GIS analiza ugroženosti padina klizištima na području Banovine

Jantoš, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:069975

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Ana Jantoš

GIS analiza ugroženosti padina klizištima na području Banovine

Diplomski rad

Zagreb
2022.

Ana Jantoš

GIS analiza ugroženosti padina klizištima na području Banovine

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

Zagreb
2022.

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

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

GIS analiza ugroženosti padina klizištima na području Banovine

Ana Jantoš

Izvadak: U pojedinim dijelovima Republike Hrvatske veliku opasnost predstavljaju klizišta kojima kao prirodnoj prijetnji nije dovoljno posvećena pozornost. Klizišta mogu biti velike prijetnje po ljudske živote i prouzrokovati velike materijalne štete, a kako bi se to spriječilo ili ublažilo, potrebno je napraviti sustavnu bazu klizišta, karte ugroze od klizanja te educirati populaciju. U radu je izvršena GIS analiza podložnosti klizanja tla na području Banovine. Analizirane su prirodnogeografske značajke područja te antropogeni čimbenici koji utječu na nastanak klizišta. Dakle, uz morfometrijske značajke reljefa; hipsometriju, nagib padina, ekspoziciju, napravljena je geološka i morfogenetska analiza, analiza hidrografske mreže, klimatoloških i pedoloških obilježja područja te analiza antropogenog utjecaja kod zemljišnog pokrova i izgradnje cestovne mreže. Za svaku od tih kategorija određena je pojavnost klizišta. U konačnici, modelom omjera frekvencija (FR model) dobivene su vrijednosti koje su poslužile izradi karte ugroženosti padina klizištima na području Banovine. Vrijednosti FR modela predstavljaju u kolikoj je mjeri pojedini faktor utjecao na klizanje tla. Na temelju podataka FR modela i prateće mu karte, doneseni su zaključci te su predložene mjere prevencije i sanacije klizišta.

53 stranica, 22 grafičkih priloga, 3 tablica, 25 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: GIS, prostorna analiza, Banovina, kliziše, model omjera frekvencija

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić
Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić
izv. prof. dr. sc. Mladen Pahernik
doc. dr. sc. Luka Valožić

Tema prihvaćena: 14. 1. 2021.
Rad prihvaćen: 10. 2. 2022.

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

GIS Analysis of Slope Threathing Spots by Landslide's in Banovina region

Ana Jantoš

Abstract: Landslides, which are not considered serious enough as a natural threat, represent a severe danger in certain areas of Croatia. Since the landslides can impose a serious threat to human lives and cause severe material damage, a system base of landslides, together with a threat map need to be created. In addition, educating people about the danger of landslides is equally important. This paper is based on a GIS analysis of susceptibility to landslides regarding the soil in the area of Banovina. The analysis includes physical-geographic features of the area and anthropogenic factors which affect the creation of landslides. So, considering morphometric features of the relief, alongside hypsometry, slope and aspect, a few important anayses have been performed – geological and morphogenetic, the analysis of hydrographic networks, together with climatological and pedological features, and the analysis of anthropogenic affect to soil cover and road network construction. The manifestation of landslides has been determined for each of the above-mentioned categories. Ultimately, the values, which were of great importance when creating the threat map of the slopes in regard to the landslides in Banovina, have been obtained by the frequency ratio (FR) model. The values of FR model represent how much every factor affected the occurrence of landslides. Certain conclusions have been made and measures for prevention and remediation of landslides were proposed based on the data collected by the FR model.

53 pages, 22 figures, 3 tables, 25 references; original in Croatian

Keywords: GIS, spatial analysis, Banovina, landslide, frequency ratio model

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Full Professor

Reviewers: Neven Bočić, PhD, Full Professor
Mladen Pahernik, PhD, Full Professor
Luka Valožić, PhD, Full Professor

Thesis title accepted: 14/01/2021

Thesis accepted: 10/02/2022

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

Sadržaj

1. Uvod 1
1.1. Cilj rada 1
1.2. Pregled dosadašnjih istraživanja 2
1.3. Definicija i pojam klizišta 3
1.3.1. Uzroci i pokretači kliženja 4
1.3.2. Tipovi klizišta 5
2. Fizičko-geografska obilježja Banovine 7
3. Metodologija rada i izvori podataka 8
4. Prostorni raspored poznatih klizišta 15
5. Veza izdvojenih prostornih obilježja Banovine i pojave klizišta 17
5.1. Geološke karakteristike 17
5.2. Morfometrijska obilježja reljefa 20
5.2.1. Hipsometrija 20
5.2.2. Nagib padina 21
5.2.3. Ekspozicija padina 23
5.3. Morfogenetska obilježja reljefa 24
5.4. Hidrografske karakteristike 26
5.5. Pedološke karakteristike 29
5.6. Klimatološke karakteristike 32
5.7. Zemljišni pokrov 36
5.8. Cestovna mreža 38
6. Analiza podložnosti padina na klizanje 40
7. Rasprava 46
8. Zaključak 47
Literatura 49
Izvori 53
Prilozi VII

1. Uvod

1.1. Cilj rada

Najzastupljenije prirodne prijetnje u Republici Hrvatskoj uz poplave i potrese je kliženja tla. Kliženje tla je najizrazitiji destrukcijski derazijski proces (Bognar, 1996, 28). Njihova pojava izaziva velike socio-ekonomske gubitke na području naselja, komunalnih vodoopskrbnih i vodozaštitnih objekta, na prometnicama te poljodjelskim i šumskim površinama. Klizišta predstavljaju veliki problem kod gospodarski veoma vrijednih područja jer onemogućuju njihovo iskorištavanje, no njihova pravovremena detekcija omogućuje smanjenje utroška vremena, energije i sredstava na gradnju i ono najvažnije, spašava ljudske živote (Bognar, 1996). Upravo zato ih je potrebno na vrijeme detektirati kako bi se ublažile socio-ekonomske posljedice te, ukoliko je to moguće, previdjeti ih i ta područja zaobići u smislu iskorištavanja prostora za neku svrhu. Problem s kojim se suočava RH je taj da na razini države ne postoji katastar klizišta koji bi bilježio pojavu klizišta, njihova obilježja te prouzročenu materijalnu štetu. Uz to, stanovništvo nije dovoljno upoznato s opasnostima kliženja kao niti s ostalim prirodnim prijetnjama koje se javljaju u Hrvatskoj. Kod gradnje kuća u potencijalno nestabilnim područjima potrebno je imati elaborat u kojem se definira način temeljenja buduće građevine što u RH nedostaje.

