je na ljestvici od 0 (bez gubitaka) do 1 (ukupni gubitak).
Elementi rizika	Stanovništvo, građevinski objekti i druge inženjerske konstrukcije, ekonomske aktivnosti, javne službe za održavanje, infrastruktura i okoliš u području koje je potencijalno ugroženo klizanjem.

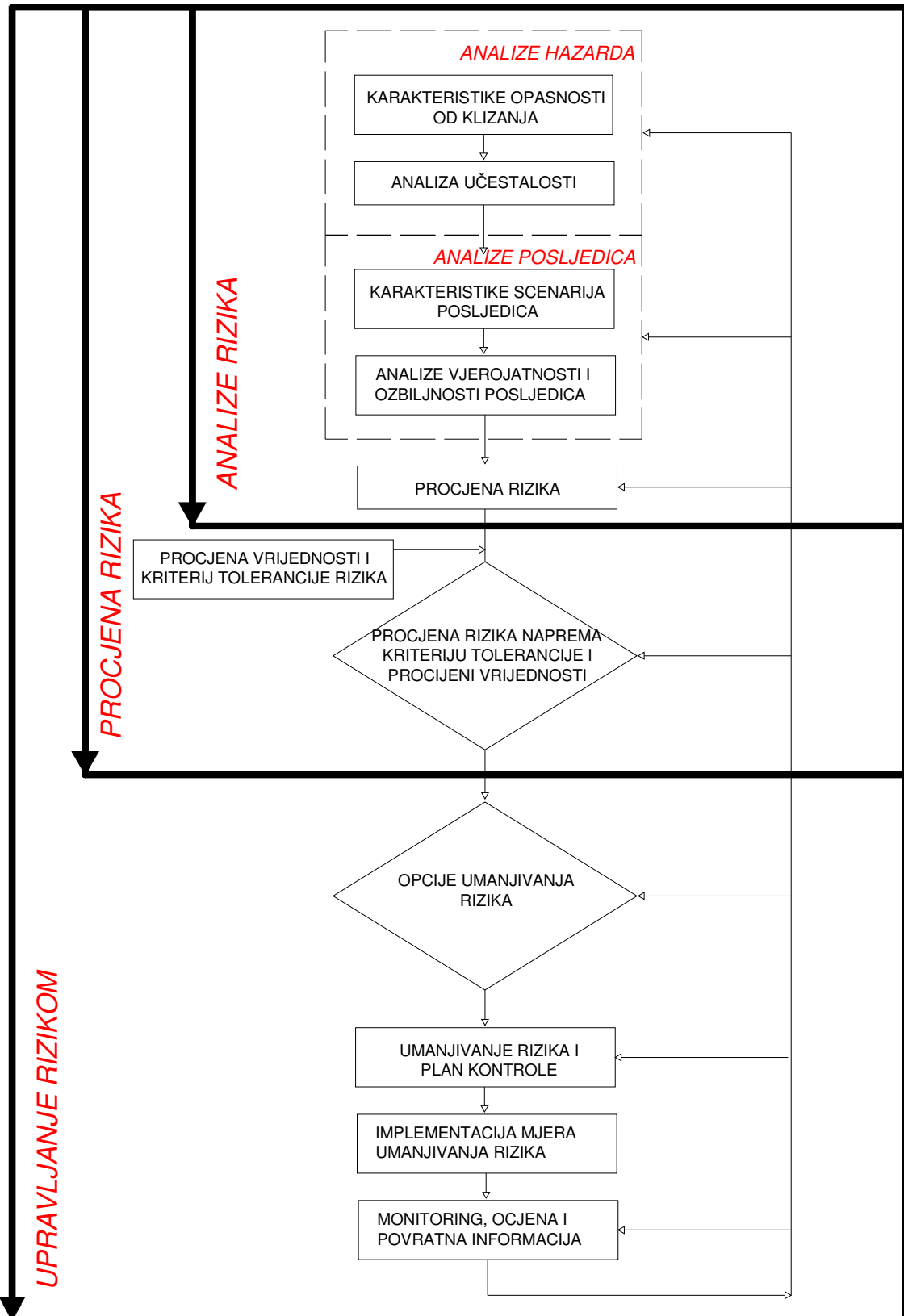
Rizik predstavlja posljedice djelovanja hazarda na elemente rizika (slika 2.1), uzimajući u obzir vremensku i prostornu vjerojatnost i njihovu ranjivost (*Roberds 2005, van Westen 2004, Wong 2005, AGS 2002, 2007*).



Slika 2.1 Konceptijska veza između hazarda, elemenata rizika, ranjivosti i rizika (Alexander 2002)

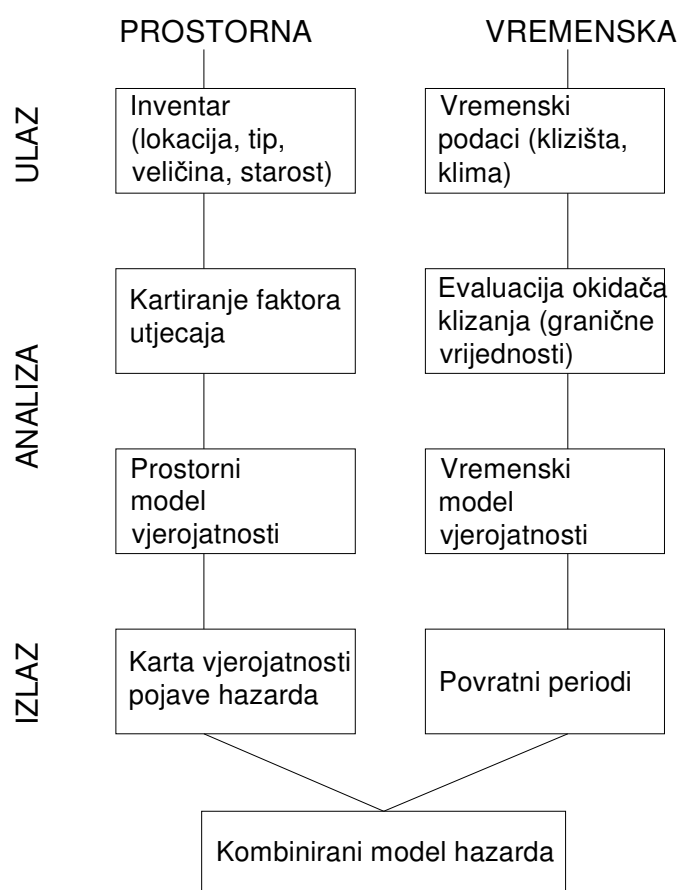
Na slici 2.2 shematski je prikazan okvir upravljanja rizikom klizanja (Fell i dr. 2005, 2008) koji predstavlja međunarodno široko prihvaćeni okvir upravljanja rizikom. Prikazani okvir je bio osnova za pregledne radove i pozvane radove na Međunarodnoj konferenciji upravljanja rizikom klizanja (engl. *International Conference on Landslide Risk Management*) koja se održala u svibnju 2005 u Vancouveru (Hungry i dr. 2005). Preporučeno je da se ovaj općeniti okvir koristi za procjenu i zoniranje podločnosti, hazarda i rizika bez obzira da li se koristi kvalitativni ili kvantitativni pristup.

Karte koje su rezultat ovih analiza mogu biti različite kvalitete, pouzdanosti i točnosti, mogu se izrađivati u različitom mjerilu, ovisno o namjeni procjene, veličini područja istraživanja i dostupnosti podataka. Najčešće se koriste slijedeće skupine karata (Luzi i Pergalani 1996): Karte detaljnog mjerila (<1: 5,000), velikog mjerila (<1: 5,000 - 1: 10,000), srednjeg mjerila (1: 25,000 - 1: 10,000) i karte regionalnog mjerila (<1: 250,000). U izradi ovog doktorskog rada korištene su karte mjerila 1: 5,000. Karte hazarda klizanja izrađuju se s ciljem umanjenja ranjivosti i rizika od klizanja. One su važne u urbanističkom planiranju i korištenju zemljišta uopće, a prikazuju zone prošlih, trenutno aktivnih i potencijalnih klizišta čije bi klizanje tek moglo uslijediti, te daju informacije o učestalosti pojava nestabilnosti. Teško je s preciznošću reći kada i s kojim posljedicama će se klizanje dogoditi, a i zbog prirodnog variranja faktora koji utječu na klizanje, procjena hazarda je formulirana kao vjerojatnost događaja.



Slika 2.2 Okvir upravljanja rizikom (Fell i dr. 2008)

Struktura modela, ulaznih podataka, analiza i rezultata hazarda prikazani su na slici 2.3, gdje se mogu razlikovati dvije osnovne komponente analize: prostorna i vremenska. Dijagram je izrađen u svrhu analize hazarda klizanja u području Rheinhessen u jugozapadnoj Njemačkoj, gdje su se epizodno pojavljivala spora kontinuirana plitka translacijska klizanja, velika duboka složena klizišta ili tokovi sitnozrnastog materijala, pokrenuti kratkotrajnim kišnim olujama velikog intenziteta ili dugotrajnim uvjetima oborina koje su prethodile klizanju (*Glade i dr. 2001*). Dijagramom su prikazani ulazi podaci za analizu prostorne i vremenske komponente hazarda, postupci, metode i modeli korišteni u analizi, kao i izlazni parametri i konačan rezultat analize.



Slika 2.3 Prostorna i vremenska komponenta hazarda klizanja-model za Rheinhessen  
(Varnes 1984, prilagođen prema Dikau i Jäger 1995, Jäger 1997)

Klizišta različitih tipova i veličina obično nemaju istu vremensku frekvenciju pojavljivanja (*Fell i dr. 2008*). Mala klizišta se često događaju s većom učestalosti od velikih klizišta. Česta je pojava pokretanje samo dijela potencijalno nestabilnih

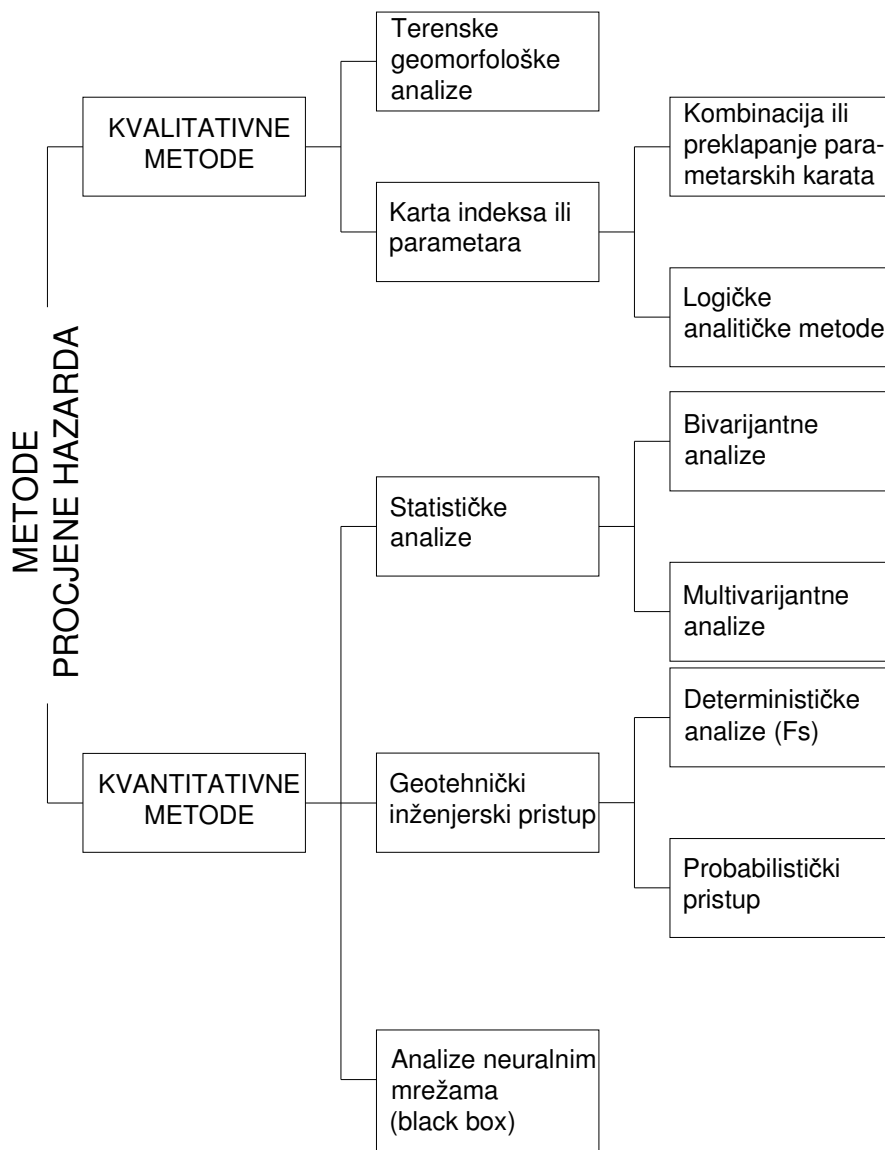
kosina. Osim toga, različiti tipovi nestabilnosti imaju i različite okidače, odnosno inicijatore klizanja (npr. oborine različitog trajanja, intenziteta i uvjeta koji prethode klizanju). Potrebno je naglasiti da veza između frekvencije pojave klizanja i intenziteta i trajanja oborina daje podatak o tome kada se klizanje na području može dogoditi, a ne koja kosina će kliznuti. Za veća klizišta je često određena kombinacija intenziteta oborina i količine oborina koja je prethodila klizanju inicijator pokretanja klizišta (*Leroueil 2001*).

*IUGS (1997)* je predložio da vremenska učestalost procesa klizanja, kao jedina komponenta koja čini razliku između analize podložnosti klizanju i hazarda klizanja, bude izražena kao broj klizišta određenih značajki koji se može dogoditi u istraživanom području u određenom vremenskom razdoblju ili vjerojatnost da se na određenoj kosini dogodi klizanje u nekom vremenskom razdoblju, izraženo u terminima vjerojatnosti i pouzdanosti, gdje je frekvencija izražena kao godišnja vjerojatnost prekoračenja kritičnih površinskih pritisaka. U analizi vremenske komponente klizanja na naslagama fliša središnje Istre, učestalost je izražena kao vjerojatnost da se na određenoj lokaciji dogodi klizanje u nekom vremenskom razdoblju kao posljedica vjerojatnosti pojave određene kumulativne oborine u određenom dugotrajnom vremenskom razdoblju.

Slika 2.4 prikazuje metode procjene hazarda klizanja, koje se temelje na postavkama *Carrara (1982)*, *Hansena (1984)*, *Leroia (1996)*, *Soetersa i van Westena (1996)*. U širem smislu metode procjene hazarda klizanja mogu se podijeliti na kvalitativne, polukvalitativne i kvantitativne.

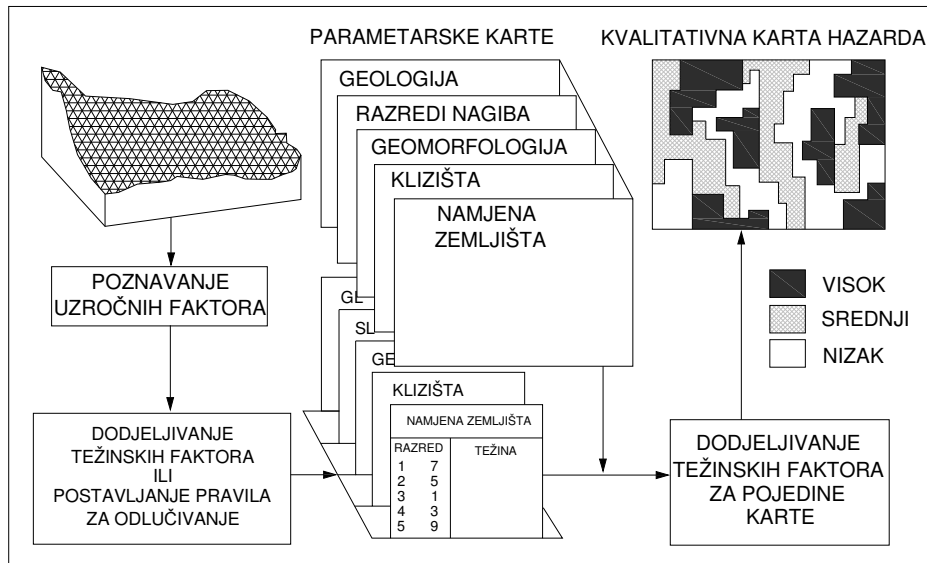
Metode procjene hazarda klizanja mogu se razlikovati na osnovi načina definiranja kartografskih jedinica na kojima se provodi procjena: jedinice terena, jedinice kartiranja, homogene domene (engl. *terrain unit*; *mapping unit*; *homogenous domain*) ili na osnovi razlikovanja kategorija hazarda (*Aleotti i Chowdhury 1999*). U prvim procjenama hazarda klizanja koristile su se pravilne mreže s jedinicama kvadratičnog oblika (engl. *grid-cells*), a ovaj pristup je napušten zbog toga što ovakve mreže ne mogu dobro opisati nepravilne granice koje se javljaju u prirodi (*Carrara i dr. 1995*). Naknadno je uvedeno korištenje još tri tipa jedinica: geomorfološke jedinice, jedinice jedinstvenih uvjeta (engl. *unique condition units*) i tzv. „jedinice kosina“ (engl. *slope units*). Izbor kartografske jedinice uvjetovan je izborom metode procjene hazarda (*Carrara i dr. 1995*). *Hartlen i Viberg (1988)* su utvrdili slijedeće

moguće kategorije hazarda: *relativni hazard* gdje se uspoređuju različite kosine bez navođenja točne vrijednosti hazarda, *apsolutni hazard* koji se određuje deterministički preko faktora sigurnosti ili na temelju statističkih analiza, *empirijski hazard* koji se bazira na razvoju krivulja koje povezuju više parametara (npr. visina i nagib kosine) i *monitoring hazard* gdje su podaci o deformacijama, oborinama i drugim pojavama uspoređeni s ranije određenim kritičnim veličinama za koje se smatra da uzrokuju klizanje. Početkom osamdesetih godina dvadesetog stoljeća veliki potencijal kompjuterskih alata (osobna računala i GIS) omogućuje pohranjivanje i rad s velikom količinom podataka složenim tehnikama analize.



Slika 2.4 Metode procjene hazarda od pojave klizišta (Aleotti i Chowdhury 1999)

Kvalitativna metodologija procjene hazarda se zasniva na procjeni znanstvenika da će se na nekom području dogoditi klizanje (*Nash 1987, Anbalagan 1992, Fall i dr. 1996, Evans i dr. 1997, Leroi 1997, Atkinson i Massari 1998, Guzetti i dr. 1999, Fall i dr. 2006*). Glavni nedostaci ovog pristupa su subjektivnost istraživača u izboru ulaznih podataka i kreiranju rezultata (*van Westen i dr. 1997, Leroi 1997, Fall 2000, Fall i dr. 2006*), ali su se pokazale vrlo korisne u regionalnim procjenama hazarda klizanja (*Soeters i van Westen 1996, Guzetti i dr. 1999, Ayalew i dr. 2004*). Osnovni tipovi kvalitativne metodologije uzimaju u obzir faktore klizanja (geološka građa i struktura, nagib kosine, korištenje zemljišta, vegetacija, hidrogeološki uvjeti) kako bi prepoznali područja podložna klizanju sličnih geoloških i geomorfoloških značajki (engl. *index methods*). *Terenska geomorfološka analiza* je prvi oblik kvalitativnog pristupa koji omogućuje brzu procjenu stabilnosti određenog područja, uzimajući u obzir veliki broj utjecajnih faktora (*Bosi i dr. 1982, Carrara i Merenda 1976, Fenti i dr. 1979, Kienholz 1978, Ives i Messerli 1981, Rupke i dr. 1988*). *Kartiranje područja prema faktorima klizanja* pripada u tako zvane polukvalitativne metode kao što je metoda analitičke hijerarhije (engl. *analytic hierarchy process, AHP*) (*Barredo i dr. 2000, Yalcin 2008*) i metoda linearne kombinacije težinskih faktora (engl. *weighted linear combination, WLC*) (*Ayalew i dr. 2004, Ayalew i Yamagishi 2005*) koje uzimaju u obzir težinske faktore i stupnjevanje podložnosti klizanju (*Hutchinson i Chandler 1991, Siddle i dr. 1991, Moon i dr. 1992, Fell i dr. 1996, Ayalew i Yamagishi 2005*). Takav pristup provodi se tako da se svaki parametar koji ima svoj utjecaj na doprinos klizanju razdijeli u određeni broj razreda hazarda kojima se ponovno dodjeljuje određena težina doprinosa pojavi klizanja. U ovom pristupu ponovno je prisutan problem subjektivnosti pri odabiru utjecajnih faktora i određivanju težine njihovog utjecaja na pojavu klizanja. Također postoji problem da primjena modela razvijenog na jednom području nije moguća na nekom drugom području bez odgovarajućih promjena (*Carrara 1983*). Na slici 2.5 prikazana je shema kvalitativne procjene hazarda upotrebom GIS-a. Ulazni podaci su većinom utvrđeni geomorfološkim terenskim kartiranjem ili daljinskim istraživanjima (analiza digitalnog modela terena, stereoskopska analiza aerofotogrametrijskih snimaka).



Slika 2.5 Upotreba GIS-a u kvalitativnoj analizi hazarda (Soeters i van Westen 1996)

Kvantitativna metodologija se zasniva na matematičkim izrazima i uspostavi korelacija uzročnih faktora i pojave klizišta. Dva najčešće korištena tipa kvantitativne metodologije su statistički i deterministički pristup (Carrara i dr. 1995, van Westen i dr. 1997, Aleotti i Chowdhury 1999, Dai i dr. 2002, Ercanoglu i Gokceoglu 2004, Lee i dr. 2004a, b, Komac 2006, Caniani i dr. 2008). Statističke ili probabilističke metode se zasnivaju na povezanosti svakog faktora i distribucije klizišta u prošlosti, što u svakom slučaju uključuje kartiranje postojećih klizišta, kao i kombinacije faktora koji su u izravnoj ili neizravnoj vezi sa stabilnosti kosina. Ove metode uključuju bivarijantne (Brabb i dr. 1972), multivarijantne (Carrara i dr. 1978, van Westen 1993), diskriminacijske metode (Carrara 1983, Carrara i dr. 1995), tzv. Boolean pristup koji koristi logističku regresiju (Atkinson i Massari 1998, Dai i Lee 2001, Ayalew i Yamagishi 2005), tzv. Bayesian metodu koja koristi neuralne mreže (Gomez i Kavzoglu 2005, Lee i dr. 2006) za utvrđivanje vjerojatnosti pojave klizanja. Deterministički pristup se koristi u geotehnici i inženjerskoj geologiji, a uključuje detaljnu analizu specifične lokacije, prikupljanje osnovnih fizikalnih karakteristika, primjenu matematičkog modela i proračun faktora sigurnosti za određenu kosinu ili određeni tip nastanka klizanja. Pristup se tradicionalno smatra dovoljnim za analizu homogenih i nehomogenih kosina, a točnost i pouzdanost rezultata je uvjetovana razinom istraživanja pojedine lokacije. Proračun faktora sigurnosti zahtijeva detaljne podatke o reljefu kosine, parametrima čvrstoće tla, kretanju razine podzemne vode i



povijesti naprezanja, što primjenu ovog modela ograničava na samo određene lokacije na kojima ti podaci postoje. Korištenje GIS-a može olakšati i deterministički i statistički pristup kao dio metodologije procjene hazarda klizanja. Međutim, velika točnost prikaza podataka u GIS-u ne može nadoknaditi veliku netočnost u dobivenoj procjeni vjerojatnosti sloma koja je rezultat pogrešnog odabira geotehničkog modela ili neodgovarajućeg mehanizma sloma. Kvantitativna metodologija, korištena u ovom istraživanju, povezuje prostornu raspodjelu klizišta s parametrima koji na njih utječu, pa se rezultati analize mogu primijeniti na područja na kojima postoje kinematički uvjeti za pojave nestabilnosti.

### 3 PRIRODNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Istra je najveći jadranski poluotok, smješten u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora. Istarski poluotok obuhvaća površinu od 3,476 km<sup>2</sup> na području teritorija tri države: Hrvatska, Slovenija i Italija, od čega je 90% na teritoriju Republike Hrvatske. Osnovnu značajku podneblju daje sredozemna klima. Prema geološkoj i geomorfološkoj strukturi istarski se poluotok dijeli na tri sasvim različite cjeline: Crvena, Bijela i Siva Istra.

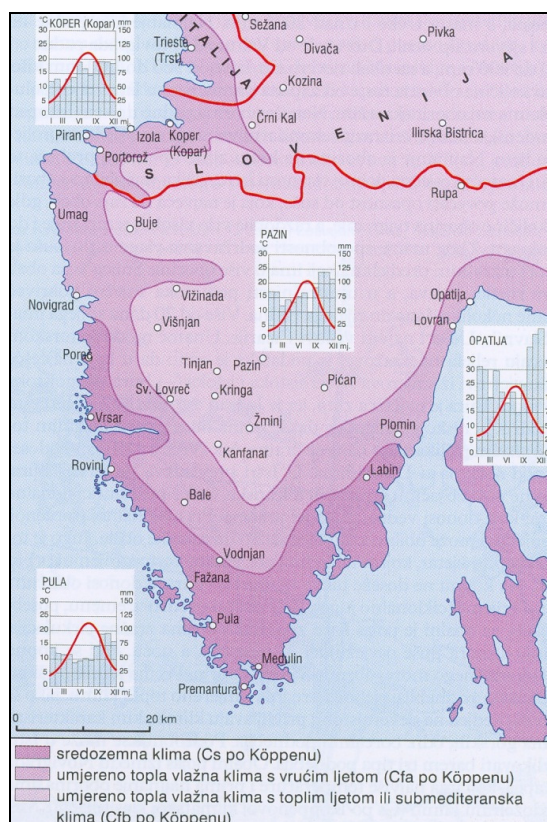
#### 3.1 Klimatske značajke

Klimatski uvjeti na brojne načine djeluju na stabilnost kosina. Oborine najčešće uzrokuju pokretanje klizanja ukoliko se porni tlak poveća do kritične vrijednosti. planinskim područjima s većim količinama snijega, topljenje snijega u proljeće je jedan od glavnih inicijatora klizanja. Klimatska slika Istre uvjetovana je činjenicom da je Istra poluotok s tri strane okružen morem. Udaljavanjem od obala, sredozemna klima u središnjem dijelu poluotoka prelazi u umjerenu kontinentalnu. Istra je određen položajem u razmjerno toplom pojasu i u području utjecaja zapadne zračne cirkulacije. Sa zapada i sjeverozapada osjeća se utjecaj Atlantika, koji je izvor topline i vlage. Važan je i položaj na sjevernom rubu Jadranskog mora, na prijelazu između Sredozemlja i Euroazije. Sredozemno i Jadransko more ublažavaju neugodne utjecaje suhe i vruće sjeverne Afrike, jer se topli zrak koji prolazi iznad Sahare (jugo) prelaskom preko mora navlaži. Ta zračna masa uzrokuje u Istri uglavnom blage i vlažne zime, dok su ljeta vruća i sparna. Zimi, preko Alpa i Dinarida, iz kontinentalnih dijelova Europe, dotječe hladan i suh zrak (bura), koji može znatno sniziti temperaturu i uzrokovati mraz. Tako npr. meteorološka postaja Pazin u središnjoj Istri ukazuje na specifične lokalne prilike pojačanog hlađenja u anticiklonalnim situacijama tijekom noći i zimi u udolini u kojoj je smještena.

Utjecaj reljefa najbolje se vidi na brdovitoj Ćićariji od Slavnika do Učke. Zbog veće nadmorske visine tu je temperatura niža, a količina oborina je više nego u nižim dijelovima Istre. Unatoč modifikatorskom utjecaju reljefa na vjetrove, iz podataka je očito da u Istri najčešće pušu vjetrovi iz smjerova sjeveroistoka (bura) i jugoistoka (jugo) (*Ogrin 2005*). Bura, koja puše iz sjeveroistočnog kvadranta i poznata je po svojoj mahovitosti, velikim brzinama i trajanju, tipičan je vjetar sjevernog Jadrana,

najjači u podvelebitskom području, slabi s udaljavanjem od obale, dominira i na istarskom priobalnom području, ali je slabija i rijetka u unutrašnjosti Istre (Zaninović i dr. 2008).

Prema klimatološkim podjelama podneblja, poluotok Istra ima umjereno toplu klimu, iako se najviši predjeli na sjeveroistoku približavaju klimatskim karakteristikama gorskih, odnosno borealnih podneblja. Podrobnije se može u Istri razlikovati barem tri tipa podneblja (slika 3.1). Obalni pojas između Novigrada i Rapca, koji ima najviše temperature i prima najmanje oborina, ima sredozemnu klimu (Cs po Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji). Mediteranski značaj toga dijela Istre pokazuje i zimzelena šuma hrasta crnike (lat. *Quercus ilex*). Preostali obalni pojas u liburnijskom primorju na istoj strani poluotoka te područje sjeverno od rijeke Mirne na zapadnoj i sjeverozapadnoj obali ima umjereno toplu vlažnu klimu s vrućim ljetom (Cfa po Köppenu), a unutrašnjost istarskog poluotoka ima inačicu s toplim ljetom (Cfb po Köppenu). Podneblja Cfa i Cfb u Istri razlikuju se od sredozemnoga podneblja ponajprije po nešto većoj vlažnosti i nižim temperaturama, ali imaju još uvijek mnoge sredozemne značajke. Stoga se često taj dio Istre ubraja u umjereno sredozemna, odnosno submediteranska podneblja.



Slika 3.1 Klimatološka karta Istre (Ogrin 2005)

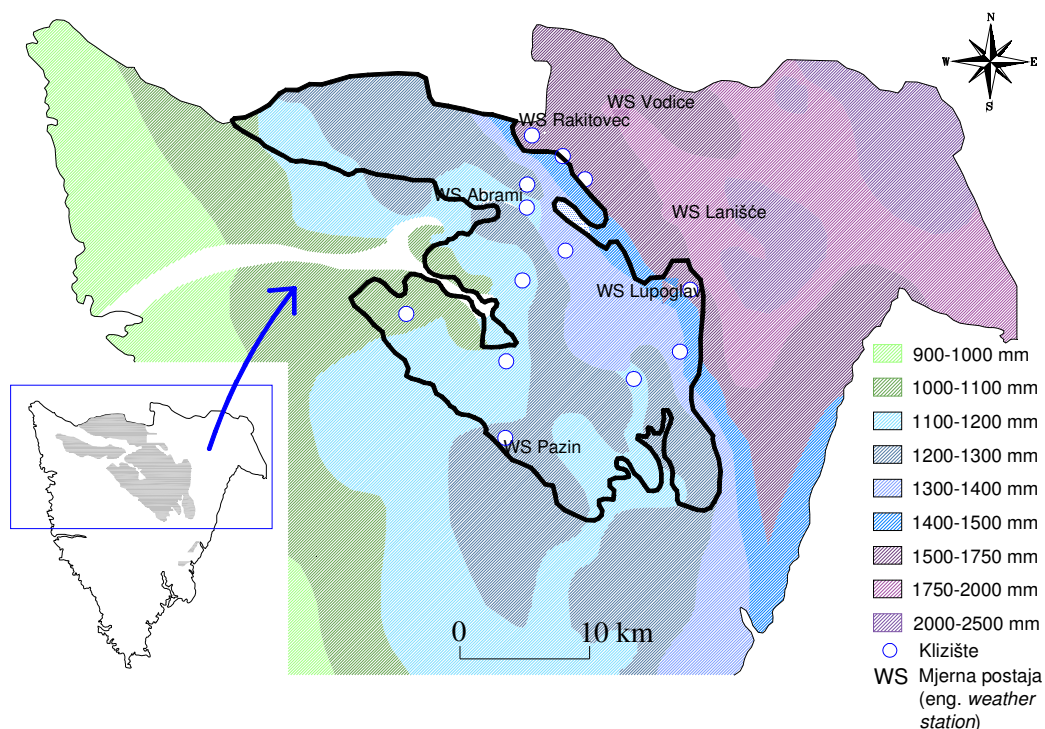
Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji klime, baziranoj na odnosu količine vode potrebne za potencijalnu evapotranspiraciju i oborinske vode, postoji pet tipova, od perhumidne do aridne klime. Na sjevernom i srednjem Jadranu prevladava humidna klima, pri čemu su unutrašnjost Istre, Kvarner i dalmatinsko zaleđe vlažniji nego istarska obala i srednji Jadran (*Zaninović i dr. 2008*).

Prostorno-vremenske karakteristike temperature zraka, uz opću cirkulaciju atmosfere i geografsku širinu, prvenstveno su uvjetovane raspodjelom kopna i mora, zbog razlike u akumuliranju topline u njima, te nadmorskom visinom. Obala poluotoka Istre ima srednju godišnju temperaturu zraka oko 13 °C, a njezine se vrijednosti smanjuju prema unutrašnjosti. U Pazinskoj kotlini i dolini rijeke Raše srednja je godišnja temperatura zraka oko 11 °C. Najniže vrijednosti godišnje temperature zraka u Istri su na vrhovima Učke i Čićarije i iznose oko 8 °C (*Zaninović i dr. 2008*). Kako se more zagrijava sporije nego kopno, temperaturne su razlike između obalnog područja i unutrašnjosti manje u proljeće, a veće u jesen.

Prostorna raspodjela osunčavanja, odnosno trajanja sisanja Sunca ukazuje da na raspodjelu najviše utječu reljef, geografska širina te magla u nižim kontinentalnim dijelovima Hrvatske, pri čemu je u toplom dijelu godine dominantan utjecaj reljefa, a zimi utjecaj magle. Vrlo sunčana jest unutrašnjost Istre s 5,6 sati na dan. S udaljavanjem od mora prema kopnu broj sati sisanja Sunca se smanjuje, iako je i dalje razmjerno velik. Godišnji hod trajanja sisanja Sunca pokazuje da je maksimalno trajanje ljeti, a minimum zimi, što odgovara i naoblaci i duljini dana. U proljeće se povećanje naoblake koje smanjuje sisanje Sunca kompenzira produljenjem dana. Najsunčaniji mjesec u godini jest srpanj. Minimum trajanja sisanja Sunca na svim je postajama zabilježen u prosincu, uz najniže vrijednosti u nizinskim kontinentalnim dijelovima Hrvatske (oko jedan i pol do dva i pol sata dnevno) do oko tri do četiri sata dnevno na Jadranu (*Zaninović i dr. 2008*).

Prostorni raspored oborina u Istri pod neposrednim je utjecajem reljefa. Veći dio vlažnog zraka nad Istru dolazi s jugozapada. Zračne se mase sudaraju s reljefnom preprekom između Slavnika i Učke, te zbog podizanja zraka dolazi do kondenzacije i stvaranja oborina. Srednje godišnje količine oborina na Istarskom poluotoku prikazane su na slici 3.2. Brdoviti predjeli na sjeveroistoku poluotoka su najkišovitiji i godišnje imaju više od 1,500 mm oborina, a masiv Učke i iznad 2,000 mm. Najmanje kiše padne na zapadnoj i sjeverozapadnoj obali. Iako količina oborina raste od

zapada prema istoku Istre, cijeli poluotok ima isti oborinski režim. Najviše oborina padne u jesen, a manje je izrazit sekundarni vrhunac na prijelazu proljeća u ljeto. Najmanje je oborina na kraju zime i na početku proljeća te ljeti. Zbog manje sposobnosti zadržavanja vlage u tlu, česta je suša. Snijeg je na obali Istre rijetka pojava, a u unutrašnjosti poluotoka snježni pokrivač zadržava se nekoliko dana do cijeloga tjedna, dok Slavnik, Učka i najviši vrhovi Ćićarije imaju više od dvadeset dana snijega.



Slika 3.2 Godišnje količine oborina na području Istre prema podacima DHMZ-a za 2011. godinu (Zaninović i dr. 2008)

Detaljniji podaci o oborinama analizirani su na području istraživanja u dijelu srednje i sjeveroistočne Istre. Iz podataka izmjerenih na šest meteoroloških postaja (slika 3.2) na istraživanom području, u razdoblju od 1961. do 2010. godine izračunate su točne srednje godišnje količine oborina lokacije navedene u tablici 3.1, mjerene u trajanju od 30 do 50 godina. Prosječne mjesečne oborine prema podacima sa svih mjernih postaja ukazuju na razdoblja s najviše oborina (tablica 3.2, slika 3.3) iz čega se vidi da je studeni najkišovitiji mjesec u godini, a da su oborine zastupljene tijekom svih mjeseci, bez prevelikih sušnih razdoblja.

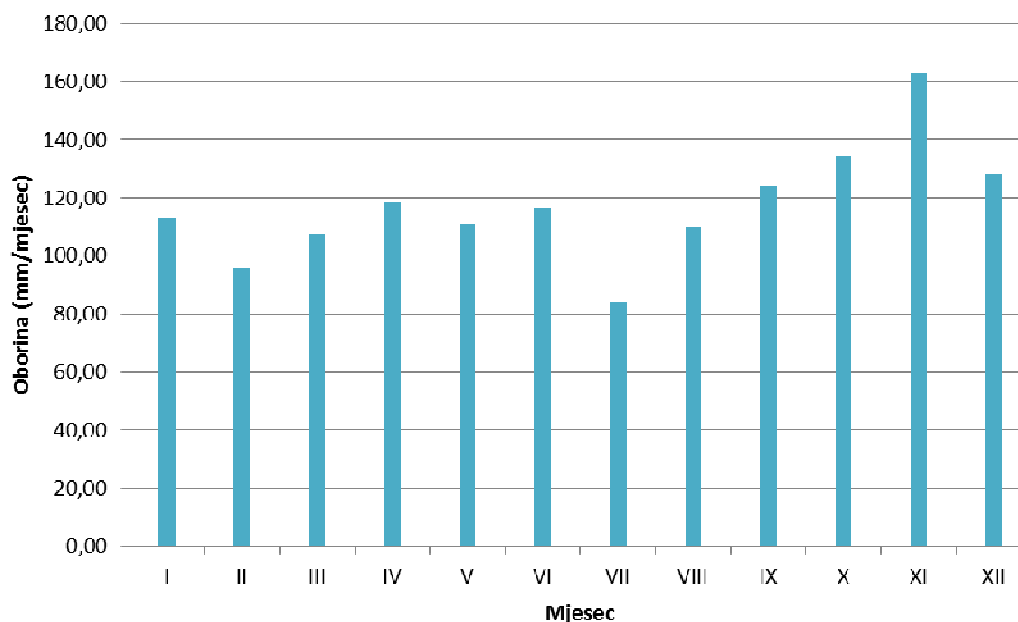
Tablica 3.1 Meteorološke postaje (MP) i podaci o srednjim godišnjim količinama oborina (MAP)

BR. MP	MP	*MAP (mm)	Mjerno razdoblje (god)
1	Abrami (HR)	1154,3	49
2	Rakitovec (SLO)	1531,7	42
3	Vodice (HR)	1606,4	50
4	Lanišće (HR)	1774,3	30
5	Lupoglav (HR)	1286,8	50
6	Pazin (HR)	1126,4	50

\*MAP=srednja godišnja količina oborina (engl. *mean annual precipitation*)

Tablica 3.2 Podaci o srednjim mjesečnim količinama oborina (mm) za razdoblje 1961.-2010.

Mjerna postaja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Abrami	83,8	71,5	82,4	92,5	91,6	103,3	75,8	96,4	113,6	114,4	129,0	99,9
Rakitovec	119,3	100,1	118,4	128,7	123,9	131,0	94,7	116,3	135,2	150,1	182,3	131,7
Vodice	135,9	110,2	131,6	142,5	121,9	119,1	85,9	112,6	132,5	146,3	190,2	168,1
Lanišće	158,1	135,1	145,3	155,9	140,3	147,2	102,7	126,9	139,7	157,5	204,8	160,8
Lupoglav	100,6	88,9	91,4	103,1	104,6	107,4	80,1	105,1	115,8	122,8	137,9	113,2
Pazin	80,6	68,3	76,9	90,1	83,7	91,9	65,4	103,4	108,2	114,5	134,6	94,6
Prosječna oborina (mm)	113,1	95,7	107,7	118,8	110,9	116,7	84,1	110,1	124,2	134,3	163,2	128,0



Slika 3.3 Srednje mjesečne količine oborina na području Istre (izrađeno prema podacima sa šest mjernih postaja uključenih u istraživanje) za razdoblje 1961.-2010.

### 3.2 Geološka građa

Na površini polutoka Istra nalaze se stijene jurske, kredne i paleogenske starosti kao i kvartarne tvorevine koje imaju značajke inženjerskog tla (Polšak 1967, Pleničar i dr. 1969, Polšak i Šikić 1969, Šikić i dr. 1969, Šikić i dr. 1972). Istarski poluotok se može podijeliti na tri velike geološke cjeline koje odgovaraju i geografskim regijama (slika 3.4).

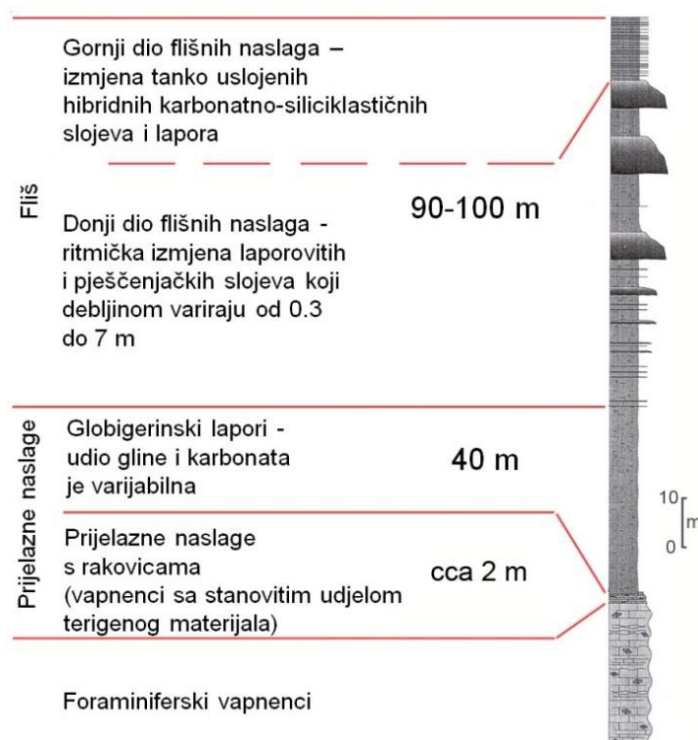


Slika 3.4 Pojednostavljena geološka karta Istre (modificirano prema Velić i dr. 1995)

Crvena Istra, na južnom i zapadnom dijelu poluotoka, koja je oblikovana u karbonatnim stijenama jurske, kredne i paleogenske starosti. Karbonatna stijenska masa je većinom pokrivena tlom crvene boje (tal. *terra rossa*). Jugozapadni dio istarskog poluotoka dio je prostrane antiklinale u čijoj se jezgri nalaze jurski vapnenci koji su vidljivi na površini kod Rovinja. Bijela Istra obuhvaća područje masiva Čičarije na sjeveroistoku i hrbata Učke na istoku, a karakteristična je po izmjeni karbonatnih i

siliciklastičnih stijena kredne i paleogenske starosti. Naziv je dobila po bijeloj boji vapnenaca. Ovo područje ima složenu geološku građu zbog ljuskavih geoloških struktura i navlaka u kojima se izmijenjuju kredne i paleogenske karbonatne i siliciklastične stijene. Područje središnjeg dijela poluotoka oblikovano je u flišu paleogenske (eocenske) starosti. Ova regija je dobila naziv Siva Istra po izrazito sivim ogolinama u laporima.

Stratigrafski odnos i ukupna debljina laporovitih i flišnih naslaga središnje Istre prikazan je na geološkom stupu (slika 3.5). Bazne naslage u stupu su foraminiferski vapnenci paleogenske starosti i tanke prijelazne naslage laporovitih vapnenaca. Globigerinski lapori približne su debljine 40 m. Sadrže različite udjele karbonatnih i siliciklastičnih komponenti. Karbonatna komponenta je uglavnom krypto do mikrokristalinični kalcit, dok je siliciklastična komponenta uglavnom izgrađena od zrna kvarca i glinenih čestica terigenog porijekla (*Bergant i dr. 2003*).



Slika 3.5 Geološki stup siliciklastičnih naslaga paleogena u središnjoj Istri (Bergant i dr. 2003)

Flišni stijenski kompleks ima ukupnu debljinu od 90 do 100 m. To je debeli slijed pretežito siliciklastičnih marinskih dubokovodnih sedimenata, s karakterističnim izmjenama slojeva različitog granulometrijskog sastava, a razlikuju se donji i gornji dio flišnih naslaga (slika 3.5). Donji dio flišnog kompleksa se sastoji od ritmičke izmjene laporovitih i karbonatnih slojeva kojima debljina varira od 0,3 do 7,0 m.



Karbonatni slojevi nalaze se u obliku konglomerata, foraminiferskih breča, arenita i silitita. Unutar tog dijela flišnih naslaga česti su i karbonatni megaslojevi debljine i do nekoliko metara (slika 3.6).



Slika 3.6 Lapori iz donjeg dijela flišne serije kod naselja Draguč (foto: Č. Benac, 2002.)

U gornjem dijelu flišnog kompleksa istaloženi su karbonatno-siliciklastični turbiditni slojevi. Prema *Bergant i dr. (2003)* sastoje se od tankih slojeva silitita i pješčenjaka koji predstavljaju samo gornje dijelove turbiditne serije (slika 3.7).



a)



b)

Slika 3.7 Naslage silitita u ritmičkoj izmjeni s tankim slojevima pješčenjaka: a) lokacija klizišta Brus, 2010.; b) lokacija Jurčići, 2008.

Naslage flišnog kompleksa imaju gotovo horizontalni položaj slojeva, osim uz rasjedne geološke granice u zoni Ćićarije na sjeveroistoku i masiva Učke na istoku, gdje je flišna stijenska masa znatnije deformirana (*Polšak 1967, Pleničar i dr. 1969, Polšak i Šikić 1969, Šikić i dr. 1969, Šikić i dr. 1972*).

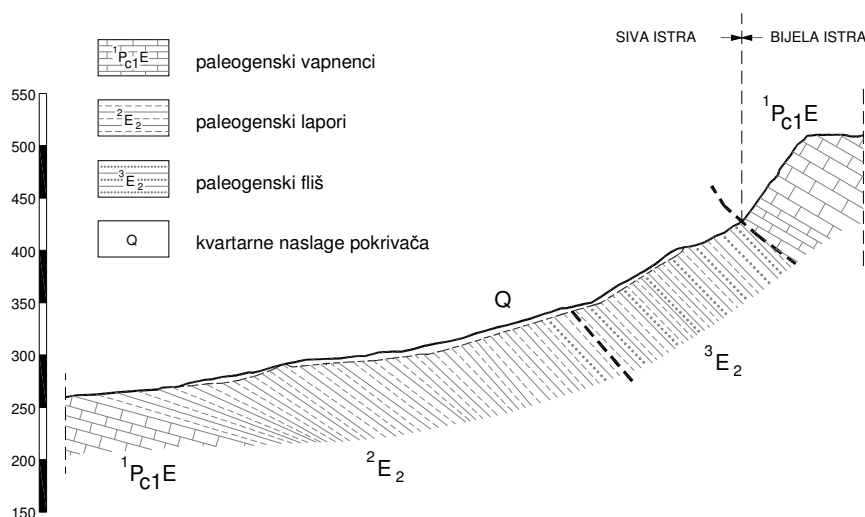
U procesu morfogeneze područja Istre, tijekom pleistocena pa i holocena, odvijala se diferencijalna erozija flišnih terena. Na dijelovima terena, gdje su više zastupljeni otporniji pješčenjaci i brečokonglomerati, stvorena su uzvišenja. Velika količina nanosa istovremeno je istaložena u predhodno erodiranim depresijama (*Mihljević 1996*). Zbog toga su se u dolinama rijeka i povremenih vodotoka nakupile velike količine sedimenata čija je debljina od nekoliko metara u uzvodnim dijelovima do preko 100 m na ušćima Dragonje, Mirne i Raše (*Benac i dr. 2007*).

Kosine oblikovane u siliciklastičnim stijenama u podnožju Ćićarije, gdje se nalazi područje istraživanja, kao i u podnožju Učke, pretrpjele su drugačiji morfogenetski razvoj, koji je sličniji razvoju kosina u zoni Klana-Dolina Rječine-Draška dolina-Bakarski zaljev-Vinodolska dolina (*Benac i dr. 2009*). Njihova značajka je, s jedne strane, intenzivna tektonska poremećenost pa stoga i deformiranost, a s druge strane, mjestimično debele nakupine potencijalno nastabilnih deluvijalno-koluvijalnih naslaga nastalih miješanjem materijala iz raspadnutih i erodiranih flišnih stijena te gravitacijskog transporta krupnozrnastih fragmenata s karbonatnih uzvišenja (*Benac 1994, Arbanas i dr. 2006*). Na slici 3.8 prikazan je pogled na sjeveroistočni dio područja istraživanja koji se pruža prema reversnom rasjedu i kontaktu flišne stijenske mase s vapnencima.



Slika 3.8 Pogled na sjeveroistočni dio područja istraživanja, prema položaju reversnog rasjeda i kontaktu flišne stijenske mase s vapnencima.

Karakteristična geološka građa klizišta u flišnim naslagama Istre je takva da koluvijalne naslage i/ili rezidualno tlo, koji tvore pokrivač (površinske naslage) s fizičko-mehaničkim značajkama inženjerskog tla, klize po stijenskoj podlozi izgrađenoj od siliciklastičnih paleogenskih naslaga, koja se sastoji od flišne stijenske mase različitog stupnja trošnosti (slika 3.9). Pokrivač je u pravilu izgrađen od glina srednje (CI) do visoke plastičnosti (CH), polučvrstog do plastičnog konzistentnog stanja, a može sadržavati i odlomke pješčenjaka i siltita transportirane s hipsometrijski viših područja. Rezidualna tla nastala su kao posljedica raspadanja flišne stijenske mase, pogotovo siltita, i u pravilu su po sastavu prašinate gline niske (CL) do visoke plastičnosti (CH).



Slika 3.9 Karakterističan geološki profil (modificirano prema: Arbanas i dr. 2006)

### 3.3 Hidrološke i hidrogeološke značajke

Hidrografija i hidrogeologija na istarskom poluotoku uvjetovane su geološkom građom, odnosno mnogobrojnim tektonskim pokretima i rasjedanjima tijekom kvartara te oblikovanjem reljefa pod utjecajem endogenih i egzogenih čimbenika. Kao rezultat tih procesa u Istri postoji samo nekoliko tokova koji od izvora do ušća u more teku površinski, dok znatan dio njih, zbog krške podloge, ponire i podzemno nastavlja tok. Površinski tokovi na flišnoj podlozi između granice sa Slovenijom do kontakta s vapnenačkom zaravni kratke su ponornice, koje s površine nestaju kada se približe krškim vapnenačkim naslagama. Površinski tok rijeke Mirne na području zapadne i srednje Ćićarije je najstalniji, najduži i najizdašniji vodotok istarskog

poluotoka. Drugi stalni površinski vodotok jest rijeka Raša, koja izvire u flišnim naslagama. Na prostoru Ćićarije, zbog specifičnoga reljefa i slijeda navlake te izmjene nepropusnoga fliša i vodopropusnih vapnenaca, postoji vrlo jak povremeni vodeni tok između Trstenika i Lanišća, s poznatim ponorom u Rašporu, zatim u Ročkom polju i kraj Roča.

Na području Istre izdvojene su slijedeće hidrogeološke cjeline: područje Ćićarije i Učke, područje Labinsko-Raškog bazena, te područje središnje i južne Istre. Izvorišta, čije se područje napajanja nalazi pretežito u središnjem dijelu Istre, su izvori s desne strane Raše, te izvor Gradole. Porijeklo voda izvora Gradole vezano je za karbonatni vodonosnik južno od fliškog bazena, zatim za flišno područje, ali dijelom, i to posebice u sušnom razdoblju, i za područje Ćićarije.

Pri kretanju, odnosno dinamici podzemne vode, potrebno je razlikovati razdoblja visokih i niskih voda. Pri visokim vodama tokovi podzemne vode su brzi i orijentirani na okršenu gornju zonu vodonosnika, što ima za posljedicu povišenu izdašnost izvora, ali kratko vrijeme zadržavanja vode u vodonosniku i brzi prijenos onečišćivača od mjesta onečišćenja do izvora. Nasuprot tome, u sušnim razdobljima gradijenti su manji, što ima za posljedicu s jedne strane smanjenje izdašnosti izvora, a s druge strane njihovu stabilnost. Ovih tečenja ima i tijekom razdoblja visokih voda, ali je njihov udio u ukupnoj količini istjecanja zasigurno daleko manji. Odnosi između pojedinih priljevniha područja izvora ili skupine izvora na području Istre mijenjaju se tijekom vremena, što je odraz zamršenosti gibanja podzemne vode u vremenu i prostoru, a što je pak posljedica značajki krških predjela kao što su nehomogenost geološke građe, neujednačenost okršivosti ili hidroloških uvjeta na površini (*Vlahović 1999*).

U regulaciji hidrauličkih odnosa sudjeluje istovremeno kako proces napajanja poniranjem padalina tako i proces istjecanja podzemnih voda na većem broju izvora. U takvim uvjetima, kretanje podzemnih voda, a samim tim i onog što one sa sobom nose, nije vremenski ni prostorno ustaljeno, pa preklapanje slijevnih područja pojedinih izvora povremeno znatno premašuje one relacije koje su ustanovljene trasiranjima. Može se istaknuti da na području istarskog poluotoka postoji složena kombinacija privilegiranih tokova i procijedne cirkulacije podzemnih voda do dubina koje su znatno ispod razine mora. Regionalna cirkulacija podzemnih voda pretežno je uvjetovana geološkim strukturama i tektonogenetskim odnosima, a hidraulički uvjeti

pojavljivanja pojedinih izvora upravljani su odnosom morfologije terena i hidrogeoloških struktura. U takvim se okolnostima izvori pretežito napajaju na užem priljevnom području tijekom kišnih razdoblja i pri povišenim vodostajima.

Brzo otjecanje velikih količina podzemnih voda koje se napajaju u neposrednom okruženju izvora, ili su povezane s regionalnim sustavom privilegiranih tokova, dovodi do promjene hidrauličkih odnosa, pa regionalni odnosi u sušnom razdoblju mogu biti bitno promijenjeni. Naime, hidraulički se stvaraju takve relacije da se priljevna područja pojedinih izvora postupno šire prema dijelovima vodonosnika s relativno nižom regionalnom propusnošću naslaga što ima za posljedicu smanjeno otjecanje. Takav sustav toka podzemnih voda u vrijeme niskih vodostaja, hidraulički se može predočiti kao procjeđivanje voda uskladištenih u slabije propusnim naslagama prema rasjednim zonama, preko kojih se napajaju kanali povezani s izvorom. Ekvivalentni hidrogeološki parametri vodonosnika pri kojim se odvijaju tokovi u vodonosniku tijekom niskih vodostaja bitno su različiti od onih pri visokim, pa je intenzivno crpljenje na lokaciji izvora pri minimalnim izdašnostima jedini način za utvrđivanje hidrauličkih parametara. Iz svega navedenoga, nameće se zaključak, da utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri ima prostorno veći, a vremenski dugotrajniji utjecaj (*Vlahović 1999*).

Hidrogeološke karakteristike istarskoga poluotoka podudaraju se s geološkim rasporedom karbonata na širem prostoru vapnenačkoga sastava, uz određene litostratigrafske i sedimentološke specifičnosti geološke građe jadranske karbonatne platforme. Promatrano s hidrogeološkog stajališta, sve navedene karbonatne i klastične naslage imaju i svoje hidrogeološke osobine, odnosno veću ili manju vodopropusnost ili nepropusnost, pa uvjetuju, tektonskim pokretima stvorenu, podzemnu ili viseću barijeru i za površinske i za podzemne vodene tokove. Pritom je važan i litološki sastav, tanja ili deblja uslojenost, odnosno kompaktnost te pukotinska razlomljenost ili raspucalost vapnenaca. Fliš postaje hidrogeološka barijera ukoliko zbog svog položaja presijeca ili usmjerava kretanje podzemnih voda (*Arbanas 1982*). Zbog vodonepropusnosti flišnih naslaga prostor je znatno snižen erozijom i razdijeljen mnogim tekućicama u mnogobrojne jaruge niz koje se slijevaju oborinske vode. U predjelima u čijem sastavu prevladavaju flišne naslage, rijeke imaju razgranatu mrežu pritoka. U predjelima u čijem sastavu prevladavaju karbonatne

stijene, rijeke su uz pomoć vodom nošenoga materijala usjekle duboke i strme kanjone.

Karbonatne naslage prema hidrogeološkim svojstvima dijele se na: dobro propusne (dobro uslojeni i gromadasti vapnenci jurske, kredne i eocenske starosti, propusnost kojih je pukotinska), srednje propusne (pločasti do škriljevački vapnenci s lokalnim ulošcima dolomita i lapora pretežito kredne starosti) i slabije propusne (dolomiti s ulošcima vapnenaca, pločasti i škriljevački vapnenci s ulošcima dolomita ili lokalno s ulošcima ugljena – kredne i paleogenske starosti). Klastične naslage mogu biti pretežno nepropusne ili nepropusne (flišolike naslage) te slabo propusne do nepropusne, s naizmjeničnim hidrogeološkim osobinama, u kojima je poroznost međuzrnska.

U područjima gdje prevladavaju pelitski tipovi predstavljeni siltitima, stijenski kompleks odlikuje se slabom do izrazito malom vodopropusnošću i visokim koeficijentom otjecanja. Posljedica je mala infiltracija oborina u teren i prevladavajuće površinsko otjecanje. Na takvim terenima oblikovanim u naslagama fliša stvara se hidrografska mreža vodotoka, koji se aktiviraju u razdobljima povećanih oborina. Erozijsko djelovanje takvih voda vrlo je izrazito i to u vidu tzv. jaružaste erozije. Najvažniji egzogeni proces na ogolinama je erozija izazvana površinskim tokom, tzv. Hortonovim tokom, koji nastaje kada intenzitet kiše prevlada infiltracijski kapacitet podloge (*Horton 1945*). Karakteristični reljefni oblici uslijed takvih tečenja su brazde i jaruge. Brazde predstavljaju promjenjive linijske tokove vode, najčešće nagiba istog ili približnog nagibu kosine na kojoj se nalaze, dok su jaruge veći linijski oblici koncentriranog površinskog toka, krivudavog tlocrta i strmih bokova. Njihova dužina može biti od desetak do nekoliko stotina metara, a dubina i širina od jednog do nekoliko desetaka metara. Jaruge predstavljaju stalne linijske površinske tokove nagiba dna u pravilu manjeg od nagiba okolnih kosina. Jaružanje slično kao i brazdanje može biti inicijalni mehanizam nastanka ogolina, no isto tako može biti izvor velike količine nanosa koji odnose povremeni bujični tokovi i na taj način podržavaju procese nestabilnosti na kosinama (*Gulam 2012*).

## 4 PRIKUPLJANJE I OBRADA ULAZNIH PODATAKA ZA PROCJENU HAZARDA KLIZANJA NA FLIŠNIM KOSINAMA SREDIŠNJE ISTRE

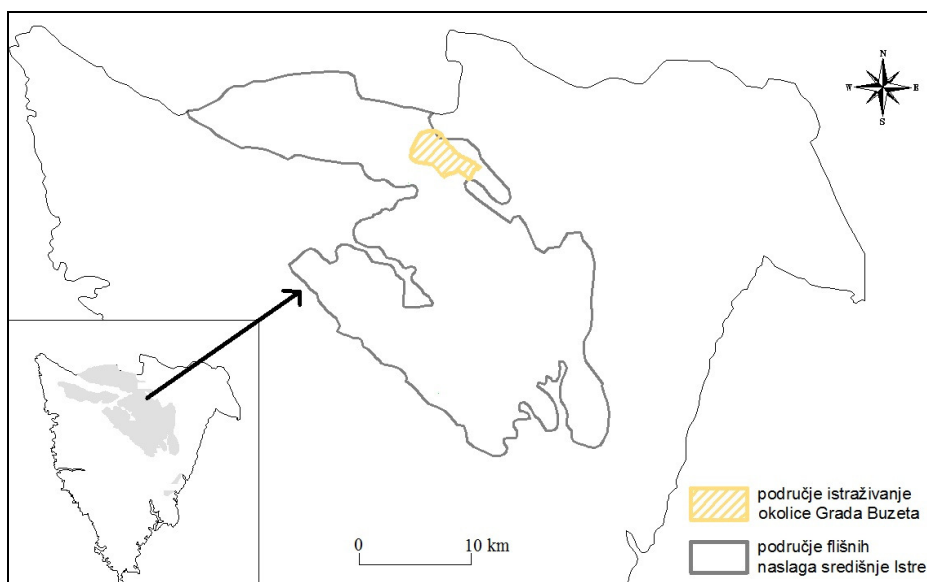
Istraživanje ponašanja inženjerskih kosina u flišnoj stijenskoj masi provedeno je za naslage fliša u zaleđu Rijeke (*Brunčić 2008*) uglavnom na temelju promatranja ponašanja i povratnih analiza zasjeka na prometnicama (*Arbanas i dr. 2007a, Arbanas i dr. 2008, Arbanas i dr. 2008a, Arbanas i dr. 2009, Arbanas i dr., 2010; Brunčić i dr., 2009; Brunčić i dr., 2010*). Analizirana su i klizišta u flišu na području Rijeke i u Istri, ali s manjim osvrtom na ponašanje stijenske mase (*Arbanas i dr. 2006, Arbanas i dr. 2007b, Dugonjić i dr. 2008, Benac i dr. 2006, Benac i dr. 2009, Arbanas i Dugonjić 2010, Arbanas i dr. 2010a*). Jedno od prvih značajnih sustavnih istraživanja provedeno je u sklopu istraživanja geotehničkih značajki flišne stijenske mase na području Istre (*Žufić 2011*).

Prikupljanje i obrada podataka provedeno je za područje za koje je planirano provesti determinističku analizu hazarda klizanja. S obzirom na to da su predmet istraživanja klizišta formirana u flišnim naslagama, područje istraživanja definirano je s obzirom na geološku građu i to prema podacima s Osnovne geološke karte (mjerila 1: 100,000). Na slici prikazano je cijelo područje središnje Istre izgrađeno od flišnih naslaga čija ukupna površina iznosi približno 550 km<sup>2</sup> u odnosu na područje istraživanja čija je površina oko 13 km<sup>2</sup>. Ulazni podaci o uzrocima klizanja prikupljeni su unutar granice područja istraživanja, a podaci o klizištima prikupljeni su i u drugim dijelovima flišnih naslaga područja središnje Istre.

Pri izradi baze podataka relevantnih za procjenu hazarda klizanja vodilo se računa o dva osnovna pravila: homogenosti informacija i istovrsnosti podataka. Ulazni podaci za analizu hazarda klizanja na kosinama izgrađenim od flišnih naslaga u središnjoj Istri uključuju: podatke o klizištima; podatke o fizičko-mehaničkim svojstvima stijena i tala u kojima su formirana klizišta i njihovoj podlozi; podatke o inicijatorima klizanja (oborinama). Podaci o klizištima, potrebni za determinističke analize hazarda, su karta inventara klizišta i karta uzroka klizanja (vrsta stijene, debljina pokrivača, dubina do podzemne vode). Na temelju utvrđenih potrebnih ulaznih podataka definirani su sljedeći načini prikupljanja podataka: prikupljanje



podataka o klizištima iz postojeće dokumentacije (elaborata o geotehničkim istraživanjima i projekata sanacije klizišta); prikupljanje podataka o vrstama stijena/tala i debljini pokrivača na terenu; prikupljanje podataka o fizičko-mehaničkim značajkama stijena/tala iz postojeće dokumentacije i laboratorijskim ispitivanjima uzorka.

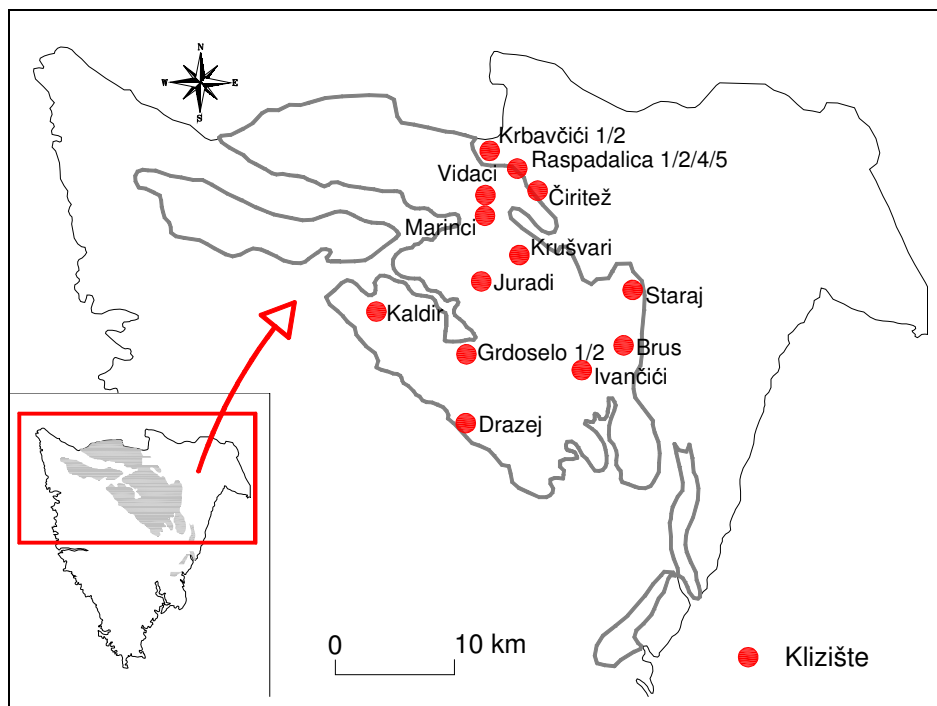


Slika 4.1 Područje središnje Istre i područje okolice Grada Buzeta

#### 4.1 Pregled stanja klizišta u području flišnih kosina središnje Istre

Na istraživanom područje izgrađenom od flišnih naslaga u središnjoj Istri, ukupno je do 2010. istraživano 19 klizišta. Na temelju podataka prikupljenih iz postojeće dokumentacije načinjena je baza podataka recentnih klizišta s osnovnim informacijama o lokaciji klizišta, tipu pokreta, dimenzijama i vremenu (re)aktiviranja klizišta, kao i s drugim podacima iz geoloških i geotehničkih elaborata, laboratorijskih izvještaja, projekata sanacije i dr. Na slici 4.2 prikazane su lokacije istraživanih klizišta.





