

# Geomorfološki značaj klizišta sjeverozapadnog dijela Krapinsko-zagorske županije

---

**Kušan, Martina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:290185>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**Martina Kušan**

**Geomorfološki značaj klizišta sjeverozapadnog dijela  
Krapinsko-zagorske županije**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2021.**



**Martina Kušan**

**Geomorfološki značaj klizišta sjeverozapadnog dijela  
Krapinsko-zagorske županije**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistre geografije

**Zagreb  
2021.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija; smjer: Fizička geografija s geoekologijom* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Diplomski rad

## Geomorfološki značaj klizišta sjeverozapadnog dijela Krapinsko-zagorske županije

Martina Kušan

**Izvadak:** Na sjeverozapadnom području Krapinsko-zagorske županije nalazi se veliki broj aktivnih i potencijalnih klizišta. U okviru rada prikazana je prostorna rasprostranjenost klizišta te su utvrđeni preduvjeti i inicijatori klizanja u užem smislu. Pomoću sinteze svih analiziranih fizičko-geografskih (geološka građa terena, morfometrijska i morfogenetska obilježja reljefa, hidrogeografska obilježja, pedološki sastav podloge, godišnja količina padalina) i društveno-geografskih obilježja (namjena zemljišta i utjecaj prometnica) koji mogu utjecati na stabilnost padina dobiven je uvid u geomorfološke značajke prostora te su predviđene potencijalno najugroženije zone istraživanog područja u kojima može doći do nastanka klizišta.

48 stranica, 25 grafičkih priloga, 11 tablica, 25 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: geomorfologija, klizišta, Krapinsko-zagorska županija

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić  
prof. dr. sc. Sanja Faivre  
izv. prof. dr. sc. Mladen Pahernik

Tema prihvaćena: 13. 2. 2020.

Rad prihvaćen: 11. 11. 2021.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

**Geomorphological significance of landslides in northwestern part of Krapina-Zagorje County**

Martina Kušan

**Abstract:** There are a large number of landslides and potential landslides in the northwestern area of Krapina-Zagorje County. The paper presents the spatial distribution of landslides and determines the preconditions and initiators of landslides in a narrow sense. Through the synthesis of all analyzed physical-geographic (geological terrain, morphometric and morphogenetic features of the relief, hydrogeographical features, pedological structure, annual rainfall) and social-geographic features (land use and impact of roads) that can affect the stability of slopes, an insight into the geomorphological characteristics of the area was obtained and potentially the most endangered zones of the investigated area in which landslides can occur were predicted.

48 pages, 25 figures, 11 tables, 25 references; original in Croatian

Keywords: geomorphology, landslides, Krapina-Zagorje County

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Associate Professor

Reviewers: Neven Bočić, PhD, Associate Professor  
Sanja Faivre, PhD, Full Professor  
Mladen Pahernik, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 13/02/2020

Thesis accepted: 11/11/2021

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1	Pregled dosadašnjih istraživanja i literature .....	2
1.2	Općenito o klizištima.....	3
1.2.1	Klasifikacija klizišta .....	4
1.2.2	Uzročnici klizanja .....	6
1.2.3	Sanacija aktivnih klizišta.....	6
1.3	Istraživano područje - prostorni obuhvat i geomorfološki položaj.....	7
2	Metode rada i izvori podataka.....	10
3	Utjecaj izabranih elemenata prostora na pojavu klizišta.....	12
3.1	Utjecaj fizičko-geografskih obilježja.....	12
3.1.1	Geološka građa .....	12
3.1.2	Morfometrijska obilježja reljefa.....	15
3.1.2.1	Hipsometrija .....	15
3.1.2.2	Nagib padina.....	17
3.1.2.3	Ekspozicija padina.....	20
3.1.2.4	Vertikalna raščlanjenost .....	21
3.1.3	Hidrogeografska obilježja .....	23
3.1.4	Pedološka obilježja.....	24
3.1.5	Morfogenetska obilježja .....	27
3.1.6	Klimatska obilježja.....	28
3.2	Utjecaj društveno-geografskih obilježja.....	35
3.2.1	Namjena zemljišta .....	35
3.2.2	Prometna infrastruktura.....	37
4	Vrednovanje reljefa- karta rizika od pojave klizišta .....	40
5	Zaključak.....	44
	Literatura .....	44



Izvori .....	47
Prilozi .....	VII
Popis slika.....	VII
Popis tablica.....	VIII

## 1. Uvod

Klizanja su izraziti destruktivni derazijski procesi, čija pojava često ima katastrofalne posljedice u naseljima, na komunalnim vodoopskrbnim i vodozaštitnim objektima, prometnicama, poljoprivrednim i šumskim površinama (Bognar, 1996). Klizišta predstavljaju veliku opasnost u gotovo svim dijelovima svijeta, a najčešće u brdskim i planinskim područjima. Čak i u slučaju kada nisu katastrofalna mogu uzrokovati značajne ekonomske i socijalne gubitke, izravne i neizravne, na privatnim i javnim dobrima (Highland i Bobrowsky, 2008). Izravne štete nastaju u trenutku aktiviranja klizišta, oštećivanjem objekata i ljudskim gubicima unutar granica prostiranja klizišta. Neizravne štete se iskazuju i kroz dulje vremensko razdoblje: smanjenjem vrijednosti nekretnina u ugroženim područjima, gubitkom produktivnosti zbog oštećenja na dobrima ili prekida prometa, ozljedama ili psihološkim traumama te troškovima sanacije (Bernat Gazibara i dr., 2017). Kako klizišta najčešće nemaju velik obujam te ne zahvaćaju veći broj ljudi istovremeno ovoj se prirodnoj opasnosti pridaje puno manje pažnje nego što bi trebalo. Međutim, stalno širenje čovjekovog životnog prostora u područja manje pogodna za gospodarske aktivnosti povećava potrebu za predviđanjem moguće pojave klizišta. Kako bi se izbjegle navedene negativne posljedice potrebno je dobro istražiti ugrožena područja te izraditi inventar klizišta i prognostičke karte. Naime, još je uvijek teško predvidjeti klizanje u vremenu, ali je relativno jednostavno definirati zone potencijalnoga klizanja jer prevencija ima prije svega prostornu dimenziju.

Cilj ovoga rada je prikazati prostornu rasprostranjenost klizišta, utvrditi uvjete i procese razvoja te pomoću sinteze svih analiziranih fizičko-geografskih i društveno-geografskih obilježja dobiti uvid u njihov geomorfološki značaj. Također, cilj je bio izraditi kartografski prikaz podložnosti na klizanje sjeverozapadnog dijela Krapinsko-zagorske županije. Na navedenom području nalaze se brojna klizišta, potencijalna klizišta, odnosno nestabilne padine te gotovo da i nema jedinice lokalne samouprave u kojoj se u posljednjih desetak godina nije aktiviralo klizište. Iz tog razloga, kartom će se pokušati predvidjeti potencijalno najugroženije zone na klizanje. Također, pobliže će se objasniti važnost kartiranja klizišta na razumijevanje nastanka klizišta, ali i aktivnosti za smanjenje budućih šteta.

## 1.1 Pregled dosadašnjih istraživanja i literature

Prva primijenjena geomorfološka istraživanja u Republici Hrvatskoj počinju još sedamdesetih godina 20. stoljeća (Bognar, 1996) i to uglavnom u okviru izrade različitih elaborata koji nisu javno dostupni. Među prvim radovima koji se bave klizištima na području Hrvatske ističe se rad „Kliženje i stabilizacija kosina“ u kojem je načinjena klasifikacija klizišta te su objašnjeni pristupi istraživanja istih (Nonveiller, 1987). Geomorfološkom i geoekološkom problematikom procesa klizanja i nastankom klizišta bavi se Bognar u radu „Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geoekološki aspekti“ (Bognar, 1996).

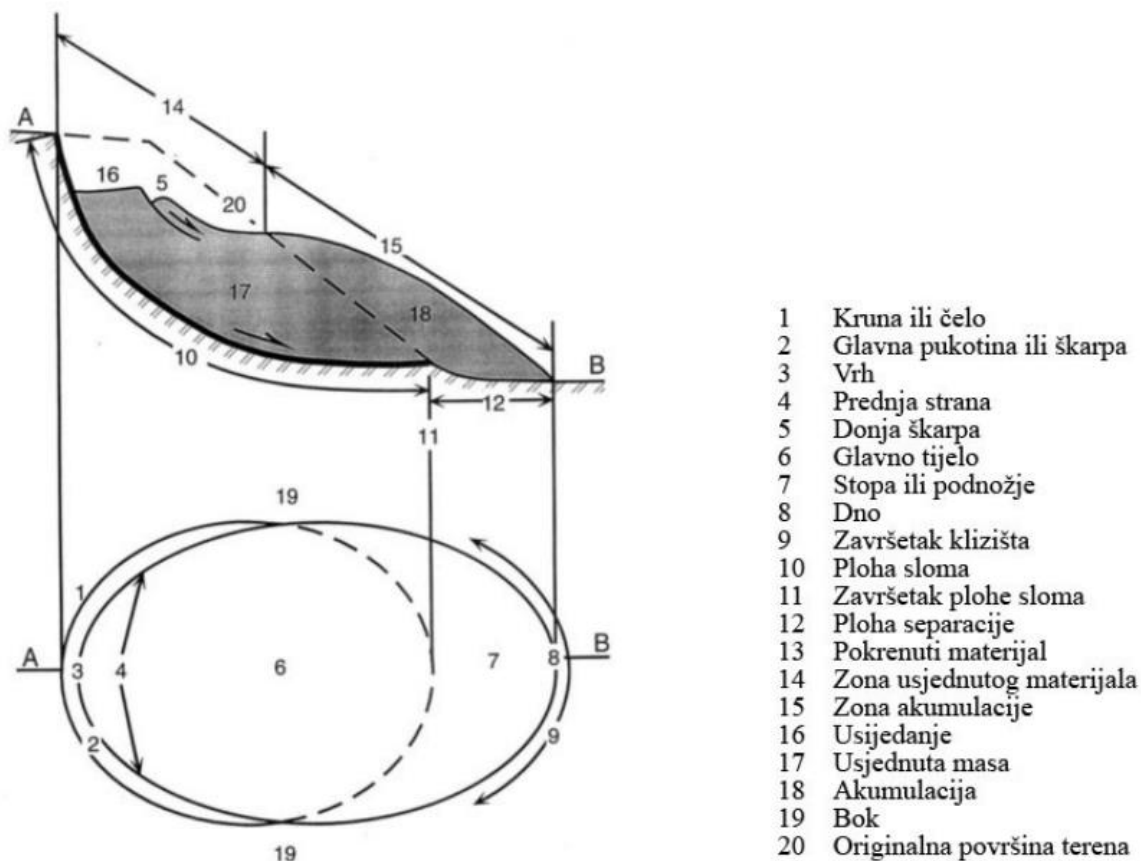
U posljednjih pedesetak godina različiti autori su izradili nekoliko inventara klizišta za podsljemensko područje grada Zagreba. Evidentirano je više stotina klizišta: 535 klizišta registrirano je u studiji iz 1967. godine (Šikić, 1967), 812 klizišta registrirano je 1979. godine (Polak i dr., 1979), a 707 klizišta registrirano je u studiji iz 2007. godine (Miklin i dr., 2007). Navedene karte klizišta izrađene su primjenom konvencionalnih metoda kartiranja klizišta - terenskim geološkim i geomorfološkim kartiranjem te vizualnom interpretacijom stereoparova avionskih snimki (Bernat Gazibara, 2019). Posljednjih godina sve više se koriste daljinske metode istraživanja u svrhu detaljnog kartiranja klizišta. Toševski i Đomlija, 2018. godine, prvi su primijenili LiDAR tehnologiju za izradu karata klizišta na području Vinodolske udoline. Izdvajaju se brojni radovi Bernat Gazibare i Mihalić Arbanas o utjecaju ekstremnih padalina na pokretanje klizišta te radovi izrade karata klizišta korištenjem digitalnoga modela reljefa visoke rezolucije također za podsljemensko područje grada Zagreba. Postankom, rizicima i sanacijom šteta kliženja u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske bave se Gotić i Gotić (1998; prema Loparić i Pahernik, 2011). Na temelju GIS analize napravljena je karta podložnosti padina klizanju područja Grada Lepoglave (Loparić i Pahernik, 2011), i na području Općine Bednja (Počekal i dr., 2016). O klizištima riječkog područja te o formiranju digitalnih baza podataka o klizištima u svijetu i stanja u Hrvatskoj riječ je u radu Faivre i dr. (Faivre i dr., 2013). S obzirom da u Hrvatskoj ne postoji jedinstvena i centralizirana evidencija klizišta na razini države, u sklopu safEarth projekta uspostavljen je web portal za prijavu klizišta. Projektom safEarth (Transnational advanced management of land use risk through landslide susceptibility maps design), koji trenutno provodi Hrvatski geološki institut, prikupljaju se podaci o geološkim i inženjerskogeološkim svojstvima stijena i klizištima na području Brodsko-posavske, Sisačko-moslavačke i Zagrebačke županije. U sklopu projekta safEarth razrađuje se metodologija za

izrada karata podložnosti, ali i razmatra na koji način bi rezultati tih istraživanja mogli biti ugrađeni u pravilnike vezane uz prostorno planiranje (URL 1).

## 1.2 Općenito o klizištima

Proces klizanja, u užem smislu, podrazumijeva sve vrste gravitacijskih gibanja mase stijena ili tla niz padinu po kliznoj plohi (Cruden, 1991), a nastaje kad su posmična naprezanja veća od posmične čvrstoće materijala. Pod pojmom klizišta u širem smislu obuhvaćamo niz procesa na padinama (Petley, 2010) uključujući urušavanje, prevrtanje, klizanje (u užem smislu), bočno širenje, tečenje i druge kompleksne pokrete. Klizište u užem smislu, prema obliku klizne plohe, može biti rotacijsko i translacijsko (Varnes, 1978). Široko rasprostranjeni padinski procesi kao što su puzanje, subsidencija, bubrenje i slijeganje uglavnom se ne smatraju klizištima. U ovom radu analizirani su isključivo procesi klizanja u užem smislu, dok su ostali procesi izuzeti iz analize. Klizišta se od drugih padinskih procesa razlikuju postojanjem izraženih granica u odnosu na susjedni prostor i brzinom kretanja materijala (Faivre i dr., 2013).

Gibanje klizišta na padini rezultira stvaranjem zone usijedanja koja predstavlja područje klizišta sniženo u odnosu na originalnu površinu terena te nastankom zone akumulacije, odnosno područja klizišta izdignutog u odnosu na originalnu površinu terena. Glavni dijelovi klizišta su glavna pukotina, bokovi i stopa klizišta, kojima je ujedno definirana i granica klizišta na površini terena, te ploha sloma, odnosno klizna ploha koja predstavlja granicu između pokrenutog i nepokrenutog materijala u podzemlju (Sl. 1).



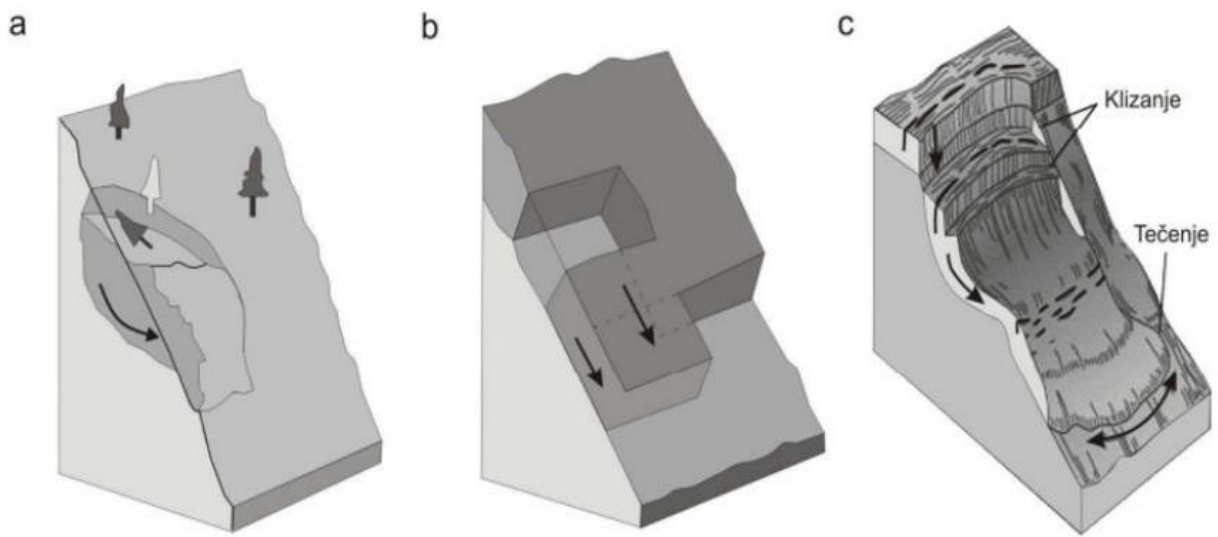
Sl. 1. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu

Izvor: WP/WL1, 1993.

### 1.2.1 Klasifikacija klizišta

Kriteriji na temelju kojih se izdvajaju tipovi klizišta uključuju mehanizme pokreta (klizišta u širem smislu), vrstu materijala (stijena, rastrošni materijal, tlo), oblik klizne plohe (zakrivljena ili planarna), stupanj poremećenosti pokrenute mase i brzinu pokreta (Glade i dr., 2005; Faivre i dr., 2013). U nastavku je objašnjena klasifikacija klizišta prema obliku klizne plohe.

Klizna ploha je ploha po kojoj dolazi do klizanja niz padinu, a s obzirom na oblik klizne plohe razlikujemo tri vrste klizišta. Kod translacijskog klizanja kretanje kliznog tijela je usporedno sa ravinom tj. ima planarnu kliznu plohu. Kad je konkavna klizna ploha, odnosno kretanje kliznog tijela je po zakrivljenoj plohi, radi se o rotacijskom klizanju. Složeno klizanje kombinacija je translacijskog i rotacijskog klizanja (Sl. 2) (Cruden i Varnes, 1996).



Sl. 2. Tipovi klizanja stijenske mase a) rotacijsko, b) translacijsko i c) složeno

Izvor: URL 2

Kod tipizacije klizišta prema Bognaru (1983) osnovni kriterij za podjelu su prostorni i geometrijski tipovi pojavljivanja klizne plohe. Bognar tako razlikuje: slojna ili tepih klizišta, rotacijska, stepeničasta, blok klizišta i klizišta potoci. Kod slojnih klizišta klizna ploha je glinovita te blago nagnuta u smjeru padine. Propusni sloj iznad klizne plohe je tanak te su klizni pokreti periodični i vezani za vlažna doba godine. Neki od početnih pokazatelja takve vrste klizišta su „pijana šuma“, klizna ispupčenja te otvorene pukotine. Kod rotacijskih klizišta klizna ploha je zakrivljena i blago konkavnog oblika. U sastavu terena dominira glina ili les ili lesu slični sedimenti. Na gornjem dijelu rotacijskog klizišta pojavljuju se pukotine, a u donjem dijelu dolazi do taloženja transportiranog materijala koji se reprezentira u obliku ispupčenja. Kod stepeničastih klizišta izraženi su destruktivski derazijski procesi tijekom kojih dominiraju urušno - klizni pokreti terena. Blok klizišta se javljaju uz rubove strukturno - denudacijskih stepenica. Odlomljeni blokovi stijena naliježu na glinovitu podlogu te se zatim oblikuje niz manjih kliznih ploha duž kojih se blok kreće niz padinu. Kao poseban tip klizišta ističu se klizišta potoci koja su koritastog oblika te je brzina kretanja materijala izrazito velika.