Cilj ovog rada je GIS analizom na području Banovine odrediti stupanj ugroženosti od pojave kliženja tla te rezultate prikazati kartografski. Temeljna hipoteza na kojoj se temelji analiza ugroženosti padinama kliženjem tla je ta da će se klizišta češće javljati na onim područjima koja imaju identična/slična fizičkogeografska i društvenogeografska obilježja kao prijašnja klizišta. Pobliže rečeno, tu se misli na geološku i pedološku podlogu, nagib padina, klimatološke, vegetacijske, hidrološke značajke, ali i na antropogeni utjecaj na okoliš kao što je infrastrukturna izgranja i devastacija vegetacije. Isto tako, pretpostavka je da broj klizišta opada s udaljenošću od vodenih tokova i prometnica te da većina klizišta nastaje tamo gdje je antropogeni utjecaj veći. Stoga je potrebno odrediti lokacije prijašnjih klizišta, uvjete u kojima su ona nastala te na temelju njih procjeniti mogući rizik od pojave novih.

1.2.Pregled dosadašnjih istraživanja

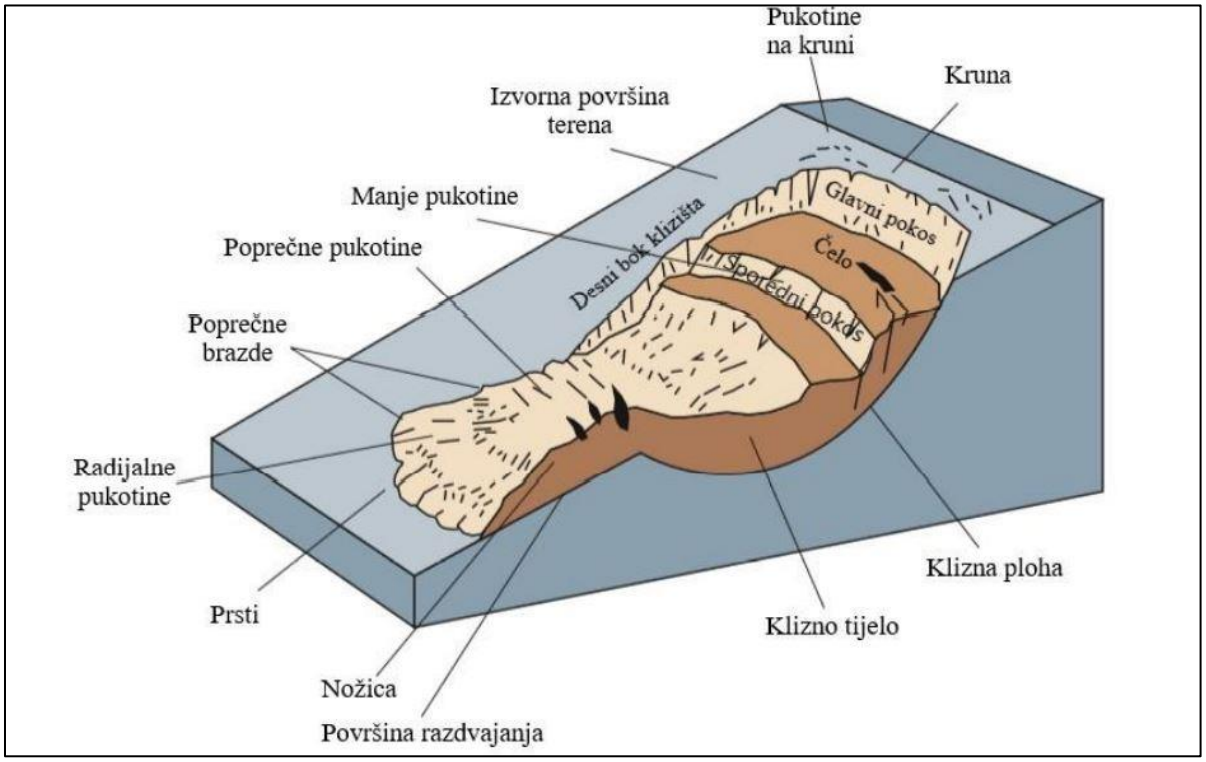
Tijekom godina uspostavljen je veliki broj metoda koje se mogu koristiti u analizama podložnosti tla na klizanje. Znanstveni i stručni radovi ovakve tematike su većim dijelom zastupljeniji u onim zemljama koje imaju znatno mnogobrojnije i intenzivnije pojave klizanja tla kao što su primjerice Kina, Italija, Austrija, Indija, Turska, Slovenija itd. Metode koje se mogu koristiti kod analiza ugroženosti padina klizištima se dijele na kvantitativne i kvalitativne metode (Yalcin i dr., 2011, prema Wang, 2017). Obje metode, i kvantitativne i kvalitativne, uključuju ideju rangiranja i ponderiranja čimbenika koji utječu na pojavu klizišta. Glavna razlika između ovih metoda je stupanj objektivnosti. Kvalitativne metode uključju analitičke hijerarhijske procese i njihove kombinacije, kao što su višekriterijske evaluacije i višekriterijske analize odluka, zatim kartiranje klizišta i stručnu procjenu. One su utemeljene na heurističkom pristupu koji se uglavnom oslanja na iskustvo stručnjaka (Zhou, 2016). Kvantitativne metode ovise o dobivanju vjerojatnosti klizanja od kvantitativnih tehnika (Erener i dr., 2015 prema Wang, 2017). Od kvantitativnih metoda najviše se koriste model težine dokaza kojim su se bavili: Neuhäuser i Terhorst, 2007; Pamela i dr., 2018; te model omjera frekvencija koji je korišten u radovima: Pradhan i dr., 2010; Lee i Sambath, 2006; Lee, 2008; Yilmaz, 2009; Pradhan i Lee, 2010 te Wang i Li, 2017. Sljedeća kvantitativna metoda je model logističke regresije primjenjen u sljedećim radovima: Ayalew i Yamagishi, 2005 te Bai i dr., 2010. Zatim slijedi indeks entropijskog modela obrađen u radovima: Pourghasemi i Devkota, 2013 te Wang i dr., 2015. Takozvani model stabla odluka korišten je u radovima: Al-Thuwaynee i dr., 2014 te Tsangaratos i dr., 2015. Uz navedene metode koriste se još i bivarijatna statistika u radovima Vujanović i Mihalić Arbanas, 2021 te Yalcin, 2008. Multivarijantnu analizu koristile su Baeza i Corominas, 2001., u svome radu o predviđanju ugroze klizanja. Svaka od metoda ima određenu pouzdanost te se one široko primjenjuju kod kartiranja osjetljivosti tla na klizanje. Odabir metode ovisi o ulaznim podacima, ali i o odabiru samog autora.