Slika 4.2 Recentna dokumentirana klizišta na flišnim kosinama središnje Istre (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

U tablici 4.1 sažeto su prikazani osnovni podaci o svakom pojedinom klizištu. Za opis klizišta korištena je terminologija prema višejezičnom rječniku za klizišta (WP/WLI 1993), a tip pokreta određen je prema klasifikaciji Varnes (1978). Baza podataka o klizištima sadrži slijedeće ulazne podatke, koji su kasnije korišteni za prostorne analize i procjenu vremenske vjerojatnosti klizanja:

- inventar inventar dokumentiranih klizišta,
- dostupne opise, fotografije, nacрте, laboratorijske izvještaje, analize stabilnosti, primijenjene mjere sanacije, podatke o ugrađenoj opremi za praćenje klizišta (inklinometri, piezometri), ukoliko postoje,
- podatke o količinama oborina na području istraživanja,
- geotehničke fizičko-mehaničke značajke flišne stijenske mase i pokrivača.

Analizom svih prikupljenih podataka je utvrđeno da je na području flišnih kosina središnje Istre nastaju mala klizišta klizanjem naslaga trošne zone kolutivno-deluvijalnog pokrivača po granici s flišnom stijenskom masom koja se nalazi u njihovoj podlozi, kao što je već ranije opisano u radu Arbanas i dr. (1999). Klizišta uglavnom zahvaćaju relativno male površine kosina i u pravilu su uzrokovana nepovoljnim hidrološkim uvjetima, vrlo često u kombinaciji s ljudskim aktivnostima kao što su izgradnja prometnica i drugih infrastrukturnih građevina (Arbanas i dr.

2007). S obzirom na distribuciju i stil aktivnosti prema *Cruden i Varnes (1996)*, klizišta na flišnim kosinama u pravilu su višestruka retrogresivna, što znači da nakon inicijalnog klizanja dolazi do opetovanog istog tipa kretanja s kliznom plohom koja se razvija u smjeru obrnutom od smjera kretanja klizišta. Nestabilnost je predisponirana trošenjem površinskih naslaga flišne stijenske mase te negativnim utjecajem atmosferilija, a inicirana je promjenama razine podzemne vode uslijed nepovoljnih hidroloških uvjeta kada porast pornih tlakova dovodi do toga da posmična naprezanja prekoračuju vrijednosti čvrstoće tla na kliznoj plohi i uzrokuju početak klizanja. Također je uočeno je da su analiziranim pojavama sloma kosine prethodile pojave deformacija na padini u obliku dugotrajnih puzanja, što je prvi korak u razvoju klizišta (*Arbanas i dr. 2007*).

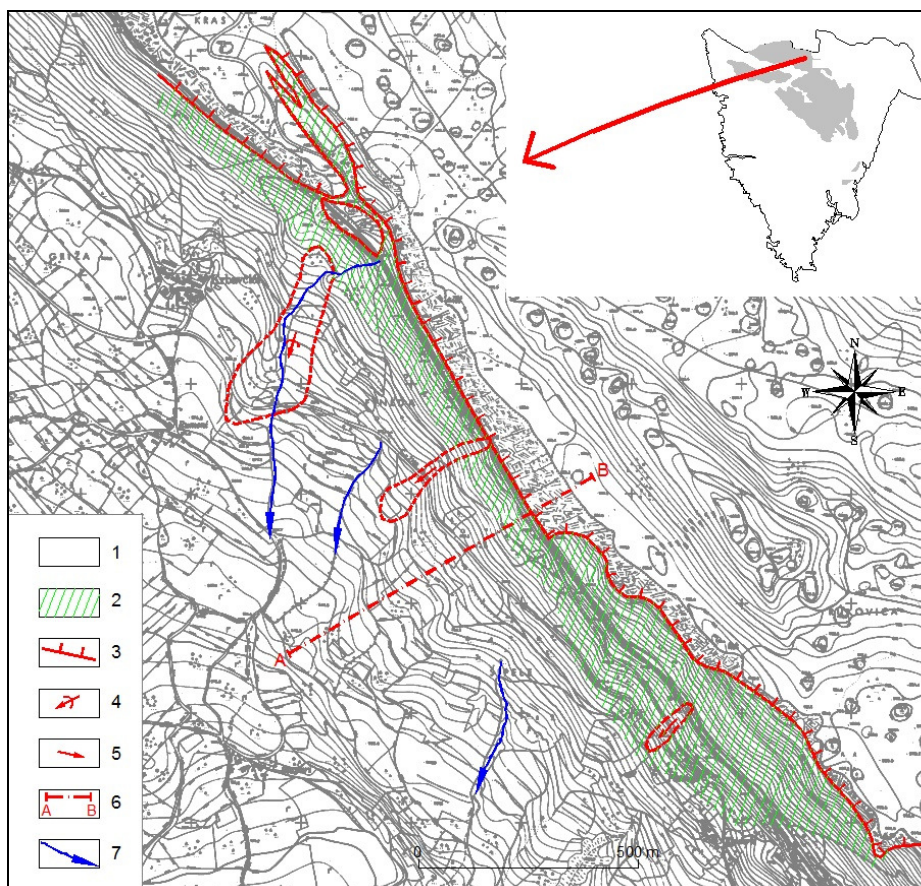
U nastavku je kronološkim slijedom opisano sedam klizišta na području središnje Istre na kojima su provedena detaljna geotehnička istraživanja. Ova klizišta izdvojena su iz skupine od 19 dokumentiranih klizišta zbog toga što su za njih postojali cjeloviti podaci o mehanizmu pokreta (tipu klizišta), dimenzijama, inženjerskogeološkom modelu, geotehničkim parametrima i mjerama sanacije. Osim toga, ova klizišta su karakteristična za istraživano područje. Ostala klizišta nisu ovdje detaljnije opisana zbog nedostatka cjelovitih podataka. Osim toga, poznato je da na području istraživanja postoji još barem deset klizišta koja su detaljno istraživana, ali podaci o njima nisu bili dostupni te zbog toga nisu uključeni u ovaj prikaz.

Tablica 4.1 Osnovni podaci o recentnim klizištima (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Lokacija	Vrijeme klizanja	Tip nestabilnosti	Procijenjeni volumen (m <sup>3</sup> )	Nagib kosine (%)	Debljina pokrivača (m)	Pokretač klizanja
Krbavčići	siječanj 1979.	rotacijsko klizanje	59,000	prosjeak 15–20	0,5-10,0	oborine
Krbavčići 1	siječanj 1979.	translacijsko klizanje	176,000	prosjeak 15–20	1,0-10,0	oborine
Staraj	proljeće 1993.	rotacijsko klizanje	1,900	prosjeak 10–30	3,5-4,0	oborine
Krušvari	proljeće 1993.	rotacijsko klizanje	68,500	prosjeak 14; donji dio 10; ispod ceste 30	1,5-9,0	oborine /antropogeni
Raspadalica 1	1992.	translacijsko klizanje	900	50–70; gornji dio vertikalni	1,5-3,5	oborine
Raspadalica 4	1994.	rotacijsko klizanje	4,100	50–70; gornji dio vertikalni	2,5-5,5	oborine
Čiritež	1995.	rotacijsko klizanje	37,000	prosjeak 14	5,0-10,0	oborine
Raspadalica 2	1995.	rotacijsko klizanje	2,900	55–70; gornji dio vertikalni	2,5-6,5	oborine
Raspadalica 5	1995.–1999.	rotacijsko klizanje	13,400	50-70; gornji dio vertikalni	4,0-11,0	oborine
Grdoselo 1	zima 2002.	rotacijsko klizanje	1,800	prosjeak 25; donji dio 15; gornji 35	0,5-6,5	oborine /antropogeni
Grdoselo 2	zima 2002.	rotacijsko klizanje	2,300	prosjeak 25; donji dio 15; gornji 35	0,5-5,5	oborine / antropogeni
Krbavčići— raktivirano	siječanj 2003.	tok sitnozrnastog materijala	35,000	prosjeak 15–30	0,5-10,0	oborine /antropogeni
Ivančići	proljeće 2004.	odron	1,500	gornji dio 45; donji 15–30	1,0-3,6	oborine
Vidaci	zima 2004.	odon	1,400	gornji dio 54; donji 35	1,0-2,5	oborine
Drazej	siječanj 2005.	rotacijsko klizanje	9,800	prosjeak 30; donji dio 15	4,5-8,0	oborine /antropogeni
Brus	proljeće 2005.	translacijsko klizanje	35,000	prosjeak 15; donji dio 35	0,5-1,5	oborine
Marinci	proljeće 2006.	rotacijsko klizanje	1,800	prosjeak 30; donji dio 55	8,0-8,5	oborine /antropogeni
Juradi	studen 2010.	translacijsko klizanje	47,000	gornji dio 5–7; ispod ceste 10–25	6,0-11,0	oborine /antropogeni
Kaldir	zima 2010.	rotacijsko klizanje	2,000	prosjeak 22–30	7,0-9,0	oborine

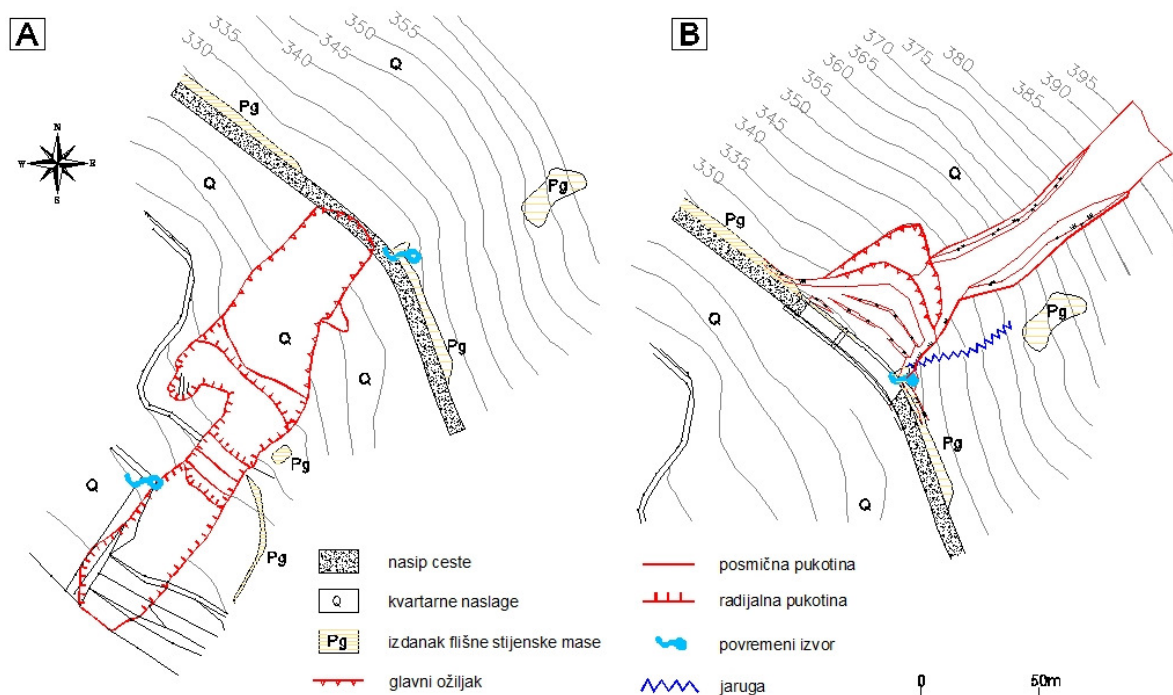
#### 4.1.1 Klizište i tok sitnozrnastog materijala Krbavčići

Prvi veći pokreti masa na kosinama na području sela Krbavčići, u blizini Grada Buzeta (slika 4.3) registrirani su 1961. godine nakon čega je nastupilo prirodno zaustavljanje klizanja. Istraženo područje u potpunosti je pokriveno kvartarnim naslagama: mješavinom krupnozrnastih odlomaka transportiranih s područja vapnenačkih litica (deluvij ili koluvij) i sitnozrnastih prahovitih glina nastalih trošenjem flišne stijenske mase (rezidualno tlo). Na karakterističnom geološkom profilu (slika 3.9) prikazana je geološka granica između naslaga paleogenskog fliša i vapnenaca koje su ishodišne stijene navedenih inženjerskih tala pokrivača. Izdanci flišne stijenske mase vidljivi su u zasjecima ceste.



Slika 4.3 Geološka karta područja Krbavčići. Tumač oznaka: 1. paleogenski vapnenci; 2. paleogenski lapori, fliš i kvartarne tvorevine; 3. reversni rasjed; 4. klizište; 5. blatni tok; 6. karakterističan geološki profil (vidi sliku 3.9); 7. povremeni vodotok (modificirano prema: Arbanas i dr. 2006)

Klizište kod naselja Krbavčići reaktivirano je između 30. i 31. siječnja 1979. godine, nakon dužeg kišnog razdoblja koje je trajalo od listopada 1978. do kraja siječnja 1979. godine, a klizanje je klasificirano kao višestruko retrogresivno (slika 4.4a). Klizanje se dogodilo na kosini prosječnog nagiba 15 do 20%. Duljina klizišta je bila 200 metara, pri čemu je pokrenuta masa prešla preko ceste i zatrpala vinograde smještene na padinama jugozapadno od ceste. Dubina klizanja bila je 10 metara, a volumen pokrenute klizne mase iznosio je 59,000 m<sup>3</sup>. Pokretanje klizne mase niz kosinu je predodređeno debljinom pokrivača, a prema položaju i pomacima kliznog tijela klizanje se može smatrati translacijskim, jer je trošna stijenska masa u pokrivaču klizala po svježoj flišnoj stijenskoj podlozi. Prema aktivnosti klizište pripada reaktiviranim klizištima, s obzirom da je na ovoj lokaciji registrirano povijesno klizanje 1961. godine. Klizište je sanirano, a cesta je izvedena premoštenjem kliznog tijela vijaduktom.



Slika 4.4 Detaljna karta klizišta Krbavčići: (a) klizište 1979. godine; (b) tok sitnozrnastog materijala tla 2003. godine (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Klizište se ponovno reaktiviralo u zimi 2003. godine na način da su registrirani pomaci u gornjem dijelu kosine (slika 4.4b i 4.5). Prvi pokreti su se pojavili u prosincu 2002. godine, a pomaci su se intenzivirali sve do pojave toka sitnozrnastog materijala početkom siječnja 2003. (Arbanas i dr. 2006). Nakon razdoblja velikih kiša (tablica 4.3) formiran je tok materijala tla pokretanjem koluvijalnog pokrivača na padini u



jaruzi iznad ceste u dužini 160 m. Klizanje je uzrokovano povećanjem sadržaja vode u naslagama pokrivača pri čemu je dosegnuto žitko konzistentno stanje. Brzina klizanja rasla je od 10 cm/dan sve do više od 5 m/dan. Klizna masa transportirana je preko starog klizišta, sve do neposredne blizine vijadukta, zbog čega je postojala opasnost njegova rušenja. Vijadukt je spašen iskapanjem i micanjem velikih količina nagomilanog materijala iz kliznog tijela. Dubina klizanja bila je 10 m, a ukupna pokrenuta klizna masa volumena 35,000 m<sup>3</sup> na kosini prosječnog nagiba 15 do 30%. Brzom intervencijom uklonjena je klizna masa u blizini vijadukta, odvezeno je više od 25,000 m<sup>3</sup> materijala iz kliznog tijela, čime je spriječeno rušenje vijadukta. Zaustavljanju klizanja također je doprinijeo prestanak kiša i nastupanje sušnijeg perioda, čime je smanjeno doticanje vode u klizno tijelo.



Slika 4.5 Tok sitnozrnastog materijala tla Krbavčiči reaktiviran u siječnju 2003. godine (foto: Ž. Arbanas, 2003.)

Tablica 4.2 Prikaz dimenzija pojava nestabilnosti Krbavčiči (Arbanas i dr. 2006, Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Dimenzije (m)	Klizište Krbavčiči (1979.)	Tok sitnozrnastog materijala tla Krbavčiči (2003.)
Ukupna duljina od krune (L)	242	140
Duljina pokrenute mase (L <sub>d</sub> )	240	137
Maksimalna duljina klizne plohe (L <sub>r</sub> )	220	130
Maksimalna širina pokrenute mase (W <sub>d</sub> )	55	40
Maksimalna širina klizne plohe (W <sub>r</sub> )	45	50
Debljina pokrenute mase (D <sub>d</sub> )	10.0	6
Maksimalna dubina klizne plohe (D <sub>r</sub> )	12,5	10

Prema rezultatima detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja klizišta i rezultatima istražnog bušenja, procijenjene su dimenzije kliznog tijela i opisane u skladu s WP/WLI preporučene nomenklature za klizišta (*IAEG 1990*), tablica 4.2.

U tablici 4.3. prikazan je intenzitet oborina za 1978. i 2002. godinu u mjesecima koji su prethodili pokretanju klizišta, kao i prosječne vrijednosti mjesečnih oborina od 1963. do 2003. godine, na temelju podataka registriranih na meteorološkoj postaji Abrami kraj Buzeta, udaljenoj oko 10 km južno od klizišta Krbavčići. Zbog male vodopropusnosti pokrivača, tečenje se odvijalo vrlo sporo u donjim dijelovima kosine gdje su padinske tvorevine uglavnom glinovitog sastava, s različitim udjelom praha i pijeska, na kontaktu s flišnom stijenskom podlogom. To je izazvalo podizanje razine vode u gornjim slojevima pokrivača. Prekoračenje čvrstoće materijala u području zone trošenja neposredno iznad flišne stijenske podloge, izazvalo je pojavu klizanja u vidu višestrukog retrogresivnog klizanja.

Tablica 4.3 Prikaz intenziteta oborina u razdoblju nastalih nestabilnosti na meteorološkoj postaji Abrami (Arbanas i dr. 2006)

Godina	Količina oborina (mm)												Ukupno
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX.	X	XI	XII	
1978.	157,3	72,2	87,1	96,1	147,6	79,1	51,8	97,7	79,0	100,2	60,5	151,8	1180,4
2002.	17,5	106,0	6,0	113,5	121,2	113,2	65,9	174,2	127,7	111,8	202,6	38,7	1198,3
Prosjek													
1963.- 2003.	83,5	70,5	81,7	92,6	89,6	107,4	77,1	98,5	118,1	119,1	130,3	95,4	1163,7

Tokovi sitnozrnastog materijala na terenima oblikovanim u flišnoj stijenskom masi središnje Istre nisu tipična pojava nestabilnosti već nastaju na lokacijama koje su geomorfološki i geološki predodređene na način da su fosilne jaruge, duboko usječene u flišnoj stijenskoj podlozi, ispunjene glinovitim ili siparišnim materijalom koji je gravitacijom donesen s hipsometrijski viših dijelova padine. Ove padinske tvorevine izgrađene su od odlomaka vapnenaca i prahovite gline nastale kao rezultat trošenja i erodiranja flišne podloge. Zapunjavanjem jaruga dolazi do sprječavanja površinskog tečenja, ali podzemni tokovi kroz naslage pokrivača pojačani su zbog nemogućnosti tečenja kroz slabo propusne flišne naslage. U nepovoljnim uvjetima s kontinuiranim, dugotrajnim oborinama dolazi do zasićenja glinovitog pokrivača te

podizanja razine podzemne vode u padini (*Arbanas i dr. 2006*). Zbog male vodopropusnosti glinovito-prahovitih naslaga, tečenje se odvija vrlo sporo, naročito u donjim dijelovima kosina gdje prevladavaju glinovita inženjerska tla. To izaziva podizanje razine vode u gornjim dijelovima kosina s pretežno krupnozrnastim siparišnim materijalom (*Picarelli i dr. 2005*).

Geotehničke značajke pokrivača izravno ovise o mineralnom sastavu glinovitih materijala. U tablici 4.4. prikazani su rezultati mineraloške analize sedam uzoraka, primjenom rendgenske difrakcije na prahu (XRD). Uzorci su uzeti na različitim dubinama iz naslaga koje izgrađuju kosinu na samom klizištu i bližoj okolici. Vidljiva je velika učestalost (od 40 do 70%) minerala gline u materijalima u kliznom tijelu u odnosu na ostale ispitane uzorke iz stijenske mase. Također je uočena veća prisutnost minerala muskovita i illita u području kliznog tijela. To su u pravilu minerali gline koji određuju ponašanje niskoplastičnih naslaga (CL). Za njih je karakteristična niska granica tečenja, odnosno likvefiranje pri niskim vlažnostima koji se lako dosežu u razdobljima visokih oborina.

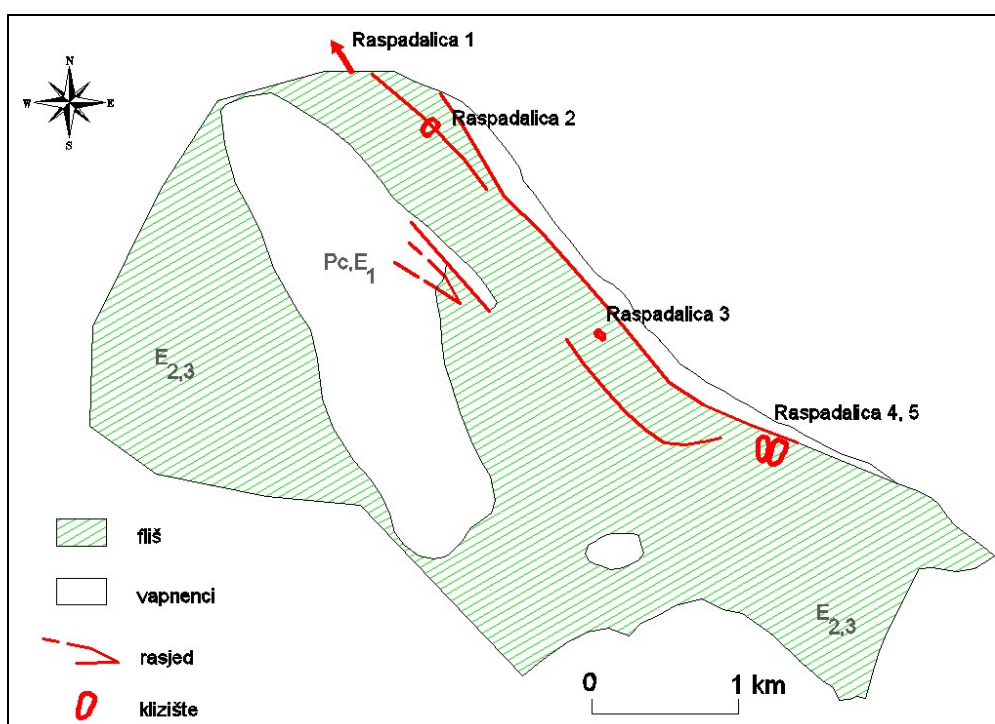
Tablica 4.4 Mineralni sastav materijala na kosini (*Arbanas i dr. 2006*)

Redni broj uzorka	Porijeklo	Mineral gline (%)								Ukupno minerala gline
		Kalcit	Kvarc	Plagioklas	K-feldspat	Tinjci	Klorit	Vermikulit	Smektit	
1	Stijenska podloga	36	10	+		20			10	~55
2	Stijenska podloga	48	10	<5		12	+		5	~40
3	Stijenska podloga	51	10	+		10			5	~40
4	Trošna zona	33	13	+		15			10	~55
5	Klizno tijelo		26	<5	+	25		10		~70
6	Stijenska podloga	32	18	5	+	15		10		~45
7	Klizno tijelo	13	23	5	+	20			10	~60



#### 4.1.2 Klizišta na području Raspadalica

Na području oko željezničke pruge Slovenija- Pula (šire područje klizišta Krbavčiči), sjeveroistočno od grada Buzeta (Raspadalica) već desetljećima postoje brojne nestabilnosti, od kojih su registrirana klizišta istraživana u razdoblju od 1992. do 1999. godine (stručna dokumentacija [15], [16], [17], [20], [22], [23]). Također postoji i sačuvana dokumentacija o klizanju pruge još iz travnja 1951. godine (*Duhovnik i dr. 1951, Poljanšek 1952*). Na pet klizišta provedene su i zahtijevane mjere sanacije.



Slika 4.6 Klizišta Raspadalica 1-5 prikazana na preglednoj karti područja istraživanja

Prethodnim istraživanjima područja utvrđeno je da teren izgrađuju naslage donjeg eocena ( ${}^3\text{Pg}$ ) izgrađene od smeđih do smeđesivih dosta razlomljenih vapnenaca, navučenih na naslage gornjeg lutecija ( ${}^3\text{E}_2$ ) izgrađene od glinovitih do vapnovitih lapora s proslojcima pješčenjačke breče. Na površini terena, oko pruge, nalaze se naslage umjetnog porijekla, odnosno dio nasipi ( $Q_N$ ). Područje klizišta Raspadalica (slika 4.6) nalazi se na dodiru između dviju tektonskih jedinica, ljuskave strukture planine Ćićarije i tršćanskog paleogenskog bazena. Ova geološka granica je najveći reversni rasjed, koji po svom pružanju također uglavnom prati

željezničku prugu. Kinematika prostora svodi se na model odnosa krutih vapnenaca i relativno plastičnog fliša tijekom deformiranja. Istražnim radovima je utvrđeno da su alveolinski vapnenci i naslage fliša jače tektonski oštećeni u području navlačnog dodira, što se odražava na njihova fizičko-mehanička svojstva. Na širem području utvrđeni su i poprečni rasjedi u karbonatnim naslagama, koji se, zbog pokrivenosti terena, ne mogu pratiti unutar naslaga fliša. Dio terena sjeveroistočno od klizišta Raspadalica čini vapnenački masiv Ćićarije, gdje započinju vrlo strmi nagibi terena, često s vertikalnim liticama. Jugozapadno od klizišta Raspadalica teren formirani od flišnih naslaga karakteriziran je znatno blažim nagibima terena.

Hidrogeološki uvjeti ovise o litološkom sastavu naslaga, geološkim strukturama, trošnosti naslaga i karakteristikama lokalnog reljefa. Oborine koje padnu u području vapnenaca brzo se infiltriraju u dublje slojeve terena, a potom dreniraju duž poprečnih rasjeda formirajući niz manjih izvora. U cijelom razdoblju geotehničkih istraživanja klizišta, podzemne vode u bušotinama su nakon obilnih i dugotrajnih oborina registrirane na dubinama većim od 20 metara (prema postojećoj stručnoj dokumentaciji). Razlozi za to su dobra propusnost vapnenaca i relativna nepropusnost flišnih naslaga koje imaju funkciju hidrološke barijere. Površinski infiltrirane vode relativno brzo se dreniraju duž kontakta nepropusnog fliša i propusnih siparišnih i nasutih materijala. Ukoliko u podlozi postoje proslojci pješčenjaka, oni djeluju kao drenažni putovi i smanjuju negativni utjecaj vode na proces klizanja. Jedina mogućnost trajnijeg zadržavanja i destruktivnog djelovanja podzemnih voda prisutna je u iskopom umjetno stvorenim depresijama u glinovitoj podlozi, koje su kasnije zapunjene siparišnim ili nasutim naslagama (tzv. vreće). U takvim dijelovima padine stvoreni su privremeni viseći vodonosnici čija stabilnost ovisi o prethodnim kišnim razdobljima, intenzitetu i trajanju oborina. Iz provedenih istraživanja se može zaključiti da se sva klizanja na predmetnim lokacijama događaju duž geološke granice kvartarnih sedimenata rezidualnih glina formiranih na naslagama gornjeg lutecija (stručna dokumentacija [15], [16], [17], [20], [22], [23]).

Na području klizišta Raspadalica 1 materijal iz nasipa (ranije uređenog u nagibu 1:1,5) je u potpunosti otklizao na niži dio padine blažih nagiba, gdje je zauzeo stabilan položaj. Širina klizišta je bila od 10-15 m, a na čelu klizišta nije došlo do vidljivih odronjavanja vapnenaca. Posljedica ove nestabilnosti su bila oštećenja desne tračnice i njezina učestala slijeganja te potreba za podbivanjem tucanikom.

Slični procesi dogodili su se i na klizištu Raspadalica 2 gdje je, nakon višegodišnjeg slijeganja kolosjeka, slijeganje tijekom nekoliko dana višestruko ubrzano da bi krajem siječnja 1995. došlo do konačnog sloma padine. Klizanje je ovdje prouzročeno značajnijom količinom oborina početkom 1995. godine. Područje je sanirano zamjenom materijala u kliznom tijelu do dubine čvrste podloge.

Klizište Raspadalica 3 započelo je s klizanjem 1992. godine, iznad zasjeka ceste koja je smještena neposredno ispod pruge Slovenija-Pula. S južne strane pruga je u nasipu koji je oslonjen na relativno strmu padinu. S lijeve strane, oko 50 metara ispod pruge, u padinu je zasječena lokalna cesta na kojoj je započelo inicijalno klizanje. Godine 1995. provedena su detaljna geotehnička istraživanja klizišta, tijekom kojih je bio nužan stalni nadzor istražnih bušenja i prilagođavanje programa istraživanja ovisno o situaciji na terenu. U okviru ovog programa istraživanja provedena su i detaljna geofizička istraživanja područja (seizmička refrakcija i geoelektrično sondiranje), a u bušotine su ugrađeni piezometri. Na temelju analiza stabilnosti zaključeno je da padina, zbog svoje geometrije i položaja u odnosu na kontakt vapnenaca i fliša, vrlo lako prelazi iz labilnog stanja ravnoteže u nestabilno stanje, a kao osnovni pokretač sloma kosine navode se oborine tijekom kojih padina iz suhog stanja prelazi u saturirano stanje, pri čemu se smanjuje faktor sigurnost (stručna dokumentacija [16]). Klizište je sanirano izvedbom potporne konstrukcije i drenažom vode iz trupa nasipa obložnim kanalima i obnovom postojećih propusta.

Istraživanja provedena na lokaciji klizišta Raspadalica 4 i 5 ukazala su na to da je uzrok slijeganja nasipa podzemna voda unutar najdubljih dijelova formiranih vreća tucaničke zastorne prizme i pliče u padini, te progresivno produbljivanje takvih umjetnih depresija. Iz istog razloga je bilo potrebno utvrditi morfologiju nasipa izrađenog od vreća, ugraditi piezometre koji ulaze oko 5 m u slojeve lapora i pješčenjaka i analizirati utjecaj pornih pritisaka na destabilizaciju dijelova padine. Rješavanje tog problema bilo je otežano jer u postavljenim piezometrima nisu registrirane razine podzemnih voda do dubina od oko 8 m, niti nakon najobilnijih i najdugotrajnijih oborina (stručna dokumentacija [16] i [17]), što je objašnjeno postojanjem podzemne vode ispod dubine do koje sežu ugrađeni piezometri. Porni pritisci su varirali od slučaja do slučaja, pa kretanje podzemne vode nije bilo moguće definirati ni u provedenim analizama stabilnosti. Utvrđeno je da je područje klizišta

nestabilno u saturiranim uvjetima, a relativno stabilno u suhim uvjetima. Položaji kliznih ploha su pretpostavljeni na temelju prijašnjih istraživanja a ne na stvarnim činjenicama prikupljenim na konkretnoj lokaciji.

#### 4.1.3 Klizište Krušvari

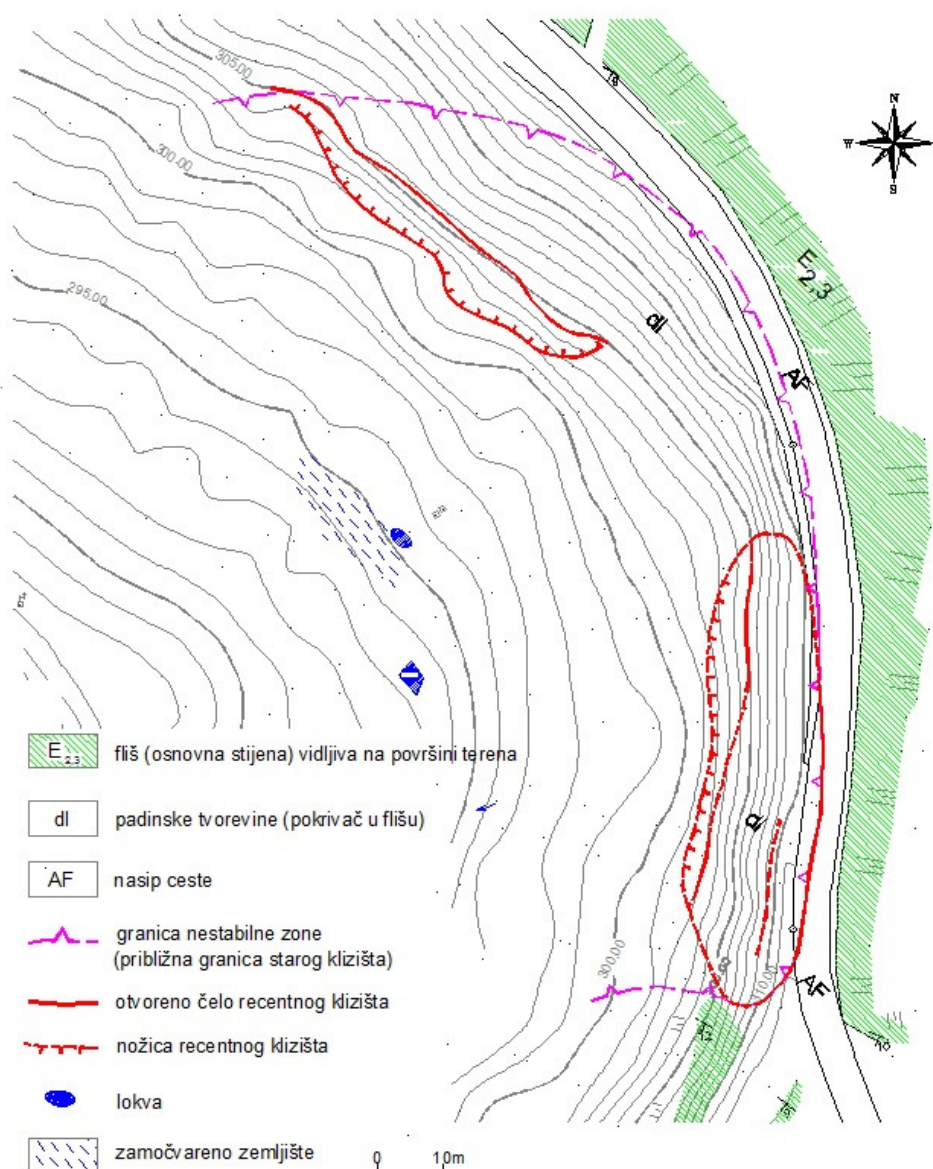
Klizište Krušvari nalazi se na padini jugoistočno od županijske ceste Cerovlje – Buzet ŽC 5013 na sjevernom ulazu u mjesto Krušvari (slika 4.7). Na slici 4.8 prikazana je detaljna karta klizišta s granicama klizišta iz 1993. godine čija površina je iznosila oko 10,000 m<sup>2</sup>. Klizanje je nastalo u razdoblju velikih oborina u proljeće 1993. godine, kada je klizište inicirano prelijevanjem oborinskih voda preko ruba prometnice u tijelo starog klizišta. Kretanje klizne mase po glavnoj pukotini prouzročilo je odnošenje dijela materijala nasipa ceste te oštećenja prometnice u dužini od približno 30 metara.



Slika 4.7 Pogled na stepeničasto-valoviti teren i nagnuto drveće na klizištu Krušvari (snimljeno u vrijeme istraživanja, foto: Ž. Arbanas, 2004.)



Klizište Krušvari je reaktivirano umanjujuće klizište, nastalo u čelu starog klizišta (slika 4.8). Tragovi starog klizanja vidljivi su u obliku starih ožiljaka vlačnih pukotina, mjestimično nepravilne geometrije padine te nagnutog drveća i vegetacije karakteristične za zamočvarene zone. Granice starog klizišta su u gornjem dijelu jasno ograničene izdancima stabilne flišne stijene na površini, dok su bočne granice pretpostavljene, jer nisu jasno izražene niti na terenu, niti na korištenoj topografskoj podlozi. Zbog toga nije moguće precizno odrediti dimenzije klizišta, već su one procijenjene u tablici 4.5.



Slika 4.8 Detaljna karta klizišta Krušvari (modificirano prema stručnoj dokumentaciji [12])

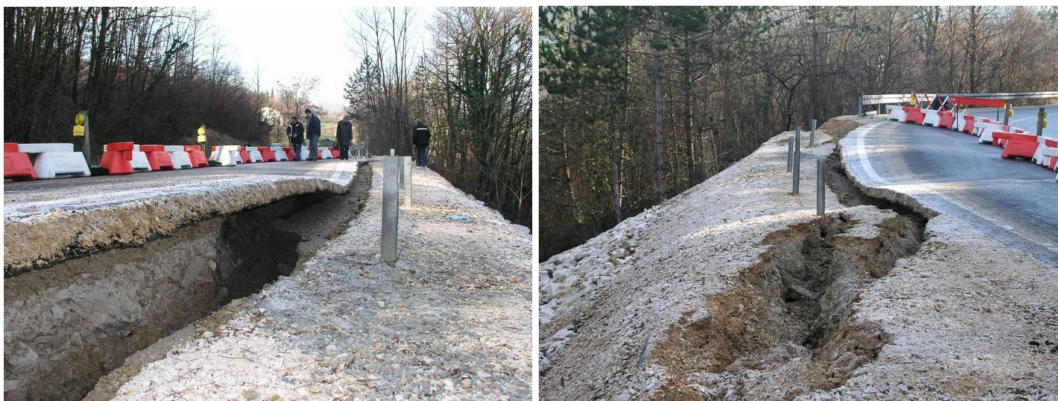
Padine na lokaciji klizišta Krušvari su većinom pokrivene niskom vegetacijom (slika 4.7), a izdanci flišne stijenske mase vidljivi su u zasjecima oko ceste. Prirodna morfologija padine ispod ceste značajno je izmijenjena formiranjem terasa tijekom poljoprivrednih djelatnosti. Nakon provedenih inženjerskogeoloških i geotehničkih istražnih radova utvrđeno je da je klizište formiran u naslagama trošne flišne stijenske mase, koje klize po svježoj stijenskoj podlozi. Faktor sigurnosti na klizanje povećao bi se trajnim sniženjem podzemne vode u pokrivaču.

Tablica 4.5 Prikaz dimenzija klizišta Krušvari (prema stručnoj dokumentaciji [12])

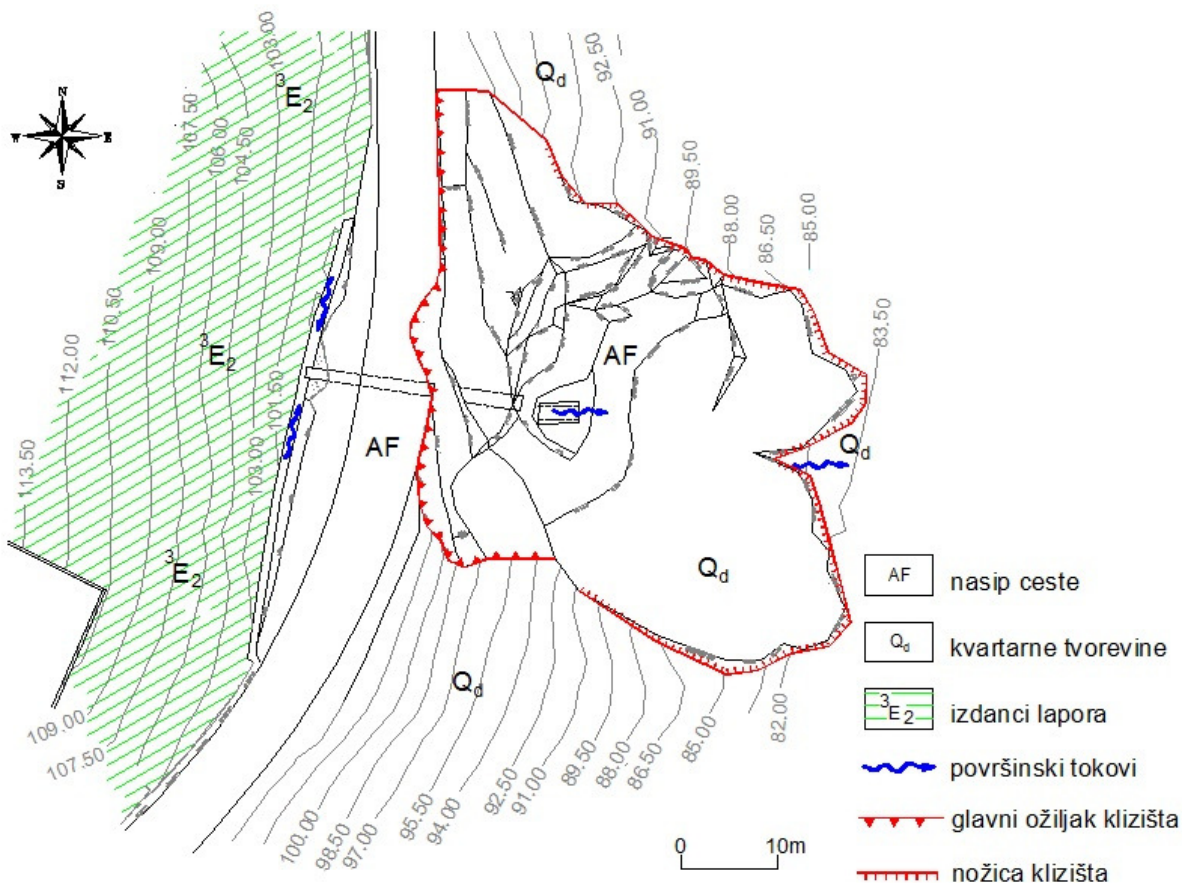
Dimenzije (m)	
Ukupna duljina od krune ( $L$ )	115
Duljina pokrenute mase ( $L_d$ )	80
Maksimalna duljina klizne plohe ( $L_r$ )	115
Maksimalna širina pokrenute mase ( $W_d$ )	145
Maksimalna širina klizne plohe ( $W_r$ )	85
Debljina pokrenute mase ( $D_d$ )	4,5
Maksimalna dubina klizne plohe ( $D_r$ )	7

#### 4.1.4 Klizište Drazej

Klizište Drazej kraj grada Pazina pokrenuto je 2. siječnja 2005. godine na regionalnoj cesti i zahvatilo je veći dio nasipa ceste, kao što je prikazano na slici 4.9. Na slici 4.10 prikazana je detaljna karta klizišta na kojoj se vidi položaj i dimenzije klizišta te hidrogeološka obilježja lokacije. Nakon početne pojave vlačnih pukotina klizanje više nije bilo moguće zaustaviti te je u slijedećih mjesec dana odnesen nasip ceste u širini 30 m. Istražnim radovima ustanovljeno je da je dubina klizne plohe iznosila 8,0 m, a klizanje je nastalo na granici između glinovitog pokrivača i flišne stijenske mase u podlozi. Klizanjem je bio zahvaćen volumen od približno 10,000 m<sup>3</sup>. Dimenzije klizišta Drazej dane su u tablici 4.6.



Slika 4.9 Fotografije oštećenja prometnice snimljene nakon klizanja na klizištu Drazej (foto: Ž.Arbanas, 2. siječanj 2005.)



Slika 4.10 Detaljna karta klizišta Drazej (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Pokretanje kliznog tijela je izravno izazvano velikom količinom oborina i odvodnjom oborinskih voda s ceste koja je koncentrirana na dijelu kosine ispod nasipa u središnjem dijelu kliznog tijela. Istražnim radovima je ustanovljeno da je na lokaciji ovog klizišta prethodno bilo evidentirano više klizanja, ali točni podaci o

povijesnim klizanjima nisu poznati. Iz geotehničkog profila vidljivo je da je kolnička konstrukcija obnavljana više puta, što svjedoči o višestrukom klizanju u prošlosti te su ostaci dijelova stare kolničke konstrukcije pronađeni do 3,6 m ispod postojeće.

Tablica 4.6 Prikaz dimenzija klizišta Drazej (prema stručnoj dokumentaciji [11])

Dimenzije (m)	
Ukupna duljina od krune (L)	48
Duljina pokrenute mase ( $L_d$ )	45
Maksimalna duljina klizne plohe ( $L_r$ )	25
Maksimalna širina pokrenute mase ( $W_d$ )	50
Maksimalna širina klizne plohe ( $W_r$ )	49
Debljina pokrenute mase ( $D_d$ )	4
Maksimalna dubina klizne plohe ( $D_r$ )	8

#### 4.1.5 Klizište Brus

Klizište Brus nalazi se u blizini istoimenog sela u središnjem dijelu Istarskog poluotoka. Klizanje se dogodilo 9. travnja 2005. godine, u 15.15 sati, ali otvorene pukotine na glavnom ožiljku (slika 4.11 a) su se pojavile u prosincu 2004. Klizište Brus predstavlja tipično translacijsko blokovsko klizanje (*Skempton i Hutchinson 1969, Antoine i Giraud 1995*) s kliznim tijelom koje se većim dijelom sastoji od gotovo neporemećenog flišnog stijenskog bloka. Klizanje je uzrokovano nepovoljnom orijentacijom slojeva i podsijecanjem nožici kosine riječnom erozijom, u kombinaciji s nepovoljnim hidrogeološkim uvjetima. Blok stijenske mase dug 150 m i širok 30 m transportiran je 33 metra niz kosinu. Orijentacija slojeva stijenske mase izmjerena na klizištu varira od 220/3 do 225/19, s prosječnom vrijednošću 223/14. Orijentacija slojeva stijenske mase i orijentacija kosine su slični, ali ne identični (*Arbanas i dr. 2010a*). Gornji dio klizišta se razvio u blizini vrha kosine, a glavna pukotina je oštetila lokalnu prometnicu.





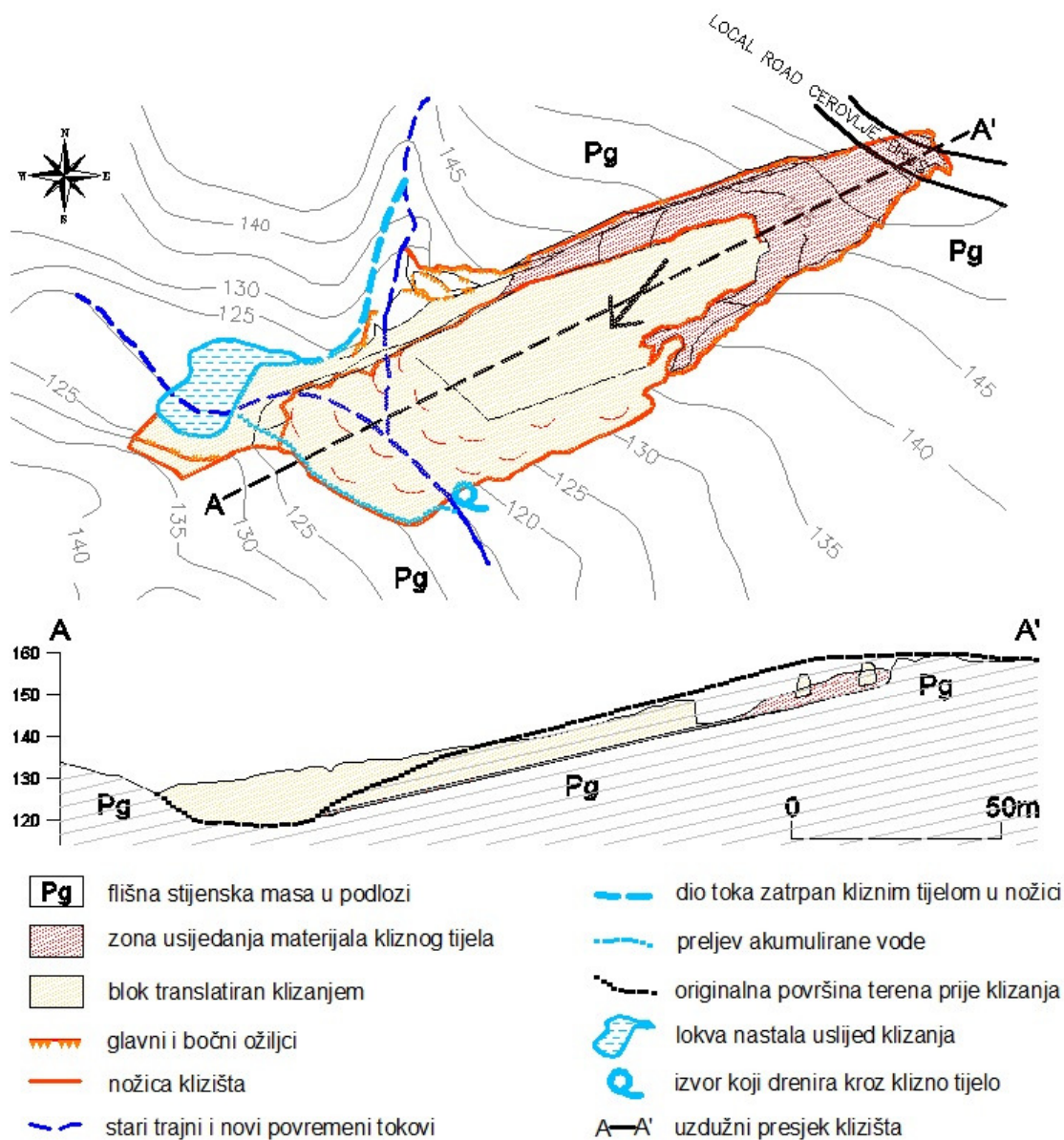
Slika 4.11 Klizište Brus: a) pogled s glavnog ožiljka klizišta u smjeru nožice (foto: Ž. Arbanas, kolovoz 2005. godine), b) pogled na bočni ožiljak klizišta nekoliko godina nakon klizanja (siječanj 2009.)

Terenska istraživanja na klizištu Brus provedena su u proljeće 2004. godine i sastojala su se od geodetskog snimanja i inženjerskogeološkog kartiranja terena. Istražna bušenja nije bilo potrebno provoditi zbog toga što je uzdužni presjek klizišta jasno vidljiv duž otvorene pukotine u sjeverozapadnom boku klizišta (slika 4.11b). Također je u gornjem dijelu klizišta vidljiva i klizna ploha na površini (slika 4.12). Flišna stijenska masa u kojoj je formirano klizište Brus sastoji se od izmjene proslojaka pješčenjaka i lapora, jasno vidljivih kako u glavnom tako i u bočnim ožiljcima (slika 4.12).



Slika 4.12 Fotografija površine klizne plohe (foto: Ž. Arbanas, kolovoz 2005.)

Flišna stijenska masa pokrivena tankim, glinovitim površinskim pokrivačem koluvija i rezidualnog tla debljine 1,0 m. Klizna ploha je identificirana na kontaktu između blago trošne i svježije flišne stijenske mase. Najniži dio pokrenute mase transportiran je izvan klizne plohe, pri čemu je zatrpao dolinu potoka u podnožju klizišta i zaustavio se na suprotnoj kosini. Zatrpavanjem površinskog vodotoka formirana je brana ispod klizišta i jezero uz sjeverozapadni završetak klizišta (slika 4.13).



Slika 4.13 Detalja karta i uzdužni presjek klizišta Brus (modificirano prema Arbanas i dr. 2010a)

Oborinske vode otječu niz kosinu u potok koji se nalazi u nožici klizišta. Voda se infiltrira u gornjem dijelu kosine kroz tanki pokrivač u dijelu u kojem su postojale otvorene pukotine u laporima i pješčenjacima, što omogućuje infiltraciju i tečenje vode kroz pukotinske sustave u stijenskoj masi. Dublji, slabo trošni do svježi neraspucani slojevi siltita djeluju kao vodonepropusna zona i uvjetuju dreniranje podzemne vode kroz sustave pukotina niz kosinu. Nakon dužih kišnih perioda, sustavi pukotina ne mogu u potpunosti drenirati infiltriranu vodu, što uzrokuje ispunjavanje pukotinskih sutava vodom, podizanje razine podzemne vode, a samim time i porast pornih pritisaka (*Arbanas i dr. 2010a*).

U tablici 4.7 prikazane su dimenzije klizišta koje se u ovom slučaju mogu vrlo precizno odrediti s obzirom da su ožiljci klizanja jasno vidljivi na terenu. Prosječni nagib padine je  $15^\circ$  iako varira od  $10^\circ$  do  $35^\circ$  u nižim dijelovima padine.

Tablica 4.7 Prikaz dimenzija klizišta Brus (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Dimenzije (m)	
Ukupna duljina od krune ( $L$ )	208
Duljina pokrenute mase ( $L_d$ )	142
Maksimalna duljina klizne plohe ( $L_r$ )	142
Maksimalna širina pokrenute mase ( $W_d$ )	37
Maksimalna širina klizne plohe ( $W_r$ )	37
Debljina pokrenute mase ( $D_d$ )	8–10
Maksimalna dubina klizne plohe ( $D_r$ )	10

#### 4.1.6 Klizište Marinci

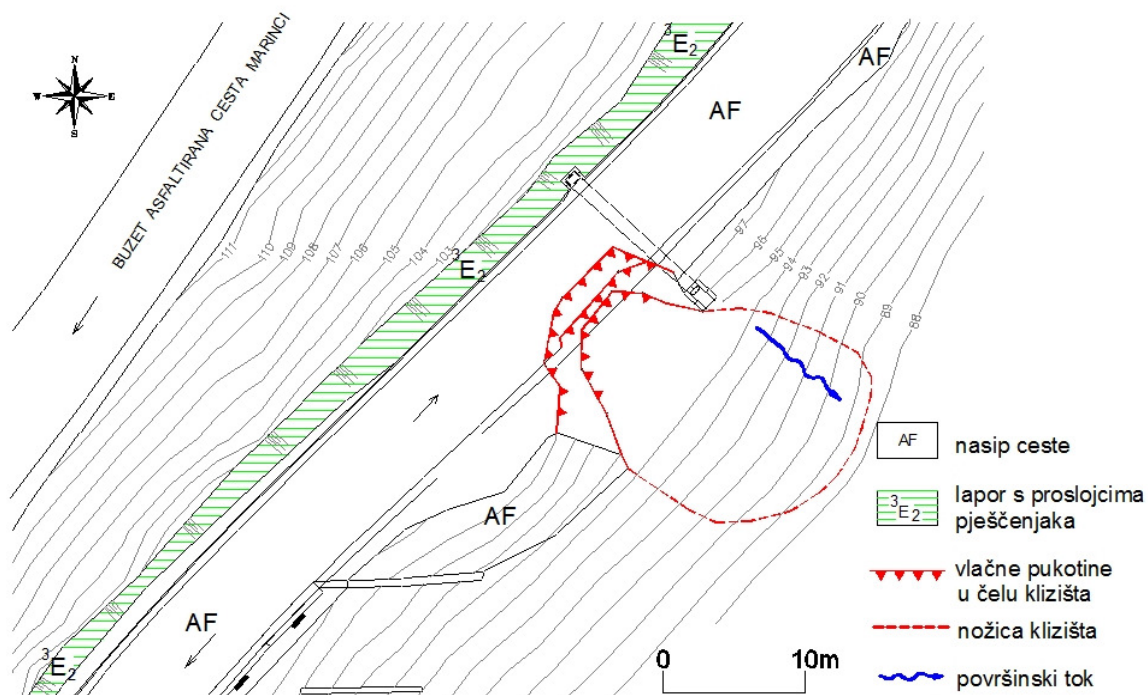
Pokraj naselja Marinci na regionalnoj cesti Buzet–Cerovlje, krajem travnja 2006. godine došlo je do klizanja koje je oštetilo prometnicu izgrađenu u relativno strmom zasjeku) i zahvatilo veći dio ceste u usjeku. Slika 4.14 prikazuje oštećenja na prometnici uzrokovana klizanjem. Na detaljnoj karti klizišta (slika 4.15) prikazan je položaj i dimenzije klizišta. Istražnim radovima ustanovljeno je da je dubina klizne plohe iznosila oko 8,0 m, te da je klizanje nastalo na kontaktu glinovitog pokrivača i flišne stijenske mase u podlozi. Klizanje je zahvatilo volumen od približno  $1,800 \text{ m}^3$ ,



kao reprezentativan volumen malih plitkih klizišta na području Istre. Pokretanje klizišta je izravno izazvano velikom količinom oborina, a na nesreću odvodnja oborinskih voda s ceste koncentrirana je na kosinu ispod nasipa na mjestu klizanja zbog propusta kroz cestu (antropogeni faktor). Oštećenje propusta uzrokovalo je zadržavanje voda na kosini, pojačano važenje i infiltraciju te podizanje razine podzemne vode iznad nepropusne stijenske podloge. U tablici 4.8.dane su dimenzije klizišta Marinci.



Slika 4.14 Fotografije snimljene nakon klizanja na klizištu Marinci (foto: Ž. Arbanas, 2006.)



Slika 4.15 Detaljna karta klizišta Marinci (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012).

Tablica 4.8 Prikaz dimenzija klizišta Marinci (prema stručnoj dokumentaciji [8])

Dimenzije (m)	
Ukupna duljina od krune (L)	23
Duljina pokrenute mase ( $L_d$ )	21
Maksimalna duljina klizne plohe ( $L_r$ )	20
Maksimalna širina pokrenute mase ( $W_d$ )	15
Maksimalna širina klizne plohe ( $W_r$ )	14,5
Debljina pokrenute mase ( $D_d$ )	2
Maksimalna dubina klizne plohe ( $D_r$ )	8,5

#### 4.1.7 Klizište Juradi

Klizište Juradi (stručna dokumentacija [1], [2], [5], [6]) se nalazi u središnjem dijelu Istarskog poluotoka, a čelo klizišta formirano je u zoni obiteljskih kuća i pratećih objekata u selu Juradi (slika 4.16a, b). Klizanje se dogodilo 31. studenog 2010. godine. Prema navodima lokalnog stanovništva, klizanja su se događala na istoj lokaciji tijekom posljednjih 80 godina. Klizanje je privremeno zaustavljeno izgradnjom

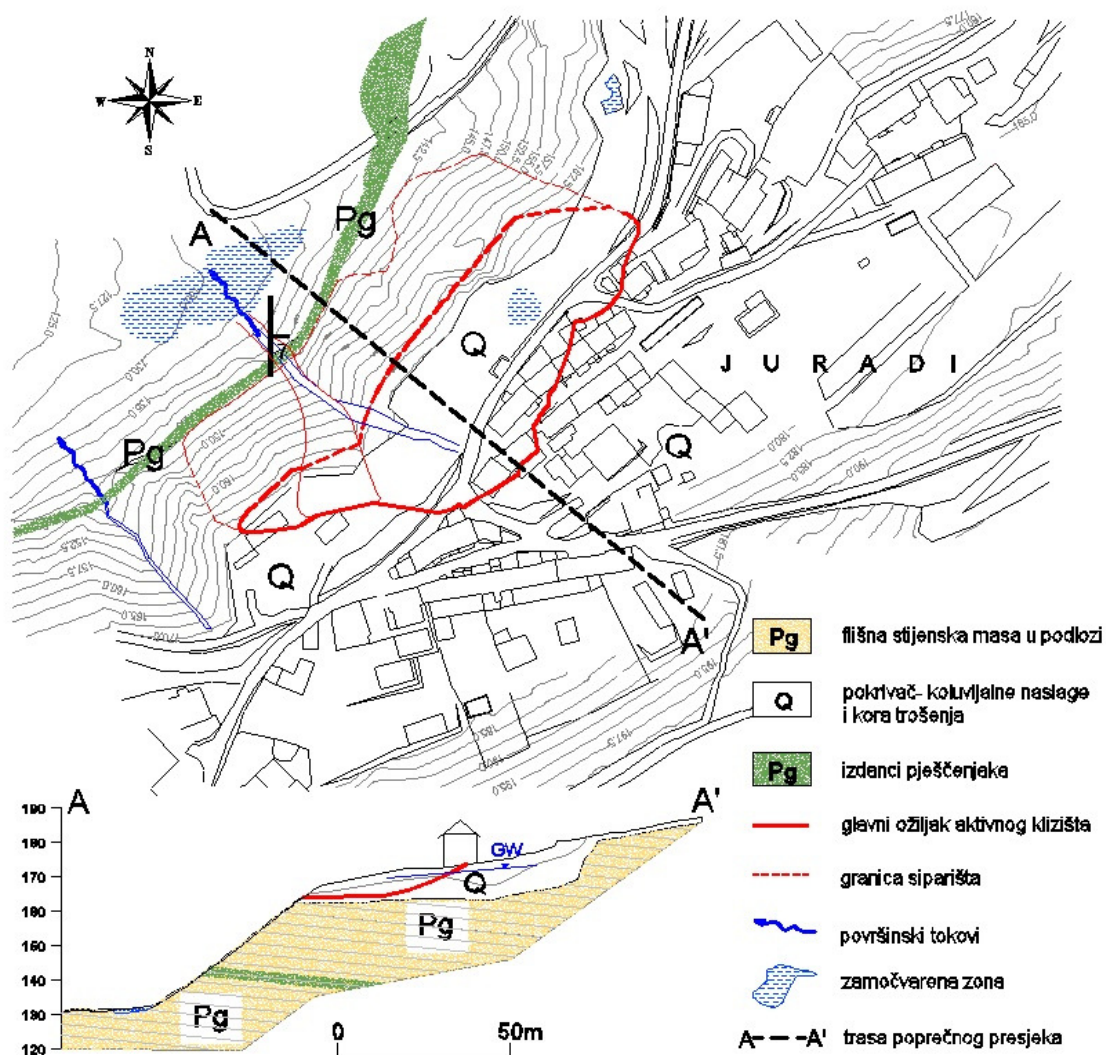


površinskih drenova i završetkom kišnog razdoblja. Detaljna istraživanja klizišta provedena su u proljeće 2011. godine, a sastojala su se od geodetskog snimanja terena, istražnih bušenja, inženjerskogeoloških istraživanja, inženjerskogeološkog kartiranja, geofizičkih ispitivanja metodama seizmičke refrakcije i geoelektrične tomografije, te laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla i stijena.



Slika 4.16 Fotografije snimljene nakon početka klizanja na klizištu Juradi: a) i b) fotografije glavnog ožiljka; c) i d) fotografije oštećenja na objektima unutar klizišta (travanj 2011.)

Klizište Juradi je formirano na flišnim naslagama središnje Istre. Sastoji se od 5-14 m debelog sloja pokrivača i svježeg siltita s proslojcima lapora u podlozi. Klizište je nastalo kao rezultat klizanja glinovitog tla po plohi sloma formiranoj na granici sa siltitom u podlozi. Orijentacija slojeva u stijenskoj masi varira od 330/3 do 345/12, s prosječnom orijentacijom od 340/8. Dimenzije klizišta (tablica 4.9) ne mogu se precizno odrediti jer je samo glavni ožiljak kliznog tijela jasno izražen (slika 4.16 i 4.17). Procjenjuje se da je volumen kliznog tijela oko 47,000 m<sup>3</sup>.



Slika 4.17 Detaljna karta i uzdužni presjek klizišta Juradi (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012).

