Geomorfološki značaj klizišta sjevernog dijela Karlovačke županije

Gerić, Andro

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:883444

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Andro Gerić

Geomorfološki značaj klizišta sjevernog dijela Karlovačke županije

Diplomski rad

Zagreb,
2019.

Andro Gerić

Geomorfološki značaj klizišta sjevernog dijela Karlovačke županije

Diplomski rad

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

Zagreb,
2019.

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

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geografski odsjek

Diplomski rad

Geomorfološki značaj klizišta sjevernog dijela Karlovačke županije

Andro Gerić

Izvadak: Na području Karlovačke županije klizišta su česta pojava te predstavljaju prijetnju za lokalno stanovništvo, njihovu imovinu te prometnice. Kroz rad je istražena i prikazana prostorna rasprostranjenost klizišta na sjevernom dijelu Karlovačke županije, određen je njihov geomorfološki značaj te povezana njihova pojavnost sa određenim klimatološkim prilikama. Za potrebe rada korištene su metode prikupljanja ulaznih podataka o klizištima, GIS analize reljefa istraživanog područja, metode terenskog istraživanja, analize geomorfoloških i geoloških uvjeta u kojima nastaju klizišta, analize meteoroloških podataka te analize antropogenih uvjeta i uzroka nastanka klizišta. Analize su ukazale na uzročno - posljedičnu vezu između klizišta i prometnica te moguću povezanost pojavnosti klizišta sa iznadprosječnim količinama padalinama u razdoblju od 2013. do 2015. godine.

46 stranica, 30 grafičkih priloga, 11 tablica, 31 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: geomorfologija, klizišta, pokretači klizanja, Karlovačka županija

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

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

Tema prihvaćena: 8. 2. 2018.

Rad prihvaćen: 7. 2. 2019.

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 northern part of Karlovac County

Andro Gerić

Abstract: Landslides are common occurrence in Karlovac County and they pose a threat to local population, their property and traffic network. Main goal of this paper was to research and display spatial distribution of landslides in the northern part of Karlovac County, to determine their geomorphological significance and to connect the occurrence of the landslides with certain climate conditions. For the purpose of this paper certain methods were used: collecting of the input data on landslides positions, GIS analysis of relief of research area, terrain research, analysis of geomorphological and geological conditions in which landslides are formed, analysis of meteorological data, analysis of anthropogenic conditions and causes of landslide formation. The analyses pointed to the causal and consequential connection between the landslide formation and the roads and possible connection of the incidence of landslides with above the average precipitation in the period from 2013 to 2015.

46 pages, 30 figures, 11 tables, 31 references; original in Croatian

Keywords: geomorphology, landslides, landslide triggers, Karlovac County

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Associate Professor

Reviewers: PhD, Associate Professor Neven Bočić

PhD, Full Professor Sanja Faivre

PhD, Assistant Professor Mladen Maradin

Thesis title accepted: 08/02/2018

Thesis accepted: 07/02/2019

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

SADRŽAJ

1. Uvod 1
1.1. Definiranje problema i cilja rada 1
1.2. Pregled dosadašnje literature 1
1.3. Općenito o klizištima 2
1.3.1. Klasifikacija klizišta 4
1.3.2. Uzroci i pokretači 5
2. Metode rada i izvori podataka 7
3. Fizičko-geografska i društvena obilježja istraživanog područja 9
3.1. Određivanje geomorfološkog položaja 10
3.2. Geološka građa 11
3.3. Hidrogeografska obilježja 13
3.4. Morfometrijska obilježja reljefa 13
3.4.1. Hipsometrija 13
3.4.2. Nagib padina 15
3.4.3. Ekspozicija padina 16
3.4.4. Vertikalna raščlanjenost 17
3.4.5. Zakrivljenost padina 18
3.5. Pedološka obilježja 19
3.6. Morfogenetska obilježja 20
3.7. Klimatska obilježja 22
3.8. Zemljišni pokrov 23
3.9. Cestovna mreža 24
4. Rezultati 26
4.1. Utjecaj geoloških čimbenika 26
4.2. Utjecaj morfometrijskih obilježja 27
4.3. Utjecaj pedoloških obilježja 32
4.4. Utjecaj morfogenetskih tipova reljefa i klizišta 34
4.5. Utjecaj klimatskih obilježja 35
4.6. Utjecaj korištenja tla na klizišta 37
4.7. Utjecaj cestovne mreže na klizišta 38
5. Rasprava 40
6. Zaključak 43

Literatura 44
Izvori.....47

1. Uvod

1.1. Definiranje problema i cilja rada

Nestabilnost velikih masa na nagnutim terenima i njihovo klizanje su prirodna pojava koja ima veliki utjecaj u oblikovanju današnje morfologije reljefa cjelokupne Zemljine kore (Nonveiller, 1987). Tako su i na području Karlovačke županije klizišta česta pojava te predstavljaju prijetnju za lokalno stanovništvo, njihovu imovinu te prometnice. Cilj ovoga rada je istražiti i prikazati prostornu rasprostranjenost klizišta na sjevernom dijelu Karlovačke županije, odrediti njihov geomorfološki značaj te povezati njihovu pojavnost sa određenim klimatološkim prilikama. Očekivani rezultati rada su utvrđivanje podataka o broju, prostornom rasporedu, vremenu aktiviranja klizišta te utvrđivanje njihovih uzroka.

Istraživano područje obuhvaća sjeverni dio Karlovačke županije, a jedan od razloga zašto je odabrano baš to područje je i relativna dostupnost ulaznih podataka to jest informacija o lokacijama klizišta. Kao prostorni okvir sjevernog dijela Karlovačke županije uzete su općine Kamanje, Ribnik, Netretić, Žakanje, Draganić, Lasinja te administrativno područje gradova Ozalj i Karlovac. Prema dobivenim podacima može se reći da je vremenski okvir istraživanja razdoblje od 2013. godine do danas s posebnim osvrtom na klizišta aktivirana u razdoblju 2013. - 2015.

1.2. Pregled dosadašnje literature

Što se tiče znanstvene literature vezane konkretno za klizišta na području Hrvatske ističu se radovi hrvatskog inženjera građevinarstva Ervina Nonveillera koji je najveći dio svog stručnog i znanstvenog djelovanja posvetio geotehnici. Geotehnika uključuje i mehaniku tla, a samim time i klizišta. Od početka 60-tih pa do kasnih 80-tih godina 20. stoljeća napisao je nekolicinu radova kako o pojedinim klizištima tako i općenito o procesu klizanja. Njegov glavni rad vezan za klizišta je „Kliženje i stabilizacija kosina“ iz 1987. godine u kojem je napravio klasifikaciju klizišta te objasnio pristupe istraživanja istih (Nonveiller, 1987). Nešto kasnije javlja se rad Andrije Bognara iz 1996. godine „Tipovi klizišta u republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geoekološki aspekti“ u kojem se po prvi puta radi tipizacija klizišta na području Republike Hrvatske, a ujedno i Bosne i Hercegovine. Bognar (1996) izdvaja pet karakterističnih područja ugroženih procesima kliženja i urušno - kliznim pokretima. Ta područja su: lesni strmci podunavskog dijela Hrvatske, predgorske stepenice (glacisi) i pobrđa peripanonskog dijela Hrvatske i Bosne, međugorske zavale i riječne doline unutarnjih Dinarida Hrvatske i Bosne,

pobrđa Vanjskih Dinarida te jadranski otoci. Također iz 1996. godine je i rad Sanje Lozić „Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske“ koji je usko vezan za problematiku klizišta jer se prema stupnju nagiba mogu izdvojiti padine labilne ravnoteže stijenskih masa te su karte iz tog rada dobar indikator intenziteta denudacije i akumulacije kao bitnih faktora koji utječu na stabilnost određenog terena (Lozić, 1996). U novije vrijeme izdvajaju se brojni radovi profesorice Snježane Mihalić Arbanas sa Rudarsko geološko naftnog fakulteta koji se bave i pojedinačnim slučajevima klizišta, ali i općenitim temama vezanim uz procese kliženja. U radu „Temeljna geomorfološka obilježja Karlovačke županije“ (Bočić i dr., 2016) klizišta se spominju u okviru geomorfoloških hazarda karakterističnih za područje fluviodenudacijskog reljefa. Takav reljef se razvija na rubnim pobrđima Karlovačke zavale te Petrovoj gori s okolnim područjem. Također se navodi podatak kako je od 2013. do 2016. godine upravo na području od Vivodine, preko Ozlja, Karlovca i Tušilovića pa sve do Vojnića zabilježeno više od 300 pojava bujica i klizišta.

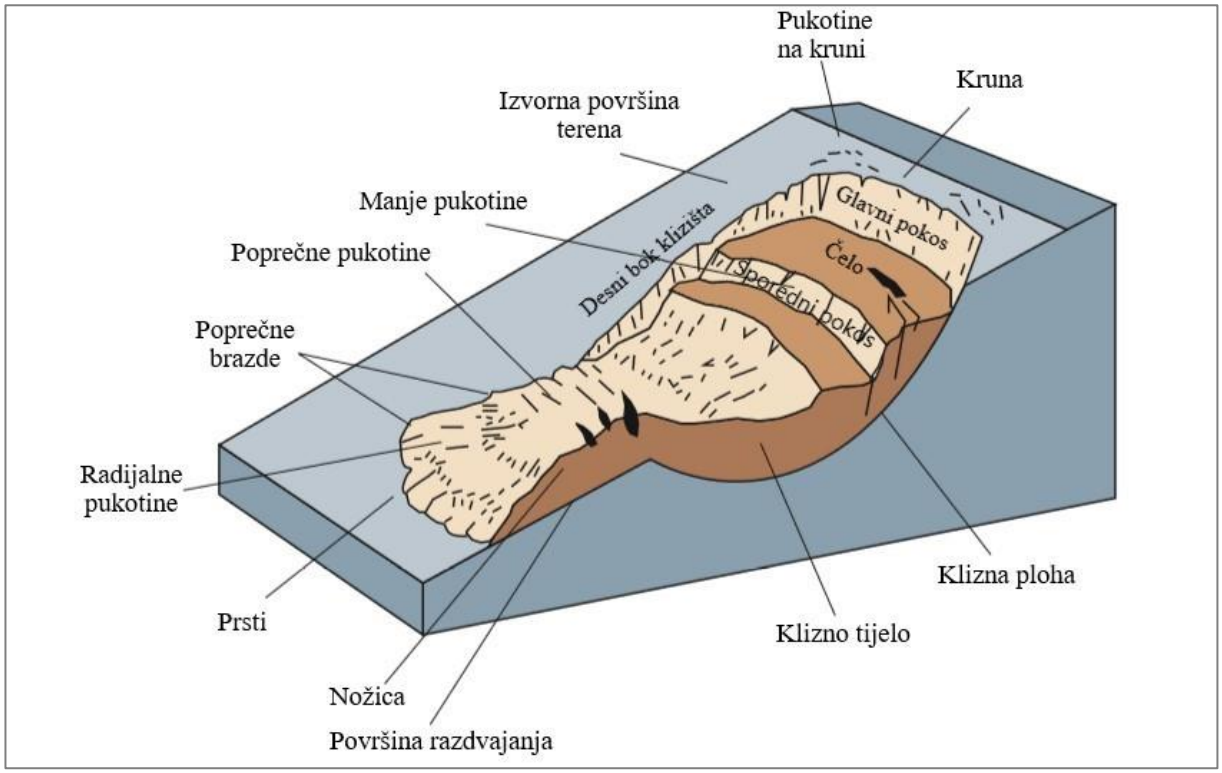
Vezano za evidentiranje klizišta na području Republike Hrvatske većina njih sustavno je evidentirana uglavnom samo na području Zagreba i okolice. Jedno od prvih istraživanja nagiba i stabilnosti padina grada Zagreba, koje je provela tvrtka Geotehnika-Geoexpert, 1979. godine rezultiralo je nastankom popisa klizišta. U posljednjih 50 godina sustavno su podaci o klizištima u Podsljemenskoj zoni prikupljeni tri puta (Šagud, 2015). Kompletna baza podataka na razini države još ne postoji. Izradom te baze podataka bavi se Hrvatski geološki institut na čijem portalu postoji mogućnost prijave klizišta i sukladno tome postoji i karta sa lokacijama klizišta na kojoj se trenutno nalaze samo 204 klizišta (HGI, 2018). Taj podatak o samo 204 klizišta ukazuje na to da pristup prema evidentiranju i prostornoj analizi pojave klizišta nije još na adekvatnoj razini. Na temelju GIS analize napravljena je karta podložnosti padina klizanju području Grada Lepoglave (Loparić i Pahernik, 2011). O klizištima riječkog područja te o formiranju digitalnih baza podataka o klizištima u svijetu i stanja u Hrvatskoj govori se u radu Faivre i dr. (2013).

1.3. Općenito o klizištima

Klizište nastaje kao posljedica klizanja tj. kretanja mase stijena ili tla niz padinu (Cruden, 1991). To kretanje uključuje sve pokrete na padinama, neovisno o mehanizmu i brzini kretanja (Varnes, 1984). Prema Bognaru (1996) klizanje zemljišta je kretanje tla ili stijenskog materijala s padine na kliznoj plohi pod utjecajem gravitacije. Klizna ploha je ploha po kojoj dolazi do klizanja. Za razvoj klizišta bitno je oblikovanje te plohe koja je

povezana sa glinom ili glinovitim stijenama. Ta klizna ploha je često složenog oblika upravo zbog nehomogenosti sastava stijena klizišta.

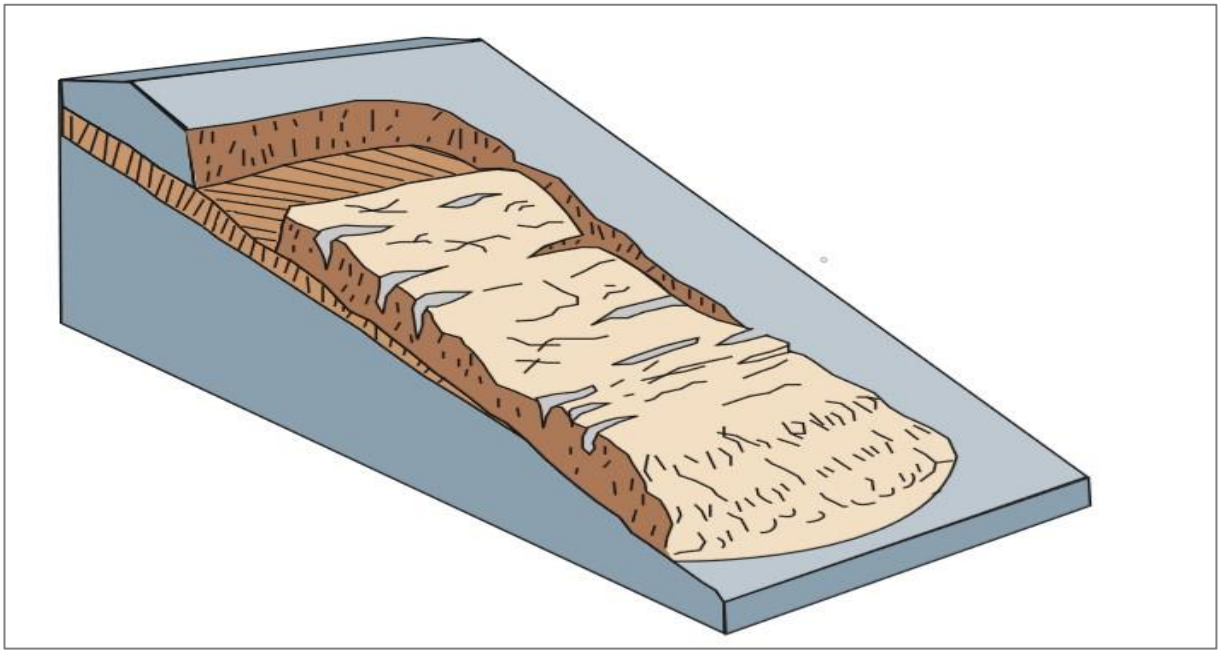
Jedan od osnovnih preduvjeta za pojavu klizišta, prema Bognaru (1996), su glinovite stijene u sastavu terena na kojemu su se oblikovale padine. Što je veći sadržaj gline u tom sloju to su veće i šanse za stvaranje klizišta i to posebno ako je propusni sloj tanji. Drugi preduvjet je izmjena propusnih i nepropusnih slojeva u tlu tj. izmjena pjeskovitih i glinovitih slojeva što je posebno važno u slučaju debelih lesnih i siltovitih površinskih pokrivača. Porast količine vode i hidrostatskog tlaka u stijenama je također jedan od bitnijih preduvjeta za pojavu klizišta. To uvelike ovisi o mikroslojnoj strukturi gline i njezinom vodnom kapacitetu o čemu ovisi i samo bubrenje tog dijela tla. Od čimbenika koji utječu na formiranje klizišta Bognar još navodi i podzemno kretanje vode, promjene nagiba padine, sezonsko oblikovanje leda u tlu, pojava vibracija u tlu uzrokovanih potresima ili miniranjem te uništavanjem vegetacije na površini što smanjuje stabilnost padine. Na slici su prikazani neki od osnovnih dijelova klizišta prema Bobrowsky i Highland (2008) (sl. 1.).



Sl. 1. Oblik rotacijskog klizišta i osnovni dijelovi klizišta
Izvor: prema Highland i Bobrowsky, 2008

1.3.1. Klasifikacija klizišta

Vrste klizanja prema tipu pokreta se dijele na translacijsko klizanje - kretanje kliznog tijela usporedno sa ravninom, rotacijsko klizanje - kretanje kliznog tijela po zakrivljenoj plohi, složeno klizanje - kombinacija translacijskog i rotacijskog klizanja (Cruden i Varnes, 1996). Postoji i tipizacija klizišta prema Bognaru (1996) koji je kao osnovni kriterij za podjelu koristio prostorne i geometrijske tipove pojavljivanja klizne plohe. Ta tipizacija se odnosi samo na područje republike Hrvatske te Bosne i Hercegovine. Prvo navodi slojna ili translacijska klizišta kod kojih je klizna ploha glinovita te blago nagnuta u smjeru padine (sl. 2.). 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.



Sl. 2. Translacijsko klizište
Izvor: Highland i Bobrowsky, 2008

Sljedeća su rotacijska klizišta kod kojih u sastavu terena dominira glina ili les ili lesu slični sedimenti. Klizna ploha kod takvih klizišta je zakrivljena i blago konkavnog oblika te se najčešće aproksimira pravilnim geometrijskim tijelom koje odgovara polovici elipsoida (Cruden i Varnes, 1996). Na gornjem dijelu rotacijskog klizišta pojavljuju se pukotine, a u donjem dijelu dolazi do taloženja transportiranog materijala koji se reprezentira u obliku ispupčenja. Sljedeći tip klizišta su stepeničasta klizišta koja su karakteristična za strme lesne odsjeke uz Dunav i Dravu. Kod takvih klizišta su izraženi destrukcijski derazijski procesi

tijekom kojih dominiraju urušno - klizni pokreti terena. Bognar dalje navodi blok klizišta koja se javljaju uz rubove strukturno - denudacijskih stepenica i kod takvih klizišta su padinski procesi izrazito spori. Odlomljeni blokovi stijena naliježu na glinovitu podlogu te se zatim oblikuje niz manjih kliznih ploha duž kojih se blok kreće niz padinu. Zatim složena stijenska klizišta kod kojih je klizna ploha pod velikim nagibom, materijal koji klizi postiže veliku brzinu te se takav tip klizišta javlja na predjelima visoko iznad podnožja planina. I kao poseban tip klizišta navodi klizišta potoke koja su koritastog oblika te je brzina kretanja materijala izrazito velika. Što se tiče aktivnosti klizišta postoji tri vrste aktivnosti koje se odnose na tri različita procesa tijekom kliženja. Kao prvo, aktivnost se može odnositi na stanje aktivnosti koje opisuje vrijeme tijekom kojeg se masa gibala niz padinu. Kao drugo, može se odnositi na distribuciju aktivnosti koja opisuje smjer gibanja i kao treće može se odnositi na stil aktivnosti koji ukazuje na tip gibanja po mehanizmu (Nonveiller, 1979).