U Hrvatskoj je 1996. godine Andrija Bognar objavio rad „Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geoekološki aspekti“ (Bognar, 1996). U radu je prvi puta napravljena tipologija klizišta na području RH, ali i BiH. Sanja Lozić napisala je rad „Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske“ (Lozić, 1996). Ovaj rad je povezan sa problematikom derazijskih procesa, pa tako i klizištima. Brojne radove o pojavama klizanja napisala je profesorica Snježana Mihalić Arbanas s Rudarsko geološko naftnog fakulteta. Još se ističe i rad Loparića i Pahernika iz 2011. u kojem je GIS analizom napravljena karta podložnosti padina klizanju na području Grada Lepoglave. Evidencije klizišta u obliku

katastra klizišta na području Republike Hrvatske postoji samo za područje Grada Zagreba. Baza podataka o klizištima sa pripadajućim karakteristika ne postoji na razini države. Hrvatski geološki institut, u okviru SafEarth projekta, napravio je poratal na webu gdje je moguće prijaviti klizišta, no sama baza ne sadrži velik broj klizišta. U diplomskom radu Davora Šaguda iz 2015., napravljena je statistička analiza inventra klizišta Podsljemenske zone iz 1979. kojeg je izradila tvrtka Geotehnika-Geoexpert. O formiranju digitalnih baza podataka o klizištima u svijetu i u Hrvatskoj na primjeru dostupnosti podataka o klizištima riječkog područja, govori se u radu Faivre i dr., 2013.

1.3. Definicija i pojam klizišta

Pod klizanjem zemljišta podrazumijeva se kretanje tla ili stijenskog materijala s padine na kliznoj plohi pod utjecajem gravitacije. (Bognar, 1996, 28) Kod razvoja klizišta najveću ulogu ima oblikovanje klizne plohe koja je povezana s glinom ili glinovitim stijenama bogatim koloidalnim česticama. (Bognar, 1996) Klizišta se mogu prepoznati po početnim pokazateljima kao što su primjerice; pijana šuma, pucanje cijevi, nakošeni potporni zidovi ili neki drugi stabilnije učvršćeni objekti. Na Sl. 1 prikazani su osnovni dijelovi klizišta. Karakteriziraju ih klizna ispupčenja i valovite izdužene izbočine, čeone pukotine na samoj kruni klizišta te plitki strmci.



Sl. 1. Oblik rotacijskog klizišta i osnovni dijelovi klizišta

Izvor: prema Highland i Bobrowsky, 2008.

1.3.1. Uzroci i pokretači kliženja

Preduvjeti klizanja čine padinu osjetljivu na klizanje, ali ga ne iniciraju, već dovode padinu u stanje granične ravnoteže. Inicijalni uzroci su procesi koji iniciraju kretanje. Oni padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje (Lončar, 2017).

Primarni uzroci pojave klizišta:

1) Glinovite stijene u sastavu terena na kojem su oblikovane padine. Što je glinoviti sloj ili masa koja sudjeluje u sastavu veća, veća je i pogodnost za razvoj klizišta, osobito ako je propusni materijal na padini tanji.
2) Izmjena propusnih pjeskovitih i nepropusnih glinovitih slojeva na padinama. To je važno u slučaju debelog lesnog ili siltovitog površinskog pokrivača jer samo u takvim hidrogeološkim uvjetima može doći do oblikovanja klizne plohe.
3) Porast količine vode i hidrostatskog tlaka u stijeni što ovisi o mikroslojnoj strukturi gline i njenom vodnom kapacitetu. O tim osobinama ovisi i promjena njenog volumena, odnosno njeno "bubrenje" što je odlučujući čimbenik za razvoj i jačinu pojave (Bognar, 1996).

Osim navedenih primarnih čimbenika, treba dodati i neke, na prvi pogled manje važne, koji bitno određuju tipološke osobine klizišta (Bognar, 29, 1996). Sekunadrni čimbenici odnose se na; Tektonske pomake, nasipavanje vršnog dijela padine, fluvijalnu eroziju, devastaciju vegetacije, abraziju, navodnjavanje, potkopavanje padine (npr. uslijed velikih vodostaja itd.), miniranje i druge vibracije (npr. uzrokovane radom teške mehanizacije) te prirodno nakupljanje materijala na vršnom dijelu padine (Highland i Bobrowsky, 2008).