Tablica 4.9 Prikaz dimenzija klizišta Juradi (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Dimenzije (m)	
Ukupna duljina od krune (L)	63
Duljina pokrenute mase ( $L_d$ )	55
Maksimalna duljina klizne plohe ( $L_r$ )	60
Maksimalna širina pokrenute mase ( $W_d$ )	150
Maksimalna širina klizne plohe ( $W_r$ )	145
Debljina pokrenute mase ( $D_d$ )	8
Maksimalna dubina klizne plohe ( $D_r$ )	11

## 4.2 Inventar klizišta

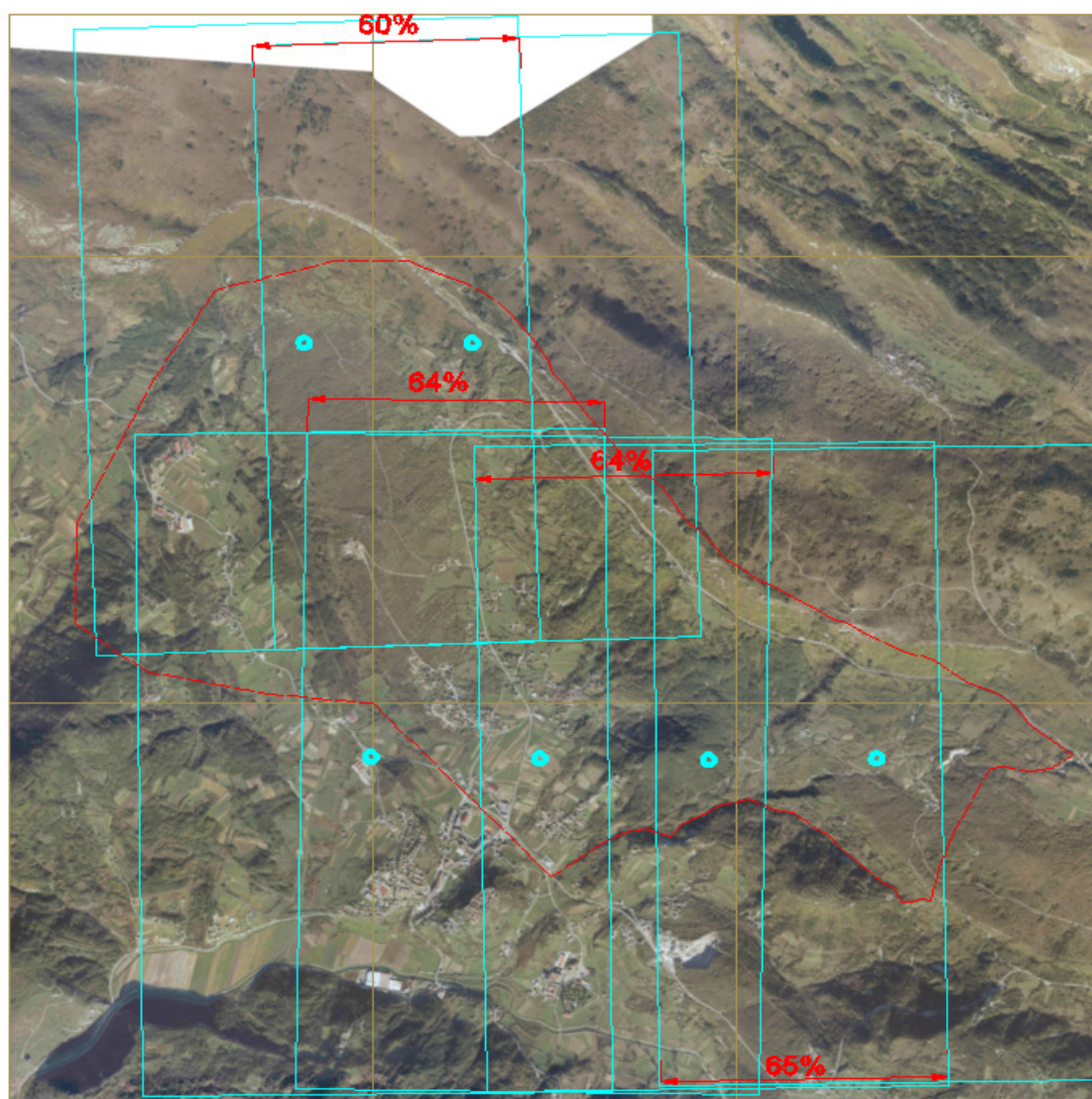
Različite metodologije, ovisno o ciljevima istraživanja, mjerilu karte, veličini područja procjene hazarda, raspoloživim ulaznim kartama i drugim resursima potrebnim za rad. Najpoznatije metode u identifikaciji i kartiranju klizišta su geomorfološke terenske analize (*Bunsden 1985, 1993*), stereoskopska interpretacija vertikalnih ili kosih aerofotogrametrijskih snimaka, površinski i podpovršinski monitoring (*Franklin 1984*) te inovativne tehnologije daljinskog opažanja klizišta (*Mantovani i dr. 1996, Singhroy 2005*). Faktori koji su ograničavajući u analizama postojećih klizišta su subjektivnost i nemogućnost provjere pouzdanosti i potpunosti dobivenih rezultata, što vodi do grešaka u analizi hazarda i rizika od klizanja. U pogledu smanjenja tih grešaka bilo bi idealno u analizu inventara postojećih klizišta uključiti slijedeće široko prihvaćene, opće pretpostavke (*Varnes i dr. 1984, Carrara i dr. 1991, Hutchinson 1995, Guzzetti i dr. 1999*):

Važan ulazni podatak za prostorne analize relativnog utjecaja faktora klizanja na hazard klizanja na području središnje Istre bio je inventar postojećih klizišta. U tu svrhu izrađena je karta inventara klizišta u mjerilu 1: 5,000 na kojoj su označene granice klizišta. Budući da je površina klizišta od 1,900 m<sup>2</sup> do 53,800 m<sup>2</sup> na karti klizišta u ovom mjerilu nije bilo moguće izdvojiti glavne pukotine i zone usijedanja pokrenute mase. Osim toga, na području istraživanja registrirani su sljedeći tipovi klizanja: klizanje, odronjavanje, tečenje. Na karti inventara klizišta prikazana su samo klizanja, dok ostali tipovi nisu razmatrani. Za izradu karte inventara klizišta korištena su dva osnovna izvora podataka: (i) povijesni podaci iz geotehničkih elaborata o istraživanju klizišta i projekata sanacije; (ii) stereoskopska interpretacija aerofotogrametrijskih snimaka rezolucije 30 cm, u mjerilu 1: 15,000.

Odabrana klizišta iz postojeće dokumentacije o geotehničkim istraživanjima i sanacijama prikazana su u prethodnim poglavljima (poglavlje 4.1.1 i poglavlje 4.1.2). Za izradu inventara klizišta na raspolaganju je bilo ukupno pet elaborata ([20], [22], [23], [24] [25]) i tri projekata sanacije ([15], [16], [17]). Iz njih je izdvojeno šest klizišta za koje je poznata granica klizišta. Proizlazi da na području istraživanja ukupne veličine 13,13 km<sup>2</sup> postoji samo šest klizišta koja su dovoljno kvalitetno kartografski dokumentirana da je podatke moguće preuzeti za kartu inventara klizišta mjerila 1: 5,000.



Za stereoskopsku analizu klizišta na istraživanom području korišteno je šest digitalnih aerofotogrametrijskih snimaka u boji, rezolucije 30 cm, snimljenih digitalnom kamerom (UC-Vexcel) u lipnju i srpnju 2009. godine (slika 4.18 i 4.19). Tri para snimaka, snimljena na istoj liniji leta, preklapaju se zbog faktora sigurnosti minimalno 60% (slika 4.18). U ovoj analizi je korišten stereoskop s ogledalima koji se sastoji od para bočnih ogledala pod kutom od  $45^\circ$  u odnosu na ravninu snimaka, a sadrži i par uvećavajućih leća kojima se može uvećati određeni dio stereoskopske slike. Klizišta su izdvojena na temelju vidljivih morfoloških značajki granica klizišta, kao i značajki pokrenute mase, među kojima je su najznačajnije zone usijedanja i akumulacije.



Slika 4.18 Shematski prikaz šest aerofotogrametrijskih snimaka korištenih u analizi prikazanih na ortofoto snimcima području sjeverno od Grada Buzeta



Slika 4.19 Aerofotogrametrijski snimci iz 2009. godine korišteni u izradi inventara klizišta s uvećanim dijelom područja na stereogramu

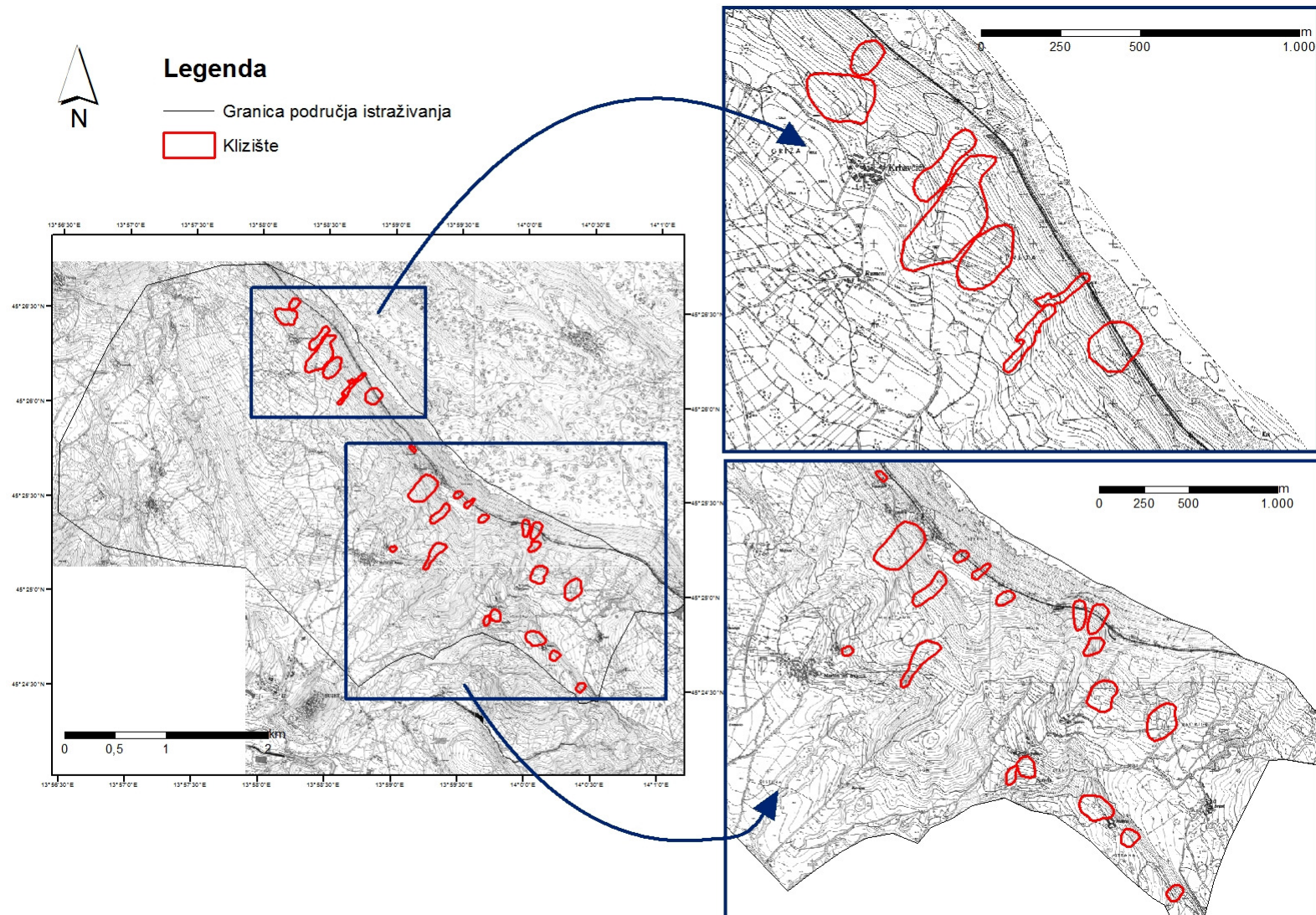
Najveći dio istraživanog područja (77%) pokriven je šumom, što značajno umanjuje mogućnost identifikacije malih klizišta, tako da postoji mogućnost da postoji veći broj klizišta u ovim zonama. Osim toga, dio područja istraživanja (5%) je urbaniziran, pri čemu su klizišta također zamaskirana ljudskim aktivnostima. Međutim, s obzirom da se radi o relativno malom dijelu istraživanog područja, te da su klizišta u urbaniziranim dijelovima uglavnom poznata i istraživana, pretpostavlja se da su podaci za inventar klizišta ovih sredina relativno kvalitetni.

Interpretacijom stereoparova avionskih snimaka ukupno je identificirano 20 klizišta koja su skupa sa šest klizišta usvojenih iz povijesne dokumentacije prikazana na karti (slika 4.20). Uz prethodno navedena ograničenja fotointerpretacije u zonama guste vegetacije, prosječna gustoća klizišta na istraživanom terenu iznosi 2.96 %. Prosječna gustoća ili uvjetna vjerojatnost klizanja na području istraživanja izračunata je prema jednadžbi (*Carrara et al. 1998*):

$$P(K|ER) = \text{ukupna površina klizišta/površina istraživanog područja} \quad (4.1)$$

Prosječna gustoća klizišta na području istraživanja dobivena je kao omjer površine klizišta 0,388 km<sup>2</sup> i ukupne površine područja istraživanja 13,13 km<sup>2</sup>.

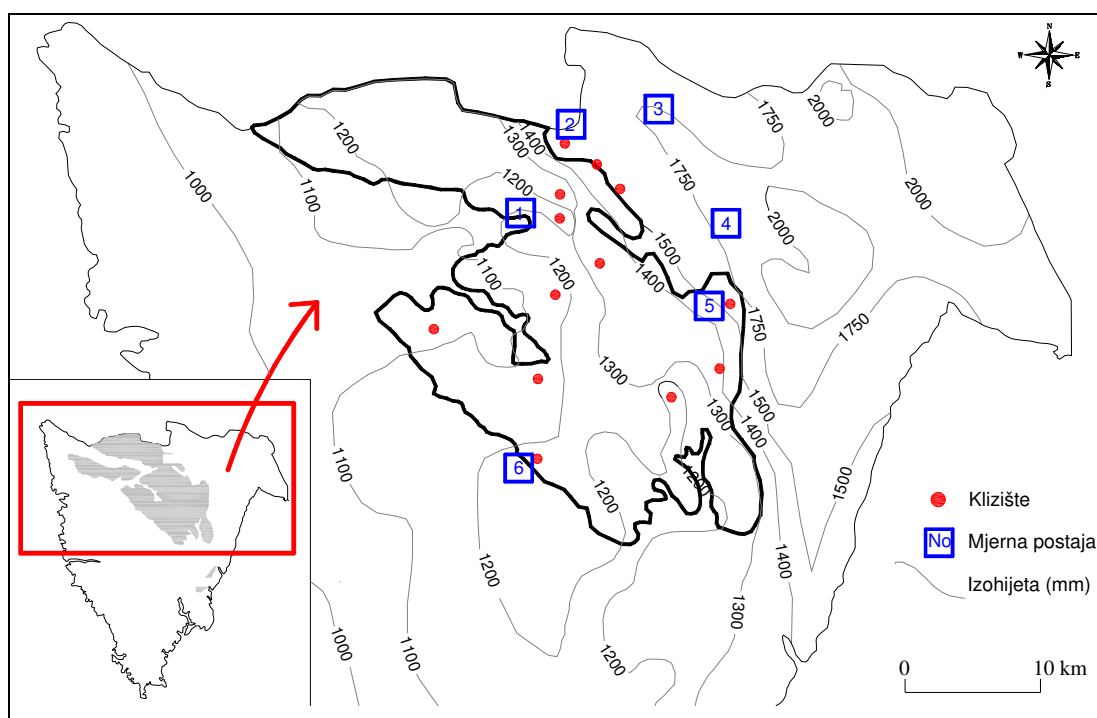




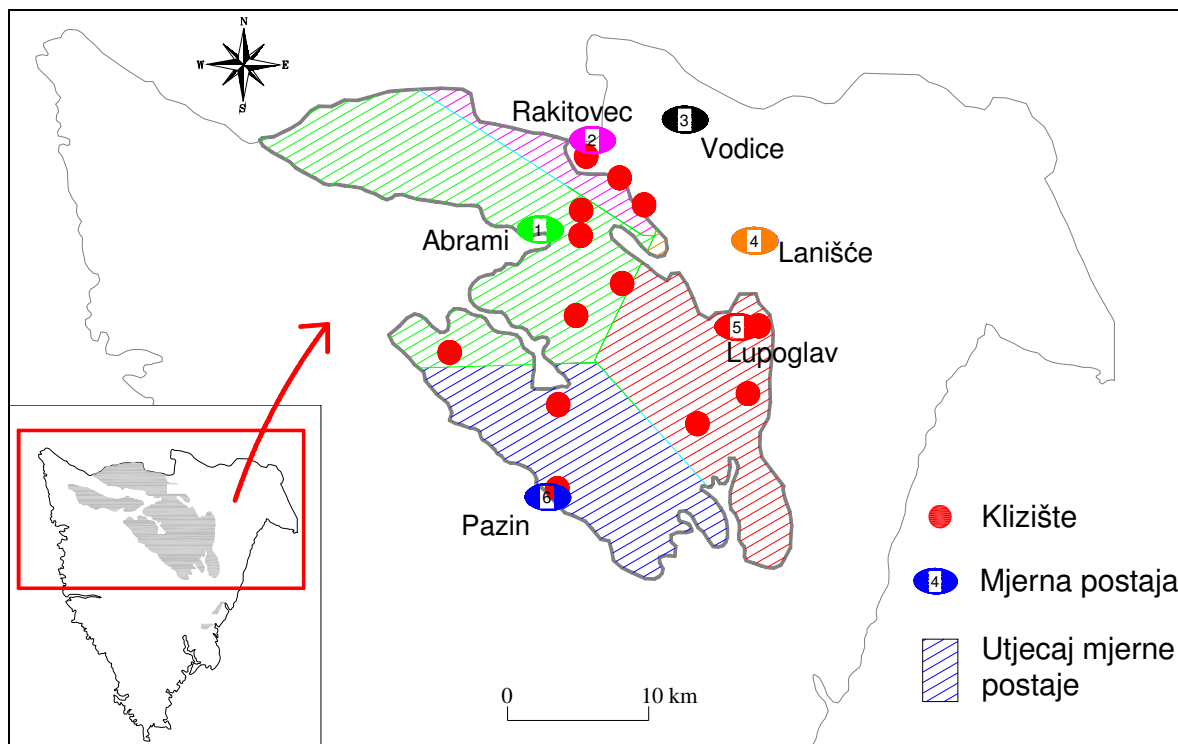
Slika 4.20 Inventar klizišta na području istraživanja

### 4.3 Podaci o oborinama

Za analize vremenske komponente hazarda korišteni su podaci o dnevnim, mjesečnim i godišnjim oborinama prikupljenim u razdoblju od 1961. do 2010. godine, sa šest meteoroloških postaja na širem području istraživanja (slika 4.21). Za svako pojedino klizište su analizirani podaci s mjerne postaje koja ima utjecaj na područje na kojemu se ono dolazi, a što je utvrđeno na temelju Thiessen-ovih poligona (slika 4.22). U slučajevima kada nije bilo kontinuiranih mjerenja u spomenutom razdoblju od 1961. do 2010. preuzeti su podaci s najbliže meteorološke postaje za koju postoje zabilježena mjerenja u vrijeme klizanja.



Slika 4.21 Kartografski prikaz lokacija meteoroloških postaja na području središnje Istre (1. Abrami, 2. Rakitovec, 3. Vodice, 4. Lanišće, 5. Lupoglav, 6. Pazin) s izolinijama srednje godišnja distribucija oborina u milimetrima (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)



Slika 4.22 Područje utjecaja meteoroloških postaja (MP) na klizišta središnje Istre

U tablici 4.10 prikazane su vrijednosti ukupnih godišnjih oborina za svaku mjernu postaju te prosječne godišnje oborine u razdoblju od 1961. do 2010. godine. Na slici 4.23 grafički su prikazane ukupne godišnje oborine na svakoj pojedinoj meteorološkoj stanici, te su označene godine kada su (re)aktivirana analizirana klizišta. Iz vrijednosti prosječnih godišnjih količina oborina nije moguće interpretirati povezanost oborina i događaja klizanja.

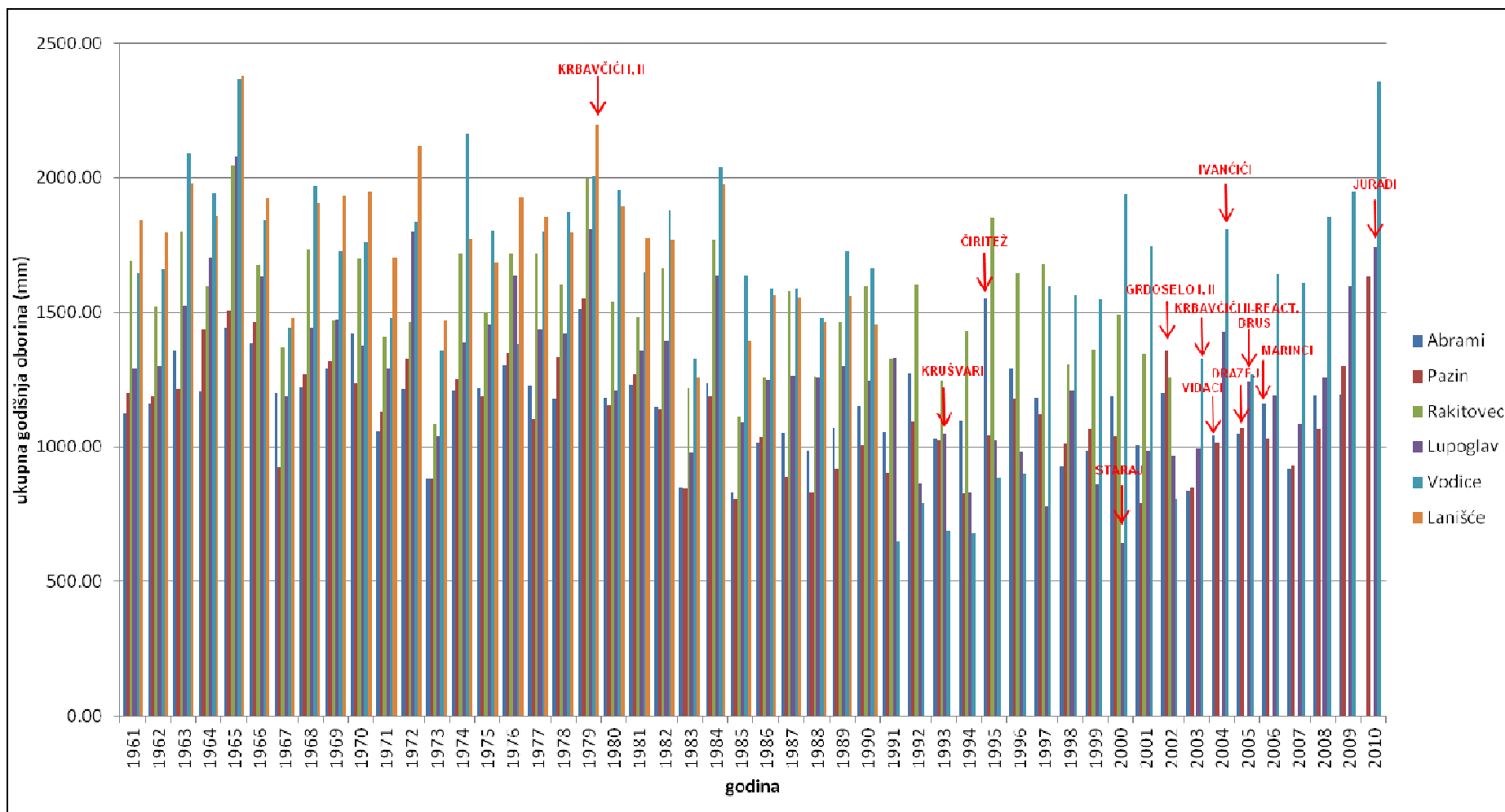
Tablica 4.10 Podaci o ukupnim godišnjim i prosječnim oborinama na meteorološkim postajama središnje Istre

God.	MP "Abrami"	MP "Pazin"	MP "Rakitovec"	MP "Lupoglav"	MP "Vodice"	MP "Lanišće"	Prosjek
1961.	1127,3	1198,0	1690,0	1289,5	1645,6	1842,4	1465,5
1962.	1161,2	1185,0	1520,0	1300,2	1659,0	1794,8	1436,7
1963.	1358,6	1213,0	1800,0	1525,2	2090,0	1980,5	1661,2
1964.	1205,4	1438,0	1600,0	1705,4	1945,0	1857,1	1625,2
1965.	1443,6	1506,0	2045,0	2080,8	2367,0	2378,2	1970,1
1966.	1385,7	1461,0	1676,0	1634,4	1843,0	1925,7	1654,3
1967.	1200,8	924,0	1372,0	1187,4	1444,9	1477,7	1267,8
1968.	1220,5	1270,0	1737,0	1444,6	1968,2	1907,4	1591,3
1969.	1291,0	1317,0	1471,0	1475,4	1724,6	1931,7	1535,1
1970.	1419,6	1238,0	1697,0	1376,6	1761,9	1948,7	1573,6
1971.	1061,6	1129,0	1409,0	1294,5	1478,7	1703,4	1346,0

PRIKUPLJANJE I OBRADA ULAZNIH PODATAKA ZA PROCJENU HAZARDA KLIZANJA NA FLIŠNIM KOSINAMA  
SREDIŠNJE ISTRE

God.	MP "Abrami"	MP "Pazin"	MP "Rakitovec"	MP "Lupoglav"	MP "Vodice"	MP "Lanišće"	Prosjek
1972.	1214,2	1324,0	1466,0	1797,8	1833,0	2119,4	1625,7
1973.	879,6	884,0	1083,0	1038,8	1359,2	1470,1	1119,1
1974.	1209,0	1252,0	1719,0	1389,0	2166,0	1773,0	1584,7
1975.	1218,0	1188,0	1503,0	1455,6	1805,0	1684,6	1475,7
1976.	1305,6	1351,0	1717,0	1638,2	1380,6	1928,0	1553,4
1977.	1227,1	1103,0	1717,0	1436,0	1799,0	1853,9	1522,7
1978.	1180,4	1334,0	1605,0	1419,4	1877,0	1796,4	1535,4
1979.	1514,0	1552,0	1998,0	1810,3	2009,0	2196,5	1846,6
1980.	1183,1	1156,0	1542,0	1209,2	1957,0	1893,2	1490,1
1981.	1232,2	1271,0	1483,0	1354,9	1649,0	1776,5	1461,1
1982.	1147,0	1142,0	1665,0	1393,9	1879,0	1767,7	1499,1
1983.	848,3	845,0	1218,0	975,9	1329,0	1254,4	1078,4
1984.	1237,7	1186,0	1769,0	1637,4	2040,0	1977,1	1641,2
1985.	831,2	805,0	1113,0	1091,3	1639,0	1395,2	1145,8
1986.	1014,2	1036,0	1256,0	1248,5	1587,9	1563,0	1284,3
1987.	1054,2	890,3	1581,0	1267,4	1584,5	1555,6	1322,2
1988.	988,6	830,7	1261,0	1255,1	1479,4	1462,4	1212,9
1989.	1069,1	919,9	1462,0	1300,3	1725,3	1559,0	1339,3
1990.	1149,2	1003,7	1599,0	1244,2	1665,2	1455,5	1352,8
1991.	1055,4	905,1	1329,2	1333,0	650,2	-	1054,6
1992.	1274,2	1095,7	1603,0	865,7	792,1	-	1126,1
1993.	1033,6	1027,0	1245,3	1045,9	687,3	-	1007,8
1994.	1098,0	828,1	1431,4	830,4	678,5	-	973,3
1995.	1550,4	1043,3	1852,5	1024,4	886,1	-	1271,3
1996.	1290,9	1178,8	1644,9	979,7	900,6	-	1199,0
1997.	1181,5	1118,4	1682,0	781,1	1595,9	-	1271,8
1998.	929,0	1010,5	1308,1	1209,5	1566,4	-	1204,7
1999.	985,3	1066,0	1363,8	861,7	1549,1	-	1165,2
2000.	1184,8	1040,1	1490,2	646,3	1943,1	-	1260,9
2001.	1005,1	791,0	1347,6	986,9	1747,5	-	1175,6
2002.	1198,3	1354,7	1260,3	965,0	805,6	-	1116,8
2003.	835,7	851,6	-	995,5	1325,4	-	1002,1
2004.	1042,0	1020,2	-	1424,5	1810,3	-	1324,3
2005.	1045,3	1071,5	-	1242,9	1268,8	-	1157,1
2006.	1162,7	1031,9	-	1191,8	1642,5	-	1257,2
2007.	920,2	932,6	-	1087,0	1611,1	-	1137,7
2008.	1192,9	1067,4	-	1253,8	1855,9	-	1342,5
2009.	1196,3	1300,3	-	1597,5	1950,2	-	1511,1
2010.	-	1634,8	-	1742,1	2359,8	-	1912,2

\*MP= meteorološka postaja (sve količine oborina su u mm)

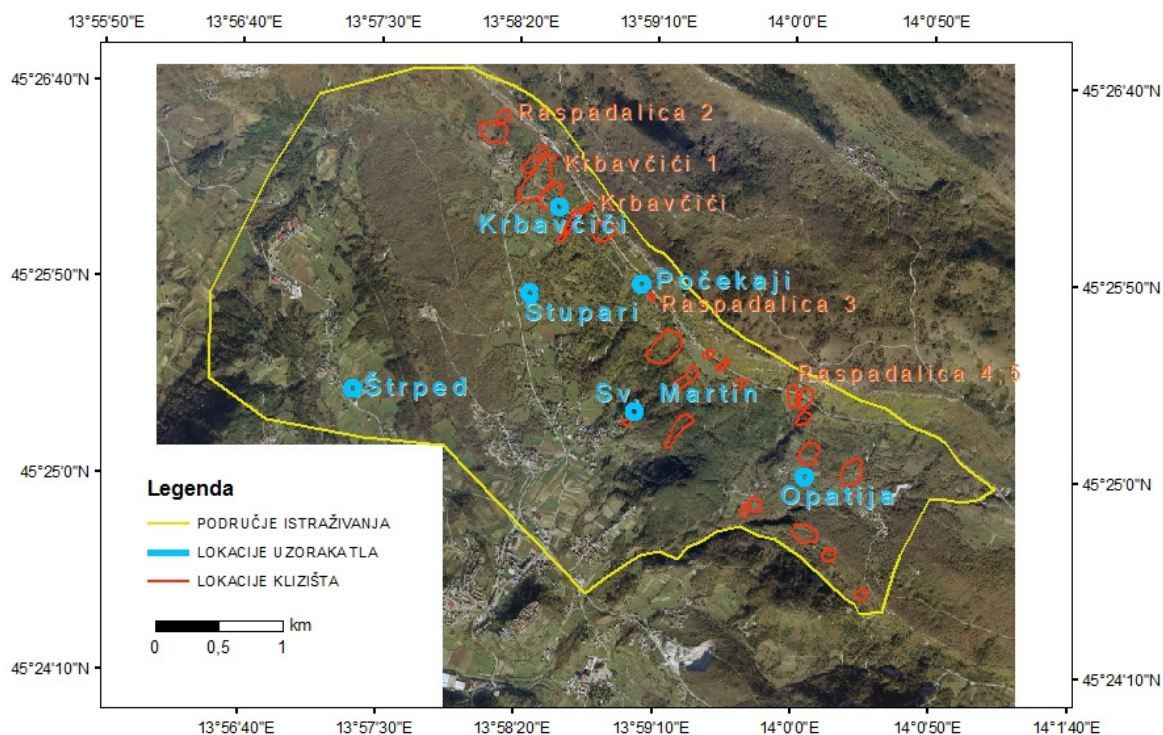


Slika 4.23 Ukupne godišnje oborine sa svih meteoroloških postaja na području središnje Istre uključenih u istraživanje povezane s događajima klizanja



## 4.4 Geotehničke značajke naslaga fliša









U fazi prikupljanja podataka o parametrima tla korištena su postojeća laboratorijska ispitivanja provedena u sklopu istražnih radova koji su prethodili sanaciji klizišta unutar područja središnje Istre (popis stručne dokumentacije sadržan je u popisu literature). Korišteni su i podaci iz ranije spomenutog istraživanja (*Žufić 2011*), a unutar faze pripreme provedena su i dodatna laboratorijska ispitivanja uzoraka uzetih na području istraživanja kraj Grada Buzeta (stručna dokumentacija [3] i [4]). Testirani uzorci su uzeti iz različitih dijelova istraživanog područja, na ukupno 6 lokacija, (slika 4.24, tablica 4.11). Kako bi se utvrdile klasifikacijske značajke pokrivača u području u kojem nema postojećih podataka o značajkama tla i usporedile sa značajkama ispitanih uzoraka u području klizišta, na uzorcima su ispitane granice konzistencije i prikazane na dijagramu plastičnosti.



Slika 4.24 Lokacije na kojima su uzeti uzorci za dodatna laboratorijska ispitivanja. U podlozi je ortofoto snimak područja grada Buzeta iz 2004. godine (crveno su označena postojeća klizišta iz inventara klizišta)



Tablica 4.11 Inženjerski opisi tala pokrivača iz kojih su uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja na lokacijama prikazanim na slici 4.23 (fotografije: područje Buzet, 2010)

LOKACIJA	BROJ/FOTOGRAFIJA UZORKA	OPIS UZORKA
ŠTRPED	 1.1	Opis 1.1: Potpuno rastrošena zona (CW) / glina s dosta sitnih odlomaka vapnenaca, rastresita, smečkasto-sive boje Opis 1.2: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u sraslom stanju, smeđe do sive boje
	 1.2	
STUPARI	 2.1	Opis 2.1: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u sraslom stanju, smeđe boje
KRBAVČIĆI	 3.1	Opis 3.1: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u sraslom stanju, smeđe boje Opis 3.2: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u sraslom stanju, zelenkasto-sive boje
	 3.2	
	 3.3	Opis 3.3: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u sraslom stanju, smeđe boje
POČEKAJI	 4.1	Opis 4.1: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u rastresitom stanju, smeđe boje Opis 4.2: Potpuno rastrošena zona (CW) / glina, rastresita, smečkasto-sive boje
	 4.2	

SV. MARTIN



5.1

Opis 5.1: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u sraslom stanju, žute boje

OPATIJA



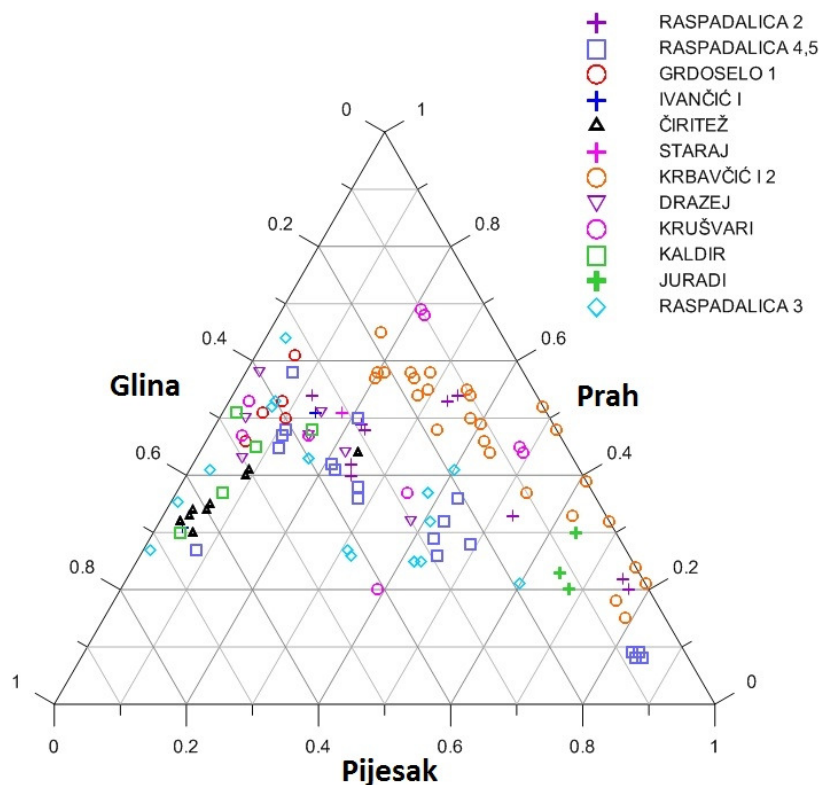
6.1

6.2

Opis 6.1: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina, u rastresitom stanju, smeđe do sive boje

Opis 6.2: Potpuno rastrošena zona (CW)/ glina s vrlo sitnim odlomcima vapnenca, u rastresitom stanju, smeđe do sive boje

Zbog male razlike u mineraloškom sastavu naizgled isti članovi flišnog kompleksa mogu imati vrlo različita fizičko-mehanička svojstva. Proces dijageneze, odnosno litifikacije, također ima veoma značajan utjecaj na geotehničke značajke materijala unutar naslaga fliša. Već u samom procesu litifikacije javljaju se razlike u pojedinim litološkim članovima flišnih naslaga. Uslijed tektonskih pokreta stijenska masa je borana i razlomljena, što znači da je pretrpjela značajne deformacije koje su se različito manifestirale u različitim dijelovima flišnog kompleksa. Poseban utjecaj na karakteristike fliša ima i površinsko trošenje unutar pojedinih članova. Najčešće glinoviti članovi diktiraju značajke cijelog flišnog kompleksa. Zbog toga je potrebno proučiti mehaničke karakteristike glina koje bitno ovise o mineraloško-petrografskom sastavu. Flišna stijenska masa na području Istre izgrađena je uglavnom od homogenih naslaga siltita koji kao osnovu ima prah, ali isto tako ima sadržane i minerale glina koje utječu na značajke siltita (slika 4.25 i 4.26). Gline su sastavljene pretežno od finih čestica veličine do 0,004 mm i za njih se može reći da su smjesa minerala filosilikatne skupine. Najznačajniji minerali su ilit, kaolinit i montmorilonit čija su fizičko-mehanička svojstva različita. Slika 4.26b prikazuje rezultate ispitivanja Atterbergovih granica na uzorcima uzetim na šest lokacija unutar područja istraživanja kraj Grada Buzeta, pri čemu se jasno može vidjeti da su ispitani uzorci glinovitog sastava, većinom srednje do visoke plastičnosti.

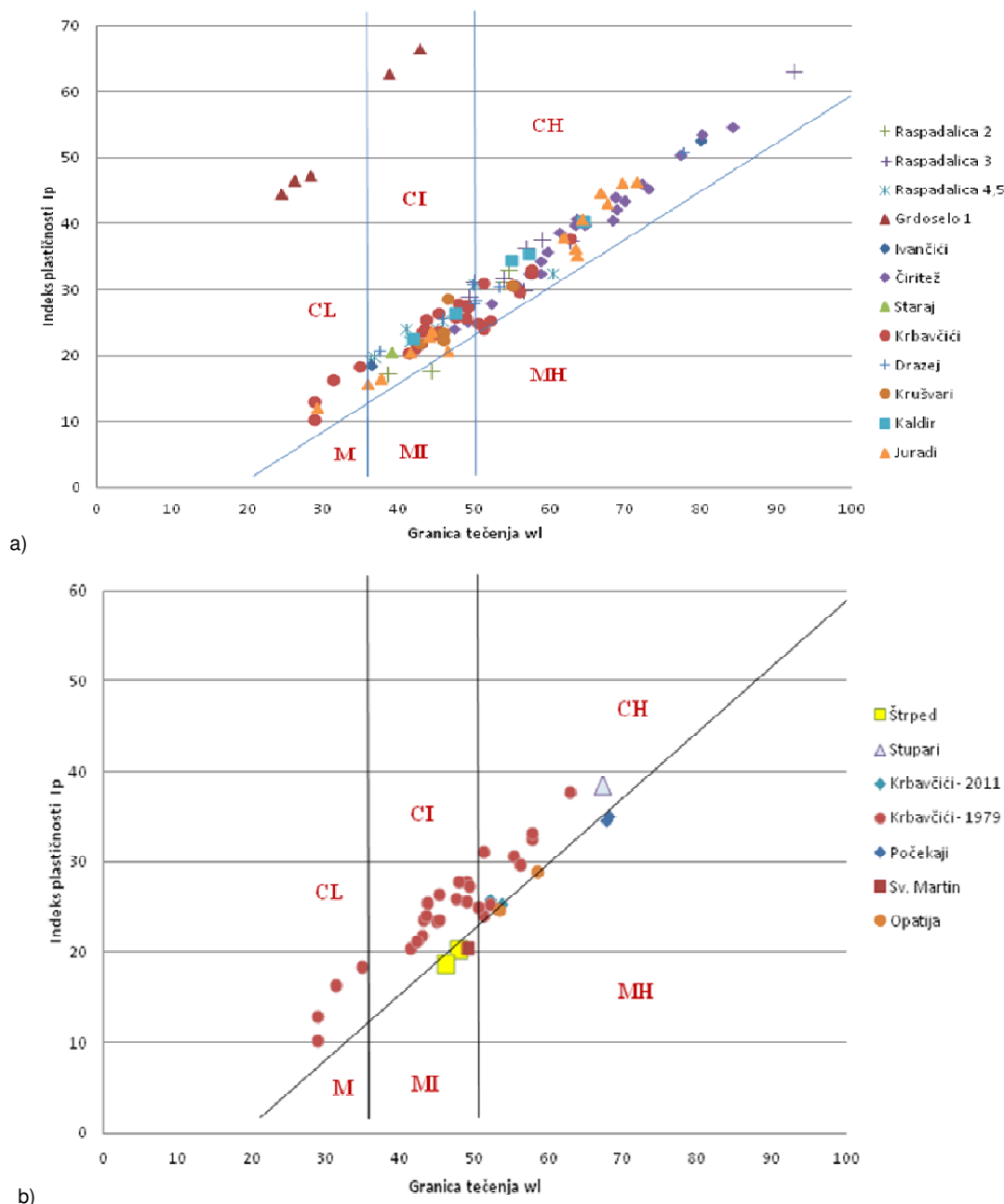


Slika 4.25 Granulometrijski sastav uzoraka na klizištima središnje Istre (*Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012*)

Važno je napomenuti da u granulometrijski sastav nisu uvršteni krupni fragmenti i da je pored toga metodom areometriranja nemoguće dobiti točan sadržaj gline. U tablici 4.12 su prikazana ispitivanja granulometrijskog sastava uzoraka tla uzetih na šest lokacija s unutar područja istraživanja kraj grada (prema stručnoj dokumentaciji [3]).

Tablica 4.12 Podaci ispitivanja granulometrijskog sastava uzoraka s lokacija na području istraživanja kraj grada Buzeta (slika 4.23)(prema stručnoj dokumentaciji [3])

Lokacija	Oznaka lokacije	W <sub>0</sub> (%)	c <sub>u</sub>	c <sub>c</sub>	Granulometrijski sastav (%)		
					60-2,0	2,0-0,063	<0,063
					mm	mm	mm
Opatija	1.1	19,71	87,500	9,013	0,00	70,74	29,26
	1.2	4,53	65,772	7,458	7,26	72,57	20,17
	2.3	5,41	74,390	9,327	0,00	77,52	22,48
	2.4	2,02	80,702	7,647	0,00	72,87	27,13
	1.5	4,27	28,148	2,807	3,64	77,23	19,13
Sv. Martin	2.1	4,73	21,357	1,344	64,88	32,28	2,84
	2.2	14,33	36,357	3,961	11,67	75,57	12,76
	2.3	12,31	38,209	5,599	0,18	84,74	15,08
	2.4	12,08	10,000	0,900	21,68	69,88	8,44
	2.5	4,92	107,407	6,438	0,08	70,88	29,04
Krbavčići	3.1	3,87	94,545	5,909	0,00	68,04	31,96
	3.2	11,20	63,255	6,625	3,07	79,06	17,87
	3.3	3,58	14,085	2,034	0,06	74,11	25,83
	3.4	2,69	87,500	5,130	27,78	42,50	29,72
	3.5	3,03	37,333	6,943	0,00	68,26	31,74
Počekaji	4.1	4,75	66,667	0,240	0,00	67,71	32,29
	4.2	5,60	34,783	0,767	0,00	65,39	34,61
	4.3	5,61	68,750	2,876	0,76	67,63	31,61
	4.4	11,35	110,909	9,128	0,00	71,61	28,39
	4.5	7,13	64,516	2,913	0,00	67,68	32,32
Štrped	5.1	2,05	17,238	2,451	4,89	84,65	10,46
	5.2	4,57	74,725	7,401	1,86	75,35	22,79
	5.3	8,33	105,556	10,526	0,27	79,44	20,20
	5.4	8,71	20,000	7,858	0,00	86,85	13,15
	5.5	8,69	22,843	1,624	35,93	55,97	8,10
Stupari	6.1	16,38	110,294	9,148	1,86	79,26	18,88
	6.2	6,97	58,947	7,977	0,09	80,36	19,55



Slika 4.26 Dijagram plastičnosti s distribucijom uzoraka: a) lokacije dokumentiranih klizišta u Sivoj Istri (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012) b) šest lokacija oko klizišta Krbavčiči i Raspadalica (lokacije prikazane na slici 4.24), prema stručnoj dokumentaciji [4] )

Određivanje parametara čvrstoće flišne stijenske mase tijekom geotehničkih istražnih radova bilo je onemogućeno zbog nemogućnosti uzimanja neporemećenih uzoraka. Tijekom bušenja je teško dobiti neporemećene uzorke zbog raspadanja jako do srednje rastrošenih siltita. Brza degradacija i dezintegracija slabo trošne do



svježe stijenske mase nakon uklanjanja geostatičkog opterećenja i izlaganja zraku i vodi tijekom bušenja je dodatni otežavajući faktor.

Parametri čvrstoće u kliznom tijelu pokazuju značajne varijacije u vrijednostima i nije moguće odrediti prihvatljiv raspon vrijednosti koje se mogu općenito prihvatiti kao karakteristične za sve materijale u analizi stabilnosti kosine (tablica 4.13). Može se zaključiti da parametri čvrstoće opadaju s povećanjem trošnosti siltita u flišnoj stijenskoj masi.

Tablica 4.13 Geotehničke značajke uzoraka tla iz tijela klizišta na području središnje Istre (Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Lokacija	Granica tečenja $w_l$ %	Granica plastičnosti $w_p$ (%)	Indeks plastičnosti $I_p$ (%)	Kohezija (kN/m <sup>2</sup> )	Kut unutarnjeg trenja (°)
Raspadalica 2	38,48–54,53	21,24–26,68	17,24–33,01	0 <sup>1</sup>	10,2–18,6 <sup>1</sup>
Raspadalica 3	49,26–62,57	18,81–26,46	29,98–37,54	2 <sup>1</sup>	9,7–22,3 <sup>1</sup>
Raspadalica 4, 5	36,12–60,42	16,7–28,0	19,29–32,42	5–29 <sup>1</sup>	20,7–30,28 <sup>1</sup>
Grdoselo 1	44,65–66,56	19,12–23,94	24,45–42,63	28–100 <sup>2</sup>	21,9–32 <sup>2</sup>
Ivančići	36,42–79,94	17,92–27,25	18,50–52,70	0–30 <sup>2</sup>	30–35 <sup>2</sup>
Čiritež	38,46–80,11	16,29–29,52	22,17–54,60	21 <sup>3</sup>	18–19 <sup>3</sup>
Staraj	38,97	18,37	20,60	10–100 <sup>2</sup>	25–28 <sup>2</sup>
Krbavčići 1, 2	42,1–57,6	19,3–24,5	21,2–33,1	2,5–63,7 <sup>1,2</sup>	12–27 <sup>1,2</sup>
Drazej	37,34–77,60	16,57–26,81	20,78–50,80	10,0–20,0 <sup>2</sup>	22–36 <sup>2</sup>
Krušvari	35,13–55,03	17,81–24,37	21,91–30,66	10,7 <sup>1,2</sup>	25 <sup>1,2</sup>
Kaldir	41,76–64,41	19,21–24,1	22,55–40,31	6–30 <sup>2</sup>	27–32 <sup>2</sup>
Juradi	29,07–71,46	16,94–28,40	12,13–46,35	35–76,7 <sup>2</sup>	5,1–13,9 <sup>2</sup>

Parametri čvrstoće, kohezija i kut unutarnjeg trenja, kao i zapreminska težina materijala istraživanih klizišta na području istraživanja prikazana je u tablici 4.14. U tablici su prikazani i tipovi klizišta, nagibi kosine i debljine pokrivača u tom području. Uzorci koji su ispitivani uzeti su iz različitih dijelova kliznog tijela. Parametri čvrstoće u tijelima klizišta pokazuju značajno razilaženje u vrijednostima i nemoguće je prepoznati prihvatljivo područje podataka koje se može općenito prihvatiti kao karakteristična vrijednost za sve materijale u analizama stabilnosti kosine. Iz tog

razloga se preporuča upotreba konzervativnih vrijednosti parametara čvrstoće (Arbanas i dr. 2008).

Tablica 4.14 Karakteristike materijala i kosina klizišta na istraživanom području (prema stručnoj dokumentaciji [20], [22], [23], [24], [25])

Naziv klizišta	Tip klizanja	Zapreminska težina (kN/m <sup>3</sup> )	Kohezija (kPa)	Kut unutarnjeg trenja (°)	Nagib kosine (°)	Debljina pokrivača (m)
Krbavčići 1	rotacijsko klizište	19,8	2,5-63,7	12,0-27,0	15-20	0,5-10,0
Krbavčići 2	translacijsko klizište	19,6	2,5-45,62	12,0-27,0	9-11	1,0-10,0
Raspadalica 2	rotacijsko klizište	20	0*	10,2-18,6*	29-35	2,5-6,5
Raspadalica 3	rotacijsko klizište	18	0*-2	9,7*-22,3	33-45	1,6-6,5
Raspadalica 4	rotacijsko klizište	21	5,0-29,0	20,7-30,3	27-35	2,5-5,5
Raspadalica 5	rotacijsko klizište	21	5,0-29,0	20,7-30,3	27-35	4,0-11,0
Krbavčići 1-reaktivirano	blatni/zemljani tok	19,8	2,5-63,7	12,0-27,0	9-17	0,5-10,0










\*rezidualne vrijednosti

Ispitivanje uzoraka stijenske mase tijekom istraživanja za magistarski rad (Žufić 2011) sastojalo se od ispitivanja čvrstoće u točki (PLT) i provedeno je na 44 cilindrična uzorka intaktne stijene dobivena bušenjem. Rezultati ispitivanja na uzorcima svježeg siltita su pokazali da odgovarajuća jednoosna čvrstoća ovih materijala varira od 10 do 15, a u iznimnim slučajevima doseže 20 MPa. Odgovarajuća jednoosna čvrstoća umjereno do slabo rastrošenih uzoraka je pokazala vrijednosti manje od 2 MPa. U svakom slučaju, dobivene vrijednosti se ne mogu smatrati pouzdanima i prihvatljivima za inženjerske analize bez dodatnih analiza kojima će se isti ispitati preciznijim troosnim ispitivanjima (Arbanas i dr. 2008). Veliki broj izbušenih uzoraka se raspao zbog promjene vlažnosti, relaksacije naprezanja i uslojenosti stijenske mase. Usporedbom dobivenih rezultata s kvalitativnim opisom stijenskog materijala u cilju određivanja čvrstoće stijenske mase, može se uočiti da flišna stijenska masa spada u razred slabe, srednje čvrste stijene, pa čak i čvrste stijene, s rasponom  $\sigma_{ci}$  od 5 do 54 MPa. Veliki raspon rezultata ispitivanja  $\sigma_{ci}$  pokazuje da naizgled jednaka flišna stijenska masa čije se prostiranje može pratiti na velikom djelu područja središnje Istre iz koje su s različitih lokacija uzimani intaktni uzorci, pri relativno sličnim klimatskim i hidrometeorološkim uvjetima, ima bitno različita mehanička svojstva.

Zbog litološke heterogenosti flišne stijenske mase slojevi pješčenjaka obično su odvojeni jedan od drugog slojevima slabijeg siltita te kontakt stijena-stijena između blokova pješčenjaka može biti ograničen. Zato nije prihvatljivo koristiti svojstva pješčenjaka kako bi se odredila čvrstoća sveukupne stijenske mase.

Treba napomenuti da osim svih do sada navedenih nepovoljnih uvjeta na koje se može naići prilikom istraživanja flišne stijenske mase, utjecaj promjene vlažnosti na mehanička svojstva intaktnih stijenskih komponenata od posebne je važnosti kada se radi o siltitima i sličnim stijenama koje su osjetljive na promjene vlažnosti. Mnogi od tih materijala dezintegrirati će se vrlo brzo ako im se dozvoli sušenje nakon vađenja iz jezgrene cijevi. Zbog toga ispitivanje intaktne stijene za određivanje jednoosne tlačne čvrstoće  $\sigma_{ci}$  i konstante  $m_i$  mora biti provedeno pod uvjetima što sličnijim uvjetima *in situ* vlažnosti. Idealno, terenski laboratorij bi trebao biti postavljen blizu bušaće opreme i jezgra pripremljena i ispitana odmah nakon vađenja.

Tablica 4.15 Raspon umanjenih vrijednosti GSI parametra (GSI') određenih povratnim analizama (modificirano prema: Žufić 2011- područje 1 i Gulam 2012 – područje 1 i 2)

SASTAV I STRUKTURA		POVRŠINSKI UVJETI DISKONTINUITETA				
		VRLO DOBRO	DOBRO	POVOLJNO	LOŠE	VRLO LOŠE
	A. debelo ustojeni, uglavnom blokoviti pješčenjak U plitkim tunelima ili padinama ove plohe slojevitosti mogu uzrokovati strukturno kontroliranu nestabilnost.	70	60			
	B. Pješčenjak sa tankim prosljecima siltita		50			
	C. Pješčenjak i siltit u sličnim omjerima			40		
	D. Siltit ili siltozni šejl sa slojevima pješčenjaka				30	
C, D, E i G - mogu biti više ili manje ispresjecani nego što je prikazano ali to ne mjenja čvrstoću. Tektonske deformacije, rasjedi ili oslabljenja kontinuirano pomiču te kategorije u F i H.					20	
	F. Tektonski deformiran, boran/rasjednut, smican glinoviti šejl ili siltit sa slomljenim i deformiranim slojevima pješčenjaka tvoreći gotovo kaotičnu strukturu.					10
	G. Neporemećeni siltitni ili glinoviti šejl sa ili bez nekoliko vrlo tankih slojeva pješčenjaka					
	H. Tektonski deformiran siltitni ili glinoviti šejl formirajući kaotičnu strukturu, sa džepovima gline. Tanki slojevi pješčenjaka transformirani su u sitne djelove stijene.					
		1 		2 		

GSI parametar za istraživano područje flišnih kosina (tablica 4.15) generalno se kreće u granicama od 15 do 25 (Žufić 2011) i istraživana flišna stijenska masa



pripadala bi prema predloženoj GSI klasifikaciji u stijensku masu s kategorijom površinskih uvjeta: povoljno i loše. Unutar istraživanja erozije ogolina u flišu središnje Istre, inženjerskogeološkom klasifikacijom jedne geološke jedinice, u 11 točaka *Gulam (2012)* je dobio vrijednosti GSI od 25 do 35, najčešće grupirane između D i E kategorije (tablica 4.15), vrlo malo B i C kategorije. Na drugoj lokaciji gdje je inženjerskogeološka klasifikacija provedena u 28 točaka je dobivena vrijednost GSI od 17 do 35, najčešće grupirane u kategoriju E. Povremeno je moguće na terenu naići na vrlo slabu stijensku masu i čvrsto tlo koja spada u kategoriju G ili H, što odgovara zonama stijenske mase vrlo blizu površine terena odnosno eluviju. Najveći broj točaka je u kategoriji G na području gdje se uglavnom radi o homogenom laporovitom materijalu bez slojeva pješčenjaka. Nešto manji broj točaka je pronađen u području D gdje su uočeni poneki tanki pješčenjački proslojci. Ovi rasponi GSI odgovaraju vrijednostima od 15 do 30 što je otprilike dobiveno i istraživanjem *Žufića 2011.*

Nakon definiranja karakteristika stijenske mase  $\sigma_{ci}$ ,  $m_i$  i GSI kao što je prethodno opisano, sljedeći korak je utvrđivanje kriterija čvrstoće stijenske mase. U većini sada dostupnih metoda proračuna za analize stabilnosti stijenske mase, kao što su metode analize granične ravnoteže i numeričke metode modeliranja, čvrstoća stijenske mase izražava se parametrima Mohr-Coulombovog kriterija čvrstoće. Zakon čvrstoće stijenske mase određen je na osnovu općeg oblika Hoek-Brownovog kriterija čvrstoće stijenske mase (*Hoek 1994, Hoek i dr. 1995, Hoek i dr. 2002*). Za definirane karakteristike stijenske mase prema Hoek-Brownovom kriteriju čvrstoće ( $\sigma_{ci}$ , GSI,  $m_i$ , D) određene su reducirane vrijednosti materijalnih konstanti ( $m_b$ , s, a) s obzirom da ne postoji intaktna stijenska masa, na osnovu kojih je određen zakon čvrstoće materijala u kosini.

Nelinearni Hoek-Brownovog kriterij prema izrazu (4.2) sadrži veće i manje glavno naprezanje pri slomu. Za analizu stabilnosti kosina metodom analize granične ravnoteže potrebno je odrediti posmičnu čvrstoću na plohi sloma u zavisnosti o normalnim naprezanjima.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left( m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (4.2)$$

U tom slučaju potrebno je Hoek-Brownov kriterij čvrstoće izraziti u odnosu posmičnih i normalnih naprezanja. Prikaz nelinearnog Hoek-Brownovog kriterija kao

odnosa normalnih i posmičnih naprezanja prema izrazima koristi se u analizama stabilnosti kosina prilikom definiranja ponašanja materijala u kosini. Većina ostalih zakona čvrstoće ponašanje materijala definiraju na osnovu prosječne vrijednosti parametara čvrstoće, u području očekivanih normalnih naprezanja u kosini. Jedan od takvih najkorištenijih je linearni Mohr-Coulombov kriterij čvrstoće. U ovom slučaju određen je iz nelinearnog Hoek-Brownovog kriterija prema izrazima (4.3) i (4.4).

$$\sigma_n = \sigma'_3 + \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\partial\sigma'_1/\partial\sigma'_3 + 1} \quad (4.3)$$

$$\tau = (\sigma'_n - \sigma'_3) \sqrt{\partial\sigma'_1/\partial\sigma'_3} \quad (4.4)$$

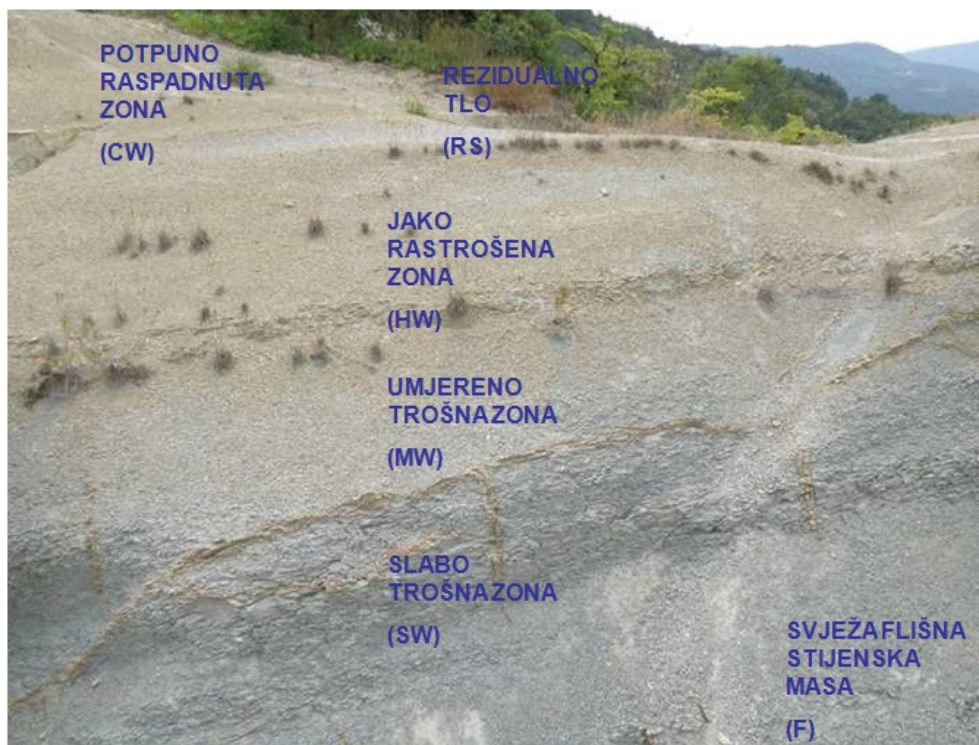
Parametri stijenske mase koji su određeni korištenjem rezultata ispitivanja (reprezentativna čvrstoća intaktne stijene) i terenskog istraživanja (procijenjena vrijednost GSI), kao ulazni parametri za određivanje zakona čvrstoće materijala u kosini, prema Hoek-Brownovom kriteriju čvrstoće prikazani su u tablici 4.16.

Tablica 4.16 Vrijednosti parametara čvrstoće za reprezentativne vrijednosti čvrstoće intaktne stijene i procijenjene vrijednosti GSI (modificirano prema Žufić 2011)

Lokacija	$\sigma_{ci}$ [MPa]	GSI [RMR-5]	Ekvivalentni Mohr-Coulombovi parametri čvrstoće		Realni Mohr-Coulombovi parametri čvrstoće- za GSI'	
			c [MPa]	$\phi$ [°]	c [MPa]	$\phi$ [°]
GD	18,0	29	0,081	48,54	0,070	45,38
RS	7,0	29	0,053	42,15	0,044	38,65
GL-1	5,0	35	0,042	43,50	0,034	40,16
LS	18,0	27	0,074	49,60	0,059	46,51
SS-1	7,0	30	0,042	45,17	0,035	41,85
SS-2	4,0	32	0,030	42,58	0,025	39,18
RP	15,0	29	0,065	49,95	0,050	49,93
BR-1	3,0	29	0,027	38,44	0,023	34,87
MEJ-1	29,0	25	0,086	53,12	0,066	50,32
MEJ-2	29,0	25	0,099	51,34	0,078	48,36

Za nastanak klizišta na flišnim kosinama naročito je važan proces vremenskog trošenja flišne stijenske mase uslijed djelovanja vode i atmosferilija, kao i proces erozije i akumulacije raspadnutog materijala. Na taj način mogu nastati potencijalno nestabilne naslage. Proces vremenskog trošenja flišne stijenske mase vidljiv je od površine terena s dubinom te je moguće razlikovati različite stupnjeve trošenja stijenske mase od svježe (F) do rezidualnog tla (RS) (*ISRM 1981*). S obzirom na izrazitu podložnost trošenju pod djelovanjem atmosferilijskih uvjeta sitnozrne stijene

flišnog kompleksa koje su u razmatranom području predstavljene siltitom značajno mijenjaju i fizičko-mehaničke značajke u relativno kratkom vremenskom intervalu trošenja.



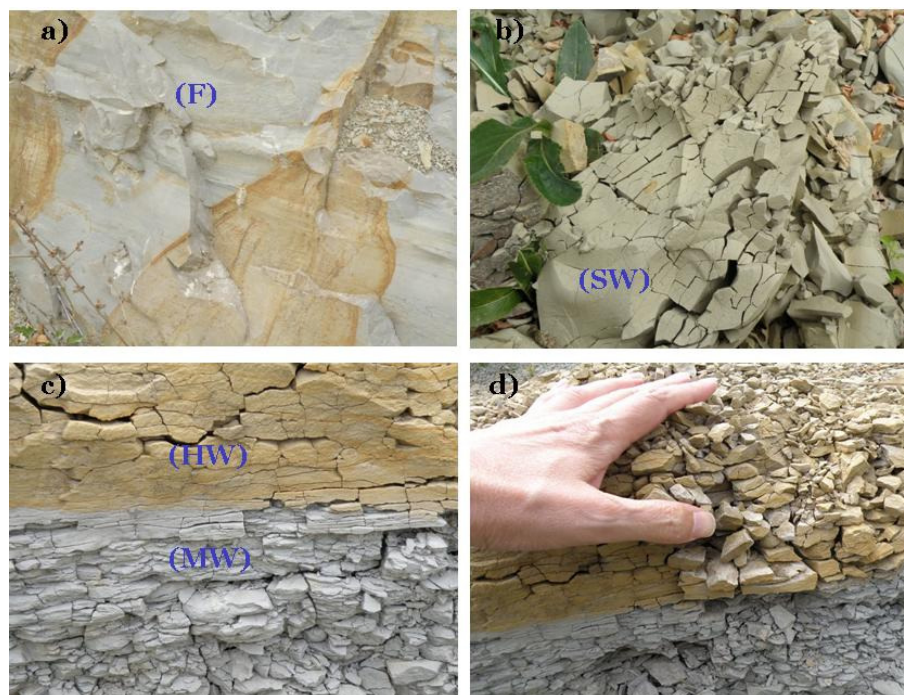
Slika 4.27 Stupnjevi trošenja flišne stijenske mase (ISRM 1981): F-svježa (engl. *fresh*), SW-slabo trošna (engl. *slightly weathered*), MW-umjereno trošna (engl. *moderately weathered*), HW- jako rastrošena (engl. *highly weathered*), CW- potpuno raspadnuta (engl. *completely weathered*), RS- rezidualno tlo (engl. *residual soil*)

Na slici 4.27 mogu se vidjeti zone trošenja od stupnja svježe flišne stijenske mase do rezidualnog tla koje su detaljno opisane u tablici 4.17. Pri tome se može zaključiti da se rezidualno tlo (RS) u cijelosti ponaša kao tlo dok potpuno trošna stijenska masa (CW), iako posjeduju strukturu originalne stijenske mase u pravilu posjeduju parametre čvrstoće odgovarajuće inženjerskom tlu. Na terenu je vrlo teško izdvojiti granicu između ta dva stupnja trošnosti.

Kod slabo rastrošenog siltita karakteristična je promjena boje stijenskog materijala i oštećenost površina diskontinuiteta. Boja intaktnog siltita je siva do sivoplavičasta koja je za razliku od slabo rastrošenog siltita svjetložuta, slika 4.28. Kod intaktnog siltita nema vidljivih tragova trošnosti materijala osim eventualno manje promjene boje na površini glavnih diskontinuiteta.