### 1.2.2 Uzročnici klizanja

Uzročnici (faktori) klizanja se mogu klasificirati na preduvjete klizanja, koji padinu čine podložnom na klizanje, odnosno dovode padinu u stanje granične ravnoteže, i inicijatore (ili okidače) klizanja, koji padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje, odnosno iniciraju pokretanje klizišta (Bernat Gazibara i dr, 2019). Preduvjeti klizanja su: uvjeti na padini (vrste stijena/tala koje izgrađuju padinu i njihova fizička, mehanička i hidraulička svojstva); geomorfološki procesi (npr. erozija obala); fizički procesi (npr. trošenje stijena/tala); i antropogeni utjecaj (npr. pretvaranje šuma u oranice i okućnice). Najčešći inicijatori klizanja su fizički procesi (padaline i potresi) te antropogeni procesi (kamenolomi, gradnja tunela). Najčešće je pokretanje klizišta inicirano samo jednim procesom, dok je predisponirano brojnim preduvjetima i procesima. Klizanje mogu inicirati intenzivne i/ili dugotrajne padaline ili naglo otapanje snijega koji uzrokuju saturaciju padine i povećanje razine podzemne vode, nagli pad razine vode u vodotocima nakon poplava, podizanje razine vode u akumulacijama, ili erozija padine uzrokovana porastom razine vode u vodotocima i jezerima. Osim navedenih fizičkih procesa, klizanje mogu inicirati i potresi. U posljednjih nekoliko desetljeća, osobito u urbanim sredinama, mnoga klizišta su posljedica antropogenih aktivnosti, kao što su: iskopi na padini ili u njezinoj nožici, opterećenje padine ili njezinih vršnih dijelova, loše održavanje drenažnih sustava, procjeđivanje iz komunalne infrastrukture (npr. kanalizacije, vodovoda), odstranjivanje vegetacije, odlagališta rahlog otpada te umjetne vibracije (zbog prometa, teških strojeva itd.). Sve ove pojave, bilo prirodne, bilo antropogene, dovode do smanjenja posmične čvrstoće materijala u padini i u konačnici uzrokuju pomicanje tla ili stijene. Identifikacija uzročnika klizanja te ugroženih antropogenih elemenata ključan je aspekt smanjivanja prirodne opasnosti od klizanja.

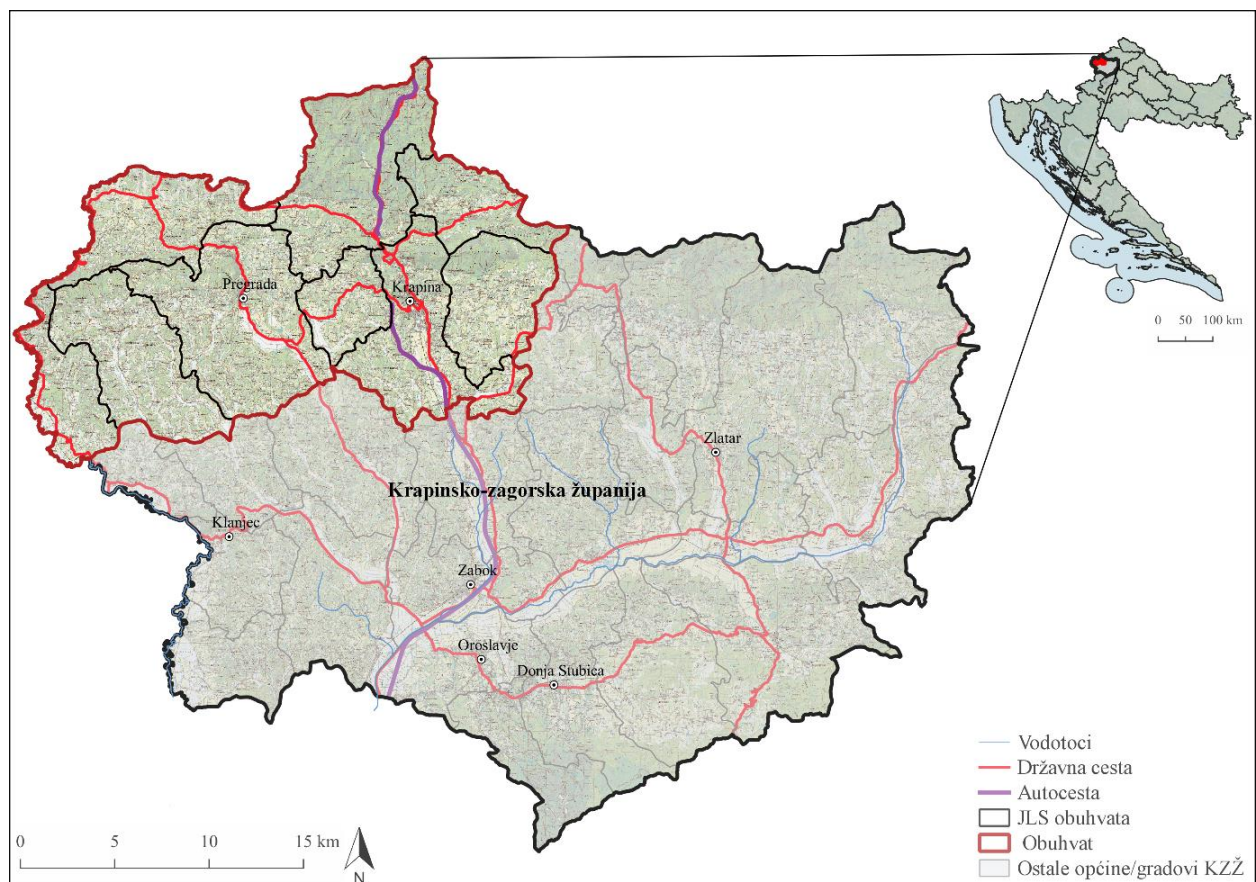
### 1.2.3 Sanacija aktivnih klizišta

Stabilizacija postojećeg klizanja ili prevencija potencijalnog klizanja provodi se reduciranjem posmičnih naprezanja, odnosno sila koje ga pokreću ili povećanjem sila otpora, odnosno posmične čvrstoće materijala. Međutim, ne postoji generalno rješenje za sanaciju klizišta i originalni pristup stabilizaciji klizišta koji se može primijeniti na svako klizište. Uspješna primjena svake od primijenjenih mjera sanacije ovisna je o točnom prepoznavanju specifičnih uvjeta tla i podzemne vode na terenu tijekom istražnih radova i njihovoj primjeni u projektu sanacije (Popescu, 2001). Klizišta variraju u tipu i veličini, a značajno su ovisna o specifičnim i lokalnim geološkim i drugim uvjetima tako da se za svaki problem klizanja tla

moгу primijeniti efektivne mjere sanacije na više načina. Najbolji rezultati u sanaciji klizišta postižu se korištenjem kombinacije različitih tipova sanacijskih mjera koje moraju osigurati maksimalan efekt u stabilizaciji kosine implementacijom najjednostavnije i najmanje zahtjevne mjere sanacije. Mjere sanacije klizišta razvrstavaju se u četiri osnovne skupine, a to su modifikacija geometrije padine, drenaža, potporne konstrukcije i unutarnje ojačanje padine.

### 1.3 Istraživano područje - prostorni obuhvat i geomorfološki položaj

Istraživano područje čini sjeverozapadni dio Krapinsko-zagorske županije. Ograničeno je administrativnom granicom općina: Zagorska Sela, Desinić, Hum na Sutli, Đurmanec, Petrovsko, Jesenje, Radoboj; te administrativnom granicom Grada Pregrade i Grada Krapine (u nastavku: predmetne JLS) (Sl. 3). Istraživano područje pruža se od vrhova Maclja na sjeveru do administrativnih granica općina: Kumrovec, Tuhelj, Krapinske Toplice i Sv. Križ Začretje na jugu. Zapadna granica, ujedno i državna s Republikom Slovenijom jest rijeka Sutla, dok istočnu granicu čine općine Novi Golubovec i Mihovljan. Površina predmetnih JLS iznosi 355,86 km<sup>2</sup>, što čini 29 % ukupne površine županije.

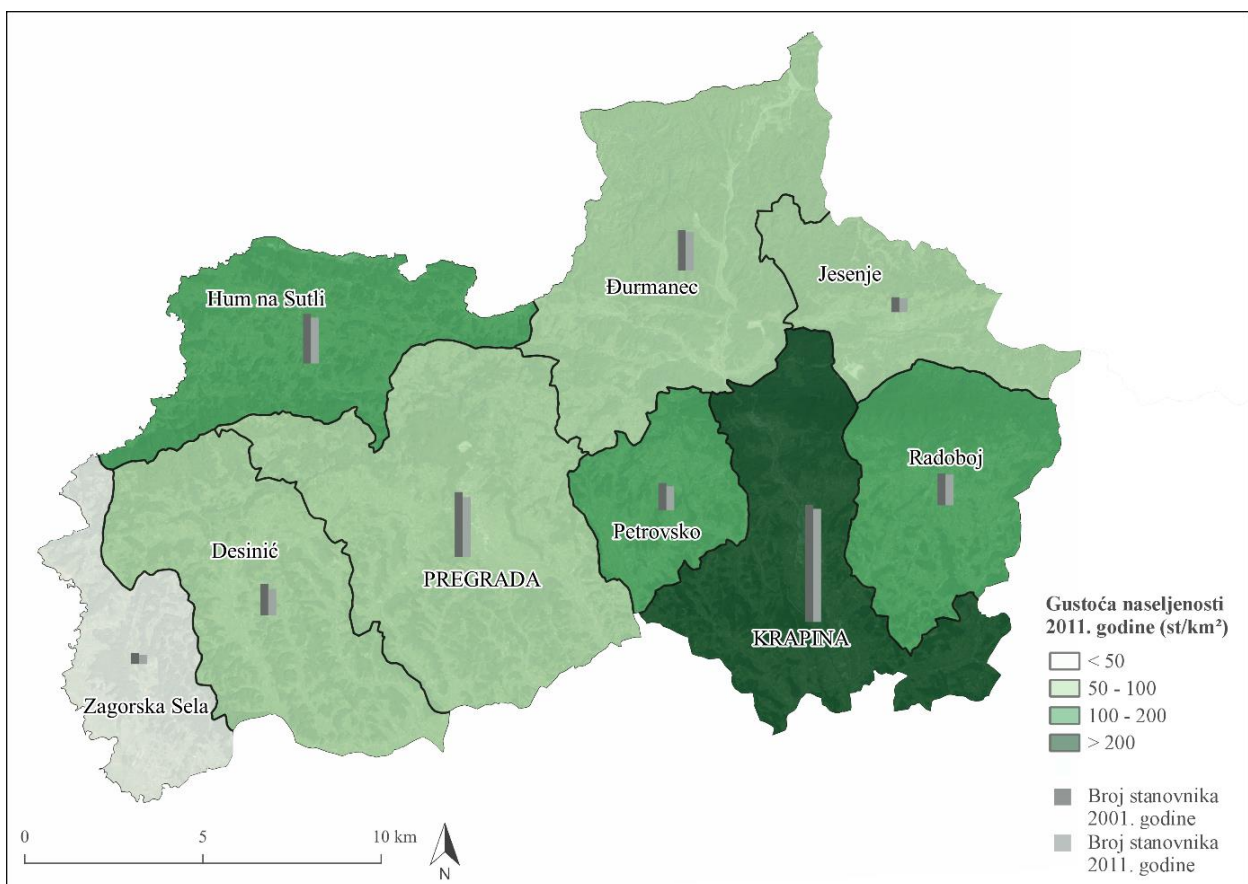


Sl. 3. Pregledna karta istraživanog područja



Prema popisu stanovništva iz 2011. godine (DZS, 2011.), na području predmetnih JLS živio je 39 901 stanovnik, što je 30 % stanovništva Krapinsko-zagorske županije. Najveći broj stanovnika živi na području Grada Krapine (12 480), a najmanji na području Općine Zagorska Sela (996). Najveća gustoća stanovništva zabilježena je u Gradu Krapini, 262,7 st/km<sup>2</sup> kao gradskom i županijskom središtu, dok je najmanja gustoća karakteristična za Općinu Zagorska Sela, 40,4 st/km<sup>2</sup>.

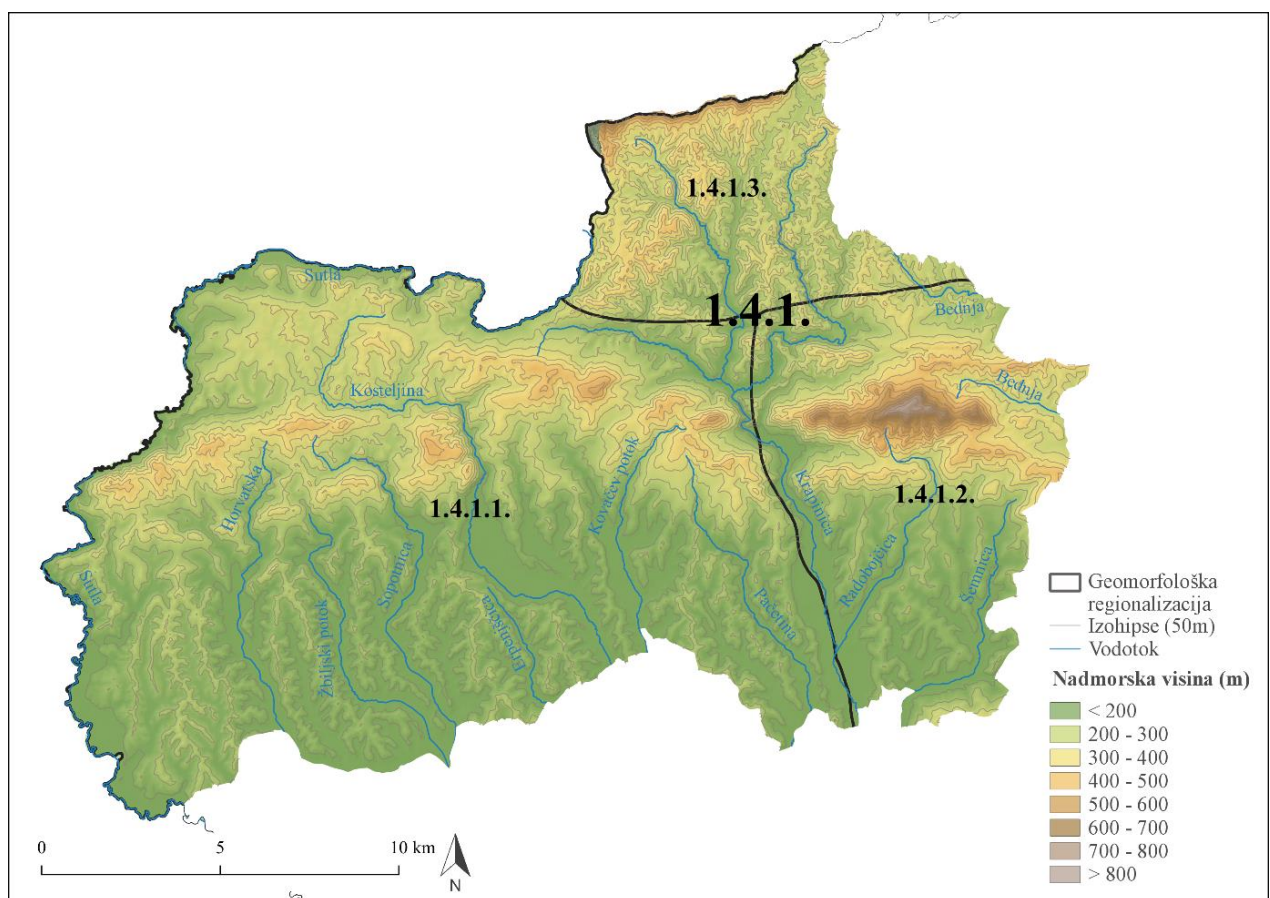
Iz gustoće naseljenosti prikazanoj na Sl. 4 vidljiva je nejednolika naseljenost predmetnih JLS. Najveća naseljenost stanovništva je u urbanim područjima u kojima postoji koncentracija gospodarske aktivnosti te kvalitetnija ponuda usluga u sektoru obrazovanja, zdravstva te dodatnih usluga koje jačaju kvalitetu života. Analizom demografskih pokazatelja evidentan je pad broja stanovnika u svim predmetnim jedinicama lokalne samouprave. Navedeni trendovi će posljedično utjecati i na ekonomsku strukturu stanovništva i društveno-gospodarski razvoj.



Sl. 4. Gustoća naseljenosti i promjena broja stanovnika na području županije

Izvor: URL 3

Istraživano se područje nalazi unutar megageomorfološke regije Panonskog bazena (1), makrogeomorfološke regije Gorsko-zavalskog područja SZ Hrvatske (1.4.), mezogeomorfološke regije Gorskih nizova i pobrđa Hrvatskog zagorja (1.4.1.). Gorski nizovi i pobrđa Hrvatskog zagorja dijele se na tri subgeomorfološke regije: Kunu i Desiničku goru s predgorskim stepenicama i Marijagoričko pobrđe (1.4.1.1.) na zapadu, Gorskih Hrptova Ivanšćice i Strahinjšćice sa S i J predgorskom stepenicom te Varaždinsko – Topličkim pobrđem (1.4.1.2.) na istoku i Ravnu goru s Maceljskim pobrđem (1.4.1.3.) na sjeveru istraživanog područja (Bognar, 2001) (Sl. 5).



Sl. 5. Geomorfološki položaj istraživanog prostora

Izvor: prema Bognar, 2001

## 2 Metode rada i izvori podataka

Prva faza izrade rada obuhvaćala je prikupljanje podataka o klizištima te izradu inventara klizišta. To je bila osnova za procjenu podložnosti padina klizanju. Podaci o lokacijama klizišta prikupljeni su iz odjela lokalnih samouprava Krapinsko-zagorske županije, predmetnih općina (Zagorska Sela, Desinić, Hum na Sutli, Đurmanec, Petrovsko, Jesenje i Radoboj) i gradova (Pregrada i Krapina), Županijske uprave za ceste KZZŽ i novinskih članaka. Lokalne uprave popisuju klizišta za koja saznaju na temelju dojava stanovnika o oštećenjima na materijalnoj imovini odnosno za koja poduzimaju mjere sanacije. Većina tih klizišta aktivirana je u posljednjih desetak godina nakon razdoblja intenzivnih padalina. Lokacije klizišta su dobivene u obliku tehničkih izvješća, geotehničkih elaborata ili opisno na kojoj katastarskoj čestici i/ili adresi je došlo do klizanja. Zbog nepouzdanosti prikupljenih podataka, obavljeno je terensko istraživanje, provjera putem novinskih članaka te satelitskih snimaka sa svrhom provjere podataka, te upotpunjavanje inventara klizišta. Terenskim radom utvrđeno je da se većinom radi o klizištima manjih dimenzija te se na većini lokacija nalazi neki oblik sanacije klizišta. Sva registrirana klizišta nalaze se u blizini stambenih ili gospodarskih objekata, obradivih površina te prometnica, a sigurno postoji još klizišta koja nisu prijavljena od strane lokalnog stanovništva. Dakle, broj klizišta na istraživanom prostoru u stvarnosti je veći no klizišta nisu evidentirana jer ne predstavljaju opasnost po stanovništvo. U ovom radu prikupljeni su podaci o lokacijama za 106 klizišta koji su potom objedinjeni u kartografsku bazu podataka u GIS-u.