Pokretači, tzv. okidači, klizišta odgovorni su za pokretanje klizanja materijala na padinama. Prema Highlandu i Bobrowskom, ističu se sljedeći okidači klizanja; duge i/ili intenzivne oborine, potresi, brzo kopnjenje snijega, sezonsko oblikovanje leda u tlu, poplave i vulkanske erupcije (Highland i Bobrowsky, 2008).

1.3.2. Tipovi klizišta

U svijetu postoji više tipologija klizišta koje su široko u upotrebi, a neke od njih su tipologija prema Varnesu i Hungrova modificirana Varnesova tipologija. Varnes je odredio vrste klizišta prema tipu pokreta na temelju kojih je determinirao rotacijska, translacijska i složena klizišta. Rotacijska klizišta predstavljaju kretanje kliznog tijela po zakrivljenoj plohi i konkavnoj plohi (Cruden i Varnes, 1996, 28). Kod translacijskih klizišta dolazi do klizanja mase na ravnoj ili valovitoj plohi klizeći preko izvorne površine tla. (Cruden i Varnes, 1996, 29). Složena klizišta su kombinacija rotacijskog i translacijskog klizišta (Cruden i Varnes, 1996, 30). S druge strane, Hungrova modificirana Varnesova klasifikacija klizišta ima 32 vrste klizišta od kojih svako ima prateću definicju (Hungr i dr., 2014).

Kod nas se najčešće koristi Bognarova tipologija. Bognar je na području Republike Hrvatske te Bosne i Hercegovine izdvojio šest tipova klizišta prema prostornom i geometrijskom tipu oblikovanja klizne plohe. Prema tome se mogu izdvojiti sljedći tipovi klizišta: tepih ili slojna klizišta, rotacijska klizišta, stepeničasta klizišta, blok klizišta, složena "stijenska" klizišta i klizišta potoci (naziv prema Panjukov 1965).

Tepih ill slojna klizišta oblikuju se u slučaju kad je glinovita klizna ploha blago nagnuta u pravcu padine, a propusni sedimentni pokrivač iznad klizne plohe je relativno tanak. Klizna ploha je najčešće diskontinuiranog razvoja i njen pad se poklapa s nagibom temeljne stijene na kojoj je oblikovana. Klizni pokreti se vežu za vlažnija razdoblja godine te su periodični (Bognar, 1996).

Rotacijska klizišta se oblikuju se na padinama u čijem sastavu dominiraju gline, izluženi les ili lesu slični sedimenti (glinovita ilovača). Klizna ploha se oblikuje unutar samog glinovitog sloja, a klizište može biti položeno iznad, ispod ili u ravnini padinskog podnožja (Bognar, 1996).

Stepeničasta klizišta karakteristična su za strme lesne odsjeke uz Dunav i Dravu. Ona su najizrazitiji destrukcijski derazijski procesi te kao takva nanose najteže posljedice naseljima, komunalnim, vodoopskrbnim i vodozaštitnim objektima i prometnicama izgrađenim u neposrednom priobalju rijeka. Osnovna značajka lesnih naslaga je ta da se gubitkom prirodne stabilnosti stepeničasto urušavaju uz okomit zid fronte (Bognar, 1996).

Blok klizišta predstavljaju razmjerno veoma spore padinske procese. Ovaj tip klizišta se razvija uz rubove strukturno-denudacijskih stepenica, strmaca i to u slučaju ako veći odlomljeni komadi, odnosno blokovi stijena, naliježu na glinovitu podlogu. Svojom težinom se utiskuju u glinu (fliš) koja, ako je proces dugotrajan, postaje plastična i djelomično bude istisnuta. Isto tako se oblikuje niz manjih kliznih ploha duž kojih se blok postupno kreće niz padinu. Kod blok klizišta, klizni pokreti ne prelaze vrijednosti od nekoliko milimetara godišnje (Bognar, 1996).

Složena stepeničasta klizišta karakterizira to što je klizna ploha velikog nagiba te se uobičajeno oblikuje visoko iznad podnožja planine. Ova vrsta klizišta uzrokuje katastrofalno razaranje jer se materijal zahvaćen kliženjem kreće velikom brzinom. Ukoliko slojevi na padinama imaju sinklinalni tip građe, veće su mogućnosti za oblikovanje ovakvog tipa klizišta. Dužina klizišta je obično velika i do nekoliko stotina metara. Osim klizanja, tijekom procesa se mogu uočiti i urušni pokreti koji su karakteristični za padine građene od čvrstih i polučvrstih stijena koje se odlikuju anizitropnošću fizičkih svojstava (Panjukov 1965 prema Bognar, 1996).

Klizišta potoke karakterizira klizna ploha paraboličnog oblika i razvija se kao i kod prethodne vrste klizišta, visoko iznad podnožja planine. Klizni materijal se postupno premješta niz padinu. Ukoliko je promoćen vodama izvora, postaje plastičan i otječe niz padinu oblikujući jezik klizišta u njenom podnožju. Osnovna pretpostavka oblikovanja takvih klizišta je razmjerno debeo pokrivač lesu sličnih sedimenata ili siltovitog (ilovastog) materijala, velik nagib padine te neko paleoudubljenje u kojem se nakuplja voda temeljnica koja zbog debelog pokrivača već spomenutih naslaga ne može izbiti na površinu. Voda temeljnica, otječući paleoudubljenjem, vlaži podinu pokrovnih naslaga koje time gube na svojoj povezanosti i vertikalnoj postojanosti. Kao posljedica takvog razvoja oblikuje se klizna ploha, materijal na njoj gubi stabilnost i klizi niz padinu (Bognar, 1996).