1.3.2. Uzroci i pokretači klizanja

Uzroci kretanja prema Nonveilleru (1979) mogu se podijeliti na uzroke izazvane ljudskim akcijama ili mogu nastati kao geološki fenomen. Ako se klizanje promatra kao geološki uzrokovanim procesom postoje dvije mogućnosti zašto se masa pokrenula. Jedna od tih mogućnosti je tektonske prirode i to se odnosi na dugotrajan i spori proces kojim se mijenja ravnoteža i čvrstoća padine te s vremenom to može uzrokovati klizanje. Druga mogućnost su gravitacijske i hidrodinamičke sile. U geološke uzroke se također može uvrstiti i paleoreljef i paleoklizišta koja su nekad bila aktivna u geološkoj prošlosti (Roje-Bonacci, 2015). Klizište može biti inicirano samo jednim procesom, ali u većini slučajeva radi se o više procesa koji djeluju u isto vrijeme samo se razlikuje intenzitet utjecaja pojedinog proces na iniciranje klizišta. Npr. erozija je jedan od procesa koji može inicirati klizište, a za razliku od erozije koja je dugotrajniji proces potresi su puno kraći proces koji također mogu inicirati klizišta. U tablicama su prikazani uzroci i pokretači prema Highland i Bobrowsky (2008) (tab. 1., tab. 2.).

Tab. 1. Vrste uzroka pojave klizišta

PRIRODNI UZROCI	ANTROPOGENI UZROCI
Nevezani materijali	Potkopavanje padine
Trošni materijali	Izgradnja na nestabilnom tlu
Tektonski pomaci	Punjenje i pražnjenje vodnih rezervoara
Izdizanje kopna nakon topljenja leda	Nasipavanje vršnog dijela padine
Fluvijalna erozija	Uklanjanje prirodne vegetacije
Abrazija	Navodnjavanje
Uklanjanje vegetacije kroz požare ili sušu	Miniranje
Prirodno nakupljanje materijala na vršnom dijelu padine	Vibracije (npr. eksplozije)

Izvor: prema Highland i Bobrowsky, 2008

Tab. 2. Pokretači pokretanja klizišta

POKRETAČI	
Intenzivne padaline	Vulkanske erupcije
Brzo topljenje snijega	Sezonsko oblikovanje leda u tlu
Dugi kišni periodi	Sušenje i bubrenje gline
Potresi	Poplave

Izvor: prema Highland i Bobrowsky, 2008

2. Metode rada i izvori podataka

Metodologija rada uključivala je kabinetsko i terensko istraživanje. Kabinetski dio uključivao je prikupljanje i obradu podataka u različitim softverima nakon čega je uslijedila analiza dobivenih rezultata. Terenski dio istraživanja odnosi se na provjeru dobivenih podataka o lokacijama pojedinih klizišta te praktično upoznavanje sa strukturom samih klizišta.

Klima istraživanog područja određena je na temelju podataka dobivenih od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za jednu glavnu meteorološku postaju – Karlovac, koja se nalazi na području istraživanja, te za dvije klimatološke postaje koje se ne nalaze na samom području istraživanja, ali je procijenjeno da se nalaze dovoljno blizu kako bi podaci dobiveni iz tih postaja mogli reprezentirati stanje atmosfere istraživanog područja. To su postaje Pisarovina i Sošice. Za postaje Karlovac i Pisarovina uzeti su podaci za razdoblje od 1988. do 2017. godine dok je za postaju Sošice uzeto razdoblje od 1996. do 2017. iz razloga što je tek 1996. ta postaja počela sa mjerenjem. Zbog prekida mjerenja u nekim razdobljima podaci nisu potpuni na svim postajama. Izdvaja se razdoblje od 2003. do 2005. kod podataka iz Pisarovine gdje nedostaju podaci za ukupno 15 mjeseci u te tri godine te cijela 2004. i prva polovica 2005. godine kod postaje Sošice. Podaci su interpolirani metodom linearnog trenda. Postaja Karlovac nalazi se na 110 m nv, Pisarovina 138 m nv te Sošice na 520 m nv. Za statističku analizu tih podataka korišteni su razni alati u okviru programa Microsoft Excel 2016. Pomoću Excela izrađeni su i klimadijagrami za te tri postaje. Lokacije meteoroloških postaja i pripadajući im klimadijagrami prikazani su na karti izrađenoj u ArcGIS programskom paketu ArcMap 10.5.

Analiza geološke građe istraživanog područja rađena je na temelju podataka dobivenih s internetskih stranica Hrvatskog geološkog instituta na kojima se nalazi geološka karta Republike Hrvatske u mjerilu 1 : 300 000 (HGI, 2009)

Morfometrijska analiza istraživanog područja temelji se na digitalnom modelu reljefa (DEM), rasterskog formata, rezolucije 25x25 što znači da svaka ćelija obuhvaća 625 m^2 te svaka od tih ćelija sadrži vrijednost nadmorske visine. DEM je preuzet sa internetskih stranica *United States Geological Survey* (USGS). Analize su rađene u nacionalnom projiciranom koordinatnom sustavu HTRS96 TM. Unutar ArcGIS paketa korištene su aplikacije ArcMap i ArcCatalog te ekstenzije aplikacije ArcMap kao što su *3D Analyst* i *Spatial Analyst* koje su omogućile prostornu analizu rasterskih podataka.

S obzirom da pedološka karta nije dostupna u formatu koji bi se mogao obraditi u programu za prostornu analizu, ArcGIS-u, postojeća karta preuzeta je sa portala Tlo i biljka samo kao jpg. datoteka te prilagođena obliku istraživanog prostora (Tlo i biljka, 2018). Za kartografski prikaz načina korištenja zemljišta korišten je *Corine Land Cover* (CLC) model preuzet sa internetskih stranica Hrvatske agencije za okoliš i prirodu (HAOP). CLC Hrvatska predstavlja digitalnu bazu podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova za razdoblje 1980. - 2012. prema nomenklaturi što osigurava ujednačenost s podacima cijele Europske unije (HAOP, 2018). Karta morfogenetskih tipova reljefa napravljena je vektorizacijom karte preuzete iz rada Bočić i dr. (2016). Podaci o cestovnoj mreži istraživanog područja preuzeti su sa internetske stranice *Open Street Map* (Open Street Map, 2018).

Postoje tri izvora iz kojih su dobiveni podaci o lokacijama klizišta. Prvi i glavni izvor je gradska uprava Grada Karlovca iz koje su na korištenje dobiveni samo podaci o lokacijama klizišta te financijski troškovi za sanaciju istih, a također su, iako samo na uvid, dobivene i fotografije koje su bile na raspolaganju za pregledavanje samo u prostorijama uprave. Usmenim putem potvrđeno je da je većina tih klizišta aktivirana 2013. godina pa na dalje jer se od tada nisu sustavno prikupljali podaci. Također je pregledavanjem fotografija utvrđeno da je većina klizišta manjih dimenzija. Lokacije klizišta su dobivene u obliku datoteka u dxf formatu iz razloga što u upravi koriste jedan od CAD (eng. Computer Aided Design) programa, a to je AutoCAD. S obzirom da datoteke stvorene u AutoCAD-u nisu kompatibilne sa ArcGIS-om, programom u kojem su rađene analize za ovaj rad, bilo je potrebno konvertirati format te datoteke kako bi bila povoljna za analizu u ArcMapu te je zatim podatke u njoj bilo potrebno prostorno georeferencirati. Iz uprave Grada Karlovca dobiveni su prostorni podaci za 195, od ukupno 222, klizišta koja se nalaze na administrativnom području Grada Karlovca. Drugi izvor je Županijska uprava za ceste (ŽUC) iz koje su dobiveni podaci o lokacijama klizišta i fotografije klizišta u fizičkom obliku za područje cijele Karlovačke Županije. Treći izvor predstavlja osobno iskustvo autora rada i saznanje o lokacijama klizišta kroz interakciju sa stanovništvom istraživanog područja. Terenskim istraživanjem potvrđene su lokacije 23 klizišta tj. trenutno se na većini tih lokacija nalazi nekakav oblik sanacije klizišta. Većina lokacija ostalih klizišta potvrđena je putem fotografija dobivenih od Županijske uprave za ceste te putem medijskih članaka o klizištima. Također bitno je napomenuti da baza podataka obuhvaća i klizišta koja su ustvari obalni odroni, ali s obzirom na postojeće podatke nije moguće odrediti njihov udio.

3. Fizičko-geografska i društvena obilježja istraživanog područja

Prostor istraživanja ovog rada je sjeverni dio Karlovačke županije tj. općine Žakanje, Kamanje, Netretić, Ribnik, Draganić, Lasinja te gradovi Karlovac i Ozalj. To područje se prostire na 955 km^2 od ukupne površine županije koja iznosi 3 622 km^2 (sl. 3.). Područje istraživanja nalazi se na dodiru Gorske i Panonske Hrvatske, odnosno na rubnom dijelu Hrvatskog gorskog praga. Posljedica takvog položaja su brojni infrastrukturni koridori od strateške važnosti za Hrvatsku, a važnost je još veća kada se uzme u obzir da je to jedina veza kontinentalnog i primorskog dijela Hrvatske unutar granica tog prostora.

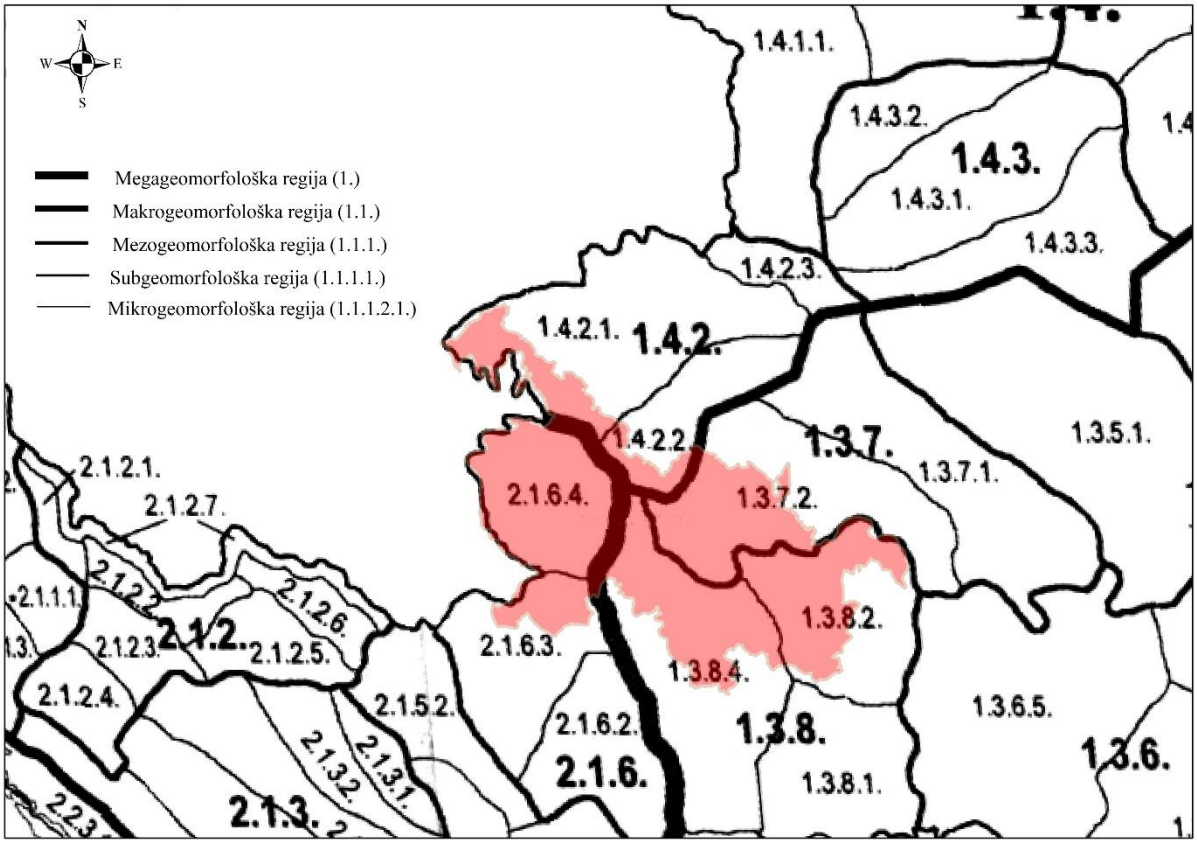


Sl. 3. Pregledna karta istraživanog područja

Jedina dva urbana središta na tom prostoru su gradovi Karlovac i Ozalj, od kojih je grad Karlovac ujedno i najveće urbano središte cijele Karlovačke županije. Susjedne administrativno - teritorijalne jedinice istraživanog područja su Zagrebačka županija na sjeveru, Slovenija na zapadu, Sisačko – moslavačka županija na istočnom dijelu te ostatak Karlovačke županije na jugu. Prema popisu stanovništva 2011. na istraživanom prostoru živi 70 263 stanovnika što čini 54,5 % ukupnog broja stanovnika Karlovačke županije. Veliki dio stanovništva (55 705) živi na području grada Karlovca (DZS).

3.1. Geomorfološki položaj

Prema Bognarovoj (2001) geomorfološkoj regionalizaciji reljefa Hrvatske područje istraživanja nalazi se na prijelaznom području dviju megageomorfoloških regija: Dinarskog gorskog sustava i Panonskog bazena. Megageomorfološke regije podrazumijevaju velike strukturnogeomorfološke i geotektonske cjeline. One se izdvajaju na temelju strukturnih karakteristika i specifičnostima strukturnogeomorfološke evolucije na razini najvećih morfoloških sustava kontinentskih razmjera. U okviru te regionalizacije izdvojene su i regije nižih razina koje se nazivaju mezogeomorfološkim regijama. Područje istraživanja se nalazi na dodiru četiri mezogeomorfološke regije: 1.3.7. Vukomeričke gorice s zavalom Crne Mlake, 1.3.8. Gorski masivi Petrove gore i Kremešnice s okolnim pobrđima, 1.4.2. Gorski masiv Žumberačke gore s JI predgorskom stepenicom te 2.1.6. Unsko – Koranska zaravan s pobrđima JZ Korduna. Te regije izdvajaju se na temelju njihovih orohidrografskih, morfoevolucijskih i geoloških značajki. Još niža razina od mezogeomorfoloških regija su geomorfološke subregije koje predstavljaju cjeline geomorfološki istovrsnog tipa koje su morfoevolucijski međusobno povezane. Prema tome na istraživanom području se izdvajaju: 1.3.7.2. Zavala Crne mlake sa nizinom Kupe, 1.3.8.2. Gorski masiv Kremešnice s Utinjsko – Tušilovećkim pobrđem, 1.3.8 Vojnićko pobrđe, 1.4.2.1. Gorski masiv Žumberačke gore, 1.4.2.2. JI predgorska stepenica, 2.1.6.3. Zaravan i pobrđe Dobre i 2.1.6.4. Ozaljsko pobrđe (sl. 4.).



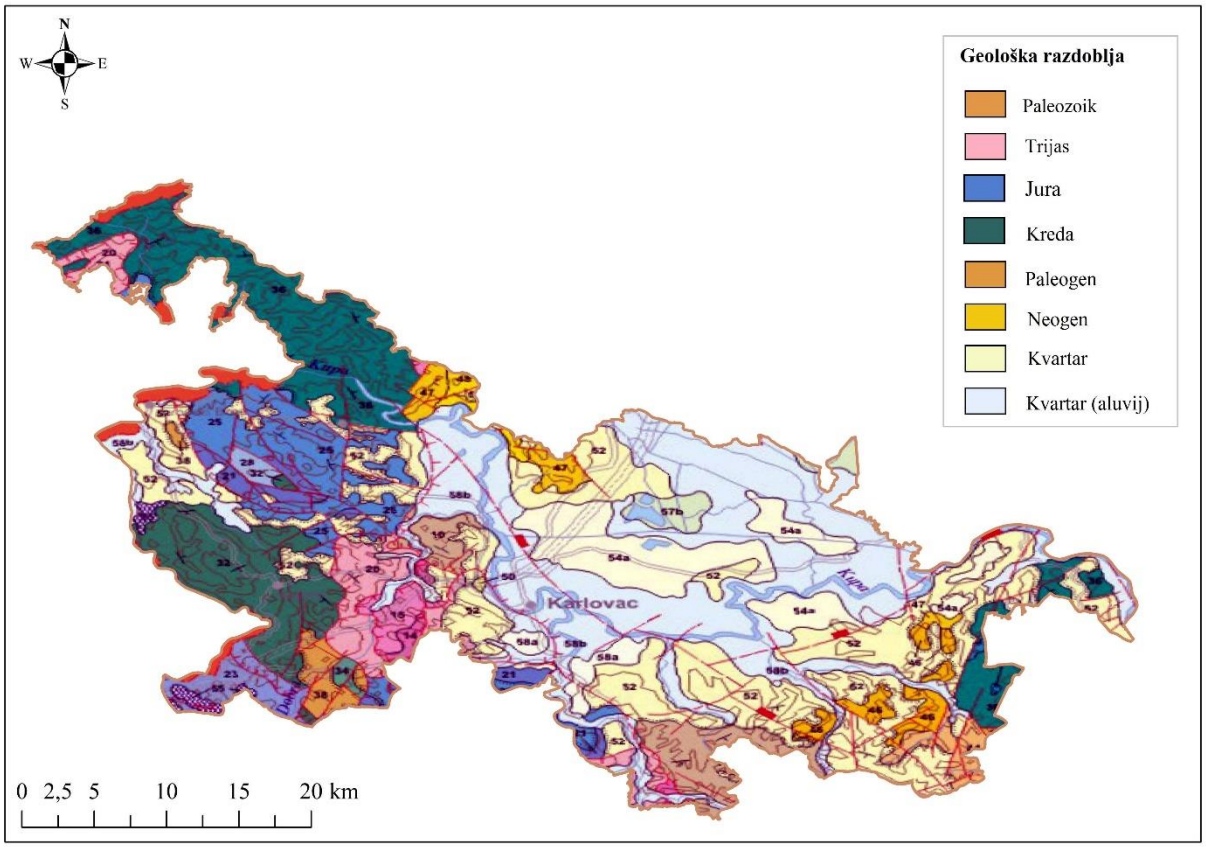
Sl.4. Geomorfološki položaj istraživanog prostora
Izvor: prema Bognar, 2001

3.2. Geološka građa

Geološka građa je temeljni čimbenik razvoja reljefa. Stabilnost, rahlost te dreniranost tla su jedne od najbitnijih značajki tla koje se uzimaju u obzir prilikom analize klizišta (Ivšić, 2012). Te značajke ovise upravo o geološkoj podlozi tj. matičnom supstratu od kojeg nastaje to tlo.