Faktori, tj. ulazni podaci za analizu podložnosti na klizanje podijeljeni su prema fizičko-geografskim i društveno-geografskim obilježjima. Analiza fizičko-geografskih obilježja uključuje analizu geoloških, klimatskih, morfometrijskih, morfogenetskih, hidrogeografskih i pedoloških obilježja. Društveno-geografska obilježja uključuju analizu korištenja zemljišta i prometnih obilježja istraživanog područja.

Analiza geološke građe istraživanog područja rađena je na temelju Osnovne geološke karte M:100.000, list Rogatec (Aničić i Juriša, 1981) te Rudarsko-geološke studije Krapinsko-zagorske županije koju je izradio Hrvatski geološki institut, dok je temelj za izradu pedološke karte bila je Digitalna pedološka karta Hrvatske. Za kartografski prikaz načina korištenja zemljišta korišten je Corine Land Cover (CLC) model preuzet sa internetskih stranica Hrvatske agencije za okoliš i prirodu (HAOP).

U okviru ovog rada analizirani su podaci o padalinama s 16 meteoroloških postaja najbližih području istraživanja, od kojih se 6 postaja nalazi na području Republike Slovenije (postaje: Bizeljsko, Cirkulane, Podčetrtek, Podsreda, Ptujaska Gora i Slovenske Konjice). Meteorološki podaci su preuzeti sa internetskih stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda (URL 4) i Agencije Republike Slovenije za okolje (URL 5). Obzirom na dostupne podatke, za izradu kartografskog prikaza prosječne godišnje količine padalina (mm) istraživnog područja računati su prosjeci za razdoblje od 2013. do 2020. godine. Klima istraživnog područja određena je na temelju podataka za meteorološku postaju Krapina koja se nalazi na području istraživanja. Pri izradi klimadijagrama grada Krapine računati su prosjeci za razdoblje od 1994. do 2020. godine iz razloga što je tek 1993. godine ta postaja počela sa mjerenjem. Također, u analizi su izdvojeni podaci o padalinama iz 2013. zbog ekstremnih prilika.

Izvor podataka korištenih za morfometrijsku analizu bio je digitalni model reljefa (DEM) rezolucije 25 m x 25 m iz baze podataka Copernicus (URL 6), europskog programa za promatranje Zemlje. Digitalni je model reljefa bio osnova prostorne analize koja je provedena pomoću QGIS softvera verzije 3.16. Statističke analize podataka većinski su izrađene u GIS okružju, a djelomično u programu Microsoft Excel 2013. Vektorski slojevi podataka preuzeti su iz Središnjeg registra prostornih jedinica Republike Hrvatske iz 2013. godine.

Nakon provedenih priprema i analiza relevantnih faktora klizanja te podjele istih po odgovarajućim kategorija izvršeno je preklapanje inventara klizišta, koji je prikazan točkastim shapefile-om, sa svakom od faktorskih karata. Potom su određene težinske vrijednosti (bodovi) odnosno određen je broj registriranih klizišta za svaku kategoriju faktorskih karata. Tj. broj zabilježenih klizišta na pojedinoj jedinici svakog promatranog parametra dodijeljen je toj jedinici kao bonitetna kategorija te jedinice. Na temelju težinske vrijednosti (boniteta) provedena je reklasifikacija kategorija faktorskih karata. Konačno, izrada karte podložnosti na klizanje provedena je preklapanjem svih težinskih karata. Dobivena karta podložnosti je potom klasificirana na pet zona podložnosti.

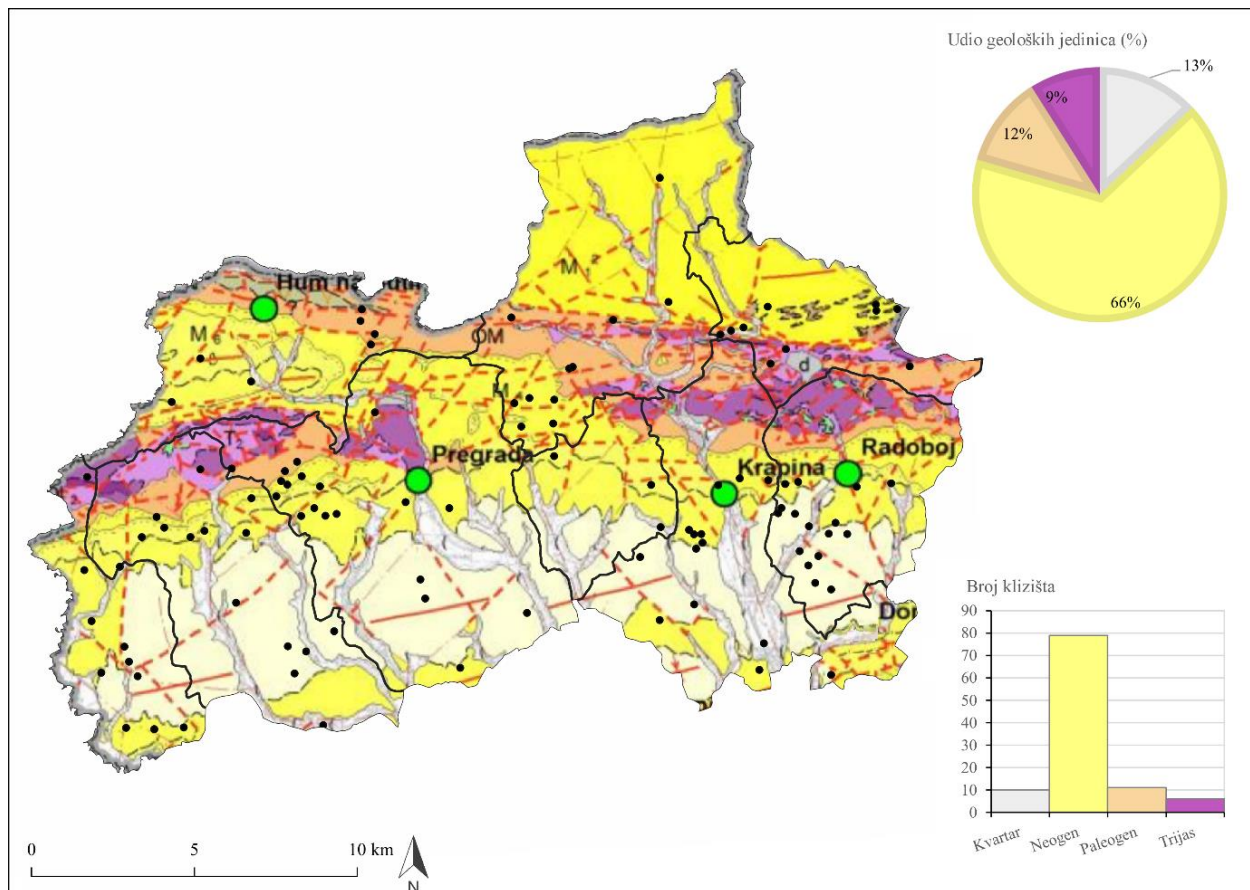
### **3 Utjecaj izabраниh elemenata prostora na pojavu klizišta**

#### **3.1 Utjecaj fizičko-geografskih obilježja**

Pojava klizišta na nekom prostoru pretežitо se dovodi u vezu sa specifičnim geomorfološkim obilježjima područja, geološkom građom terena, promjenom sadržaja vode na području te hidrometeorološkim obilježjima. U nastavku slijedi analiza fizičko-geografskih obilježja bitnih za razumijevanje uvjeta u kojim dolazi do pojave klizišta. Svakom obilježju su pridodane kategorije zastupljene u istraživanom području te bodovane prema količini klizišta unutar pojedine kategorije.

##### **3.1.1 Geološka građa**

Za prikaz geološke građe te prostorne raspodjele naslaga na površini terena korišteni su podaci Osnovne geološke karte M:100.000, list Rogatec (Aničić i Juriša, 1981) te Rudarsko-geološka studija Krapinsko-zagorske županije (URL 7) (Sl. 6). Istraživano područje odlikuje se geološkom građom vremenskog raspona od trijasa do kvartara. Ovaj tip geološke građe posljedica je tektonskih pokreta koji su se odvijali u više faza. Najmlađi, neotektonski, pokreti koji su u najvećoj mjeri oblikovali ovaj prostor, započeli su još u oligocenu i donjem miocenu te se nastavili tijekom donjeg, srednjeg miocena sve do završnog stadija u pliocenu i kvartaru. U strukturnom smislu ova je posljednja faza najznačajnija jer je u konačnici dovela do formiranja triju velikih strukturnih zona, međusobno odvojenih velikim rubnim rasjedima. Ti rasjedi obrubljuju Krapinsko-zagorsku županiju sa sjeverne i južne strane izdvajajući čitavo ovo područje kao izdignuti strukturni blok u kojem su smještene strukture zapadnog rubnog dijela Panonskog bazena (koje dalje na zapadu graniče s istočnim Alpama). Novi tip tektonskih deformacija koji je započeo u pliocenu i nastavio se sve do danas predstavlja strukturnu evoluciju već ranije izdignutih formi koje rotiraju duž dekstralnih transkurentnih rasjeda zbog kompresije spomenutog prostora. Rezultat ovih pokreta je njihovo daljnje smicanje i rotacija duž revrsnih rasjeda, zbog čega ponegdje poprimaju izrazito asimetričan oblik sa sjevernom vergencijom. Radi se o strukturnim formama koje su u ranijim radovima definirane kao horstovi i antiklinalne strukture, kao što su Ivanščica, Strahinjščica, Kuna gora i Kostelsko gorje, a smatraju se Alpskim ograncima.



#### Legenda karte

##### strukturni elementi

- normalna granica
- normalna pretpostavljena granica
- erozijsko-diskordantna granica
- rasjed
- pretpostavljen rasjed
- fotogeološki rasjed
- reversni rasjed
- pretpostavljeni reversni rasjed
- navlaka
- pretpostavljena navlaka
- relativno spušten blok
- os sinkinale ili antikinale
- pretpostavljena os sinkinale ili antikinale

##### geološke jedinice

- |                  |   |
|------------------|---|
| al               | aluvij (poplavni sedimenti)                             |
| d                | deluvijalni sedimenti                                   |
| p                | prapor  |
| Pl,Q             | slatkovodne naslage (pliokvartar)                       |
| M <sub>7</sub>   | raznovrsni klastiti; pont (gornji miocen)               |
| M <sub>6</sub>   | klastiti i karbonati; panon (gornji miocen)             |
| M <sub>5</sub>   | pretežito vapnenački klastiti; samat (srednji miocen)   |
| ?                | tufovi; (miocen)  |
| M <sub>4</sub>   | klastiti; baden (srednji miocen)                        |
| M <sub>2,3</sub> | klastiti; otnang, karpas (donji miocen)                 |
| ?                | tufovi, tufiti i bentonitne gline; (donji miocen)       |
| M <sub>1,2</sub> | klastiti i piroklastiti; donji miocen (burdigala, eger) |
| ?                | andezitni tufovi i vulkanske breče; eger                |
| OM               | klastiti i piroklastiti; eger                           |
| Ol <sub>2</sub>  | klastiti (lapor, glina); (gornji oligocen)              |
| Pc               | klastiti i karbonati; (paleocen)                        |

- |                  |   |
|------------------|---|
| T <sub>3</sub>   | vapnenci i dolomiti; (gornji trijas)                                      |
| T <sub>2,3</sub> | dolomiti, dolomitne breče, gromadasti vapnenci; (srednji i gornji trijas) |
| T <sub>2</sub>   | glineni škriljavac, pješčenjak, dolomit, rožnjak u tufu; (srednji trijas) |
| β                | bazalti, andezit bazalti i spilitizirani dijabazi; (srednji trijas)       |
| T <sub>2</sub>   | dolomiti, dolomitne breče i vapnenci; (srednji trijas)                    |

Sl. 6. Pregledna geološka karta istraživanog područja s lokacijom klizišta

Izvor: URL 7

Glavnu gorsku masu hrptova Koštruna, Kuna gore, Cesarske gore i Strahinjšćice izgrađuju najstarije naslage istraživanog područja, mezozojske karbonatne stijene - vapnenci i dolomiti srednjeg i gornjeg trijasa. Tercijarne naslage izgrađuju najveći dio područja. Prisutne su raznorodne naslage paleogenske i neogenske starosti. Dominantan litološki članovi su klastiti, pijesci, pješčenjaci, konglomerati i šljunci, a zastupljeni su još lapori, gline i tufovi. Neogenske se naslage sastoje od stijena miocenske i pliocenske starosti, svih katova u rasponu od donjeg miocena (gornji eger) do gornjeg pliocena. U litološkom smislu zastupljeni su produkti taloženja u marinskoj, brakičnoj i oslađenoj sredini. Stijene neogenske starosti dolaze na potezu od Huma na Sutli preko Đurmanca na istok, gdje izgrađuju dijelove Strahinjšćice. Također se javljaju i južnije na potezu od Desinića preko Vinagore do Kuna gore, sjeverno od Pregrade. Kvartarne taložine zastupljene su litološki vrlo heterogenim tvorevinama kao posljedicom značajne morfološke razvedenosti terena (neotektonski pokreti) i klimatskih prilika tijekom kvartara. U sastavu pleistocenskih naslaga ističu se različiti genetski tipovi među kojima dominira prapor (barski i kopneni beskarbonatni). Holocenske sedimente izgrađuje pretežito aluvij recentnih tokova rijeka (Sutle, Krapine i dr.) i potoka. Znatno rjeđe pojavljuju se deluvijalni sedimenti i to uglavnom na padinama Kuna gore i Strahinjšćice.

Tab. 1. Broj i udio klizišta po pojedinom geološkom razdoblju

Period	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio u površini (%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/ km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
Kvartar	46,13	12,97	10	0,22	9,43
Neogen	236,49	66,48	79	0,33	74,53
Paleogen	41,33	11,62	11	0,27	10,38
Trijas	31,77	8,93	6	0,19	5,66

Pregledna geološka karta, koja je izrađena je na temelju OGK SFRJ 1:100 000, lista Rogatec, digitalizirana je te je na istraživanome području izdvojeno četiri dominantnih klasa (Sl. 6, Tab. 1). Možemo zaključiti da su na najvećem dijelu zastupljene naslage neogena s površinom od 236,49 km<sup>2</sup>. Druge najzastupljenije su kvartarne naslage koje prekrivaju 46,13 km<sup>2</sup> ili 12,97 % istraživanog područja te slijede naslage paleogena koje zauzimaju 41,33 km<sup>2</sup> ili 11,62 % istraživanog područja. Najmanje su zastupljene magmatske stijene paleozojske

starosti trijasa (8,93% površine) koje prevladavaju na višim nadmorskim visinama istraživanog područja.

Proučavanjem geološke građe mogu se odrediti prirodne karakteristike stijena pa i podložnost na klizanje. Prema Mihalić Arbanas i dr. (2017), većina područja u Panonskom bazenu koja su podložna na klizanje su brežuljci i podbrežja izgrađeni od: neogenskih klastičnih stijena (lapori), karbonatnih stijena i tala, pliokvartarnih tala, paleozojskih i prekambrijskih magmatskih i metamornih stijena te paleozojskih izmjena klastičnih i metamornih stijena. S obzirom da naslage neogena čine 66,48 % istraživanog područja, riječ je o terenu vrlo podložnim na klizanje. Upravo najveći broj klizišta formirao se na spomenutim naslagama (79 registriranih klizišta). Na naslagama paleogena registrirano je 11, na naslagama kvartara 10, dok se ostalih 6 klizišta nalazi na naslagama trijasa.

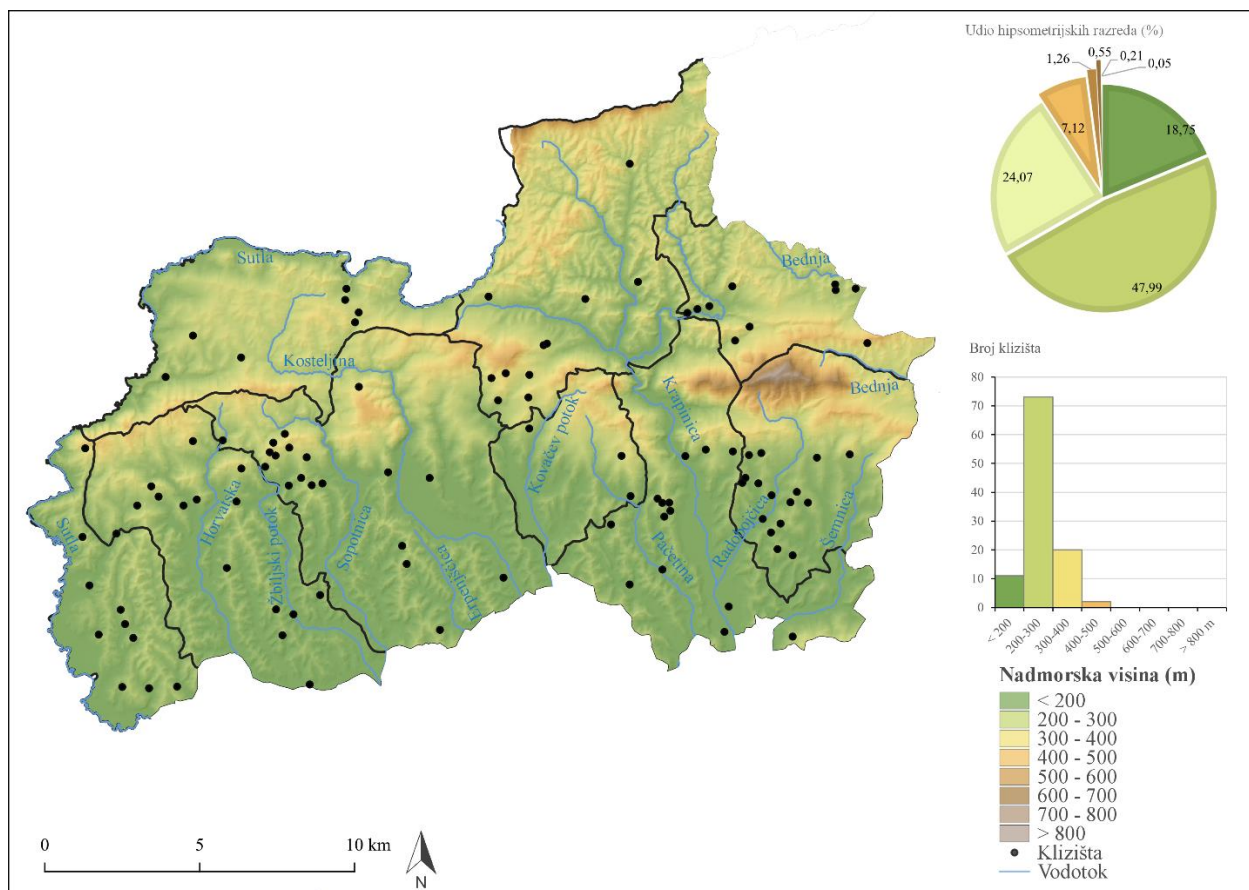
### **3.1.2 Morfometrijska obilježja reljefa**

Morfometrijska obilježja obuhvaćaju sve reljefne oblike istraživanog područja te služe kao pokazatelji endogenih i egzogenih geomorfoloških procesa. Za analizu morfometrijskih podataka korišten je digitalni model reljefa na temelju kojeg su generirani slojevi hipsometrije, nagiba, ekspozicije i vertikalne raščlanjenosti unutar istraživanog područja.