2. Fizičko-geografska obilježja Banovine

Područje Banovine prostire se na površini oko 2056 km^2 te kao takvo čini 46% Sisačko-moslavačke županije (sl. 2). Administrativno zahvaća područje općina Dvor, Petrinje, Gline, Hrvatske Kostajnice, Donji Kukuruzari, Majur, te dijelove općina Topusko, Gvozd, Sisak, Sunja, Hrvatska Dubica, i vrlo malim dijelom Jasenovac. Banovina je okružena Bosnom i Hercegovinom na jugu, Kalovačkom županijom na zapadu, na sjeveru Zagrebačkom županijom, dok se istočno nalazi ostatak Sisačko-moslavačke županije.

Andrija Bognar (2001) izradio je geomorfološku regionlaizaciju Republike Hrvatske prema kojoj područje Banovine obuhvaća gotovo polovicu teritorija Sisačko-Moslavačke županije. Granicu istočnog dijela istraživanog područja prati velika rasjedna zona dužine oko 44 km^2 , koja geomorološki odvaja ovo područje od Posavsko-moslavačog. Sjeverni dio prati tok rijeke Kupe te sjeverozapadni pritok Velike Trepče. Na priloženoj karti Sl. 2 može se vidjeti da istraživano područje pripada prvoj megageomorfološkoj regiji tj. Panonskom bazenu. Ovu kategoriju odlikuju velike strukturnogeomorfološke i geotektonske cjeline. Makrogeomorfološke regije su u pravilu velike strukturno geomorfološke, regionalne cjeline kojima je opći geomorfološki razvoj i dinamika morfoevolucijski gledano duže vrijeme jedinstven. Prema makrogeomorfološkim karakteristikama Banovina je svrstana u kategoriju 1.3., odnosno Zavalu Sjeverozapadne Hrvatske. Makrogeomorfološke regije se sastoje od morfogenetski sličnih mezogeomorfoloških regija. Promatrajući njihove kartakteristike, istraživano područje pripada mezogeomorfološkoj regiji 1.3.6.; Gorski masivi Zrinjske i Trgovske gore s Banijskim i Petrinjsko-Sunjskim pobrđem. One su izdvojene na temelju hidro-orografskih karakteristika, morfoevolucijskih i geoloških značajki. Niža razina od mezogeomorfoloških regija su subgeomorfološke regije. Mezogeomorfološka regija 1.3.6. obuhvaća pet subgeomorfoloških regija, a to su 1.3.6.1. Zrinjska gora, 1.3.6.2. Trgovska gora, 1.3.6.3. Dvorska zavala, 1.3.6.4. petrinjsko-Sunjsko pobrđe, 1.3.6.5. Banijsko pobrđe. U tu taksonomsku jedinicu uvrštene su reljefne cjeline geomorfološki istovrsnog tipa koje su morfoevolucijski međusobno povezane, no u odnosu na svoju okolinu, sastavljene su od morfofacijesnih grupa1 koje su u manjoj ili većoj mjeri neovisnijih značajki u strukturnom i orografskom smislu (Bognar, 2001).

1 Predstavlja najmanje homogene prostorne jedinice reljefa. Uniformiran im je geološki sastav i građa, ima jedinstveni morfogenetski razvoj, nastanak i orografske datosti: npr: dolinska ravan, vršni dio predgorskog rebra, plavine manjih vodotoka, krška uvala itd. (Bognar, A., 2001., str. 13)

Sl. 2. Geografski i geomorfološki položaj Banovine
Izvor: Napravljeno prema Bognar 2001.

3. Metodologija rada i izvori podataka

Metodologija rada se temelji na prikupljanju različitih izvora podataka, njihovoj obradi uz pomoć GIS-a te u končnici analizi rezultata. GIS analiza je provedena u okviru ESRI-jevog ArcGIS Desktop paketa. ArcMap 10.7 korišten je u svrhu provođeja različitih operacija, izračuna i izrade karte. ArcCatalog je upotrebljen za izradu baze podataka, ArcToolbox korišten je za izvršavanje raznih prostornih anliza podataka, ArcGIS online za preuzimanje slojeva klizišta, te ArcScene za izradu modela ulaznih podataka. Sve analize napravljene su u službenoj projekciji za teritorij Republike Hrvatske; *HTRS96 Croatia TM*.

Prvi korak u analizi bio je utvrditi lokacije dosadašnjih klizišta kako bi se na temelju njih moglo utvrditi koji su uvjeti prethodili kliženju tla. Slojevi klizišta preuzeti su iz baze projekta SafEarth (iz programa Interreg IPA CBC Hrvatska-Bosna i Hercegovina-Crna Gora 2014-2020). Projekt je započeo 2017. i trajao dvije i pol godine, a sufinanciran je sredstvima EU i

zemljama partnera. Na web stranicama SafEarth projekta uspostavljen je WMS portal za prijavu klizišta gdje se pomoću prostornog smještaja i kratkim opisom mogu prijaviti postojeća klizišta u okviru navedenih zemalja. Ažuriranjem dojava je stvorena prostorna baza o klizištima koja je javno dostupna. Uz pomoć ArcGIS online preuzeti su slojevi iz baze i dalje su prikazani uz pomoć ArcGIS Desktopa. Napravljena je i karta gustoće klizišta za što je korišten alat *Kernel Density*. Dostupni podaci su vektorskog točkastog oblika te treba uzeti u obzir utjecaj takvog tipa podatka na rezultate.

Zatim je slijedila obrada ostalih ulaznih podataka za izradu analize rizika klizanja tla. Za analizu su odabrani sljedeći podaci: nagib padina, ekspozicija padina, litološka podloga i rasjedi, drenažna mreža, cestovna mreža, padaline, tlo i zemljišni pokrov. Navedeni podaci korišteni su u analizi jer najviše pogoduju nastanku klizišta. U većini stručne literture koja se bavi sličnom problematikom, podaci poput hipsometrije i morfogenetskih obilježja, izostavljeni su iz GIS analize rizika klizanja jer preopterećuju algoritam izračuna indeksa klizanja, a nemaju velik utjecaj na konačne rezultate.