Analiza geološke građe istraživanog područja rađena je na temelju Geološke karte Republike Hrvatske u mjerilu 1:300 000 (HGI, 2009) te pomoću tumača geološke karte 1: 100 000 za list Černomelj u kojem je djelomično obuhvaćen prostor istraživanja (Bukovac i dr., 1984). Iako postoje listovi geoloških karata u mjerilu 1:100 000 za područje Republike Hrvatske, list koji bi trebao obuhvaćati veći dio Karlovačke županije nije tiskan. Na području istraživanja geološka građa je izrazito heterogena. Raspon starosti stijena se kreće od najstarijih stijena paleozojske starosti pa sve do novijih naslaga iz kvartara. Klastične stijene gornjopaleozojske starosti nalaze se samo u okolici Karlovca. Klastične i karbonatne naslage iz gornjeg trijasa, koje su većinom dolomiti nalaze se u samom sjeverozapadnom dijelu

općine Ozalj dok se na području Netretića prostiru naslage iz srednjeg trijasa koje također većinom čine dolomiti. Naslage gornjojurske starosti čine vapnenci i dolomiti te izgrađuju mali zapadni dio Žumberka te područje oko Ozlja i Duge Rese. Naslage jurske starosti u čijoj građi prevladavaju vapnenci, pa dolomiti te karbonatni klastiti izgrađuju veće područje Vivodine, zapadni dio istraživanog područja oko Ribnika i Netretića te manje područje na samom istočnom dijelu oko Lasinje. Oko Ribnika i Netretića su starije stijene iz donje krede koje čine vapnenci i dolomiti. Nešto mlađe stijene iz gornje krede među kojima prevladavaju karbonatni klastiti, od kojih većinom fliš te vapnenci su na području Vivodinskog pobrđa te manji dio kod Lasinje. Naslage paleogenske starosti koje čine karbonatni fliš i klastiti izgrađuju sasvim mali dio na području Žakanja. Vapnenačko - klastične naslage neogenske starosti koje diskordantno prekrivaju starije naslage (Bočić i dr., 2016) nalaze se sjeverno od Karlovca, u isprekidanim zonama istočno od Karlovca te na području Lasinje. Najveći dio prekrivaju aluvijalne naslage kvartarske starosti koje izgrađuju cijeli središnji dio istraživanog područja. Osim aluvijalnih naslaga neke zone su izgrađene od pleistocenskog kopnenog lesa te klastičnih naslaga pliokvartara (sl. 5.).



Sl. 5. Geološka karta istraživanog prostora
Izvor: prema HGI, 2009

3.3. Hidrogeografska obilježja

Dio područja istraživanja je hidrogeološka cjelina koju predstavlja porječje rijeke Kupe. Južna i zapadna granica porječja Kupe istovremeno je i razvodnica crnomorskog i jadranskog sliva. Od izvora do Ozlja Kupa ima obilježja krške rijeke, a nizvodno karakter nizinske rijeke. Slične karakteristike imaju i ostali vodotoci koji su u gornjem i srednjem dijelu krškog karaktera, a u donjem nizinskog. U krškom dijelu najveći problem predstavlja zagađenje podzemnih voda prilikom čega to zagađenje ima direktan utjecaj na kvalitetu cjelokupnog toka podzemnih voda. U nizinskim predjelima problem je poplavljivanje područja uz sami vodotok, što ograničava korištenje tih površina i zahtijeva posebne regulacije te dodatna ulaganja prilikom svakog zahvata u tom prostoru. Ono što je karakteristično za porječje Kupe jest asimetričnost, jer je čak 70 % pritoka smješteno na desnoj obali Kupe. Neke od najvećih pritoka rijeke Kupe su Dobra, Mrežnica i Korana čija se ušća u Kupu nalaze na vrlo maloj udaljenosti jedno od drugog po čemu je i specifično područje Karlovačke županije tj. područje grada Karlovca (Štapek, 2012). Plavljenjem Kupe je najugroženije Karlovačko područje, te naselja nizvodno od Karlovca. Iz tog razloga uspostavljen je jedinstveni funkcionalni sustav obrane od poplava u vidu retencije Kupčina i kanala Kupa - Kupa (Babić i dr., 2009).

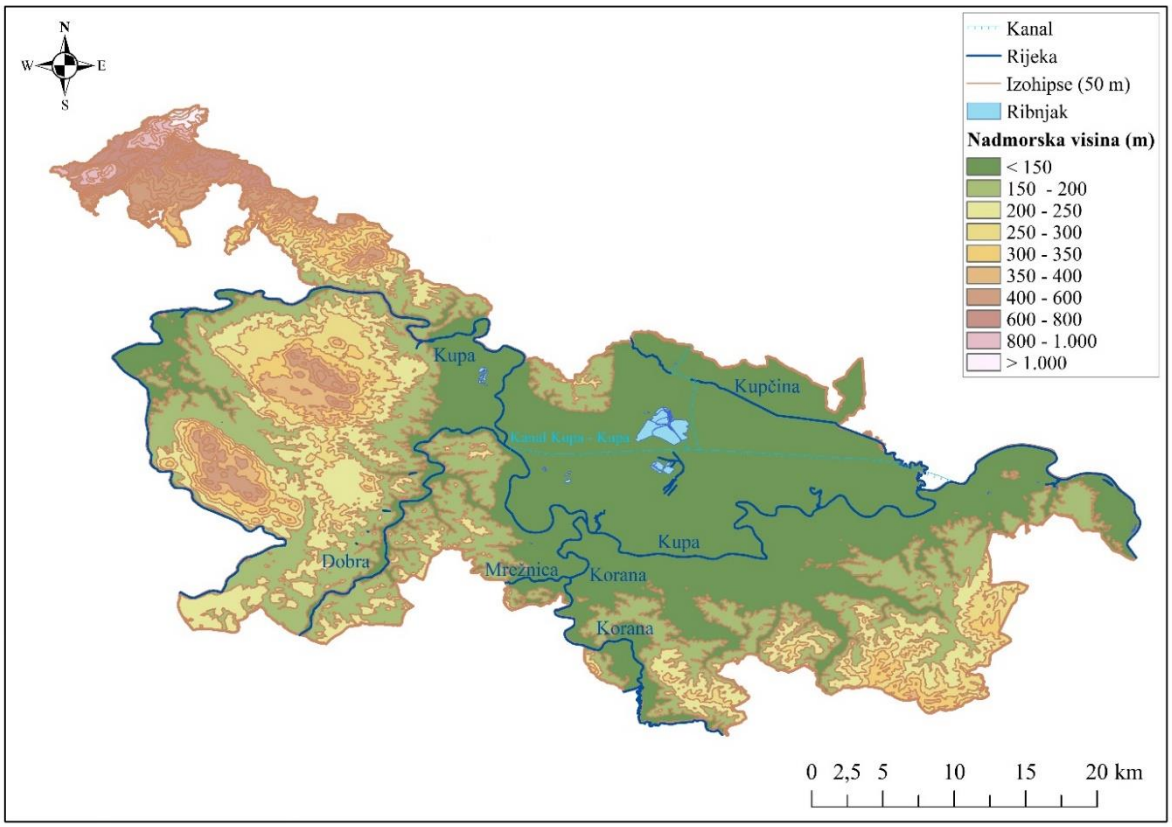
3.4. Morfometrijska obilježja reljefa

Morfometrijska analiza odnosi se na opća morfometrijska obilježja koja služe kao pokazatelji endogenih i egzogenih geomorfoloških procesa. U okviru tih općih morfometrijskih obilježja napravljene su analize hipsometrije, nagiba, ekspozicije padina, vertikalne raščlanjenosti te zakrivljenosti padina.

3.4.1. Hipsometrija

Osnovna morfometrijska metoda je analiza hipsometrije kojom se prikazuju visinske značajke reljefa. Te visinske značajke mogu biti izražene kao apsolutne, relativne i srednje nadmorske visine (Lozić, 2000). Najviša točka istraživanog prostora je ujedno i najviši vrh Žumberačke gore Sv. Gera (1178 m nv) koji se nalazi na samoj granici sa Republikom Slovenijom. Najnižu točku od 105 m nv predstavlja korito rijeke Kupe u istočnom dijelu istraživanog područja, u blizini naselja Desni Štefanki. Prosječna nadmorska visina tog

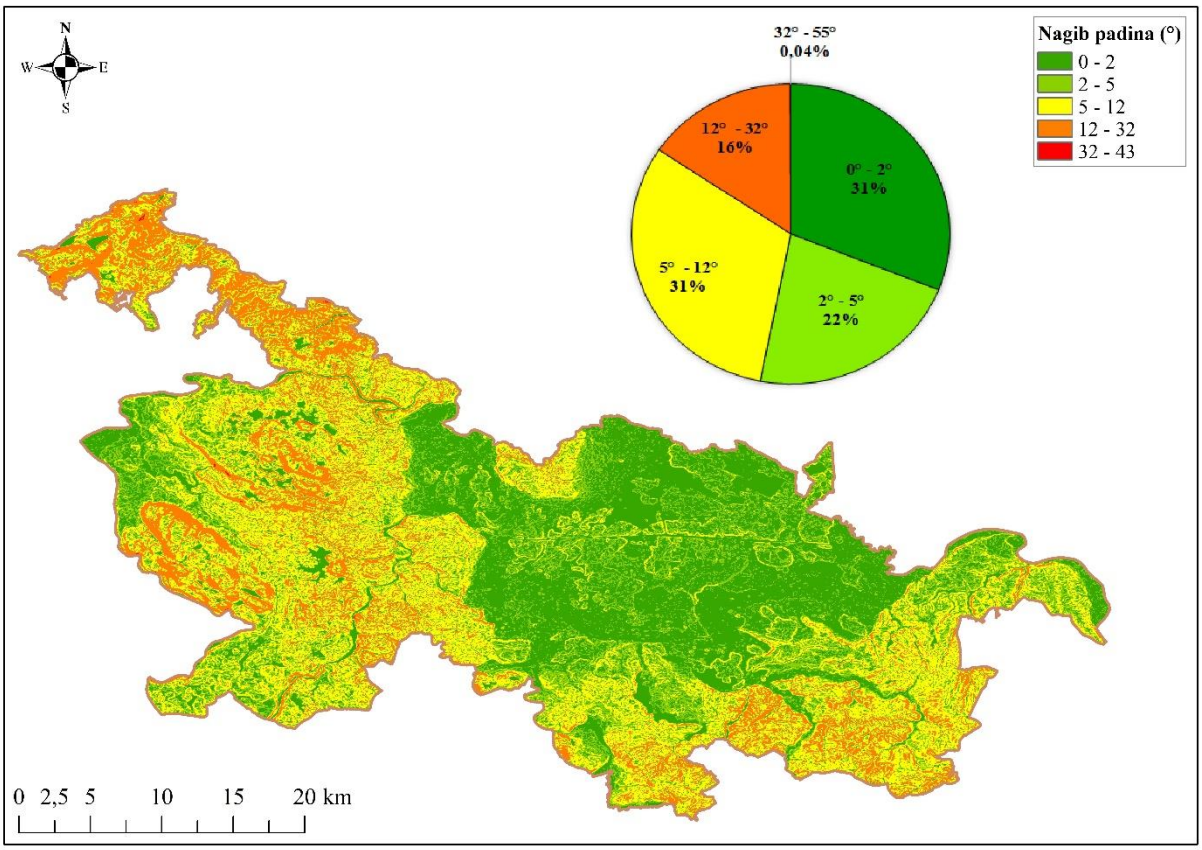
prostora iznosi 195 m nv te uglavnom prevladavaju tereni nižih nadmorskih visina. Visine su kategorizirane kako bi na što bolji način prikazale hipsometriju prostora. Malo manje od pola ukupne površine (48 %) istraživanog prostora nalazi se u kategoriji visina manjoj od 200 m nv. To se većinom odnosi na središnji dio tj. Karlovačku zavalu i okolna nizinska područja uz rijeke. Kategorija visine u rasponu od 200 - 250 m nv obuhvaća 23 % površine, a kategoriji visina 250 - 300 m nv pripada 12 % ukupne površine. To znači da se čak 83% istraživanog prostora nalazi ispod 300 m nv, a ostalih 17 % područja iznad 300 m nv. Predjeli iznad 1000 m nv nalaze se na rubnom sjeverozapadnom dijelu na području Žumberačke gore te na njih otpada samo 0,2 % ukupne površine istraživanog prostora (sl. 6.).



Sl. 6. Hipsometrijska obilježja istraživanog prostora

3.4.2. Nagib padina

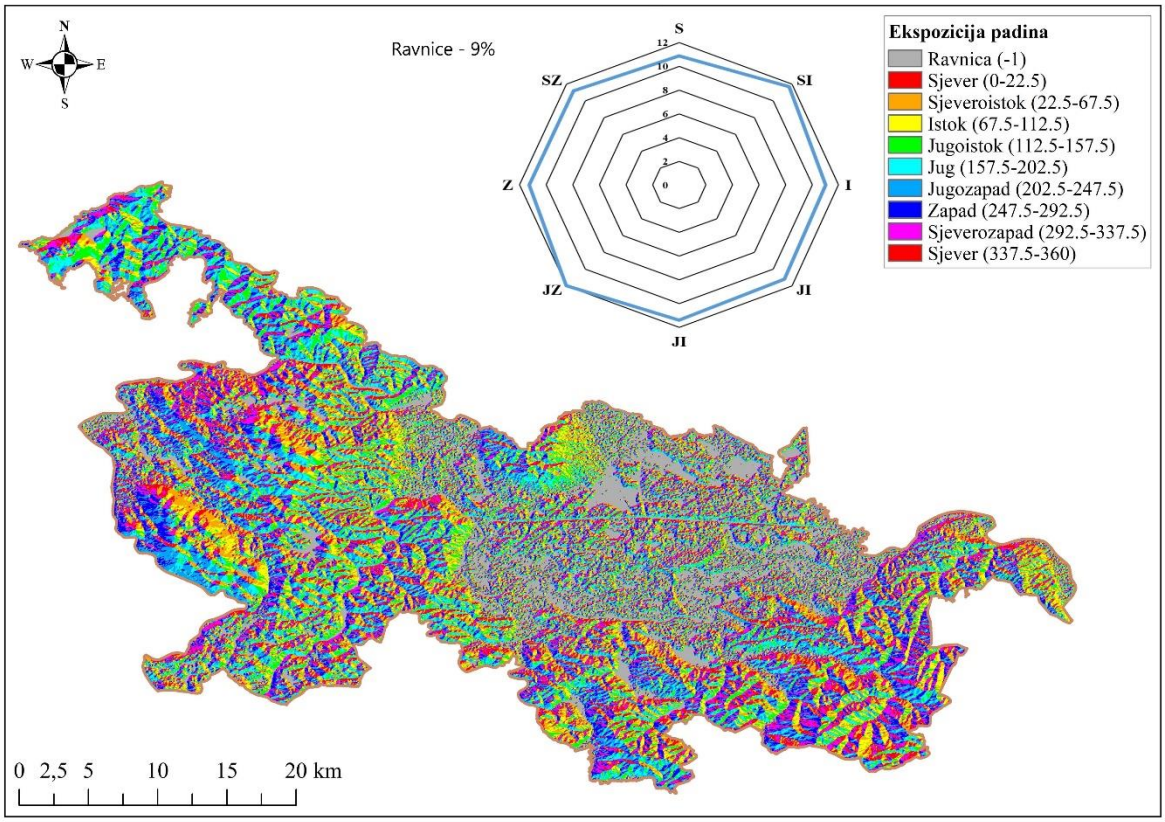
Nagib padine predstavlja kut koji padina zatvara s horizontalnom ravninom. Podaci o nagibu padina mogu ukazati na intenzitet procesa denudacije i akumulacije. Prilikom analize korištene su standardne kategorije koje se najčešće koriste: 0 - 2°, 2 - 5°, 5 - 12°, 12 - 32°, 32 - 55°. Na istraživanom području najmanji izmjereni nagib iznosi 0°, a najveći 42°. Prosječan nagib iznosi 6°. Od ukupne površine najveći udio zauzimaju kategorije nagiba 0 - 2° (31 %) i 5 -12° (31 %). Područje unutar kategorije 0 - 2° vezano je uz Karlovačku zavalu i ravne nizinske predjele uz riječne tokove. Najveći dio padina koje se nalaze unutar kategorije nagiba 5 - 12° nalazi se u području zapadno od Karlovca te u južnim i jugoistočnim rubnim područjima. Kategorija nagiba 2 - 5° zauzima 22 % površine i jednoliko je rasprostranjena po istraživanom području te se nalazi na blagim prijelazima iz zaravnjenih terena prema rubnim brdovitim i gorskim prostorima. 16 % površine zauzima kategorija nagiba 12 - 32° koja je vezana za rubne gorske prostore, na zapadu uz goru Lipnik i pobrđe između Žakanja i Ozlja te najviše uz vivodinsko pobrđe i Žumberak (sl. 7.).



Sl. 7. Kategorije nagiba padina istraživanog prostora

3.4.3. Ekspozicija padina

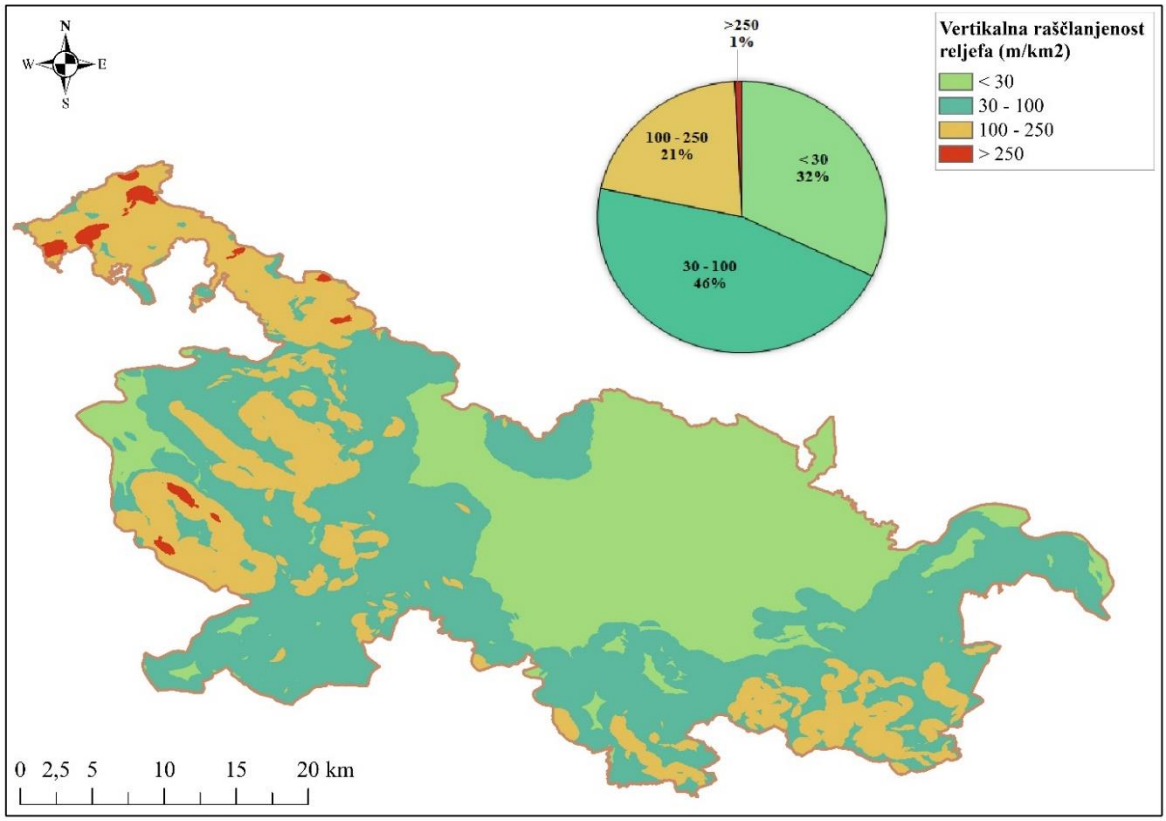
Ekspozicija se može shvatiti kao orijentacija padine s obzirom na strane svijeta. Pri tome se kut određuje najčešće od pravca sjevera u smjeru kazaljke na satu. U konceptualnom smislu, funkcija ekspozicije odnosi se na izračun vrijednosti ekspozicije središnjeg piksela u odnosu na osam susjednih (mreža piksela 3x3). Smjer prema kojem je ploha okrenuta predstavlja ekspoziciju za središnji piksel (Burrough & McDonell, 1998). Utjecaj ekspozicije na geomorfološke značajke očituje se u tome što različito eksponirane padine primaju različitu količinu kratkovalnog zračenja što utječe na karakteristike klimatskih elemenata kao egzogenih geomorfoloških agensa (Radoš, 2012). Na prostoru istraživanja niti jedna ekspozicija se ne ističe već sve ekspozicije podjednako prevladavaju. Sve ekspozicije su u rangu od najniže zastupljenosti, a to su ravnice (9 %) do JZ, JI i SI ekspozicija koje zauzimaju svaka po 12 % od ukupne površine istraživanog prostora (sl. 8.).