#### **3.1.2.1 Hipsometrija**

Hipsometrija nam olakšava vizualizaciju određenog prostora zbog podjele u visinske razrede te pomaže u interpretaciji morfogenetskih procesa u kombinaciji s drugim morfometrijskim kartama (Mamut, 2010). Najniži prostor (159,8 m) u istraživanom području uočavamo na jugu uz naplavne ravni rijeke Krapine i njene pritoke. Sjeverno se dijelovi istraživanog područja izdižu u pobrđe, koje na sjeveroistoku prelazi u gorski masiv Strahinjčicu (846 m), te na krajnjem sjeveru u Maceljsko gorje (628 m).





Sl. 7. Hipsometrijska obilježja istraživanog prostora s lokacijama klizišta

Karta hipsometrijskih razreda izvedena je iz DEM-a rezolucije 25x25 te je reklasificirana u 8 kategorija. Kružni grafikoni prikazuju udjele reklasificiranih kategorija u ukupnoj površini istraživanog područja. Također, za svaku od kategorija izračunat je broj klizišta koja se nalaze unutar kategorije, a rezultati su prikazani na pripadajućem histogramu (Sl. 7).

U istraživanom području prevladava brežuljkasti krajolik. Najveći udio površine, 47,99%, prekrivaju visinski razredi od 200 do 300 metara, dok razred od 300 do 400 m zauzima 24,07% površine. Visine manje od 200 m obuhvaćaju nizinska područja uz rijeke, a čine 18,75% u ukupnoj površini (Sl. 7 i Tab. 2).

Najveći broj klizišta formirao se na nadmorskim visinama od 200 do 300 m (73 registrirana klizišta), zatim od 300 do 400 m (20), te na visini manjoj od 200 m (11) dok se ostalih 2 klizišta nalazi na visinama od 400 do 500 m n. v. Analiza utjecaja nadmorske visine na pojavu klizišta pokazala je da navedene kategorije nadmorske visine od 200 do 300 m imaju

izrazito negativan utjecaj na stabilnost padina (68,9% registriranih klizišta) što je povezano s nagibom te litološkom i pedološkom građom koja prevladava na navedenoj nadmorskoj visini.

Tab. 2. Broj, gustoća i udio klizišta po kategorijama nadmorske visine

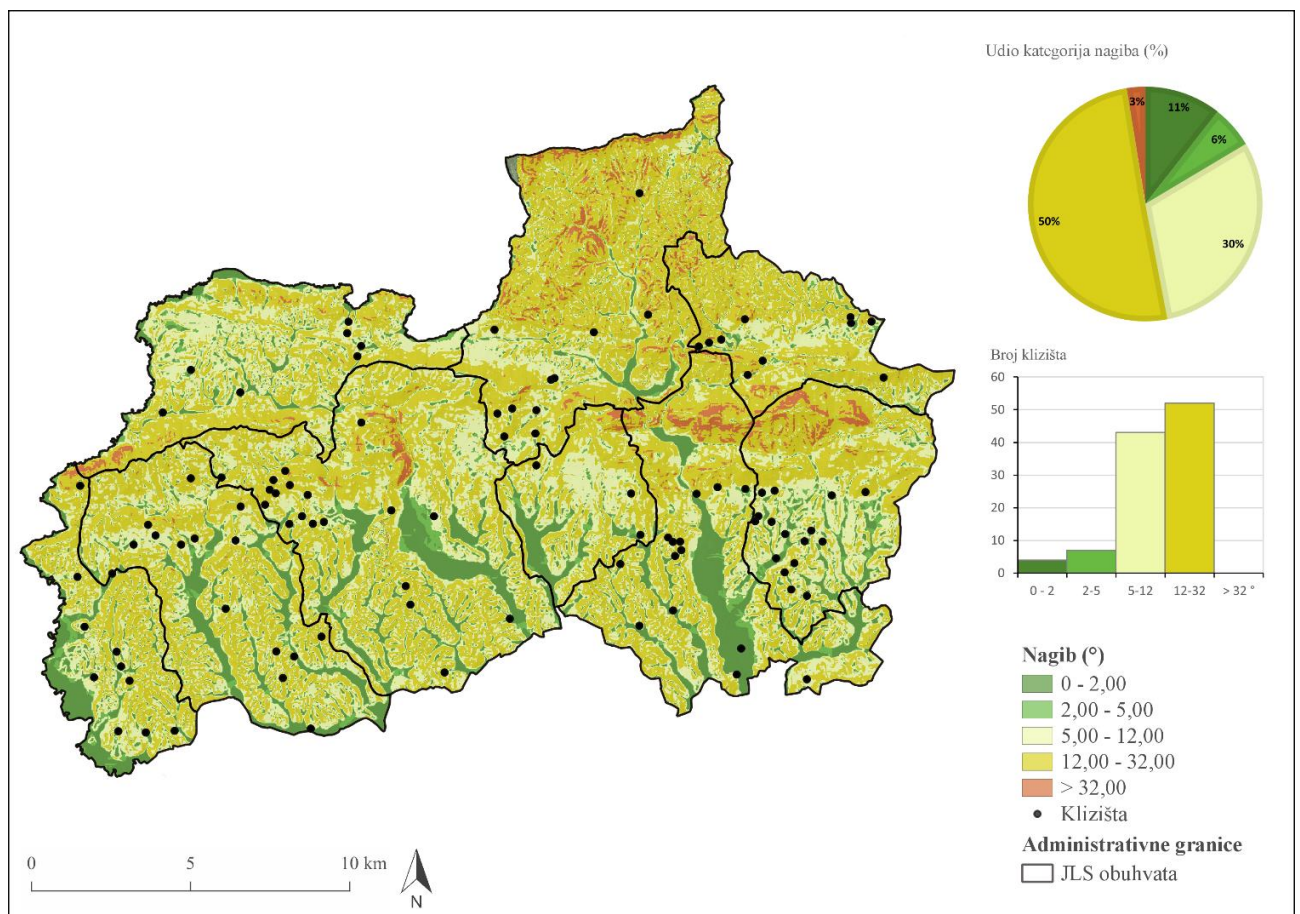
Hipsometrijski razred (m)	Površina(km <sup>2</sup> )	Udio u ukupnoj površini(%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
< 200	66,71	18,75	11	0,16	10,38
200-300	170,78	47,99	73	0,43	68,87
300-400	85,65	24,07	20	0,23	18,87
400-500	25,35	7,12	2	0,08	1,89
500-600	4,50	1,26	0	0,00	0,00
600-700	1,94	0,55	0	0,00	0,00
700-800	0,75	0,21	0	0,00	0,00
> 800	0,18	0,05	0	0,00	0,00
Ukupno	355,86	100,00	106	0,90	100,00

### 3.1.2.2 Nagib padina

Nagib padina definiran je kutom koji površina terena zatvara s horizontalnom ravninom. U lokalnim okvirima, nagib padina predstavlja neposrednu posljedicu djelovanja egzogenih geomorfoloških procesa, dok je u regionalnim okvirima dobar pokazatelj endogenih, morfostrukturnih procesa (Lozić, 1996). Osnovne klase nagiba, prema Međunarodnoj geomorfološkoj uniji, su: 0 - 2° (ravnice), 2 - 5° (blago nagnuti teren), 5 - 12° (nagnuti tereni), 12 - 32° (jako nagnut teren), 32 - 55° (vrlo strm teren), > 55° (strmci, litice). Određene na temelju dominantnih morfoloških procesa čija aktivacija ovisi o određenim vrijednostima inklinacije. Na području ravnica ne primjećuje se kretanje masa, u području blago nagnutog terena vidljivo je blago ispiranje. Pojačano ispiranje i kretanje masa izraženo je na nagnutim terenima. Snažna erozija, spiranje i izrazito kretanje masa, odlika su jako nagnutog terena, dok u vrlo strmom terenu dominira osipavanje i urušavanje (URL 8). U radu je klasificirano samo prvih pet klasa zbog nepostojanja izrazito strmih terena na istraživanom području.

Nagib terena je jako važan kod promatranja potencijalnih klizišta. Naime, što je kut nagiba manji, voda se lakše procjeđuje u tlo i time narušava prirodnu stabilnost padine, no ako je kut nagiba premali neće doći do narušavanja osnovnih parametara stabilnosti.

Na Sl. 8 je prikazana klasificirana karta nagiba terena. Prema klasificiranim vrijednostima nagiba terena napravljen je kružni grafikon udjela površina pojedine klase na istraživanome području. Na pripadajućem histogramu prikazan je broj klizišta koja se nalaze unutar svake klase.



Sl. 8. Kategorije nagiba padina istraživanog prostora s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom

Analizom nagiba padina (Sl. 8) ustanovljeno je da najveću površinu (179,58 km<sup>2</sup> ili 50,48%) zauzimaju jako nagnuti tereni nagiba 12–32° koji su vezani uz dominantni brežuljkast krajolik istraživanog područja. Slijede, tereni nagiba 5 – 12° (30,52%), ravnice nagiba 0-2° (10,56 %) i blago nagnuti tereni nagiba 2-5° (5,90%). Najmanje zastupljeni su vrlo strmi tereni nagiba > 32° (2,54%). Veći nagibi prevladavaju na višim nadmorskim visinama, uz

Strahinjčicu, Gorjak i Brezovicu, Kuna goru i Maceljsko gorje. Najmanji nagibi padina se nalaze uz nizinske predjele uz riječne tokove Krapine i njene pritoke.

Prema raspodjeli klizišta unutar klasifikacije nagiba, na nestabilnost padina ponajviše utječu nagibi padine 12 – 32° (52) i 5 – 12° (43 registriranih klizišta). Rezultat toga može biti što najveći udio površine istraživanog prostora pripada upravo tim kategorijama (81%). Niti jedno klizište se ne nalazi na padini nagiba većoj od 32° (Tab. 3). Čak 11 klizišta nalazimo na nagibima manjim od 5°. Riječ je o manjim klizištima koja su nastala na većem nagibu u odnosu na okolni niži teren no zbog rezolucije digitalnog modela reljefa iz kojeg je karta nagiba izvedena (25x25 m, 1 ćelija - 625 m<sup>2</sup>) nije omogućeno prepoznavanje tog terena kao više nagnutog.

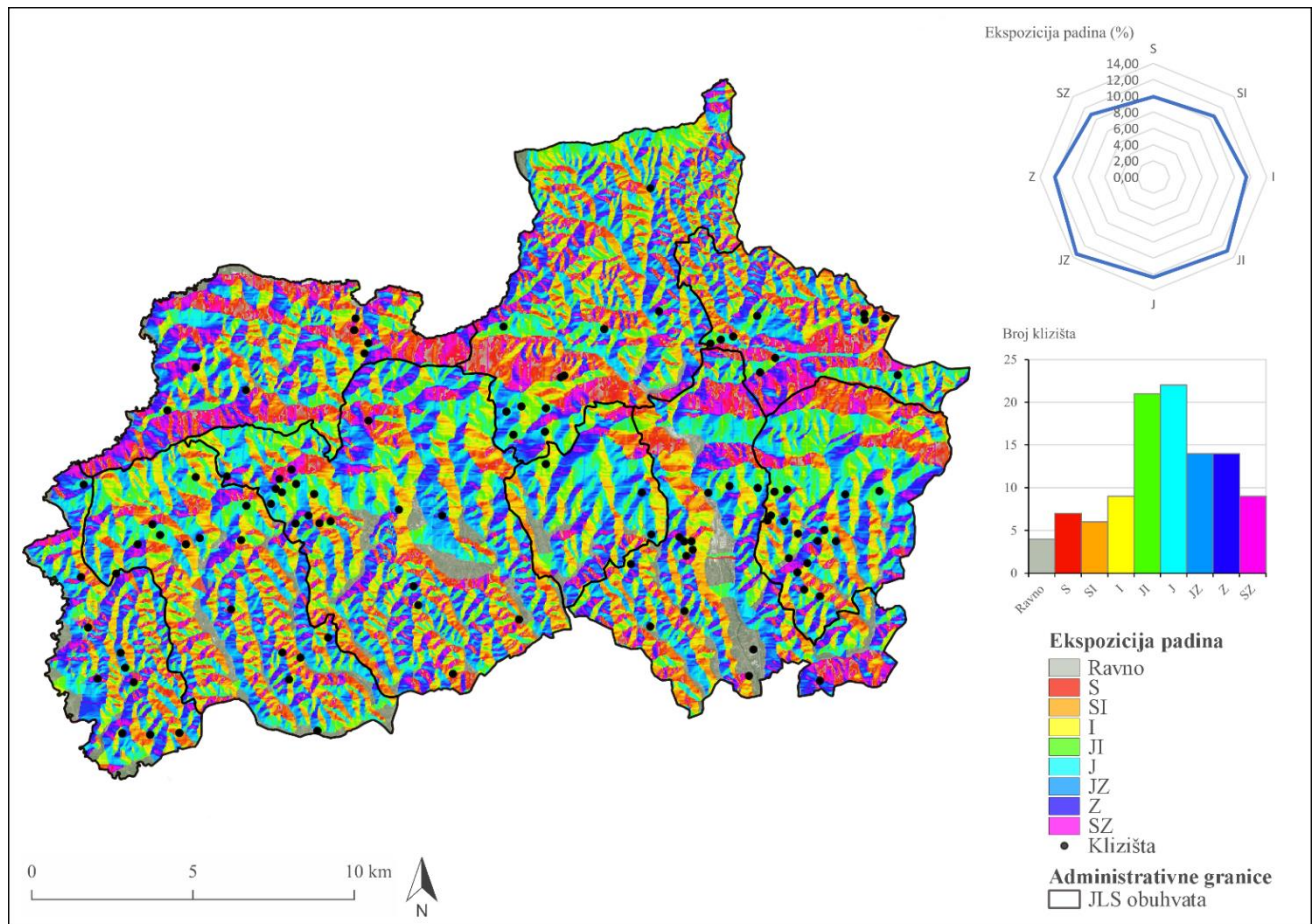
Tab. 3. Broj, gustoća i udio klizišta prema rasponu nagiba padina

Nagib padine (°)	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio u ukupnoj površini(%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
0 - 2	37,56	10,56	4	0,11	3,77
2 - 5	20,97	5,90	7	0,33	6,60
5 - 12	108,58	30,52	43	0,40	40,57
12 - 32	179,58	50,48	52	0,29	49,06
> 32	9,04	2,54	0	0,00	0,00

Prema navedenoj klasifikaciji International Geographic Union-a (1968) i dominantnih geomorfoloških procesa s obzirom na prosječan nagib padina, više od 83% istraživanog područja podložno je klizanju i eroziji tla.

### 3.1.2.3 Ekspozicija padina

Ekspozicija padina u smjeru najvećeg pada predstavlja njenu orijentaciju s obzirom na strane svijeta, pri čemu je kut određen azimutom (Mamut, 2010). Određivanjem ekspozicije lakše uočavamo utjecaj recentnih klimatskih i egzogenih geomorfoloških procesa (npr. mehaničko trošenje stijenske mase, utjecaj Sunčeva zračenja na amplitude zraka i tla nejednaka izloženost padina smjeru kišonosnih vjetrova, duljina trajanja snježnog pokrivača).



Sl. 9. Ekspozicija padina s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom

Najmanji udio u površinu istraživanog prostora zauzimaju ravnice, 6,32%, te padine sjeverne ekspozicije s udjelom od 9,88 %. Ostali razredi su zastupljeni s po 10,6 - 12,88% pojedinačno. Najveći udio u površini ima jugozapadna ekspozicija, 13,4%, odnosno 47,72 km<sup>2</sup> (Sl. 9 i Tab. 4).

Utvrđeno je da se najveći broj klizišta nalazi na padinama s južnom (22 registriranih klizišta), i jugoistočnom ekspozicijom (21) (41,5%). Zabilježen je podjednak razvoj klizišta na jugozapadnim i zapadnim ekspozicijama (14), te na padinama s istočnom i sjeverozapadnom

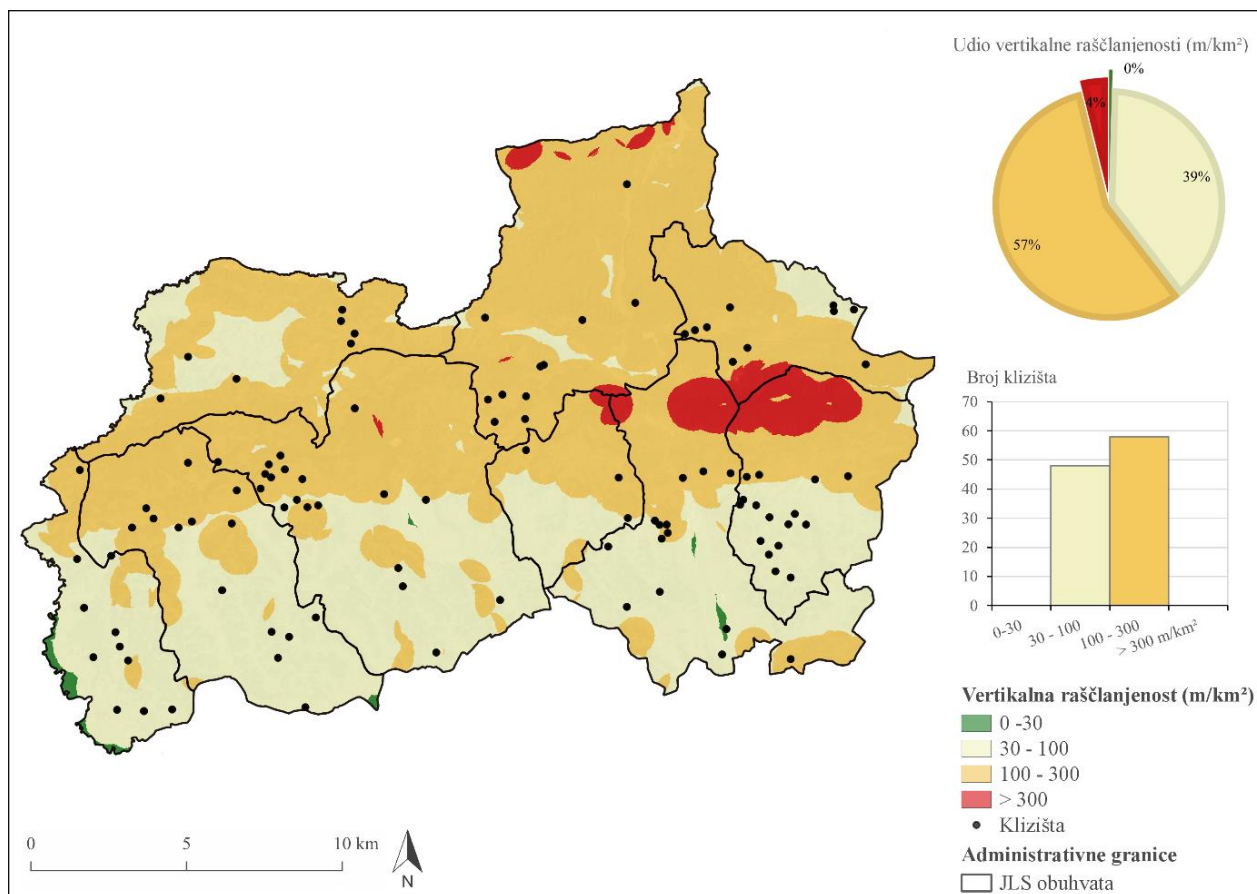
ekspozicijom (9). Najmanje klizišta (4) nalazi se na ravnica. Riječ je vjerojatno o klizištima manjih dimenzija koja su nastala na padinama koje na karti izvedenoj iz digitalnog modela reljefa rezolucije 25x25 m nisu prepoznate u odnosu na okolno zaravnjeno područje. Također, možemo zaključiti da je broj klizišta prema ekspozicijama padina posljedica i površinskog udjela pojedinog razreda ekspozicije.