Za orijentacijsku kartu i kartu geomorfološkog položaja Banovine su korišteni slojevi administrativnih granica *SRPJ-a* te slojevi *geofabrika*. Područje istraživanja je vektorizirano prema georeferenciranoj karti geomorfološke klasifikacije Republike Hrvatske Andrije Bognara.

Geološka građa terena je analizirana na temlju Osnovne geološke karate (OGK) Republike Hrvatske mjerila 1: 100 000 napravljene od strane Hrvtaskog geološkog instituta. Korištene su karte listova Karlovac, Slunj, Sisak, Bosanski Novi, Kutina i Kostajnica koje je prethodno bilo potrebno georeferencirati u projekciji *MGI_3_Degree_Gauss_Zone_5* te prebaciti u *HTRS96 Croatia TM*. Kako bi se šest geoloških karata spojilo u jednu, korišten je alat *Mosaic To New Raster* te je područje zatim izrezano (*Clip* alat) s istraživanim područjem nakon čega je uslijedila vektorizacija litostratigrafskih jedinica i rasjeda te provjera topologije. Rasjedi su isto tako digitalizirani s navedinh listova OGK. Uz pomoć alata *Euclidean Distance* napravljene su zone udaljenosti od rasjeda koje su zatim reklasificirane u tri klase. Kako bi se dobio ljepši, zaglađeniji prijelaz zona udaljenosti, koristio se alat *Focal statistic* gdje je zadan radijus kružnog susjedstva od 100 metara. To je uvelike utjecalo kod vizualizacije izlaznog rastera analize klizanja.

Izvor podataka najvećeg značaja koji je korišten prilikom analiza geomorfoloških karakteristika je digitalni model visina (DEM). DEM je uređen ili neuređen digitalni set

visinskih točaka na Zemlji za prikaz terena. Predstavlja model čiste površine zemlje na kojoj nema drveća, zgrada ili drugih objekata (Zhou, 2017). Korišten je DEM rezolucije 10x10 m. To označava da svaka ćelija rastera obuhvaća površinu 100 m^2 te ima pohranjen podatak o nadmorskoj visini. Iz DEM-a su generirane hipsometrijska karta, karta nagiba, ekspozicije te karta dolinske mreže. Uz pomoć Excela napravljeni su grafovi na temelju izvedenih kartografskih podataka. Hipsometrijska karta napravljena je *Ručnom (Manual) metodom klasifikacije* DEM -a za svakih 50 metara u 12 klasa kojima su zatim pridružene odgovarajuće boje. Nagib padina napravljen je uz pomoć Spatial Analyst-a, alatom *Slope*. U postavkama rasterskog sloja napravljena je njegova klasifikacija gdje su postavljene standardne klase nagiba padina s odgovarajućim bojama u simbologiji. Ekspozicija je generirana uz pomoć alata *Aspect,* a u Excelu su napravljeni prateći grafički prikazi.

Morfogenetski tipovi reljefa napravljeni su uz pomoć WMS-a Topografske karte (TK) Republike Hrvatske te Hrvatske osnovne karte (HOK) preuzetih sa web stranice Državne geodeske uprave (DGU). TK je u mjerilu 1:25 000, a HOK mjerila 1:5000. Za obje karte je referentna 2010. godina. Uz pomoć izohipsi, prateće topografske simbologije, geološke karte, ali i korištenjem *hillshade* sloja Banovine napravljenog uz pomoć DEM-a, vektorizirani su tipovi reljefa koji su zbog veličine istraživanog područja generalizirani.

Karta drenažne mreže odnosno karta dolinske mreže, napravljena je na temelju DEM-a korištenjem *Toolbox-a Hydrology.* Prvo je korišten alat *Fill* kako bi uredili i popunili DEM, tj. negativne forme u DEM-u koje mogu nastati greškom prilikom interpolacije. Zatim je Korišten alat *Flow Direction* koji određuje moguće smjerove tečenja tokova iz pojedine ćelije DEM-a na temelju nadmorske visine središnje ćelije i okolnih ćelija. Na poslijetku, *Flow Accumulation*-om je generirana dolinska mreža. Alat *Stream Order* koristio se kako bi se dobio red tekućica prema *Strahlerovoj metodi klasifikacije* nakon čega su dalje izdvojene samo tekućice većeg reda. Kao pozadina karte, napravljen je *Hillsade.* Za daljnju analizu broja klizišta napravljena je gustoća drenažne mreže dobivena uz pomoć alata *Line Density*. Nakon toga je klasificirana metodom *Natural breaks (Jenks)* te joj je pridružena odgovrajuća skala boja.

Klimatske karakteristike su analizirane na temelju podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda. Za izradu klimadijagrama korišteni su podaci klimatoloških postaja Hrvatska Kostajnica, Petrinja i Topusko u dvadesetogodišnjem vremenskom razdoblju od 1999. do 2018. godine. Klimatološka postaja Petrinja 2006. godine bilježi prekid u mjerenjima temperature za mjesece veljača, srpanj, kolovoz i rujan, zatim za cijelu 2007.

godinu, isto tako i za mjesec sječanj i veljača 2008. godine, veljaču 2009. godine, prosinac 2010., studeni i prosinac 2011., i na posljetku siječan, veljača i ožujak 2012. godine. Kod padalina je isto zabilježen prekid u mjerenjima za 2007. godinu od veljače do kraja iste godine. Nadalje, u 2008. godini je zabilježen prekid u mjerenjima za sječanj i veljaču, 2009. u siječnju, 2010. u prosincu, 2011. godine u lipnju, studenom i prosincu, te u 2012. godini za prva tri mjeseca. Klimatološka postaja Topusko isto tako ima prekide u mjerenjima za padaline od svibnja do prosinca 2007. godine te u siječnju 2008. Kod temperature je prekid podataka zabilježen od travnja do prosinca 2007. godine te u siječnju 2008.