Tablica 4.17 Stupnjevi trošenja stijenske mase (ISRM 1981)

Pojam	Simbol	Opis	Stupanj
Svježa ( <i>engl. fresh</i> )	F	Nema vidljivih znakova trošenja materijala stijenske mase, možda blaga promjena boje na površinama glavnih diskontinuiteta.	I
Slabo trošna ( <i>engl. slightly weathered</i> )	SW	Promjena boje ukazuje na trošenje materijala stijene a diskontinuiteti mogu ponegdje biti izvana oslabljeni u odnosu na stijensku masu u svježem staniu.	II
Umjereno trošna ( <i>engl. moderately weathered</i> )	MW	Manje od pola materijala stijenske mase je dekompozirano i/ili raspadnuto u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promijenjene boje je prisutna kao kontinuirana okosnica ili jezgra.	III
Jako rastrošena ( <i>engl. highly weathered</i> )	HW	Više od pola materijala stijenske mase je dekompozirano i/ili raspadnuto u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promijenjene boje je prisutna kao diskontinuirana okosnica ili jezgra.	IV
Potpuno raspadnuta ( <i>engl. completely weathered</i> )	CW	Cijeli materijal stijenske mase je dekompoziran i/ili raspadnut u tlo. Originalna struktura stijenske mase je još uvijek uglavnom intaktna.	V
Rezidualno tlo ( <i>engl. residual soil</i> )	RS	Kompletna stijenska masa je pretvorena u tlo. Struktura i građa materijala stijenske mase su uništene. Postoji velika promjena u volumenu, ali tlo nije značajnije transportirano.	VI



Slika 4.28 Trošenje i dekompozicija flišne stijenske mase izložene vodi i atmosferskim uvjetima: a) svježa stijenska masa, b) blago trošna stijenska masa, c) umjereno do jako trošna stijenska masa, d) raspadanje jako trošne stijenske mase pod laganim dodiror ruke

## 5 ANALIZA UZROČNIH FAKTORA I INICIJATORA KLIZANJA

Preduvjeti klizanja su nepovoljni uvjeti (engl. *preparatory causal factors*) na padini koji su stvorili predispozicije za nestabilnost. Za razliku od toga, inicijatori (pokretači) klizanja (engl. *triggering causal factors*) su procesi koji iniciraju kretanje. Klizanje mogu inicirati samo uzroci iz skupina geomorfoloških procesa (npr. fluvijalna erozija u nožici padine), fizičkih procesa (npr. intenzivna kratkotrajna oborina) i antropogenih procesa (npr. opterećenje vrha padine). Antropogene uzroke je teško procijeniti, dok se prostorne i vremenske analize prirodnih uzročnih faktora uspješno koriste u procjeni hazarda klizanja. Treba uzeti u obzir da se uvjeti mijenjaju tijekom vremena, te da klizanje ne ovisi samo o jednom faktoru, već se događa pri kritičnoj kombinaciji više njih. Neki znanstvenici temelje procjenu hazarda klizanja samo na analizama faktorima litologije i nagiba padina (*Brabb i dr. 1972, Blanc i Cleaveli 1968, Nilsen i dr. 1979*), a češći su radovi u kojima je analiziran veći broj faktora, (*Stevenson 1977, Meneroud 1978*). Opis utjecaja glavnih faktora koji utječu na procese klizanja dan je u preglednim radovima *Varnesa (1984)* i *Hutchinsona (1988)*. Najvažniji faktori koji utječu na pojavu klizanja su: geološka građa kosine (litološki sastav, geološke strukture, stupanj trošnosti), geomorfološki procesi na kosini (trošenje stijena, padinski procesi), nagib i orijentacija kosine, značajke pojedinih slojeva materijala tla/stijene na kosini (debljina, propusnost, poroznost), hidrološki i antropogeni uvjeti (oborine, promjene u težini materijala, korištenje zemljišta). U teoriji, klizanje se događa kada neki od tih faktora promijene prirodnu ravnotežu na padini. *Selby (1993)* je faktore koji utječu na klizanje klasificirao u dvije osnovne skupine: faktori koji pridonose povećanju posmičnih naprezanja (smanjenje ili povećanje opterećenja na kosini, povećanje volumena glina, trošenje, povećanje nagiba kosina, saturacija uslijed oborina) i faktori koji pridonose sniženju posmične čvrstoće (oslabljenja materijala, fizički i kemijski procesi, promjene u strukturi stijena, raspucanost).

Prostorna komponenta klizanja funkcija je preduvjeta klizanja, za razliku od vremenske komponente, koja je funkcija uzroka koji iniciraju klizanje, odnosno pokretača klizanja. U ovom poglavlju prikazuju se rezultati analize uzročnih faktora koji su stvorili preduvjete na klizanje na istraživanom području. Za preduvjete klizanja



provedene su prostorne analize računanjem gustoće ili frekvencije klizanja u klasama svakog pojedinog faktora klizanja. Vremenska komponenta klizanja također je istraživana, a rezultati ove analize prikazani su u zasebnom poglavlju.

## 5.1 Prostorna analiza na području pokraj Grada Buzeta

Potreba za širenjem urbaniziranih područja, kao i broj nestabilnosti uzrokovan time je u stalnom porastu. To utječe na potrebu da se odredi razina opasnosti od pojave klizanja na nekom prostoru, drugim riječima, da se procijeni podložnost nekog područja klizanju. Područje istraživanja kraj Grada Buzeta, na kojem je provedena prostorna analiza podložnosti klizanju, a kasnije i analiza hazarda pokriva područje od oko 13 km<sup>2</sup>. Ovo područje karakterizira umjereno raščlanjen reljef koji je posljedica djelovanja erozije i podložnosti flišnih naslaga egzogenim procesima dok se raščlanjenost reljefa povećava idući prema masivu Ćićarije, gdje je izražena tektonika. Područje istraživanja pripada tektonskoj jedinici ljuskave i navlačne strukture Ćićarije, Učke i Labinskog bazena (*Polšak i Šikić 1973*). Većina terena na brežuljkastim kosinama bila je izložena klizanju pod utjecajem neke od kombinacija uzročnih faktora (*Mihalić 1998*). Zbog razlike u rezistentnosti pojedinih članova, procesi trošenja zahvaćaju naslage fliša različitom brzinom, pri čemu se brže troše nekompetentni članovi fliša, te tako nastaje reljef karakterističan za naslage fliša. Na dijelovima terena izgrađenim od nekompetentnih siltita nastaju udubljenja, dok rezistentni pješčenjaci strše u terenu. Pri tome su najčešće pojave ogoline i strme kosine u ogoljeloj flišnoj stijenskoj masi. Razlog je premala čvrstoća naslaga pokrivača koji se ne može zadržati na strmijim kosinama u flišnoj stijenskoj masi. Stijenska masa na površini ogolina posebno je izložena procesu trošenja, te se ogoline vremenski mijenjaju zadržavajući svoj strmi nagib na granici stabilnosti.

Procjena prostorne komponente hazarda, odnosno analiza podložnosti klizanju, provedena je u GIS-u koji je korišten kao alat u pohranjivanju, obradi, analizi i prikazu prostornih podataka, te radu s bazama podataka. Uobičajeni set podataka u analizama zoniranja klizišta uključuje poligone klizišta, geološke, inženjerskogeološke i geomorfološke značajke, uvjete korištenje zemljišta, a može uključivati i druge informacije, npr. podatke o postojećim istražnim bušotinama, parametrima tla, razinama podzemne vode, oborinama i dr. Iz digitalnog modela terena (DEM, engl. *Digital Elevation Model*) mogu se dobiti različiti setovi podataka o

značajkama terena, kao što su nagib i orijentacije kosina, značajke vodotoka itd. GIS je sa svojim analitičkim i kartografskim mogućnostima, te mogućnostima pohranjivanja podataka zadnjih desetak godina često korišten za procjenu prostorne komponente hazarda. Najviše se koristi u multivarijantnim statističkim analizama povezujući distribuciju klizišta s karakteristikama terena (*Anbalagan i Singh 1996, Carrara 1983, 1989, Carrara i dr. 1990, Carrara i dr. 1991, Carrara i dr. 1995, Chung i dr. 1996, Dikau i Jäger 1995, Guzzetti i dr. 1999, Pike 1988*). Neki autori su se koristili modelima terena i njihovom povezanošću s mehanizmima stabilnosti i hidrološkim modelima (*Bonomi i Cavallin 1999, Miller 1995, Miller i Sias 1998, Montgomery i Dietrich 1994, Montgomery i dr. 2000, Okimura i Kawatani 1987, Sakellariou i Ferentinou 2001, Terlien i dr. 1996, van Asch i dr. 1993, van Westen i Terlien 1996*).

Za prostorne analize korišten je softver ArcGIS verzija 9.3 proizvođača ESRI. U tablici 5.1. navedene su tematske karte faktora klizanja, koje su korištene u prostornim analizama: karta namjene zemljišta, karta hidrološke mreže, litološka karta, karta nagiba kosine i karta orijentacije kosine. Provedena je bivarijantna statistička analiza s ciljem određivanja relativnog utjecaja faktora klizanja na proces klizanja. Relativni utjecaj svih faktora klizanja procijenjen je pomoću gustoće klizišta u zoni faktora klizanja u odnosu na gustoću klizišta na cijelom području, a izražen je pomoću uvjetne vjerojatnosti (*Siddle i dr. 1991, van Western 1993, Yin 1994*). Uvjetna vjerojatnost (P) događaja klizanja (L) za svaku klasu faktora klizanja dobivena je preklapanjem karte klizišta s kartom klasa faktora klizanja, kako bi se izračunala učestalost klizišta prema sljedećem izrazu:

$$P (K|UCU) = \text{površina klizišta} / \text{površina UCU}$$

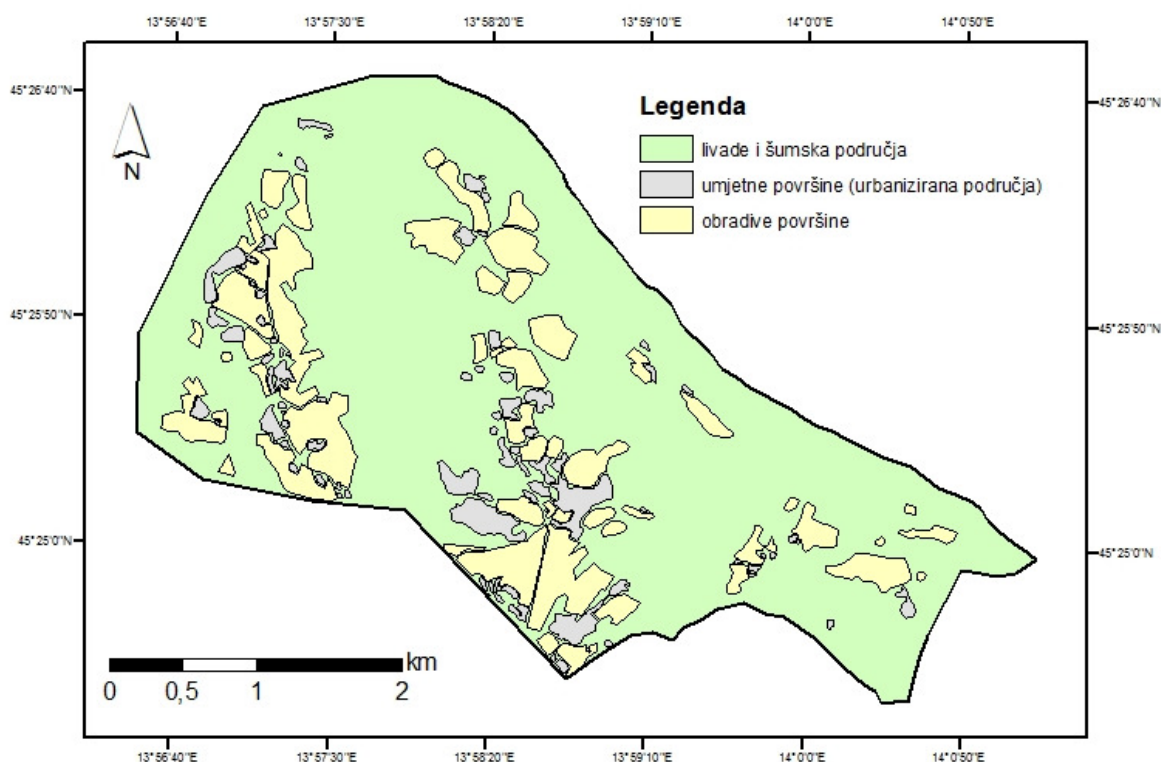
Tablica 5.1 Tematske karte korištene u analizama

Naziv karte	Značenje u analizi
Karta namjene zemljišta	Parametri koji kontroliraju prihvata količine oborina
Hidrološka mreža	Utjecaj erozije, mreža transporta materijala, sadržaj vode u tlu
Litološka karta	Povezanost s infiltracijom oborina, čvrstoćom materijala, stupnjem trošenja
Nagib kosine	Intenzitet otjecanja vode/oborina, intenzitet erozije, stupanj saturacije, namjena kosine, geomorfologija
Orijentacija kosine	Evapotranspiracija, debljina vegetacije, korištenje zemljišta, količina sunca, smjer otjecanja



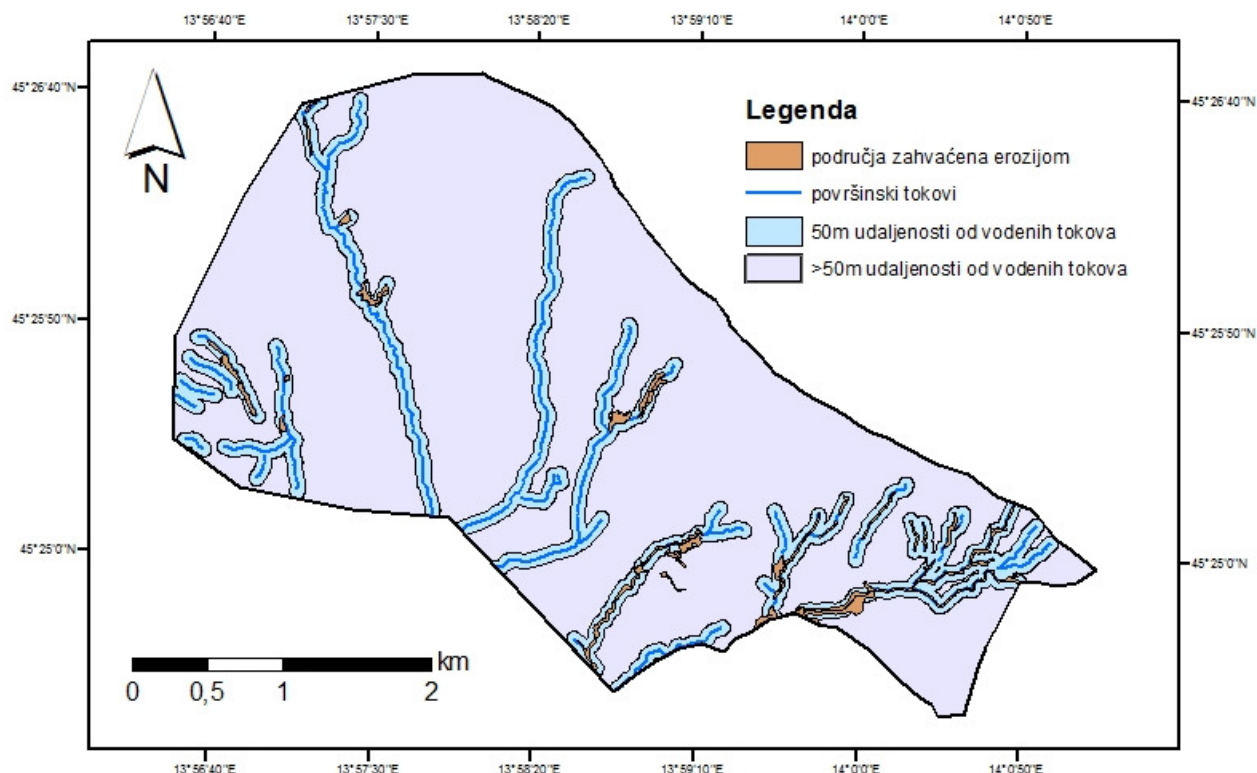
Geomorfološka karta klizišta u krupnom mjerilu izrađena je na temelju povijesnih podataka o klizištima iz geotehničke dokumentacije (za razdoblje od 1979. do 1999.) i na temelju daljinskih istraživanja stereoskopskom analizom stereoparova avionskih snimaka iz 2009. godine. Klizišta su kartirana na topografskoj podlozi mjerila 1:5,000. Ukupna površina klizišta prikazanih na karti je 0,388 km<sup>2</sup>, što čini 2,96% površine istraživanog područja. Gustoća klizišta je oko 0.225% klizišta po kvadratnom kilometru područja istraživanja. Karta klizišta je izrađena u obliku GIS kartografske baze podataka, u kojoj su pohranjeni podaci o lokaciji, značajkama i učestalosti za 26 klizišta. Veličina klizišta varira u rasponu od 1,900 m<sup>2</sup> do 53,800 m<sup>2</sup>, dok su najčešća klizišta veličine od 4,000 m<sup>2</sup> do 20,000 m<sup>2</sup>.

Karta namjene zemljišta korištena u prostornim analizama, izvedena je iz digitalne ortofoto snimke terena (mjerila 1:5,000) iz 2004. godine na način da su izdvojene tri klase namjene zemljišta (slika 5.1): (i) umjetne površine koje obuhvaćaju urbanizirana područja; (ii) obradive površine, odnosno oranice; i (iii) livade te šumska područja.



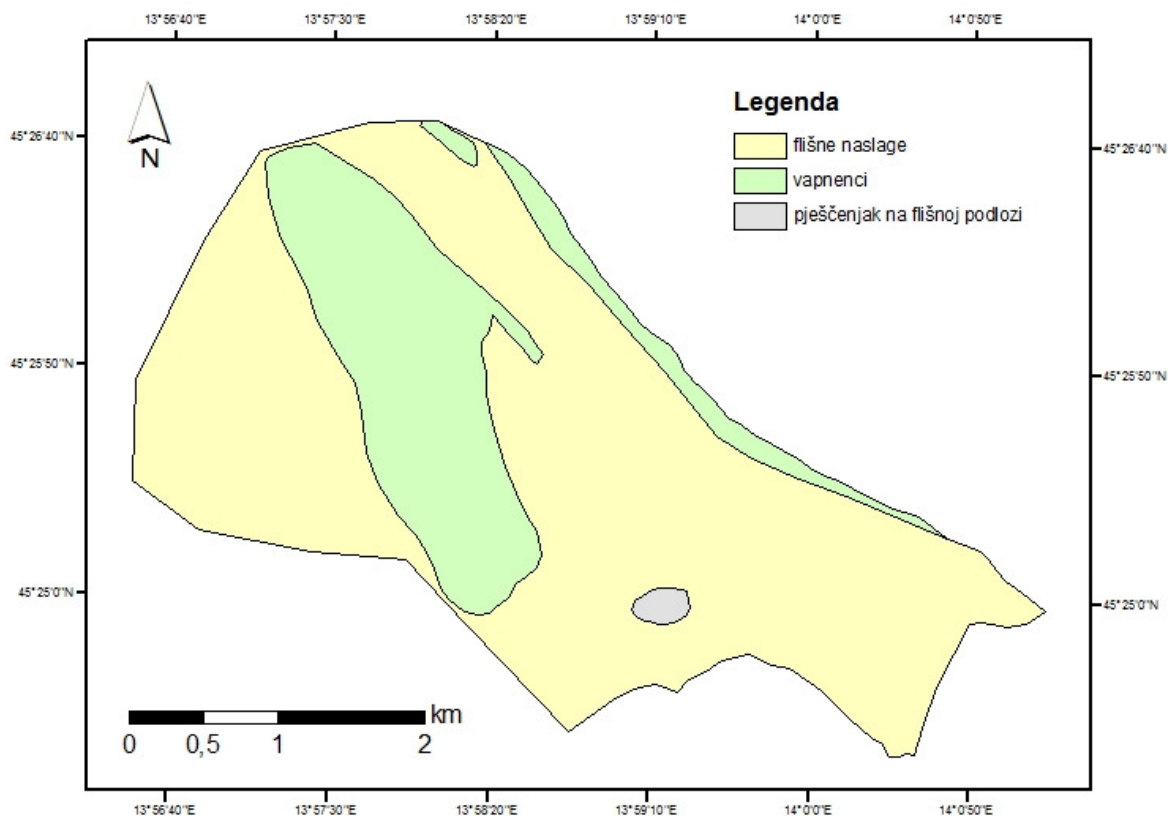
Slika 5.1 Karta namjene zemljišta na području istraživanja izrađena na temelju ortofoto snimaka 2004. godine

Karta površinskih tokova (slika 5.2) kreirana je iz postojećih podataka o trajnim i povremenim površinskim tokovima i nadopunjena podacima iz postojeće topografske karte mjerila 1:5.000 iz 2004. godine. Na karti su prikazana područja oko vodotoka na način da su izdvojene zone širine 50 m oko svakog vodotoka. Također su izdvojena i područja zahvaćena erozijom, koja su preuzeta iz ortofoto snimaka iz 2004. godine.



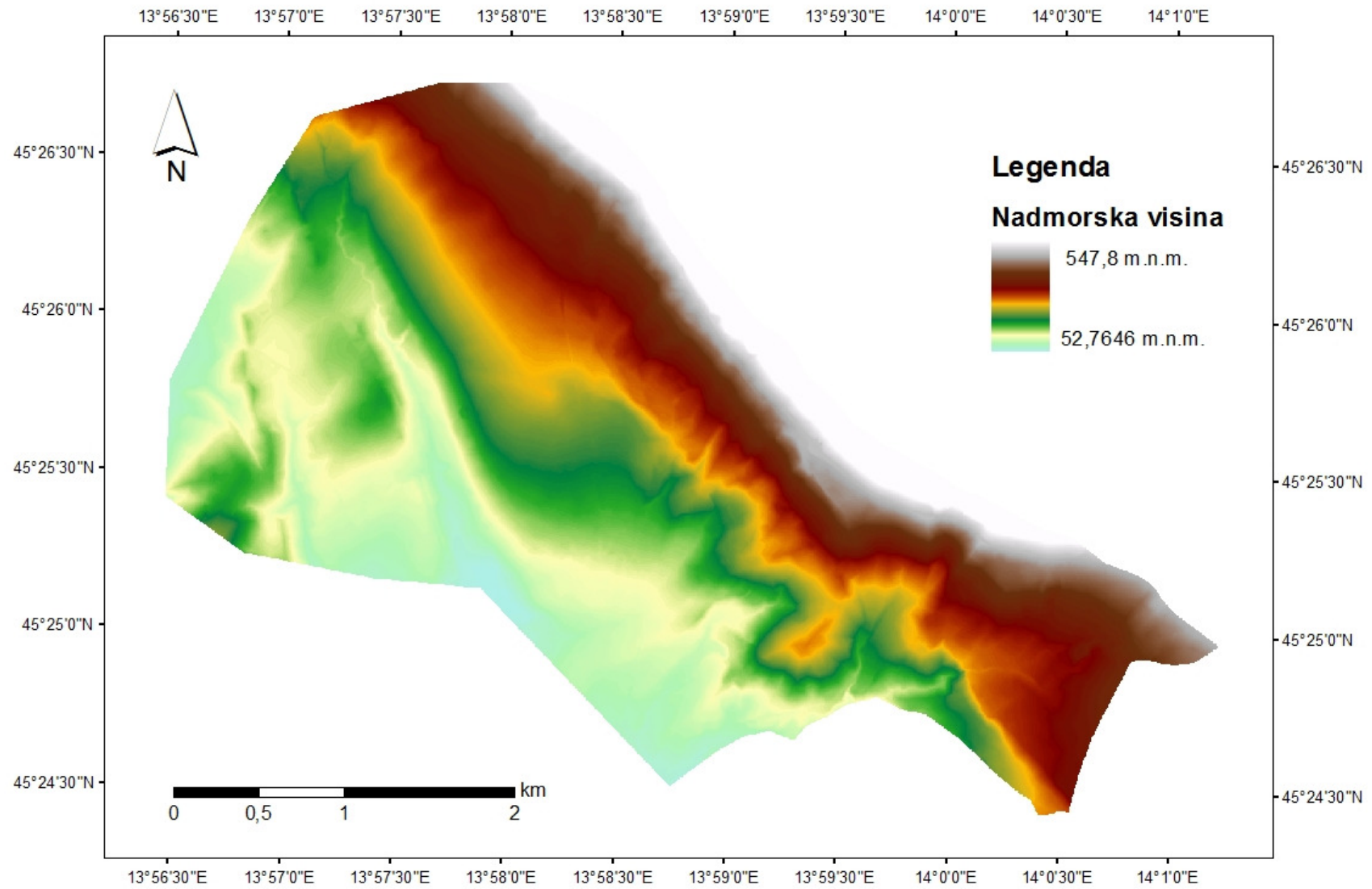
Slika 5.2 Karta površinskih tokova područja istraživanja s prikazom područja zahvaćenih erozijom fliških ogolina

Litološke jedinice za područje istraživanja izvedene su generalizacijom stratigrafskih jedinica s Osnovne geološke karte, listovi Trst i Ilirska Bistrica (*Pleničar i dr. 1969, 1973, Šikić i dr. 1972, 1975*), čije originalno mjerilo je 1:100,000. Na pojednostavljenoj karti litoloških jedinica (slika 5.3) izdvojene su sljedeće jedinice: (i) flišne naslage i (ii) vapnenci.

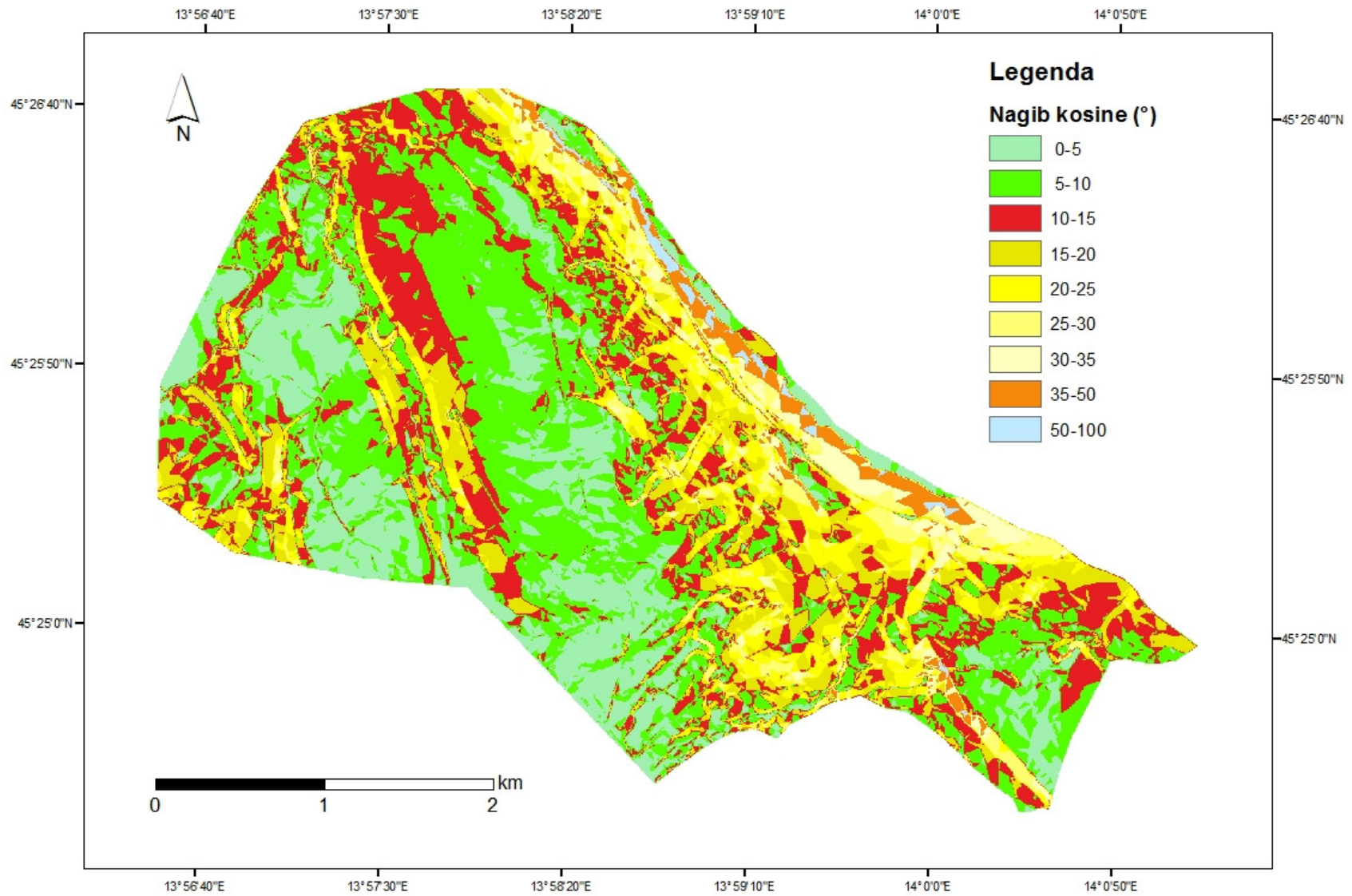


Slika 5.3 Karta izvedenih litoloških jedinica na područja istraživanja

Digitalni model visina terena (DEM) rezolucije 5x5m (slika 5.4) korišten je za izradu karte nagiba terena i karte orijentacije padine. Devet razreda nagiba kosine je reklasificirano u četiri, a četiri razreda orijentacije kosine reklasificirana su u dva razreda. Na slici 5.5 prikazana je karta nagiba kosina s izdvojenim sljedećim klasama nagiba: 0-5°, 5-10°, 10-15°, 15-20°, 20-25°, 25-30°, 30-35°, 35-50°, 50-100°. Na slici 5.6 prikazana je karta orijentacije padina s izdvojenim sljedećim klasama orijentacije kosina: sjeveroistok (0-90°), jugoistok (90-180°), jugozapad (180-270°), sjeverozapad (270-360°). Ove klase odabrane su zbog orijentacije geoloških struktura u području istraživanja.

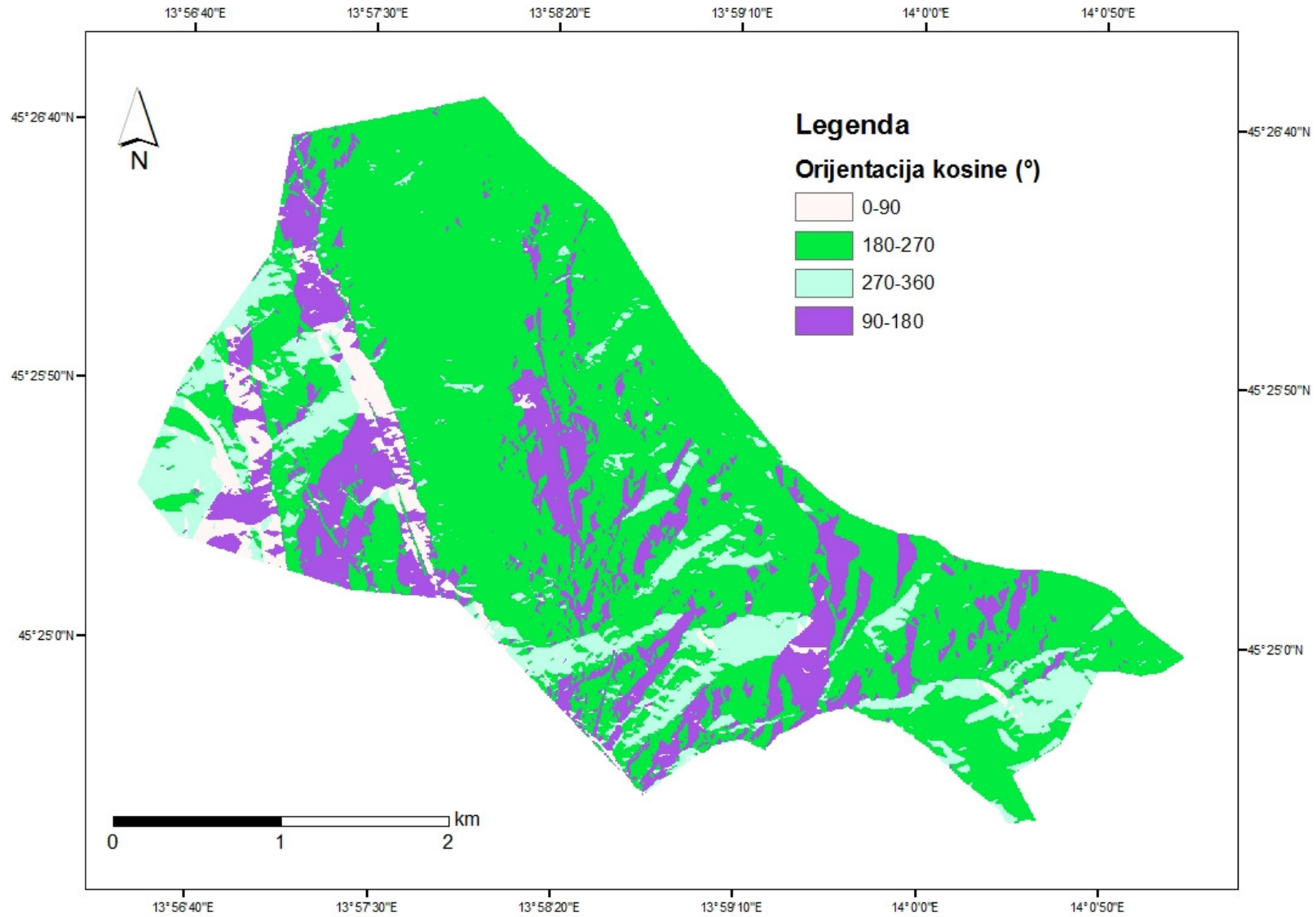


Slika 5.4 Digitalni model visina terena istraživanog područja



Slika 5.5 Karta nagiba kosine izvedena iz DEM-a rezolucije 5x5 m





Slika 5.6 Karta orijentacije kosina izvedena iz DEM-a rezolucije 5x5 m

U odnosu na izračunatu srednju gustoću odnosno frekvenciju klizišta, sustavno su određene četiri zone frekvencije (gustoće) klizanja cijelog područja istraživanja na sljedeći način:

1. Stabilna područja- zona niske frekvencije klizišta, gdje je  $P(K|UCU) < 1,48\%$  ( $P(K|ER)/0.5$ ),
2. Upitno stabilna područja- zona srednje frekvencije klizišta, gdje je  $P(K|UCU)$  između  $1,48\%$  i  $2,96\%$ ,
3. Upitno stabilna područja- zona visoke frekvencije klizišta, gdje je  $P(K|UCU)$  između  $2,96\%$  i  $4,44\%$ ,
4. Nestabilna područja- zona vrlo visoke frekvencije klizišta, gdje je  $P(K|UCU) > 4,44\%$  ( $P(K|ER)*1.5$ ).

U tablici 5.3 prikazani su rezultati uvjetne vjerojatnosti po pojedinim klasama faktora klizanja, izraženi gustoćom klizišta, a također su dodijeljeni i kvalitativni opisi na temelju postavljenih granica frekvencije klizišta. Iz ove tablice doneseni su sljedeći zaključci o relativnom utjecaju faktora klizanja na klizišta:

- šume pokrivaju najveći dio na istraživanom području odnosno 77% njegove ukupne površine ( $\sim 10 \text{ km}^2$ ); umjetne površine (koje uključuju izgrađena područja različite namjene) 5% područja ( $\sim 0,7 \text{ km}^2$ ), a obradive površine 18% prostora ( $\sim 2,5 \text{ km}^2$ ). Utjecaj umjetnih površina na klizišta je mali, što ne odgovara stvarnom stanju, jer je većina klizišta locirana oko prometnica i prouzročena je djelomično i nereguliranim odvodnjama površinskih voda. Ovaj rezultat dobiven je stoga što je površina umjetnih površina premala da bi dala realne pokazatelje. Za ostale dvije klase faktora: šumska područja i obradive površine, dobiveni su približno isti rezultati uvjetne vjerojatnosti (srednja gustoća klizišta). Prema sustavnoj podjeli područja u četiri zone gustoće klizanja, šumska područja spadaju u zonu visoke podložnosti klizanju, a obradive površine u zonu umjerene podložnosti klizanju.
- utjecaj vodenih tokova analiziran je unutar zona udaljenosti od vodenih tokova od 50 metara, ali prostornim analizama nije dobivena puno veća vrijednost uvjetne vjerojatnosti bliže površinskim tokovima, kao što se očekivalo zbog male površine jedinica.
- analiza klasa litoloških jedinica na istraživanom području i gustoće klizišta u pojedinim jedinicama dobivena je najveća uvjetna vjerojatnost u flišnim



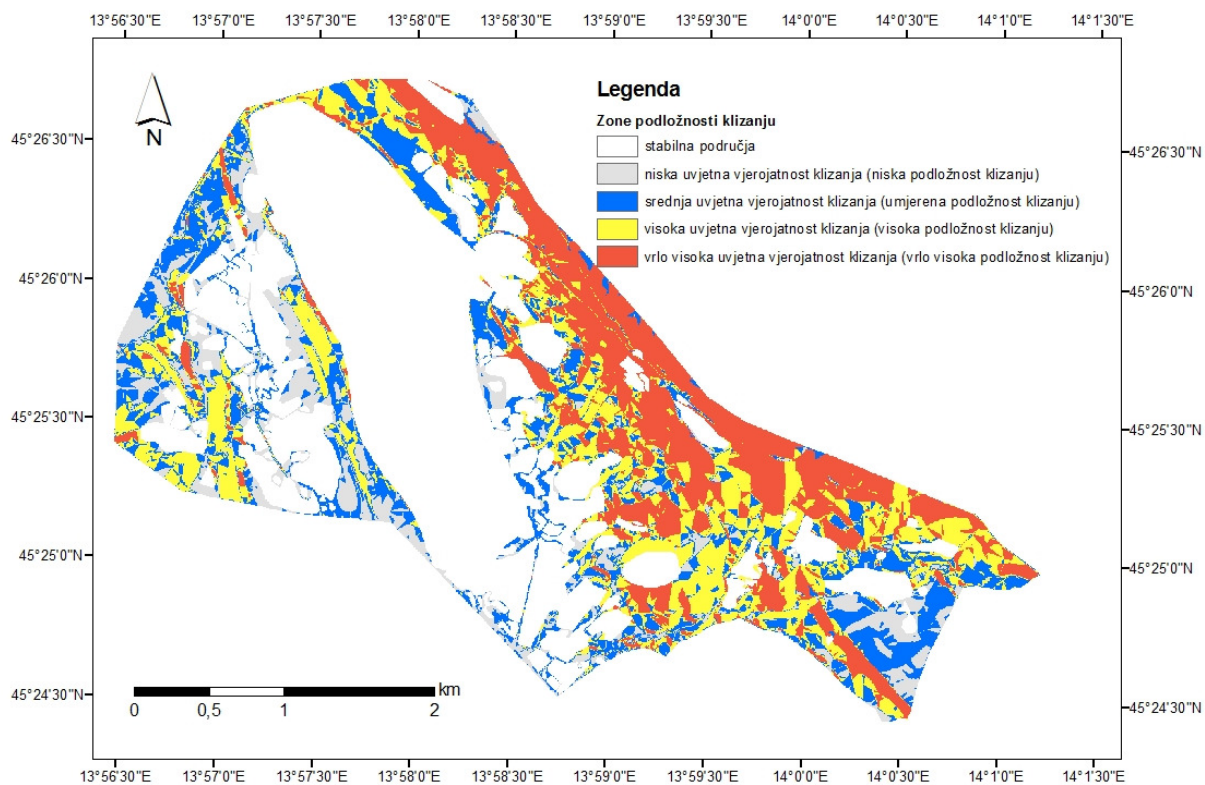
naslagama, koje pokrivaju 75% područja istraživanja (gotovo 10km<sup>2</sup>), a mala vjerojatnost klizišta u području vapnenaca koji pokrivaju 25% površine, što je za očekivati jer u tom području nisu registrirana klizanja.

- analize faktora orijentacije kosina i gustoće postojećih klizišta su pokazale da je orijentacija kosina između 180 i 270°, dakle jugozapadno pružanje, visoko podložna, dok su kosine s ostalim orijentacijama niske podložnosti klizanju, što je također za očekivati zbog pružanja geoloških struktura na području istraživanja.
- analizirajući nagibe kosina i prisutnost klizišta dobiveno je da raspon nagiba od 0 do 10° ima malu uvjetnu vjerojatnost, nagibi od 10 do 15° srednju vjerojatnost, a kosine između 15 i 50° veliku uvjetnu vjerojatnost klizanja. Nagibi >50° imaju također malu vjerojatnost klizanja (frekvencija klizanja je niska i iznosi 1,41%).

Stabilna područja niske uvjetne vjerojatnosti klizanja proglašena su zonama niske podložnosti klizanju, upitno stabilna područja srednje uvjetne vjerojatnosti proglašena su umjereno podložna klizanju, upitno stabilna područja visoke uvjetne vjerojatnosti proglašena su visoko podložna klizanju, a nestabilna područja vrlo visoke uvjetne vjerojatnosti vrlo visoko podložna klizanju (slika 5.7).

Tablica 5.2 Gustoća ili uvjetna vjerojatnost klasa faktora klizanja na istraživanom području

	Varijabla	Površina varijable (km <sup>2</sup> )	Površina klizišta unutar varijable (km <sup>2</sup> )	Udio u ukupnoj površini (%)	Duljina (km)	Gustoća klizišta (%)
	Istraživano područje	13,1	0,39		16,9	2,96
namjena zemljišta	obradive površine	2,33	0,05	18		2,32 srednja
	umjetne površine	0,66	0,001	5		0,15 mala
	livade i šumska područja	10,15	0,33	77		3,28 srednja
vodeni tokovi	vodeni tokovi				24,77	
	zona 50m	2,43	0,07			3,01 srednja
	zona >50m	10,7	0,32			2,95 srednja
litoške jedinice	flišne naslage	9,74	0,39	74		3,98 srednja
	vapnenac	3,32	0	25		0,00 mala
	pješčenjak na flišnoj podlozi	0,07	0	1		0,00 mala
nagib kosine (°)	0-5	2,44	0,001			0,04 mala
	5-10	3,95	0,05			1,17 mala
	10-15	2,63	0,08			3,16 srednja
	15-20	1,72	0,09			5,01 velika
	20-25	1,03	0,06			6,23 velika
	25-30	0,64	0,05			7,00 velika
	30-35	0,37	0,04			10,33 velika
	35-50	0,29	0,02			7,22 velika
	>50	0,07	0,001			1,41 mala
orijentacija kosine (°)	0-90	0,62	0			0,00 mala
	90-180	2,20	0,02			0,91 mala
	180-270	8,65	0,36			4,17 srednja
	270-360	1,66	0,01			0,30 mala

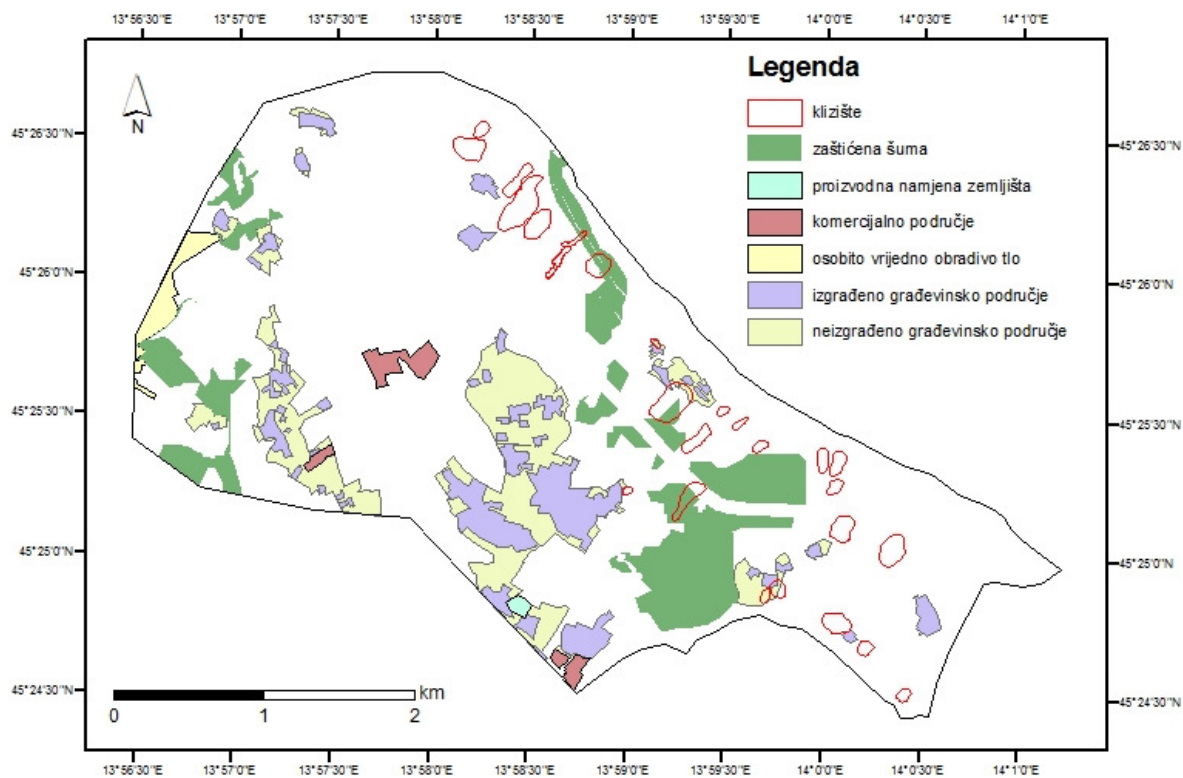


Slika 5.7 Karta područja istraživanja podijeljena u četiri zone uvjetne vjerojatnosti i podložnosti klizanju

Iz Prostornog plana uređenja Grada Buzeta (prema stručnoj dokumentaciji u popisu literature) dobiveni su podaci o korištenju i namjeni površina unutar područja istraživanja (slika 5.8). Građevinska područja su većinom smještena na vapnencima i kosinama malog nagiba, koje se smatraju stabilnim zonama, no u budućnosti, s većom potrebom za prostorom i širenjem građevinskih područja, gotovo je sigurno da će se javiti potreba izgradnje na terenu veće podložnosti klizanju.

Ako se izrađena karta uvjetne vjerojatnosti klizanja (slika 5.7) usporedi s kartom namjene zemljišta iz postojećeg Prostornog plana uređenja Grada Buzeta i okolice, može se utvrditi postojanje visoke podložnosti klizanju unutar zona građevinskih područja, zaštićenih šumskih područja, proizvodnih ili trgovinskih zona, te drugih vrijednih dijelova unutar istraživanog poligona. Zaštićena šumska područja su pokrivena srednjom gustoćom klizišta, a građevinska područja, bez obzira da li su izgrađena ili se gradnja planira u budućnosti, su pokrivena malom gustoćom klizišta.

Analiza utjecaja pokretača klizanja prikazana je u slijedećem poglavlju i predstavlja slijedeći korak u okviru upravljanja hazardom i rizikom - dobivanje karte hazarda.



Slika 5.8 Područja od posebnog interesa s preklopljenom kartom klizišta (prema Prostornom planu uređenja Grada Buzeta – stručna dokumentacija [9] i [10])

## 5.2 Vremenska analiza inicijatora klizanja i ocjena karaktera oborina

Učestalost klizanja, kao jedna od dvije osnovne komponente hazarda procijenjena je iz podataka o oborinama (*Picarelli i dr. 2005, Strunk 1992, Wilson i Wieczorek 1995, Crozier 1997, Finlay i dr. 1997, DUTI 1983, Soeters i van Westen 1996, Baum i dr. 2005*). Klizišta u središnjoj Istri su većinom uzrokovana velikim oborinama i/ili ljudskim aktivnostima koje značajno mijenjaju geometriju kosine i/ili pomažu zadržati površinske vode u zoni klizanja (*Arbanas i dr. 2007*) (tablica 4.1). Utjecaj ostalih faktora, kao što su topljenje snijega ili potresi se ne mogu uzeti u obzir zbog postojećih klimatskih uvjeta i male seizmičke aktivnosti područja.

U nastavku je karakter oborina sagledan kroz nekoliko parametara – količini dnevnih oborina koja je prethodila aktiviranju klizišta, kumulativnoj mjesečnoj količini oborina u mjesecu u kome je zabilježeno aktiviranje klizišta te dvo i tromjesečnoj količini kumulativnih oborina koje su prethodile klizanju te broju kišnih dana tijekom prethodna tri mjeseca.

Pri provedenim analizama korišteni su podaci s meteoroloških postaja lociranih na regionalnom prostoru na kome su zabilježena klizanja terena (slika 4.21). Pri tome su kao referentne za provedbu analiza vjerojatnosti pojave karakterističnih oborina odabrane meteorološke postaje Abrami (1961.-2009), Lupoglav (1961.-2010.), Vodice (1961.-2010.) i Pazin (1961.-2010.) koje su imale na raspolaganju i najdulje nizove raspoloživih podataka mjesečnih oborina. Za pojedinačna sagledavanja korišteni su i podaci nekih drugih postaja u slivu koje su na raspolaganju imale kraća razdoblja motrenja (Rakitovec 1961.-2002., Lanišće 1961.-1990.). Za dnevne oborine u analizama su korišteni podaci s mjernih postaja Abrami 1971.-2010., Lupoglav 1978.-2010. i Pazin 1978.-2010., a kako mjereni podaci nisu u tim razdobljima kontinuirani, nadopunjavani su podacima s ostalih postaja (Hum 1992.-2010., Lanišće 1978.-2010., Vodice 1978.-2010.) ukoliko su isti bili zabilježeni.

Analiza vjerojatnosti pojave karakterističnih oborina provedena je s više teorijskih funkcija raspodjele (Gauss, Galton, Gumbel, Jenkinsonova/GEV, Pearson 3 te Log Pearson 3), a testiranje kvalitete prilagođavanja na empirijske raspodjele, određene prema Čegodajevu, provedeno je testom Smirnov-Kolmogorova i  $\chi^2$ -testom.

Tablica 5.3 Analiza vjerojatnosti pojave maksimalnih dnevnih oborina

PP (god)	Abrami	Lupoglav	Vodice
2	66	77	95
3,33	76	91	108
4	79	95	114
5	84	101	117
10	96	116	130
20	108	131	142
50	128	149	157
100	142	162	167
Mjerodavna			
raspodjela	GEV	Pearson 3	GEV

U tablici 5.3 je dan prikaz rezultata provedenih procjena vjerojatnosti pojave maksimalnih dnevnih oborina, a u tablici 5.4 maksimalnih mjesečnih oborina.

Tablica 5.4 Analiza vjerojatnosti pojave maksimalnih mjesečnih oborina

PP	Abrami	Lupoglav	Vodice
2	207	227	304
3,33	240	271	364
4	251	285	384
5	264	302	405
10	301	350	465
20	336	396	518
50	381	455	581
100	415	499	625
Mjerodavna			
raspodjela	GEV	Galton	GEV

U tablici 5.5 je dan pak prikaz registriranih značajki oborina s najbliže meteorološke postaje na lokalitetima analiziranih klizišta, i to tijekom razdoblja u kojima su aktivirana. Podaci su analizirani za klizišta za koja postoji točan podatak o danu/satu u kojem se dogodilo. Za veliki broj klizišta postoje elaborati u kojima nisu navedeni takvi podaci, pa je stoga nemoguće provesti slične analize.

Oborine koje su prethodile pojavi klizišta na analiziranom području Istre imale su različit karakter. Za klizište Krbavčići (1979.) pojava klizišta se može neposredno povezati s prethodnim oborinama – ukoliko se promatra samo maksimalna dnevna oborina koja je neposredno prethodila klizanju (50,0 mm), može se utvrditi da se radi o uobičajenoj intenzivnoj oborini čiji je karakter između jednogodišnjeg i dvogodišnjeg povratnog perioda. S obzirom da je prethodnog dana pala još intenzivnija oborina



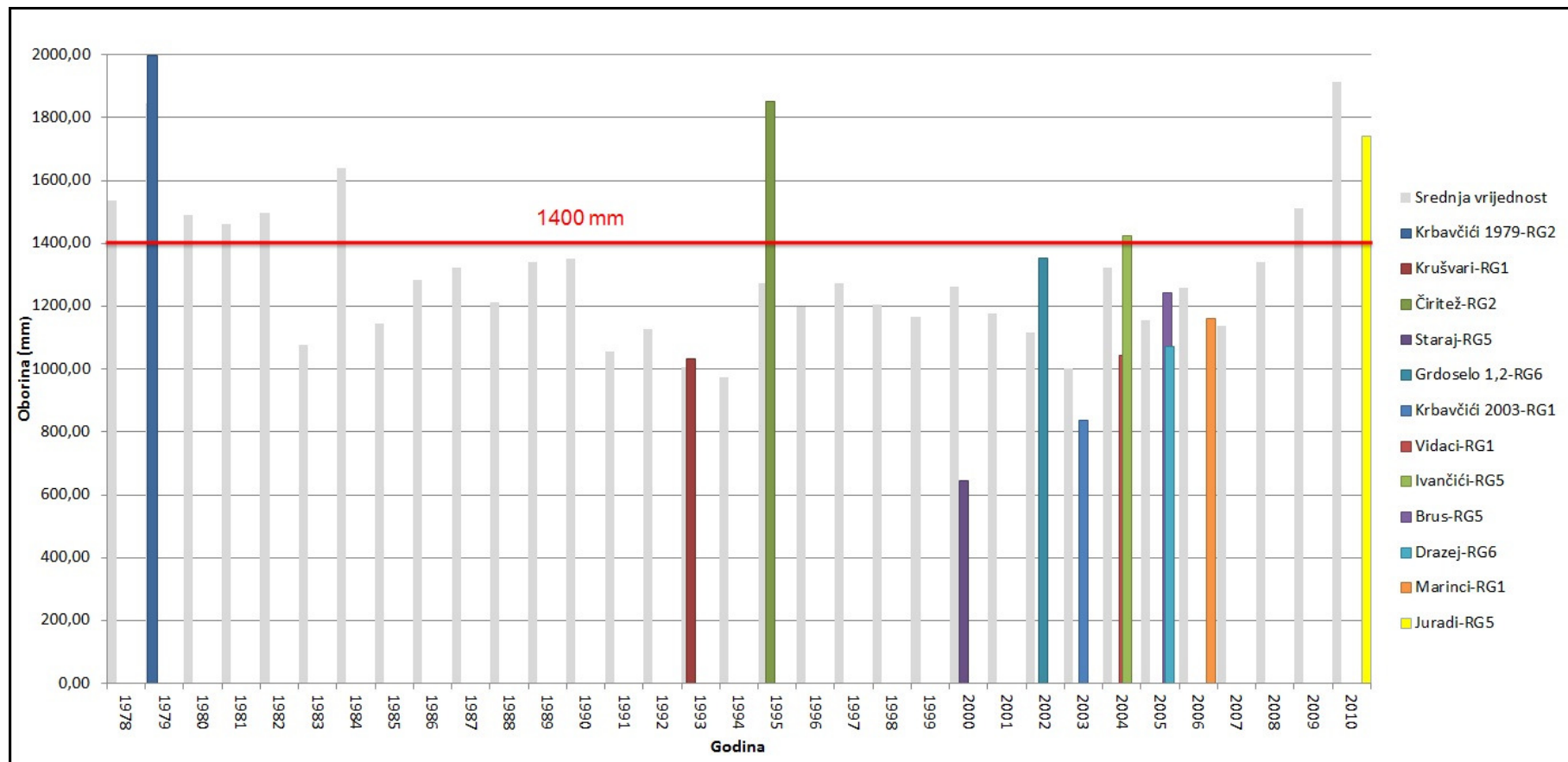
(55,2 mm), nesumnjivo je da se radi o rjeđoj pojavi, ali ne i iznimno rijetkoj jer je proračunata maksimalna jednodnevna oborina 3,33 godine povratnog perioda čak i veća od sume oborina tijekom ta dva dana koja su prethodila pojavi nestabilnosti praktični jednaka navedenoj sumi. Kumulativna mjesečna količina oborina odgovara pojavi između četverogodišnjeg i peterogodišnjeg povratnog perioda.

Tablica 5.5 Značajke registriranih oborina na analiziranim lokacijama klizišta

Klizište	Oborine prije klizanja (mm)					Broj kišnih dana		
	1-dnevna	2-dnevna	1 mjesec	2 mjeseca	3 mjeseca	1 mjesec	2 mjeseca	3 mjeseca
Krbavčići 1979	50,0	105,2	399,4	662,4	772,6	16	30	33
Krbavčići 2003	25,4	25,4	90,7	433,5	628,5	14	30	45
Brus	31	31	86,1	128,3	147,5	7	14	15
Marinci	37,6	49,0	105,9	354,4	447,2	14	24	33
Juradi	24,0	54,2*	226,6	314,0	652,1	19	29	43

\* Uzeta tri dana

Kod ponovne pojave aktiviranja klizišta Krbavčići početkom 2003. godine registrirane prethodne dnevne pa i mjesečne oborine (i početkom siječnja, ali i tijekom prosinca 2002. godine) bile su vrlo male i nije ih moguće pojednostavljeno povezati s ponovnim aktiviranjem klizišta, no direktno povezivanje utjecaja oborina na početak klizanja nemoguće je i zbog velikog antropogenog utjecaja na tok sitnozrnastog materijala 2003. godine. Aktiviranju klizišta Brus prethodile su značajnije količine oborina - dnevna 31 mm, a mjesečna 86,1 mm, čiji je karakter opet relativno učestali - između jednogodišnjeg i dvogodišnjeg povratnog perioda. Na klizištu Marinci došlo je do pojave klizanja u situaciji pojave relativno učestalih oborina –registrirana dnevna oborina od 37,6 mm i prethodna kumulativna mjesečna oborina od 105,9 mm imaju karakter daleko ispod dvogodišnjeg povratnog perioda, ali je na klizanje utjecao i antropogeni faktor. Na klizištu Juradi došlo je do aktiviranja klizišta s prethodnom pojavom dnevnog maksimuma (24 mm) koji predstavlja učestalu godišnju pojavu. No, tijekom mjeseca pojavi klizanja prethodilo je niz kišnih pojava s ukupno 226,6 mm ukupnih oborina, što ima karakter približno trogodišnjeg povratnog perioda.

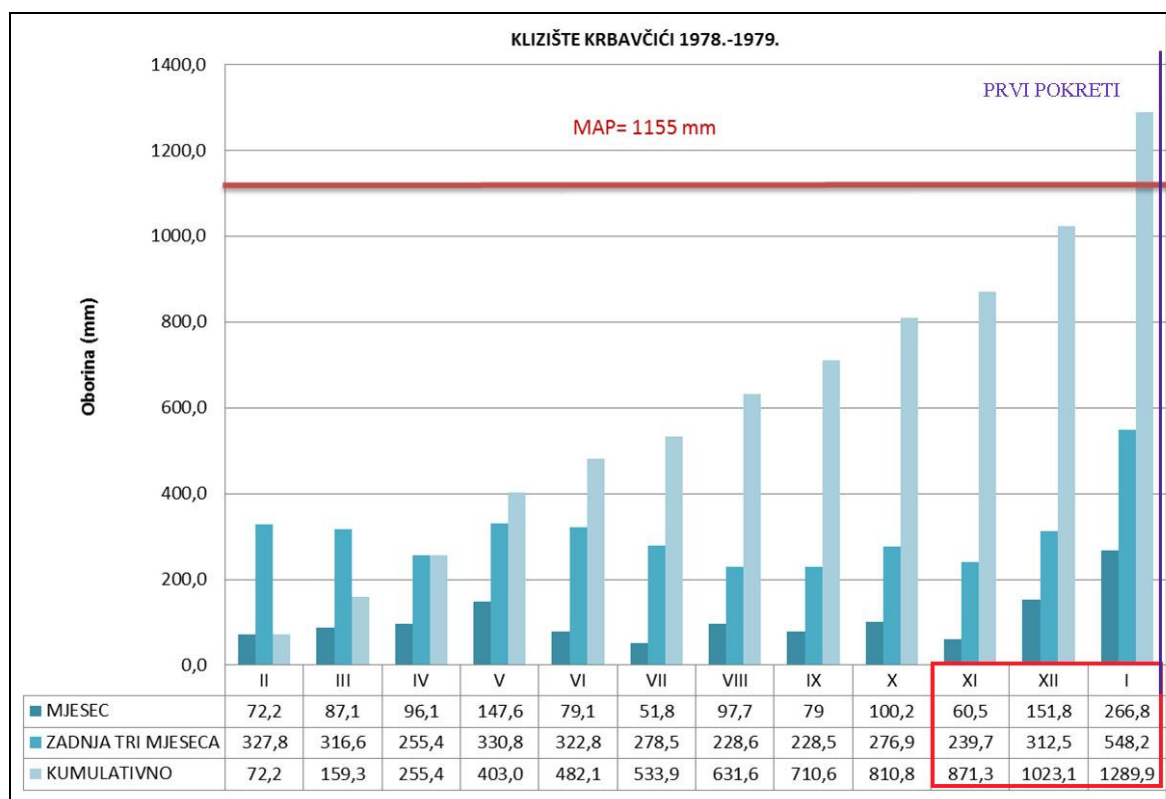


Slika 5.9 Ukupne godišnje oborine (mm) zabilježene na meteorološkim postajama povezanim s događajem klizanja i uspoređene s prosječnom količinom oborina na svim mjernim postajama u odgovarajućoj godini (crvena linija pokazuje prosječnu količinu oborina u flišnom području Istre od 1961.-2010. uzimajući u obzir šest mjernih postaja)

Analizirajući kumulativne oborine u razdoblju od 12 mjeseci koji su prethodili datumu klizanja, u smislu podizanja razine podzemne vode i efektivne težine tla u nesaturiranom području iznad njezine razine, razmatrane su kumulativne vrijednosti dobivene sumiranjem dnevnih količina oborina u razdobljima od jednog tjedna do šest mjeseci. Kumulativne mjesečne vrijednosti oborina uspoređene su sa srednjom vrijednosti oborina (slika 5.9) iz čega je vidljivo da se klizanje dogodilo u godinama kada su ukupne godišnje oborine bile blizu srednje vrijednosti, a u nekim slučajevima s iznimno visokim ukupnim godišnjim oborinama koje prelaze srednju vrijednost (Krbavčići 1979., Čiritež 1995., Juradi 2010.). Analize oborina povezane s događajima klizanja predstavljaju empirijske procjene koje se mogu koristiti kao važne informacije o postojanju povećanog rizika od reaktivacije starih klizišta, kako za lokalnu upravu, tako i za tvrtke koje se bave održavanjem lokalnih prometnica.

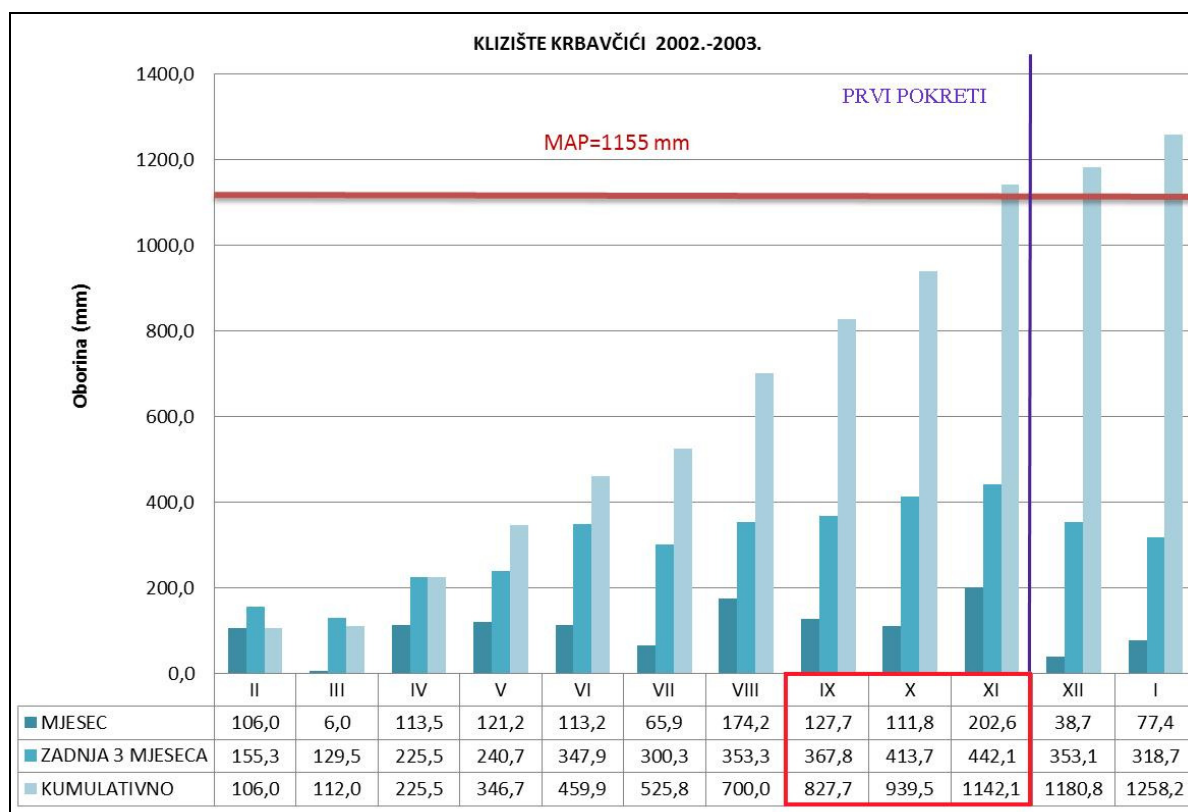
Iz provedenih analiza zaključeno je da količina oborina u zadnja tri mjeseca koja su prethodila klizanju, s relativno visokim mjesečnim količinama oborina, ima najveći utjecaj na podizanje razine infiltrirane vode. To razdoblje varira od 70 do 100 dana, ovisno o lokalnim meteorološkim, geološkim i hidrološkim uvjetima, vegetaciji i namjeni zemljišta, kao i kumulativnim vrijednostima oborina. Kao potvrda ovoj činjenici zabilježena su mnoga kraća razdoblja s većim kumulativnim oborinama nego što su one koje su prethodile istom razdoblju prije klizanja, iako se klizanje nije dogodilo. Također je zaključeno da ukupne kumulativne vrijednosti u 12 mjeseci koji su prethodili klizanju, kao i maksimalne mjesečne, tjedne i dnevne količine oborina nemaju značajan utjecaj na početak klizanja.