Tab. 4. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na ekspoziciju padine

Ekspozicija padine	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio u ukupnoj površini(%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
Ravnica	22,49	6,32	4	0,18	3,77
Sjever	35,00	9,88	7	0,20	6,60
Sjeveroistok	37,75	10,61	6	0,16	5,66
Istok	40,85	11,48	9	0,22	8,49
Jugoistok	45,84	12,88	21	0,46	19,81
Jug	44,03	12,37	22	0,50	20,75
Jugozapad	47,72	13,41	14	0,29	13,21
Zapad	43,24	12,15	14	0,32	13,21
Sjeverozapad	38,75	10,89	9	0,23	8,49

### 3.1.2.4 Vertikalna raščlanjenost

Vertikalna raščlanjenost određena je visinskom razlikom najviše i najniže točke unutar jedinične površine terena. Vertikalna raščlanjenost određuje se na način da se za svaku jediničnu ćeliju odredi krug polumjera 564 m, čija je površina 1 km<sup>2</sup>, i unutar toga kruga se određuje najviša i najniža točka te se računa razlika njihovih vrijednosti. U lokalnim okvirima, vertikalna raščlanjenost uvjetovana je specifičnostima terena (litološki sastav, hidrografske značajke terena) te predstavlja parametar intenziteta razvoja egzogenih procesa. Regionalno promatrano, vertikalna raščlanjenost reljefa odraz je najmlađih tektonskih pokreta (Lozić, 1995).



Sl. 10. Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog prostora s lokacijama klizišta

Najniža vrijednost vertikalne raščlanjenosti istraživanog prostora je 0 m/km<sup>2</sup> a najviša 490 m/km<sup>2</sup>. Najzastupljenija je kategorija umjerenom raščlanjenog reljefa (100 – 300 m/km<sup>2</sup>), koja zauzima 56,66% ukupne površine te se veže uz dominantni brežuljkasti krajolik istraživanog područja. Nizinski krajolik uz naplavne ravni sa slabo raščlanjenim reljefom (30 – 100 m/km<sup>2</sup>) zauzima 39,11% površine, dok zaravnjen reljef i slabo raščlanjene ravnice (0-30 m/km<sup>2</sup>) obuhvaćaju samo 0,42% površine. Izrazito raščlanjen reljef (> 300 m/km<sup>2</sup>) obuhvaća uglavnom najviše dijelove reljefa gorskih masiva Strahinjčice i Maceljskog gorja te Gorjaka i Brezovice gdje je vertikalna raščlanjenost jače izražena.

Tab. 5. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vertikalnu raščlanjenost reljefa

Kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa (m/km <sup>2</sup> )	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio u ukupnoj površini (%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
0-30	1,51	0,42	0	0,00	0,00
30 - 100	139,46	39,11	48	0,34	45,28
100 - 300	202,02	56,66	58	0,29	54,72
> 300	13,58	3,81	0	0,00	0,00

Klizišta su nastala na najzastupljenijim kategorijama vertikalne raščlanjenosti, 100 – 300 m/km<sup>2</sup> (58 registrirana klizišta) te kategoriji 30 – 100 m/km<sup>2</sup> (48 registrirana klizišta). Dok na području zaravnjenog reljefa i slabo raščlanjene ravnice te izrazito raščlanjen reljef nema zabilježenih klizišta (Sl. 10 i Tab. 5).

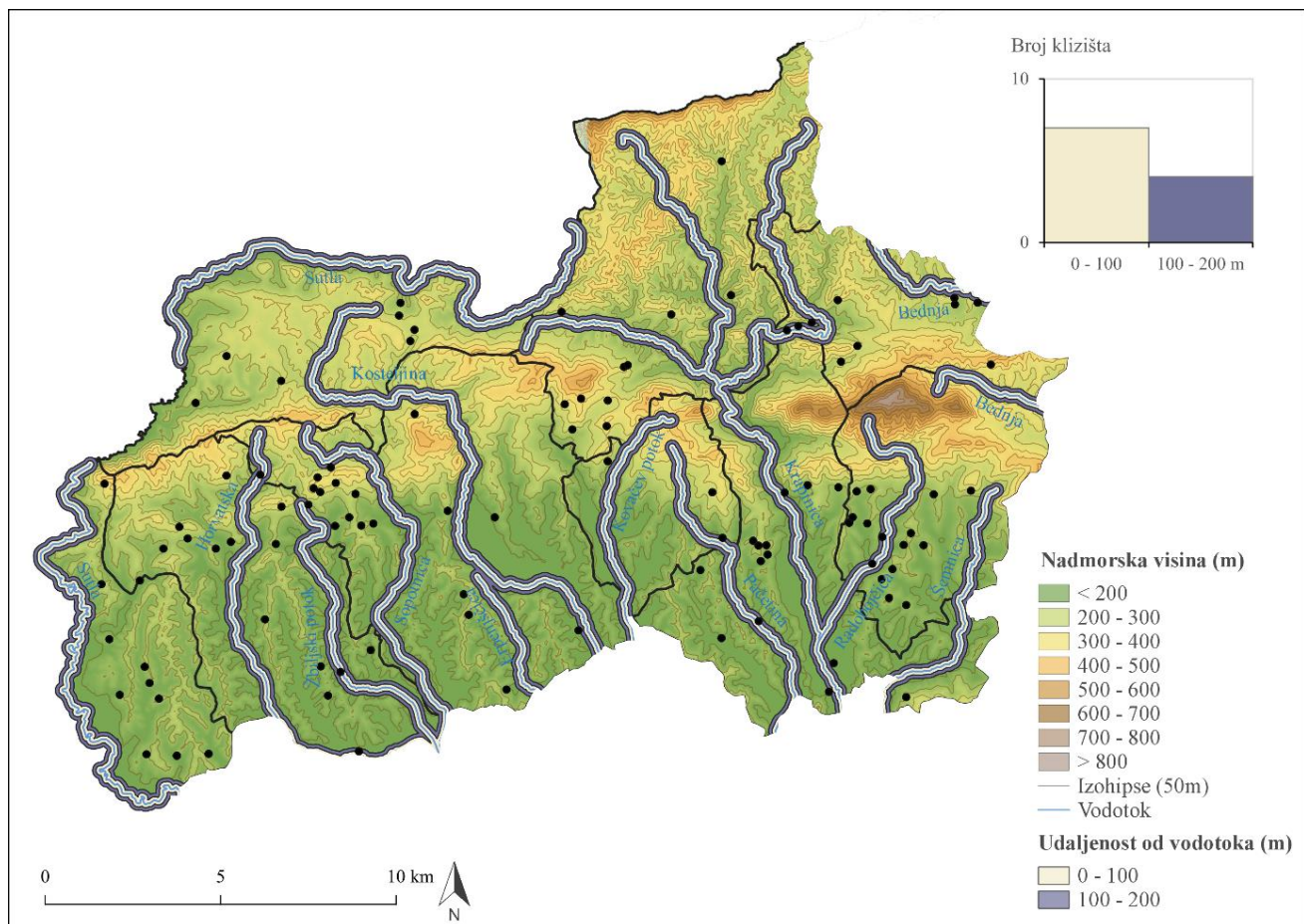
### 3.1.3 Hidrogeografska obilježja

Utjecaj hidroloških čimbenika u istraživanom području očituje se u dobro razvijenoj površinskoj riječnoj mreži, sastavu ravni rijeka (gline manjih debljina) te malom nagibu koji uzrokuju slabo otjecanje i dugo zadržavanje oborinske vode te naposljetku pojavu klizišta.

Istraživano područje nalazi se najvećim dijelom unutar podsliva rijeke Save dok manji dio sjevernog dijela obuhvata, zbog rijeke Bednje, pripada podslivu rijeke Drave. Postoji veći broj manjih vodotoka te dvije značajnije rijeke, rijeka Sutla i rijeka Krapinica, glavna pritoka rijeke Krapine. Rijeke Sutla i Krapina ulijevaju se u rijeku Savu i svrstavaju se u njezin lijevoobalni srednji sliv. Najveće desnoobalne pritoke rijeke Krapine su Krapinica koja izvire u Maclju i Horvatska koja drenira vode iz Kostelske gore, Kuna gore i Vina gore. Rijeka Sutla, kao međudržavna rijeka, izvire na južnim pristrancima Maclja te u svojem toku nema većih lijevoobalnih pritoka. Pritoke, te rijeke Krapina i Sutla imaju peripanonski kišno-snježni režim. Peripanonski kišno-snježni režim složeni je režim sa po dva maksimuma i minimuma tijekom godine. Prvi maksimum javlja se u ožujku ili travnju. Drugi, uglavnom izraženiji maksimum javlja se u prosincu (iznimno u studenome). Primarni minimum javlja se u kolovozu i tek kod nekoliko stanica u srpnju. Drugi, manje izraženi minimum javlja se redovito u veljači.



Iznadprosječne vrijednosti protoka javljaju se u pravilu od studenoga do travnja (Čanjevac, 2013).



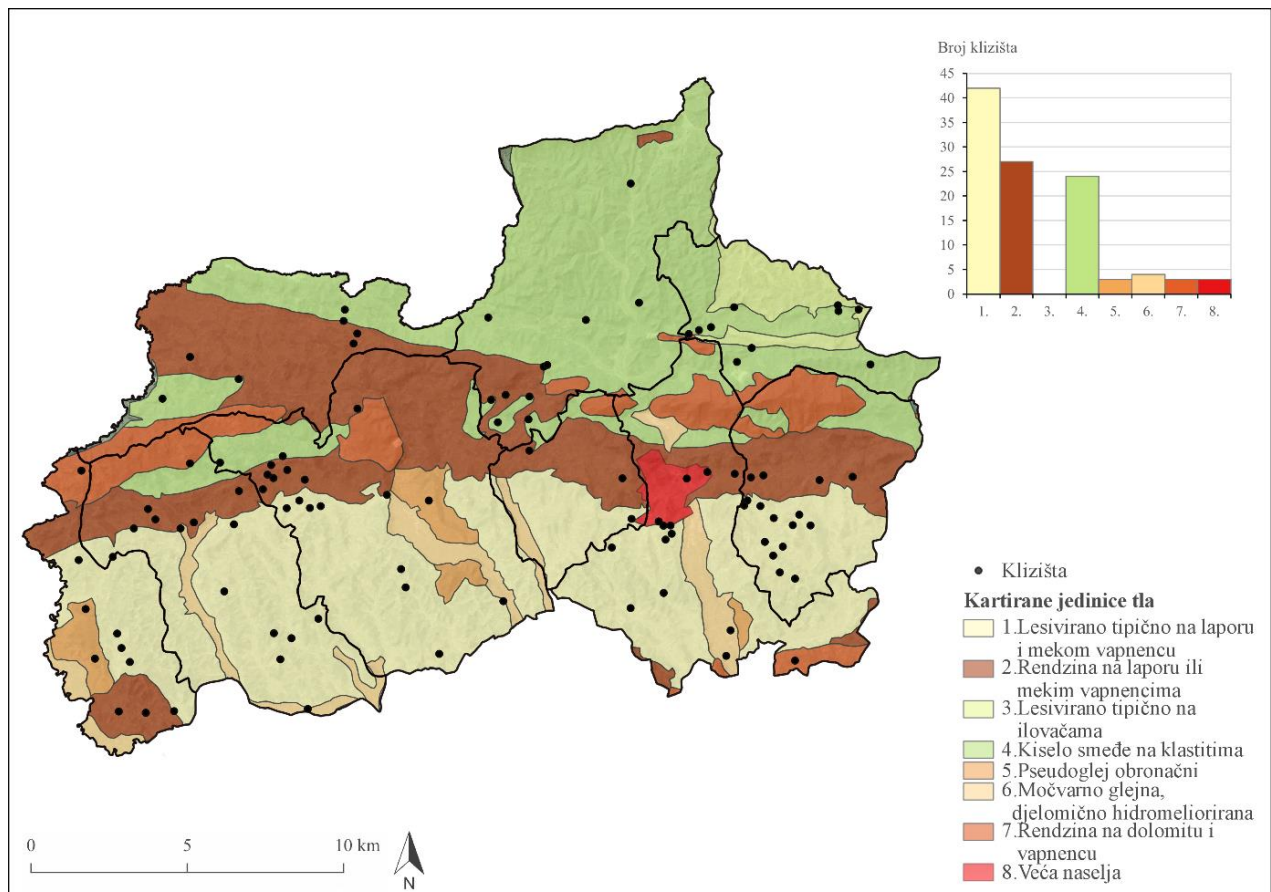
Sl. 11. Pojava klizišta s obzirom na udaljenost od površinskih tokova

Udaljenost od talvega dolina podijeljena je u klase od 100 m. Analiza udaljenosti klizišta od vodotoka pokazala je da se 7 klizišta nalazi na udaljenosti do 100 m, dok se na udaljenosti od 100 do 200 m od talvega doline nalaze 4 klizišta (Sl. 11).

### 3.1.4 Pedološka obilježja

Pedologija je znanost o tlu, a bavi se istraživanjem postanka i razvoja tla, odnosno njegovih fizičkih, kemijskih i bioloških svojstava, te plodnosti različitih tipova tla. Tlo koje se razvilo na području istraživanog područja svrstavamo u red terestričkih, semiterestričkih i hidromorfni tala. Red terestričkih tala karakterizira vlaženje isključivo oborinskom vodom do dubine od 1 m, pri čemu se suvišna voda slobodno i bez duljeg zadržavanja procjeđuje kroz solum tla. Upravo zbog takvog načina vlaženja, voda ne stagnira te nema prekomjernog vlaženja i uvjeta za redukcijske procese u tlu. Red semiterestričkih tala se također vlaži s

oborinskom vodom, ali za razliku od terestričkih tala, suvišna voda ne perkolira slobodno kroz solum nego se dulje ili kraće zadržava i to zbog prisutnosti slabo propusnog horizonta koji onemogućuje njezino procjeđivanje. Red hidromorfna tala karakterizira vlaženje podzemnom i oborinskom vodom ili isključivo podzemnom vodom, tj karakteristična je stagnacija vode u tlu također zbog slabe propusnosti slojeva (Husnjak, 2009).



Sl. 12. Pedološka karta s lokacijom klizišta

Izvor: URL 9

Prilikom analize pojavnosti klizišta na određenoj sistematskoj jedinici tla potrebno je uzeti u obzir fizička svojstva tla. Tu se posebno misli na dreniranost, tj. odnos tla i vode u tlu, koja je jedan od važnijih uzročnika pojavljivanja klizišta. Naime, kod dobre propusnosti tla dolazi do povećanja porenog tlaka što uzrokuje smanjenje kohezije među česticama tla. Dodatna voda u tlu pritom djeluje kao destabilizirajući čimbenik, odnosno negativno djeluje na stabilnost kosina. Pritom ne treba potpuno isključiti niti mogućnost pojave klizišta na području gdje je dreniranost tla lošija, jer u slučaju dugotrajnih kiša ili prilikom otapljanja snijega saturacija tla se odvija duže (Husnjak i dr., 2012).

Tab. 6. Broj, gustoća i udio klizišta prema pedološkim jedinicama

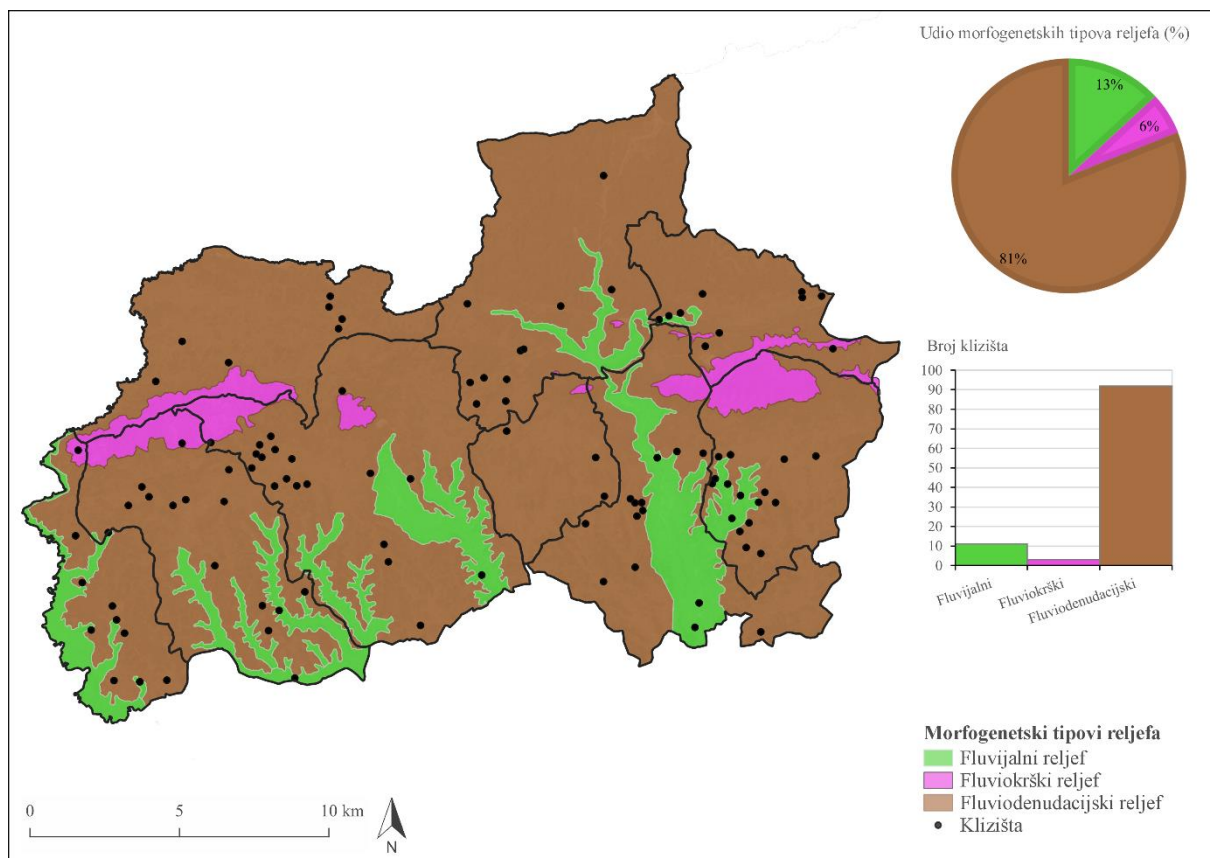
	Pedološke jedinice	Naziv redova tla	Način vlaženja	Dreniranost	Klasa pogodnosti	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio (%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
1.	Lesivirano tipično na laporu i mekom vapnencu	Terestrička tla	automorfni	umjereno dobra	P-2 Umjereno pogodna tla	114,62	32,20	42	0,37	39,62
2.	Rendzina na laporu ili mekim vapnencima	Terestrička tla	automorfni	dobra	P-3 Ograničeno pogodna tla	79,41	22,31	27	0,34	25,47
3.	Lesivirano tipično na ilovačama	Terestrička tla	automorfni	dobra	P-2 Umjereno pogodna tla	9,11	2,56	0	0,00	0,00
4.	Kiselo smeđe na klastitima	Terestrička tla	automorfni	dobra	P-3 Ograničeno pogodna tla	97,40	27,36	24	0,25	22,64
5.	Pseudoglej obronačni	Semiterestrička tla	pseudoglejni	umjereno dobra	N-1 Privremeno nepogodna tla	8,47	2,38	3	0,35	2,83
6.	Močvarno glejna, djelomično hidromeliorirana	Hidromorfna tla	amfiglejni i hipoglejni	slaba	N-1 Privremeno nepogodna tla	16,90	4,75	4	0,24	3,77
7.	Rendzina na dolomitu i vapnencu	Terestrička tla	automorfni	ponešto ekcesivna	N-2 Trajno nepogodna tla	25,79	7,24	3	0,12	2,83
8.	Veća naselja					3,49	0,98	3	0,86	2,83

Izvor: prema Husnjak i dr., 2012

Litološka građa podudara se sa pedološkim jedinicama. Najveći broj klizišta nastao je na lesiviranom tipičnom tlu na laporu i mekom vapnencu (42), zatim na rendzini na laporu ili mekim vapnencima (27), te na kiselu smeđim tlima na klastitima (24). Navedene sistemske jedinice tla pripadaju redu terestričkih tala. Možemo zaključiti da je 90,6 % od ukupnog broja klizišta nastalo na terestričkim tlima (Sl. 12 i Tab. 6). Također, prevladavajuće jedinice tla su umjereno dobre ili dobre dreniranosti te pripadaju tlima pogodnim za obradu. Važnost vrste tla može se ogledati na način da su vrste tla pogodne za obradu više podložne pojavljivanju klizišta.