Kako bi se izradila karta prostorne raspodjele padalina na području Banovine, koristili su se visinski podaci postaja i podaci o padalinama za klimatološke postaje Hrvatska Kostajnica, Kutina, Lekenik, Novska, Petrinja, Stružec, Sunja, Topusko, te podaci kišomjernih postaja Blinjski kut, Glina, Jasenovac, Lonja, Mečečani, Osekovo i Potok. Korišteni su podaci o padalinama iz desetogodišnjeg vremenskog razdoblja, od 2009. do 2018. godine. Kišomjerna postaja Blinjski kut ima kratak prekid u mjerenju količina padalina samo u rujnu 2016. godine. Nadalje, Kutini nedostaju podaci iz 2009. za siječnj i veljaču, za Lekenik nedostaju podaci o padalinama u siječnju 2009. te u drugom, trećem i četvrtom mjesecu 2010. godine. Na posljetku, kišomjernoj postaji Mečečani nedostaju podaci o padalinama samo u mjesecu siječnju 2017. godine. Na temelju ovih podataka, u *Excelu* je napravljena jednadžba linearne regresije koja je dalje korištena u GIS-u. Jednadžbom se nastojala utvrditi korelacija nadmorske visine i količine padalina, zatim je ista uvrštena u *Raster calculator* i primjenja na sloj DEM-a kako bi se dobio prikaz padalina po nadmorskim visinama.
Jednadžba linearne regresije glasi:

$$y = 2{,}4681_x + 646{,}86$$

$$R^2 = 0{,}1176$$

Raspodjela padalina je 11,76% objašnjena nadmorskom visinom, tj. da količina pdalina raste s porastom nadmorske visine. Taj podatak nije toliko značajan te nije primjeren, no daje puno bolje rezultate prostorne raspodjele padalina od metoda interpolacije.

Pedološka karta napravljena je na temelju pedološke karte web stranice Tlo i biljka iz 2018. godine preko WMS sloja.

Corine Land Cover pruža različe vrste podataka, a jedni od njih su i podaci o načinu iskorištavanja zemljišta preuzeti sa stranica Hrvatske agencije za okoliš i prirodu (HAOP). CLC Hrvatska predstavlja digitalnu bazu podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova Republike Hrvatske za razdoblje od 1980. do 2018. prema standardiziranoj CORINE nomenklaturi i metodologiji čime je osigurana konzistentnost i homogenost podataka na razini cijele Europske Unije. Za izradu karte načina iskorištavanja zemljišta na području Banovine korišten je WFS CLC-a iz 2018. godine. Sloju je pridodana odgovarajuća simbologija boja prema standardu CLC-a.

Napravljena je i analiza udaljenosti klizišta od cesta za koje je korišten vektorski sloj *geofabrika*. Alatom *Euclidean Distance* kreirane su zone udaljenosti od cesta te su reklasificirane u 4 klase kako bi se odredio broj klizišata u pojedinoj klasi. Isto kao i kod rasjeda, da bi se dobio zaglađeniji prijelaz zona udaljenosti, koristio se alat *Focal statistic* gdje je zadan radijus kružnog susjedstva od 100 metara.

Kod određivanja broja klizišta određene klase pojedinog faktora klizanja, rasterski slojevi su prvo pretvoreni u poligonske alatom *Raster to polygon*. Zatim je uslijedilio korištenje alata *Intersect* za preklapanje slojeva faktora koji utječu na klizanje sa slojem klizišta. Nakon toga je alatom *Dissolve* dobivena tablica broja klizišta u pojedinoj klasi svakog sloja. Ti podaci su korišteni u daljnjoj izradi karte rizika klizanja tla.

Za izradu kartografskog prikaza rizika ugroženosti od kliženja tla koristili su se sljedeći slojevi: nagib padina, ekspozicija padina, litologija i rasjedi, drenažna mreža, cestovna mreža, padaline, tlo i način iskorištavanja zemljišta. Kako bi analiza bila moguća, odnosno preklapanje rastera, bilo je potrebno utvrditi da su svi iste prostorne rezolucije 10m, istih formata i ono najvažnije, istih projekcija. Zatim su se vektorski slojevi pretvoreni u rasterske alatom *Polygon to Raster* kako bi se svi slojevi mogli preklopiti i dalje analizirati. Sljedeći korak je bila reklasifikacija svakog rastera nakon čega su u atributnoj tablici bili sadržani brojevi piksela po klasama koji su kasnije korišteni kod modela omjera frekvencija za analizu rizika klizanja.

Model omjera frekvencija (*Frequency Ratio model* (FR)) korišten je u daljnjoj analizi rizika klizanja, a za njegov izračun je upotrebljen *Excel*. FR metoda je jedna od najčešćih metoda koja se koristi u statističkoj analizi klizišta, tj. utemeljena je na prostornom rasporedu klizišta i površini svakog faktora njegova nastanka (Zhou i dr., 2016). Kako je naveo Bonham-

Carter, model omjera frekvencija predstavlja mogućnost pojave za danu karakteristiku (Bonham-Carter 2014 prema Wang, 2017). FR model je jednostavan geoprostorni alat za procjenu koji se temelji na uočenim odnosima između distribucije lokacije nastanka klizišta i svakog čimbenika zasebno koji utječe na pojavu klizišta, a koristi se kako bi se otkrila povezanost između njih. Vrijednosti veće od 1 ukazuju na velik udio pojave klizišta na području i visoku korelaciju. Suprotno tome, FR vrijednost manja od 1 ukazuje na slabu korelaciju (Nourani i dr. 2014 prema Wang, 2017). Sljedeća jednadžba ukazuje na FR algoritam koji je korišten u analizi rizika kliženja:

$$FR = \frac{N_i^l / N^l}{N_i^p / N^P}$$

N_i^l- odnosi se na broj klizišta u svakoj klasi određenog faktora klizanja
N^l – predstavlja ukupan broj klizišta na cijelom istraživanom području
N_i^p- predstavlja broj piksela svake klase faktora klizanja
N^P- odnosi se na ukupan broj piksela na istraživanom području

Budući da su za analizu rizika kliženja tla bili dostupni samo vektorski točkasti podaci klizišta, formula je bila prilagođena tome te je izvorno u formuli broj piksela klizišta zamijenjen brojem klizišta na temelju kojih je izračunat postotak njihova udjela po klasama, a princip računanja je ostao isti.