Analizom oborina i infiltracije oborinskih voda u tlo povezanih s događajem klizanja na lokaciji Krbavčići, utvrđeno je da je klizanje krajem siječnja 1979. godine nastalo kao posljedica dugotrajnog kišnog razdoblja tri mjeseca prije nastalih pokreta. Na slici 5.10 vidljivo je da je nakon smanjenja mjesečnih oborina započinje nagla akumulacija oborina u protekla tri mjeseca što rezultira naglim porastom u siječnju 1979. godine, najvećom akumuliranom vrijednosti oborina u toku posljednjih 12 mjeseci, ali i tromjesečnih akumuliranih vrijednosti u dugotrajnom razdoblju od 1961. godine, kad je prvi put registrirano klizanje. Iz kumulativnih godišnjih oborina vidljivo je da je tada prekoračena veličina prosječnih godišnjih oborina, što nije od presudnog značaja za nastalo klizanje.



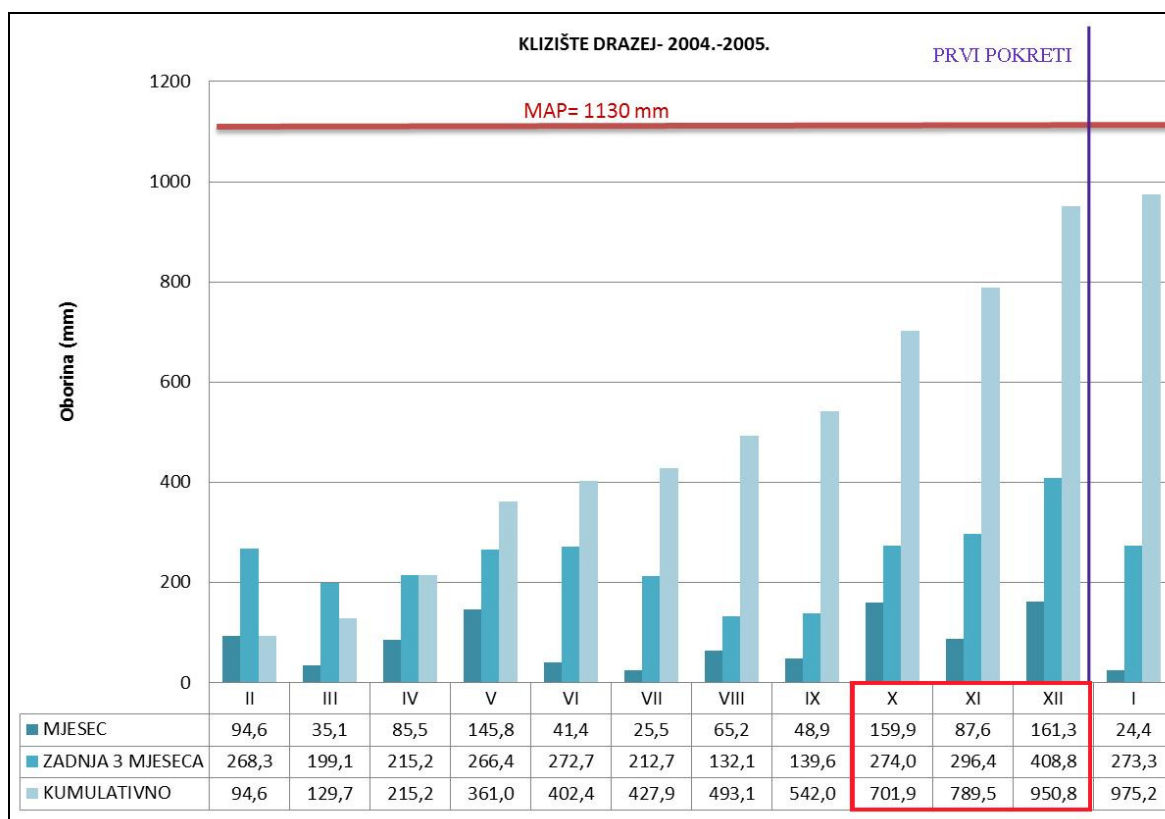
Slika 5.10 Dijagram oborina za klizište Krbavčići 1978.-1979. godine (podaci s mjerne postaje Abrami). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta) (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Analizom prethodnih akumuliranih oborina nije jednostavno objasniti nastanak toka sitnozrnastog materijala u prvom dijelu siječnja 2003. godine na istoj lokaciji iz razloga što su u pokretanju klizišta sudjelovali i antropogeni faktori (dovođenje veće količine vode na kosinu iz nasipa željezničke pruge iznad klizišta). Osim toga tok sitnozrnastog materijala na flišnu sjeverne Istre nije tipična pojava nestabilnosti. Registrirana pojava tečenja dogodila se u fosilnoj jaruzi duboko urezanoj u flišnu stijensku podlogu, koja je s vremenom zapunjena raspadnutim siltitima i odlomcima vapnenaca donesenim s hipsometrijski viših kosina i dodatno aktivirana utjecajem antropogenih faktora. Nastanak toka dogodio se u vrijeme smanjenja prosječnih mjesečnih oborina, ali ne i značajnog smanjenja akumuliranih tromjesečnih oborina, slika 5.11. U vrijeme smanjenog stupnja evaporacije, nije se značajno smanjila vlažnost tla u jaruzi. Posljedice infiltracije kratkotrajnih oborine relativno visokog intenziteta te površinski dotok s viših dijelova kosine uzrokovale su kritičnu saturaciju tla u jaruzi i pokretanje toka sitnozrnastog materijala.



Slika 5.11 Dijagram oborina za tok Krbavčići 2003. godine (podaci s mjerne postaje Abrami). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta) (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

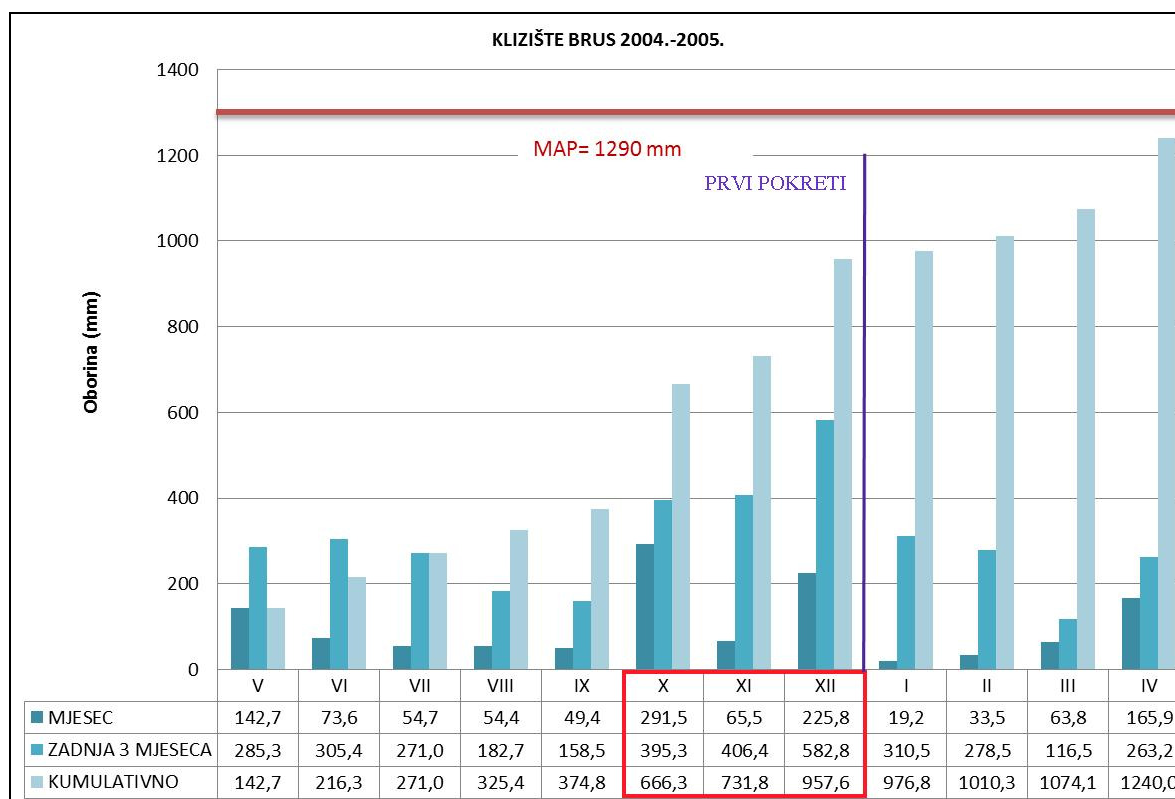
Analizom količine oborina i infiltracije oborinskih voda u tlo na lokaciji Drazej, utvrđeno je da je klizanje početkom siječnja 2005. godine nastalo kao posljedica dugotrajnog kišnog razdoblja (slika 5.12). Tijekom listopada 2004. godine započinje nagla akumulacija oborina što rezultira naglim porastom u prosincu 2004. godine i uzrokuje pokretanjem klizanja u prvim danima siječnja 2005. godine, najvećom akumuliranom vrijednosti oborina u toku posljednjih 12 mjeseci. Iz kumulativnih godišnjih oborina vidljivo je da je tada nije prekoračena veličina prosječnih godišnjih oborina, što potvrđuje da godišnja količina oborina nije od presudnog značaja za nastalo klizanje. Nažalost, nedostatak podataka o prethodnim klizanjima na istoj lokaciji, kao i preveliki utjecaj antropogenih faktora, ne omogućuju detaljniju analizu korelacija oborina i nastalih nestabilnosti.



Slika 5.12 Dijagram oborina za klizište Drazej 2005. godine (podaci s mjerne postaje Pazin). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta)

Analizom oborina i infiltracije oborinskih voda u tlo na području klizišta Brus utvrđeno je da je početni slom na kliznoj plohi nastao krajem prosinca 2004. godine, kada su se pojavile pukotine u području glavne vlačne pukotine, kao posljedica dugotrajnog kišnog razdoblja tri mjeseca prije nastalih pokreta, slika 5.13. Na dijagramu je vidljivo da s mjesecom listopadom 2004. godine započinje nagla akumulacija oborina što rezultira vrhuncem krajem prosinca 2004. godine, kada se javljaju prve vlačne pukotine. Nastanak pukotina, koje omogućavaju dreniranje, i slijedeće sušno razdoblje sve do ožujka 2005. godine smanjuje porne pritiske i povećava čvrstoću na plohi sloma te se pomaci ne nastavljaju. Nastale pukotine utječu na mehanizam infiltracije, jer površinske vode direktno ulaze u otvorene pukotinske sustave i relativno brzo uzrokuju povećanje pornog tlaka. Posljedica toga je da velike dnevne oborine koje se javljaju početkom travnja 2005. godine slijedeći ovaj mehanizam ispunjavaju pukotinski sustav i izazivaju konačni slom kosine.



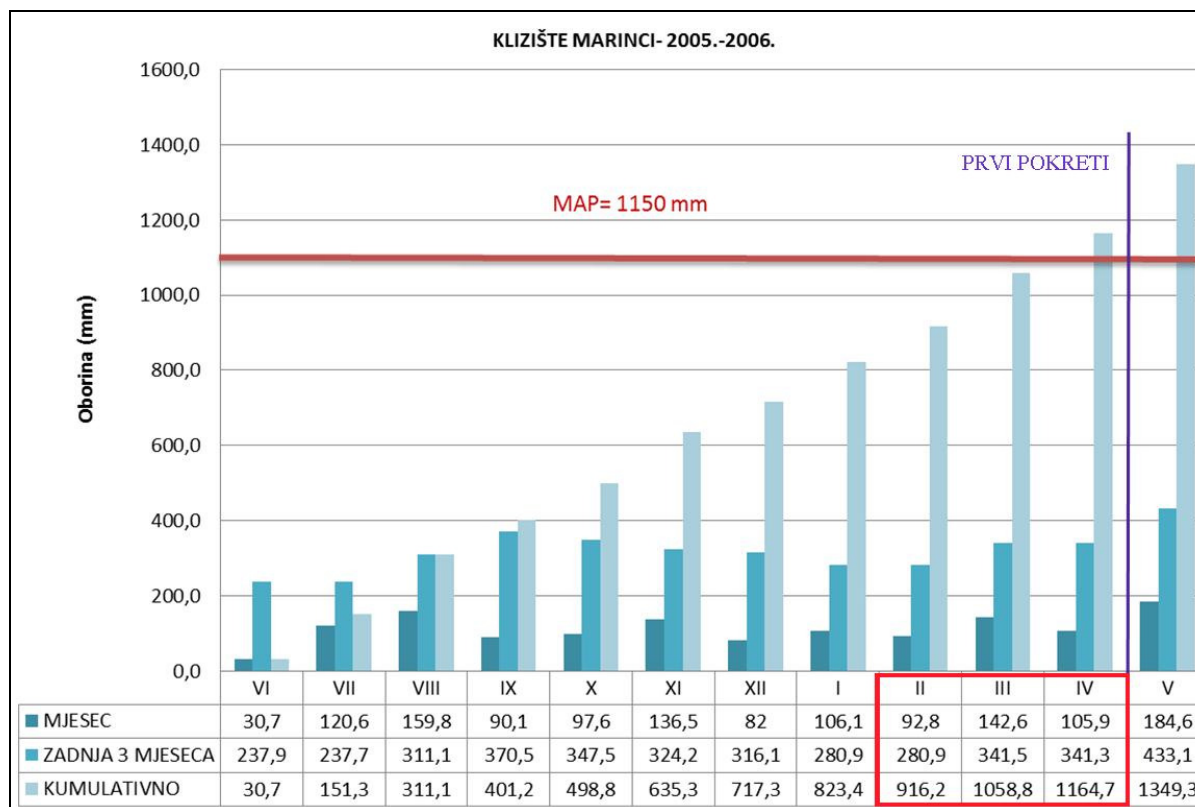


Slika 5.13 Dijagram oborina za klizište Brus 2005. godine (podaci s mjerne postaje Lupoglav). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta) (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Analizom oborina i infiltracije oborinskih voda u tlo povezanih s klizanjem na lokaciji Marinci (slika 5.14) može se zaključiti da postoji dugotrajna akumulacija oborinskih voda od siječnja 2004. godine što rezultira kontinuiranim porastom akumulacije sve do travnja 2006. godine te pokretanjem klizišta.

Analizom oborina povezanih s klizištem Juradi, utvrđeno je da je klizanje uzrokovano podizanjem razine podzemnih voda nakon dugotrajnog kišnog razdoblja tri mjeseca prije nastalih pokreta (slika 5.15). Osnovni razlog podizanja razine podzemnih voda je zaravnanje usred naselja Juradi na kojem se uslijed površinskog dotjecanja u razdobljima velikih oborina akumulira velika količina voda, a zbog male upojnosti ne uspijeva se infiltrirati u tlo. Na površini tla stvaraju se zamočvarene zone s otvorenim vodnim licem, i kao posljedicom visokom razinom podzemne vode s potpuno saturiranim slojem pokrivača. Na slici 5.15 vidljivo je da u mjesecu rujnu 2010. godine započinje akumulacija oborina što rezultira najvećom kumulativnom vrijednošću oborina u toku posljednjih 12 mjeseci prije nastalog klizanja. Iz

kumulativnih godišnjih oborina vidljivo je da je već u rujnu mjesecu prekoračena veličina prosječnih godišnjih oborina, što je očito imalo posljedice na pokretanje klizanja. Klizanje je nastupilo uslijed pada čvrstoće tla na kontaktu pokrivača i podloge uzrokovanog povećanjem pornih pritisaka te nepovoljnih hidrodinamičkih sila uslijed procjeđivanja vode kroz tlo. Daljnji pomaci su smanjeni efikasnom površinskom odvodnjom i posljedičnim smanjenjem razine vode u tlu.

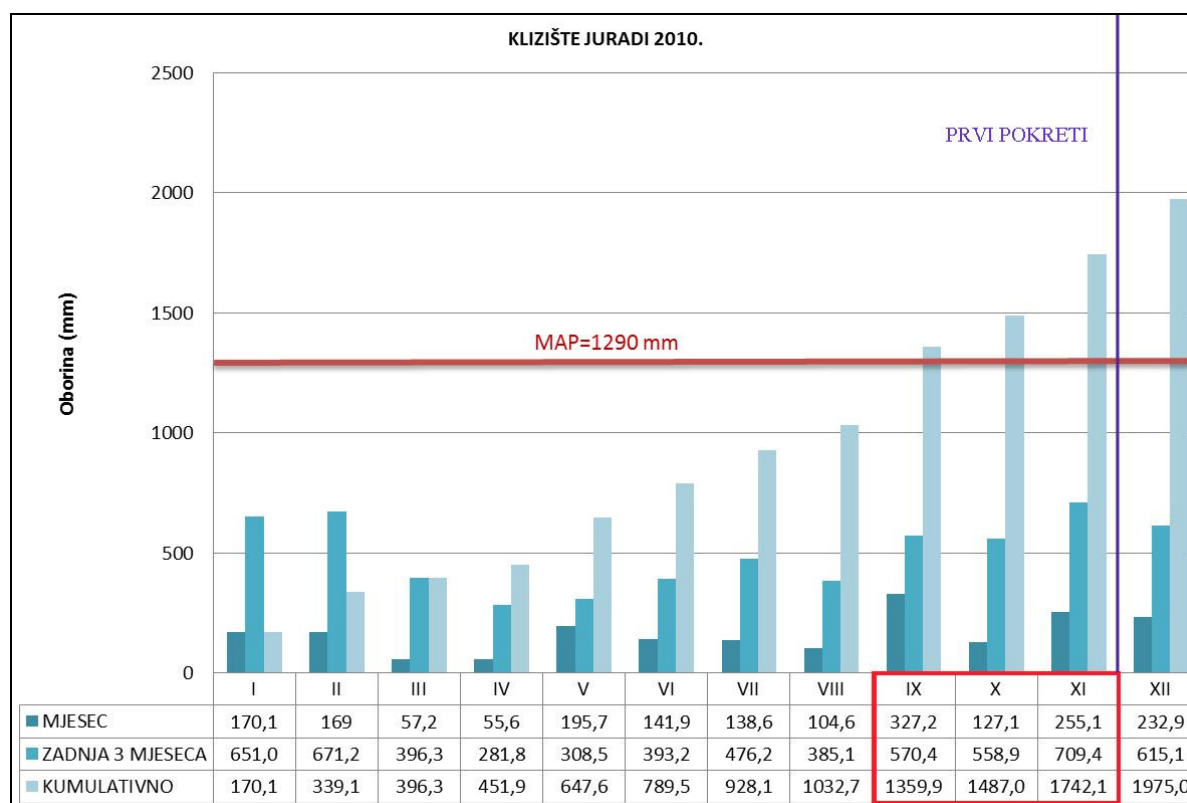


Slika 5.14 Dijagram oborina za klizište Marinci 2006. godine (podaci s mjerne postaje Abrami). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta)

Analizirana klizišta aktivirana su najčešće tijekom zime, kada je broj kišnih dana tijekom tromjesečnog razdoblja bio velik, a evapotranspiracijske vrijednosti male. Ne postoje mjerenja količine infiltriranih oborina koja bi potvrdila rezultate analiza i zaključak da su infiltracija u nesaturirani dio pokrivača, porast razine podzemne vode, povećanje pornih pritisaka te smanjenje čvrstoće, spori procesi, odnosno da su duga i kontinuirana kišna razdoblja presudna za početak klizanja, dok kraći kišni intervali imaju značajniji utjecaj na eroziju, a manje na pojavu klizanja. Preporuka je za daljnja

istraživanja izvršiti mjerenja infiltracije, kao potvrdu provedenim analizama i povezivanje oborina s podizanjem podzemne vode.

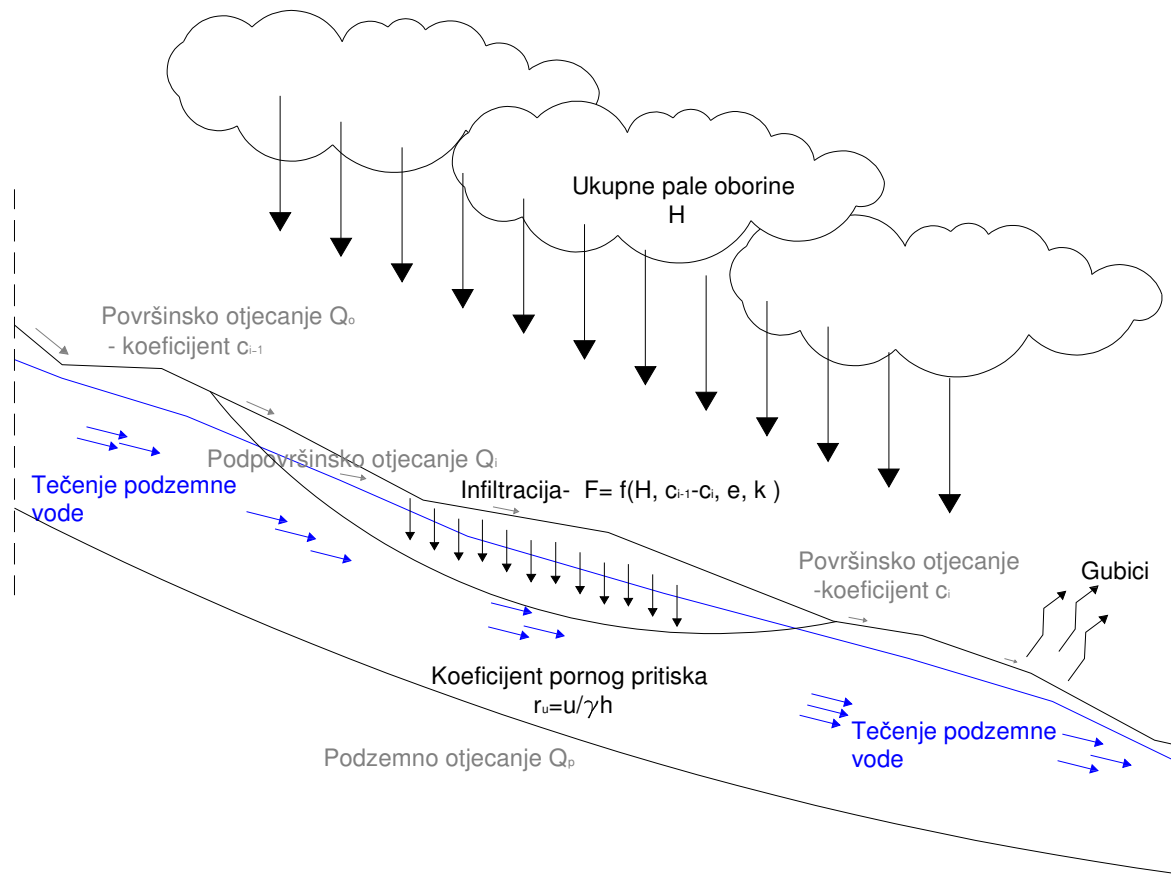
Zbog nedostatka podataka o infiltraciji i promjenama u razini podzemne vode (veličini pornog pritiska,  $r_u$ ) teško je definirati vrijednost koja je mogući okidač (engl. *threshold*) za početak klizanja na flišnim kosinama Istre. Iz analiza kumulativnih količina oborina unutar 90 dana može se vidjeti da su klizišta nastupila kada su vrijednosti kumulativnih količina oborina bile između 250 i 600mm (slika 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15). Taj podatak se može usporediti s iskustvima na flišnim kosinama u poljskim Karpatima (*Gil i Dlugosz 2006*) gdje je ta vrijednost (engl. *threshold*) definirana između 250 do 300 mm unutar 25 do 45 dana.



Slika 5.15 Dijagram oborina za klizište Juradi 2010. godine (podaci s mjerne postaje Lupoglav). prikazana je: mjesečna količina oborina; količina oborina u tri mjeseca i u 12 mjeseci prije klizanja (crvena linija pokazuje srednju godišnju količinu oborina (MAP), a plava vrijeme pokretanja klizišta) (modificirano prema: Dugonjić Jovančević i Arbanas 2012)

Slika 5.16 prikazuje model infiltracije oborina u tlo na području neke pretpostavljene klizne plohe i objašnjava komponente koje utječu na veličinu infiltrirane vode u kosinu, a time daje objašnjenje važnosti dugotrajnih kišnih

razdoblja na klizanja u flišu. Količina infiltrirane vode na kosini nije konstantna već se mijenja uslijed različitih parametara. Kapacitet infiltracije predstavlja maksimalan mogući iznos infiltracije u određenom trenutku koji ovisi o fizičkim i kemijskim svojstvima tla, a infiltracija predstavlja dio ukupne oborine. Preostali dio ukupne oborine su efektivne oborine (oborine pale na površinu vode i površinsko otjecanje) te gubici (evaporacija, zadržavanje i dr.).



Slika 5.16 Model infiltracije oborina u tlo s pretpostavljenom kliznom plohom

Ukoliko je intenzitet oborine veći od kapaciteta infiltracije, dolazi do tečenja po terenu. Formiranje otjecanja predstavlja složen hidrološki proces koji se promatra kroz dvije različite komponente: direktno otjecanje (uslijed oborine direktno pale na površinu vodotoka, na površinu terena kao i uslijed brzog potpovršinskog otjecanja) te bazno otjecanje (obuhvaća sporo potpovršinsko otjecanje i otjecanje podzemnih voda). Nakon prestanka površinskog otjecanja, dolazi do podzemnog otjecanja koje se ovisno o karakteristikama slivnog područja može održati kroz dulje ili kraće vremensko razdoblje.

Jedan od izravnih faktora utjecaja na količinu infiltracije je količina oborina ( $H$ ), njihov intenzitet i trajanje. Dio površinske vode na kosini se također infiltrira u tlo, a volumen vode koja ima površinski dotok na kosinu (koeficijent otjecanja  $c_{i-1}$ ) smanjuje se na izlazu iz tijela (koeficijent otjecanja  $c_i$ ) za volumen upijene vode. Porozitet, stupanj saturacije prije oborina i koeficijent propusnosti također imaju direktan utjecaj na infiltraciju. Budući da je to pretežito sitnozrnasti materijal, manja količina oborina se infiltrira u tlo. Pretpostavka je da je količina infiltrirane vode najviše 20% pa je infiltracija spora, a tek pri dugotrajnim oborinama dolazi do većeg zasićenja pora. Pri kratkotrajnim oborinama većeg intenziteta se u tlo ne stigne infiltrirati dovoljna količina vode koja bi uzrokovala podizanje razine podzemne vode i pokretanje klizišta, što objašnjava provedene analize i dobivene rezultate.

## 6 DETERMINISTIČKI MODEL PROCJENE HAZARDA KLIZANJA

Cilj analize stabilnosti kosina je utvrditi stupanj stabilnosti kosine, a stupanj stabilnosti izražen izračunatim faktorom sigurnosti ( $F_s$ ) koji se definira kao odnos sila koje se odupiru klizanju, odnosno posmične čvrstoće materijala na plohi sloma i aktivnih sila koje djeluju na pokretanje klizišta, odnosno, posmičnog naprezanja izazvanog djelovanjem aktivnih sila. Slom u kosini nastupa kad posmična naprezanja prekorače posmičnu čvrstoću na plohi sloma, tj. kad faktor sigurnosti padne ispod vrijednosti 1,0. Za potrebe analize stabilnosti kosine nužna je izrada geotehničkog modela te primjena jedne od metoda analize stabilnosti kosina na usvojeni geotehnički model. Točnost i pouzdanost rezultata analize određena je razinom poznavanja lokacije, točnošću podataka o rasporedu naslaga u geotehničkom profilu, parametrima čvrstoće tla, poznavanju stanja i kretanja podzemne vode te poznavanju povijesti stanja naprezanja.

Determinističke metode procjene hazarda klizanja primjenjuju klasičan pristup analizama stabilnosti kosina, korištenjem metode analize granične ravnoteže ili numeričkih metoda analiza koje se najčešće primjenjuju na model beskonačne kosine. Determinističke metode za analize zahtijevaju standardne ulazne podatke o geometriji kosine, debljini i položaju slojeva tla, položaju klizne plohe, parametrima čvrstoće tla, porednim pritiscima, toku podzemne vode itd. Rezultat determinističkih analiza hazarda klizanja je karta faktora sigurnosti prema kojoj se onda određuju razredi podložnosti ili hazarda klizanja na području provedenih analiza. Jednodimenzionalne determinističke analize za model beskonačne kosine koriste se za proračun prosječnog faktora sigurnosti kosina u GIS okruženju (*van Westen i Terlien 1996, Zhou i dr. 2003*), a u analize može biti ugrađen i hidrološki model koji predviđa stupanj saturacije ovisan o dinamici oborina (*Montgomery i Dietrich 1994, Montgomery i dr. 1998*). Za beskonačni model kosine moguće je izračunati faktor sigurnosti za svaku pojedinu točku područja (piksel). Pogodan je za rad s rasterskim podlogama, ali primjena mu je ograničena na plitka translacijska klizanja. Dvodimenzionalne (*van Asch i dr. 1993*) i trodimenzionalne determinističke analize za sad nije moguće provesti unutar GIS okruženja, bez eksportiranja podataka u neki

vanjski program za proračun 2D i 3D stabilnosti kosine i vraćanja u GIS okruženje u kojem se prikazuju rezultati i provode daljnje analize za procjenu hazarda klizanja. To je primjenjivo na vrlo mala područja istraživanja za koja postoji veliki broj dostupnih informacija, a konverzija podataka iz jednog u drugi programski paket predstavlja značajnu poteškoću. Glavni nedostatak ovih metoda je pretjerano pojednostavljivanje geološkog i geotehničkog modela te poteškoće u određivanju razine podzemne vode i povezanosti s oborinama ili topljenjem snijega kao jednim od najčešćih uzroka i inicijatora klizanja. Nedostatak svih determinističkih metoda je ograničenost primjene na područja s relativno homogenim geomorfološkim i geološkim uvjetima za jednostavne tipove klizanja, a njihova primjena na širem području zahtijeva ekstremno velik obim proračuna. Prema *Varnesu (1984)* je to ipak jedina metoda koja daje realnu kartu hazarda klizanja.

## 6.1 Deterministički model za proračun indeksa stabilnosti, SINMAP

Modul SINMAP (Stability INdex MAPing), kao softverski dodatak unutar ArcGIS-a omogućuje proračun stabilnosti kosina i određivanje potencijalno nestabilnih područja na temelju podataka o digitalnom modelu terena i lokaciji postojećih klizišta, uzimajući u obzir brojne faktore (varijable): nagib kosine, specifičnu površinu sliva, parametre čvrstoće materijala, hidrološke parametre. SINMAP kombinira koncept hidrološke dinamičke ravnoteže i analize stabilnosti beskonačne kosine (engl. *infinite slope analysis*) s digitalnim modelom terena da bi se izračunali faktori sigurnosti u različitim dijelovima područja za koje se provodi analiza (*Hammond i dr. 1992, Montgomery i Dietrich 1994, Wu i Sidle 1995, Pack i dr. 1998*). SINMAP se koristi za plitka translacijska klizanja kontrolirana oscilacijama visoke razine podzemne vode (*Pack i dr. 2001*). Rezultat analize je indeks stabilnosti (engl. *Stability Index*) koji se kreće od 0=nestabilno do 10=stabilno (ako je  $< 1$  područje je nestabilno). Glavni ulazni parametri za proračun su digitalni model terena, baza podataka o postojećim klizištima (inventar klizišta) i podaci o geotehničkim značajkama tla. Glavna ograničenja SINMAP-a koja utječu na rezultate analize mogu biti eventualno loša rezolucija DEM-a, nedovoljno kvalitetni ulazni podaci o značajkama tla i njihova generalizacija na području analize, te ograničenja veličine DEM-a. Korištenje modula zahtijeva razumijevanje ulaznih parametara, geomorfoloških procesa koji se



pokušavaju prikazati modelom, te inženjersku procjenu u interpretaciji dobivenih rezultata.

Metoda beskonačne kosine pretpostavlja da je klizna ploha približno paralelna s površinom terena i beskonačna u svom pružanju, te da je klizanje translacijsko i da se događa po jednom sloju (na kontaktu stijene i tla ili po oslabljenom sloju u profilu) i jedna je od najčešće korištenih metoda (*Montgomery i Dietrich 1994, Dietrich i dr. 1995, Terlien i dr. 1995, Wu i Sidle 1995, Pack i dr. 1998, Iverson 2000*). Ovom metodom računa se faktor sigurnosti za svaku pojedinu jedinicu modela, odnosno točkasti podatak (piksel), a proračunom se ne uzimaju u obzir utjecaji sila iz okolnog područja. Proračun daje pouzdane rezultate za površinska plitka klizanja s odnosima dubina/duljina  $<0,1$ . Ukoliko je taj odnos  $>0,1$  proračun daje podcijenjene vrijednosti faktora sigurnosti (*van Asch i dr. 1992*). Faktor sigurnosti prema metodi beskonačne kosine dan je izrazom 6.1 (*Graham 1984*).

$$F_s = \frac{c' + (\gamma - m\gamma_w)z \cos^2 \beta \tan \varphi'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta} \quad (6.1)$$

gdje je:

$F_s$ - faktor sigurnosti,

$c'$ - efektivna kohezija materijala tla ( $\text{kN/m}^2$ ),

$\varphi'$ - efektivni kut unutarnjeg trenja materijala tla ( $^\circ$ ),

$\gamma$ - zapreminska težina tla ( $\text{kN/m}^3$ ),

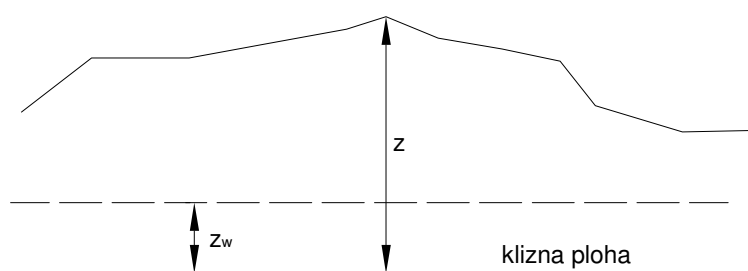
$\gamma_w$ - zapreminska težina vode ( $9,81 \text{ kN/m}^3$ ),

$m$ -  $z_w/z$ ,

$z$ - dubina klizne plohe ispod površine terena (m),

$z_w$ - visina podzemne vode iznad klizne plohe (m),

$\beta$ - nagib kosine ( $^\circ$ ).

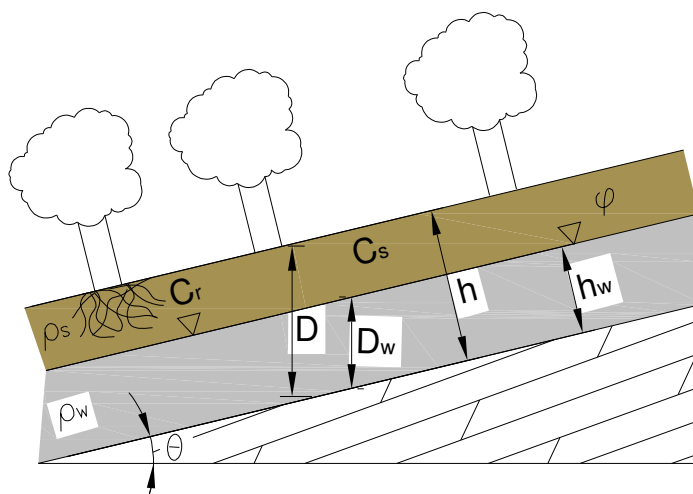


Slika 6.1 Shematski prikaz dubine klizne plohe i nivoa podzemne vode korištenih u jednadžbi

Visina podzemne vode (slika 6.1) dobiva se iz hidrološkog modela u kojem se koriste podaci o oborinama i površinskom otjecanju niz kosinu. Za proračun pornih pritisaka se koristi rezultatna razina podzemne vode. Porni pritisci su povezani s visinom podzemne vode iznad klizne plohe prema izrazu 6.2 (*van Asch i Alkema 2007*).

$$u = \gamma_w z_w \cos^2 \beta \quad (6.2)$$

Prva pretpostavka metodologije beskonačne kosine, na kojoj se zasniva modul SINMAP, je da je klizanje paralelno s podlogom, što je razumno jer su vodonepropusna podloga (npr. stijenska podloga) i površina terena često paralelne na kosinama s koluvijalnim pokrivačem, a velike razlike u vodopropusnosti između pokrivača i podloge uzrokuje tok podzemne vode približno paralelan površini terena (*Hammond i dr. 1992*). Druga pretpostavka, da je ravnina klizanja beskonačno dugačka, podrazumijeva činjenicu da je otpor klizanju na rubovima mali i može se zanemariti (*Hammond i dr. 1992*). Pretpostavlja se također da je sloj u kojem nastaje klizanje približno jednake debljine duž kosine.



Slika 6.2 Shematski prikaz veličina u jednadžbi stabilnosti beskonačne kosine (modificirano prema: Hammond i dr. 1992, Pack i dr. 1998)

Konačan rezultat proračuna u SINMAP-u je karta koja definira područja moguće nestabilnosti kosine, prikazana u GIS dokumentu. Za svaku jedinicu DEM-a SINMAP proračunava faktor sigurnosti (izraz 6.3) i bezdimenzionalni indeks stabilnosti prema izrazima 6.8 i 6.9.

$$F_s = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \tan \varphi}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (6.3)$$

gdje je:

$C_r$ - prividna kohezija izazvana postojanjem korijenja biljaka ( $N/m^2$ ),

$C_s$  – kohezija ( $N/m^2$ ),

$\theta$ - kut nagiba kosine ( $^\circ$ ),

$\rho_s$ - gustoća vlažnog tla ( $kg/m^3$ ),

$\rho_w$ - specifična gustoća vode ( $kg/m$ ),

$g$ - gravitacija ( $9,81 m/s^2$ ),

$D$ - vertikalna debljina sloja tla (m),

$D_w$ - vertikalna visina nivoa podzemne vode (m),

$\varphi$ - kut unutarnjeg trenja materijala ( $^\circ$ ).

Kut nagiba kosine  $\theta$  jednak je  $a \tan$  u odnosu na nagib kosine  $S$  ( $\theta = a \tan S$ ).

Ako je  $h = D \cos \theta$  (iz geometrije kosine) onda izraz za faktor sigurnosti glasi:

$$F_s = \frac{c + \cos \theta [1 - wr] \tan \varphi}{\sin \theta} \quad (6.4)$$

gdje je:

$c$ - bezdimenzionalni faktor kohezije – preko kojeg se u model unose kohezija tla i kohezija korijenja,

$r$ - odnos gustoće vode i tla ( $\rho_w/\rho_s$ ).

Indeks saturiranosti određuje se prema izrazu 6.5 za svaku jedinicu DEM-a:

$$w = \frac{D_w}{D} = \frac{h_w}{h} = \text{Min}\left(\frac{Ra}{T \sin \theta}, 1\right) \quad (6.5)$$

Bezdimenzionalni faktor kohezije, u kombinaciji s gustoćom tla i debljinom sloja, računa se prema izrazu 6.6:

$$C = (C_r + C_s) / (h \rho_s g) \quad (6.6)$$

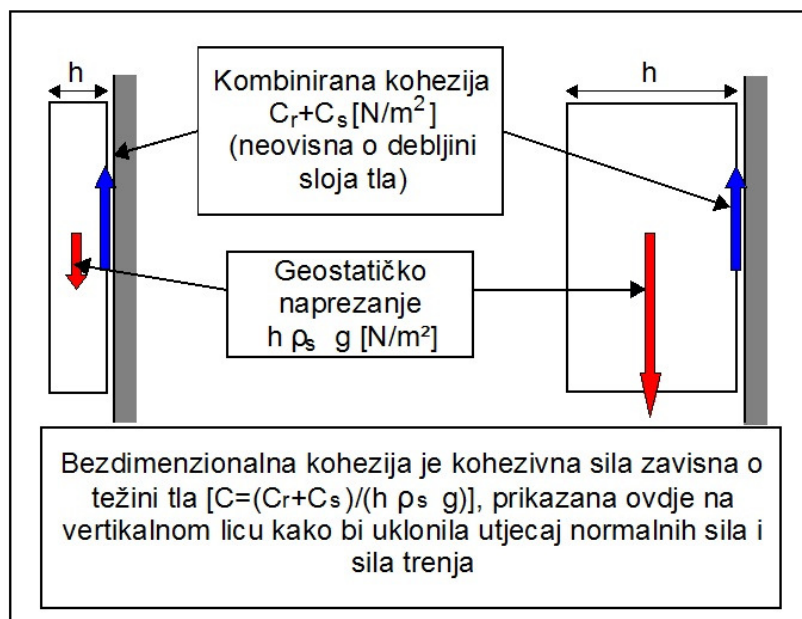
gdje je:

$C_r$ - prividna kohezija izazvana postojanjem korijenja biljaka ( $N/m^2$ ),

$C_s$  – kohezija ( $N/m^2$ ),

$h$ - debljina sloja tla (m),  
 $\rho_s$ - gustoća vlažnog tla ( $\text{kg/m}^3$ ),  
 $g$ - ubrzanje sile teže ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Na slici 6.3 prikazan je koncept bezdimenzionalnog faktora kohezije kao odnosa čvrstoće uslijed kohezije i zapreminske težine tla, odnosno relativnog doprinosa sile kohezije ukupnoj stabilnosti kosine.



Slika 6.3 Koncept bezdimenzionalnog faktora kohezije (SINMAP priručnik za korištenje, Pack i dr. 2005)

Kut unutarnjeg trenja materijala tla/stijene ( $\varphi$ ) odnosno koeficijent trenja ( $\tan \varphi$ ) koji ovisi o veličini, obliku i površinskoj hrapavosti čestica, gustoći tla, sadržaju vlage u tlu, također predstavlja komponentu otpora tla i utječe na stabilnost kosine. Utjecaj trenja smanjuje se s porastom razine podzemne vode zbog porasta porednih pritisaka i smanjenja normalnog naprezanja uslijed težine tla. Osjetljivost na ovaj efekt u izrazu 6.4 je zastupljena odnosom  $r = \rho_w / \rho_s$ .

Da bi se odredio indeks stabilnosti u izraz za faktor sigurnosti uveden je indeks saturiranosti preko izraza:

$$F_s = \frac{C + \cos \theta \left[ 1 - \min \left( \frac{R}{T} \frac{a}{\sin \theta}, 1 \right) r \right] \tan \varphi}{\sin \theta} \quad (6.7)$$

gdje je:

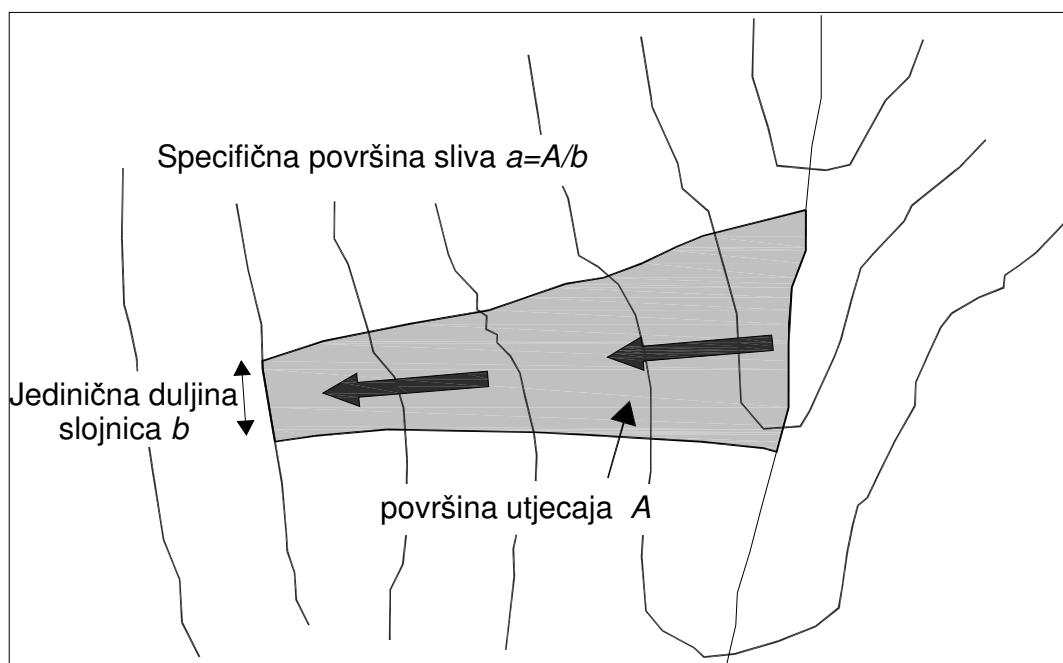
- a- topografski parametar- specifična površina sliva uz kosinu za jediničnu dužinu slojnice ( $m^2/m'$ )(slika 6.4) (*Beven i Kirkby 1979*),
- c- bezdimenzionalni faktor kohezije – preko kojeg se u model unose kohezija tla i kohezija korijenja,
- R/T- odnos efektivne prihrane sliva [ $m/hr$ ] i transmisivnosti tla ( $m^2/hr$ ),
- r- odnos gustoće vode i tla.

Prema *Bevenu i Kirkbyu (1979)* uvođenje parametra specifične površine sliva *a* (slika 6.4.) je značajan doprinos u razvoju hidrologije, usko povezan s novijim hidrološkim modelima u kojima je uključen proces otjecanja uslijed saturacije. Ovaj doprinos uključuje činjenicu da se veća površinska saturiranost događa u područjima konvergencije područja modela. Model koji se bazira na topografiji terena i uključuje indeks saturacije, koristi pretpostavke da plitki bočni podpovršinski tok prati topografske gradijente, da je bočni gubitak  $q$  ( $q = Ra$ ) u svakoj točki u dinamičkoj ravnoteži s prihranjivanjem  $R$  ( $m^2/hr$ ), te da je mogućnost bočnog dotoka u svakoj točki jednak  $T \sin \theta$  (gdje je  $T$  transmisivnost tla). Usvojeno je da se vodopropusnost ne smanjuje s dubinom, već je jednolika unutar sloja koji pokriva relativno nepropusnu stijenu u podlozi.

Površina utjecaja ( $A$ ) se računa za svaku jedinicu, kao površina jedinice uvećana za površine susjednih jedinica uzvodno koje nekim svojim dijelom dreniraju prema istoj. Specifična površina sliva *a*, dobiva se kao površina utjecaja za jediničnu dužinu slojnice (broj jedinica pomnožen s dužinom jedinice).

Podaci o lokacijama klizišta (inventar klizišta) koji se koriste za verifikaciju modela unose se kao točkasti podaci, odnosno preko jedinica modela. Na taj način se područja na kojima su se nestabilnosti pojavile u prošlosti mogu usporediti s područjima u kojima se proračunom predviđa pojava nestabilnosti. Različiti parametri tla, kao što su kohezija, kut unutarnjeg trenja, gustoća tla, vodopropusnost i drugi pojedinačno se unose u model i povezuju sa svakom jedinicom tla. U modulu SINMAP je debljina sloja određena kao okomica na smjer pružanja kosine ( $h$ ) (slika 6.2). Odnos  $R/T$  se može interpretirati kao dužina kosine koja je potrebna za saturaciju cijele visine (*Pack i dr. 1998*). Modul proračunava nagib, specifičnu površinu i razinu podzemne vode za svaku jedinicu DEM-a pretpostavljajući ostale

parametre konstantnima ili s konstantnom distribucijom vjerojatnosti na širem području.



Slika 6.4 Definicija specifične površine sliva  $a$  (SINMAP priručnik za korištenje, Pack i dr.2005)

Najmanji  $C$  i  $\tan\phi$  (koji predstavljaju prostornu vjerojatnost uslijed prostornog variranja parametara  $C$  i  $\phi$ ), uz najveći odnos  $R/T$  definiraju najnepovoljniji mogući scenarij parametara za neku jedinicu DEM-a. Područja s najnepovoljnijim parametrima za koje je indeks stabilnosti  $F_s > 1$  su bezuvjetno stabilna. Na područjima gdje je  $F_{s_{min}} < 1$  postoji mogućnost sloma (ovdje vjerojatnost ovisi o vremenskom elementu  $R$  koji karakterizira variranje saturiranosti s vremenom) i indeks stabilnosti je definiran kao

$$SI = \text{prob}(F_s > 1) \quad (6.8)$$

U slučaju da je  $F_{s_{max}} < 1$  onda je indeks stabilnosti definiran kao:

$$SI = \text{prob}(F_s > 1) = 0 \quad (6.9)$$

Tablica 6.1 prikazuje razrede stabilnosti i odgovarajuće stanje kosine, raspone parametara i mogući utjecaj drugih faktora na pojedini razred stabilnosti.

Rezultati procjene hazarda provedene u SINMAP-u za područje istraživanja nisu prikazane i analizirane. Zbog prethodno navedenih ograničenja determinističkog

modela u SINMAP-u i korištenja jednodimenzionalnog modela beskonačne kosine, analize su provedene korištenjem programskog paketa LS-Rapid (proizvođač: Međunarodni konzorcij za klizišta- engl. *ICL, International Consortium on Landslides*, teorijska pozadina programskog paketa: *Sassa i dr. 2010*) i složenijeg determinističkog modela i trodimenzionalne analize stabilnosti kosine.

Tablica 6.1 Definicija razreda stabilnosti (SINMAP priručnik za korištenje, Pack i dr.2005)

Uvjet	Razred stabilnosti	Predviđeno stanje kosine	Raspon parametara	Mogući utjecaj faktora koji su isključeni u modelu
$SI > 1,5$	1	Stabilna zona	Ne može modelirati nestabilnost	Značajni destabilizirajući faktori su potrebni za nestabilnost
$1,5 > SI > 1,25$	2	Umjerenom stabilna zona	Ne može modelirati nestabilnost	Umjereni destabilizirajući faktori su potrebni za nestabilnost
$1,25 > SI > 1,0$	3	Kvazi-stabilna zona	Ne može modelirati nestabilnost	Manji destabilizirajući faktori mogu dovesti do nestabilnost
$1,0 > SI > 0,5$	4	Zona s donjom granicom pokretanja nestabilnosti	Pesimistični dio odgovara modelu nestabilnosti	Destabilizirajući faktori nisu potrebni za nestabilnost
$0,5 > SI > 0,0$	5	Zona s gornjom granicom pokretanja nestabilnosti	Optimistični dio odgovara stabilnosti	Stabilizirajući faktori bi mogli biti odgovorni za stabilnost
$0,0 > SI$	6	Nestabilno područje	Ne može modelirati stabilnost	Stabilizirajući faktori su potrebni za stabilnost

## 6.2 Deterministički 3D model za simulaciju početka klizanja uzrokovanog oborinama (LS-Rapid)

Određene metode analize stabilnosti kosina, kao što je metoda analize granične ravnoteže ili numerička analiza korištenjem metode konačnih elemenata mogu modeliranjem povećanjem razinu podzemne vode ili pornog pritiska u kosini, ukazati na slom u tlu i proces početka klizanja, ali ne postoji mogućnost dinamičke analize cjelokupnog procesa klizanja te prikaz propagacije i razvoja klizanja niz kosinu. Programski paket LS-Rapid (proizvođač: Međunarodni konzorcij za klizišta- engl. *ICL, International Consortium on Landslides*, teorijska pozadina programskog paketa: *Sassa i dr. 2010*) je razvijen s namjerom da se procijene uvjeti za slom tla i početak procesa klizanja uslijed djelovanja dinamičkih sila izazvanih potresom, oborinama ili njihovom kombinacijom. Za razliku od drugih programskih paketa za analize stabilnosti kosina, čija je uloga samo određivanje faktora sigurnosti, programski paket



LS-Rapid simulira dinamičko ponašanje klizišta nakon njegovog pokretanja. LS-Rapid teži povezati proces početka klizanja i proces kretanja klizne mase (engl. *dynamic analysis*) uključujući proces razvoja klizišta te povećanja ili smanjenja volumena pokrenute klizne mase na putanji klizanja sve do konačnog umirenja klizanja i zauzimanja novog stabilnog položaja (*Sassa i dr. 2010*).

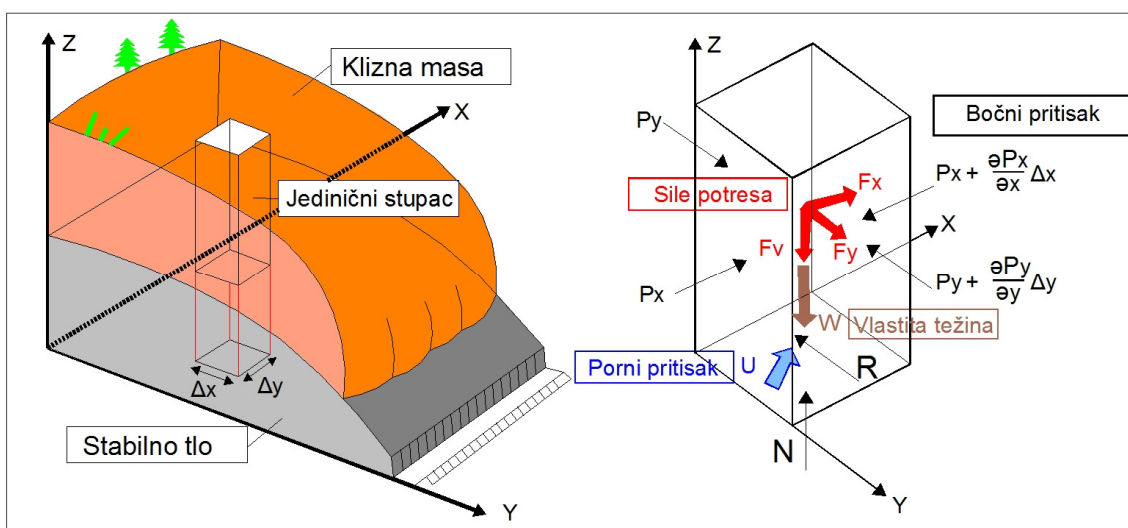
Karakteristike programskog paketa LS-Rapid su slijedeće:

- Predstavlja prvi model za simulaciju procesa klizanja koji prikazuje proces početka klizanja i pokretanja od stabilnog stanja do deponiranja i zaustavljanja klizne mase.
- Pokretanje simulacije se zasniva na posmičnoj čvrstoći koja se može izmjeriti ili utvrditi ispitivanjima.
- Klizišta se mogu pokrenuti uslijed seizmičkog opterećenja bilo da se koriste realno zabilježene veličine ubrzanja (akcelerogrami) ili jednostavne cikličke promjene pornog pritiska.
- Model može simulirati povećanje pokrenutog volumena duž traga klizanja, što povećava ukupni volumen klizišta i utječe na površinu izloženu hazardu.
- Sve analize stabilnosti metodom analize granične ravnoteže (Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price i druge) pretpostavljaju da će se na cijeloj kliznoj plohi pojaviti slom istovremeno. Međutim, na velikim klizištima samo dio područja izloženog višim pornim pritiscima kliznuti će prvi, a područje sloma će se širiti oko inicijalne zone dok se konačno cijela klizna masa ne pokrene. Ovaj model omogućuje simulaciju i prikaz nastanka i razvoja progresivnog sloma.
- Osnovna jednadžba ravnoteže u programu LS-Rapid ustanovljena je na pretpostavci da je cjelokupna potencijalna energija potrošena na trenje na kliznoj plohi. Klizna masa može izgubiti kinetičku energiju zbog sudara pojedinih dijelova klizne mase, prijelaza klizne mase preko pukotina, uzvišenja ili drugih nepravilnosti terena i klizne plohe.
- Puni opis LS-Rapida su objavili *Sassa, Nagai, Solidum, Yamazaki i Ohta (2010)* pod naslovom Integrirani model koji simulira početak klizanja i pokretanje klizišta uzrokovanih potresom i oborinama te njegovu primjenu na Leyte klizište (engl. *An integrated model simulating the*

*initiation and motion of earthquake & rain induced rapid landslides*)  
objavljen u časopisu Landslides. Vol.7, No.3).

Osnovni koncept simulacije je objašnjen na slici 6.5. (Sassa i dr. 2010). Sile koje djeluju na vertikalnom stupcu unutar mase koja se kreće su:

- Vlastita težina stupca ( $W$ ),
- Sile potresa - vertikalna seizmička sila ( $F_v$ ) i horizontalne seizmičke sile u smjeru x-y ( $F_x$  i  $F_y$ ),
- Bočni pritisak koji djeluje na bočne zidove stupca ( $P$ ),
- Posmična čvrstoća na bazi stupca ( $R$ ),
- Normalno naprezanje na bazi stupca ( $N$ ) kao reakcija stabilnog tla na vertikalnu komponentu vlastite težine stupca,
- Porni pritisak na bazi stupca ( $U$ ).



Slika 6.5 Koncept programskog paketa LS-Rapid:  $a$  akceleracija,  $m$  masa,  $W$  vlastita težina,  $F_v$ ,  $F_x$ ,  $F_y$  sile potresa,  $P$  bočni pritisak,  $R$  posmična čvrstoća koja uključuje utjecaj pornog pritiska  $U$ ,  $v$  brzina,  $a$  koeficijent potrošene energije bez utjecaja trenja (Sassa i dr. 2010)

Klizna masa ( $m$ ) će se ubrzati pod djelovanjem akceleracije ( $a$ ) koja je suma djelovanja svih spomenutih sila (vlastita težina + seizmičke sile) + bočni pritisak + posmična čvrstoća, gdje posmična čvrstoća uključuje utjecaj normalnog naprezanja i pornog pritiska na bazi stupca (slika 6.5) i djeluje suprotno od smjera klizanja tijekom kretanja i u suprotnom smjeru prije početka klizanja.

$$am = (W + F_v + F_x + F_y) + \left( \frac{\partial P_x}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial P_y}{\partial y} \Delta y \right) + R \quad (6.10)$$

Kut nagiba kosine je različit za svaki stupac u kliznom tijelu. Sila uslijed gravitacije ( $g$ ), kao i vertikalnog ( $gK_v$ ) i horizontalnog ( $gK_x$  i  $gK_y$ ) ubrzanja uslijed potresa su projicirane i računaju se na horizontalnoj ravnini kao što prikazuje slika 6.6 (Sassa 1988).  $K_v$ ,  $K_x$  i  $K_y$  su seizmički koeficijenti u odgovarajućem smjeru djelovanja, a  $\alpha$  i  $\beta$  su kutovi nagiba površine terena prema x-z i y-z ravnini.

Pretpostavka je da se klizna masa stupca ne mijenja tijekom kretanja, naime suma klizne mase koja ulazi u stupac ( $M$ ,  $N$ ) plus povećanje visine stupca tla ( $h$ ) je nula (izraz 6.11).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (6.11)$$

Koeficijent bočnog pritiska ( $k$ ) je odnos između horizontalnog naprezanja ( $\sigma_h$ ) i vertikalnog naprezanja ( $\sigma_v$ ) ( $k = \sigma_h / \sigma_v$ ). U modelu se za  $k$  koristi Jaky-eva jednadžba ( $k = 1 - \sin \varphi_{ia}$ ), gdje je:

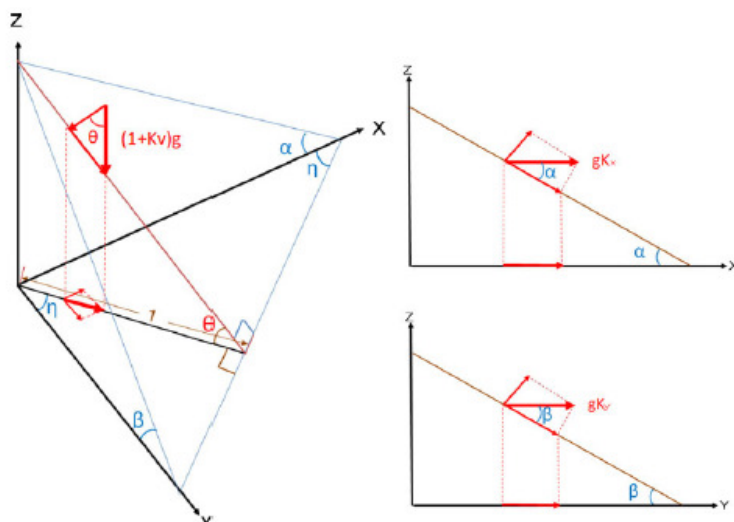
$$\tan \varphi_{ia} = (c + (\sigma - u) \tan \varphi_i) / \sigma$$

$\tan \varphi_{ia}$  - prividni koeficijent trenja unutar klizne mase

$\tan \varphi_i$  - efektivni kut trenja unutar klizne mase (nije uvijek isti kao efektivni kut trenja tijekom kretanja na kliznoj plohi).

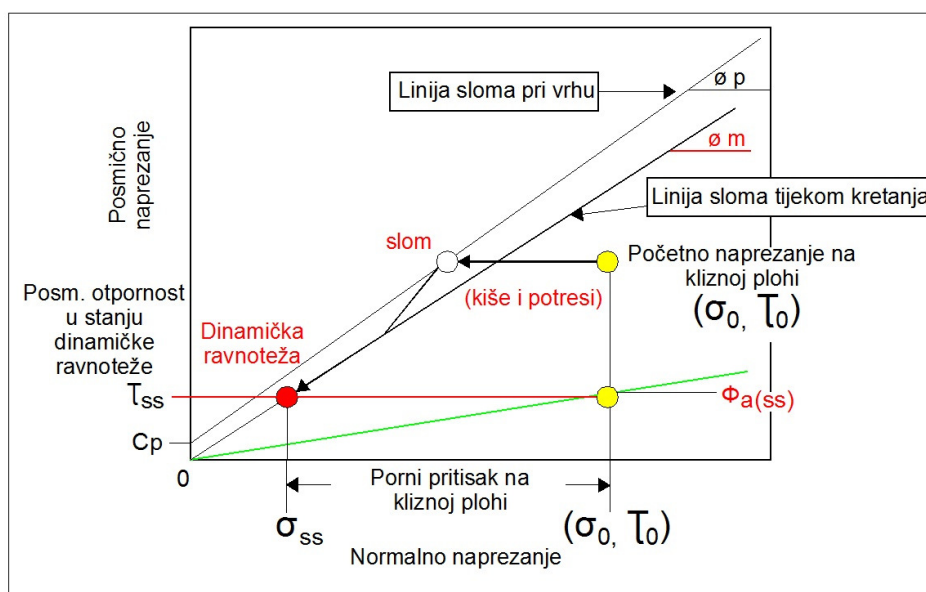
U tekućem stanju,  $\sigma = u$ ,  $c = 0$ ,  $\sin \varphi_{ia} = 0$  i  $k = 1,0$ .

U krutom stanju, kohezija  $c$  je dovoljno velika,  $\sin \varphi_{ia}$  je približno jednak 1,0 a  $k$  je onda blizak vrijednosti 0.



Slika 6.6 Projektija potresnih sila na horizontalnu ravninu. Lijevo, gravitacija i vertikalna potresna sila. Desno, horizontalne potresne sile (x i y smjer) (Sassa i dr. 2010)

Kada trag efektivnog naprezanja dosegne liniju sloma pri vrijednosti  $\varphi_p$  započinje pokretanje klizišta. Porni pritisak se generira skupa s porastom posmične deformacije pri čemu se u saturiranim tlima događa smanjenje volumena uslijed gnječenja mase tla. U ovom slučaju trag naprezanja opada po liniji sloma do stanja dinamičke ravnoteže tijekom gibanja ( $\varphi_m$ ) ispod kojeg se više ne događa gnječenje mase tla niti se smanjuje porni pritisak, samo se povećava posmična deformacija pri konstantnom posmičnom otporu (slika 6.7).



Slika 6.7 Prividni koeficijent trenja ( $\tan \varphi_a$ ), posmični otpor u stanju dinamičke ravnoteže ( $\tau_{ss}$ ) i koeficijent trenja tijekom kretanja ( $\tan \varphi_m$ ) (Sassa i dr. 2010)

Uvjeti pornog pritiska koji su rezultat procesa prirodnog procjeđivanja vode u tlo, prikazani su u modelu preko koeficijenta pornog pritiska  $r_u$ , gdje je  $r_u = u/\gamma z$  odnos pornog pritiska i geostatičkog naprežanja na određenoj dubini.

Utjecaj pornog pritiska  $r_u$  skupa s prividnim koeficijentom trenja ( $\tan \varphi_a$ ) opisan je u sva tri stanja:

1. Početna deformacija- stanje prije sloma ( $D < DL$ ):

$$\tan \varphi_a = \tan \varphi_p, \quad c = c_p, \quad r_u = r_u$$

2. Stanje dinamičke ravnoteže u pokretu ( $D > DU$ ):

$$\tan \varphi_a = \tan \varphi_{a(ss)}, \quad c = 0, \quad r_u = 0$$

3. Prijelazna faza ( $DL < D < DU$ ):

$$\tan \varphi_a = \tan \varphi_p - \frac{\log D - \log DL}{\log DU - \log DL} (\tan \varphi_p - \tan \varphi_{a(ss)}),$$

$$c = c_p \left( 1 - \frac{\log D - \log DL}{\log DU - \log DL} \right), \quad r_u = r_u \cdot \frac{\log DU - \log D}{\log DU - \log DL},$$

gdje je

$D$  - posmična deformacija,

$DL$  - točka sloma, početak pada čvrstoće,

$DU$  - kraj pada čvrstoće,

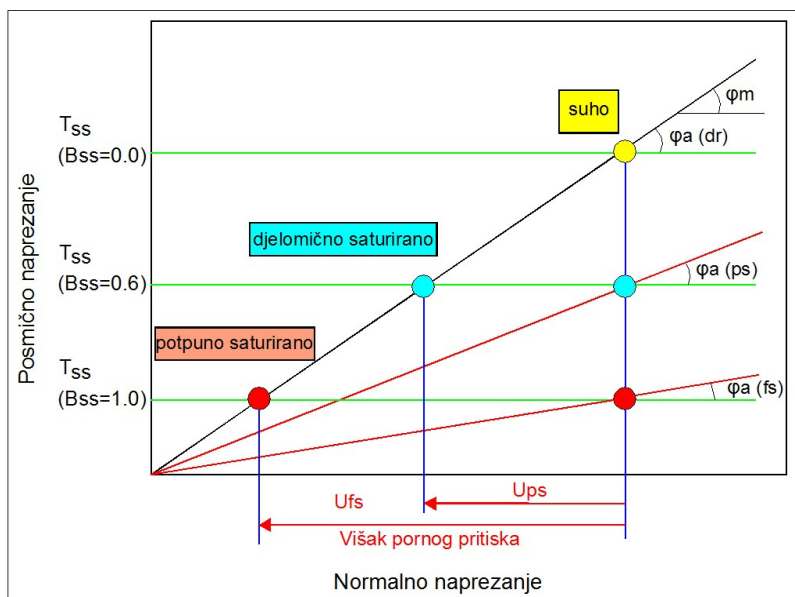
$r_u$  - koeficijent pornog pritiska.