Sl. 8. Ekspozicija padina istraživanog prostora

3.4.4. Vertikalna raščlanjenost

Vertikalna raščlanjenost reljefa je visinska razlika između najviše i najniže točke unutar jedinične površine. U lokalnim okvirima vertikalna raščlanjenost reljefa uvjetovana je specifičnostima terena i predstavlja parametar intenziteta razvoja egzogenih procesa. Na područjima veće vertikalne raščlanjenosti intenzitet erozije je veći, a na područjima male vertikalne raščlanjenosti dolazi do pojačane akumulacije. Regionalno gledano, vertikalna raščlanjenost je odraz najmlađih tektonskih pokreta (Lozić, 1995). Najniža vrijednost vertikalne raščlanjenosti istraživanog prostora je 0 m/km^2, a najviša 379 m/km^2. Prosječna vertikalna raščlanjenost iznosi 66 m/km^2. Vrijednosti vertikalne raščlanjenosti svrstane su u 4 kategorije (<30, 30 - 100, 100 - 250 i >250) koje su određene kako bi se na najbolji način prikazali visinski odnosi reljefa. Nakon vizualne prezentacije podataka u obliku karte vidljivo je da na području istraživanja postoje tri istaknute zone vertikalne raščlanjenosti. Prva zona je vezana uz kategoriju vertikalne raščlanjenosti manje od 30 m/km^2 i obuhvaća područje Karlovačke zavale te manje područje zapadne obale Kupe od Zaluke Lipničke do Jurovskog Broda. Ta prva zona, koja predstavlja zaravnjen do slabo raščlanjen reljef, obuhvaća 32% ukupne površine istraživanog područja. Od te središnje zone prema rubnim dijelovima ističe se zona kategorije vertikalne raščlanjenosti 30 - 100 m/km^2 koja zauzima najveći dio ukupne površine (46 %) i ona prikazuje slabo raščlanjen reljef. Treću zonu predstavlja kategorija vertikalne raščlanjenosti 100 - 250 m/km^2 tj. umjereno raščlanjen reljef. Ona zauzima 21 % ukupne površine i obuhvaća uglavnom najviše dijelove reljefa tj. zapadni dio Žumberačke gore, vivodinsko pobrđe, ozaljsko pobrđe, brdo Libnik te brdsko područje na jugoistočnom dijelu istraživanog područja. Izrazito raščlanjen reljef (>250 m/km^2) se može pronaći u otočnim zonama koje su uglavnom vezane za Žumberačku goru (sl. 9.).

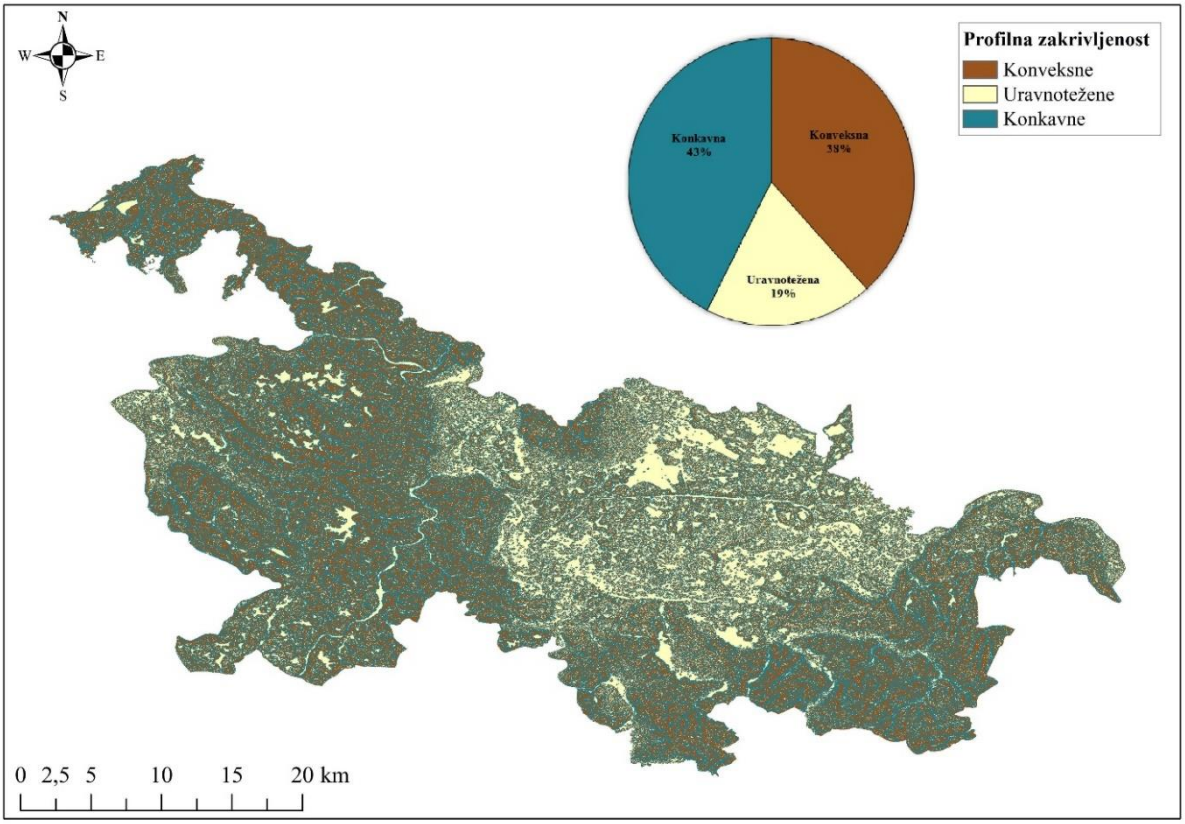


Sl. 9. Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog prostora

3.4.5. Zakrivljenost padina

Analiza zakrivljenosti padina ukazuje na karakter i intenzitet procesa koji djeluju na promjene u izgledu padina. Posebne analize profilne i planarne zakrivljenosti ističu područja na kojima dolazi do relativno brzih promjena nagiba padina, a na nekim dijelovima i snižavanja terena. U geomorfološkim analizama podaci o zakrivljenosti padina se mogu se upotrijebiti za izračunavanje i procjenu trendova endogenih i egzogenih geomorfoloških procesa npr. otjecanja, pomoću planarne zakrivljenosti, ili identificiranja otpornijih

stijenskih kompleksa, pomoću profilne zakrivljenosti (Kennely, 2009 prema Radoš i dr., 2012). Profilna zakrivljenost padina je zakrivljenost padine u smjeru najvećeg nagiba padine. Prema profilnoj zakrivljenosti padine mogu biti konveksne i konkavne. Za ravne padine se smatra da imaju uravnoteženo stanje. Planarana zakrivljenost predstavlja zakrivljenost na sekanti okomitoj na smjer nagiba padine. Prema planarnoj zakrivljenosti padine mogu biti divergentne i konvergentne. Iz podataka o strukturi i distribuciji zakrivljenosti vidljivo je da se konkavne padine javljaju češće nego konveksne. Konkavne padine zauzimaju 43% dok konveksne zauzimaju 38% od ukupne površine istraživanog prostora. Najmanji udio površine otpada na uravnotežene padine (sl. 10.).



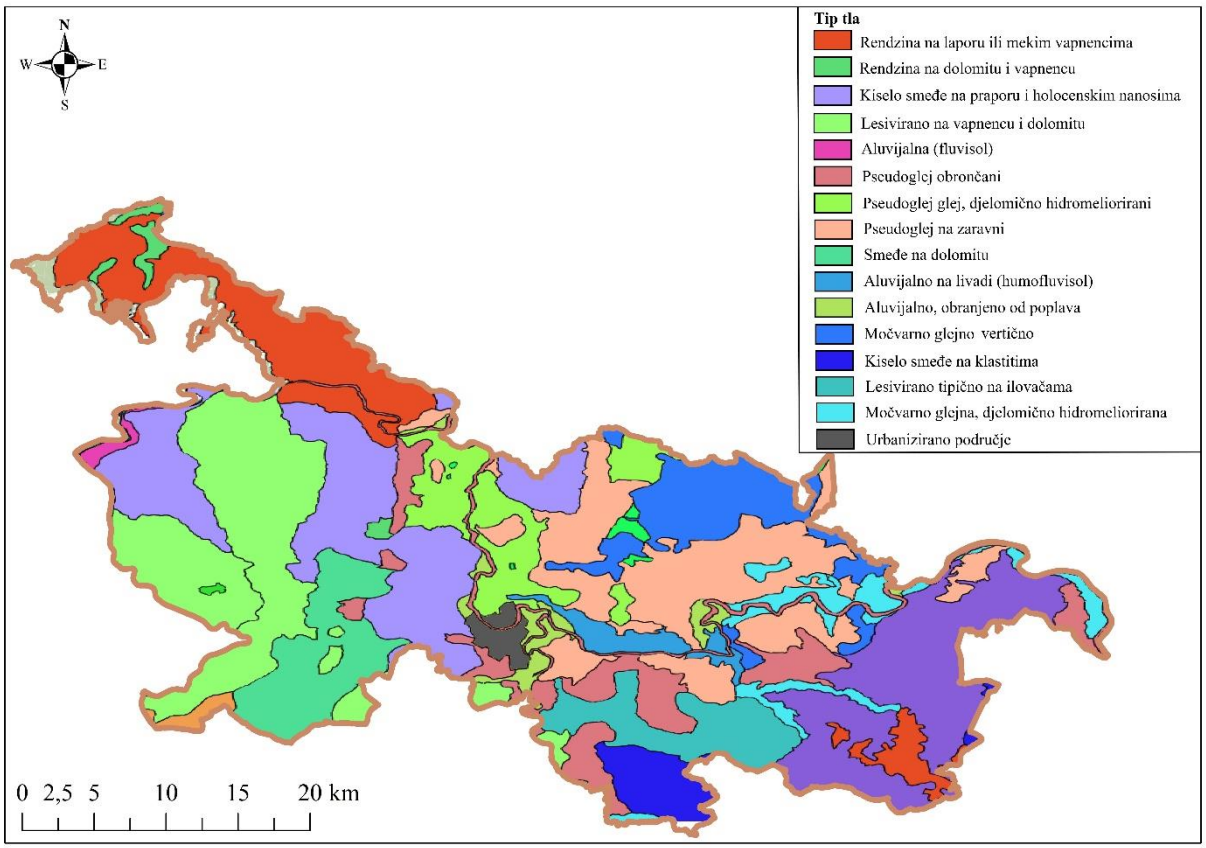
Sl. 10. Profilna zakrivljenost padina istraživanog prostora

3.5. Pedološka obilježja

Tlo je prirodno tijelo nastalo iz rastresite stijene ili trošne čvrste stijene pod utjecajem pedogenetskih čimbenika (matični supstrat, reljef, klima, vegetacija) i pedogenetskih procesa (trošenje minerala, stvaranje sekundarnih minerala, razgradnja organske tvari, sinteza humusa i migracija) (Bogunović i dr., 1997). Matični supstrat (litosfera) je najvažniji za postanak tla jer gotovo sav mineralni dio tla koji iznosi 86 - 90 % njihove ukupne mase, potječe iz stijena. O matičnom supstratu ovise brojna svojstva tla, osobito dubina, fizička svojstva, minerali i kemijski sastav, a nerijetko utječe i na dominantan pravac evolucije tla (Martinović, 2000).

Prema pedološkoj karti na istraživanom području je moguće izdvojiti 15 tipova tala koji su izrazito mozaički rasprostranjeni. To upućuje na veoma složenu heterogenu strukturu tla na istraživanom prostoru. Prema hrvatskoj klasifikaciji tala početna klasifikacijska jedinica je odjel koji se dijeli na klase, a klase na tipove. Prema tome postoje 4 odjela: automorfna, hidromorfna, halomorfna i subakvalna tla. Odjeli su izdvojeni na temelju vlaženja i kvalitete vode. Automorfna tla se vlaže samo padalinama te kod njih nema

stagniranja vode u tlu. Hidromorfna tla su povremeno ili trajno prekomjerno vlažena te kod takvih tala dolazi do stagniranja vode većinom zbog slabe propusnosti slojeva (Husnjak, 2009). Od 15 tipova tala, koji prevladavaju na istraživanom prostoru, 8 ih pripada hidromorfnim tlima, a ostalih 7 automorfnim (sl. 11.).



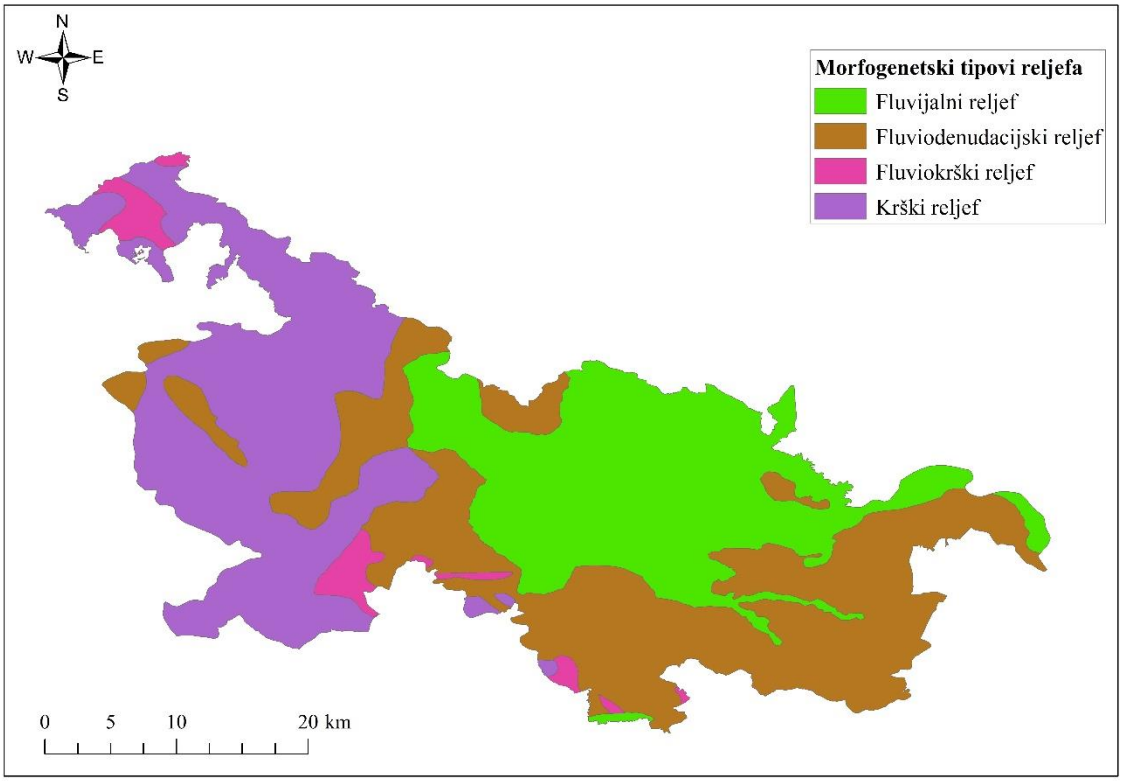
Sl. 4. Pedološka karta istraživanog prostora
Izvor: prema Tlo i biljka, 2018

3.6. Morfogenetska obilježja reljefa

Morfogenetska analiza reljefa jedna je od metoda geomorfologije koja se bavi utvrđivanjem načina postanka, porijekla i morfološke evolucije različitih oblika u reljefu. Prema Bočić i dr. (2016) na području istraživanja arealno su zastupljeni: fluvijalni, fluviodenudacijski, krški i fluviokrški morfogenetski tip (sl. 12.).

Fluvijalni reljef, koji je najzastupljeniji u središnjem dijelu istraživanog prostora na području Karlovačke zavale, nastao je radom tekućica u zoni srednjeg i donjeg mehanizma toka. Glavni činitelj takvog tipa reljefa je rijeka Kupa na području od Ozlja nizvodno. Korito rijeke u tom dijelu meandrira te bočno migrira zbog bočne erozije. Zbog bočne erozije dolazi i do urušavanja riječnih obala. Fluvijalni reljef se rasprostire na 30 % ukupne površine

promatranog područja. Fluviodenudacijski reljef se rubno nastavlja na zonu fluvijalnog reljefa te zauzima 36 % ukupne površine. To je područje u kojem tekućice djeluju mehanizmom gornjeg toka te je korito ima V oblik zbog pojačane dubinske erozije. Takav tip reljefa se razvija na podlozi od nepropusnih stijena. Karakteristični padinski procesi na tom području su plošne erozije, spiranja, bujičenja, kliženja, urušavanja i odroni. Fluviokrški reljef na istraživanom području zauzima najmanji dio površine (3 %), a najviše je zastupljen na području Žumberka te manjem dijelu zapadno od Karlovca. Fluviokrš je morfološki sličan fluviodenudacijskom reljefu, ali kod fluviokrša se javlja korozija te djelomično može postojati razvijena podzemna hidrografija krša. Krški reljef nastaje kemijskim djelovanjem vode na topljive stijene, a taj se proces naziva korozijom. Karakteristični krški oblici su krške ponikve i uvale te speleološki objekti. Krški tip reljefa obuhvaća zapadni dio oko Ribnika, Netretića, područje vivodinskog pobrđa te dijelove Žumberka. Ukupno zauzima 31 % površine istraživanog područja.

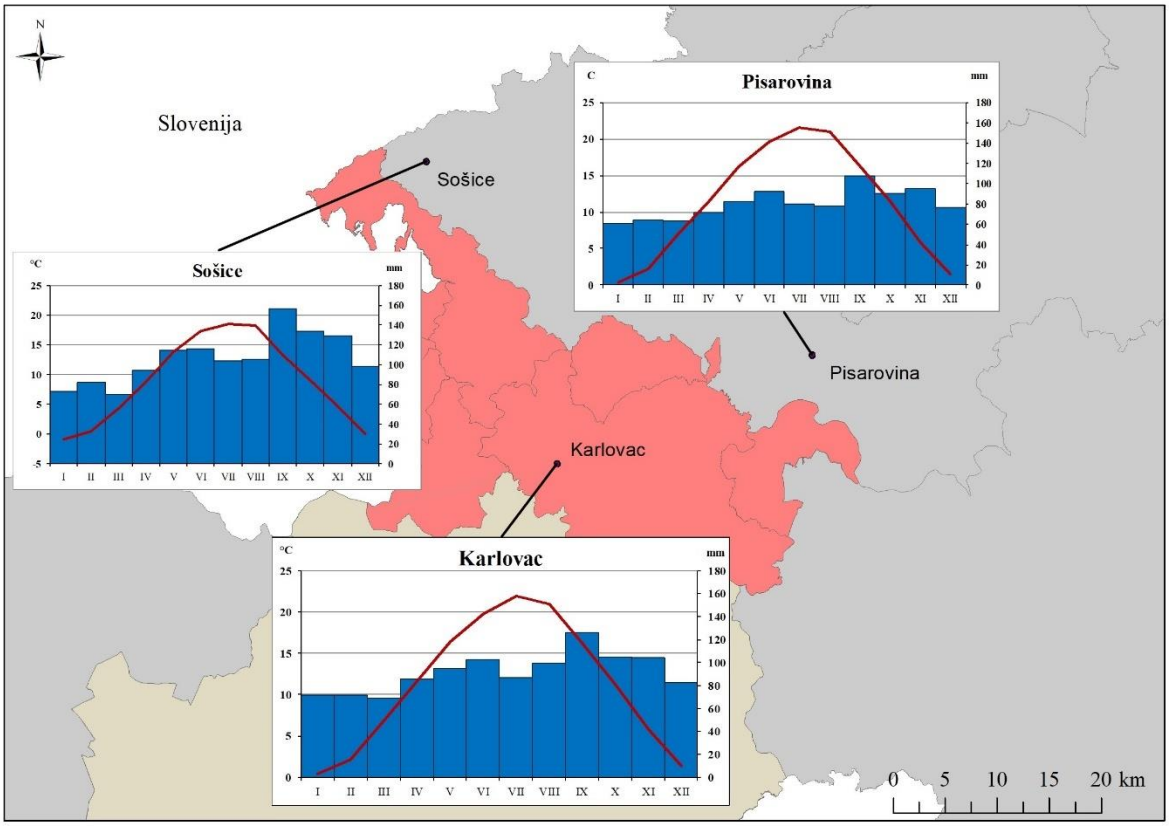


Sl. 12. Morfogenetski tipovi reljefa istraživanog prostora
Izvor: prema Bočić i dr., 2016.