### 3.1.5 Morfogenetska obilježja

Prema dominantnim procesima i uvjetima na istraživanom području razlikujemo 3 morfogenetska tipa reljefa: fluvijalni, fluviudenudacijski, fluviokrški (Sl. 13, Tab. 7)



Sl. 13. Morfogenetski tipovi reljefa s lokacijama klizišta

Fluvijalni reljef nastaje akumulacijskim i denudacijskim djelovanjem tekućica u srednjem i donjem toku, gdje je nagib padina manji. Tekućica erodira vlastite nanose i meandrira, uslijed čega nastaju mrtvaje i sprudovi. Za ovaj je tip reljefa karakteristična dolina

ravnog dna s izraženom naplavnom ravnicom i riječnim terasama. Fluvijalni reljef nalazi se na 13,2% ukupne površine, a obuhvaća naplavne ravni uz rijeku Krapinicu i Sutlu te pritoke rijeke Krapine te rjeđe na padinama Kuna gore i Strahinjšćice. Fluviudenudacijski reljef nastaje radom tekućica, ponajprije dubinskom erozijom, i pod utjecajem padinskih procesa (tečenje, kliženje, spiranje, bujičenje, urušavanje i odroni). Stoga se uz fluviudenudacijski reljef veže pojava klizišta. Vežemo ga uz gornji dio toka i više nadmorske visine. Fluviudenudacijski reljef obuhvaća 81 % ukupne površine, te je najzastupljeniji tip reljefa na istraživanom području. Obuhvaća cijelo brežuljkasto područje između aluvijalnih ravni i gorskih masiva. Fluviokrški reljef nastaje međusobnim djelovanjem korozije i fluvijalne erozije. Čini 5,8% istraživanog područja te obuhvaća hrptove gorskih masiva Koštruna, Kuna gore, Cesarske gore i Strahinjšćice.

Tab. 7. Broj, gustoća i udio klizišta prema morfofenetskim tipovima reljefa

Morfofenetski tip reljefa	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio u površini (%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
Fluvijalni	46,92	13,18	11	0,23	10,38
Fluviokrški	20,65	5,80	3	0,15	2,83
Fluviudenudacijski	288,32	81,01	92	0,32	86,79

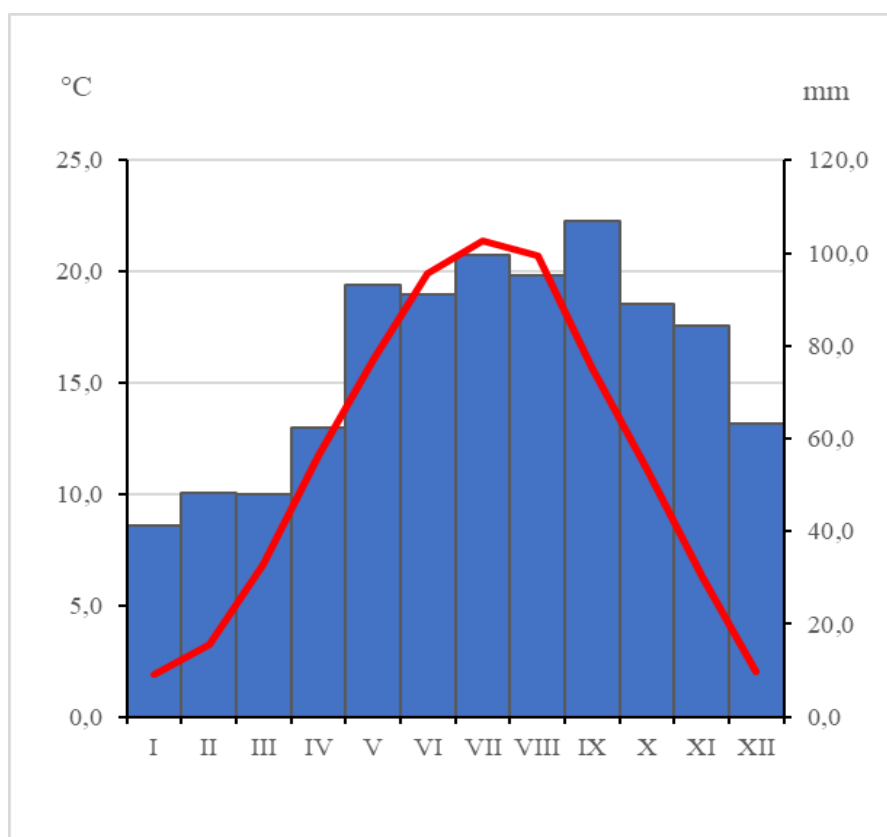
Na području istraživanja najviše je klizišta nastalo na fluviudenudacijskom tipu reljefa, 92 registrirana klizišta. Na fluvijalnom tipu reljefa nastalo je 11, dok na fluviokrškom nastalo 3 klizišta.

### 3.1.6 Klimatska obilježja

Prema Köppenovoj klasifikaciji (Šegota i Filipčić, 2003.) istraživano područje pripada tipu umjereno tople kišne klime s toplim ljetom (Cfb). Ovaj tip klime karakteriziraju nešto svježija ljeta i blaže zime. Najmanje oborina ima zimi, a najviše u toplijoj polovici godine, tj. u vegetacijskome razdoblju. Cfb klimu obilježavaju srednje temperature najtoplijeg mjeseca niže od 22°C. Topli dio godine u kojem je srednja temperatura viša od godišnjeg prosjeka traje od sredine travnja do sredine listopada.

Na temelju podataka DHMZ-a s glavne meteorološke postaje Krapina za razdoblje 1994. – 2020. godine (Sl. 14), temperatura najhladnijeg mjeseca kreće se između 0°C i 5°C, a

srednju temperaturu višu od 10°C imaju sedam mjeseca u godini. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi oko 11°C. Najtopliji je mjesec srpanj sa srednjom temperaturom oko 21°C, a najhladniji je siječanj sa srednjom temperaturom od 1,9°C. Temperaturne su prilike najstabilnije ljeti, dok se temperature zraka najviše razlikuju u zimskim mjesecima. Godišnji hod količine oborina je kontinentalnog tipa s čestim i obilnim kišama tijekom ljeta ili krajem jeseni. Srednja godišnja količina padalina kreće se između 815 mm i 1290 mm. Najmanje padalina padne u hladnom dijelu godine, od siječnja do ožujka. U toplom dijelu godine padne više padalina nego u hladnom dijelu godine. Snježni pokrivač javlja se od listopada do svibnja. Najveća visina snježnog pokrivača iznosila je 41 cm.

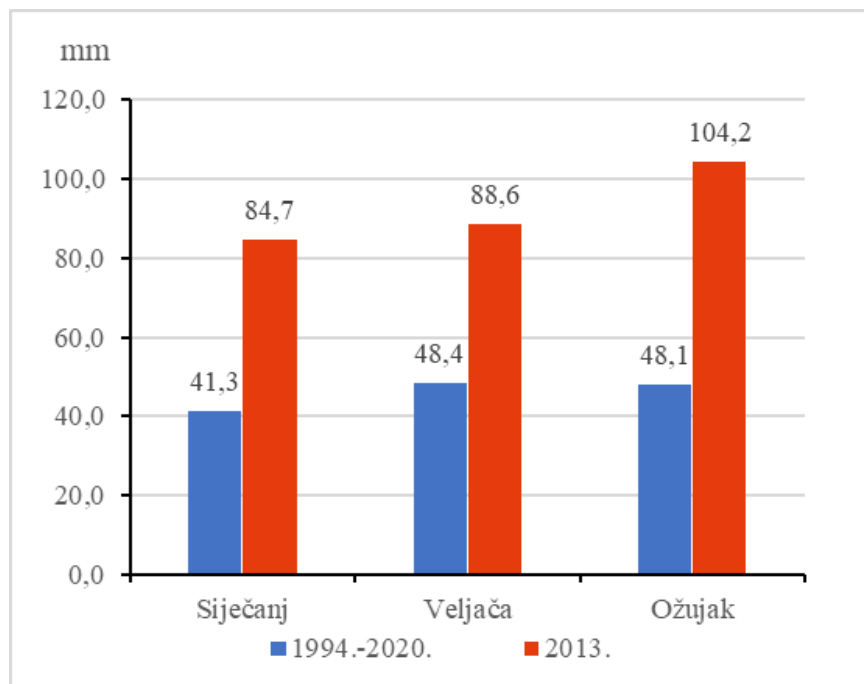


Sl. 14. Klimadijagram grada Krapine

Izvor: Izrađeno na temelju podataka DHMZ-a, 2021

Količina padalina je dosta važan parametar kod analize klizišta jer veća količina vode, u kombinaciji s drugim čimbenicima, negativno djeluje na stabilnost kosina i uglavnom ih ubrzano destabilizira (Počekal i dr., 2016). Dakle, duga razdoblja padalina ili kratkotrajne padaline visokog intenziteta, među glavnim su pokretačima klizišta. To se može zaključiti iz činjenice da se većina klizišta (re)aktivirala u mjesecima kada je količina padalina bila viša od prosječne mjesečne padaline. Ekstremno velike količine padalina zabilježene su u ožujku 2013.

godine kada je (re)aktivirano više od 900 klizišta na području sjeverozapadne Hrvatske (Bernat Gazibara i dr, 2014).

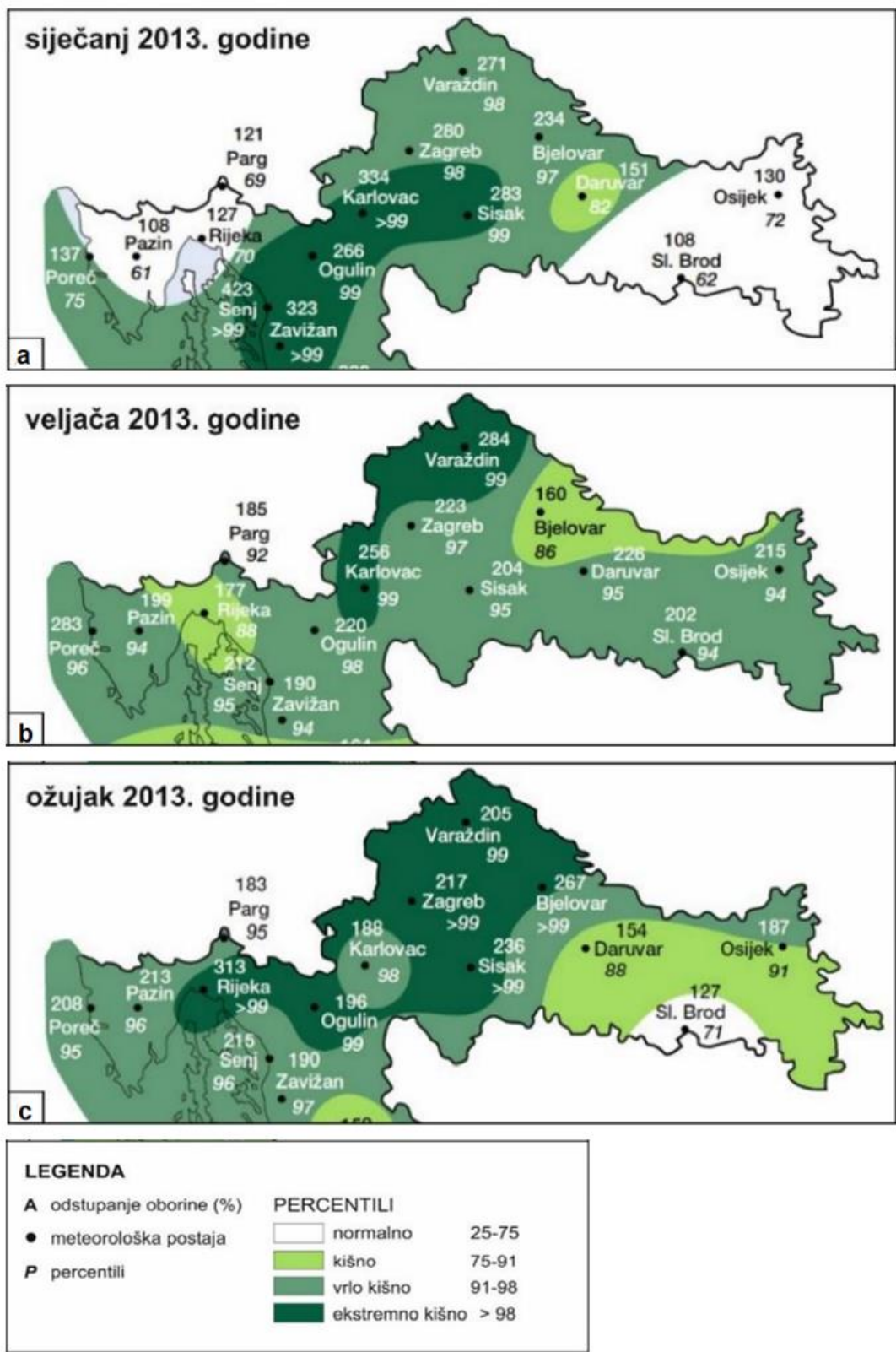


Sl. 15. Analiza srednjih mjesečnih padalina na meteorološkoj postaji Krapina za siječanj, veljaču i ožujak 2013. godine

Izvor: Izrađeno na temelju podataka DHMZ-a, 2021

Za analizu mjesečnih padalina odabrana je meteorološka postaja Krapina iz razloga što su za tu postaju dostupni podaci za najdulje razdoblje mjerenja. Izračunate srednje mjesečne količine padalina za razdoblje od 1994. do 2020. godine uspoređene su sa srednjim mjesečnim padalinama za tri mjeseca koja su prethodila datumima aktivacije klizišta iz 2013. godine. Na Sl. 15 vidljivo je da su srednje mjesečne padaline za siječanj, veljaču i ožujak 2013. godine bile dva puta veće od srednjaka što ukazuje na iznadprosječnu količinu padalina u kratkom razdoblju. Veći broj klizišta zabilježen krajem ožujka, te početkom travnja 2013. godine potvrda je o iznimnim uvjetima koji su zadesili sjeverozapadnu Hrvatsku u razdoblju od siječnja do travnja 2013. godine (Bernat i dr., 2014)

Prema raspodjeli percentila za zimu 2012./2013. (Sl. 16) prilike na području sjeverozapadne Hrvatske opisane su kao ekstremno kišne (> 98 percentila) i vrlo kišne (91-98 percentila).



Sl. 16. Mjesečni percentili padalina za sjevernu Hrvatsku, određeni na temelju vremenskog razdoblja 1961.-1991. godina: a) siječanj 2013.; b) veljaču 2013.; c) ožujak 2013. godine.

Izvor: DHMZ, 2021

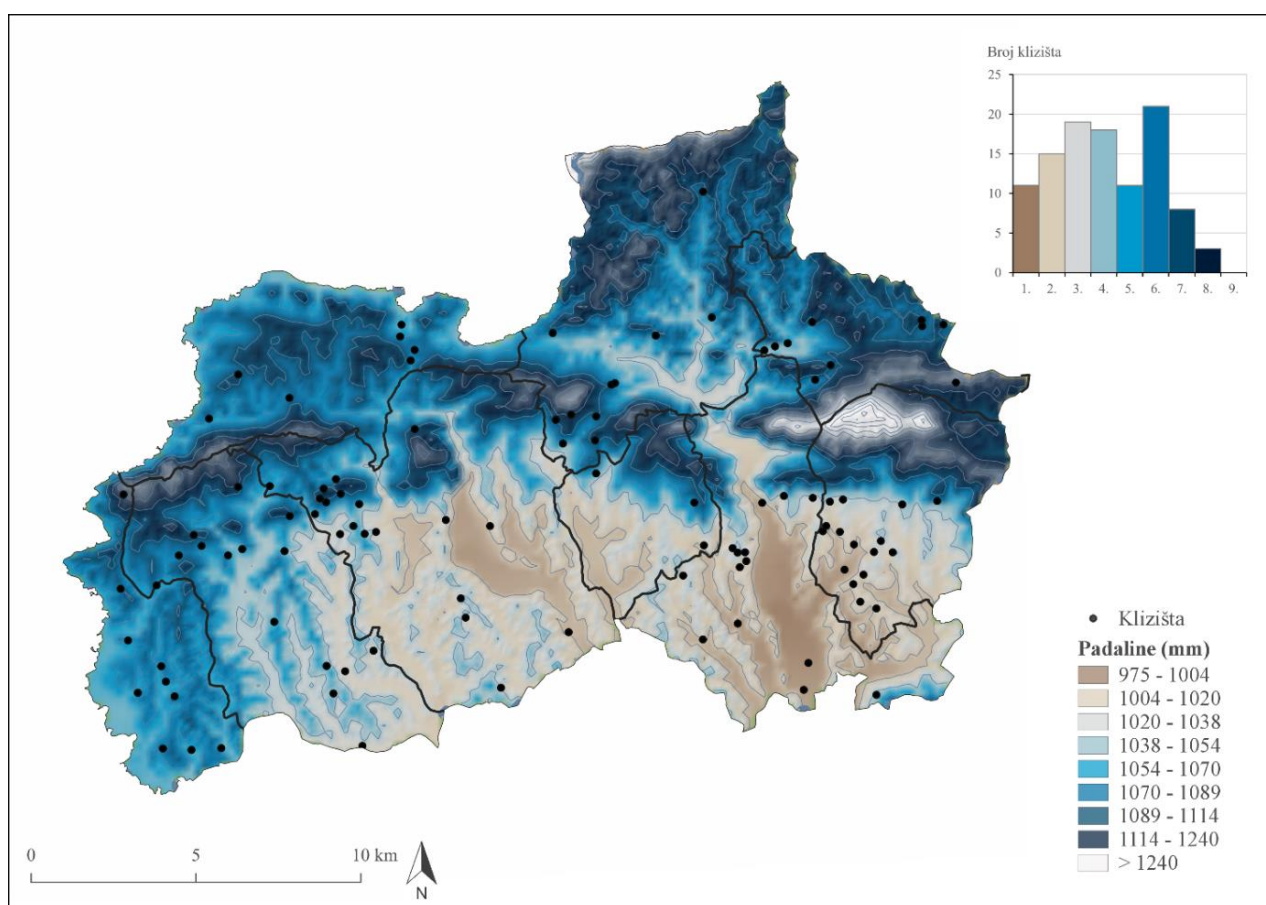


Tab. 8. Prosječne godišnje količine padalina (mm) za razdoblje 2013. – 2020. meteoroloških postaja šireg prostora istraživanja

Postaja	Visina postaje (m)	Prosječna godišnja količina padalina (mm)/
Bednja	240	1115,06
Bizeljsko	175	1030,11
Cirkulane	241	1156,24
Desinić	352	1123,91
Krapina	202	977,21
Križevci	155	898,15
Ludbreg	158	1032,19
Novi Marof	200	935,73
Podčetrtek	254	1108,70
Podsreda	245	1174,66
Pregrada	220	991,47
Ptujska Gora	319	1132,68
Puntijarka	988	1352,59
Slovenske Konjice	330	1089,30
Varaždin	167	1029,34
Zabok	150	1052,13

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod i Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021.