Kada i gdje posmična deformacija prema izrazu 6.14 dosegne  $DL$ , započinje pad čvrstoće. Kada i gdje posmična deformacija dosegne vrijednost  $DU$ , započinje klizanje tla u stanju dinamičke ravnoteže. Područje kretanja će se progresivno povećavati zbog smanjenja posmične čvrstoće.

$$D = \left\{ \left( \sum_{i=1}^i U(i) \cdot \Delta t(i) \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^i V(i) \cdot \Delta t(i) \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (6.12)$$

gdje su  $U$  i  $V$  brzine u  $x$  i  $y$  smjeru u određenoj mreži i u određenom vremenskom koraku.

Odnos stupnja generiranja pornog pritiska ( $B_{ss}$ ) i prividnog kuta trenja prikazan je na slici 6.8.



Slika 6.8 Odnos između stupnja generiranja poreznog pritiska (Bss) i prividnog koeficijenta trenja ( $\tan \varphi_a$ ), (Sassa i dr. 2010)

Jednadžbe 6.13 i 6.14 uključuju faktore koji pokreću klizanje - potresi i porni pritisak izazvan porastom razine podzemne vode.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = gh \left\{ \frac{\tan \alpha}{q+1} (1 + K_v) + K_x \cos^2 \alpha \right\} - (1 + K_v) kgh \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{g}{(q+1)^{1/2}} \cdot \frac{u_0}{(u_0^2 + v_0^2 + w_0^2)^{1/2}} \{h_c (q+1) + (1 - r_u) h \tan \phi_a\} \quad (6.13)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = gh \left\{ \frac{\tan \beta}{q+1} (1 + K_v) + K_y \cos^2 \beta \right\} - (1 + K_v) kgh \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{g}{(q+1)^{1/2}} \cdot \frac{u_0}{(u_0^2 + v_0^2 + w_0^2)^{1/2}} \{h_c (q+1) + (1 - r_u) h \tan \phi_a\} \quad (6.14)$$

Uslijed oborina dolazi do povećanje poreznog pritiska i smanjenja čvrstoće materijala što može izazvati prekoračenje čvrstoće i pokrenuti klizište. Detaljna raspodjela poreznog pritiska u kosini nije poznata, pa je porast poreznog pritiska moguće iskazati preko postupnog rasta koeficijent poreznog pritiska  $r_u$ .

Vremenski korak iteracija u LS-Rapidu nije određen kao konstantan. Izraz 6.15 određuje vremenski korak iteracija za sam početak klizanja. Na početku simulacije potrebno je zadati početni vremenski korak potreban za provjeru inicijacije klizanja pri nultoj brzini.

$$\Delta t = DU / M / (U \max^2 + V \max^2)^{1/2} \quad (6.15)$$

gdje je:

$M$ - potreban broj iteracija,

$U_{max}$  i  $V_{max}$  – maksimalne brzine u svakom koraku.

Vremenski korak u stanju dinamičke ravnoteže je određen veličinom mreže i brojem potrebnih iteracija, a ovisi i o brzini (izraz 6.16).

$$\Delta t = dx / N / V \quad (6.16)$$

gdje je :

$dx$ - veličina mreže,

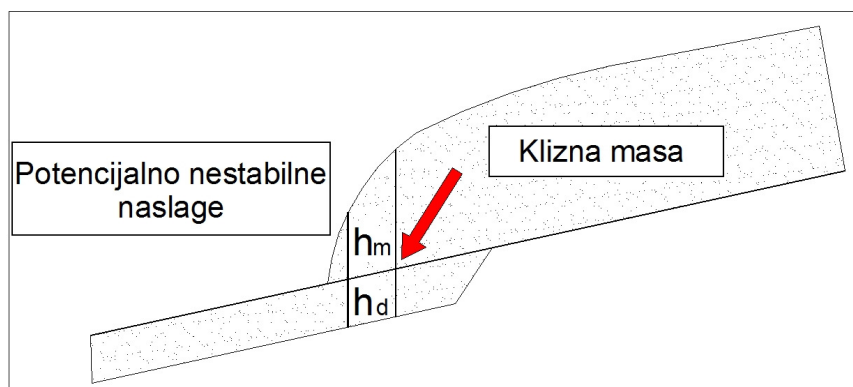
$N$ - potreban broj iteracija,

$V$ - veća maksimalna brzina između  $U_{max}$  i  $V_{max}$  dobivena u posljednjoj iteraciji.

Volumen klizišta se povećava uslijed kretanja povećanjem volumena nestabilne mase na tragu klizanja. U modelu je pretpostavljeno da kad se klizna masa pokrene i na taj način postane nestabilna, koeficijent trenja i kohezija unutar nestabilnog sloja padaju s vršnih vrijednosti ( $\tan\varphi_p$ ,  $c_p$ ) na prividni kut trenja ( $\tan\varphi_{p(ss)}$ ) bez kohezije zbog nedreniranog stanja opterećenja i nedreniranog smicanja uslijed brzog kretanja klizne mase.

Ako se u model dodatno uključi fenomen smanjenja posmične čvrstoće s povećanjem posmičnih deformacija, simulacija pokretanja klizišta postaje presložena, pa je taj proces pojednostavljen na način da se kut trenja i kohezija mijenjaju s vršnih vrijednosti na vrijednost  $\tan\varphi_{p(ss)}$  i  $c=0$  u trenutku kad klizna masa postane viša od određene kritične visine stupca tla ( $\Delta h_{cr}$ ) dosegne mrežu modela koja sadrži potencijalno nestabilne depozite kao što prikazuje slika 6.9. U tom trenutku visina stupca tla prelazi s vrijednosti  $h_d$  u vrijednost ( $h_d+h_m$ ). Ako visina mase klizišta prijeđe kritičnu vrijednost ( $h_m>h_{cr}$ ), trenje na bazi stupca tla dosegne stanje dinamičke ravnoteže i dolazi od pokretanja klizne mase.





Slika 6.9 Nedrenirano opterećenje putujuće klizne mase na potencijalno nestabilne naslage koji se nalaze na njezinoj putanji (Sassa i dr. 2010)

Osnovna jednadžba (6.10) temelji se na pretpostavci da je cjelokupna potencijalna energija potrošena na trenje na kliznoj plohi tijekom kretanja klizne mase. U određenim uvjetima nije moguće usvojiti da je cjelokupna energija potrošena kroz trenje na kliznoj plohi, već se pojavljuje izuzetno velika brzina klizanja ili velika debljina tla kao rezultat izraza 6.11, 6.13 i 6.14. To može voditi prema pogrešnom rezultatu simulacije, pa je automatski uvedena funkcija gubitka energije za posebnu mrežu i vremenski korak u području izuzetno velikih brzina i/ili debljine sloja (izraz 6.18). Najveći dio energije koja se ne potroši na trenje predstavljati će gubitak kinetičke energije, pa se gubitak energije prikazuje proporcionalno veličini kinetičke energije mase tla u mreži (izraz 6.17)

$$\text{Gubitak energije koja nije potrošena na trenje} = \alpha \left( \frac{1}{2} mv^2 \right) \quad (6.17)$$

gdje je  $\alpha$  koeficijent energije koja nije utrošena na trenje.

$$am = (W + Fv + Fx + Fy) + \left( \frac{\partial Px}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial Py}{\partial y} \Delta y \right) + R + \alpha \left( \frac{1}{2} mv^2 \right) \quad (6.18)$$

Značaj softvera LS-Rapid je u implementaciji izraza za smanjivanje čvrstoće uslijed deformacija i progresivnog sloma. Napravljene su usporedbe rezultata s metodama analiza stabilnosti, koje koriste metodu analize granične ravnoteže i ne razmatraju progresivni slom u kosini, kao što su metode po Bishopu, Janbuu, Spenceru i Morgenstern-Priceu. Iz tog su razloga rezultati dobiveni softverom LS-Rapid značajno realniji nastalom slomu na terenu.

Za potrebe simulacije klizanja na odabranom području sjeverno od Grada Buzeta, odabrani ulazni parametri za model razlikuju se u pojedinim dijelovima

modela ovisno o topografiji, parametrima posmične čvrstoće, stupnju saturacije materijala tla itd. Detaljnim ispitivanjem velikog broja uzoraka, ne velikom broju lokacija moguće je dobiti točne podatke o stvarnim materijalima, što je ponekad zahtjevno u cijelosti postići, pa se za određene materijale koriste preporučene vrijednosti. Sassa i koautori (*Sassa i dr. 2010*) su dali okvirne preporučene vrijednosti parametara za slučaj kada nisu dostupni detaljni podaci istraživanja područja (tablica 6.2).

Tablica 6.2 Okvirne vrijednosti za parametre tla korištene u programu LS-Rapid (Sassa i dr. 2010)

Parametar	Donja granična vrijednost	Gornja granična vrijednost	Vjerojatna vrijednost
Kut trenja tijekom kretanja na kliznoj plohi ( $\varphi_m$ ) i koeficijent ( $\tan \varphi_m$ )	25° ( $\tan \varphi_m=0,466$ )	35° ( $\tan \varphi_m=0,700$ )	30° ( $\tan \varphi_m=0,577$ )
Vršni kut trenja na kliznoj plohi ( $\varphi_p$ ) i koeficijent ( $\tan \varphi_p$ )	33° ( $\tan \varphi_p=0,649$ )	38° ( $\tan \varphi_p=0,781$ )	35° ( $\tan \varphi_p=0,700$ )
Kut trenja unutar klizne mase ( $\varphi_i$ ) i koeficijent ( $\tan \varphi_i$ )	20° ( $\tan \varphi_i=0,364$ )	30° ( $\tan \varphi_i=0,577$ )	25° ( $\tan \varphi_i=0,466$ )
(Napomena 1)			
Posmična otpornost na kliznoj plohi u stanju dinamičke ravnoteže ( $\tau_{ss}$ )	5 kPa	50 kPa	20 kPa
Kohezija unutar klizne mase ( $C_i$ )	0,1 kPa	0,5 kPa	0,2 kPa
Kohezija na kliznoj plohi tijekom kretanja ( $C_m$ )	0,1 kPa	0,5 kPa	0,2 kPa
Vršna kohezija na kliznoj plohi ( $C_p$ )	2 kPa	200 kPa	10-100 kPa

Napomena: Na vrijednost utječe stupanj saturacije/porni pritisak unutar klizne mase. U funkciji je kada je smicanje stupca tla unutar mase tla (također i klizna ploha na dnu stupca tla) kao u slučaju kada gornji dio klizne mase prelazi preko planinskog grebena.

Na isti način su dani okvirni parametri uvjeta proračuna (tablica 6.3). Tablice 6.2 i 6.3 treba koristiti uvažavanjem lokalnih uvjeta i ukoliko je moguće ulazne parametre usporediti sa sličnim lokacijama ako ne postoje ispitivanja na toj lokaciji. Pritom je preporučljivo koristiti konzervativni pristup kako bi se postigla tražena sigurnost.

Tablica 6.3 Okvirne vrijednosti za uvjete proračuna u programu LS-Rapid (Sassa i dr. 2010)

Veličina	Donja granična vrijednost	Gornja granična vrijednost	Vjerojatna vrijednost
Posmična deformacija na kraju gubitka čvrstoće ( $DU$ )	100 mm	5000 mm	1000 mm
Posmična deformacija na početku gubitka čvrstoće ( $DL$ )	5 mm	100 mm	10 mm
Koeficijent pornog pritiska ( $r_u = u/\sigma$ )	0	1	0,3
Koeficijent seizmičnosti ( $K = a/g$ )	0	1,5	(*)
Broj proračuna po jednoj mreži ( $N$ )	10	30	20
Broj proračuna do kraja gubitka čvrstoće ( $DU$ ) ( $M$ )	10	30	20
Inicijalni vremenski korak ( $DT1$ )	0,001 sec	0,005 sec	0,005 sec
Koeficijent energije koja nije utrošena na trenje	0	3,0	1,0

\* Utjecaj seizmičke sile je uvelike pod utjecajem frekvencije vala smicanja i oblika vala. Drugačiji je u statičnom, nisko frekventnom, visoko frekventnom i vršnom akceleracijom.

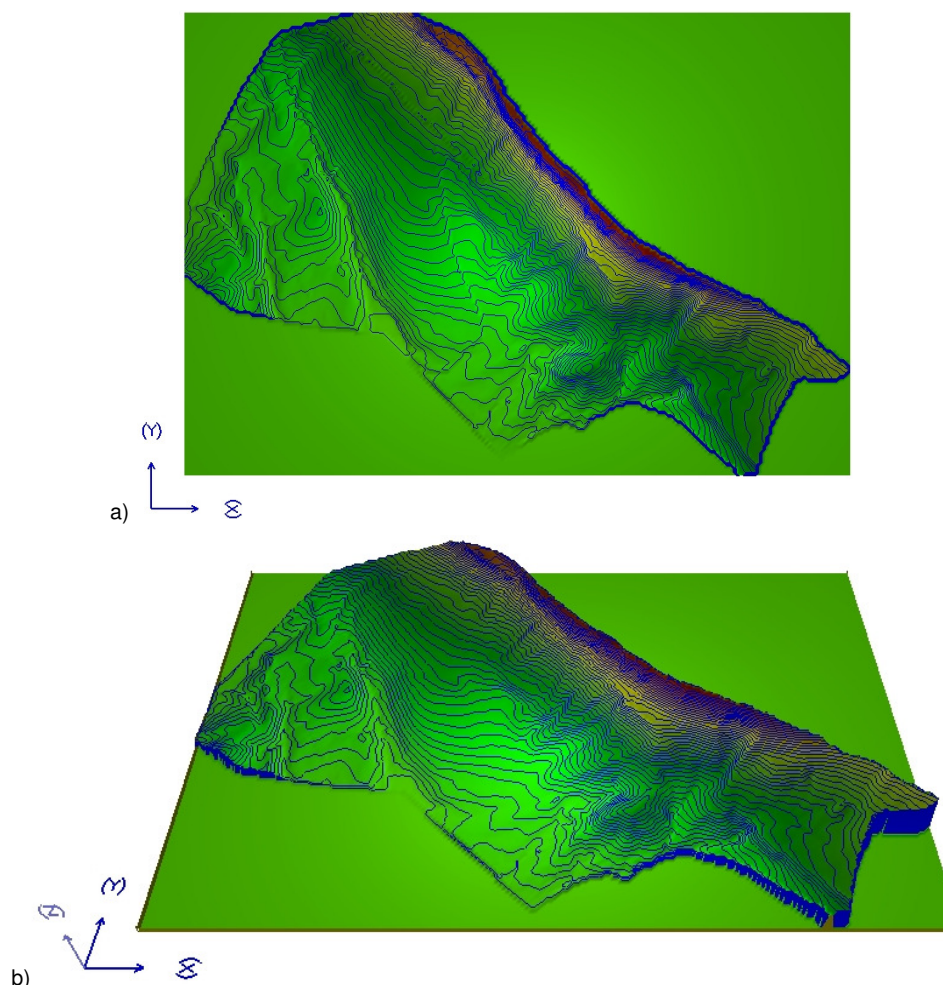
Tablica 6.4 Vrijednosti parametara u programu LS-Rapid za odabrano područje analize

Parametar	Vrijednost parametra
Kut trenja tijekom kretanja na kliznoj plohi ( $\varphi_m$ ) i koeficijent ( $\tan\varphi_m$ )	25 <sup>o*</sup>
Vršni kut trenja na kliznoj plohi ( $\varphi_p$ ) i koeficijent ( $\tan\varphi_p$ )	32 <sup>o*</sup>
Kut trenja unutar klizne mase ( $\varphi_i$ ) i koeficijent ( $\tan\varphi_i$ )	28 <sup>o*</sup>
Posmična otpornost na kliznoj plohi u stanju dinamičke ravnoteže ( $\tau_{ss}$ )	60 kPa**
Kohezija unutar klizne mase ( $C_i$ )	3 kPa*
Kohezija na kliznoj plohi tijekom kretanja ( $C_m$ )	5 kPa*
Vršna kohezija na kliznoj plohi ( $C_p$ )	10 kPa*

\*parametri čvrstoće materijala dobiveni povratnim analizama stabilnosti

\*\*dobiveni ispitivanjima provedenim na sličnim flišnim lokacijama

U modelu za odabrano područje analize (slika 6.10) korišteni su parametri čvrstoće materijala dobiveni povratnim analizama stabilnosti, provedenim tijekom izrade projekata sanacije pojedinih klizišta, te neki parametri dobiveni laboratorijskim ispitivanjima provedenim na sličnim lokacijama u flišu (tablica 6.4). Za parametre za koje ne postoji nikakvo ispitivanje korištene su preporučene okvirne vrijednosti (tablica 6.2, 6.3).



Slika 6.10 Digitalni model terena za istraživano područje u programu LS-Rapid, mreža 30 m, slojnice 10 m: a) 2D prikaz, b) 3D prikaz

Izrađeni model područja istraživanja flišnih kosina obuhvaća matricu 205x143 po x i y smjeru. Području izvan poligona istraživanja zadana je visina 50 m.n.m. jer model zahtijeva pravokutni okvir mreže za proračun. Stoga je važno zanemariti procese koji se javljaju na rubovima modela „odrezanim“ od okolnog područja jer rezultati u tom dijelu područja nisu realni. Unutar modela su izdvojene geološke cjeline koje sadrže pokrivač i one na kojima pokrivača uopće nema, pa se može

uočiti da na dijelovima modela gdje nema pokrivača postoji mreža, ali nema rezultata proračuna (stabilno/nestabilno), jer je na području mogućnost pojave klizanja zanemariva. Analiza podložnosti klizanju je također provedena uz pretpostavku da će se buduća klizanja dogoditi na terenima gdje su slični uvjeti prouzročili dosadašnje pokrete masa.

Vrijednosti u modelu su prosječne vrijednosti podataka koji postoje iz prethodnih istraživanja. Tako je na temelju postojećih podataka istražnih bušenja prosječna debljina pokrivača na cijelom području 10 m (slika 6.11). Zadana je zapreminska težina materijala tla  $20 \text{ kN/m}^3$  i kohezija unutar klizne mase  $c_i = 3 \text{ kPa}$ , te kohezija na kliznoj plohi tijekom kretanja  $c_m = 5 \text{ kPa}$ . Korišteni koeficijent trenja unutar klizne mase  $\varphi_i = 28^\circ$ , a koeficijent trenja tijekom kretanja klizišta  $\varphi_m = 25^\circ$ , dok je vršni kut trenja  $\varphi_p = 32^\circ$ , zadano prema rezultatima povratnih analiza stabilnosti kosina dokumentiranih klizišta na području središnje Istre. Ostali parametri tla zadani su prema vrijednostima na flišnim lokacijama sličnih karakteristika ili prema zadanim okvirnim vrijednostima: mirni zemljani pritisak  $k = 0,35$  (engl. *lateral pressure ratio*), posmična čvrstoća na kliznoj plohi u stanju dinamičke ravnoteže (engl. *steady state shear resistance at sliding surface*)  $\tau_{ss} = 60 \text{ kPa}$ , koeficijent razvoja pornog pritiska (engl. *rate of excess pore-pressure generation*)  $B_{ss} = 0.5$  i vršna kohezija na kliznoj plohi (engl. *peak cohesion at sliding surface*)  $c_p = 10 \text{ kPa}$ .



Slika 6.11 Debljina pokrivača na flišnom području u modelu za program LS-Rapid (zeleno područje s pokrivačem, smeđe područje vapnenaca i pješčenjaka na površini terena)

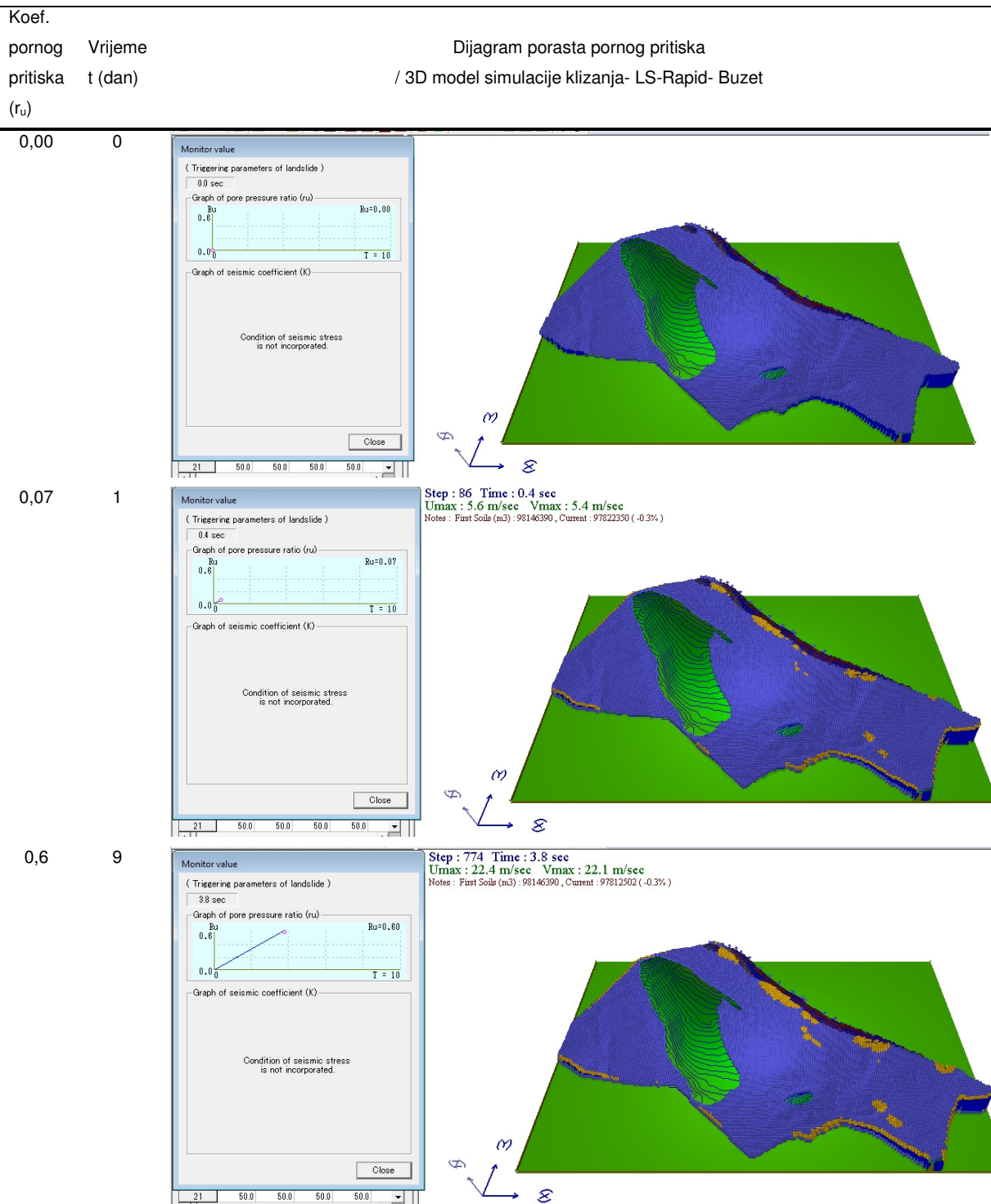
Porast pornog pritiska zadan je kao pokretač klizanja, a seizmičke sile nisu uključene u analizu jer područje nije seizmički aktivno. Veličina pornog pritiska

izražena je preko koeficijenta pornog tlaka,  $r_u$ , a povećava se s vrijednosti 0 na vrijednost 0,6, a zadano vrijeme proračuna je proporcionalno razdoblju od 30 dana. Vrijednost koeficijenta pornog tlaka,  $r_u=0$  odgovara slučaju bez podzemne vode, dok vrijednost koeficijenta pornog tlaka,  $r_u=0,6$  odgovara slučaju kada razina podzemne vode doseže površinu terena, odnosno kada je cijeli profil ispod razine podzemne vode. Dobiveni rezultati područja podložnosti klizanju su prikazani na slici 6.12 u 3D obliku. Zadan je prikaz svakih 24h (jedan dan) unutar razdoblja od 30 dana (privitak). Na slici je za svaki  $r_u$  i vrijeme  $t$  prikazan i dijagram porasta pornog pritiska te 3D model simulacije stanja klizanja na terenu. Period od jednog mjeseca u modelu je odabran kao jedinično razdoblje analize i ne predstavlja realan period preuzet za istraživano područje, ali multipliciranjem vremenskih vrijednosti u procesu omogućuje prilagodbu simulacije na stvarno vrijeme pokretanja klizanja. Model stoga ne prikazuje realnu brzinu infiltracije oborina u tlo, ali to ne utječe na prostornu komponentu dobivenih rezultata. Za pretpostaviti je da bi se u okvirima realnih parametara infiltracije i vodopropusnosti u flišnim naslagama podizanje podzemne vode odvijalo puno sporije, što je potvrđeno i analizama kumulativnih oborina koje su prethodile klizanju u kojima su dobivena tromjesečna razdoblja dugotrajnih neprekinutih oborina kao pokretača klizanja na području središnje Istre. Poznavanje vremenskih odnosa oborina i infiltracije omogućilo bi da se kroz simulaciju točnije modeliraju i elementi vremenske komponente hazarda pojave klizanja.

Iz rezultata proračuna može se vidjeti da se porni pritisak preko koeficijenta  $r_u$  povećava s 0 na vrijednost 0,6 i doseže ju u razdoblju od devet dana, nakon čega vrijednost  $r_u$  ostaje konstantna. Područje koje je stabilno prikazano je plavom bojom, dok se nestabilna područja, prikazana narančastom bojom, progresivno povećavaju s povećanjem pornog pritiska čak i kada vrijednost pornog pritiska dosegne konstantan iznos ( $r_u=0,6$ ) za najvišu vrijednost podzemne vode (do površine terena) područje nestabilnosti se neznatno povećava uslijed širenja kliznog tijela niz kosinu. Simulacija se prekida kada sve mreže u modelu dostignu brzinu nula, odnosno kad klizište zauzme novi stabilan položaj.

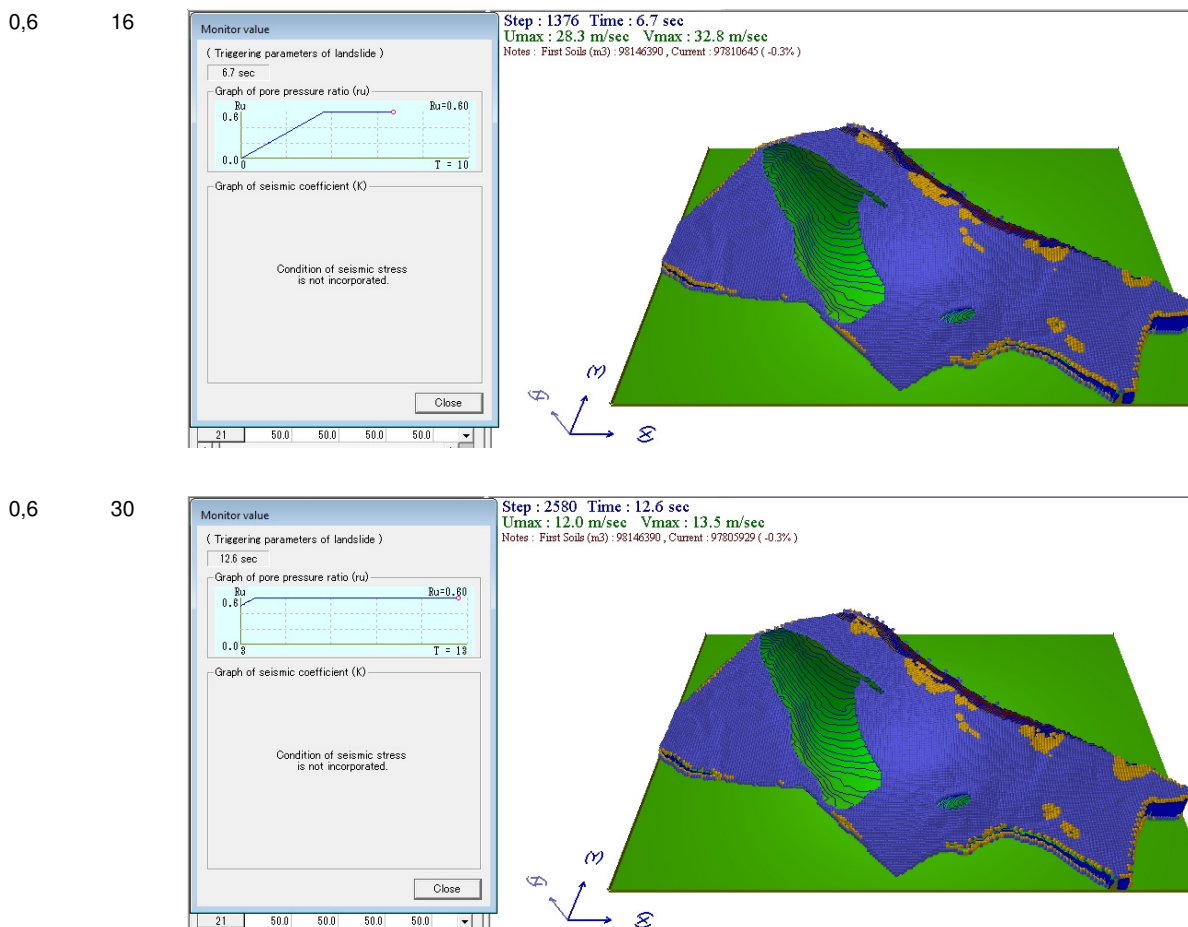
Ne postoje podaci o infiltraciji oborina u teren koji bi mogli poslužiti za povezivanje oborina i podizanja razine podzemne vode, odnosno povezivanje pornih pritisaka s povratnim periodima oborina. No područja klasificirana kao nestabilna pri bilo kakvom povećanju koeficijenta pornog pritiska  $r_u$ , dobivena 3D determinističkim

modelom, mogu se smatrati nestabilnima uopće i povezati s dobivenim povratnim periodima većih kontinuiranih tromjesečnih oborina kako bi se dobila karta hazarda za analizirano područje.



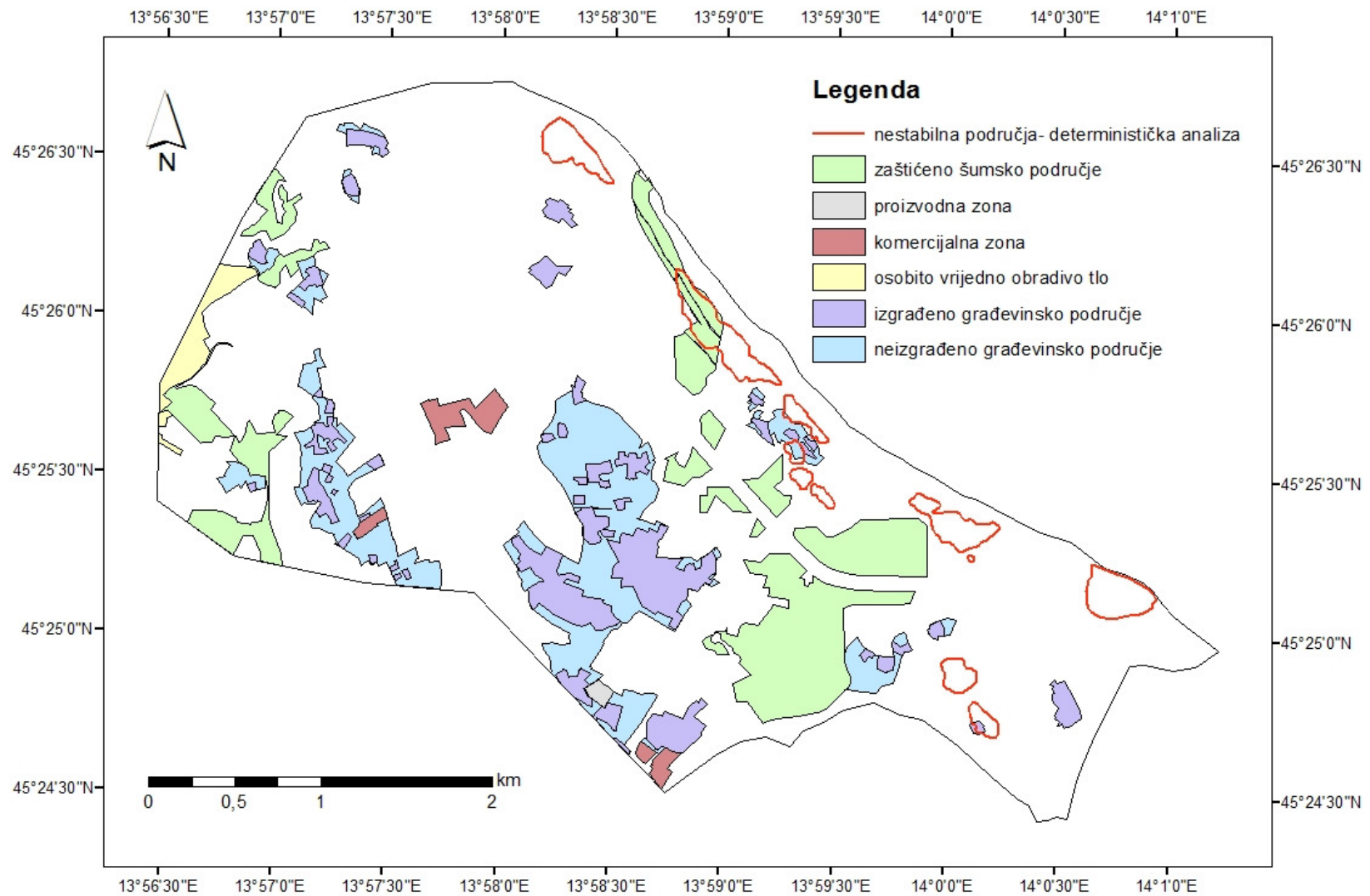
Slika 6.12 Procjena podložnosti klizanju u programu LS Rapid uz podizanje koeficijenta pornog pritiska  $r_u$  od 0 do 0,6 (plavo stabilno područje, narančasto nestabilno područje) (za pregled utjecaja  $r_u$  svakih 24 sata u 30 dana pogledati privitak)





Slika 6.12 Nastavak

Ako se dobivena karta područja koja su 3D determinističkim modelom klasificirana kao nestabilna usporedi s kartom namjene područja u postojećem Prostornom planu uređenja Grada Buzeta (slika 6.13), može se utvrditi podložnost klizanju unutar građevinskih područja (bez obzira da li su izgrađena ili se gradnja planira u budućnosti) i zaštićenih šumskih područja. Unutar proizvodnih ili trgovinskih zona nije utvrđeno postojanje podložnosti klizanju, tj. zone nisu u područjima u kojima postoji opasnost od klizanja. Prema rezultatima provedenih determinističkih analiza ugroženo je 4% zaštićenih šumskih područja, 0,4% izgrađenih građevinskih područja i 0,4% neizgrađenih građevinskih područja (tablica 6.5).



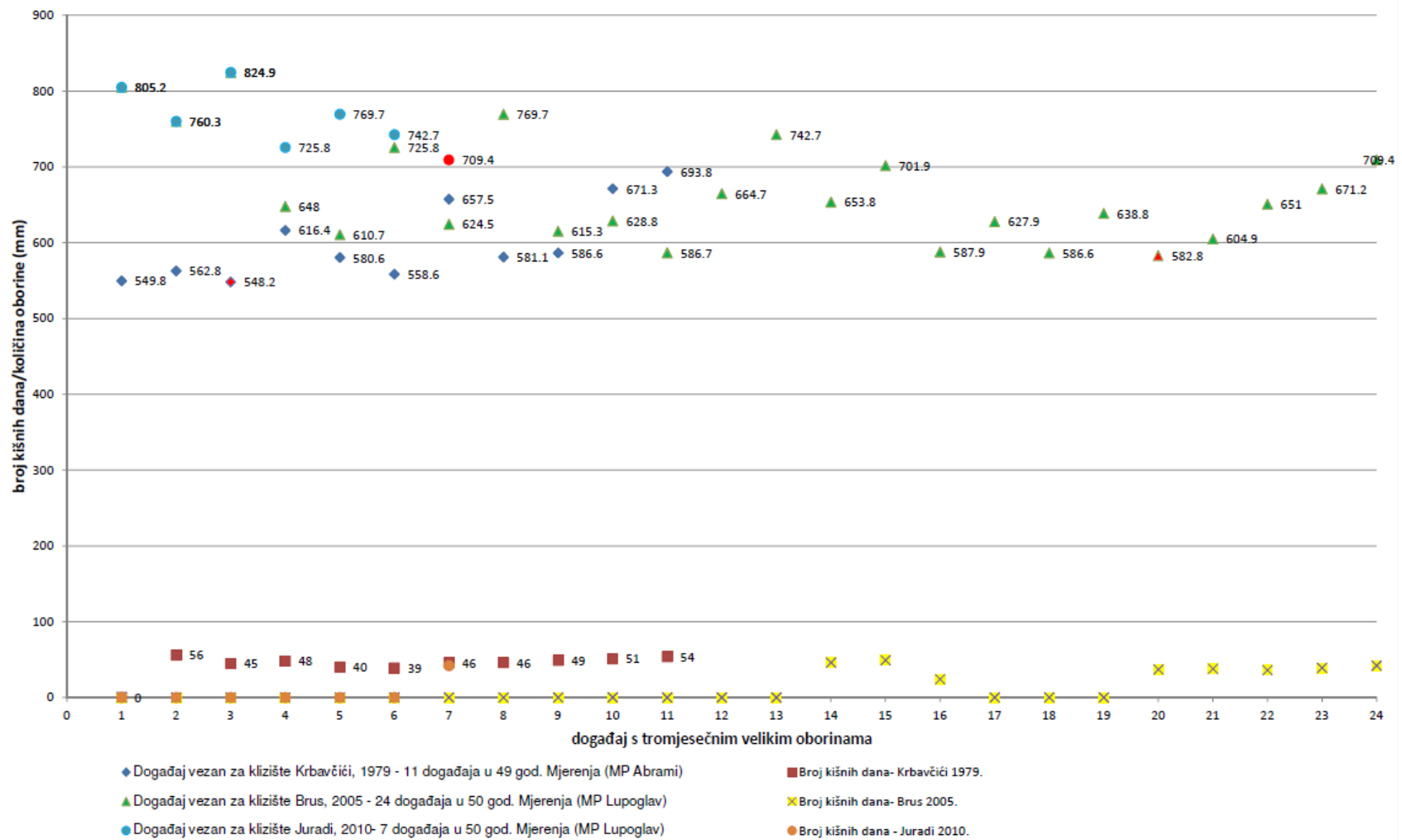
Slika 6.13 Područja namjene površina prema Prostornom planu uređenja Grada Buzeta preklopljena s područjima podložnim klizanju prema rezultatima determinističkog modela procjene hazarda provedene programom LS- Rapid

Tablica 6.5 Površine prema karti namjene područja iz Prostornog plana uređenja Grada Buzeta koje su prema determinističkoj analizi provedenoj programom LS- Rapid podložne klizanju

Područje posebnog interesa (prema PP Grada Buzeta)	Ukupna površina (km <sup>2</sup> )	Površina klizišta unutar područja (km <sup>2</sup> )	Ugroženo područje (%)
Zaštićena šuma	1,33	0,05	4,0
Proizvodna namjena zemljišta	0,02	0,00	0,0
Poslovna namjena zemljišta	0,12	0,00	0,0
Osobito vrijedno obradivo tlo	0,12	0,00	0,0
Izgrađeno građevinsko zemljište	0,75	0,00	0,4
Neizgrađeno građevinsko zemljište	1,68	0,01	0,4
Σ	4,02	0,06	4,8

### 6.3 Vremenska komponenta hazarda klizanja

Kako bi se odredio povratni period, odnosno frekvencija pojave slične oborine koja je izazvala klizanje u prošlosti, a tako odredila vremenska komponenta hazarda, osim analize oborina koje su prethodile događajima klizanja provedene su analize svih tromjesečnih akumulacija oborina u razdoblju mjerenja oborina. Tablica 6.6 prikazuje rezultate analiza događaja kumulativne tromjesečne količine oborina i prikaz uočenih pojava takvih oborina koje prelaze kritičnu vrijednost koja je pokrenula referentno klizište (usvojeno je da su to oborine pale u tromjesečnom razdoblju prije zabilježene epizode klizanja). U tablici 6.6 i na slici 6.14 prikazana je kumulativna vrijednost, broj kišnih dana i maksimalna dnevna oborina u tromjesečnom razdoblju. Broj kišnih dana teško je analizirati jer ne postoje mjerenja dnevnih oborina prije 1979. godine, a veliki broj događaja s registriranim velikim tromjesečnim kumulativnim vrijednostima je registriran prije 1971. S nekim su događajima korelirane vrijednosti s one mjerne postaje, koja ima registrirane podatke o dnevnim oborinama za tu godinu (u tablici 6.6 označeno „\*“), ali za veliki dio događaja ne postoji podatak o kišnim danima niti na jednoj mjerenoj postaji (u tablici 6.6 označeno „-“). Ipak, iz raspoloživih podataka vidljivo je da je broj kišnih dana unutar tromjesečnog razdoblja jednak jednoj trećini razdoblja ili veći od toga.



Slika 6.14 Pojava događaja s tromjesečnim velikim oborinama i broj kišnih dana u istom razdoblju

Tablica 6.6 Registrirane tromjesečne oborine koje prelaze kritičnu vrijednost pokretanja pojedinog klizišta s brojem kišnih dana i maksimalnom oborinom u istom razdoblju

	Događaj			Podatak o oborini u tromjesečnom razdoblju		
	God./Mj.	MP	Krit. vrijed. (ref.klizište)	∑ oborina (mm)	Broj kišnih dana	Max. dnevna (mm)
Događaj vezan za klizište Krbavčiči, 1979 - 11 u 49 god.	1966./12.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	549,8	-	-
	1977./02.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	562,8	56	45,6
	1979./02.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	548,2	45	46
	1979./03.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	616,4	48	46,8
	1980./12.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	580,6	40	70,3
	1993./10.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	558,6	39	132,8
	1993./11.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	657,5	46	132,8
	1993./12.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	581,1	46	132,8
	2000./11.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	586,6	49	61,6
	2000./12.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	671,3	51	61,6
	2001./01.	Abrami	548,1 (Krbavčiči, 1979)	693,8	54	61,6
Događaj vezan za klizište Brus, 2005 - 24 u 50 god.	1964./10.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	805,2	-	-
	1964./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	760,3	-	-
	1964./12.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	824,9	-	-
	1965./01.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	648	-	-
	1965./02.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	610,7	-	-
	1965./09.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	725,8	-	-
	1965./10.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	624,5	-	-
	1965./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	769,7	-	-
	1966./12.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	615,3	-	-
	1972./09.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	628,8	35*	78,2*
	1972./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	586,7	30*	38,1*
	1977./01.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	664,7	52*	45,6*
	1977./02.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	742,7	56*	45,6*
	1979./02.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	653,8	46	60,5
	1979./03.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	701,9	49	60,5
	1979./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	587,9	24	130,8
	1982./12.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	627,9	44*	46,7*
	1984./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	586,6	39*	34,5*
	1990./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	638,8	41*	52,6*
	2005./12.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	582,8	37	51
2009./02.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	604,9	38	85,3	
2010./01.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	651	36	97	
2010./02.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	671,2	39	97	
2010./11.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	709,4	42	86,8	

Tablica 6.7 Nastavak

	Događaj			Podatak o oborini u tromjesečnom razdoblju		
	God./Mj.	MP	Krit. vrijed. (ref.klizište)	$\Sigma$ oborina (mm)	Broj kišnih dana	Max. dnevna (mm)
Događaj vezan za klizište Juradi, 2010- 7 u 50 god.	2010./12.	Lupoglav	582,7 (Brus, 2005)	615,1	45	52,5
	1964./10.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	-	-
	1964./11.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	-	-
	1964./12.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	-	-
	1965./09.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	-	-
	1965./11.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	-	-
	1977./02.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	56*	45,6*
	2010./11.	Lupoglav	709,3 (Juradi, 2010)	-	42	86,8

MP- mjerna postaja

"- " nema mjerenih podataka o dnevnim oborinama prije 1971.

\* podatak s MP Abrami jer nema podataka za dnevne oborine na MP Lupoglav prije 1978.

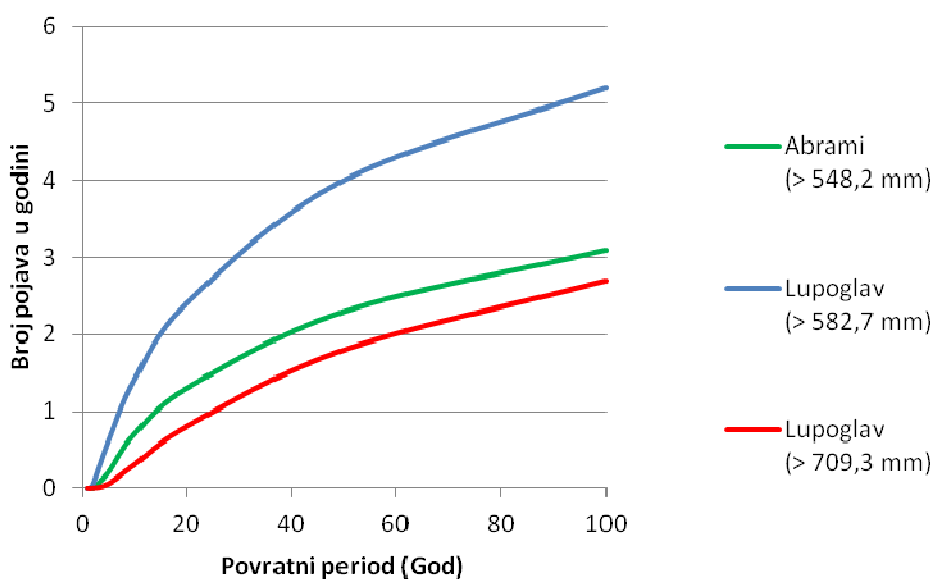
Provedena je ocjena vjerojatnosti pojave tromjesečnih oborina koje prelaze kritičnu vrijednost, pri čemu je korištena dvoparametarska Gama funkcija kao generalno najbolje prilagodljiva serijama ulaznih podataka, prema provedenom testiranju testom Smirnov-Kolmogorova (*Jevđević 1977, Salas i dr. 1990*) te  $\chi^2$ -testom (tablica 6.7, slika 6.15). Vidljivo je da zabilježeni ekstremi na pojedinim postajama imaju sličan karakter pojave.

Tablica 6.8 Vjerojatnost godišnje pojave uzastopnih mjeseci s količinama oborine većim od kritične vrijednosti zabilježene pri klizanjima većih razmjera

Vjerojatnost (%)	Povratni period (god)	Abrami (> 548,2 mm)	Lupoglav (> 582,7 mm)	Lupoglav (> 709,3 mm)
1	100	3,1	5,2	2,7
2	50	2,3	4	1,8
5	20	1,3	2,4	0,8
10	10	0,7	1,4	0,3
20	5	0,2	0,6	0,05
50	2	0	0,04	0
99,99	1	0	0	0

U slučaju klizišta Krbavčići (1979.), količina registriranih oborina sličnih onima u vrijeme nastanka klizanja na mjerodavnoj mjernoj postaji Abrami u razdoblju 1961.-2009. je bilo ukupno 11 (slika 6.14, tablica 6.6). Maksimalno zabilježeni godišnji broj

pojava tromjesečnih razdoblja bio je registriran u 1993. godini ukupno tri puta, što je vrlo blizu 100-godišnjeg povratnog perioda. Za klizište Brus registrirana kritična kumulativna količina tromjesečnih oborina na mjerodavnoj postaji Lupoglav iznosi pet puta u 1965. godini, što je također blizu proračunatog 100-godišnjeg povratnog perioda. Za klizište Juradi također je kao mjerodavna odabrana postaja Lupoglav, a najvećoj zabilježenoj pojavi uzastopnih razdoblja s tromjesečnim sumarnim količinama većim od registriranih u 2010. godini iznosi tri, što ukazuje na povratni period duži od 100-godišnjeg.



Slika 6.15 Prikaz proračunatog broja pojava kumulativne oborine koja premašuje kritičnu tromjesečnu vrijednost u jednoj godini, u ovisnosti o povratnom periodu

Analizom povratnih perioda oborina zaključeno je da pojava događaja s tromjesečnim velikim oborinama >550 mm (kritična vrijednost za klizište Krbavčići) ima karakter ~15 godišnjeg povratnog perioda na području utjecaja mjerne postaje Abrami; >580 mm (kritična vrijednost za klizište Brus) karakter ~7 godišnjeg povratnog perioda, a >700 mm (kritična vrijednost za klizište Juradi) karakter ~25 godišnjeg povratnog perioda na području utjecaja mjerne postaje Lupoglav (slika 6.15). Dobivene vrijednosti ujedno predstavljaju vremensku komponentu hazarda, koja ako se poveže s prostornom vjerojatnošću pojave klizanja (kartom podložnosti klizanju) daje kartu hazarda s povratnim periodima vjerojatnosti pojave događaja koji bi pokrenuo klizanje u određenim dijelovima istraženog područja. U ovim analizama nisu isključeni događaji u kojima je kontinuitet kišnih dana prekinut većim brojem sušnih dana, pa se može pretpostaviti da bi se isključivanjem takvih događaja dobio i veći povratni period, što je vidljivo na dijagramu prikazanom na slici 6.15.



## 7 DISKUSIJA

Većina današnjih procjena hazarda klizanja temelji se na pretpostavci da će se budući pokreti vjerojatno pojaviti pod uvjetima sličnim onima koji su doveli do prijašnjih klizanja (*Varnes i dr. 1984, Carrara i dr. 1991, Hutchinson 1995, Carrara i dr. 1995, Aleotti i Chowdhury 1999, Guzzeti i dr. 1999, Zezere i dr. 2004*).

Budući da je broj ulaznih parametara u analizama hazarda vrlo velik, za njihovo pohranjivanje i obradu neophodno je korištenje geografskog informacijskog sustava (GIS-a). Većina podataka o klizištima prikuplja se tradicionalnim terenskim istraživanjem odnosno geološkim kartiranjem. Korištenje GIS-a omogućuje jednostavno dobivanje morfoloških faktora klizanja (nagib i orijentacija kosine), sustavno pohranjivanje i prikaz podataka. Pritom je rezolucija i kvaliteta ulaznih podataka od najveće važnosti za točnost analiza i procjenu pojave hazarda klizanja.

Dio ulaznih podataka za provedbu prethodno opisanih analiza dobiven je interpretacijom postojećih karata (geološka karta, topografska karta, ortofoto snimci, aerofoto snimci i dr.), koje su ponekad dosta neprecizne zbog malog mjerila (npr. mjerilo geološke karte je 1: 100,000), pa ih treba razmatrati vodeći računa o preciznosti podataka. Osim te nepreciznosti u ulaznim podacima, treba reći da stereoskopska interpretacija parova avionskih snimaka, koja je korištena kao primarna metoda izrade inventara klizišta, u kombinaciji s podacima dobivenim iz postojećih elaborata i terenskom provjerom rezultata, ovisi o iskustvu i subjektivnoj procjeni istraživača, pa je moguće da je broj postojećih klizišta nešto veći od zabilježenog u inventaru klizišta.

Tijekom početne faze prikupljanja i izrade baze podataka o klizištima, analizirana je i morfološka sličnost klizišta s obzirom na debljinu naslaga iznad osnovne stijene, visinu podzemne vode i nagib terena na kojem se pojavljuju. Uspostavljeni odnosi uključeni su u analize kao srednje vrijednosti za područja na kojima nije bilo točnih podataka. Provedene analize povezale su postojeće podatke o stanju na kosini: geotehničkim značajkama naslaga, geološkoj građi, geomorfološkim značajkama, hidrološkim značajkama i utjecaju oborina na pokretanja klizišta na području flišnih kosina središnje Istre. Osnova brojnih metoda procjene podložnosti klizanju određenog područja je identifikacija faktora klizanja i kombinacije njihovog utjecaja na pokretanje klizišta. Analizama je utvrđeno da su nepovoljni hidrološki

uvjeti, zajedno s nepovoljnim nagibom i orijentacijom kosine glavni faktori utjecaja na stabilnost kosina u naslagama fliša.

Provedena bivarijantna statistička analiza podložnosti klizanju za područje istraživanja kraj Grada Buzeta povezala je postojeće geološke, geomorfološke, hidrološke i antropogene uvjete, gdje je GIS korišten za izradu seta ulaznih karata, izvođenje karte nagiba i orijentacija kosine kao i dobivanje izlazne karte podložnosti klizanju, te deterministički 3D model simulacije početka klizanja baziran na geotehničkim parametrima i utjecaju podzemne vode, iz čega su izvedeni glavni zaključci o metodologiji procjene hazarda pojave klizanja u flišu. Analiza pojedinačnog klizišta na određenoj lokaciji uključuje kartiranje područja, uzimanje i ispitivanje uzoraka tla, te analiziranje stanja stabilnosti kosine. Regionalna analiza podložnosti ili hazarda klizanja je manje precizna i više indikativna, što treba imati na umu pri interpretaciji dobivenih rezultata. Determinističke metode za procjenu hazarda klizanja ovise o razumijevanju uzroka klizanja. Faktori kao kohezija ili porni pritisak izravno utječu na čvrstoću materijala u kosini, ali oni su ili mogu biti pod utjecajem drugih faktora klizanja (npr. porni pritisak je povezan s infiltracijom oborina u tlo, što je nadalje povezano s gustoćom biljnog pokrivača itd.). Takve lančane povezanosti mogu biti kritične u varijacijama stanja stabilnosti kosina s vremenom.

Rezultati prostorne statističke analize u GIS-u prikazani su u tablici 8.1 gdje se mogu vidjeti ukupne veličine površina, veličina površina zahvaćenih nekim razredom podložnosti klizanju te veličina površina kojoj prijete neka od razina opasnosti od klizanja. Potvrđeno je da je flišna geološka jedinica koja pokriva 75% ukupnog analiziranog područja podložna klizanju i ustanovljene su kombinacije faktora koje ukazuju na hazard pojave klizanja u flišu. Podložnost klizanja u šumskim područjima je visoka, dok je podložnost klizanju unutar obradivih površina klasificirana kao srednja umjerena, a u urbaniziranim područjima kao niska. Podložnost klizanju na području 50 m od vodotoka varira od visoke do umjerene.

Analizirana je podložnost klizanja unutar pojedinih razreda odabranih raspona nagiba kosine. Neki autori su razrede nagiba klasificirali prema iskustvenim podacima temeljenim na dugogodišnjem iskustvu istraživanja problema nestabilnosti u flišu (*Bognar 1992*) i utvrdili da se u pokrivaču pojava puzanja i klizanja javlja unutar raspona 12-20°, što približno odgovara rasponu dobivenom u istraživanju hazarda klizanja u flišu središnje Istre gdje je dobiveno da raspon nagiba 10-15° ima

visoku podložnost klizanju. Također je utvrđeno da kosine s rasponom nagiba 15-50° imaju vrlo visoku podložnost klizanju, a prema iskustvima drugih (Bognar 1992) na kosinama s rasponom nagiba 20°-55° je moguća ekstremna erozija i planarni ili klinasti slomovi te prevrtanje na ogoljelom flišu. Prema Bognaru (1992) na kosinama s rasponom nagiba >55° nema očekivanih geomorfoloških procesa, što je slično dobiveno i u ovom radu gdje je utvrđeno da kosine s nagibom >50° imaju malu podložnost klizanju. S obzirom na uvažavanje geomorfoloških osobitosti područja, uvjete zadržavanja vode (otjecanja), pa tako i zadržavanja materijala na kosini, moguće je unutar usvojenih razreda nagiba napraviti podrazrede s detaljnijom podjelom.

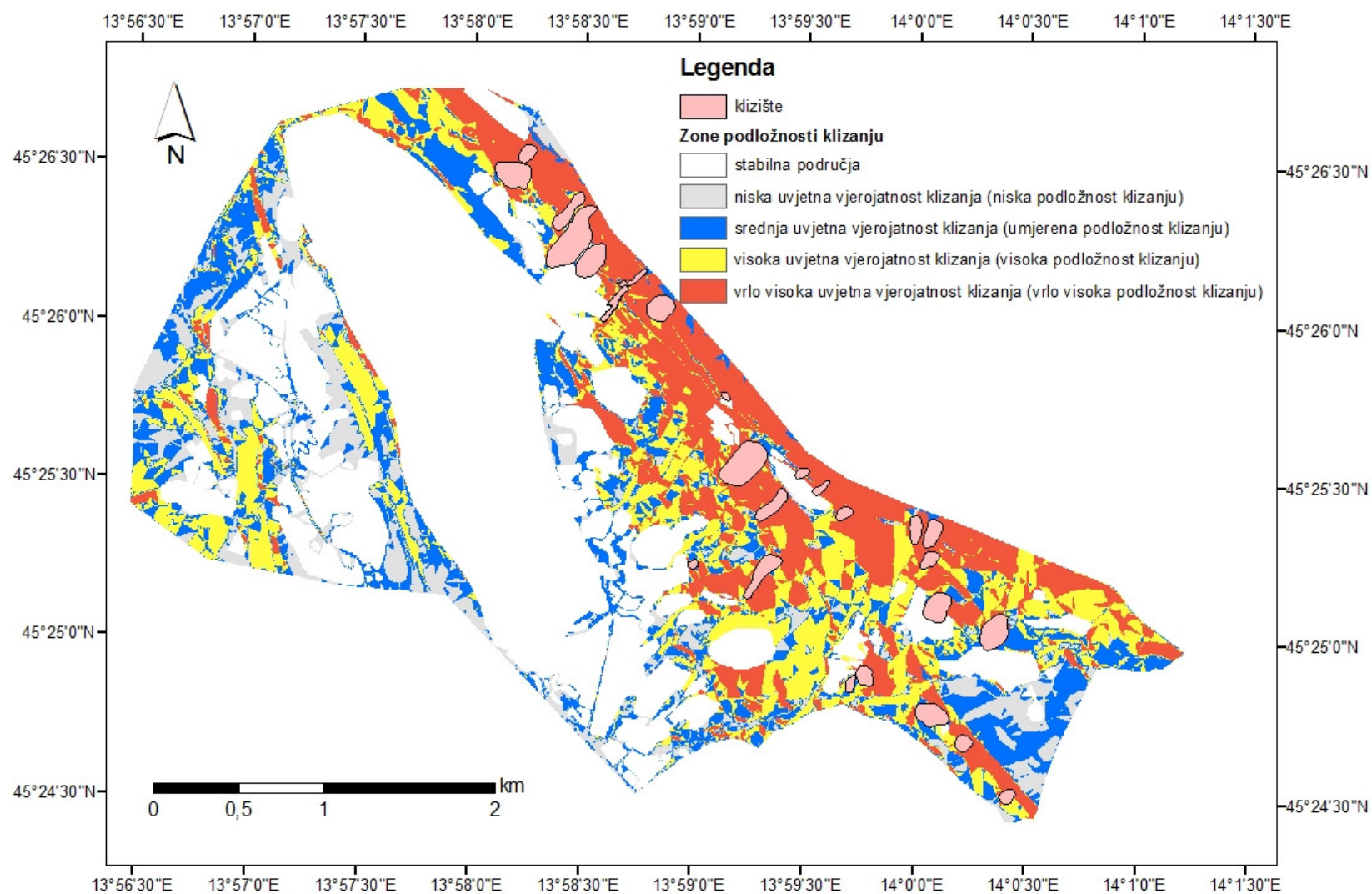
Tablica 7.1 Površine koje su obuhvaćene određenim razredom podložnosti klizanju prema bivarijantnoj statističkoj analizi provedenoj u GIS-u

Zona uvjetne vjerojatnosti klizanja	Ukupna površina (km <sup>2</sup> )	Površina obuhvaćena klizanjem (km <sup>2</sup> )	Površina kojoj prijete klizanje (km <sup>2</sup> )
1-Niska	1.102	0.004	1.098
2-Umjerena	1.839	0.038	1.801
3-Visoka	2.009	0.064	1.945
4-Vrlo visoka	2.194	0.226	1.968
Σ	7.144	0.332	6.812

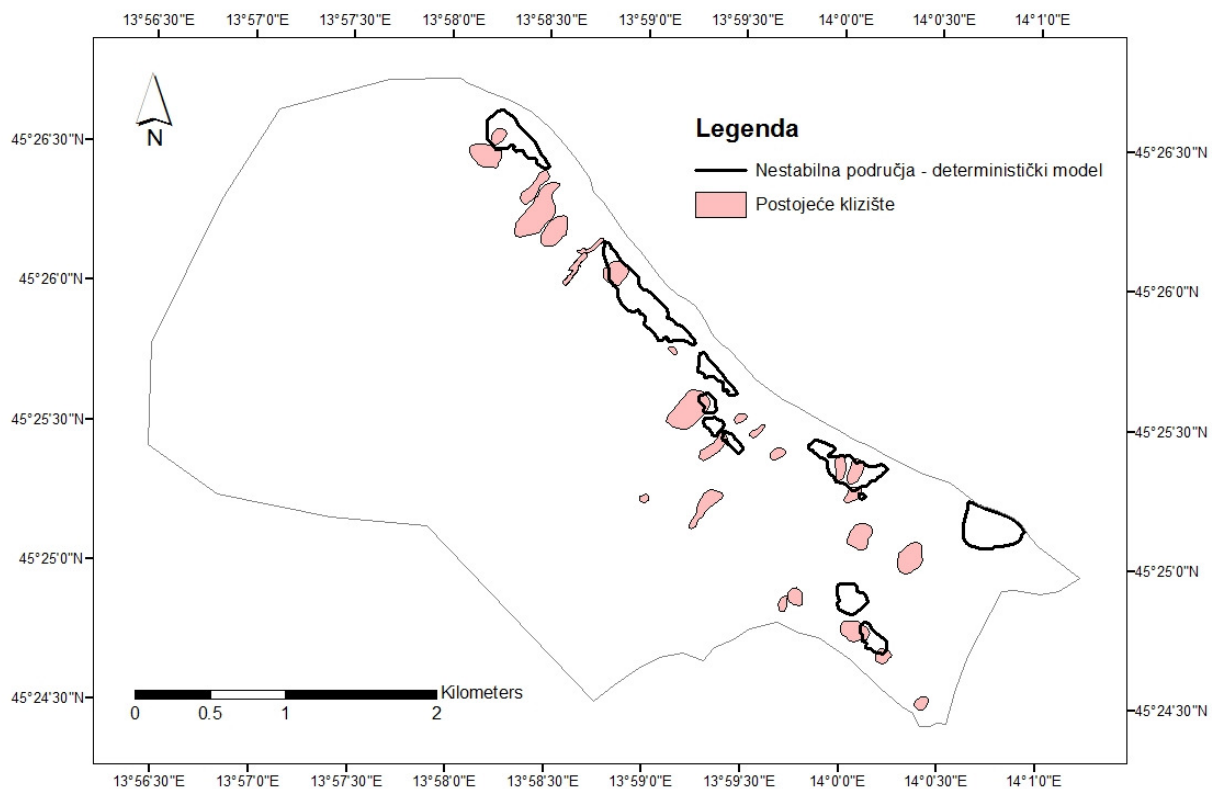
Usporedbom karte uvjetne vjerojatnosti odnosno podložnosti klizanju dobivene analizama u GIS-u i inventara klizišta dobivenog stereoskopskom interpretacijom aerofotogrametrijskih snimaka (slika 7.1) može se zaključiti da su se klizišta dogodila u području vrlo visoke do visoke podložnosti klizanju, ali i da ona zauzimaju manji dio površine koja je klasificirana u neki od četiri razreda podložnosti klizanju (~5%) (tablica 7.1). To znači da se na 95% površine koja je klasificirana u neki razred podložnosti klizanju još uvijek nije pojavilo klizište.

Iz rezultata determinističkih 3D analiza za područje istraživanja provedenih u softveru LS-Rapid, vidljivo je da je kritično područje za pojavu klizanja, s visokom podložnosti klizanju, kontaktna zona fliša i vapnenaca na sjeveroistoku područja istraživanja (slika 7.2). Dio terena sjeveroistočno od zone kontakta izgrađen je u vapnenačkom masivu Čićarije, gdje započinju vrlo strmi nagibi terena, često s vertikalnim liticama, pa klizanje u tom području nije vjerojatno, a mogući su tipovi nestabilnosti karakteristični za stijensku masu. Jugozapadno od zone kontakta,

nastavljaju se znatno blaži nagibi terena formirani u flišnim naslagama, na kojima je klizanje rjeđe, ali je moguće, što je vidljivo i iz rezultata provedenih analiza. Područja koja su analizom klasificirana kao nestabilna, a na kojima se klizanje još nije dogodilo, procijenjena su kao visoko podložna klizanju ukoliko se ostvare utvrđeni potrebni uvjeti pokretanja klizišta u smislu podizanje razine podzemne vode u pokrivaču. Kako nakon pojave klizanja nastupa promjena geometrije, time prestaje opasnost od klizanja. Klizanjem materijala i zauzimanjem novog položaja na kosini povećava se čvrstoća tla na kliznoj plohi i materijalu kliznog tijela, te se smanjuje podložnost terena budućim pojavama klizanja. Iz tog su razloga neka područja na kojima su se klizišta dogodila u modelu prikazana kao stabilna. Važno je napomenuti da su vrijednosti debljine pokrivača i parametara čvrstoće u modelu generalizirane pa su za precizniju determinističku analizu i pouzdanije rezultate nužni detaljniji ulazni podaci, a to znači detaljnija ispitivanja. Točnost rezultata determinističkih analiza biti će time veća što je veći obim i točnost ulaznih podataka, ali to vrijedi za svaku metodu istraživanja.