3.7. Klimatska obilježja

Klima Hrvatske određena je njenim položajem u sjevernim umjerenim širinama. Najvažniji modifikatori klime na području Hrvatske su Jadransko i Sredozemno more, Dinaridi te otvorenost sjeveroistočnih dijelova prema Panonskoj ravnici. Jedno od glavnih obilježja klime kontinentalnog dijela Hrvatske je vrlo promjenljivo stanje atmosfere. To promjenjivo stanje se odnosi na raznolikost vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine. Za zimu su karakteristični stacionarni anticiklonalni tipovi s čestom maglom. U proljeće prevladavaju brže pokretni ciklonalni tipovi koji dovode do čestih i naglih promjena vremena prilikom čega se izmjenjuju padalinska razdoblja sa bezpadalinskim. Ljeto, uz visoke temperature, obilježavaju isprekidane hladne fronte koje dovode svjež zrak sa Atlantika uz pojačan vjetar te grmljavinu i pljuskove. Jesen karakteriziraju razdoblja mirnog anticiklonalnog vremena, ali i kišoviti dani za vrijeme prolaska ciklona (ur. Zaninović, 2008).

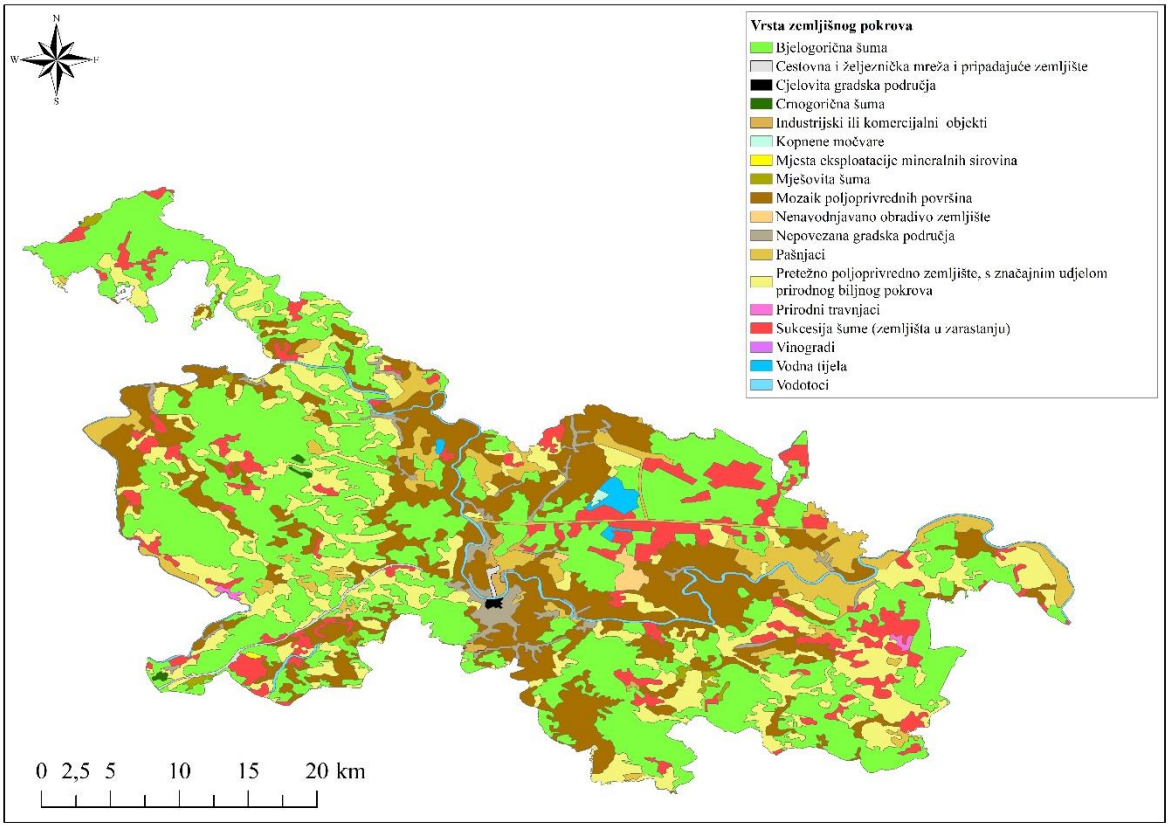
Za razdoblje 1986. - 2017. najvišu srednju godišnju temperaturu ima Pisarovina (11,5 °C), pa slijede Karlovac (11,3 °C) i Sošice (9,1 °C). Godišnji hod temperature zraka je sličan u sve tri postaje. Maksimum se javlja u srpnju, a minimum u siječnju. Karlovac i Pisarovina imaju slična obilježja temperature zraka dok Sošice imaju nižu temperaturu što je posljedica razlike u nadmorskoj visini (sl. 13.). Godišnja raspodjela padalina je slična u svim postajama. Najviše padalina je u jesenskim mjesecima, a najmanje u zimskim. Na prostoru Žumberačke gore gdje se nalazi postaja Sošice padne najviše padalina (1232 mm), zatim nešto manje na karlovačkom području (1114 mm), te najmanje u Pisarovini (990 mm). Ti podaci upućuju na činjenicu da najviše padalina primaju reljefno najviši dijelovi istraživanog područja te se količina padalina smanjuje od zapadnog prema istočnom dijelu. Na temelju navedenih podataka o temperaturi i padalinama u području istraživanja po Köppenovoj klasifikaciji klime prevladava umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom (Cfb) (Filipčić, 1998).



Sl. 13. Mjerne postaje i pripadajući klimadijagrami

3.8. Zemljišni pokrov

Osim fizičkih čimbenika, na pojavnost klizišta uvelike utječu i antropogeni čimbenici tj. ljudska aktivnost. Utjecaj čovjeka analiziran je kroz način korištenja zemljišta i prometnice. Prema Corine Land Cover Hrvatska na promatranom području postoji 17 bonitetnih kategorija načina korištenja zemljišnog pokrova (sl. 14.). Najveći udio od ukupne površine otpada na bjelogorične šume (41 %), zatim slijede poljoprivredna područja: mozaik poljoprivrednih površina (21,5 %) i pretežito poljoprivredno zemljište s značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova (17 %). Još se dva tipa zemljišta izdvajaju površinom, a to su zemljišta na kojima dolazi do sukcesije šume (8 %) i pašnjaci (6,7 %). Vrijednosti površina ostalih kategorija su izrazito niske te je u skladu s time procijenjeno da njihovo isključivanje iz daljnje analize neće imati utjecaja na rezultate.

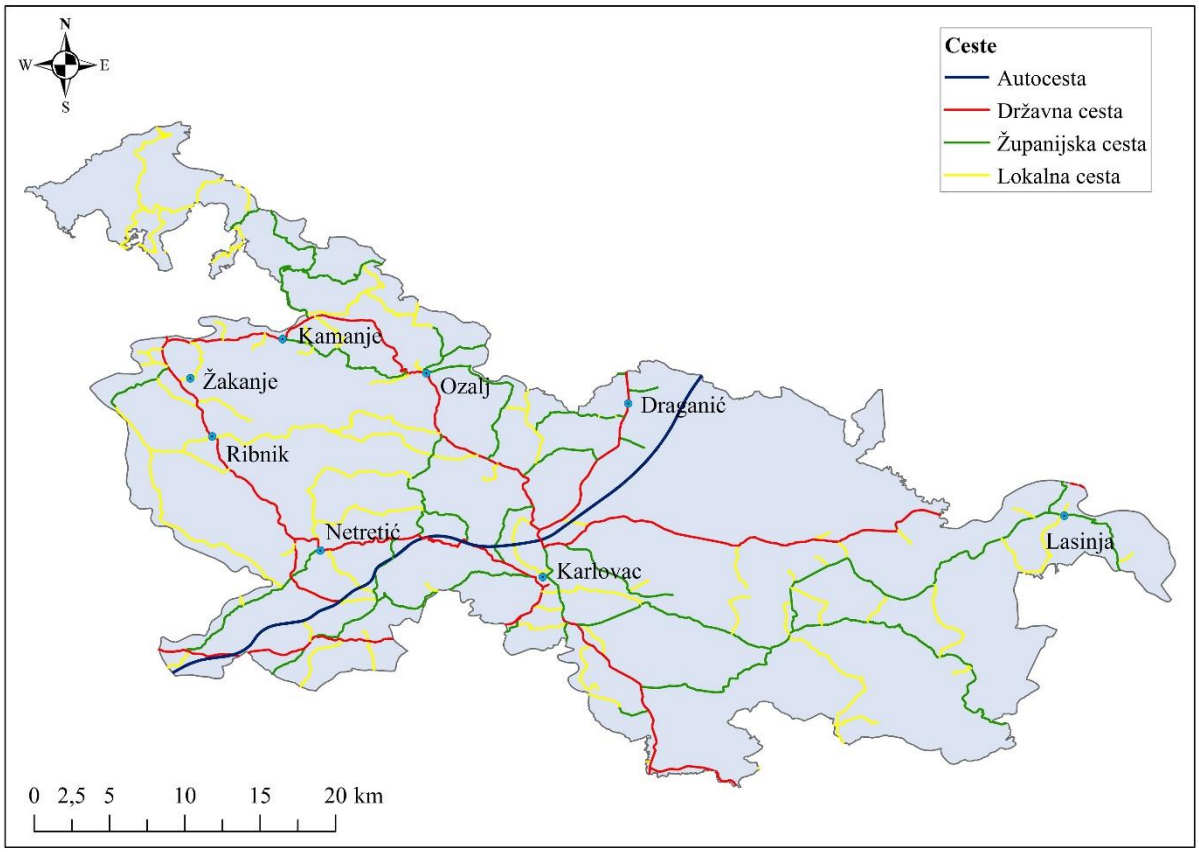


Sl. 5. Pokrov zemljišta prema CORINE 2012 modelu
Izvor: izrađeno prema podacima HAOP-a, 2012

.

3.9. Cestovna mreža

Ceste promatranog prostora mogu se podijeliti u pet kategorija: autocesta, državne ceste, županijske ceste, lokalne ceste te nerazvrstane odnosno neklasificirane ceste (sl. 15.). Na karti prometne mreže prikazane su prve četiri kategorije bez neklasificiranih cesta zbog bolje preglednosti. Autocesta A1 u dužini od 34,6 km prolazi smjerom SI - JZ kroz promatrano područje. Državne ceste se prostiru u dužini od 109,5 km, županijske 189,9 km, lokalne 322 km te 134,8 km neklasificirane.

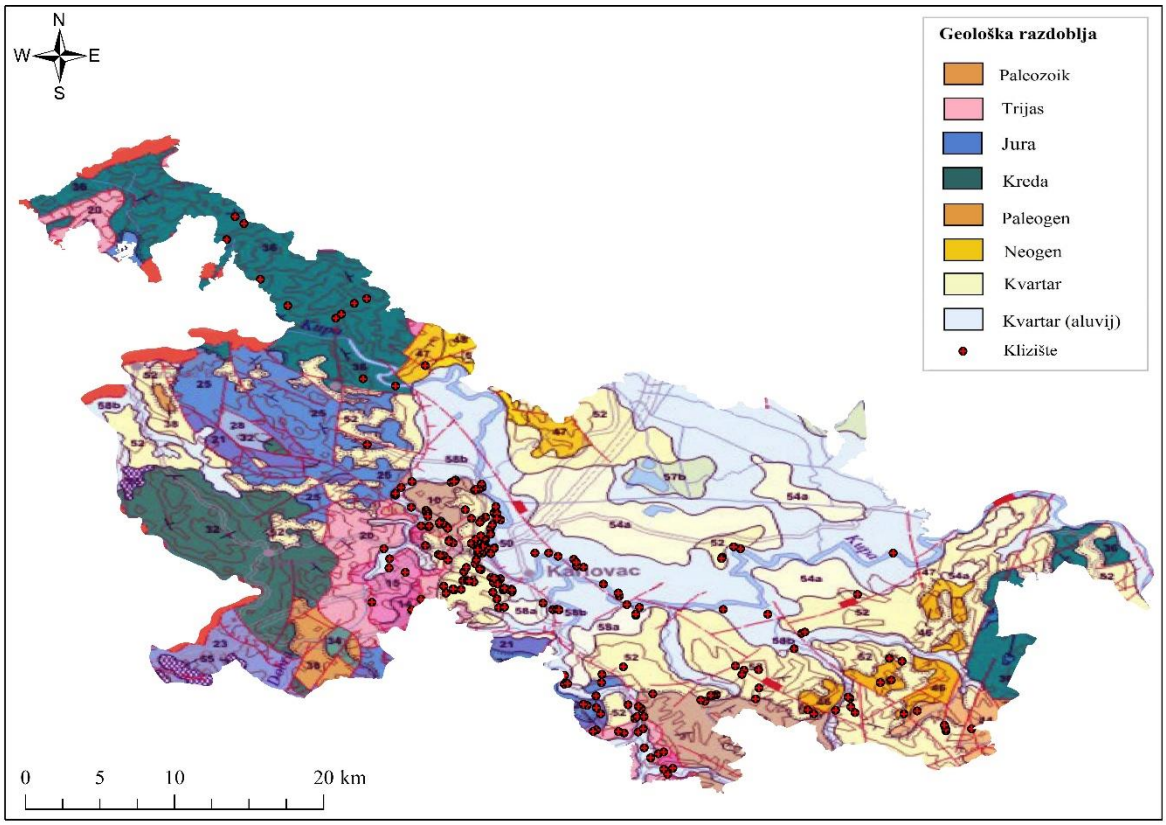


Sl. 6. Cestovna mreža istraživanog prostora

4. Rezultati

4.1. Utjecaj geoloških čimbenika

Najviše klizišta se formiralo na mlađim geološkim naslagama tj. na stijenama kvartara, 95 klizišta na klastičnim pleistocenskim naslagama te 62 klizišta na području holocenskih aluvijalnih naslaga, a to znači da se od ukupnog broja klizišta na promatranom području njih 70,7 % nalazi na naslagama kvartara. Od ostalog broja klizišta najviše ih se nalazi na paleozojskim naslagama (25), a zatim slijede trijas (13), kreda (11), neogen (9) i jura (7). Niti jedno klizište se ne nalazi na paleogenskim naslagama (sl. 16., tab. 3.).



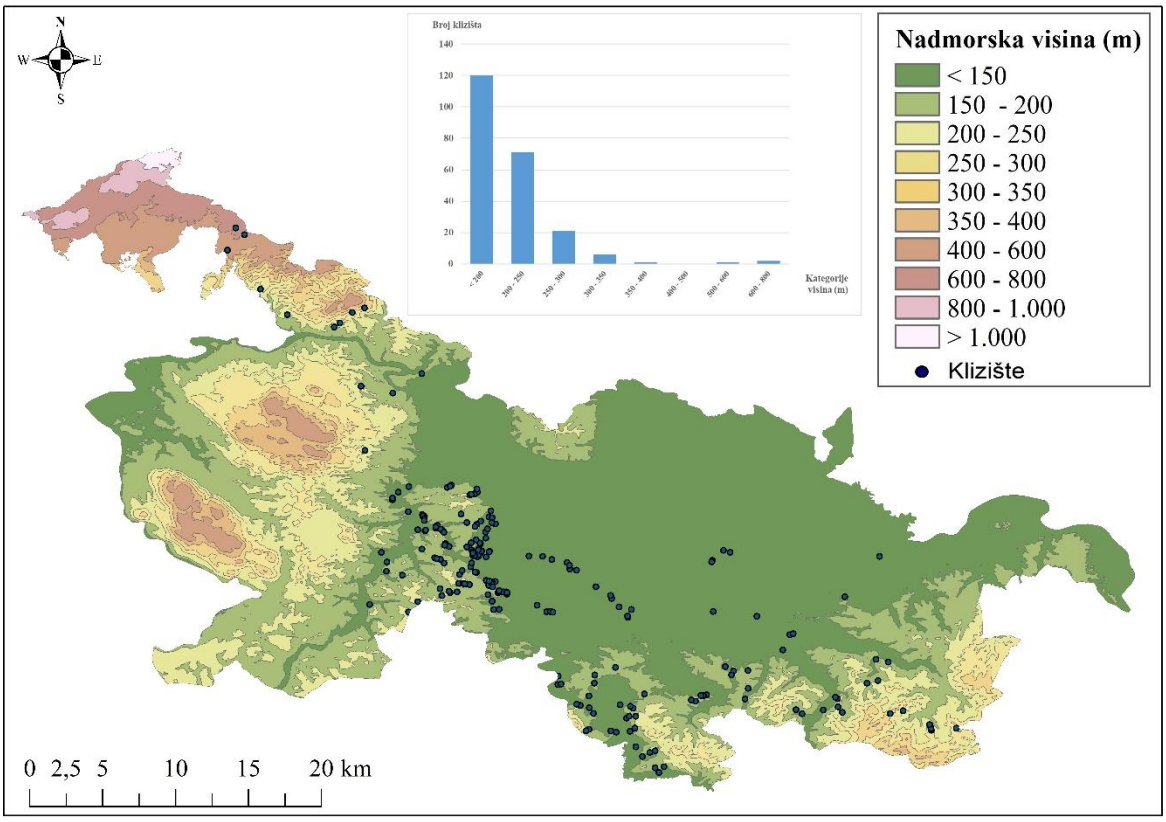
Sl. 16. Geološka karta s lokacijama klizišta
Izvor: prema HGI, 2009

Tab. 3. Broj i udio klizišta po pojedinom geološkom razdoblju

Geološko razdoblje	Broj klizišta	Udio (%)
Paleozoik	25	11,3
Trijas	13	5,9
Jura	7	3,2
Kreda	11	5,0
Paleogen	0	0
Neogen	9	4,1
Kvartar	95	42,8
Kvartar (aluvij)	62	27,9

4.2. Utjecaj morfometrijskih čimbenika

Najveći broj klizišta formirao se na nadmorskim visinama manjim od 150 m (120), zatim na 150 - 200 m (71), pa na 200 - 250 m (21) dok se ostalih 10 klizišta nalazi na visinama većim od 250 m. Iz toga proizlazi podatak da se 95,5 % ukupnog broja klizišta formiralo na nadmorskim visinama manjim od 250 m. Podatak o gustoći klizišta na pojedinoj kategoriji visine pokazuje da je najveća gustoća klizišta (0,32 klizište/km^2) na nadmorskim visinama od 200 - 250 m (sl. 17., tab. 4.).