Na istraživanom području nalaze se samo tri meterološke postaje, u gradu Krapini, gradu Pregradi i na području općine Desinić. Kako su dostupni podaci o količini padalina bili nedostatni za utvrđivanje točne raspodjele padalina, analizirani su podaci sa 16 kišomjernih postaja najbližih području istraživanja (Tab. 8). Također, u istraživanje su uzeti u obzir podaci s meteroloških postaja koje se nalaze na području Republike Slovenije (postaje: Bizeljsko, Cirkulane, Podčetrtek, Podsreda, Ptujška Gora i Slovenske Konjice). Temeljem podataka digitalnog modela reljefa i korelacijom prosječne godišnje količine padalina dobiven je raster prosječne godišnje količine padalina istraživanog područja (Sl. 17).



Sl. 17. Karta prosječne godišnje količine padalina s lokacijama klizišta

Tab. 9. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na količinu padalina

Klasa/ razred	Padaline (mm)	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio (%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
1.	975 - 1004	45,32	12,74	11	0,24	10,38
2.	1004 - 1020	43,87	12,33	15	0,34	14,15
3.	1020 - 1038	43,71	12,29	19	0,43	17,92
4.	1038 - 1054	44,02	12,37	18	0,41	16,98
5.	1054 - 1070	43,94	12,35	11	0,25	10,38
6.	1070 - 1089	44,81	12,60	21	0,47	19,81
7.	1089 - 1114	44,23	12,43	8	0,18	7,55
8.	1114 - 1240	43,34	12,18	3	0,07	2,83
9.	> 1240	2,49	0,70	0	0,00	0,00

U istraživanom području najmanji udio u površini, 0,70 %, prekriva razred s najvećom količinom padalina (> 1240 mm) dok ostali razredi zauzimaju slične površine (Sl. 17 i Tab. 9).

Najveći broj klizišta formirao se na području gdje prosječno godišnje padne od 1070 do 1089 mm padalina (21 registrirana klizišta), zatim od 1020 do 1038 m (19), te na području s 1038 do 1054 mm (18) dok ostali razredi broje manje od 16 klizišta.

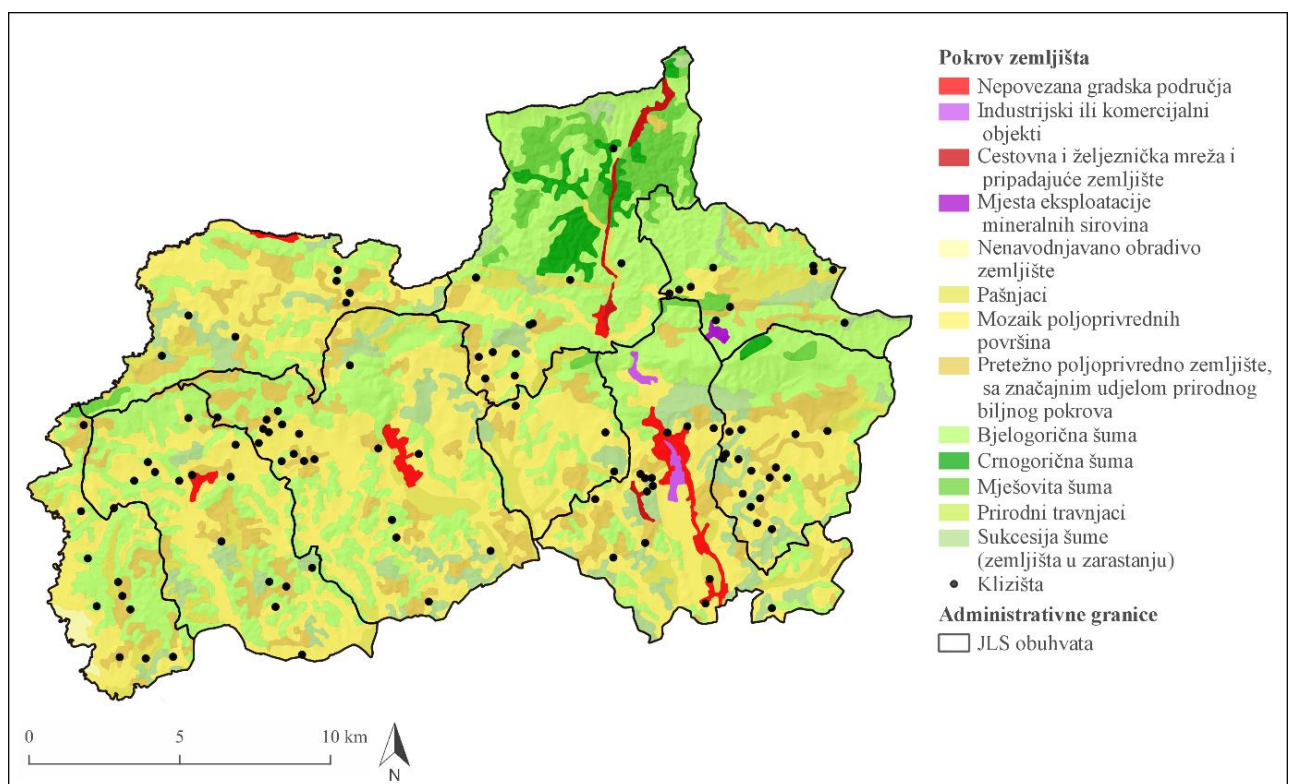
Usporedimo li Sl. 17 sa Sl. 7, možemo zaključiti da područja s višom nadmorskom visinom karakterizira veća količina padalina, no najveća pojavnost klizišta se veže uz niže nadmorske visine te manju količinu padalina. Naime, što je kut nagiba veći voda brže otječe te ima manji utjecaj na stabilnost kosine. Što je kut nagiba manji, voda se lakše procjeđuje u tlo i time narušava prirodnu stabilnost padine. Međutim, ako je riječ o niskoj nadmorskoj visini, kut nagiba će biti premali stoga i rizik od pojave klizišta će također biti vrlo mali (Počekal i dr., 2016).

## 3.2 Utjecaj društveno-geografskih obilježja

Korištenje zemljišta i neadekvatna izgradnja ili održavanje prometnica na prirodno nestabilnim padinama predstavljaju pretežno antropogene čimbenike koji utječu na pojavu klizišta na nekom području.

### 3.2.1 Namjena zemljišta

Način korištenja zemljišta je faktor koji je na nekom području dijelom definiran prirodnim uvjetima (vegetacijski pokrov terena), a dijelom i antropogenim utjecajem (poljoprivredne površine, naseljena područja, prometna infrastruktura i dr.). Detaljnija podjela načina korištenja zemljišta analizirana je prema Corine Land Cover bazi podataka (Sl. 18 i Tab. 10) (URL 10). Na istraživanom području prevladavaju bjelogorične šume, koje prekrivaju 34,55 % ukupne površine. Zatim slijede mozaik poljoprivrednih površina (31,76%) i pretežito poljoprivredno zemljište s značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova (11,40 %). Navedena poljoprivredna područja raspoređena su u svim dijelovima područja, ponajprije na nižim nadmorskim visinama. Površinom se još izdvajaju zemljišta na kojima dolazi do sukcesije šume (7,88 %), pašnjaci (6,49 %) te mješovita šuma (3,51%).



Sl. 18. CLC model namjene zemljišta s lokacijom klizišta

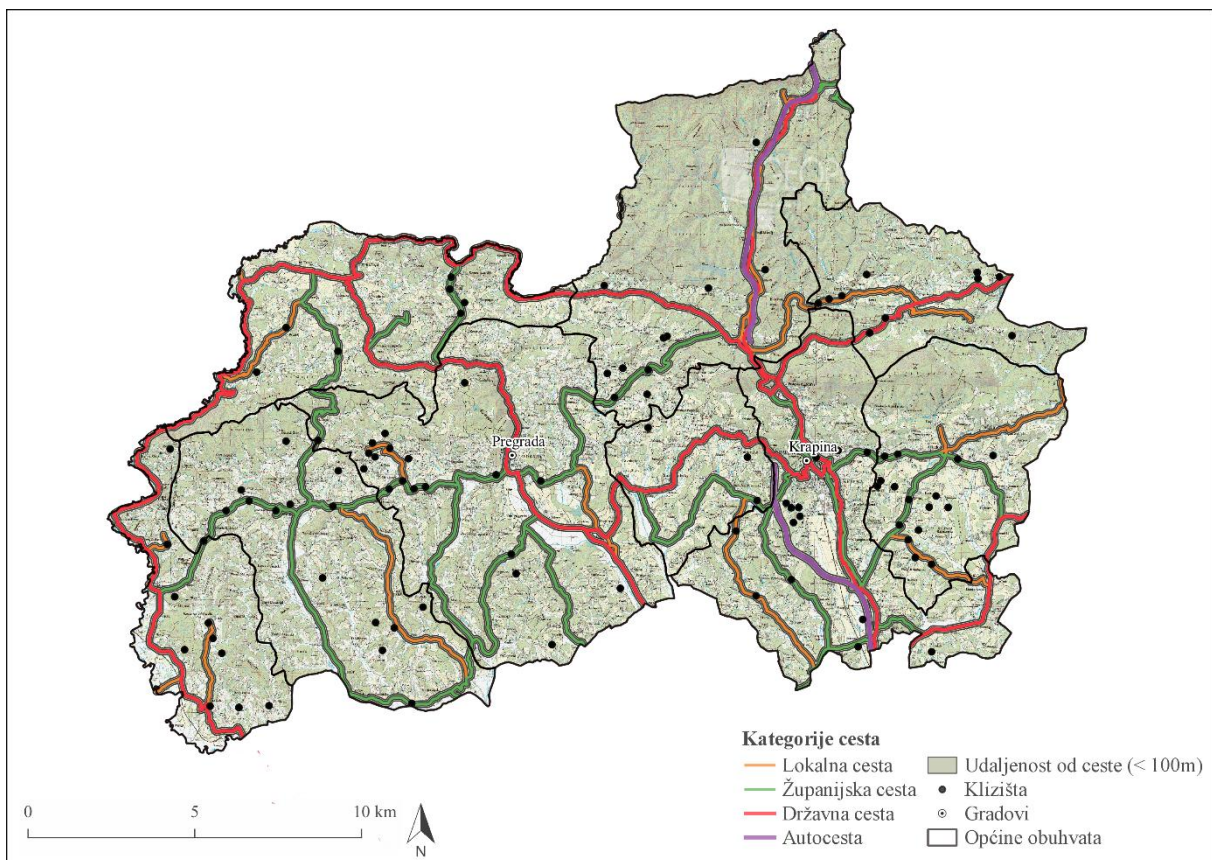
Najveći broj registriranih klizišta (63) nalazi se u kategoriji mozaik poljoprivrednih površina, potom u kategoriji pretežno poljoprivredno zemljište s značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova (17). Na području bjelogorične šume nalazi se 11 klizišta, dok se uz kategoriju pašnjaka veže 10 klizišta. Može se zaključiti da je većina klizišta (75,5%) na istraživanom području nastala na obradivim površinama, tj. pod antropogenim utjecajem. Dva klizišta su zabilježena i u kategoriji nepovezanih gradskih područja što možemo povezati sa činjenicom da u ovu kategoriju ne pripadaju striktno samo urbana područja već i parkovi te predgrađa sa obradivim površinama.

Tab. 10. Broj klizišta na pojedinom tipu zemljišnog pokrova

Kartirane jedinice tla	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio (%)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km <sup>2</sup> )	Udio klizišta (%)
Bjelogorična šuma	123,16	34,55	11	0,09	10,38
Pretežno poljoprivredno zemljište, sa značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova	40,62	11,40	17	0,42	16,04
Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište	1,73	0,49	0	0,00	0,00
Crnogorična šuma	6,43	1,81	0	0,00	0,00
Pašnjaci	23,15	6,49	10	0,43	9,43
Mozaik poljoprivrednih površina	113,22	31,76	63	0,56	59,43
Industrijski ili komercijalni objekti	0,96	0,27	0	0,00	0,00
Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina	0,34	0,10	0	0,00	0,00
Mješovita šuma	12,52	3,51	0	0,00	0,00
Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)	28,09	7,88	3	0,11	2,83
Nenavodnjavano obradivo zemljište	1,30	0,36	0	0,00	0,00
Nepovezana gradska područja	4,76	1,33	2	0,42	1,89
Prirodni travnjaci	0,19	0,05	0	0,00	0,00

### 3.2.2 Prometna infrastruktura

Na istraživanom području, zbog povoljnog prometno geografskog položaja, postoje brojni cestovni pravci. Najznačajniji i najprometniji cestovni pravac koji prolazi kroz područje Grada Krapine, te Općine Đurmanec i Petrovsko u smjeru sjever-jug je autocesta A2 koja se poklapa s međunarodnim cestovnim pravcem E-59 (dio Pyhrnske autoceste) Nürnberg – Graz – Macelj – Zagreb. Državni koridori koji se nadovezuju na taj osnovni pravac su cestovne poveznice s Varaždinskom i Zagrebačkom županijom te Gradom Zagrebom i Republikom Slovenijom.



Sl. 19. Mreža prometnica s lokacijama klizišta

Na karti prometne mreže (Sl. 19), prometnice su podijeljene na autoceste, državne ceste, županijske ceste i lokalne ceste te je potom napravljena analiza udaljenosti klizišta od prometnica. Analiza udaljenosti klizišta od prometnica pokazala je da broj klizišta s porastom udaljenosti od prometnica pada pa se 41 klizište nalazi na udaljenosti do 50 m od ceste, dok se na udaljenosti od 50 do 100 m od prometnice nalazi 23 klizišta.

Prometnice predstavljaju dobar indikator potencijalnih mjesta na kojima postoji velika vjerojatnost da će doći do klizišta. Naime, one same po sebi narušavaju stabilnost padine, ukoliko nisu pravilno izvedene ili nisu obnovljane u skorije vrijeme. Većina cesta u Krapinsko-zagorskoj županiji nalazi se na lošem položaju po pitanju konfiguracije terena (velike strmine, usjeci) te klizišta, što iziskuje veća ulaganja u održavanje. Međutim, situacija se počela mijenjati unatrag nekoliko godina od kada je zabilježen trend ulaganja u cestovnu infrastrukturu. Obnavljanjem se povećava sigurnost na prometnicama, kako za sudionike u prometu, tako i za samu očuvanost infrastrukture. Na fotografijama u nastavku prikazana je šteta na prometnicama uzrokovana klizanjem.



Sl. 20. Klizište uz nerazvrstanu cestu Gornje Jesenje - Gornji Lužani

Izvor: URL 11



Sl. 21. Klizište na nerazvrstanoj cesti prema zaselku Johčeti u Hromcu, Općina Đurmanec

Izvor: URL 12



Sl. 22. Nerazvrstana cesta u Maloj Drenovi, Općina Đurmanec

Izvor: URL 13



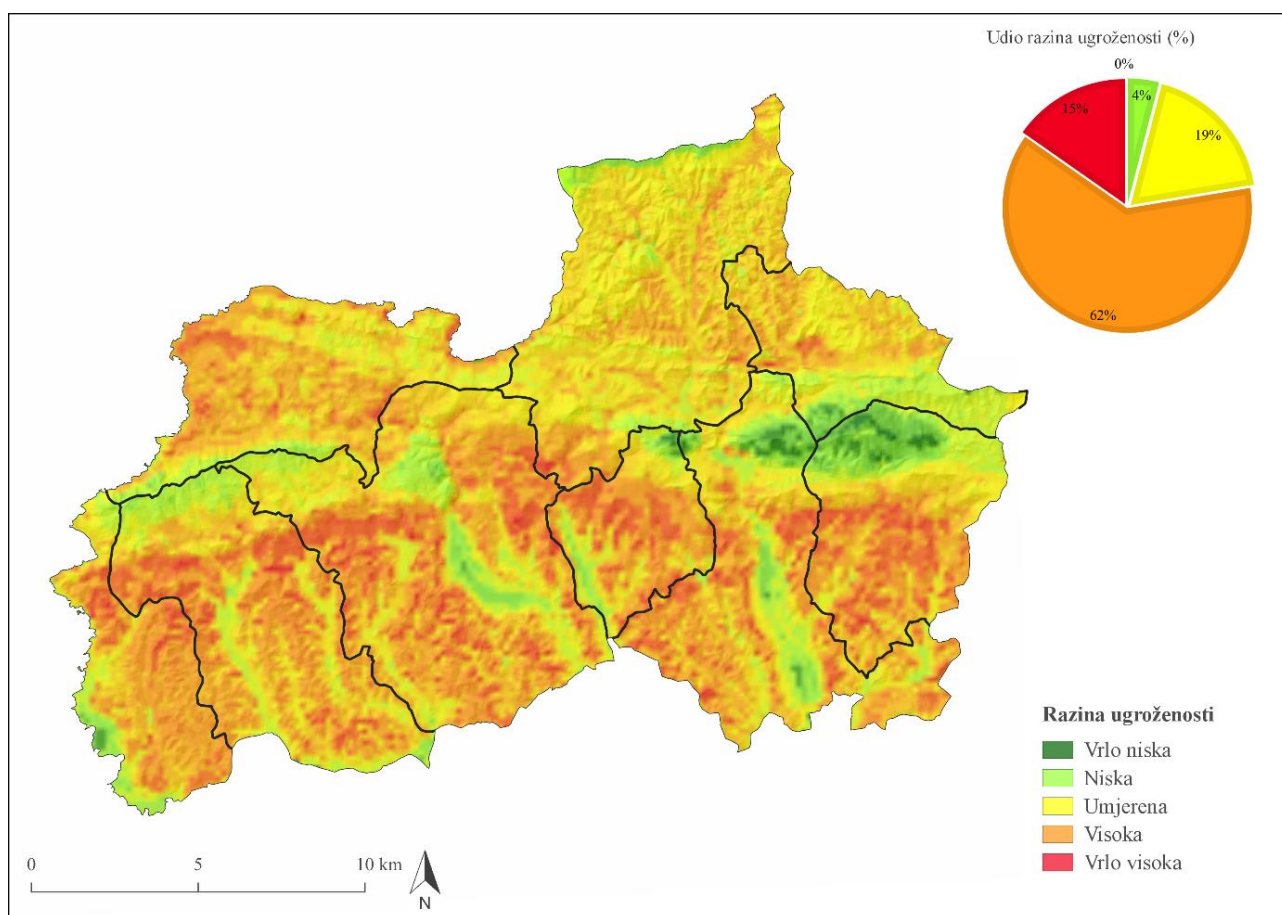
## 4 Vrednovanje reljefa- karta rizika od pojave klizišta

Rezultat istraživanja predstavlja karta podložnosti na klizanje na području sjeverozapadnog dijela Krapinsko-zagorske županije. Karta podložnosti na klizanje prikazuje prostornu vjerojatnost pojave klizanja, uz izdvajanje zona podjednake podložnosti klizanju i njihovo rangiranje u kategorije. U analizi osjetljivosti na klizanje ne procjenjuje se vremenska komponenta vjerojatnosti klizanja (tj. kada će doći do klizanja, odnosno koliko će česta biti klizanja), kao ni magnituda očekivanog klizanja (tj. koliko velika ili koliko destruktivna klizišta se mogu aktivirati). Procjena podložnosti na klizanje provedena je na temelju inventara klizišta te primjenom statističke analize, kojom su analizirani preduvjeti klizanja na istraživanom području, a koji obuhvaćaju geomorfološke, geološke, hidrološke i antropogene faktore klizanja. Budući da ovi preduvjeti klizanja nisu pod utjecajem kratkoročnih ili dugoročnih promjena, rezultati analize podložnosti nisu promjenjivi. U slučaju povećanja vrijednosti padalina, očekuje se pojava većeg broja klizišta na područjima klasificiranim kao podložnim na klizanje, ali ne i pojava klizišta na područjima klasificiranim kao nepodložnim na klizanje.