Slika 7.1 Karta podložnosti klizanju dobivena bivarijantnom statističkom analizom u GIS-u preklapljena s inventarom klizišta



Slika 7.2 Usporedba rezultata determinističke analize procjene hazarda klizanja i lokacije postojećih klizišta

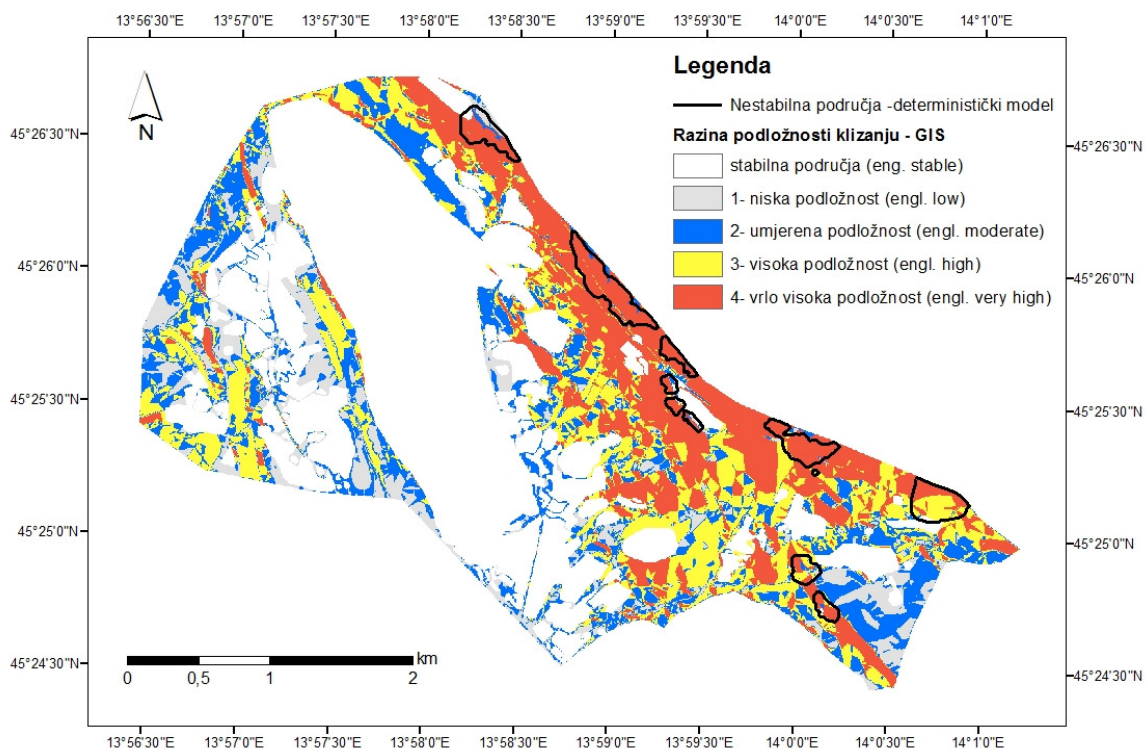
Usporedbom izdvojenih područja od posebnog značaja, tj. karte namjene površina iz Prostornog plana uređenja Grada Buzeta (prema stručnoj dokumentaciji [9] i [10]) s područjima podložnim klizanju dobivenim determinističkom analizom u softveru LS-Rapid, zaključeno je da je oko 5% tih područja klasificirano kao podložno klizanju. Taj je podatak važan u upravljanju zemljištem i prostornom planiranju, a s ekonomskog aspekta u interesu je da je područje podložno klizanju vrlo precizno označeno.

Validacija ili ispitivanje funkcionalnosti rezultata modela u stvarnim uvjetima upotrebe daje nam odgovor na pitanje „Da li je model dobar?“. Važni su uvjeti koji postoje na području istraživanja jer oni ukazuju na ispravnost modela, pa je odabir točnih ulaznih podataka uvjet za ispravan rad modela (*Guzzetti 2005*). Područja koja su klasificirana kao visoko podložna klizanju, iz analiza podložnosti klizanju provedenih u GIS-u preklapaju se s pozicijama aktivnih i umirenih klizišta, pa se može zaključiti da ulazni parametri u provedenim analizama podložnosti klizanju odgovaraju stvarnim uvjetima na analiziranom području. Iz rezultata determinističkih

analiza na području istraživanja provedenih u programu LS-Rapid, vidljivo je da je područje podložno klizanju potvrđeno inventarom klizišta odnosno stereoskopskom interpretacijom aerofotogrametrijskih snimaka, obilaskom terena i obradom postojećih podataka iz geotehničkih elaborata o istraženim klizištima. Dakle klizišta su se u zonama osjetljivim na klizanje prema determinističkim analizama dobivenim u modelu, stvarno dogodila u prošlosti, a kako je provedenim analizama potvrđena pretpostavka da se pokreti na kosinama pojavljuju u uvjetima sličnim onima koji su doveli do prijašnjih klizanja (engl. *past and present are keys to the future*), može se reći da površine modela osjetljive na klizanje, a na kojima još nije bilo klizišta predstavljaju područja ugrožena hazardom klizanja u budućnosti.

Usporedbom rezultata statističkih bivarijantnih analiza podložnosti klizanju provedenih u GIS-u i rezultata 3D determinističkog modela (slika 7.3) vidljivo je da na dijelu područja na karti podložnosti klizanju dobivenoj statističkim analizama, koji je ocijenjen kao visoko podložan klizanju, prema determinističkim analizama stabilnosti ne može doći do klizanja čak ni kada razina podzemne vode dođe do površine terena (za koeficijent saturacije  $r_u=0,6$ ), što bi značilo da za to ne postoji nikakva opasnost od mogućeg klizanja. Ova, ali i brojne druge činjenice koje su proizašle iz usporedbe rezultata analiza dobivenih statističkim bivarijantnim prostornim analizama i determinističkim analizama i stvarnog stanja na terenu, ukazuju na zaključak da se deterministička analiza procjene pojave hazarda u flišu može usvojiti kao pouzdana metoda procjene hazarda. Za razliku od determinističkih metoda, statističke prostorne analize, zbog brzih promjena u uvjetima koje događaju na naslagama u flišu, daju u određenim uvjetima nerealne rezultate u oba smjera, i metodološki nisu, bez dodatnih provjera i lokalnih poboljšanja, pouzdane za procjenu hazarda pojave klizanja na naslagama fliša.





Slika 7.3 Usporedba rezultata statističke analize provedene u GIS-u i rezultata determinističke analize procjene hazarda u programu LS- Rapid

Procjena hazarda klizanja bi trebao biti otvoren proces koji omogućuje ažuriranje prema potrebi, a podaci o učestalosti i prostornoj raspodjeli klizišta morali bi uvijek biti otvoreni za reviziju i proširenje u slučaju nastanka novih klizišta ili novih saznanja o neaktivnim klizištima. Opće je poznato da početna procjena geotehničkih parametara za određeno područje ne može biti i ne mora biti dovoljno točna. Sustavne pogreške utječu na pouzdanost proračuna, pa je nužna provjera i promjena podataka s vremenom. Zbog toga je potrebno razviti procese i metode za obnavljanje podataka koji se tiču i stabilnih područja i područja koja su u prošlosti već bila izložena klizanju.

Nedostatak primijenjenih trodimenzionalnih metoda analize stabilnosti, odnosno determinističke analize hazarda klizanja je nepostojanje točnijih podataka o razinama podzemne vode i moguće dubine klizne plohe. Točnija primjena ove metode je ograničena na manja područja s homogenim geološkim, geomorfološkim i geotehničkim parametrima. Deterministički model procjene hazarda korišten je na području koje u tom pogledu ipak nije dovoljno homogeno, pa bi za detaljnije analize bilo potrebno točnije utvrditi parametre tla i koristiti se generalizacijom o položaju klizne plohe u manjoj mjeri. Osim toga indikator pojave klizanja, u ovom slučaju faktor

sigurnosti, ne uzima u obzir varijabilnost geotehničkih značajki tla, od kojih neke variraju i u veličini i s vremenom. Uzimajući u obzir povezanost s oborinama, deterministički model bi bio kvalitetniji na razini manje lokacije, u velikom mjerilu, što bi omogućilo bolje opisivanje modela. Prostorna i vremenska raspodjela površnih pritiska se također je promjenjiva veličina. Povezivanje hidroloških modela s modelima stabilnosti kosine u izradi karata hazarda na lokalnoj razini, zahtjeva podatke visoke kvalitete (detaljan digitalni model terena, relativno ujednačene uvjete u tlu, tipove klizišta koje je lako analizirati i dobro ustanovljeni odnos između oborina i promjena razine podzemne vode).

Nesigurnosti vezane za debljinu pokrivača mogu se umanjiti dodatnim istraživanjima ili razradom modela debljine pokrivača (*Dietrich i dr. 1995, Heimsath i dr. 2001*) i njegove povezanosti s faktorom sigurnosti. Potrebno je provesti točnija mjerenja parametara relevantnih za proračun faktora stabilnosti, ali isto tako i prikupiti veću količinu podataka o mjerenim oborinama koje su ključne za analizu vremenske komponente hazarda klizanja. Daljnja preporuka bila bi izrada hidrološkog modela (jedno, dvo ili trodimenzionalni model, *Okimura i Kawatani 1987, Terlien i dr. 1995, Terlien 1996*), kojim bi se simuliralo kretanje podzemne vode, definirano topografijom terena, podzemnim tokovima, vodopropusnosti (hidrauličkom konduktivnosti) naslaga i drugim relevantnim parametrima, te njeno potvrda mjerenjem infiltracije i razina podzemne vode na terenu.

Na osnovi postojećih podataka iz literature analizirana je pojava klizišta, napravljen je pregled tipova, mehanizama i pokretača klizanja na flišnim kosinama u različitim zemljama Europe u kojima su prisutne naslage fliša. Može se zaključiti da su glavni tipovi pojave nestabilnosti na flišnim kosinama blatni tokovi i plitka klizišta (<3m) u površinskim slojevima te duboka klizišta s kliznom plohom unutar flišne stijenske podloge, a glavni pokretači klizanja su oborine, topljenje snijega i rjeđe potresi (Italija). *Rhenodanubian fliš* u bečkoj šumi (Vienna Forest, Austrija), sastoji se od slojeva pješčenjaka, laporovitih škriljavaca, kalcitičnih lapora i glinovitog škriljavca pokrivenog s periglacialnim naslagama i depozitima lesa (*Damm i Terhorst 2007, Terhorst i Damm 2009*). Nestabilnosti u ovim naslagama najčešće se javljaju kao plitka klizišta, a rjeđe kao blatni tokovi ili odroni. Uzrok klizanja su erozijski procesi u slojevima lesa, procesi trošenja i dekompozicije gornje zone flišne stijenske podloge. Pokretači klizanja su oborine i topljenje snijega uslijed kojih se površinska voda

infiltrira kroz površinske slojeve lesa i uzrokuje povećano vlaženje. U prijelazu od čvrste prema žitkoj konzistenciji čvrstoća periglacialnih glina i lapora brzo opada i dolazi do pojave klizanja. Odnos kumulativnih oborina i količine snijega koji se topi, te prethodnih kumulativnih oborina koje su pokretač klizanja, nisu istraživane na ovom području.

Flišni pojas vanjskih zapadnih Karpata u Češkoj sastoji se od jako ispucane stijenske jedinice s različitim sadržajem škriljavaca, pješčenjaka i glinaca Mezozojske i Tercijarne starosti, pokrivene različitim tipovima materijala koluvija, većinom glinovitog sastava s nešto zrna šljunka (*Klimeš i dr. 2009*). Nestabilnosti se događaju u obliku plitkih klizišta, dubokih klizišta i tokova nekoherentnog krupnozrnastog materijala tla (*Bil i Müller 2008*). Pokretači klizanja su oborine, topljenje snijega i infiltracija vode kroz relativno slabo propustan koluvijalni pokrivač, do slabo propusne flišne stijenske mase. Na pokretanje dubokih klizišta utječu dugotrajne oborine (do nekoliko mjeseci prije klizanja) izražene kao ukupne kumulativne količine oborina (*Baron i dr. 2004*). Plitka klizišta su obično puno brža i događaju se poslije kratkog razdoblja intenzivnih oborina (*Klimeš i dr. 2009*). U poljskim Karpatima flišnu stijensku masu predstavljaju glinoviti škriljavci s proslojcima pješčenjaka, pokriveni s različitim tipovima koluvijalnog materijala i trošnih škriljavaca (*Gil i Dlugosz 2006, Gil i dr. 2009*). Nestabilnosti se događaju u vidu plitkih klizišta, dubokih klizišta te tokova prašinstog sitnozrnastog i nekoherentnog krupnozrnastog tla (engl. *mud and debris flow*) (*Gil i dr. 2009*). Klizišta se obično događaju kada su kosine saturirane vodom, a pokretanje klizanja je u funkciji saturacije pokrivača prije klizanja, upojnog kapaciteta podloge, odnosa površinskog i podpovršinskog otjecanja te evapotranspiracije (*Gil 1997*). Brze i intenzivne oborine kao i postojanje vododerina su glavni pokretači blatnih tokova. Kontinuirane oborine koje su trajale od jednog do pet dana dovele su do saturacije i povećanja razine podzemne vode uzrokujući klizišta i ekstremne poplave. Dugotrajne oborine (25 do 45 dana) s velikim kumulativnim vrijednostima prethodnih oborina uzrokovale su dublju saturaciju što je dovelo do dubokih klizanja u trošnim zonama stijenske podloge (*Gil 1997, Gil i Dlugosz 2006*).

Većina stijena koje izgrađuju sjeverne Apenine u pokrajini Emilia–Romagna u Italiji, građene su od flišnih stijena gornje krede i tercijara i poznate su kao *gornjokredni ligurski fliš*, *Helmintoid fliš* ili *ligurski tercijarni fliš*. Ove flišne stijene izgrađene su od škriljavaca i lapora, a pokrivene različitim tipovima koluvijalnog

materijala (*Tosatti i dr. 2008, Bertolini i dr. 2005*). Flišni depoziti u južnim Apeninima jugoistočno od Napulja izgrađeni su od glinovitih lapora, škrljavaca, vapnenaca i pješčenjaka gornjokredne do paleocenske starosti (*Polemio 1997*). Nestabilnosti se događaju kao plitka i duboka klizišta koja dalje uzrokuju nastanak tokova sitnozrnastog materijala (*Tosatti i dr. 2008, Polemio 1997*). Pokretači klizanja su oborine i topljenje snijega (*Bertolini i dr. 2005, Polemio 1997*), kao i potresi. Za veliki broj klizišta bitan pokretač je kumulativna količina oborina u razdoblju koje je prethodilo klizanju i uzrokovalo saturaciju tla i povećanje površnih pritisaka (*Tosatti i dr. 2008*). Plitka klizišta i blatni tokovi uzrokovani su dugim vremenskim kišnim razdobljima ili kratkotrajnim intenzivnim oborinama. Glavnu ulogu u (re)aktivaciji velikih klizišta u sjevernim Apeninima odigrale su oborine kroz duže razdoblje od 15 do 60 dana (*Tosatti i dr. 2008*). *Polemio (1997)* je uočio da su glavni pokretač klizišta u južnim Apeninima oborine nakon dugog razdoblja od 180 do čak 360 dana.

Zona Eocenskog fliša u zapadnom dijelu Slovenije sastoji se od slojeva lapora i pješčenjaka debljine sloja od nekoliko centimetara do nekoliko metara, pokrivenih heterogenim koluvijalnim materijalom različite debljine (*Logar i dr. 2005*). Nestabilnosti se događaju u vidu klizišta i blatnih tokova (*Logar i dr. 2005, Mikoš i Majes 2010*), a okidači su oborine i topljenje snijega, akumulacija površinskih voda i infiltracija koja povećava vlaženje i uzrokuje prijelaz iz čvrstog u plastično do žitko stanje konzistencije. (Re)aktivacija klizišta uzrokovana je dugotrajnim oborinama i visokim kumulativnim vrijednostima (*Logar i dr. 2005*).

Dakle, razdoblje kumulativnih oborina koje je uzrokovalo početak klizanja na flišnim kosinama u drugim europskim zemljama u geološki slično izgrađenim flišnim kosinama se razlikuje: 25 do 45 dana u Karpatima u Poljskoj (*Gil i Dlugosz 2006*); 15 do 60 dana u sjevernim Apeninima u Italiji (*Tosatti i dr. 2008*); 30 do 60 dana u južnim Apeninima u Italiji (*Polemio 1997*); 25 dana za klizište Slano Blato u Sloveniji (*Logar i dr. 2005*); i nekoliko mjeseci u zapadnim Karpatima u Češkoj (*Klimeš i dr. 2009*). Duže razdoblje između 180 i 360 dana akumuliranih oborina u slučaju većih klizišta u južnim Apeninima istraživao je *Polemio (1997)*. Rasap rezultata ovisi o različitim regionalnim i lokalnim uvjetima, ali glavni uvjeti povezani s vremenom aktivacije klizanja su uvjeti stupnja infiltracije.

Klizišta u Istri većinom su uzrokovana velikim oborinama i/ili ljudskim aktivnostima koje značajno mijenjaju geometriju kosine i/ili pomažu zadržati

površinske vode u zoni klizanja (*Arbanas i dr. 2007*). Utjecaj ostalih faktora, kao što su topljenje snijega ili potresi nisu uzeti u obzir zbog klimatskih uvjeta s malo snježnih oborina i izostanka seizmičke aktivnosti. Istarski poluotok nema značajke osobito aktivnog seizmičkog područja. Ipak, slabije epicentralne zone nalaze se u dolini Raše, kod Lupoglava i u predjelu Ćićarije. Seizmički valovi najčešće mogu doprijeti i iz jačih epicentralnih područja kao što je riječko, ili udaljenijih: furlanskog i ljubljanskog (*Herak i dr. 1996*). Prema karti potresnih područja Republike Hrvatske potresom prouzročeno horizontalno poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla ( $a_{gR}$ ) za temeljno tlo tipa A, za povratno razdoblje potresa TDLR = 95 godina, na području Istre iznosi  $a_{gR} = 0.06g$ , odnosno za povratno razdoblje potresa TDLR = 475 godina, s vjerojatnosti premašaja 10 % u 50 godina iznosi  $a_{gR} = 0.10g$ .

Zbog različitih mehanizama pojedinih tipova nestabilnosti, razlikuju su i njihove reakcije na prethodne oborine, kao glavnog pokretača klizišta na flišu u Istri. Pri tome je naglašeno prisutan kumulativni učinak oborina – aktiviranje klizišta kao posljedica oborina tijekom dužeg kontinuiranog razdoblja koje je prethodilo pojavi klizanja. U tlu s niskim vrijednostima upojnosti, kumulativne oborine koje prethode događaju klizanja su presudan faktor pokretanja klizišta jer podizanjem razine podzemne vode utječu na smanjenje procesa sukucije i povećanje pornih pritisaka (*Aleotti 2004, D'Amato Avanzi i dr. 2004*). Zbog složenosti procesa pojava nestabilnosti, a često i zbog nepostojanja točnog podatka o vremenu aktiviranja klizišta, uspostava korelacija između prethodnih oborina i pojave početka klizanja je otežano. Iz provedenih analiza zaključeno je da kumulativna količina oborina u približno tri mjeseca koja su prethodila klizanju, s relativno visokim mjesečnim količinama oborina i velikim brojem kišnih dana, ima najveći utjecaj na podizanje razine podzemne vode. To razdoblje varira od 70 do 100 dana, ovisno o lokalnim meteorološkim, geološkim i hidrološkim uvjetima, vegetaciji, namjeni zemljišta i evapotranspiraciji, kao i kumulativnim vrijednostima oborina. Također je utvrđeno da su analizirana klizišta aktivirana najčešće tijekom zime, kada je broj kišnih dana tijekom tromjesečnog razdoblja bio velik, a evapotranspiracijske vrijednosti male. Općenito se može reći da je broj klizišta najznačajniji u razdoblju od studenog do svibnja, a manji je u razdoblju od svibnja do listopada.

Ukupne kumulativne vrijednosti oborina u 12 mjeseci koji su prethodili klizanju, kao i maksimalne mjesečne, tjedne i dnevne količine nemaju značajan utjecaj na

početak klizanja. Iz analiza kumulativnih količina oborina unutar 90 dana prije pokretanja klizišta može se vidjeti da su klizišta nastupila kada su vrijednosti kumulativnih količina oborina dosegle vrijednosti između 250 i 600 mm. Zbog nedostatka podataka o infiltraciji i promjenama u razini podzemne vode teško je definirati vrijednost koja predstavlja kritičnu vrijednost (engl. *threshold*) za početak klizanja na flišnim kosinama Istre. Unatoč tome, važan je podatak da se klizanje događa nakon tromjesečnog kišnog razdoblja gotovo svakodnevnih oborina. Ovo razdoblje ukazuje na uvjete u kojima se povećava hazard od klizanja, što zahtjeva početak pojačanog monitoringa i predstavlja vrlo značajan faktor pri odlučivanju u okviru upravljanja rizikom (*Giannecchini i dr. 2012*). Zbog nedostatka podataka o količini infiltriranih oborina nije moguće povezati oborine s porastom razine podzemne vode, a samim time i povećanjem pornih pritisaka te smanjenjem čvrstoće materijala u kosini. Ukupan broj dana u kojima oborine koje prethode klizanju utječu na pojavu klizanja, varira i s obzirom na debljinu pokrivača i njegovu saturaciju (*Terlien 1997*), kao i vodopropusnost (hidrauličku konduktivnost) naslaga (*Iverson 2000*), pa će to biti potrebno uzeti u obzir u budućim složenijim analizama utjecaja prethodnih kumulativnih oborina na pojavu klizanja.

U provedenim analizama nije razmatran prekid kontinuiteta oborina s manjim brojem sušnih dana. *Brunetti i dr. 2010.* u obzir uzimaju dvodnevni prekid oborina u razdoblju od svibnja do rujna, te četverodnevni prekid oborina u razdoblju od listopada do travnja kao mjerodavan prekid između dvije značajne oborine. Teško je utvrditi koji je točno broj dana bez kiše dovoljan da bi se neki događaj izbacio iz analize kao nekontinuiran. U analizi povratnih perioda takvi kriteriji nisu korišteni.

Povezivanjem prostornih parametara i povratnih perioda dugotrajnih i kontinuiranih oborina, dobivena je vremenska komponenta hazarda istraživanog područja. Povratni periodi su proračunati na osnovi podataka o oborinama s raspoložive mjerne postaje i prikazani su na dijagramu (slika 6.15). Iz analiza povratnih perioda zaključuje se da pojava događaja s tromjesečnim kontinuiranim oborinama ima različit karakter na području utjecaja pojedine mjerne postaje. Proračunat je ~15 godišnji povratni period za kumulativnu tromjesečnu oborinu koja prelazi 550 mm, na području utjecaja mjerne postaje Abrami. Na području utjecaja mjerne postaje Lupoglav proračunat je ~7 godišnjeg povratnog perioda za kumulativnu oborinu >580 mm karakter i ~25 godišnji povratni period za kumulativnu

tromjesečnu oborinu  $>700$  mm. Iz svega se može zaključiti da se karakter oborina koje prethode klizanju razlikuje na ukupnom području istraživanja flišnih kosina središnje Istre, te da je potrebno određeni događaj klizanja povezati s mjerodavnom mjernom postajom i veličinom kritične vrijednosti kumulativnih oborina koje su bile pokretač nekog klizišta u tom području. Na taj način bi se dobila okvirna vrijednost povratnog perioda odnosno vremenska vjerojatnost pojave sličnog događaja.

U cilju da se usporede rezultati dobiveni na području Istre s rezultatima istraživanjima u drugim europskim zemljama u sličnim geološkim naslagama, ustanovilo se da su omjeri broja klizišta, vezanih uz jedan kišni događaj, neusporedivi. Naime, istražene baze podataka su puno veće i već dva kišna događaja u sjevernoj Toskani (jedan s 22. na 23. prosinac 2009., s kumulativnom količinom oborina od 100 do 160 mm u 11h, odnosno 10,6 mm/h i drugi događaj s 24. na 25. prosinac 2009., s kumulativnom količinom oborina od 154 mm do 264 mm u 15h, odnosno oko 11,1 mm/h) su uzrokovala preko 600 klizanja (*D'Amato Avanzi i dr. 2012*), a kišna oluja (preko 230mm oborina u 8h) početkom listopada 2009. uzrokovala je preko 500 klizišta na 60 km<sup>2</sup> na području Sicilije (*Brunetti i dr. 2010*). U Italiji je registrirano preko 850 kišnih događaja koji su rezultirali klizanjem (*Guzzetti i dr. 2008*). Osim toga podaci o oborinama na temelju kojih su provedene analize su duži i kontinuirani, a baza podataka uređenija, što je uobičajeno za zemlju kao što je Italija u kojoj je u 60-godišnjem razdoblju više od 6300 ljudi izgubilo živote kao posljedica klizanja tla (*Guzzetti 2000, Guzzetti i dr. 2005, Guzzetti i dr. 2005b, Salvati i dr. 2003, 2010*). Ono što se može usporediti na temelju provedenih analiza s obzirom na dostupnost podataka o klizištima u drugim europskim zemljama je srednja godišnja količina oborina (MAP) (slika 5.9), koja se u Italiji, na području Toskane kreće između 1300 i 1700 mm (*Giannecchini i dr. 2012*), a na području istraživanja u ovom doktorskom radu iznosi 1400 mm.

Metodologiju procjene hazarda klizanja korištenu u ovom radu moguće je koristiti na područjima sa sličnim geološkim uvjetima i uvjetima na kosinama. Siliciklastične sedimente stijene paleogenske starosti koje predstavljaju sličnu geološku građu kao područje istraživanja, rasprostranjene su gotovo u cijelom jadranskom dijelu Hrvatske. Na užem području oko Grada Rijeke protežu se zonom Klana - Dolina Rječine - Draška dolina - Bakarski zaljev - Vinodolska dolina. U tektonskom smislu ova morfostrukturna forma ima značajke uklještena sinklinale



koja se proteže pravcem sjeverozapad- jugoistok (*Blašković 1999*). Kosine oblikovane u siliciklastičnim stijenama u podnožju Ćićarije i Učke pretrpjele su morfogenetski razvoj koji je sličan kosinama u zoni Klana - Dolina Rječine - Draška dolina - Bakarski zaljev - Vinodolska dolina. S jedne strane je to intenzivna tektonska poremećenost pa stoga i deformiranost, a s druge mjestimično debele nakupine potencijalno nestabilnih deluvijalno - koluvijalnih tvorevina nastalih miješanjem materijala iz raspadnutih i erodiranih flišnih naslaga te gravitacijskog transporta krupnozrnastih fragmenata s hipsometrijski viših karbonatnih kosina (*Benac 1994, Arbanas i dr. 2006*). Udio pješčenjaka u flišnom stijenskom kompleksu opada od doline Rječine na sjeverozapadu prema Bakru. Između Bakarca i Križišća učešće tog litološkog člana se povećava, a dalje prema jugoistoku opet se mjestimično smanjuje (*Benac 1994*). Paleogenski flišni kompleks u zoni Klana - Dolina Rječine - Draška dolina - Bakarski zaljev - Vinodolska dolina, pretrpio je deformacije uslijed tektonskih pokreta. One su prouzročene stresovima promjenjivih smjerova i intenziteta. Uz izrazito boranje i rasjedanje, posljedica deformacija je nizak stupanj metamorfizma vidljiv po izraženoj kalavosti, poglavito u sitnozrnastim članovima flišnog kompleksa. Flišna stijenska masa oblikuje i sjeveroistočni dio otoka Krka te dijelove otoka Raba i Paga, kao i Dalmatinsko primorje, Makarsku rivijeru i Dubrovačko primorje. Metodologiju istraživanja posebno je moguće primijeniti na kontaktima flišnog stijenskog kompleksa i karbonatnih stijena, uvažavajući geomorfološke, geološke, a posebno klimatske osobitosti područja vezane uz oborine kao glavni pokretač kilzanja na naslagama fliša.

## 8 ZAKLJUČAK

Iz provedenih analiza mogu se izdvojiti zaključci vezani za nekoliko osnovnih cjelina:

- Uvjete i mehanizme nastanka klizanja u flišu
- Prostornu analizu podložnosti klizanja
- Deterministički model procjene pojave hazarda klizanja
- Vremensku komponentu hazarda – pokretanje klizišta

Postojanje sitnozrnastog koherentnog pokrivača iznad flišne stijenske podloge na kosini odgovarajućeg nagiba i kinematičkih uvjeta koji omogućuju pomak može dovesti do klizanja ukoliko se ostvare i drugi uvjeti koji uzrokuju pokretanje klizišta. Dovoljno duge i neprekinute oborine predstavljaju glavni pokretač malih klizišta na flišnim kosinama središnje Istre. Kretanje podzemne vode kroz pokrivač, pukotine i druge diskontinuitete u stijenskoj masi povećava porne pritiske, što utječe na smanjenje čvrstoće tla i početak klizanja.

Provedena analiza uvjetne vjerojatnosti i podložnosti klizanja na području istraživanja ukazala je da je područje istraživanja izgrađeno u naslagama fliša podložno pojavi hazarda klizanja, te da je s obzirom na namjenu zemljišta najveća uvjetna vjerojatnost klizanja u šumskim područjima. Analizirajući nagibe kosine i prisutnost klizanja, utvrđeno je da kosine s nagibom od 10 do 15° imaju visoku uvjetnu vjerojatnost klizanja, a kosine s nagibom između 15 i 50° vrlo visoku uvjetnu vjerojatnost klizanja.

Iz determinističkog modela područja istraživanja dobivenog trodimenzionalnim analizama stabilnosti korištenjem programa LS-Rapid, vidljivo je da je kritično područje za pojavu klizanja zona kontakta karbonatne stijenske mase i fliša u područja istraživanja, potvrđeno kao područje osjetljivo na klizanje bivarijantnom statističkom analizom, te postojanjem klizišta utvrđenih dokumentacijom o nastalim klizanjima, stereoskopskom interpretacijom aerofotogrametrijskih snimaka i obilaskom terena. Dakle, klizišta su se u zonama koje su determinističkim metodama analize proglašene podložnim klizanju, već dogodila.

Pokretanje klizanja u naslagama fliša u Istri posljedica je kumulativnog učinka oborina, odnosno aktiviranje klizišta je uzrokovano oborinama tijekom duljeg kontinuiranog razdoblja koje je prethodilo pojavi klizanja. Iz provedenih analiza

zaključeno je da količina oborina u tri mjeseca koja su prethodila klizanju, s relativno visokim mjesečnim količinama oborina, ima najveći utjecaj na podizanje razine infiltrirane vode. Zaključeno je da su infiltracija u nesaturirani dio pokrivača, porast razine podzemne vode, povećanje pornih pritisaka i smanjenje čvrstoće spori procesi. Dakle, duga kišna razdoblja su presudna za početak klizanja, dok kraći kišni intervali imaju značajniji utjecaj na eroziju, a manje na pojavu klizanja. Iz analiza kumulativnih količina oborina u periodu od 90 dana prije pokretanja klizišta može se vidjeti da su klizišta nastupila kada su vrijednosti kumulativnih količina oborina dosegle vrijednosti između 250 i 600mm.

Analizama povratnih perioda oborina zaključeno je da karakter oborina koje prethode klizanju razlikuje na ukupnom području istraživanja flišnih kosina središnje Istre, te da je potrebno određeni događaj klizanja povezati s mjerodavnom mjernom postajom i veličinom kritične vrijednosti kumulativnih oborina koje su bile pokretač nekog klizišta u tom području. Na taj način bi se dobila okvirna vrijednost povratnog perioda odnosno vremenska vjerojatnost pojave sličnog događaja.

Na osnovi raspoloživih ulaznih podataka i podloga procijenjena je razina hazarda pojave klizanja na flišnim kosinama Istre i određena je metodologija koja bi se mogla koristiti na terenima sličnih uvjeta, jer će se budući pokreti na kosinama vjerojatno pojaviti u sličnim uvjetima koji su doveli do prijašnjih klizanja. Determinističke analize procjene pojave hazarda u flišu s obzirom na heterogenost i brzu izmjenu uvjeta na kosinama predstavljaju pouzdanu metodu procjene hazarda, za razliku od statističkih metoda procjene hazarda kojima su dobiveni određeni nerealni i neprihvatljivi rezultati. Usporedbom karte namjene površina iz Prostornog plana Grada Buzeta, s područjima podložnim klizanju na području istraživanja, a prema provedenoj determinističkoj analizi zaključeno je da je oko 5% područja klasificirano kao podložno klizanju, što je znatno manja površina od one dobivene statističkom analizom. Iako su determinističke metode zahtjevnije i zahtijevaju znatno veći obim istražnih radova od statističkih metoda procjene, rezultati su znatno objektivniji i daju znatno preciznije rezultate, što omogućuje optimalno gospodarenje zemljištem i prostorno planiranje, što je od posebnog značaja za područja izgrađena u naslagama fliša u kojima je česta promjena geomorfoloških uvjeta, a geotehničke značajke materijala vrlo heterogene.

## LITERATURA

- AGS (Australian Geomechanics Society) (2002) Landslide risk management concepts and guidelines. Australian Geomechanics Society. Australian Geomechanics 37 (2): 1–44.
- AGS (2007) Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Management. Australian Geomechanics Society, Australian Geomechanics, 42 (1).
- Aleotti P (2004) A warning system for rainfall-induced shallow failures, Eng. Geol., 73, 247–265.
- Aleotti P i Chowdhury R (1999) Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives – Bulletin of Engineering Geology and Environment 58: 21-44.
- Alexander D (1995) Natural disasters, London, UCL Press.
- Alexander DE (2002) Principles of emergency planning and management, New York, Oxford University Press.
- Anbalagan D (1992) Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering Geology 32, 269–277.
- Anbalagan R i Singh B (1996) Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains a case study from Kumaun Himalaya, India, Engineering Geology 43: 237-246.
- Antoine P (1977) Rêflexions sur la cartographie ZERMOS et bilan des esperiences en cours, Bulletin Bureau des Recherches Géologiques et Minières, 3:2 9-.
- Antoine P i Giraud A (1995) Typologie des Mouvements de Versants dans un Contexte Operationnel, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 51: 57-62.
- Arbanas Ž (1982) Stabilnost kosina u flišu, Diplomski rad, Fakultet graditeljskih znanosti Sveučilišta u Rijeci, 3-5.
- Arbanas Ž, Benac Č, Andrić M i Jardas B (1994) Geotehničke osobitosti fliša na trasi Orehovica-Sv. Kuzam Jadranske autoceste kod Rijeke, Saopćenja Znanstvenostručnog savjetovanja Geotehnika prometnih građevina, 1, Novigrad, 181-190.

- Arbanas Ž, Benac Č i Jardas B (1999) Small landslides on the flysch of Istria, Proceedings of the 3<sup>th</sup> Conference of Slovenian Geotechnical Society, Sloged, Ljubljana, 1, 81-88.
- Arbanas Ž, Benac Č i Jurak V (2006) Causes of debris flow formation in flysch area of North Istria, Croatia. Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flows, Lorenzini G, Brebbia CA, Emmanouloudis DE (eds.), WIT Transaction on Ecology and the Environment, 90: 283-292.
- Arbanas Ž, Grošič M, Goršič D i Griparić B (2007) Landslides remedial works on small roads of Istria. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Croatian Roads Congress, Raus B (ed.) Croatian Road Society-Via Vita, Zagreb, 38.
- Arbanas Ž, Grošič M i Jurić-Kačunić D (2007a) Experiences of Flysch Rock Mass Reinforcing in Engineered Slopes, Proceedings of the 11<sup>th</sup> Congress International Society of Rock Mechanics, Lisbon, Ribeiro e Sousa L, Olalla C, Grossmann NF (eds.), A.A. Balkema Publisher, Taylor & Francis Group, London, 597-600.
- Arbanas Ž, Grošič M, Goršič D i Griparić B (2007b) Sanacija klizišta na cestama u Istri, Zbornik radova 4. Hrvatskog kongresa o cestama, Hrvatsko društvo za ceste Via Vita, Cavtat-Dubrovnik, 8.
- Arbanas Ž, Grošič M i Dugonjić S (2008) Behaviour of the reinforced cuts in flysch rock mass, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference On Transportation Geotechnics, Nottingham, Ellis E, Hai-Sui Y, McDowell G, Dawson A, Thom N. (eds.), Taylor & Francis Group, Balkema, London UK, 283-291.
- Arbanas Ž, Grošič M i Briški G (2008a) Behavior of engineering slopes in flysch rock mass, Proceedings of the 1<sup>st</sup> Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium SHIRMS, Potvin Y, Carter J, Dyskin A, Jeffrey R (eds.), Australian Centre for Geomechanics, Perth, 493-504.
- Arbanas Ž, Benac Č i Grošič M (2009) Remedial works on landslide in complex geological conditions, Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, The Academia and Practice of Geotechnical Engineering, Alexandria, Hamza M, Shahien M, El-Mossallamy Y (eds.), IOS Press BV, Amsterdam, 4: 2638-2641.
- Arbanas Ž i Dugonjić S (2010) Landslide risk increasing caused by highway construction, Proceedings of International symposium Interpraevent 2010,

- International Symposium in Pacific Rim, Natural Disasters Mitigation Including Floods, Storms, debris flow, Mass movement and Earthquakes, Taipei, Taiwan, Su-Chin Chen (ed.), Taipei, International Research Society Interpraevent, 333-343.
- Arbanas Ž, Mihalić S, Grošić M, Dugonjić S i Vivoda M (2010a) Brus Landslide, translational block sliding in flysch rock mass, Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering. Proceedings of European Rock Mechanics Symposium (Eurock 2010), Zhao J, Labiouse V, Dudt JP, Mathier JF (eds.), Laussane, London: CRC Press/Balkema, 635-638.
- Attewell PB i Farmer IW (1979) Principles of Engineering Geology, New York, John Wiley & Sons, 30-42.
- Atkinson PM i Massari R (1998) Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in Central Apennines, Italy. Computers and Geosciences 24: 373–385.
- Ayalew L, Yamagishi H, Watanabe N, Marui H (2004) Landslide susceptibility mapping using a semiquantitative approach, a case study from Kakuda-Yahiko Mountains, Niigata, Japan. In: Free M, Aydin A (eds) Proceedings of the 4th asian symposium on engineering geology and the environment, Geological Society of Hong Kong, 7, 99–105.
- Ayalew L i Yamagishi H (2005) The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology 65: 15–31.
- Barredo JI, Benavides A, Hervas J, van Westen CJ (2000) Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. Int J Appl Earth Obs Geoinf 2, 9–23.
- Baron I, Cilek V, Krejčí O, Melichar R i Hubatka F. (2004) Structure and dynamics of deep-seated slope failures in the Magura Flysch Nappe, outer Western Carpathians (Czech Republic), Natural Hazards and Earth System Science, 4: 549–562.
- Baum RL, Coe JA, Godt JW, Harp EL, Reid ME, Savage WZ, Schulz WH, Brien DL, Chleborad AF, McKenna JP i Michael JA (2005) Regional landslide - hazard assessment for Seattle, Washington, USA. Landslides 2 (4): 266–279.

- Benac Č (1994) Inženjerskogeološke osobitosti obalnog pojasa i podmorja Riječkog zaljeva, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Benac Č (2000) Prostorni plan Primorsko-goranske županije: inženjerskogeološke podloge, Zbornik radova 2. Hrvatskog geografskog kongresa, Lovran, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 347-353.
- Benac Č, Jardas B i Arbanas Ž (2001) Geotechnical Risk and Physical Planning on the Krk island, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Miedzybrodzie Żywieckie, Poland, 249-254.
- Benac Č, Jurak V, Oštrić M, Holjević D i Petrović G (2005) Appearance of exceeded erosion in the Salt creek area (Vinodol Valley), Summaries of 3<sup>rd</sup> Croatian geological congress, Velić I, Vlahović I, Biondić R (eds.), Croatian Geological Institute, Zagreb, 173-174.
- Benac Č, Jurak V, Oštrić M, Arbanas Ž i Pavletić LJ (2006) Nestabilnost padina i geološki hazard u dolini Riječine, Priopćenja 4. Savjetovanja Hrvatskog geotehničkog društva, Ojačanje tla i stijena, Opatija, Szavits Nossan V, Kovačević MS (eds.), Hrvatsko geotehničko društvo, Zagreb, 315-322.
- Benac Č, Rubinić J, Ružić I i Celija I (2007) Geomorfološka evolucija riječnih ušća na istarskom poluotoku, Zbornik radova 4. Hrvatske konferencije o vodama, Opatija, Gereš D (ed.), 273-280.
- Benac Č, Dugonjić S, Arbanas Ž, Oštrić M i Jurak V (2009) The Origin Of Instability Phenomena Along The Karst-Flysch Contacts, ISRM International Symposium Rock Engineering in Difficut Ground Conditions: Soft Rock i Karst, Cavtat, Vrkljan I (ed.), CRC Press, Boca Raton-London-New York- Leiden, 757-761.
- Benac Č (2013) Rječnik pojmova u primijenjenoj geologiji i geološkom inženjerstvu, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Ožanić N (ed.), ISBN: 978-953-6953-33-2, 19.
- Bergant S, Tišljar J i Šparica M (2003) Eocen carbonates and flysch deposits of the Pazin basin, 22<sup>nd</sup> IAS meeting of sedimentology, Opatija, Field trip guidebook.
- Bertolini G, Guida M i Pizziolo M (2005) Landslides in Emilia-Romagna region (Italy): strategies for hazard assessment and risk management, Landslides, 2: 302-312.



- Beven KJ i Kirkby MJ (1979) A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1): 43-69.
- Bil M i Müller I (2008) The origin of shallow landslides in Moravia (Czech Republic) in the spring 2006, *Geomorphology*, 99: 246– 253.
- Blanc RP i Clevelli GB (1968) Natural Slope Stability as Related Geology, San Clemente Area, Orange and San Diego Counties, California. California Division of Mines and Geology Special Report, 98: 19.
- Blašković I (1999) Tectonics of Part of the Vinodol Valley within the Model of the Continental Crust Subduction, *Geologia Croatica*, 52/2: 153-189.
- Bognar A (1992) Inženjerskogeološko kartiranje, *Acta geographica Croatica*, Zagreb, 27: 173-185.
- Bonomi T i Cavallin A (1999) Three-dimensional hydrogeological modelling application to the Alvera mudslide (Cortina d'Ampexro, Italy), *Geomorphology* 30 (1-2): 189-199.
- Bosi C, Dramis F i Gentili B (1982) Carte geomorfologiche di dettaglio e carte di stabilita: esempi nel territorio marchigiano, *Geol Appl ed Idrogeol*, 20: 53-62.
- Bouma AH (1962) Sedimentology of some Flysch Deposits, A Graphic Approach to Facies Interpretation. Elsevier, Amsterdam, 168.
- Brabb EE (1984a) Innovative approaches to landslide hazard mapping, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides*, Toronto, 1: 307-324.
- Brabb EE (1984b) Minimum landslide damage in the United States, 1973-1983. U.S. Geological Survey Open-File Report, 84-486, 5p.
- Brabb EE (1991) The World Landslide Problem, *Episodes*, 14:1, 52-61.
- Brabb EE (1995) The San Mateo County California GIS project for predicting the consequences of hazardous geologic processes, In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.) *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 299-234.
- Brabb EE, Pampeyan EH i Bonilla MG (1972) Landslide susceptibility in San Mateo County, California, US Geological Survey, Miscellaneous Field Studies Map MF-360.
- Brabb EE, Pampeyan EH i Bonilla MG (1978) Landslide susceptibility in San Mateo County, California. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF-360, scale 1:62,500.

- Brunčić A (2008) Osiguranje stijenskih pokosa flišnih naslaga na riječkom području, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Brunčić A, Arbanas Ž i Kovačević MS (2009) Design of engineered slopes in flysch rock mass, Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, The Academia and Practice of Geotechnical Engineering, Alexandria, Hamza M, Shahien M, El-Mossallamy Y (eds.), IOS Press BV, Amsterdam, 4: 2127-2130.
- Brunčić A, Jurić-Kačunić D i Kovačević MS (2010) Projektiranje i izvedba zasjeka u flišnoj stijenskoj masi, Građevinar: časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera, 62 (1): 13-23.
- Brunetti M T, Peruccacci S, Rossi M, Luciani S, Valigi D i Guzzetti F (2010) Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy, Natural Hazards Earth System Sciences, 10: 447–458, doi:10.5194/nhess-10-447-2010.
- Brunsdon D (1985) Landslide types, mechanisms, recognition, identification, Proceedings Symposium Poly. of Wales, Morgan CS (ed.) Landslides in the South Wales coalfield, 19-28.
- Brunsdon D (1993) Mass movements, the research frontier and beyond: a geomorphological approach, Geomorphology, 7, 85-128.
- Caniani D, Pascale S, Sdao F i Sole A (2008) Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. Nat Hazards 45, 55–72.
- Carrara A (1978) Considerazioni sulla cartografia applicata alla stabilità dei versanti, Seminario Sottoprogetto Fenomeni Franosi, March 1978, Bari, 11.
- Carrara A (1982) Cartografia tematica, stoccaggio ed elaborazione dati, Atti del Convegno Conclusivo P.F. Conser. Suolo, Sottopr. Fenomeni Franosi, Relazione Generale, 9-10 giugno 1982, Roma, 265-281.
- Carrara A (1983) A multivariate model for landslide hazard evaluation, Mathematical Geology, 15: 403-426.
- Carrara A (1984) Landslide hazard mapping; aims and methods, Coll. Mouvement de Terrain, Caen, Doc. B.R.G.M., 83.
- Carrara A (1989) Landslide hazard mapping by statistical methods: a black box model approach, Proceedings of the Workshop on Natural Disaster in European Mediterranean Countries. Perugia, Italy, Consiglio Nazionale delle Ricerche.

- Carrara A i Merenda L (1976) Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy, *Geol Soc Am Bull*, 87: 1153-1162.
- Carrara A, Catalano E, Sorriso-Valvo M, Reali C i Ossi I (1978) Digital Terrain Analysis for land evaluation, *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 13: 69-127.
- Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V i Reichenbach P (1990) Geographical information systems and multivariate models in landslide hazard evaluation (ALPS 90 Alpine landslide practical seminar), Cancelli A (ed.), Milano, Ricerca Scientifica ed Educazione Permanente, 17-28.
- Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V i Reichenbach P (1991) GIS Techniques and statistical models in evaluating landslide hazard, *Earth Surface Processes and Landform* 16:5, 427-445.
- Carrara A, Cardinali M, Guzzetti F i Reichenbach P (1995) GIS technology in mapping landslide hazard, Carrara A, Guzzetti F (eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publishers, 135–175.
- Carrara A, Guzzetti F, Cardinali M i Reichenbach P (1998) Current limitations in modeling landslide hazard, in: Buccianti A, Nardi G, Potenza R (eds.), *Proc. Of International Association for Mathematical Geology 1988, Italy*, 195-203.
- Carrara A, Crosta GB i Frattini P (2003) Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28:10, 1125-1142.
- Chung CF i Fabbri AG (2002) Modeling the conditional probability of the occurrences of future landslides in a study area characterized by spatial data, *Proceedings of ISPRS 2002, Ottawa, CD*.
- Chung C-JF, Fabbri AG i van Westen CJ (1996) Multivariate regression analysis of landslide hazard zonation, Carrara A, Guzzetti F (eds.), *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 107-134.
- Committee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, National Research Council (2004) *Partnerships for Reducing Landslide Risk: Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy*, National Academies Press, Washington D.C.

- Cotecchia V (1978) Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements. *Bulletin International Association Engineering Geology*, 17: 5-37.
- Crozier MJ (1986) *Landslides: causes, consequences & environment*, Croom Helm Pub., London.
- Crozier M (1997) The climate landslide couple: a Southern Hemisphere perspective, *Palaeo-climate Research* 19, 333–354.
- Crozier MJ i Glade T (2005) *Landslide hazard and risk: Issues, Concepts and Approaches*, *Landslide Hazard and Risk*, Glade T, Anderson M, Crozier MJ (eds.), John Wiley & Sons, New York, 1-40.
- Cruden DM (1991) A Simple Definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43: 27-29.
- Cruden DM i Varnes DJ (1996) *Landslide Type and Processes*. *Landslides: Investigation and Mitigation*, Special report 247, Turner AK, Schuster RL (eds.), National Academy Press: Washington DC, 36-75.
- Dai CF i Lee CF (2001) Terrainbasedmapping of landslide susceptibility using a geographic information system: a case study, *Canadian Geotechnical Journal* 38: 911–923.
- Dai FC, Lee CF i Ngai YY (2002) *Landslide risk assessment and management: an overview*. *Engineering Geology*, 64(1), 65–87.
- D'Amato Avanzi G, Giannecchini R i Puccinelli A (2004) The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in northwestern Tuscany (Italy), *Engineering Geology*, 73: 215–228.
- D'Amato Avanzi G, Galanti Y i Giannecchini R (2012) The December 2009 and October 2010 Meteorological Events in Northern Tuscany (Italy), *Characteristics and Effects on Slope Stability*, *Geologia dell'Ambiente*, 2/2012, 23-27.
- Damm B i Terhorst B (2007) Quaternary slope formation and landslide susceptibility in the Flysch Zone of the Vienna Forest (Austria), *Gemorphology for the Future*, Kellerer- Pirklbauer A, Keiler M, Embleton-Hamann C, Stoetter H (eds), University Press, Innsbruck, 89–96.
- Delaunay J (1981) *Carte de France des zones vulnèrables a des glissements, écroulements, affaissements et effondrements de terrain*, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 81 SGN 567 GEG, 23.

- Dietrich EW, Reiss R, Hsu M-L i Montgomery DR (1995) A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data, *Hydrological Process*, 9, 383-400.
- Dikau R i Jäger S (1995) Landslide hazard modelling in New Mexico and Germany, McGregor DFM, Thompson DA (eds.), *Geomorphology and Land management in a Changing Environment*, John Wiley & Sons, Chichester, 51-68.
- Doornkamp JC (1986) Climate and Weathering, *A Handbook of Engineering Geomorphology*, Fookes PG, Vaughan PR (eds.), Chapman and Hall, New York, 10-24.
- Dugonjić S, Arbanas Ž i Benac Č (2008) Assessment of landslide hazard on flysch slopes, *Rasprave 5. posavetovanja slovenskih geoteknikov*, Nova Gorica, SLOGED, Logar J, Petkovšek A, Klopčič J (eds.), Nova Gorica, 263-272.
- Dugonjić Jovančević S i Arbanas Ž (2012) Recent landslides on the Istrian Peninsula, Croatia. *Natural hazards*, 62, 3: 1323-1338.
- Duhovnik J, Poljanšek A, Šuklje L (1951) Zaopisnik o komisijskom ogledu plazu pri Buzetu v km 36.6 do 36.7 železničke proge Divača- Pula. *Fond str. dok. HŽ, Pula*.
- DUTI (1983) *Detection et utilisation des terrains instables (Detection and Use of Landslide-prone Areas)*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland.
- Ercanoglu M i Gokceoglu C (2004) Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3-4), 229-250.
- Esteban M i Santanach PF (1974) Deslizamientos gravitacionales y olistostromas miocenos en el bajo Gaià y Campo de Tarragona, *Acta Geologica Hispánica IX*, 117-125.
- Evans NC, Huang SW, King JP (1997) The natural terrain landslide study—phases I and II. Special project report SPR5/97, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong.
- Fall M (2000) Standsicherheitsanalyse der Küstenhänge in Cap Manuel (Dakar, Senegal) mit Hilfe ingenieurgeologisch- geotechnischer Untersuchungen und GIS-technologischer Methoden, vol 2000-2002. Veröffentlichung Institut Geotechnik, Heft, 187.

- Fall M, Azam R i Noubactep C (2006) A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. *Engineering Geology* 82(4), 241–263.
- Fall M, Dia A, Fall M, Gbaguidi I, Lo PG i Diop IN (1996) Un cas d'instabilité de pente naturelle: le versant des Madeleines—Presqu'île de Dakar (Sénégal): analyse, Cartographie des risques et prévention. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 53, 29–38.
- Fell (1994) Landslide risk assessment and acceptable risk, *Canadian Geotechnical Journal*, 31(2): 261-272.
- Fell R, Walker BF i Finlay PJ (1996) Estimating the probability of landsliding, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Australian New Zealand Conference on Geomechanics*, Adelaide, Institution of Engineers Australia, Canberra, 304–311.
- Fell R, Ho KKS, Lacasse S i Leroi E (2005) A framework for landslide risk assessment and management, In *Landslide Risk Management*, (eds. Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E), Taylor and Francis, London, 3-26.
- Fell R, Corominas J, Bonnard C, Cascini L, Leroi E, Savage WZ on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (2008) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, *Engineering Geology*, 102: 85–98.
- Fenti V, Silvano S i Spagna V (1979) Methodological proposal for an engineering geomorphological map, Forecasting rock-fallss in the Alps, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 19: 134-138.
- Finlay PJ, Fell R i Maguire PK (1997) The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall, *Canadian Geotechnical Journal* 34: 811–824.
- Flores G (1955) Discussion in Beneo, E. Les resultants des etudes pour la recherche pétrolifère en Sicili: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> World Petroleum Cong. Rome Sec. 1/A& Boll. Soc. Geol. Ital.*, 78, 1–26.
- Franklin AJ (1984) Slope instrumentation and monitoring, *Slope Instability*, Brunsten D, Prior DB (eds.), John Wiley and Sons, 1-25.
- Giannecchini R, Galanti Y i D'Amato Avanzi G (2012) Critical rainfall thresholds for triggering shallow landslides in the Serchio River Valley (Tuscany, Italy), *Natural Hazards Earth System Sciences*, 12: 829–842.

- Gil E (1997) Meteorological and hydrological conditions of landslides in the Polish flysch Carpathians, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 31: 143–148.
- Gil E i Dlugosz M (2006) Threshold values of rainfalls triggering selected deep-seated landslides in the Polish flysch Carpathians, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 40: 21–43.
- Gil E, Zabuski L i Mrozek T (2009) Hydrometeorological conditions and their relation to landslide processes in the Polish flysch Carpathians (An example of Szymbark Area), *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 43: 127–143.
- Glade T i Crozier MJ (2005) A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis, In: Glade, T., Anderson, M.G. and Crozier, M.J. (eds.) *Landslide risk assessment*, John Wiley, 75-138.
- Glade T, Albini P i Francés F (2001) The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessments, Thomas Glade, Paola Albini, Félix Francés (eds.), *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 17 (2001), 157.
- Glade T, Anderson MG i Crozier MJ (eds.) (2005) *Landslide risk assessment*. John Wiley, 832.
- Godefroy P i Humbert M (1983) La cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain et aux séismes, *Hydrogéologie et Géologie de l'Ingénieur*, 2: 69-90.
- Gómez H i Kavzoglu T (2005) Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa river basin, Venezuela, *Engineering Geology* 78: 11–27.
- Graham J (1984) Methods of slope stability analysis, *Slope Instability*, Brunsden D, Prior DB (eds.), John Wiley & Sons, 171–215.
- Gulam V (2012) Erozija ogolina u flišu središnje Istre, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko- geološko- naftni fakultet, Zagreb.
- Guzzetti F (2000) Landslide fatalities and evaluation of landslide risk in Italy, *Engineering geology*, 58: 89–107.
- Guzzetti F (2005) *Landslide hazard and risk assessment*, Doktorska disertacija, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M i Reichenbach P (1999) Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development, *Geomorphology*, 31: 181-216.



- Guzzetti F, Salvati P i Stark C P (2005) Evaluation of risk to the population posed by natural hazards in Italy, *Landslide risk management*, Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E (eds.), Taylor & Francis Group, London, 381–389.
- Guzzetti F, Reichenbach P, Cardinali M, Galli M i Ardizzone F (2005a) Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines, *Geomorphology*, 72, 272-299.
- Guzzetti F, Stark C P i Salvati P (2005b) Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy, *Environ. Manage.*, 36(1), 15–36.
- Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, Cardinali M i Galli M (2006a) Estimating the quality of landslide susceptibility models, *Geomorphology*, 81: 166-184.
- Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M i Stark C P (2008) The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides*, 5: 3–17.
- Hammond C, Hall D, Miller S i Swetik P (1992) Level 1 Stability Analysis (LISA) documentation for version 2.0 Gen. Tech. Rep. INT-285: Ogden, UT, Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 190.
- Hancock PL i Skinner BJ (2000) *The Oxford Companion to the Earth*, Oxford University Press, Oxford, 1174.
- Hansen A (1984) Landslide hazard analysis, Slope instability, Brunsden D, Prior DB (eds.), John Wiley and Sons Ltd, 523-602.
- Hartlen J i Viberg L (1988) General Report: Evaluation of landslide hazard, *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides*, Lausanna, 2:1037-1057.
- Heimsath AM, Dietrich WE, Nishiizumi K i Finkel RC (2001) Stochastic processes of soil production and transport: erosion rates, topographic variation and cosmogenic nuclides in the Oregon Coast Range, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 531-552.
- Herak M, Herak D i Markušić S (1996) Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1902-1992, *Terra Nova*, 8, 86-94.
- Hoek E (1994) Strength of Rock and Rock Masses, *ISRM News Journal*, Vol. 2 (2): 4-16.
- Hoek E, Kaiser PK i Bawden WF (1995) *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, Rotterdam, A.A. Balkema, 215.

- Hoek E, Carranza-Torres C i Corkum B (2002) Hook – Brown failure criterion - 2002 edition, Proceedings of the North American Rock Mechanics Society (NARMS – TAC 2002), Bawden HRW, Curran J, Telsenicki M (eds.), Mining Innovation and Technology, Toronto, 267-273.
- Horton RE (1945) Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin 56, 275-370.
- Huggett R J (2003) Fundamentals of Geomorphology, Routledge, London-New York, 374.
- Humbert M (1976) Le cartographie en France des Zones Exposées à des Risques liés aux Mouvements du Sol. Cartes ZERMOS, International Association Engineering Geology Bulletin, 16: 80-82.
- Humbert M (1977) La Cartographie ZERMOS, Modalités d'établissement des cartes des zones exposées.
- Hungr O, Corominas J i Eberhardt E (2005) Estimating landslide motion mechanisms, travel distance and velocity, In Landslide Risk Management (eds. Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E), Taylor and Francis, London, 99-128.
- Hutchinson JN (1968) Mass movement, Fairbridge RW (ed.), Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold Publishers, New York, 688-695.
- Hutchinson JN (1988) Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and geomorphology, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslide, Lausanne, 1: 3-35.
- Hutchinson JN (1995) Keynote paper: Landslide hazard assessment, Bell (ed.) Landslides, A.A. Balkema, Rotterdam, 1805-1841.
- Hutchinson JN i Chandler M (1991) A preliminary landslide hazard zonation of the undercliff of the Isle of wight. In: Chandler R (ed) Slope stability engineering. Developments and applications. Thomas Telford, London, 197–206.
- IAEG (1990) Suggested Nomenclature for Landslides, Bulletin IAEG, 41, 13-16.
- ISRM (1978) Quantitative description of discontinuities in rock masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstract, 15, 89-97.
- ISRM (1981) ISRM Suggested Methods, Rock characterization testing & monitoring, Brown ET (ed.), Pergamon Press Ltd, Oxford.

- IUGS (1997) Quantitative Risk Assessment for Slopes and Landslides – the State of the Art, IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment, in *Landslide Risk Assessment*, Cruden and Fell (eds.), Balkema, Rotterdam, 3-12.
- Iverson RM (2000) Landslide triggering by rainfall infiltration, *Water Resources Research* 36(7):1897-1910.
- Ives JD i Messerli B (1981) Mountain Hazard Mapping in Nepal: Introduction to an Applied Mountain Research Project, *Mountain Research and Development*, 1:223-230.
- Jäger S (1997) Fallstudien zur Bewertung von Massenbewegungen als geomorphologische Naturgefahr, *Heidelberger Geographische Arbeiten*, 108. Selbstvortrag des Geographischen Instituts, Heidelberg.
- Jardas B, Arbanas Ž i Benac Č (1996) Geotehnički problemi na trasi Jadranske autoceste u zaleđu Rijeke, Hrvatska, *Razprave 2. posvetovanja slovenskih geotehnikov*, Rogla, 1, 19-26.
- Jašarević I i Jurak V (1987) Stability of the Flysch Coastal Slopes of the Adriatic Sea in the Static and Seismic Conditions, 6<sup>th</sup> International Congress on Rock Mechanics, 2, 411-418.
- Jašarević I i Kovačević MS (1994) Odnos mineraloško - petrografskog sastava i geotehničkih svojstava fliša, *Građevinar*, Zagreb, 46(2), 85-94.
- Jevđević V (1977) Vjerovatnoća i statistika u hidrologiji, *PZ za izučavanje vodoprivredne problematike krša*, Sarajevo, 309.
- Jibson RW (2005) The 2005 La Conchita, California, landslide, *Landslides*, Springer, 3: 73-78.
- Jurak V, Matasović N, Cvijanović D, Jašarević I, Garašić M i Slovenec D (1987) Definiranje prirodnih uvjeta terena na području Župe dubrovačke za potrebe geotehničko - seizmičkog mikrozoniranja. Zbornik referata 9. jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Priština, 2, 41-60.
- Kendall Ch (2006) SEPM Sequence Stratigraphy Web, <http://sepmstrata.org/deepwater/DeepwaterClasticArchitecture.html>.
- Kienholz H (1978) Maps of Geomorphology and Natural Hazard of Griendelwald, Switzerland, scale 1:10000, *Arctic and Alpine Research*, 10, 169-184.

- Klimeš J, Baron I, Panek T, Kosačik T, Burda J, Kresta F. i Hradecký J. (2009) Investigation of recent catastrophic landslides in the flysch belt of Outer Western Carpathians (Czech Republic): progress towards better hazard assessment, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 119-128.
- Kleiner I, Nonveiller E i Vulić Ž (1968) Fundiranje luke za rasute terete u Bakru, *Građevinar*, Zagreb, 20(8), 229-240.
- Komac M (2006) A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74(1-4), 17-28.
- Korbar T (2009) Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates, *Earth-Science Reviews* 96, 296-312.
- Kuenen PhH i Migliorini CI (1950) Turbidity currents as a cause of graded bedding, *Journal of Geology* 58, 91-127.
- Landry J (1979) Carte ZERMOS. Zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol. Région de Lons-le-Saunier s Poligny (Jura). Orléans, Bureau de Recherche Géologique et Minière, 14 p., map at 1:25,000 scale.
- Larsen MC, Wieczorek GF, Eaton S and Sierra HT (2001) The Venezuela landslide and flash flood disaster of December 1999. Mugnai A (Ed.) 2<sup>nd</sup> Plinius Conference on Mediterranean Storms, Siena, Italy, EGS.
- Lee S, Ryu J-H, Min K i Won J-N (2004) Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network, *Earth Surface Processes and Landforms*, 28:12 1361-1376.
- Lee S, Choi J i Min K (2004a) Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *Int J Remote Sens*, 25(11), 2037-2052.
- Lee S, Ryu J, Won J i Park H (2004b) Determination and application of the weight for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, 71, 289-302.
- Lee S, Ryu JH, Lee MJ i Won JS (2006) The application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea, *Mathematical Geology* 38, 199-220.

- Leroi E (1996) Landslide Hazard-Risk Maps at Different Scales: Objectives, Tools and Development, Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides, Landslides-Glissements de terrain, Senneset K (ed.), Trondheim-Rotterdam: 35-51.
- Leroi E (1997) Landslide risk mapping: problems, limitation and developments. In: Cruden Fell (ed.) Landslide risk assessment. Balkema, Rotterdam, 239–250.
- Leroueil S (2001) Natural slopes and cuts: movements and failure mechanisms, *Geotechnique* 1, 3: 97–243.
- Logar J, Fifer Bizjak K, Kočevar M, Mikoš M, Ribičič M i Majes B (2005) History and present state of the Slano Blato Landslide, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 447-457.
- Loparić I i Pahernik M (2012) GIS analiza ugroženosti padina klizištima u području grada Lepoglave, *Acta Geographica Croatica*, 38, 35-38.
- Luzi L i Pergalani F (1996) Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1:50000 Fabriano geological map sheet), *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 15: 83-94.
- Magdalenić A, Crnković B i Jašarević I. (1980) Problemi vezani za radove u flišu, 5. simpozij jugoslavenskog društva za mehaniku stijena i podzemne radove, Split, 2, 93-110.
- Magdalenić A, Jurak V i Benac Č (1992) Inženjerskogeološka problematika izgradnje luke u jugoistočnom dijelu Bakarskog zaljeva, *Pomorski zbornik*, Rijeka, 30: 633-654.
- Mantovani F, Soeters R i van Westen CJ (1996) Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe, *Geomorphology*, 15: 213-225.
- Marinčić S (1981) Eocenski fliš jadranskog pojasa, *Geološki vjesnik*, Zagreb, 34: 27-38.
- Marjanović M, Kovačević M, Bajat B, Mihalić S, Abolmasov B (2011), Landslide Assessment of the Starča Basin (Croatia) Using Machine-Learning Algorithms, *Acta Geotechnica Slovenica (1854-0171) 2011 (2011)*, 2; 45-55.
- Mark RK (1992) Map of debris flow probability, San Mateo County, California, scale 1:62,500. U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigation Map I-1257-M.
- Meneroud JP (1978) Cartographie des risques dans les Alpes-Maritimes (France), *IAEG 3<sup>rd</sup> Int. Congr. Sec. 1, 2*, 98-107.