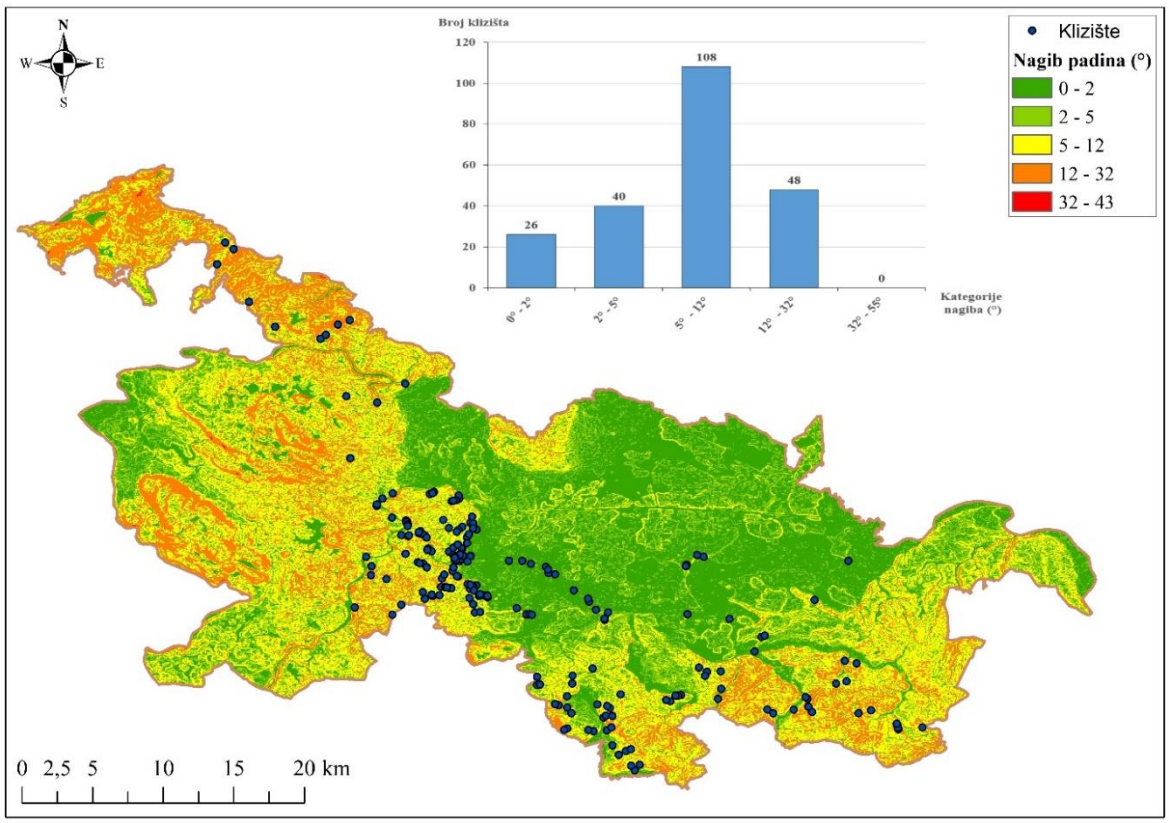


Sl. 17. Karta nadmorskih visina s lokacijama klizišta

Tab. 4. Broj, gustoća i udio klizišta po kategoriji nadmorske visine

Kategorija visine (m)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km^2)	Udio klizišta (%)
<150	120	0,26	54,1
150 - 200	71	0,32	32,0
200 - 250	21	0,19	9,5
250 - 300	6	0,11	2,7
300 - 350	1	0,03	0,5
350 - 400	0	0,00	0,0
400 - 600	1	0,03	0,5
600 - 800	2	0,11	0,9
800 - 1000	0	0,00	0,0
>1000	0	0,00	0,0

Karta nagiba terena izvedena je iz DEM-a rezolucije 25x25 te je reklasificirana u 6 kategorija nagiba: 0° - 2°, 2° - 5°, 5° - 12°, 12° - 32°, 32° - 43°. Za svaku od tih kategorija izračunat je broj klizišta koja se nalaze unutar te kategorije, a rezultati su prikazani na histogramu na karti (sl. 18.). Najviše klizišta (108) formiralo se unutar kategorije 5° - 12° i to predstavlja 48,6 % od ukupnog broja klizišta. U ostale tri kategorije broj klizišta je raspoređen na način: 26 klizišta u zoni 0° - 2° nagiba, 40 klizišta u zoni 2°- 5° nagiba te 48 klizišta u zoni 12° - 32° nagiba. Na području nagiba manjeg od 2° formiralo se 26 klizišta. Iz histograma je vidljivo da se niti jedno klizište ne nalazi na padini nagiba između 32° i 43° (tab. 5.)

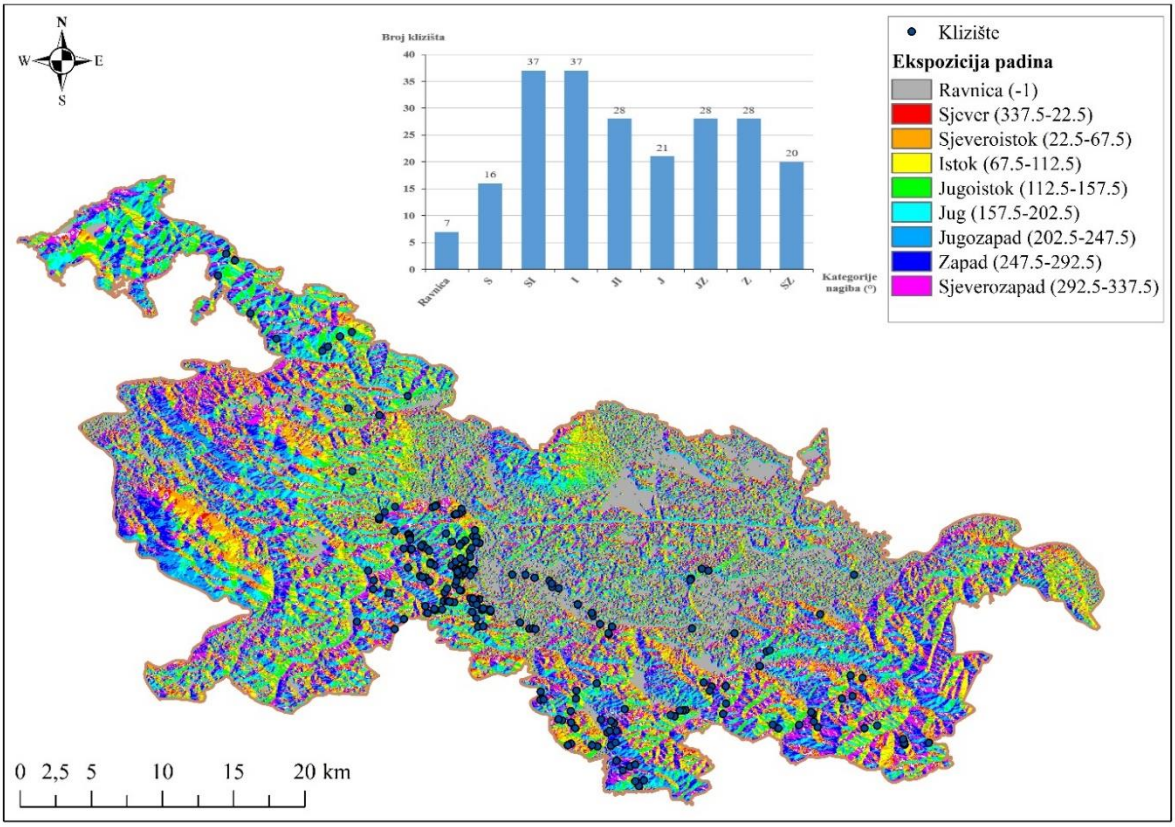


Sl. 18. Nagib padina s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom

Tab. 5. Broj, gustoća i udio klizišta prema rasponu nagiba padina

Nagib padine (°)	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km^2)	Udio klizišta u površini (%)
0 - 2	26	0,09	11,7
2 - 5	40	0,19	18,0
5 - 12	108	0,36	48,6
12 - 32	48	0,32	21,6
32 - 43	0	0	0

Nakon analize i preklapanja sloja sa lokacijama klizišta i sloja s ekspozicijom padina došlo se do zaključka da iako sve ekspozicije padina površinom jednako prevladavaju na području istraživanja nije sukladno tome jednak broj klizišta rasprostranjen na svakoj ekspoziciji. Najveći broj klizišta (102) nalazi se na padinama istočne ekspozicije (SI, JI, I) što čini 45 % ukupnog broja klizišta. Najmanje klizišta (37) je locirano na padinama usmjerenim prema sjeveru (S) i jugu (J) (sl. 19., tab. 6.).

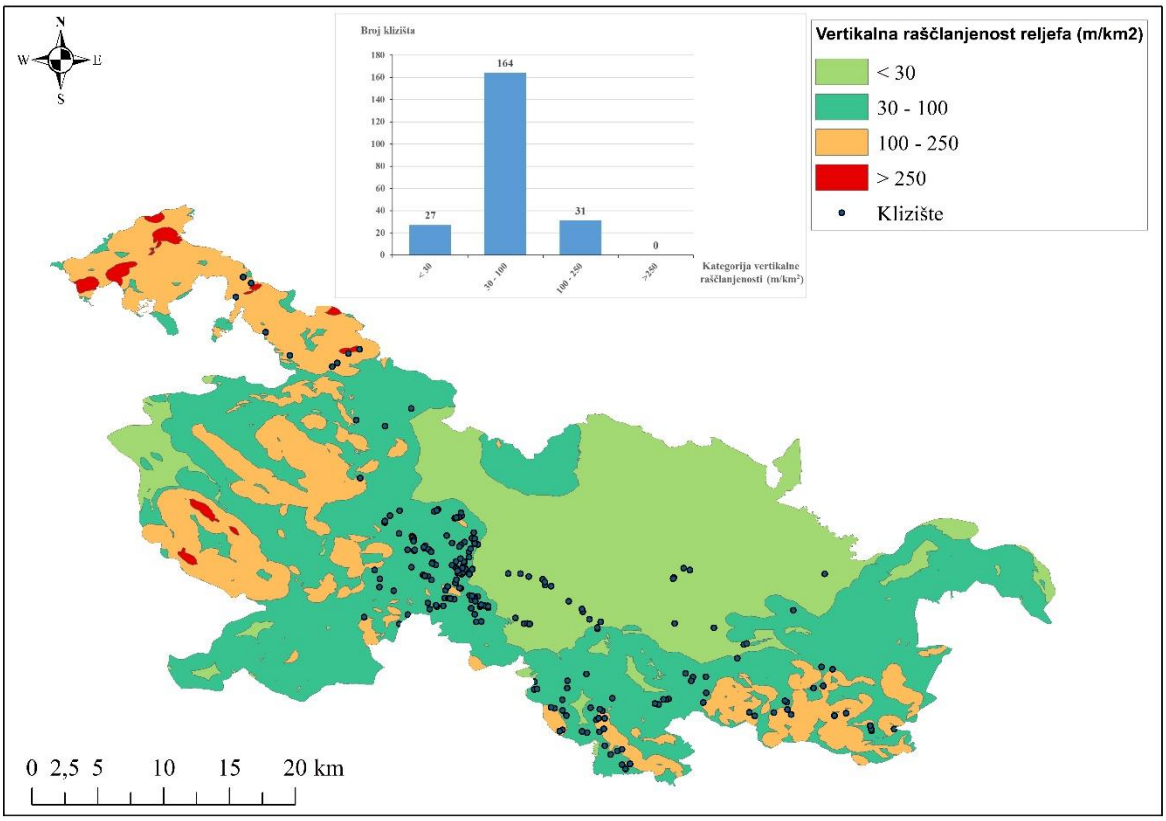


Sl. 19. Ekspozicija padina s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom

Tab. 6. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na ekspoziciju padine

Ekspozicija padine	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km^2)	Udio klizišta u površini (%)
Sjever	16	0,15	7,2
Sjeveroistok	37	0,33	16,7
Istok	37	0,35	16,7
Jugoistok	28	0,26	12,6
Jug	21	0,19	9,5
Jugozapad	28	0,24	12,6
Zapad	28	0,26	12,6
Sjeverozapad	20	0,19	9,0
Ravnica	16	0,15	10,87

Napravljena je i analiza vezana za vertikalnu raščlanjenost. Najviše klizišta (164) se formiralo na kategoriji vertikalne raščlanjenosti 30 - 100 m/km^2 što čini 73,9 % ukupnog broja klizišta. U kategoriji 0 - 30 m/km^2 se javilo 12,2 %, a u kategoriji 100 - 250 m/km^2 14 % klizišta dok u kategoriji više od 250 m/km2 nema nijednog klizišta (sl. 20., tab. 7.).

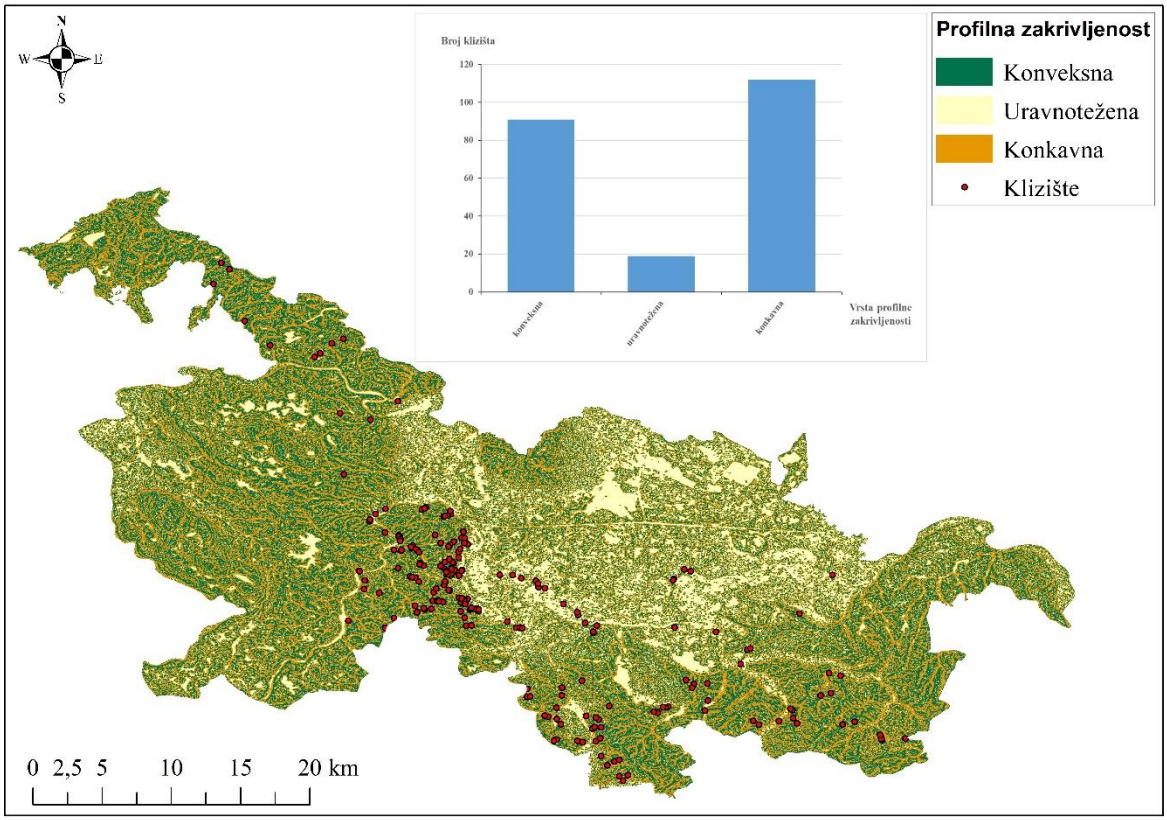


Sl. 20. Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa s lokacijama klizišta

Tab. 7. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vertikalnu raščlanjenost reljefa

Vertikalna raščlanjenost (m/km^2)	**Broj klizišta**	**Gustoća (klizište/km^2)**	**Udio klizišta u površini (%)**
< 30	27	0,09	12,2
30 - 100	164	0,37	73,9
100 - 250	31	0,16	14,0
> 250	0	0,00	0,0

Kod zakrivljenosti padina, po pitanju broja klizišta, prevladavaju konkavne padine sa njih 112 to jest 50 % od ukupnog broj klizišta. To može biti rezultat i nešto većeg udjela konkavnih padina općenito na istraživanom prostoru. Na uravnotežene padine otpada 9 %, a na konveksne 41 % klizišta (sl. 21., tab. 8.).



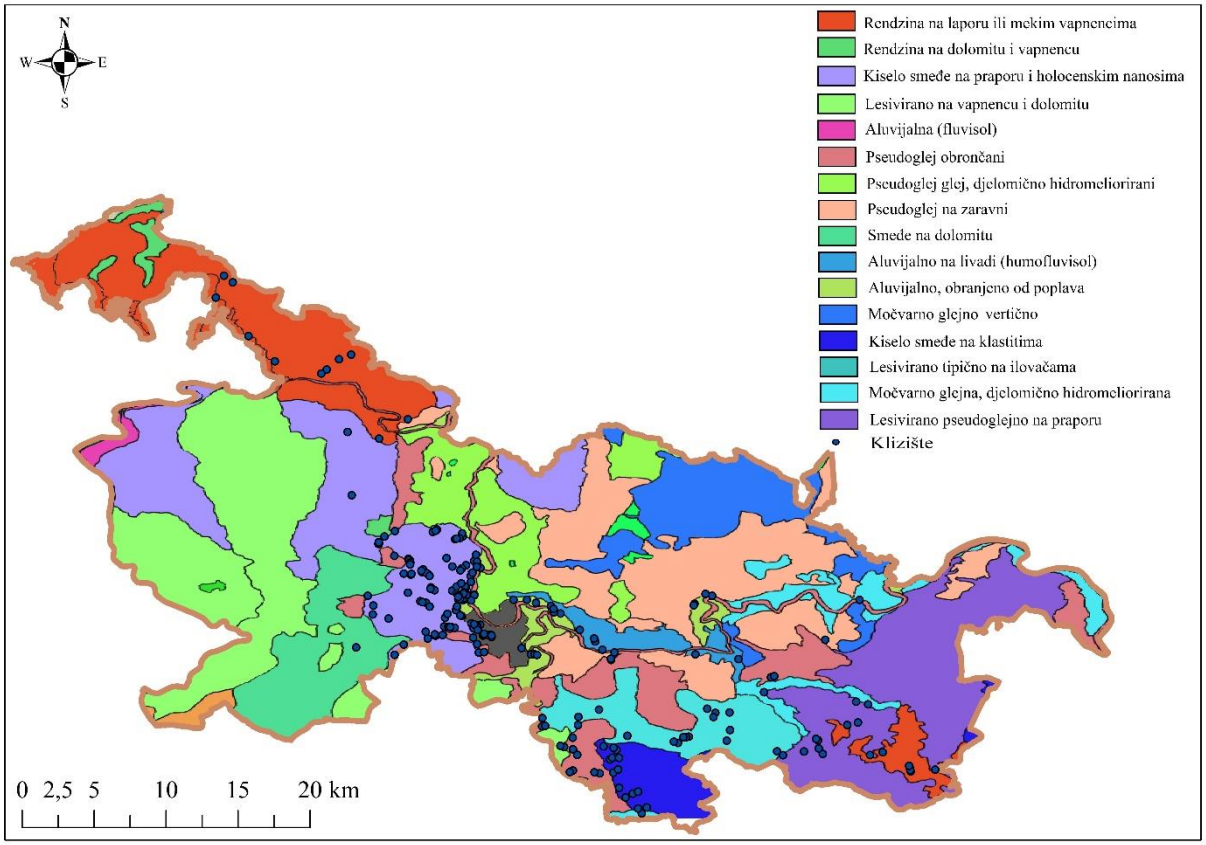
Sl. 21. Karta profilne zakrivljenosti padina s lokacijama klizišta

Tab. 8. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vrstu profilne zakrivljenosti

Vrsta profilne zakrivljenosti	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km^2)	Udio klizišta u površini (%)
Konveksna	91	0,25	41,0
Uravnotežena	19	0,10	8,6
Konkavna	112	0,28	50,4

4.3. Utjecaj pedoloških obilježja

Klizišta na istraživanom području su izrazito plitka pa je zato uzeta u obzir dreniranost površinskog dijela tla. U slučaju dobre dreniranosti tj. dobre propusnosti vode kroz tlo dolazi do povećanja pornog tlaka što uzrokuje smanjenje stabilnosti i kohezije među česticama tla (Husnjak i dr., 2012). Važnost vrste tla može se promatrati na način da su vrste tla koje su pogodne za obradu više podložne pojavljivanju klizišta. Također je važno napomenuti da se za pojavljivanje klizišta uloga tla također očituje u njegovim fizičkim svojstvima. Tu se posebno misli na odnos tla i vode u tlu, koja je jedan od važnijih uzročnika pojavljivanja klizišta. Određivanje količine vode u tlu je važno i za mnoge inženjerske probleme, uključujući i sanaciju klizišta, iz razloga što se na temelju vlažnosti može procijeniti ponašanje tla.