Podložnost na klizanje prikazana je s pet kategorija (Sl. 23 i Tab. 11). Kategorije podložnosti su: (1.) nije podložno na klizanje prikazano tamno zelenom bojom (stabilni tereni); (2.) niska podložnost na klizanje prikazana svjetlo zelenom bojom (uvjetno stabilne padine); (3.) umjerena podložnost na klizanje prikazana žutom bojom; (4.) visoka podložnost na klizanje prikazana narančastom bojom (uvjetno nestabilne padine); (5.) vrlo visoka podložnost na klizanje prikazana crvenom bojom (nestabilne padine). Područja koja nisu podložna na klizanje, odnosno područja na kojima dosad nije bilo klizišta jer nisu ispunjeni glavni preduvjeti klizanja zauzimaju površinu od samo 0,03 km<sup>2</sup> istraživanog područja. Niska podložnost na klizanje prisutna je na površini od 14,25 km<sup>2</sup> ili 4% istraživanog područja te predstavlja područja podložna klizanju na kojima je broj klizišta relativno nizak. Umjerena podložnost na klizanje prisutna je na površini od 65,39 km<sup>2</sup> ili 18% istraživanog područja. Područja s visokom podložnosti na klizanje predstavljaju područja na kojima je relativno veća količina klizišta te zauzimaju površinu od 221,73 km<sup>2</sup> ili 62% istraživanog područja. Područja s vrlo visokom podložnosti na klizanje predstavljaju područja na kojima je vrlo visoka pojavnost klizišta te zauzimaju površinu od 54,33 km<sup>2</sup> ili 15% istraživanog područja. Posljednja kategorija ne označava nužno sama klizišta nego područja gdje postoji najveći potencijal da se ona pokrenu.

Tab. 11. Raspodjela kategorija podložnosti na klizanje u istraživanom području

	Kategorije podložnosti na klizanje	Površina(km <sup>2</sup> )	Udio (%)
1.	Područja koja nisu podložna na klizanje	0,03	0,01
2.	Područja niske podložnosti na klizanje	14,25	4,01
3.	Područja umjerene podložnosti na klizanje	65,39	18,38
4.	Područja visoke podložnosti na klizanje	221,73	62,33
5.	Područja vrlo visoke podložnosti na klizanje	54,33	15,27



Sl. 23. Karta podložnosti na klizanje istraživanog područja

Prema karti podložnosti na klizanje područja vrlo visoke podložnosti na klizanje obuhvaćaju središnji dio istraživanog područja. To su niža brežuljkasta područja koja su se smjestila između aluvijalnih ravni i prigrorskih pojaseva na prisojnim stranama Desinić gore,

Kuna gore, Brezovice i Strahinjčice. Zona umjerene podložnosti na klizanje obuhvaća navedene prigrorske pojaseve te prigorja Maceljske Gore. Vrlo niska podložnost na klizanje zonirana je u središnjem dijelu Brezovice i Strahinjčice te na području naplavnih ravni Sutle, Kosteljine i Krapinice. Zone vrlo visoke podložnosti nalaze se na području manjih naselja svih jedinica lokalne samouprave istraživanog područja, ali i na području grada Krapine. S obzirom da je najveća gustoća stanovništva istraživanog područja zabilježena upravo na području Grada Krapine (262,7 st/km<sup>2</sup>) može se zaključiti da bi šteta od aktiviranja klizišta u tom prostoru bila velika.

Dobiveni rezultati podložnosti na klizanje istraživanog područja verificirani su obilaskom terena. Registrirana klizišta na istraživanom području manjeg su obujma i uglavnom su posljedica ljudske djelatnosti (poljoprivredne djelatnosti, sječa). Terenskom radom pokušalo se usporediti stvarno stanje i dobiven kartografski prikaz. Na području naselja Vinagora, Gornjih Lužana, Hromca uočena su sanirana klizišta te manja aktivna klizišta uz ceste. Udaljavanjem od prometnica, na području dvorišta, pašnjaka, vinograda i ostalih obrađivanih zemljišta uočena su veća klizišta. Cijelo područje zbog brežuljkastog krajolika daje dojam nestabilnosti padina. Za očekivati je da svaki veći zahvat ili dodatno opterećenje padina može izazvati novo klizište (Sl. 24 i Sl. 25).



Sl. 24. Veće klizište kod Vinagore u Pregradi

Izvor: URL 14



Sl. 25. Klizište uzrokovalo rušenje stare kuće na Vinagori

Izvor: URL 15

Korištenjem preciznijih i detaljnih ulaznih podataka moguće je dobiti karte podložnosti veće preciznosti, odnosno detaljnijeg mjerila. Za preciznije karte podložnosti na klizanje trebalo bi koristiti kvalitetnije ulazne podatke. To se prvenstveno odnosi na podatke inventara klizišta, inženjerskogeološke jedinice te digitalnog modela reljefa veće rezolucije kako bi se morfologija pokosa prometne inostrukture i riječnih korita odražavala na karti nagiba.

## 5 Zaključak

Područje sjeverozapadnog dijela Krapinsko-zagorske županije izrazito je podložno na klizanje, što je posljedica prvenstveno geološke građe, karakterističnog reljefa te antropogenih čimbenika. Međutim, količina padalina je glavni pokretač (inicijator) klizanja jer veća količina vode negativno djeluje na stabilnost kosina. Prema rezultatima prostornih analiza provedenih u ovom radu proizlazi da se najveći broj, 89,6% klizišta, formirao na području gdje prosječno godišnje padne manje od 1089 mm padalina. 89,5 % registriranih klizišta, odnosno njih 95 aktivirano je na padinama nagiba od 5° do 32°. 73 registrirana klizišta, odnosno 68,9%, formiralo se na nadmorskim visinama od 200 do 300 m. Najveći broj klizišta zabilježen je na padinama s južnom i jugoistočnom ekspozicijom (41,5%). Istraživano područje je umjerene raščlanjenosti reljefa (100 – 300 m/km<sup>2</sup>) te je u toj kategoriji registrirano 54,7% klizišta. Startigrafske jedinice tercijarne starosti prekrivaju oko 78% istraživanog područja i sadrže najveći broj registriranih klizišta, 84,9%. Najviše klizišta, 65% pokrenulo se na tlima: lesivirano tipičnom na laporu i mekom vapnencu, rendzini na laporu ili mekim vapnencima. Analizom načina korištenja zemljišta prikazano je da se 75,5% registriranih klizišta aktiviralo na poljoprivrednim zemljištima, dok se u izgrađenim područjima aktiviralo 2% klizišta. 38,7% klizišta nastalo je na udaljenosti do 50 m od ceste, dok je na udaljenosti od 50 do 100 m nastalo 21,7% klizišta. Iz rezultata analize utjecaja navedenih fizičko-geografskih i društvenih-geografskih obilježja na pojavu klizišta izrađen je kartografski prikaz podložnosti na klizanje. Izračunati prikaz pokazuje da je 77,6 % površine ugroženo (visoka i vrlo visoka ugroženost) pojavljivanjem klizišta. Izrađena karta podložnosti na klizanje predstavlja mali doprinos problematici predviđanja pojave klizišta. Kartirane zone podložnosti mogu biti osnova za daljnja istraživanja. Također, primjenom rezultata u izradi i provedbi dokumenata prostornog uređenja može pridonijeti smanjenju opasnosti od nastanka klizišta, a time i socioekonomskim gubitcima u istraživanom području.

## Literatura

1. Aničić, B. i Juriša, M., 1983: Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000, list Rogatec, L 33-68, geološki zavod Zagreb, geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod, Beograd.
2. Bernat, S., Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., 2014: Landslides triggered in the continental part of Croatia by extreme precipitation in 2013., u: *Engineering Geology for Society and Territory*, Vol. 2 (ur. Lollino G., Giordan D., Crosta G., Corominas J., Azzam R., Wasowski J., Sciarra N.), Landslide Processes, Springer, Heidelberg, 1599-1603.
3. Bernat Gazibara, S., 2019: *Metodologija izrade karata klizišta korištenjem digitalnoga modela terena visoke rezolucije u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba*, doktorska disertacija, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb.
4. Bognar, A., 1996: Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geokološki aspekti, *Acta Geographica Croatica*, 31, 27-39.
5. Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34, 7 – 29.
6. Cruden, D.M., 1991: A simple definition of a landslide, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), str. 27-29.
7. Cruden, D. M., Varnes, D. J., 1996: Landslide Types and Processes, u: *Landslides. Investigation and Mitigation* (ur. Turner, A. K., Schuster, R. L.), Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D. C., 36-75.
8. Čanjevac, I., 2013: Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik*, 75(1), 23-42.
9. Faivre, S., Radeljak, P., Grbac Živković, R., 2013: Formiranje i upotreba digitalnih baza podataka o klizištima u svijetu i Hrvatskoj: Primjer dostupnosti podataka na riječkom području, *Hrvatski geografski glasnik* 75(1), 43 – 69.
10. Gerić, A., 2019: Geomorfološki značaj klizišta sjevernog dijela Karlovačke županije, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu
11. Gotić, R., Gotić, I., 1998.: Istraživanje stabilnosti klizišta i uzroka njihova nastanka u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, *Croatian geotechnical journal* 5, 11-12; 43-51.
12. Highland, L.M., Bobrowsky, P., 2008: *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*, U.S. Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia.

13. Husnjak, S., i Bensa, A., 2018: Pogodnost poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje u agrotegijama Hrvatske, *Hrvatske vode* 26(105), 157-180.
14. Loparić, I., Pahernik, M., 2012: GIS analiza ugroženosti padina klizištima u području Grada Lepoglave, *Acta geographica Croatica* 38, 35 – 58.
15. Lozić, S., 1995: Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 30, 17 - 28.
16. Lozić, S., 1996: Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 31, 41 - 50.
17. Nonvellier, E., 1987: *Kliženje i stabilizacija kosina*, Školska knjiga, Zagreb.
18. Mamut, M., 2010: Geokološko vrednovanje reljefa otoka Pašmana, *Geoadria* 15(2), 241-267.
19. Mihalić Arbanas, S., Sečan, M., Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Begić, H., Džindo, A., Zekan, S., Arbanas, Ž., 2017: Landslides in the Dinarides and Pannonian Basin—from the largest historical and recent landslides in Croatia to catastrophic landslides caused by Cyclone Tamara (2014) in Bosnia and Herzegovina, *Landslides* 14, 1861–1876.
20. Varnes, D. J., 1978: Slope movement types and processes, u: *Landslides: Analysis and Control* (ur: Schuster, R. L., Krizek, R. J.), Special Report 176, Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
21. Vlahek, I., 2016: Analiza pokretača klizanja na području općine Lohor, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu
22. Počekal, N., Loborec, J., i Meaški, H., 2016: Izrada karte rizika od pojave klizišta primjenom Gis tehnologije – primjer općine Bednja, *Environmental Engineering - Inženjerstvo okoliša*, 3(1), 7-19.
23. Popescu, M. E., 2001: A suggested method for reporting landslide remedial measures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60(1), 69-74.
24. Šegota, T., Filipčić, A., 2003: Koeppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria* 8 (1), 17-3.
25. WP/WLI, International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1993: *A multi-lingual landslide glossary*, Bitech Publishers, Vancouver, 59.

## Izvori

URL 1: safEarth, [https://www.hgi-cgs.hr/safearth/](https://www.hgi-cgs.hr/safeearth/)(27.07.2021.)

URL 2: Pal, I. i Ghosh, T., 2018: *Natural Hazards Management in Asia*, SAGE Publications, Inc.

URL 3: Državni zavod za statistiku, <https://www.dzs.hr/>(22.07.2021.)

URL 4: Arhiva klimatoloških podataka i *Praćenje i ocjena klime u 2013. godini*, Državni zavod za statistiku, Zagreb, 2013. (01.08.2021.)

URL 5: Agencija Republike Slovenije za okolje, <http://www.arso.gov.si/vreme/>(10.08.2021.)

URL 6 : Copernicus, <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas> (15.07.2021.)

URL 7: Kruk, B. i dr., 2014: *Rudarsko-geološka studija Krapinsko-zagorske županije*, Hrvatski geološki institut, Zagreb, <http://www.hgi-cgs.hr/>

URL 8: International Geographic Union-a (1968)

URL 9: Digitalna pedološka karta Hrvatske, [http://tlo-ibiljka.eu/iBaza/Pedo\\_HR/index.html](http://tlo-ibiljka.eu/iBaza/Pedo_HR/index.html) (12.08.2020.)

URL 10: CORINE land cover Hrvatska. Karta pokrova zemljišta mjerila 1:1.000.000 za 2012. godinu, Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Zagreb, 2012, <http://www.haop.hr/hr> (11.07.2021.)

URL 11: Nova klizišta na području općine Jesenje, Zagorje.com, <https://www.zagorje.com/clanak/vijesti/nova-klizista-na-podrucju-opcine-jesenje> (08.07.2021.)

URL 12: Otvaraju se klizišta diljem Zagorja, Zagorje.com, <https://www.zagorje.com/clanak/vijesti/otvaraju-se-klizista-diljem-zagorja>(08.07.2021.)

URL 13: Kapelj i dr., 2020: *Geotehnički elaborat za potrebe sanacije klizišta na nerazvrstanoj cesti u „Maloj Drenovi“ u općini Đurmanec*, SPP d.o.o.

URL 14: Upravni odjel za gospodarstvo i financije Grada Pregrade



URL 15.: Zbog klizišta na Vinagori urušila se stara kuća, a klizište prijeti još jednoj kući, Zagorje.com,<https://www.zagorje.com/clanak/vijesti/zbog-klizista-na-vinagori-urusila-se-stara-kuca-a-kliziste-prijeti-jos-jednoj-kuci>(08.07.2021.)

## Prilozi

### Popis slika

Sl. 1. Tipičan izgled klizišta u profilu i tlocrtu.....	4
Sl. 2. Tipovi klizanja stijenske mase a) rotacijsko, b) translacijsko i c) složeno .....	5
Sl. 3. Pregledna karta istraživanog područja .....	7
Sl. 4. Gustoća naseljenosti i promjena broja stanovnika na području županije .....	8
Sl. 5. Geomorfološki položaj istraživanog prostora .....	9
Sl. 6. Pregledna geološka karta istraživanog područja s lokacijom klizišta.....	13
Sl. 7. Hipsometrijska obilježja istraživanog prostora s lokacijama klizišta .....	16
Sl. 8. Kategorije nagiba padina istraživanog prostora s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom.....	18
Sl. 9. Ekspozicija padina s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom .....	20
Sl. 10. Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog prostora s lokacijama klizišta .....	22
Sl. 11. Pojava klizišta s obzirom na udaljenost od površinskih tokova .....	24
Sl. 12. Pedološka karta s lokacijom klizišta .....	25
Sl. 13. Morfogenetski tipovi reljefa s lokacijama klizišta.....	27
Sl. 14. Klimadijagram grada Krapine.....	29
Sl. 15. Analiza srednjih mjesečnih padalina na meteorološkoj postaji Krapina za siječanj, veljaču i ožujak 2013. godine.....	30
Sl. 16. Mjesečni percentili padalina za sjevernu Hrvatsku, određeni na temelju vremenskog razdoblja 1961.-1991. godina: a) siječanj 2013.; b) veljaču 2013.; c) ožujak 2013. godine....	31
Sl. 17. Karta prosječne godišnje količine padalina s lokacijama klizišta.....	33
Sl. 18. CLC model namjene zemljišta s lokacijom klizišta.....	35
Sl. 19. Mreža prometnica s lokacijama klizišta.....	37
Sl. 20. Klizište uz nerazvrstanu cestu Gornje Jesenje - Gornji Lužani .....	38
Sl. 21. Klizište na nerazvrstanoj cesti prema zaselku Johčeti u Hromcu, Općina Đurmanec ..	39
Sl. 22. Nerazvrstana cesta u Maloj Drenovi, Općina Đurmanec.....	39
Sl. 23. Karta podložnosti na klizanje istraživanog područja .....	41
Sl. 24. Veće klizište kod Vinagore u Pregradi .....	42
Sl. 25. Klizište uzrokovalo rušenje stare kuće na Vinagori.....	43

## Popis tablica

Tab. 1. Broj i udio klizišta po pojedinom geološkom razdoblju .....	14
Tab. 2. Broj, gustoća i udio klizišta po kategorijama nadmorske visine.....	17
Tab. 3. Broj, gustoća i udio klizišta prema rasponu nagiba padina.....	19
Tab. 4. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na ekspoziciju padine .....	21
Tab. 5. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vertikalnu raščlanjenost reljefa.....	23
Tab. 6. Broj, gustoća i udio klizišta prema pedološkim jedinicama .....	26
Tab. 7. Broj, gustoća i udio klizišta prema morfoogenetskim tipovima reljefa.....	28
Tab. 8. Prosječne godišnje količine padalina (mm) za razdoblje 2013. – 2020. meteoroloških postaja šireg prostora istraživanja .....	32
Tab. 9. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na količinu padalina .....	34
Tab. 10. Broj klizišta na pojedinom tipu zemljišnog pokrova .....	36
Tab. 11. Raspodjela kategorija podložnosti na klizanje u istraživanom području .....	41