- Mihalić S (1998) Recommendations for Landslide Hazard and Risk Mapping in Croatia, *Geologia Croatica*, Zagreb, 51/2, 195-204.
- Mihalić S i Vujnović T (2005) Zoniranje po opasnosti od klizanja na području sliva potoka Starča (Samoborsko gorje), 3. hrvatski geološki kongres : Knjiga sažetaka, Velić I, Vlahović I, Biondić R (ur.), Hrvatski geološki institut, Zagreb, 213-214.
- Mihalić S, Oštrić M i Vujnović T (2008a) Landslide susceptibility mapping in the Starca Basin (Croatia), *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference of International Association for Engineering Geology (EUROENGE0 2008: Cities and their Underground Environment*, Madrid.
- Mihalić S, Vujnović T, Škrinjar G, Mihaliček B, Martinjak J i Markovinović T (2008b) Ublažavanje opasnosti od klizanja:- zoniranje osjetljivosti na klizanje, *Proceedings of Conference Zagreb Waters*, Pavić A (ed.), Zagreb, Kigen, 113-120.
- Mihalić Arbanas S, Arbanas Ž, Abolmasov B, Mikoš M i Komac M (2012) The ICL Adriatic-Balkan Network: analysis of current state and planned activities, *Landslides*, 10(2013), 1, 103-109.
- Mihalić S, Arbanas Ž, Krkač M i Dugonjić S (2011) Analysis of sliding hazard in wider area of Brus landslide, *Proceedings of the XV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Anagnostopoulos A, Pachakis M, Tsatsanifos Ch (eds.), Amsterdam: IOS Press, 1377-1382.*
- Mihalić S, Bernat S, Hamasaki E i Gerber N (2012) Historical landslides in the City of Zagreb (Croatia): Monitoring and analyses for disaster mitigation of landslides, debris flow and floods. *Book of proceedings of the 2<sup>nd</sup> Japanese-Croatian Project Workshop (Ožanić, N, Arbanas Ž, Mihalić S, Marui H, Dragičević N (eds.), Rijeka, 122-125.*
- Mihalić Arbanas S, Krkač M, Bernat S, Arbanas Ž (2012) Use of existing data in the City of Zagreb (Croatia, Europe) for the purpose of geo-planning, *Proceedings „Advances in Underground Space Development“*, (Zhou Y, Cai J, Sterling R (eds.), Singapore : Research Publishing, 465-477.
- Mihljević D (1996) Processes of excessive denudation and their consequences in Istrian foothills. *Proceedings of the 1st Croatian geographical congress*, Zagreb, 8-23.

- Mikoš M i Majes B (2010) Mitigation of large landslides and debris flows in Slovenia, Europe, *Landslides: Causes, Types and Effects*, Werner ED, Friedman HP (eds.), Nova Science Publisher, Inc., Hauppauge NY, 105-131.
- Miller DJ (1995) Coupling GIS with physical models to assess deep-seated landslide hazards, *Environmental and Engineering Geoscience* 1 (3), 263-276.
- Miller DJ i Sias J (1998) Deciphering large landslides: linking hydrological, groundwater and slope stability models through GIS, *Hydrological Processes* 12, 923-941.
- Mlinar Ž (1995) Postaja D-3: klizište Lupoglav, Vodič ekskurzija, 1. Geološkog kongresa, Vlahović I, Velić I (eds.), Opatija, 162-171.
- Montgomery D i Dietrich WE (1994) A physically based model of the Topographic control on shallow landsliding, *Water Resources Research* 30 (4): 1153-1171.
- Montgomery DR, Sullivan K i Greenberg HM (1998) Regional test of a model for shallow landsliding. *Hydrological Processes* 12: 943–955.
- Montgomery DR, Schmidt KM, Greenberg HM i Dietrich WE (2000) Forest clearing and regional landsliding, *Geology* 28 (4): 311-314.
- Moon AT, Olds R, Wilson R i Burman B (1992) Debris flow zoning at Montrose, Victoria. In: *Proceedings of 6<sup>th</sup> international symposium on landslides*, vol 2. Balkema, Rotterdam, 1015–1022.
- Mutti E, Tinterri R, Benevelli G, DiBiase D, Cavanna G (2003) Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. In: Mutti, E., Steffens, G.S., Pirmez, C., Orlando, M., Roberts, D. (eds.), *Turbidites: models and problems* Marine and Petroleum Geology 20, 733–755.
- Mutti E, Bernoulli E, Ricci Lucchi F, Tinterri R (2009) Turbidites and turbidity currents from Alpine “flysch” to the exploration of continental margins. *Sedimentology* 56, 267–318.
- Nash D (1987) A comparative review of limit equilibrium methods of slope stability analysis. In: Anderson MG, Richards KJ (eds.) *Slope stability*. Wiley, New York, 11–75.
- Nilsen TH i Brabb EE (1977) Slope stability studies in the San Francisco Bay region, California, *Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology*, 3: 235-243.



- Nilsen TH, Wright RH, Vlasic TC i Spangle W (1979) Relative Slope stability and Land-use planning in the San Francisco Bay Region, California, U.S. Geol. Surv. Professional Paper, 944.
- Nussbaumer J (1998) Die Gewalt der Natur. Eine Chronik der Naturkatastrophen von 1500 bis heute, Grünbach, Ed. Sandkorn.
- Ogrin D (2005) Istarska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Bertoša M, Matijašić R (eds.), Zagreb.
- Okimura T i Kawatani T (1987) Mapping of the potential surface- failure sites on granite slopes, International Geomorphology 1986 Part I, Gardiner E (ed.), Wiley, Chichester, 121– 138.
- Pack RT, Tarboton DG i Goodwin CN (1998) Terrain stability mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.0, Report Number 4114-0, Terratech Consulting Ltd, Salmon Arm, B.C., Canada.
- Pack RT, Tarboton DG i Goodwin CN (2001) Assessing terrain stability in a GIS using SINMAP: Presented at the 15<sup>th</sup> Annual GIS Conference, Vancouver, B.C., Canada, 9.
- Pack RT, Tarboton DG, Goodwin CN i Prasad A (2005) SINMAP users manual: A stability index approach to terrain stability hazard mapping, Version for ArcGIS 9.x and Higher, Utah State University.
- Paine DP i Kiser JD (2012) Aerial photogrammetry and image interpretation, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Picarelli L, Oboni F, Evans SG, Mostyn G i Fell R (2005) Hazard characterization and quantification, Landslide Risk Management, Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E (eds.), Taylor and Francis, London, 27–62.
- Picarelli L, Urciuoli G, Ramondini M i Comenga L (2005a) Main Features of Mudslides in Tectonised Highly Fissured Clay Shales, Landslides, 2(1): 15-30.
- Pike RJ (1988) The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models, Mathematical Geology 20(5): 491-511.
- Pleničar M, Polšak A i Šikić D (1969) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Trst, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Pleničar M, Polšak A i Šikić D (1973) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Trst, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

- Polemio M (1997) Rainfall and Senerchia Landslides, Southern Italy, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Pan American Symposium on Landslides, 2<sup>nd</sup> COBRAE, Rio de Janeiro, 175-184.
- Polšak A (1967) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Pula. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Polšak A i Šikić D (1969) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Rovinj. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Polšak A i Šikić D (1973) Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Rovinj. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Poljanšek A (1952) Tehnički izvještaj za sanaciju kliznog područja "Buzet" na Km 36+6/7 pruge Divača-Pula. Fond str. dok. HŽ, Pula.
- Porcher M i Guiloppe P (1979) Cartographie des risques ZERMOS appliqué à des plans d'occupation des sols en Normandie. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 99 : 43-54.
- Roje - Bonacci T, Šestanović S i Čagalj M (1986) Analiza odnosa jednoosne črstoće i postotka CaCO<sub>3</sub> u flišnim naslagama, 6. simpozij Jugoslavenskog društva za mehaniku stijena i podzemne radove, Velenje, 1, 104-107.
- Roberds W (2005) Estimating temporal and spatial variability and vulnerability, Landslide Risk Management, Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E (eds.), Taylor and Francis, London, 129–158.
- Rupke J, Cammeraat E, Seijmonsbergen AC i van Westen CJ (1988) Engineering geomorphology of Widentobel Catchment, Appenzell and Sankt Gallen, Switzerland: a geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability, Engineering Geology, 26: 33-68.
- Sakellariou MG i Ferentinou MD (2001) GIS-based Estimation of Slope Stability, Natural Hazards Review February, 12-21.
- Salas JD, Deller JW, Yevjevich V, Lane WL (1990) Applied modeling of hydrologic time series, Littleton: Water resources publications, 484.
- Salvati P, Guzzetti F, Reichenbach P, Cardinali M i Stark C P (2003) Map of landslides and floods with human consequences in Italy, Publication CNR GNDCI n. 2822, Scale 1:1 200 000.
- Salvati P, Bianchi C, Rossi M i Guzzetti F (2010) Societal landslide and flood risk in Italy, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10: 465-483.

- Sassa K (1988) Geotechnical model for the motion of landslides, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides: Landslides, Balkema, Rotterdam, 1: 37–56.
- Sassa K, Nagai O, Solidum R, Yamazaki Y i Ohta H (2010) An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake and rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide, Landslides 7 (3), DOI 10.1007/s10346-010-0230-z.
- Selby MJ (1993) Hillslope Material and Processes, Oxford: Oxford University Press.
- Siddle HJ, Jones DB i Payne HR (1991) Development of a methodology for landslip potential mapping in the Rhondda Valley, Slope stability engineering: development and applications, Proc. Int.Conf. Slope Stability, Isle of Wight, 253-263.
- Singhroy V (2005) Remote sensing of landslides, Landslide risk assessment, Glade T, Anderson MG, Crozier MJ (eds.), John Wiley, 469-492.
- Skempton AW i Hutchinson JN (1969) Stability of natural slopes and embankment foundations, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos.
- Soeters R i van Westen CJ (1996) Slope instability recognition, analysis and zonation, In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.) Landslide investigation and mitigation, National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, 129-177.
- Stanić B i Mihalić S (1995) Zoniranje po opasnosti od klizanja, Geotehnički problemi u urbanim sredinama, Varaždin, Hrvatska.
- Stevenson PC (1977) An Empirical Method for the Evaluation of relative Landslide Risk, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 16: 69-72.
- Strunk H (1992) Reconstructing debris flow frequency in the southern Alps back to AD 1500 using dendrogeomorphological analysis, Walling DE, Davies TR, Hasholt B (eds.), Erosion, Debris flows and Environment in Mountain Regions, 209. IAHS publication, 299–307.
- Studer B (1827) Remarques géognostiques sur quelques parties de la chaîne septentrionale des Alpes. Annales des Sciences Naturelles Paris 11, 1–47.

- Šikić D, Polšak A i Magaš N (1969) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Labin. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić D, Pleničar M i Šparica M (1972) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Ilirska Bistrica. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić D i Pleničar M (1975) Osnovna geološka karta 1:100.000, list Ilirska Bistrica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Terlien MTJ (1996) Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides, ITC Publ. 32, Enschede, Netherlands, 50.
- Terlien MTJ (1997) The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds, *Environmental Geology* 35(2-3):124-130.
- Terlien MTJ, van Asch ThWJ i van Westen CJ (1995) Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment, *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Carrar A, Guzzetti F (eds.), Kluwer, London, 57–77.
- Terlien MTJ, De Louw PGB, van Asch TWJ i Hetterschijt RAA (1996) The assessment and modelling of hydrological failure conditions of landslides in the Puriscal region (Costa Rica) and the Manizales region (Columbia), *Advances in hillslope processes*, Anderson MG, Brooks SM (eds.), Wiley, Chichester, 837-855.
- Terhorst B i Damm B, (2009) Slope stability and slope formation in the Flysch Zone of the Vienna Forest (Austria), *Journal of Geological Research*, 10.
- Tišljar J (2004) Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 426.
- Tosatti G, Castaldini D, Barbieri M, D'Amato Avanzi G, Giannecchini R, Mandrone G, Pellegrini M, Perego S, Puccinelli A, Romeo RW i Tellini C (2008) Additional Causes of Seismically-Related Landslides in the Northern Apennines, Italy, *Revistade geomorfologie*, 10:5-21.
- van Asch ThWJ, van Westen CJ, Blijenberg H i Terlien MTJ (1992) Quantitative landslide hazard analysis in volcanic ashes of the Chinchina area, Colombia, *Proceedings Primer Simposio Internacional sobre sensores remotos y sistemas de informacion geografica para el estudio de riesgos naturales*, Bogota, 433–443.

- van Asch ThWJ, Kuipers B i van der Zanden DJ (1993) An information system for large scale quantitative hazard analysis of landslides, *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 87*: 133-140.
- van Asch ThWJ i Alkema D (2007) Exercise 4a: A Combine Hydrological – Slope Stability Model, Training Package, ITC the Netherlands.
- van Westen CJ (1993) Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation, ITC Publication n. 15, ITC, Enschede, 245.
- van Westen CJ (2004) Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Landslides*, Lacerda W, Erlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (eds.), Rio de Janeiro, 1, Balkema, 39–56.
- van Westen CJ i Terlien MTJ (1996) An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia), *Earth Surface Processes and Landforms* 21: 853-868.
- van Westen CJ, Rengers N, Terlien MTJ i Soeters R (1997) Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, *Geol Rundsch*, 86, Springer- Verlag, 404-414.
- Varnes DJ (1978) Slope movements: types and processes, *Landslide analysis and control*, Schuster RL, Krizek RJ (eds.), National Academy of Sciences, Transportation Research Board Special Report 176, Washington, 11-33.
- Varnes DJ, IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements (1984) *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. The UNESCO Press, Paris, 63.
- Velić I, Tišljarić J, Matičec D i Vlahović I (1995) General review of the geology of Istria, *Excursion guide-book*, Vlahović I, Velić I (eds.), Geološki institut, Zagreb, 5-20.
- Velić I i Vlahović I. (2009) *Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000*, Geološki institut, Zagreb.
- Vlahović T (1999) *Utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri*, Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Wilson RC i Wiczorek GF (1995) Rainfall thresholds for the initiation of debris flows at La Honda, California, *Environmental & Engineering Geoscience* 1: 11–27.

- Wong HN (2005) Landslide risk assessment for individual facilities, *Landslide Risk Management*, Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E (eds.), Taylor and Francis, London, 237–298.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies' Unesco Working Party On World Landslide Inventory) (1993) Multilingual landslide glossary, The Canadian Geotechnical Society, BiTech Publisher Ltd., Richmond, Canada.
- Wu W i Sidle R (1995) Distributed slope stability analysis in steep forested basins, PhD dissertation, Utah State University.
- Yalcin A (2008) GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena* 72, 1–12.
- Yin KL (1994) A computer-assisted mapping of landslide hazard evaluation, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Int. IAEG Congress, Lisabon*, 6: 4495-4499.
- Zaninović K, Gajić-Čapka M, Perčec Tadić M i dr. (2008) *Klimatski atlas Hrvatske 1961–1990., 1971–2000*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.
- Zeze JL, Reis E, Garcia R, Oliveira S, Rodrigues ML, Vieira G i Ferreira AB (2004) Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal), *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4: 133-146.
- Zhou G, Esaki T, Mitani Y, Xie M i Mori J (2003) Spatial probabilistic modelling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach, *Engineering Geology* 68: 373–386.
- Žufić E (2011) Istraživanje geotehničkih značajki flišne stijenske mase na području Istre, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

## POPIS DOKUMENTACIJE

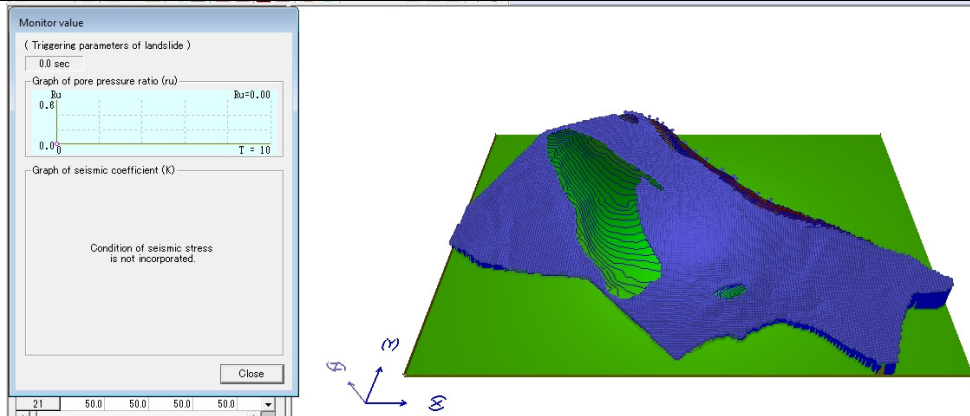
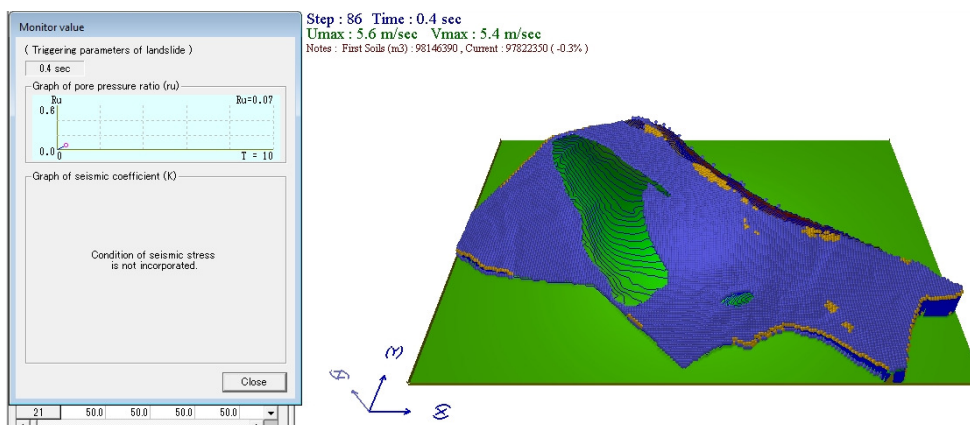
1. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2012) Kizište Juradi, Idejni građevinski projekt sanacije, Faza II: drenažni sustav, Rijeka.
2. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2012) Kizište Juradi, Idejni građevinski projekt sanacije, Faza III: izrada pilotske stijene i potpornog zida, Rijeka.

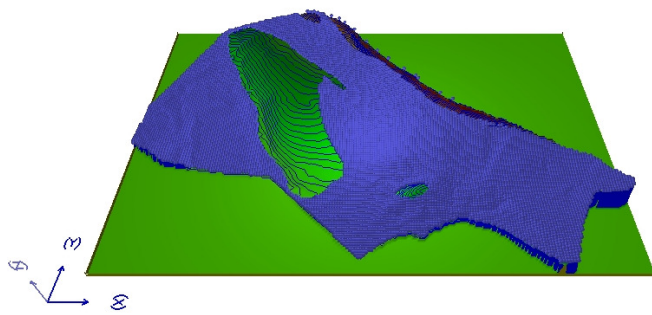
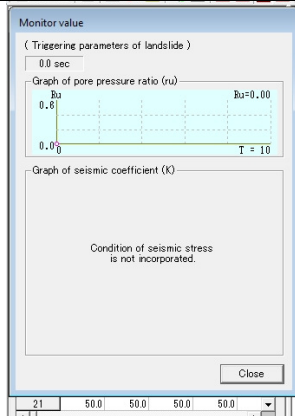
3. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za geotehniku (2011) Izvještaj o ispitivanju granulometrijskog sastava uzoraka s područja Buzeta, Zagreb.
4. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za geotehniku (2011) Izvještaj o ispitivanju granica konzistencije uzoraka s područja Buzeta, Zagreb.
5. Geolog savjetovanje d.o.o. za geološka istraživanja (2011) Kizište Juradi- Izvještaj o inženjerskogeološkim istraživanjima, Zagreb.
6. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2011) Kizište Juradi, Idejni građevinski projekt sanacije, Faza I: površinska odvodnja, Rijeka.
7. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci (2008) Izmjene i dopune plana prostornog uređenja Općine Vinodolske, Geotehničko zoniranje, Rijeka.
8. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (2006) Geotehnički izvještaj i glavni projekt sanacije odrona Marinci na ŽC 5013, Rijeka.
9. Urbis 72 d.d. (2005) Prostorni plan uređenja Grada Buzeta, Knjiga I, Pula.
10. Urbis 72 d.d. (2005) Prostorni plan uređenja Grada Buzeta, Knjiga II, Pula.
11. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (2005) Geotehnički izvještaj i glavni projekt sanacije klizišta Drazej na državnoj cesti D48 Pazin-Vozilići, Rijeka.
12. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (2004) Projekt sanacije klizišta Krušvari, Rijeka.
13. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu (2003) Urbanistički plan uređenja Slatine: Inženjerskogeološki elaborat.
14. Zavod za razvoj, prostorno planiranje i zaštitu čovjekovog okoliša u Rijeci (2000) prostorni plan Primorsko-goranske županije. odredbe za provođenje, Knjiga 3, Rijeka.
15. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1999) Geotehnički projekt s idejnim rješenjem sanacije klizišta Raspadalica 2 u km 33+1/3 kod Buzeta, Zagreb.
16. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1999) Geotehnički projekt s idejnim rješenjem sanacije klizišta Raspadalica 3 u km 35+1/2 kod Buzeta, Zagreb.
17. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1999) Geotehnički projekt i smjernice detaljnih istraživanja klizišta 4 i 5 u km 36+4/7 na lokaciji Raspadalica kod Buzeta, Zagreb.

18. Zavod za razvoj, prostorno planiranje i zaštitu čovjekovog okoliša u Rijeci (1999) Prostorni plan Primorsko-goranske županije. Plan prostornog uređenja, Knjiga 2., Rijeka.
19. Zavod za razvoj, prostorno planiranje i zaštitu čovjekovog okoliša u Rijeci (1998) Prostorni plan Primorsko-goranske županije. Osnove razvoja i zaštite, Knjiga 1., Rijeka.
20. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1996) Geotehnički izvještaj: Erozijska zaštita pokosa na mjestu klizišta Raspadalica 2, Zagreb.
21. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1996) Prostorni plan županije Primorsko-goranske. prirodna osnova: geološke i inženjerskogeološke osobitosti, Rijeka.
22. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1995) Izvješće o geofizičkim istraživanjima klizišta Raspadalica 1-5 na željezničkoj pruzi D.G. Slovenijapula, kod Buzeta, Zagreb.
23. Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (1995) Geotehnički istražni radovi s idejnim projektom sanacije klizišta Raspadalica 1 u km 32+3/4 kod Buzeta, Zagreb.
24. Rijekaprojekt (1979) Inženjerskogeološki izvještaj za klizište Krbavčići 1 i 2 kod Buzeta, Rijeka.
25. Geotehnika Zagreb, OOUR Geoexpert (1979) Izvještaj o geomehaničkim istražnim radovima: klizište Krbavčići 2, Zagreb.

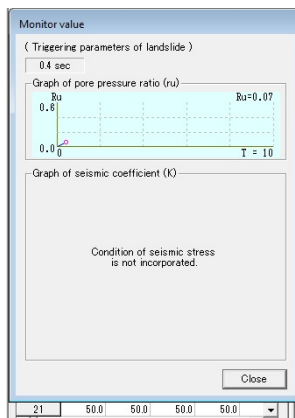


# PRIVITAK- Procjena podložnosti klizanju 3D determinističkim modelom u LS-Rapidu unutar 30 dana podizanja koeficijenta pornog pritiska s vrijednosti 0 na vrijednost 0,6 (plavo-stabilno područje, narančasto-nestabilno područje)

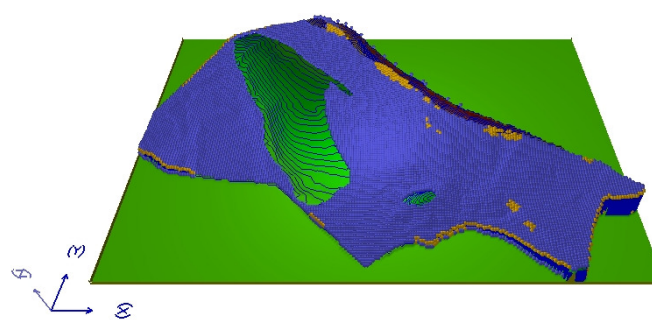
Koeficijent pornog pritiska $r_u$	Vrijeme t (dan)	Dijagram porasta pornog pritiska / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet
0,00	0	
0,07	1	



0,07      1



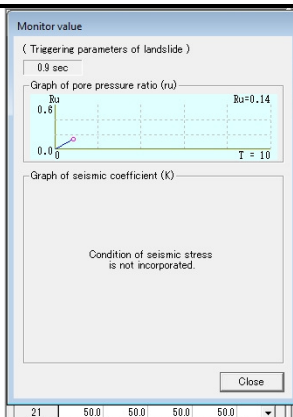
Step : 86 Time : 0.4 sec  
 Umax : 5.6 m/sec Vmax : 5.4 m/sec  
 Notes : Fast Soils (n3) : 98146390 , Current : 97822330 (-0.3%)



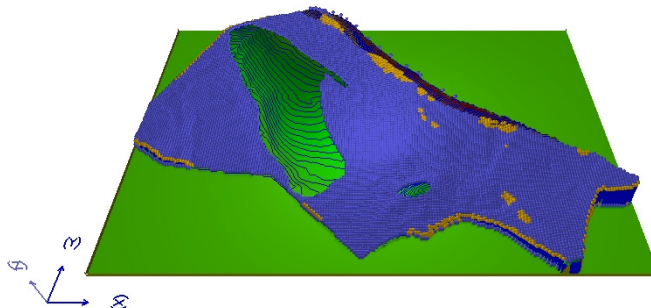
Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

0,14

2

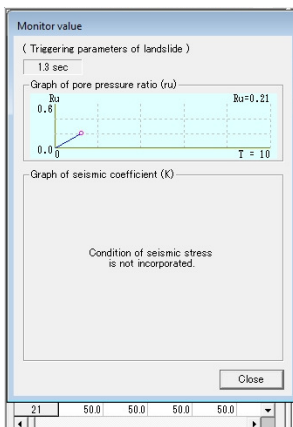


Step : 172 Time : 0.9 sec  
 Umax : 12.9 m/sec Vmax : 12.8 m/sec  
 Notes : Fast Soils (n3) : 98146390 , Current : 97822259 (-0.3%)

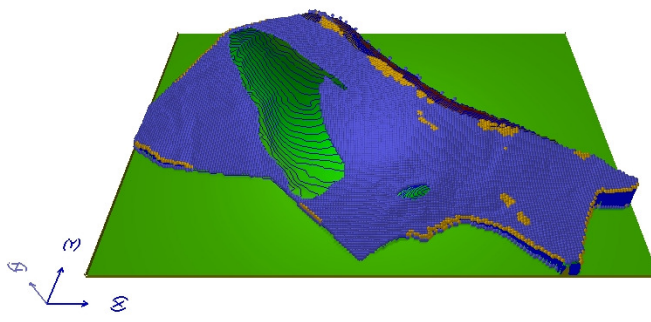


0,21

3

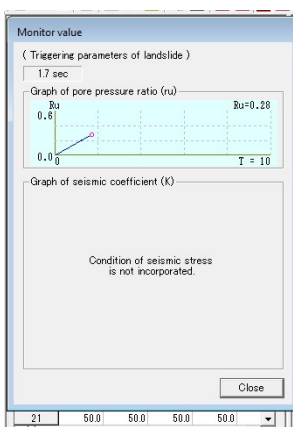


Step : 258 Time : 1.3 sec  
 Umax : 18.2 m/sec Vmax : 17.7 m/sec  
 Notes : Fast Soils (n3) : 98146390 , Current : 97813430 (-0.3%)

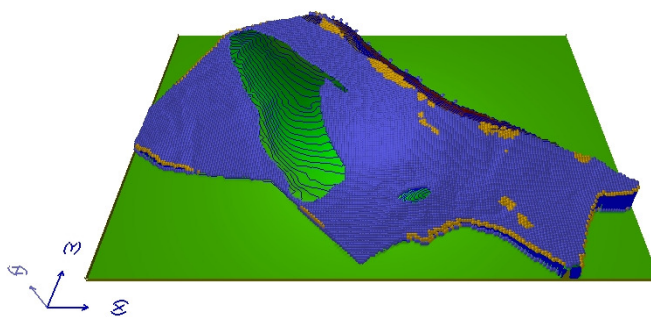


0,28

4



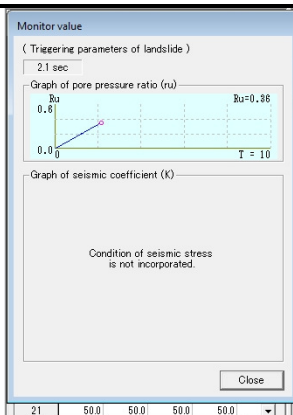
Step : 344 Time : 1.7 sec  
 Umax : 19.0 m/sec Vmax : 18.4 m/sec  
 Notes : Fast Soils (n3) : 98146390 , Current : 97813305 (-0.3%)



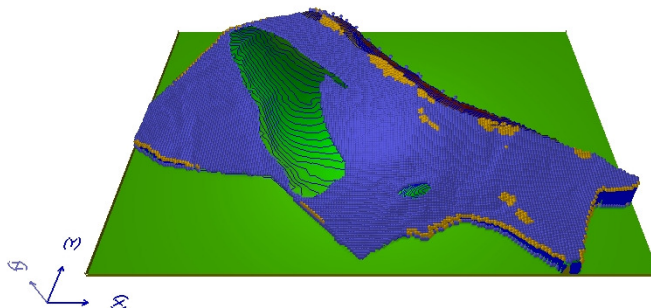
Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

0,36

5

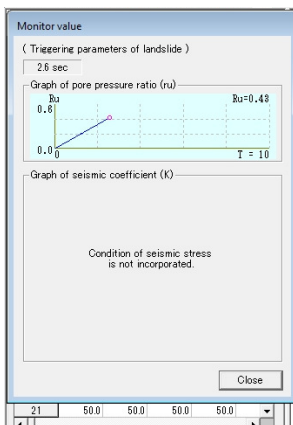


Step : 430 Time : 2.1 sec  
 Umax : 25.8 m/sec Vmax : 25.2 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97813169 (-0.3%)

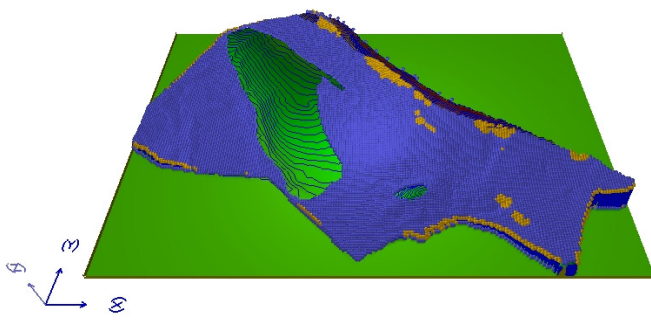


0,43

6

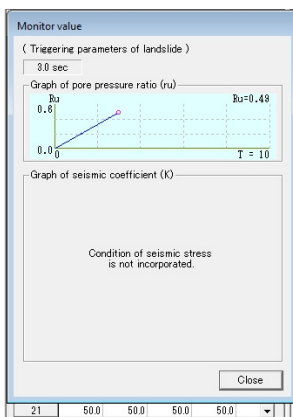


Step : 516 Time : 2.6 sec  
 Umax : 19.6 m/sec Vmax : 18.4 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97813034 (-0.3%)

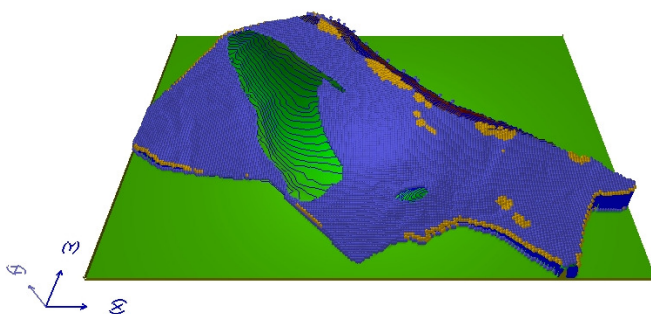


0,49

7



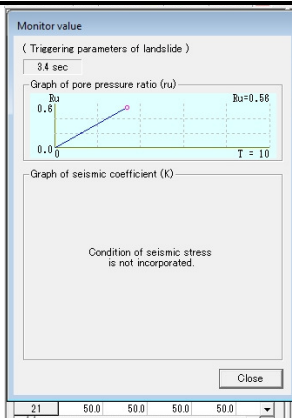
Step : 602 Time : 3.0 sec  
 Umax : 26.1 m/sec Vmax : 22.0 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97812870 (-0.3%)



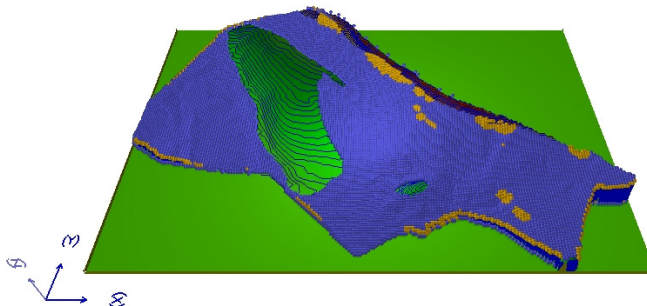
Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

0,56

8

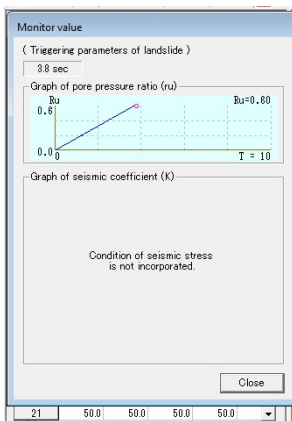


Step : 688 Time : 3.4 sec  
 Umax : 20.4 m/sec Vmax : 34.1 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97812679 (-0.3%)

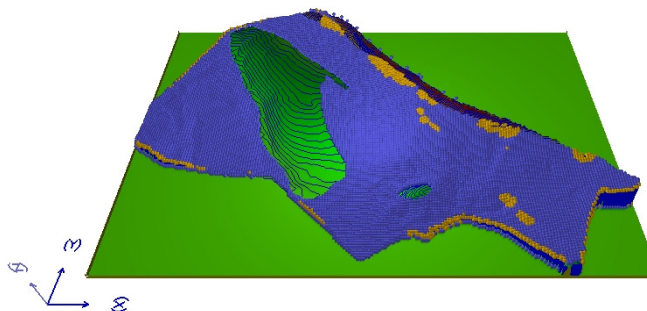


0,6

9

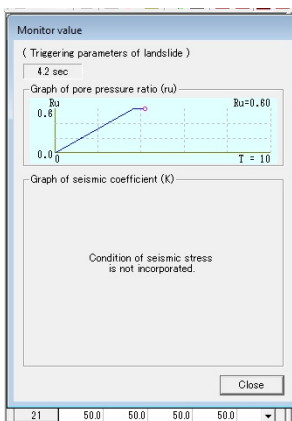


Step : 774 Time : 3.8 sec  
 Umax : 22.4 m/sec Vmax : 22.1 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97812502 (-0.3%)

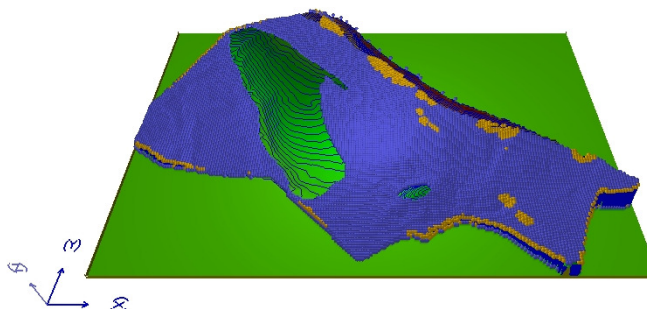


0,6

10

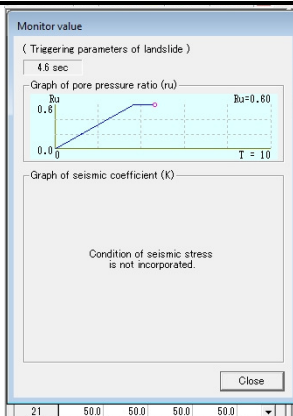


Step : 860 Time : 4.2 sec  
 Umax : 19.8 m/sec Vmax : 18.6 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97812293 (-0.3%)

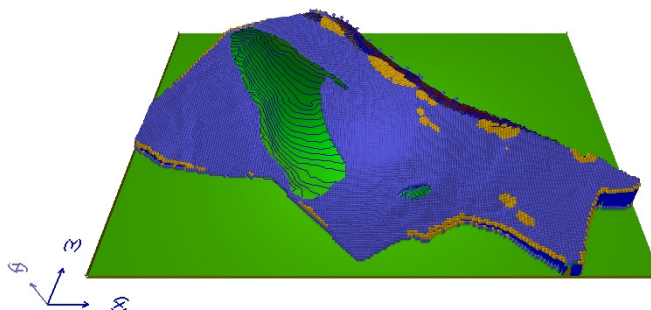


Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

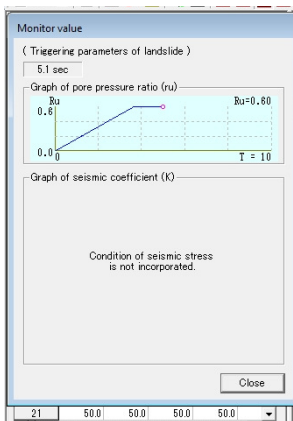
0,6 11



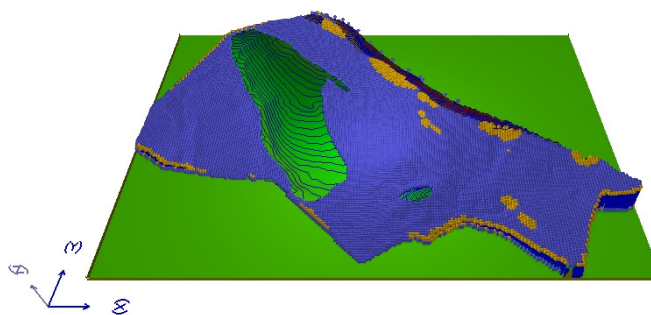
Step : 946 Time : 4.6 sec  
 Umax : 20.8 m/sec Vmax : 18.7 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97812068 (-0.3%)



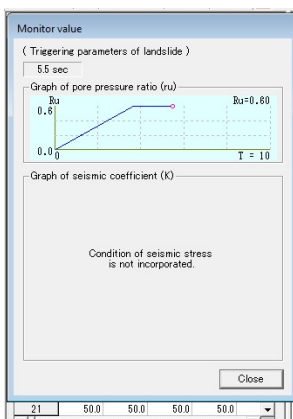
0,6 12



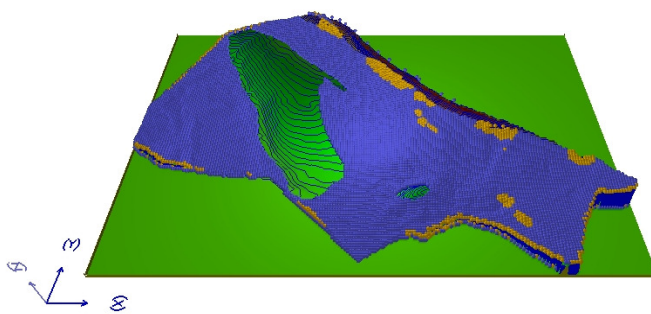
Step : 1032 Time : 5.1 sec  
 Umax : 25.4 m/sec Vmax : 20.6 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97811811 (-0.3%)



0,6 13



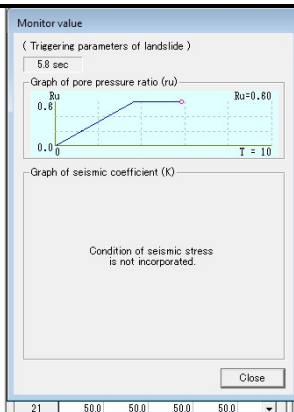
Step : 1118 Time : 5.5 sec  
 Umax : 35.3 m/sec Vmax : 30.3 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97811531 (-0.3%)



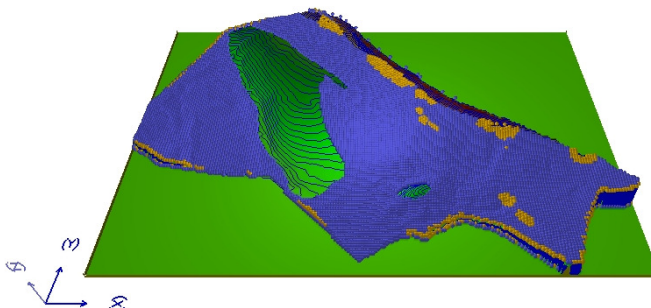


Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

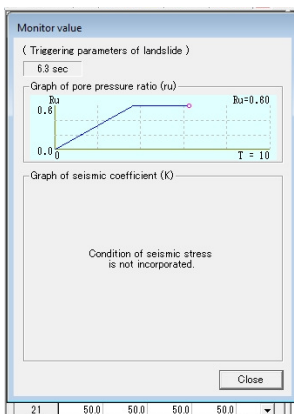
0,6 14



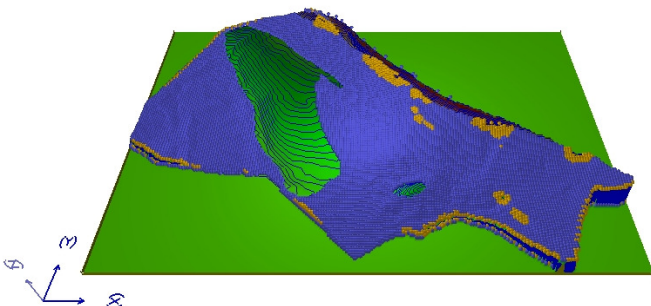
Step : 1204 Time : 5.8 sec  
 Umax : 20.4 m/sec Vmax : 19.7 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97811283 (-0.3%)



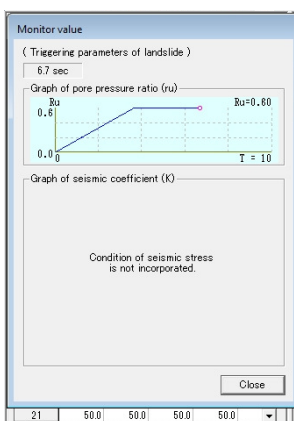
0,6 15



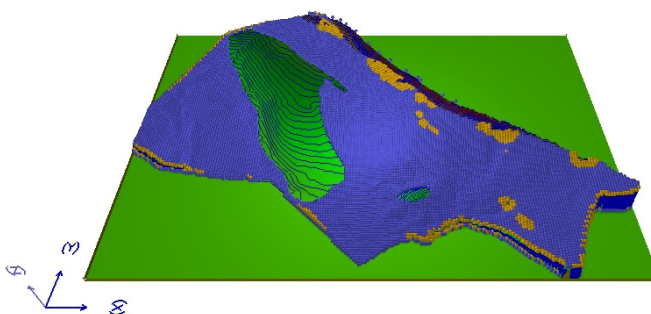
Step : 1290 Time : 6.3 sec  
 Umax : 21.1 m/sec Vmax : 18.3 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97810988 (-0.3%)



0,6 16



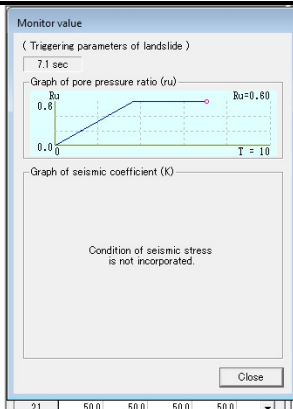
Step : 1376 Time : 6.7 sec  
 Umax : 28.3 m/sec Vmax : 32.8 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97810645 (-0.3%)



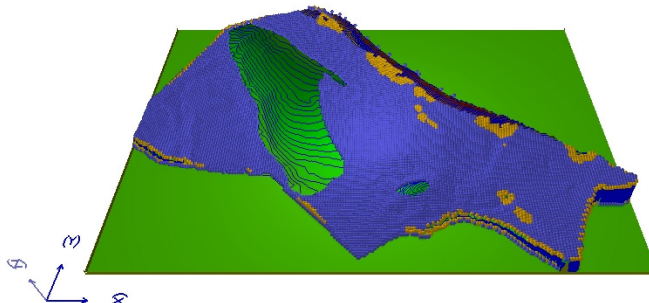
Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

0,6

17

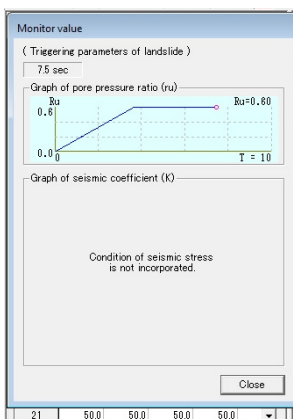


Step : 1462 Time : 7.1 sec  
 Umax : 22.2 m/sec Vmax : 16.4 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97810351 (-0.3%)

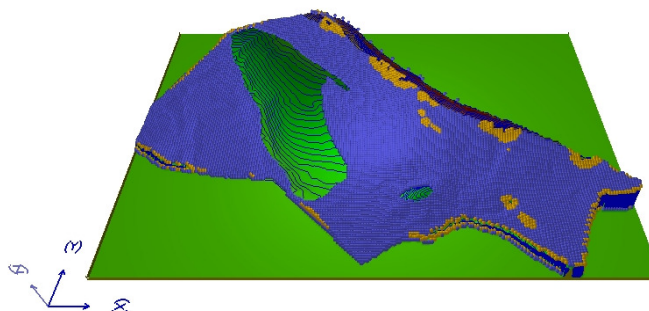


0,6

18

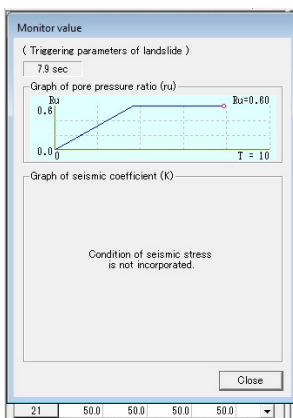


Step : 1548 Time : 7.5 sec  
 Umax : 18.3 m/sec Vmax : 17.0 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97810032 (-0.3%)

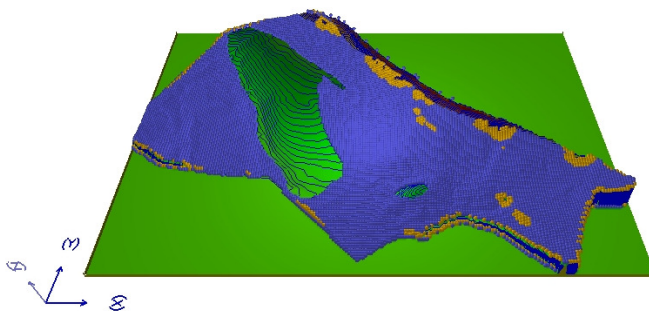


0,6

19

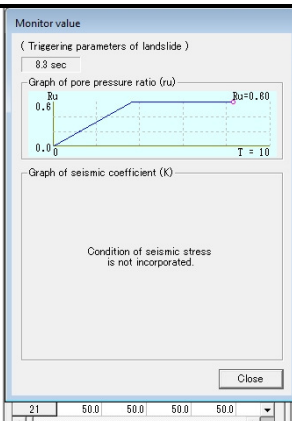


Step : 1634 Time : 7.9 sec  
 Umax : 17.3 m/sec Vmax : 16.0 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97809673 (-0.3%)

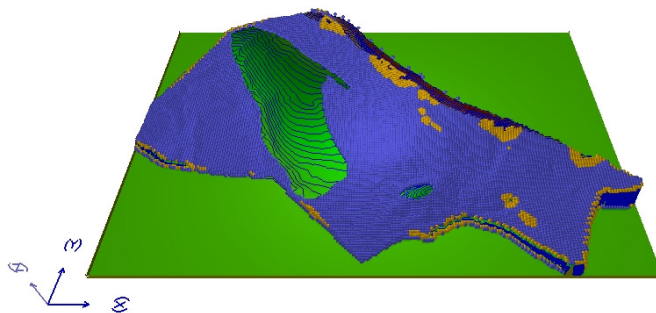


Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

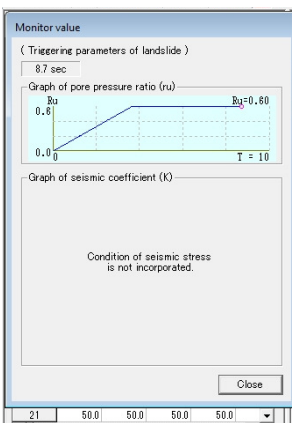
0,6 20



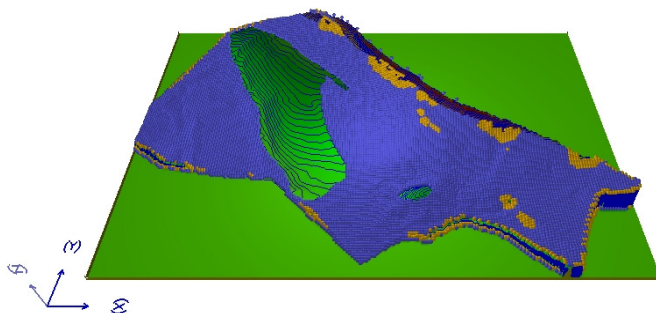
Step : 1720 Time : 8.3 sec  
 Umax : 15.7 m/sec Vmax : 15.6 m/sec  
 Notes : First Soils (n3) : 98146390 , Current : 97809318 (-0.3%)



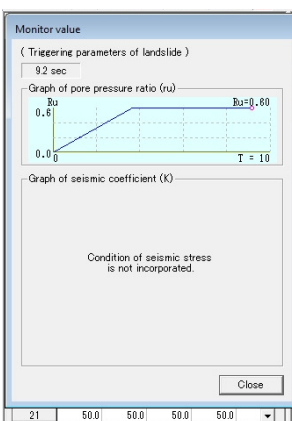
0,6 21



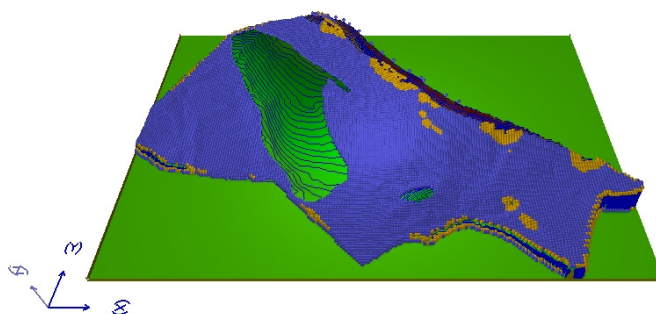
Step : 1806 Time : 8.7 sec  
 Umax : 16.6 m/sec Vmax : 16.6 m/sec  
 Notes : First Soils (n3) : 98146390 , Current : 97808913 (-0.3%)



0,6 22



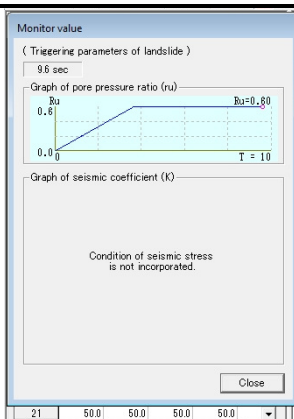
Step : 1892 Time : 9.2 sec  
 Umax : 28.8 m/sec Vmax : 28.3 m/sec  
 Notes : First Soils (n3) : 98146390 , Current : 97808531 (-0.3%)



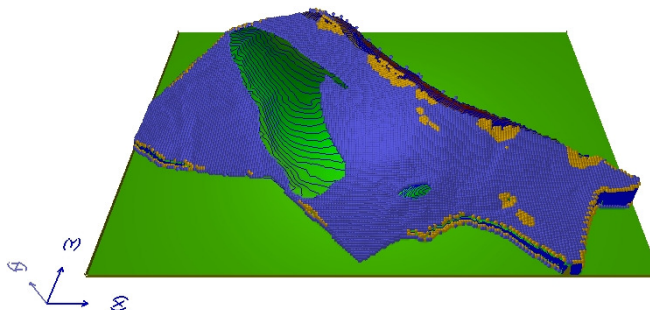


Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

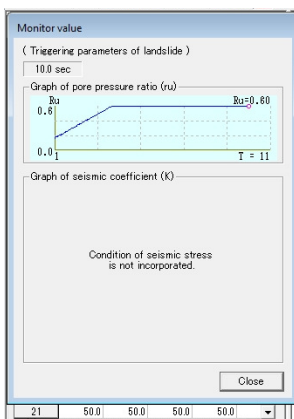
0,6 23



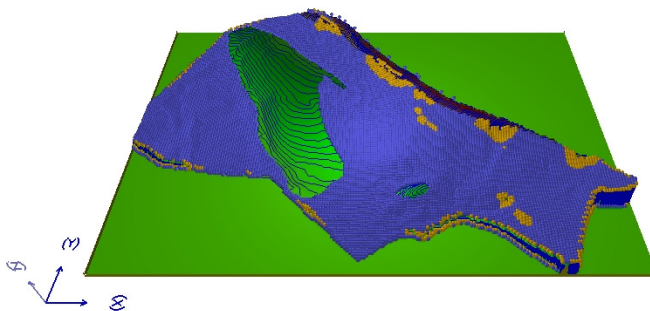
Step : 1978 Time : 9.6 sec  
 Umax : 13.8 m/sec Vmax : 25.2 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97808190 (-0.3%)



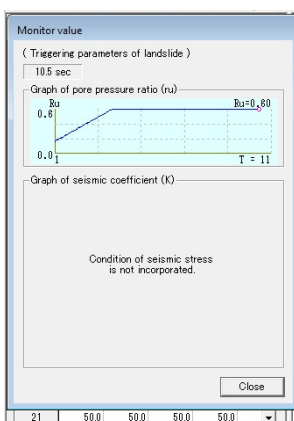
0,6 24



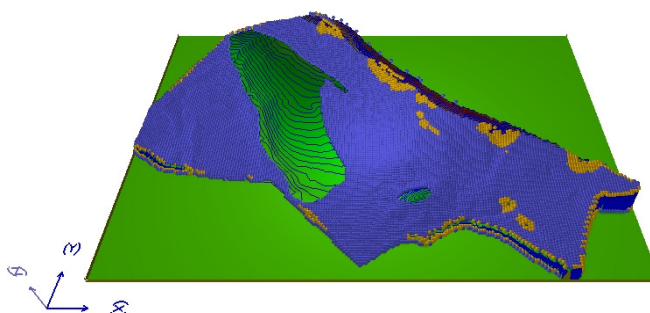
Step : 2064 Time : 10.0 sec  
 Umax : 16.7 m/sec Vmax : 55.3 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97807802 (-0.3%)



0,6 25

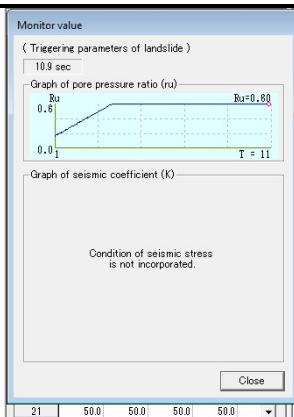


Step : 2150 Time : 10.5 sec  
 Umax : 14.3 m/sec Vmax : 20.1 m/sec  
 Notes : First Soils (m3) : 98146390 , Current : 97807460 (-0.3%)

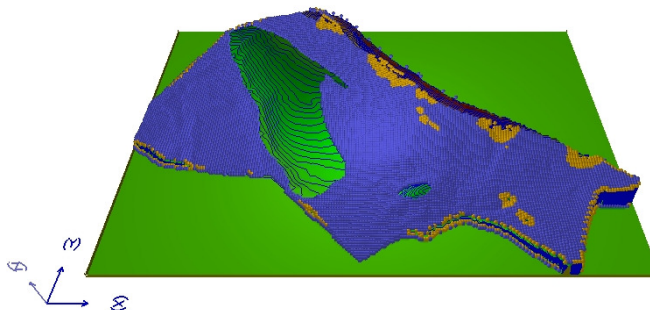


Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

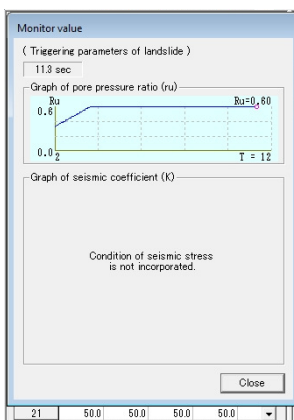
0,6 26



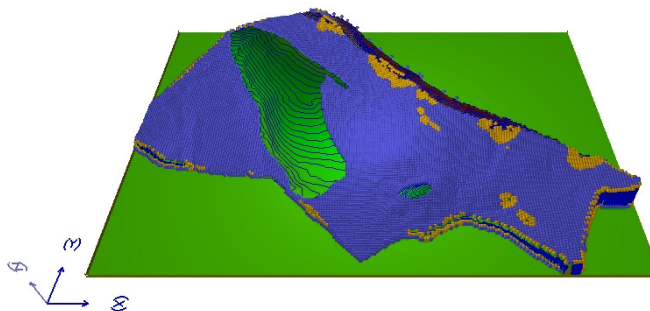
Step : 2236 Time : 10.9 sec  
 Umax : 14.1 m/sec Vmax : 15.3 m/sec  
 Notes : First Soils (n3) : 98146390 , Current : 97807077 (-0.3%)



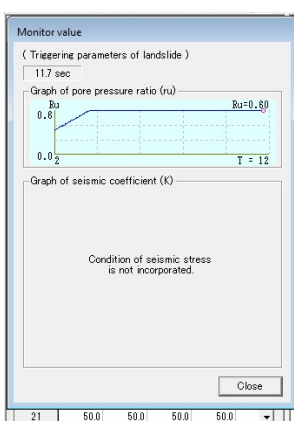
0,6 27



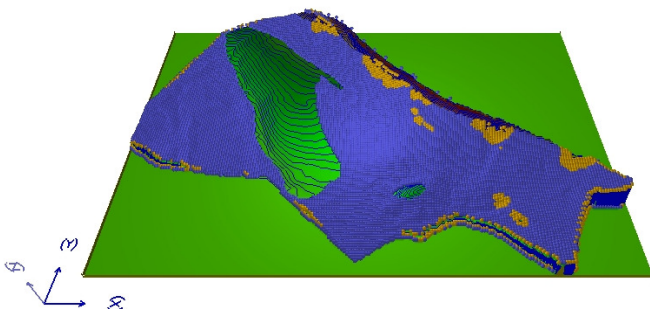
Step : 2322 Time : 11.3 sec  
 Umax : 14.0 m/sec Vmax : 13.8 m/sec  
 Notes : First Soils (n3) : 98146390 , Current : 97806734 (-0.3%)



0,6 28

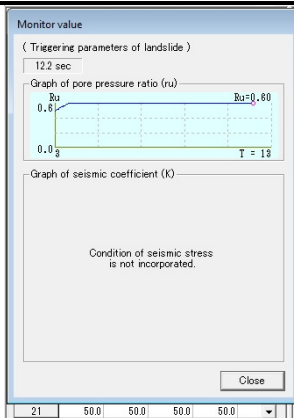


Step : 2408 Time : 11.7 sec  
 Umax : 14.4 m/sec Vmax : 13.2 m/sec  
 Notes : First Soils (n3) : 98146390 , Current : 97806343 (-0.3%)

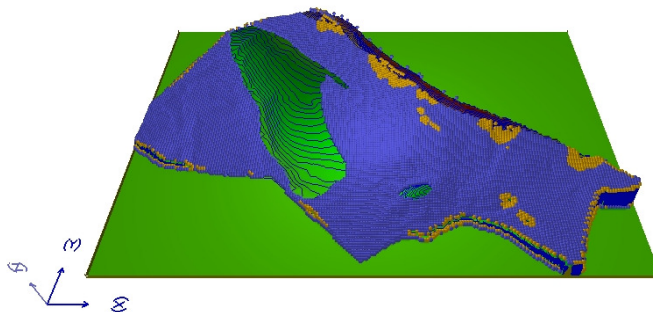


Koeficijent Vrijeme Dijagram porasta pornog pritiska  
 pornog t (dan) / 3D model simulacije klizanja- LS-Rapid- Buzet  
 pritiska  $r_u$

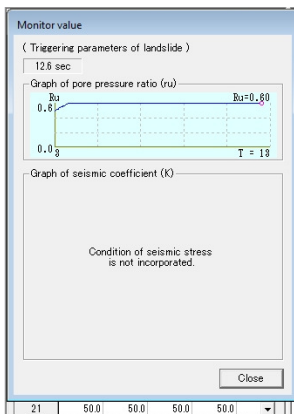
0,6 29



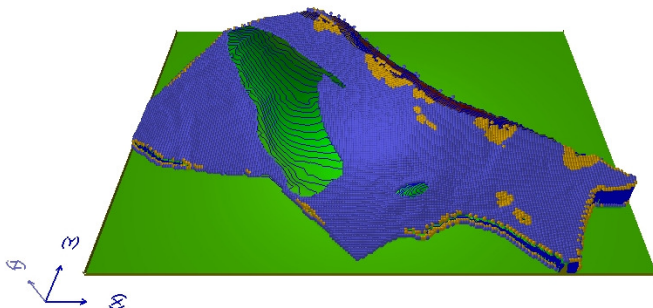
Step : 2494 Time : 12.2 sec  
 Umax : 20.0 m/sec Vmax : 13.6 m/sec  
 Notes : Fast Soils (m3) : 98146390 , Current : 97806128 (-0.3%)



0,6 30



Step : 2580 Time : 12.6 sec  
 Umax : 12.0 m/sec Vmax : 13.5 m/sec  
 Notes : Fast Soils (m3) : 98146390 , Current : 97805929 (-0.3%)



## ŽIVOTOPIS

**Ime i prezime:** Sanja Dugonjić Jovančević  
**Datum i mjesto rođenja:** 15. prosinca 1981., Rijeka  
**Adresa:** Jelićeva 11, Rijeka  
**Telefon:** 051 265 934/ 098 16 93 701  
**E-mail:** [sanja.dugonjic@gradri.uniri.hr](mailto:sanja.dugonjic@gradri.uniri.hr)

---

### OBRAZOVANJE:

- 1996.** *Opća gimnazija Dr. Antuna Barca*, Crikvenica, Svjedodžba o stečenoj srednjoj školskoj spremi
- 2000.** *Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci*, Dodiplomski studij: Konstruktorsko usmjerenje, stečena diploma: Diplomirani inženjer građevinarstva
- 2006.** ASTORIA obrazovni centar (Microsoft certified partner), tečaj AutoCAD-a, Rijeka
- 2006.** *Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci*, *Poslijediplomski doktorski studij*
- 2009.** *International school for Landslide Risk assessment and Mitigation (LARAM)*, Salerno
- 2009.** *Ispitivanja seizmičkim metodama i lasersko snimanje terena (LiDAR)* na klizištu Pont Hourquin u švicarskim Alpama
- 2009.** *EU Project Manager Competencies*, certifikat o položenom ispitu za Certificiranog menadžera projekata EU, Sveučilište u Rijeci, Centar za prijenos znanja o projektima EU
- 2010.** *E-učenje u nastavnom procesu*, potvrda o završenom programu cijeloživotnog obrazovanja, IT akademija Sveučilišta u Rijeci
- 2010.** *Specijalistički tečaj za održivi razvoj, potvrda o završenom tečaju „Metodologije i tehnike u primjeni europskih direktiva u području procjene utjecaja zahvata na okoliš i strateške procjene utjecaja plana i programa na okoliš“*, Arhitektonski fakultet Sveučilišta IUAV iz Venecije i Građevinski fakultet u Rijeci
- 2010.** *Dvomjesečni boravak na japanskim sveučilištima*: Niigata University, Tohoku Gakuin University, Kyoto University i ICL, Shizuoka University.
- 2011.** *Kolegij Geohazardi na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu*
-

**RADNO ISKUSTVO**

**2005.** GKTD „Ivanj“ d.o.o., pripravnik- voditelj objekta komunalne infrastrukture

**2006.** Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Katedra za geotehniku, znanstveni novak – asistent

**NAGRADE /POSTIGNUĆA:**

Državna stipendija 2001. - 2005. g.

Diplomski rad: „Projekt sanacije Klizišta Čokovo“, mentor: prof. dr. sc. Leo Matešić

**KOMPETENCIJE:**

**Računalne:** MS Office (Word, Excel, Power Point, Publisher); AutoCAD, AutoCAD Civil 3D; ArcGIS; LS-Rapid; Programski paket Geostudio (SLOPE/W, SIGMA/W ); Fides; Programski paket RocksciencE (Slide, Phase2, Rocklab)

**Strani jezici:** engleski jezik (aktivno); talijanski i njemački jezik (pasivno)

**OSTALO:**

- znanstveni interesi iz područja stabilnosti kosina, geohazarda, mehanike tla, geotehničkog inženjerstva, zaštite okoliša -dodatni podaci: [www.gradri.uniri.hr](http://www.gradri.uniri.hr)
- rad na hrvatsko-japanskom bilateralnom znanstvenom projektu „*Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia*“ od 2008. do 2013.g.
- sudjelovanje na brojnim domaćim i međunarodnim kongresima, radionicama i savjetovanjima, znanstvenim i stručnim susretima oralnim prezentacijama i poster prezentacijama; popis objavljenih radova: <http://bib.irb.hr/>
- sudjelovanje u organizaciji nastave i vođenju SWAT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analize Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, 2010. g.
- sudjelovanje u organizaciji Specijalističkog tečaja za održivi razvoj 2010. g.
- sudjelovanje u radu Odbora za kvalitetu Sveučilišta u Rijeci 2010. g.
- sudjelovanje na izložbi fotografija u dobrotvorne svrhe na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci 2010. g.
- sudjelovanje na izložbi „Živjeti s klizištima“ u sklopu 3. radionice hrvatsko-japanskog bilateralnog projekta, Zagreb, 2013. g.
- istraživanje unutar IPL-184 projekta (engl. International Programme on Landslides) „*Study of landslides in flysch deposits of North Istria, Croatia: sliding mechanisms, geotechnical properties, landslide modeling and landslide susceptibility*“ od 2012. g. do 2016.g.