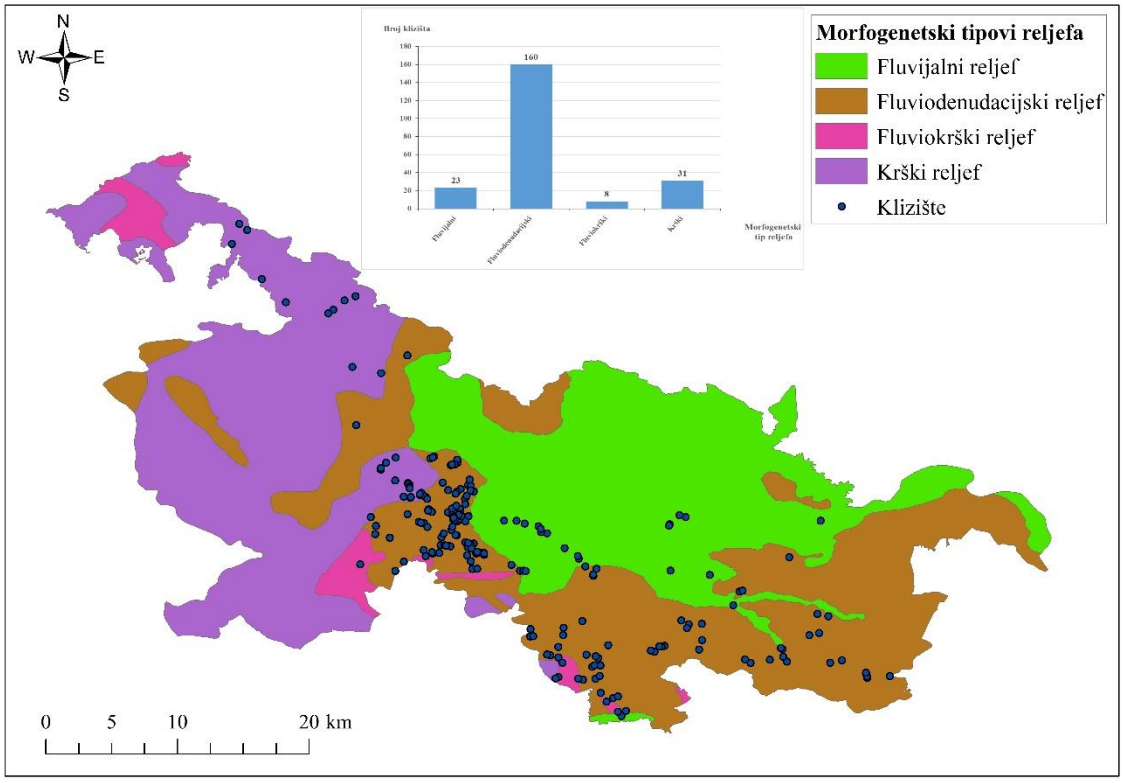
Sl. 22. Pedološka karta istraživanog prostora sa lokacijama klizišta
Izvor: prema Tlo i Biljka, 2018

Na istraživanom prostoru najviše klizišta (85) nalazi se na kiselom smeđem tlu na laporu i holcenskim nanosima. Na hidromorfnim tlima, koja karakterizira stagnacija vode u tlu, formiralo se 57 klizišta što čini 25 % ukupnog broja klizišta, a na automorfnim, za čiji je vodni režim karakteristično vlaženje samo padalinama, pojavilo se 150 klizišta što čini 68 % od ukupnog broja klizišta. Ostalih 15 klizišta tj. 7 % se pojavilo na urbaniziranom području (sl. 22., tab. 9.).

Tab. 9. Broj klizišta na pojedinim tipovima tla

Tip tla	Broj klizišta
Rendzina na laporu ili mekim vapnencima (a)	18
Kiselo smeđe na praporu i holocenskim nanosima (a)	85
Smeđe na dolomitu (a)	2
Urbanizirano područje	15
Pseudoglej - glej (h)	8
Aluvijalno livadno (h)	6
Pseudoglej obrončani (h)	17
Pseudoglej na zaravni (h)	3
Aluvijalno obranjeno od poplava (h)	20
Lesivirano tipično na ilovačama (a)	20
Kiselo smeđe na klastitima (a)	14
Lesivirano pseudoglejno na praporu (a)	11
Močvarno glejno vertično (h)	3
(a) - automorfno; (h) - hidromorfno	

4.4. Utjecaj morfogenetskih tipova reljefa i klizišta



Sl. 23. Morfogenetski tipovi reljefa sa lokacijama klizišta
Izvor: prema Bočić i dr., 2016

Na području istraživanja najviše se klizišta formiralo na fluviodenudacijskom tipu reljefa (160) na kojem je ujedno i najveća gustoća klizišta (0,46 klizišta/km^2). Na krškom reljefu nastalo je 31 klizište te gustoća iznosi 0,1 klizište/km^2. Na području fluvijalnog tipa reljefa formiralo se 23 klizišta, a gustoća klizišta na tom području iznosi 0,08 klizišta/km^2. Najmanji broj klizišta je na fluviokrškom reljefu (8) sa gustoćom 0,26 klizišta/km^2 (sl. 23., tab. 10.).

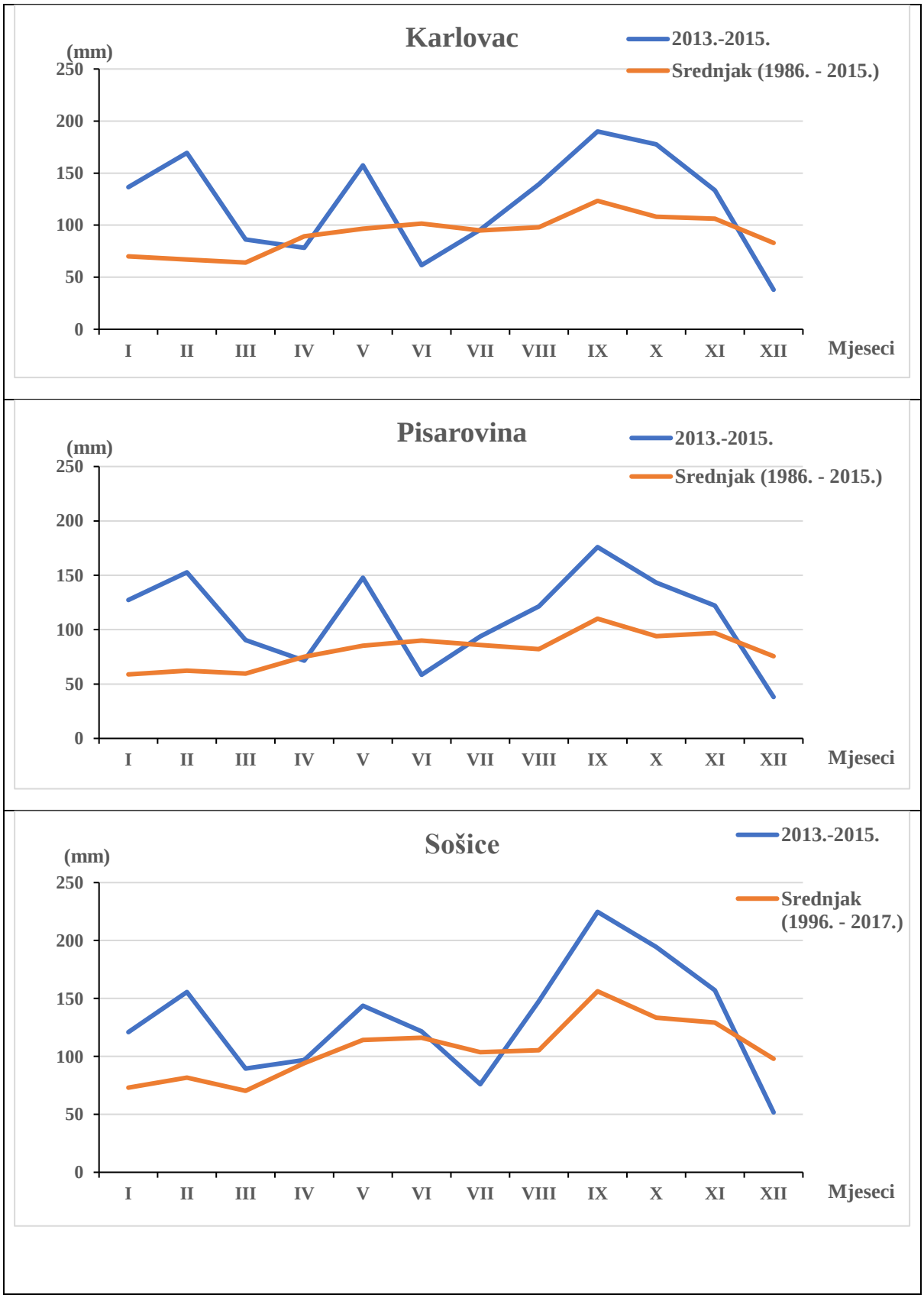
Tab. 10. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vrstu profilne zakrivljenosti

Morfogenetski tip reljefa	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km^2)	Udio klizišta u površini (%)
Fluvijalni	23	0,08	10,4
Fluviodenudacijski	160	0,47	72,1
Fluviokrški	8	0,27	3,6
Krški	31	0,11	14,0

4.5. Analiza klimatskih obilježja

Iako svi podaci o klizištima dobiveni od gradske uprave Grada Karlovca i ŽUC-a nisu sadržavali vrijeme aktivacije svakog pojedinog klizišta potvrđeno je da se velika većina tih klizišta odnosi na razdoblje od 2013. do danas, s posebnim naglaskom na 2013., 2014. i 2015. godinu. Analiza količine padalina u tom razdoblju pokazala je iznadprosječne vrijednosti koje su vidljive u dijagramima pojedinih meteoroloških postaja u kojima se uspoređuju prosječne mjesečne padaline za to trogodišnje razdoblje (2013. - 2015.) sa tridesetogodišnjim srednjakom. Kod dijagrama za postaju Sošice, pri izradi vrijednosti srednjaka, uzeti su podaci za 22 godine s obzirom da se u toj postaji vrše mjerenja tek od 1996. godine (sl. 24.).

Iz priloženih dijagrama (sl. 24.) vidljivo je javljanje iznadprosječnih količina padalina u određenim razdobljima. U tridesetogodišnjem razdoblju javljaju se dva maksimuma. Primarni se javlja u devetom mjesecu, a sekundarni u petom. Kod trogodišnjeg razdoblja vidljiva su tri maksimuma. Primarni se poklapa sa primarnim maksimumom tridesetogodišnjeg srednjaka u rujnu, a zatim se javljaju još dva maksimuma u veljači i svibnju. Vrijednosti sva tri maksimuma trogodišnjeg razdoblja su izrazito iznad vrijednosti maksimuma višegodišnjeg srednjaka. To ukazuje na iznadprosječnu količinu padalina u kratkom razdoblju. S obzirom da je upravo u tom razdoblju evidentiran najveći broj klizišta promatranog prostora pretpostavlja se da postoji povezanost tih iznadprosječno padalinskih razdoblja sa pojavom i aktivacijom klizišta.

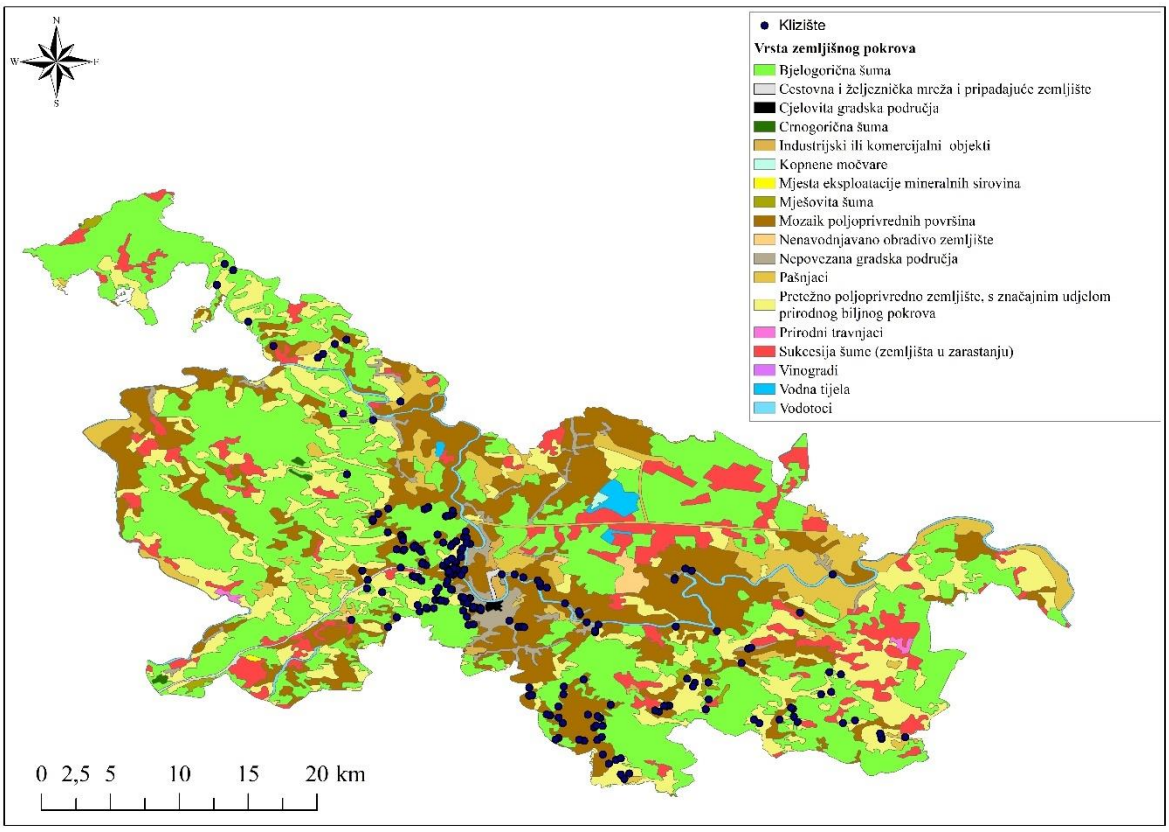


Sl. 24. Prosječne mjesečne količine padalina trogodišnjeg razdoblja 2013. - 2015. i višegodišnjeg srednjaka prema za postaje Karlovac, Pisarovina i Sošice

Izvor: prema podacima DHMZ-a, 2018

4.6. Utjecaj načina korištenja tla na klizišta

Iako čak 41 % površine promatranog područja zauzimaju bjelogorične šume najveći broj klizišta (166) je vezan za poljoprivredna zemljišta tj. obradive površine. Od tih 166 klizišta 87 ih se nalazi u kategoriji mozaik poljoprivrednih površina (39 % ukupnog broja klizišta), a 79 u kategoriji pretežno poljoprivredno zemljište s značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova (36 %). Zatim slijedi područje bjelogorične šume na kojoj se formiralo 27 klizišta odnosno 12 % ukupnog inventara klizišta. Još se ističe i kategorija nepovezanih gradskih područja na kojima se javilo 16 klizišta (7 %) (sl. 25., tab. 11.)



Sl. 25. Karta pokrova zemljišta prema CORINE 2012 modelu sa lokacijama klizišta
Izvor: HAOP, 2012

Tab. 11. Broj klizišta na pojedinom tipu zemljišnog pokrova

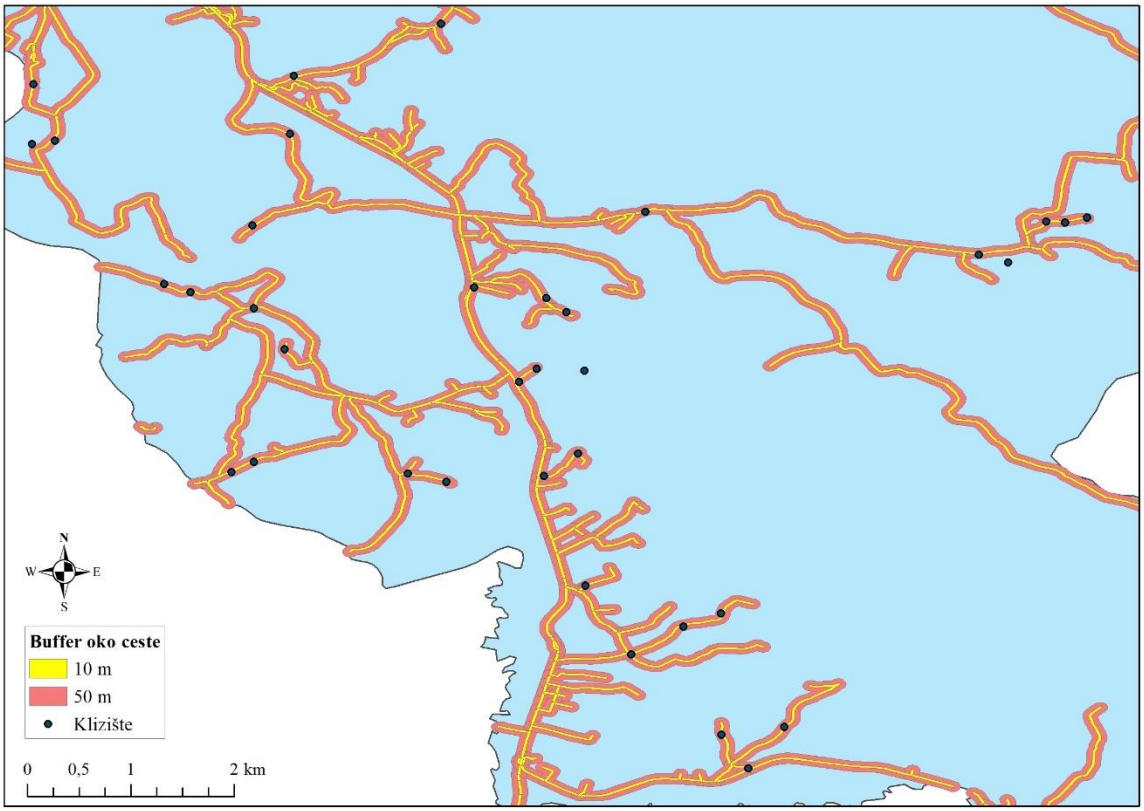
Zemljišni pokrov	Broj klizišta	Gustoća (klizište/km^2)	Udio (%)
Bjelogorična šuma	27	0,07	12,2
Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište	1	0,34	0,5
Mozaik poljoprivrednih površina	87	0,42	39,2
Nepovezana gradska područja	16	0,82	7,2
Pašnjaci	3	0,05	1,4
Pretežno poljoprivredno zemljište…	79	0,49	35,6
Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)	1	0,01	0,5
Vodotoci	8	0,57	3,6

4.7. Utjecaj cestovne mreže na klizišta

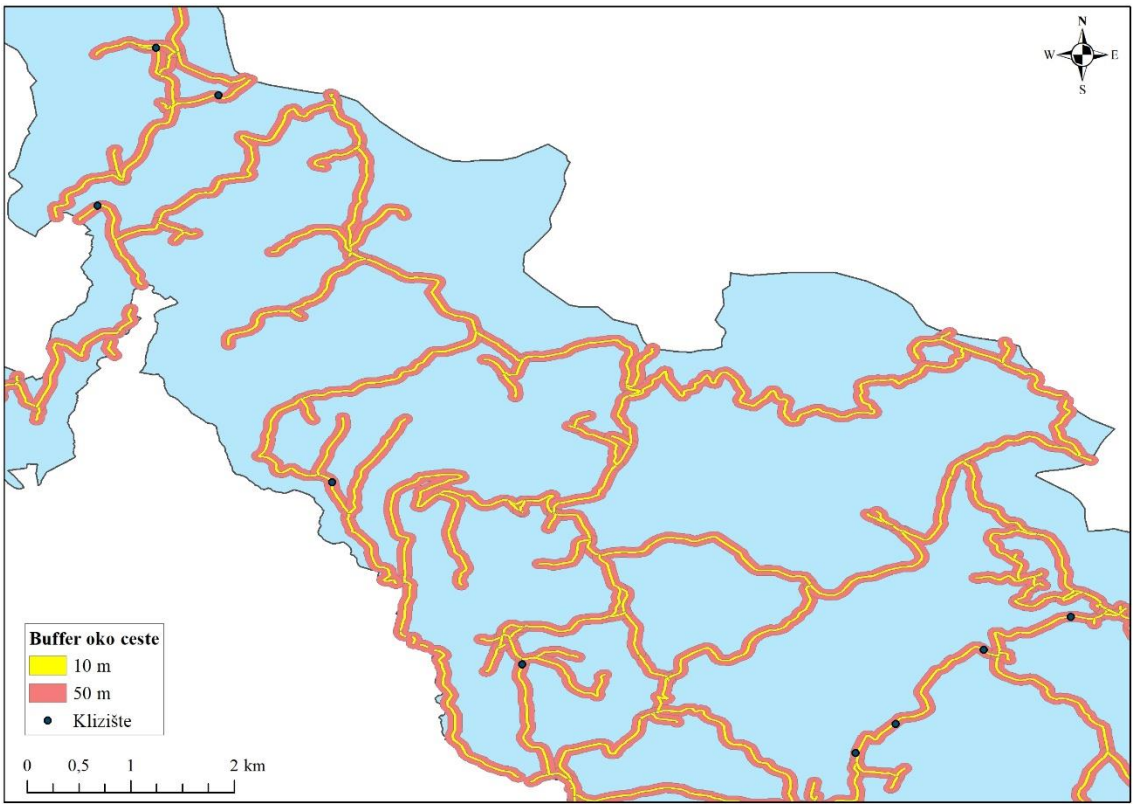
Napravljena je i analiza udaljenosti klizišta od prometnica. Analiza je provedena na način da se oko prometnica (vektoriziranih) izradio *buffer* tj. sloj koji pokriva cjelokupno područje do 10 i 50 metara udaljenosti od prometnice. Nakon toga provedena je lokacijska analiza klizišta koja se nalaze unutar tog sloja tj. klizišta koja su maksimalno na 10 metara udaljenosti od prometnice. Rezultati su pokazali da se 113 klizišta, što čini 51 % od ukupnog broja (222), nalazi unutar sloja 10 metara oko ceste, a 192 klizišta tj. njih 86 % nalaze se u sloju od 50m oko ceste (sl. 27., sl. 28.). Na fotografijama klizišta vezanih uz prometnice vidljiva je šteta na prometnici i okolnoj infrastrukturi (sl. 26.).



Sl. 26. Klizišta uz prometnice u ulici Udbinja (lijevo) i na lokalnoj cesti 34004 u blizini naselja Kašt (desno)
Izvor: ŽUC



Sl. 27. Karta povezanosti klizišta sa prometnicama na području Vukmanički Cerovac - Tušilović



Sl. 28. Karta povezanosti klizišta sa prometnicama na području vivodinskog pobrđa

5. Rasprava

Analiza rasprostranjenosti pojave klizišta s obzirom na nagib padine ukazala je na to da se najveći broj klizišta (48,6 %) formirao u rasponu nagiba 5° - 12° što može biti i rezultat toga što najveći dio površine istraživanog prostora pripada tom rasponu (31,4 %), ali podatak o relativnoj gustoći klizišta po pojedinoj kategoriji nagiba pokazuje da je, unatoč većem broju klizišta na područjima nagiba 5° - 12°, u prosjeku približan broj klizišta po km^2 i na području nagiba 5° - 12° i 12° - 32°. Iako nagib manji od 2° nije nagib karakterističan za formiranje klizišta, ipak se određeni broj (26) pojavio unutar te kategorije nagiba. Jedan od razloga tome može biti to što su ta klizišta većinom nastala erozijskim djelovanjem tekućice koja se bočno usijeca u obalu te samim time smanjuje stabilnost terena između tekućice i, vrlo često, prometnice koja prati tekućicu (sl. 29.). Drugi razlog za takav statistički podatak je sigurno i veličina klizišta. Većina klizišta promatranog prostora je manjih dimenzija i stoga se mogu pojaviti na nagibima manjim od 2°, ali su površine pod tim nagibom dovoljno male da rezolucija digitalnog modela reljefa (1 ćelija - 625 m^2) ne omogućava prepoznavanje



Sl. 29. Klizište uz Dobru na županijskoj cesti 3144 kod Tomašnice
Izvor: ŽUC

tog terena kao više nagnutog u odnosu na većinski dio okolnog nizinskog terena koji se nalazi unutar kategorije nagiba 0 - 2°. Na području nagiba većeg od 32° nije se formiralo nijedno klizište što je i očekivano s obzirom da ta kategorija nagiba obuhvaća mali dio istraživanog područja, a i vrijednosti nagiba su previsoke za formiranje klizišta. Također, pretpostavka je da su strmije padine građene od stabilnijih materijala koji nisu podložni klizanju. Približno isti rezultati dobiveni su i u nekim drugim radovima vezanima za analizu prostorne distribucije klizišta. U radu Loparić i Pahernik (2012) također je najveći broj klizišta u rasponu nagiba 5° - 12° te 12° - 32°. Uz to i većina klizišta riječkog područja prema Faivre i dr. (2013) se nalazi unutar navedenih kategorija.

Jedan od važnijih dijelova analize čine klimatološki podaci dobiveni iz Državnog hidrometeorološkog zavoda za postaje Karlovac, Pisarovina i Sošice. Analiza podataka vezanih za količinu padalina pokazala je da je razdoblje 2013. - 2015. godine bilo iznadprosječno kišno. Prema tome, za pretpostaviti je da postoji povezanost iznadprosječnih količina padalina sa aktivacijom klizišta. Takve padaline padaline uzrokuju podizanje podzemnih voda u padinama te promjenu pornog tlaka u tlu što rezultira narušavanjem stabilnosti same padine. Prema Rački (2015) analiza pokretača klizišta na području grada Samobora u proljeće 2013. rezultirala je također zaključkom da je iznadprosječna količina padalina u tom razdoblju premašila granične vrijednosti za aktivaciju klizišta.

Analizom pedoloških obilježja utvrđeno je da je tlo na kojem se aktiviralo najviše klizišta dobro drenirano i ima velik sadržaj gline u jednom od horizonata. Tu se radi o holocenskim nanosima što se ustvari podudara sa karakteristikama tog tipa tla (sl. 20., tab. 3.). To je automorfno tlo za čiju pedogenezu najbolje odgovaraju prapor (les) i ilovasti jezerski i riječni sedimenti (Martinović, 2000). Takva tla karakterizira povećan sadržaj gline i dobra dreniranost, a to su karakteristike tla koje pogoduju formiranju klizišta. Klizne plohe se uglavnom vežu na glinovite vodonepropusne slojeve koji su skloni vezanju vode i povećanju volumena čak 10 do 15 puta te se taj proces naziva bubrenje tla. To znači da se obujam značajno mijenja uslijed vlaženja i isušivanja, a jaka ispucanost u nekim teškim glinovitim tlima omogućuje vrlo veliku infiltraciju vode (Marshall, 1959). Prema tome, u slučaju intenzivnih padalina voda se brzo procjeđuje kroz tlo te dolazi do vodonepropusnog sloja tj. glinovitog sloja koji zatim bubri i time povećava nestabilnost padine te se pojavljuje mogućnost stvaranja klizne plohe. Iako ne predstavljaju glavni preduvjet za nastanak klizišta, pokazalo se da određena fizička i kemijska obilježja tla mogu biti koristan indikator prilikom procjene pojavnosti klizišta na nekom području.

Analiza klizišta vezana za geološka obilježja pokazala je da se najveći broj klizišta razvio kvartarnim naslagama tj. na klastičnim naslagama pliokvartara i na holocenskim aluvijalnim naslagama. Ti podaci su u skladu sa dosadašnjim saznanjima s obzirom na to da se najveći broj klizišta formirao upravo u okolici Karlovca koji se nalazi na reljefu na čije formiranje velik utjecaj imaju rijeke. A uz rijeke se vrlo često vežu i prometnice za koje je pretpostavljeno da, u ovom slučaju, predstavljaju jedan od uzroka nastanka klizišta. Što se tiče odnosa morfogenetskih tipova reljefa i klizišta rezultati su pokazali da se najveći broj klizišta formirao na fluviodenudacijskom tipu reljefa što upućuje na pretpostavku da su procesi kliženja jedni od glavnih procesa koji utječu na oblikovanje tog tipa reljefa.

Također treba napomenuti da je za očekivati da je broj klizišta na istraživanom prostoru u stvarnosti veći jer su evidentirana klizišta većinom vezana za prometnu infrastrukturu te stambene objekte. Prema tome, klizišta se promatra kao prirodne hazarde jer nanose štetu. Međutim postoji i nekoliko klizišta koja su uključena u istraživanje, a nisu vezana za prometnice (sl. 30.). Jednostavnom metodom pregledavanja fotografija i odlaskom na teren zaključeno je da su klizišta, čiji uzrok nije usijecanje padine prometnicom, veća od klizišta koja su uzrokovana na taj način. No, obzirom na to da takva klizišta ne stvaraju direktnu štetu i ne zahtijevaju sanaciju općenito nisu detaljnije promatrana i istražena, a svakako to zahtijevaju.



Sl. 30. Veća klizišta kod Zajačkog sela (lijevo) i vile Anzić (desno)
Izvor: fotografija klizišta kod vile Anzić preuzeta sa Hrvatskog portala o klizištima

6. Zaključak

Na temelju rezultata dobivenih analizom doneseni su sljedeći zaključci:

- Najviše klizišta pojavilo se na nagibima padina u rasponu 5° - 12° i 12° - 32°, na područjima nižim od 150 m nadmorske visine te na područjima raspona vrijednosti vertikalne raščlanjenosti reljefa 30 - 100 m/km^2; što se tiče odnosa ekspozicije padina i klizišta najveći broj i gustoća klizišta je na istočno i sjeveroistočno orijentiranim padinama; vezano za zakrivljenost padina i klizišta rezultati su pokazali da je približno jednak broj klizišta na konveksnim i konkavnim padinama
- Iako ne postoje konkretni podaci o točnom vremenu aktivacije klizišta pretpostavlja se, na temelju terenskog rada, da se većina klizišta formirala u veljači i rujnu 2013. godine i prema analizi klimatskih prilika utvrđeno je da je iznadprosječno velika količina padalina najvjerojatnije glavni okidač pokretanja klizišta za to razdoblje
- 86 % klizišta nalazi se unutar 50 m udaljenosti od prometnica što je vrlo jasan pokazatelj utjecaja usijecanja padina prometnicama na pojavnost klizišta
- Više od 70 % klizišta formiralo se na fluviodenudacijskom reljefu što ukazuje na izrazitu povezanost tog tipa reljefa sa nastankom klizišta
- Poljoprivredne površine tj. obradiva područja pogoduju nastanku klizišta te postoji moguća korelacija između fizičkih svojstava tla i pojave klizišta na području istraživanja
- Na temelju terenskog istraživanja i pregledavanja fotografija klizišta može se pretpostaviti kako je većina klizišta manjih dimenzija
- Postoji velika vjerojatnost da je broj klizišta na istraživanom području veći zbog toga što su podaci o klizištima za potrebe ovog rada dobiveni iz ustanova koje se, između ostalog, bave samo sanacijom, a ne analizom, onih klizišta zbog kojih je prouzrokovana šteta na prometnoj i komunalnoj infrastrukturi

Literatura

Babić, M., Filipan, S., Obarčanin, E., Opić, A., 2009: Plan navodnjavanja Karlovačke županije, Zagreb.

Bočić, N., Pahernik, M., Maradin, M., 2016: Temeljna geomorfološka obilježja Karlovačke županije, Prirodoslovlje 16 (1-2), 153 - 172.

Bognar, A., 1996: Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geoekološki aspekti, Acta Geographica Croatica, 31, 27 - 39.

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, Acta Geographica Croatica, 34, 7 - 29

Bogunović, M., Husnjak, S., Racz, Z., Sraka, M., Vidaček, Ž., 1997: Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba, Agronomski glasnik (5 - 6), 363 - 399.

Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., Čakalo, M., 1984: Osnovna geološka karta 1 : 100 000, tumač za list Črnomelj L 33 - 91, geološki zavod Zagreb, geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod, Beograd.

Burrough, P. A, McDonell, R.A., 1998: principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, New York, str. 17-34

Cruden, D.M., 1991: A simple definition of a landslide, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 43, str. 27-29.

Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, Transportation Research Board, US National Research Council, Special Report 247, str. 36 - 75.

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

Filipčić, A., 1998: Klimatska regionalizacija Hrvatske po W. Köppenu za standardno razdoblje 1961. – 1990. u odnosu na razdoblje 1931. – 1960., Acta geographica Croatica 33(1), 7 - 4.

HGI, 2009: Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Highland, L.M., Bobrowsky, P., 2008: *The landslide handbook—A guide to understanding landslides, U.S. Geological Survey Circular 1325*, Reston, Virginia

Husnjak, S., Pernar, N., Rubinić, V., Vrbek, B., 2009: Klasifikacija nekih tipova tala u Hrvatskoj i njihova korelacija s WRB, Zbornik sažetaka 44. Hrvatskog i 4. Međunarodnog simpozija agronoma, Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, 14 - 15.

Husnjak, S., Čmelik, Z., Striber, N., 2012: Pogodnost poljoprivrednog zemljišta za voćarstvo na području općine Bednja, 60 Croatian and 7th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 60-64.

Jovaničević, S.D., 2013: Procjena hazarda pojave klizanja u flišu, Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci

Loparić, I., Pahernik, M., 2012: GIS analiza ugroženosti padina klizištima u području Grada Lepoglave, Acta geographica Croatica 38, 35 - 58.

Lozić, S., 1995: Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Hrvatske, Acta Geographica Croatica 30, 17 - 28.

Lozić, S., 1996: Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske, Acta Geographica Croatica 31, 41 - 50.

Lozić, S., 2000: Kvantitativne geomorfološke značajke Sjeverozapadne Hrvatske, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

Marshall, Z.J., 1959: *Relations between water and soil. Technical Communication* No. 50. Harpenden, UK: *Commonwealth Bureau of Soils*, str. 15

Martinović, J., 2000: Tla u Hrvatskoj, Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, Zagreb.

Nonveiller E., 1987: Kliženje i stabilizacija kosina, Školska knjiga, Zagreb.

Počekal, N., 2012: Geoinformacijski postupci otkrivanja potencijalnih klizišta, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu

Rački, M., 2015: Analiza pokretača klizanja u proljeće 2013. godine na području Grada Samobora, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu

Radoš, D., Lozić, S., Šiljeg, A., 2012: Primjena GIS metoda u analizi geomorfometrijskih značajki Duvanjskog polja, Zbornik radova Znanstveno-stručnog skupa "Čovjek i krš", Međugorje i Centar za krš i speleologiju, Sarajevo, 143 -161.

Roje-Bonacci, T., 2015: Zaštita kosina i sanacija klizišta, Hrvatske Vode 90, 352-360.

Šagud, D., 2015: Statistička analiza inventara klizišta podsljemenske zone iz 1979. godine. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 47 str.

Štapek, R., 2012: Hidrografska obilježja Karlovačkog Pokuplja i Korduna, Svijetlo (1 - 4), 62 - 92.

Varnes, D.J., 1984: *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*: Darantiere, Pariz: UNESCO Press.

Zaninović, K. (ur.), 2008: Klimatski atlas Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

Izvori

DZS, Državni zavod za statistiku, https://www.dzs.hr/, (17.11.2018.)

HAOP, Hrvatska agencija za okoliš i poljoprivredu, http://www.haop.hr/hr (11.12.2018.)

HGI, Hrvatski geološki institut, http://www.hgi-cgs.hr/, (23.11.2018.)

Ivšić, T., 2012: Prezentacija: Stabilnost kosina 1, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Predavanja_2/Ivsic-GEO-INZ-stabilnost-4.pdf (1.2.2019.)

Open Street Map, https://www.openstreetmap.org, (11.12.2018.)

Tlo i biljka, www.tlo-i-biljka.eu, (11.12.2018.)

USGS, United States Geological Survey, https://www.usgs.gov/, (20.11.2018.)

Popis grafičkih priloga

Sl. 1. Oblik rotacijskog klizišta i osnovni dijelovi klizišta 3

Sl. 2. Translacijsko klizište 4

Sl. 3. Pregledna karta istraživanog područja 9

Sl. 4. Geomorfološki položaj istraživanog prostora 11

Sl. 5. Geološka karta istraživanog prostora 12

Sl. 6. Hipsometrijska obilježja istraživanog prostora 14

Sl. 7. Kategorije nagiba padina istraživanog prostora 15

Sl. 8. Ekspozicija padina istraživanog prostora 16

Sl. 9. Vertikalna raščlanjenost reljefa istraživanog prostora 17

Sl. 10. Profilna zakrivljenost padina istraživanog prostora 18

Sl. 11. Pedološka karta istraživanog prostora 20

Sl. 12. Morfogenetski tipovi reljefa istraživanog prostora 21

Sl. 13. Mjerne postaje i pripadajući klimadijagrami 23

Sl. 14. Pokrov zemljišta prema CORINE 2012 modelu 24

Sl. 15. Cestovna mreža istraživanog prostora 25

Sl. 16. Geološka karta s lokacijama klizišta 26

Sl. 17. Karta nadmorskih visina s lokacijama klizišta 27

Sl. 18. Nagib padina s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom 28

Sl. 19. Ekspozicija padina s lokacijama klizišta i pripadajućim histogramom 29

Sl. 20. Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa s lokacijama klizišta 30

Sl. 21. Karta profilne zakrivljenosti padina s lokacijama klizišta 31

Sl. 22. Pedološka karta istraživanog prostora sa lokacijama klizišta 32

Sl. 23. Morfogenetski tipovi reljefa sa lokacijama klizišta 34

Sl. 24. Grafovi prikaza prosječnih mjesečnih padalina trogodišnjeg razdoblja 2013. - 2015. i višegodišnjeg srednjaka prema podacima prikupljenih na postajama Karlovac, Pisarovina i Sošice 36

Sl. 25. Karta pokrova zemljišta prema CORINE 2012 modelu sa lokacijama klizišta 37

Sl. 26. Klizišta uz prometnice u ulici Udbinja (lijevo) i na lokalnoj cesti 34004 u blizini naselja Kašt (desno).....38

Sl. 27. Karta povezanosti klizišta sa prometnicama na području Vukmanički Cerovac - Tušilović 39

Sl. 28. Karta povezanosti klizišta sa prometnicama na području vivodinskog pobrđa 39

Sl. 29. Klizište uz Dobru na županijskoj cesti 3144 kod Tomašnice 40

Sl. 30. Veća klizišta kod Zajačkog sela (lijevo) i vile Anzić (desno) 42

Popis tablica

Tab. 1. Vrste uzroka pojave klizišta 6

Tab. 2. Pokretači pokretanja klizišta 6

Tab. 3. Broj i udio klizišta po pojedinom geološkom razdoblju 26

Tab. 4. Broj, gustoća i udio klizišta po kategoriji nadmorske visine 27

Tab. 5. Broj, gustoća i udio klizišta prema rasponu nagiba padina.....28

Tab. 6. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na ekspoziciju padine 29

Tab. 7. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vertikalnu raščlanjenost reljefa.....30

Tab. 8. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vrstu profilne zakrivljenosti.....31

Tab. 9. Broj klizišta na pojedinim tipovima tla.....33

Tab. 10. Broj, gustoća i udio klizišta s obzirom na vrstu profilne zakrivljenosti.....34

Tab. 11. Broj klizišta na pojedinom tipu zemljišnog pokrova 38