Nakon izračuna omjera frekvencija, dobivene vrijednosti pretvorene su u cijele brojeve kako bi se mogle unijeti kao nove rasterske vrijednosti. To je napravljeno uz pomoć formule za relativnu frekvenciju nakon čega su te vrijednosti zaokružene na cijele brojeve. Frekvencija kategorije se odnosi na broj izmjerenih vrijednosti varijable koje pripadaju danoj kategoriji, a relativna frekvencija kategorije označava broj izmjerenih vrijednosti varijable koje pripadaju danoj kategoriji podijeljen ukupnim brojem izmjerenih vrijednosti za ispitivanu varijablu. (Horvat i Mijoč, 2014).

Formula glasi relativne frekvencije glasi:

$$RF = \frac{f^i}{n}$$

RF -oznaka za relativnu frekvenciju

f^i- frekvencija pojedine kategorije (u ovom slučaju pojedine klase faktora klizanja)

n – broj izmjerenih vrijednosti

(Horvat i Mijoč, 2014).

Nakon izračuna FR modela i RF u excelu, slijedilo je dodjeljivanje dobivenih težinskih vrijednosti svake pojedine klase određenog faktora. To je napravljeno ponovno uz pomoć alata *Reclassify*. To znači da su rasterima dodijeljene nove težinske vrijednosti koje predstavljaju utjecaj pojedinog elementa na pogodnost klizanja.

U konačnici je izračunat indeks podložnosti klizanja tla (Landslide Susceptibility Indeks LSI) zbrajanjem rastera koji sadrže RF vrijednosti, uz pomoć *Raster Calculatora.* Formula LSI glasi:

$$LSI = FR_1 + FR_2 + FR_3 + \cdots FR_n$$

LSI- indeks podložnosti klizanja tla

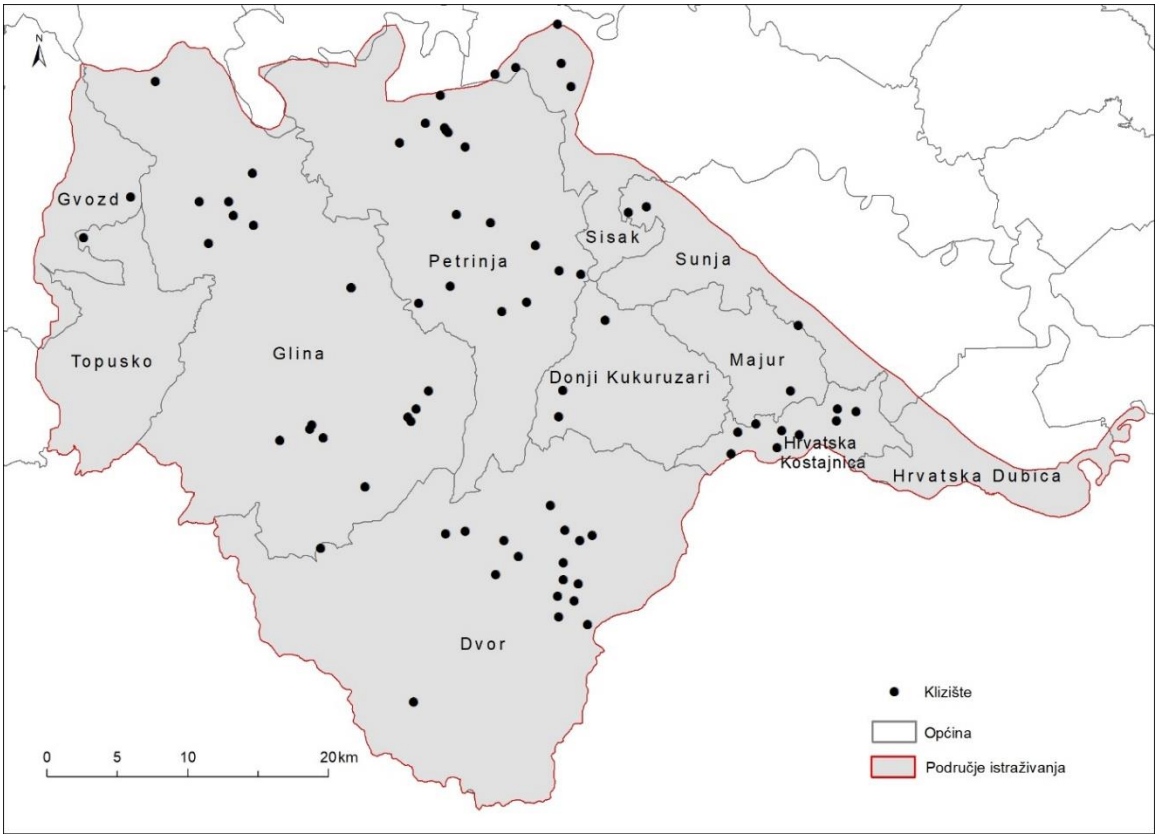
FR - omjer učestalosti frekvencija

n –označava ukupan broj čimbenika povezanih s klizištima

(Ozdemir i Altural 2013 prema Wang, 2017).

4. Prostorni raspored poznatih klizišta

Prostorni raspored klizišta na istraživanom području vidljiv je na Sl. 3. Na Banovini je za razdoblje od 2017. do 2019. godine, u okviru projekta SafEarth, zabilježeno 75 klizišta. Najveći broj kizišta zabilježen je na području općina Dvor, Glina i Petrinja što se može vidjeti u Tab. 1.



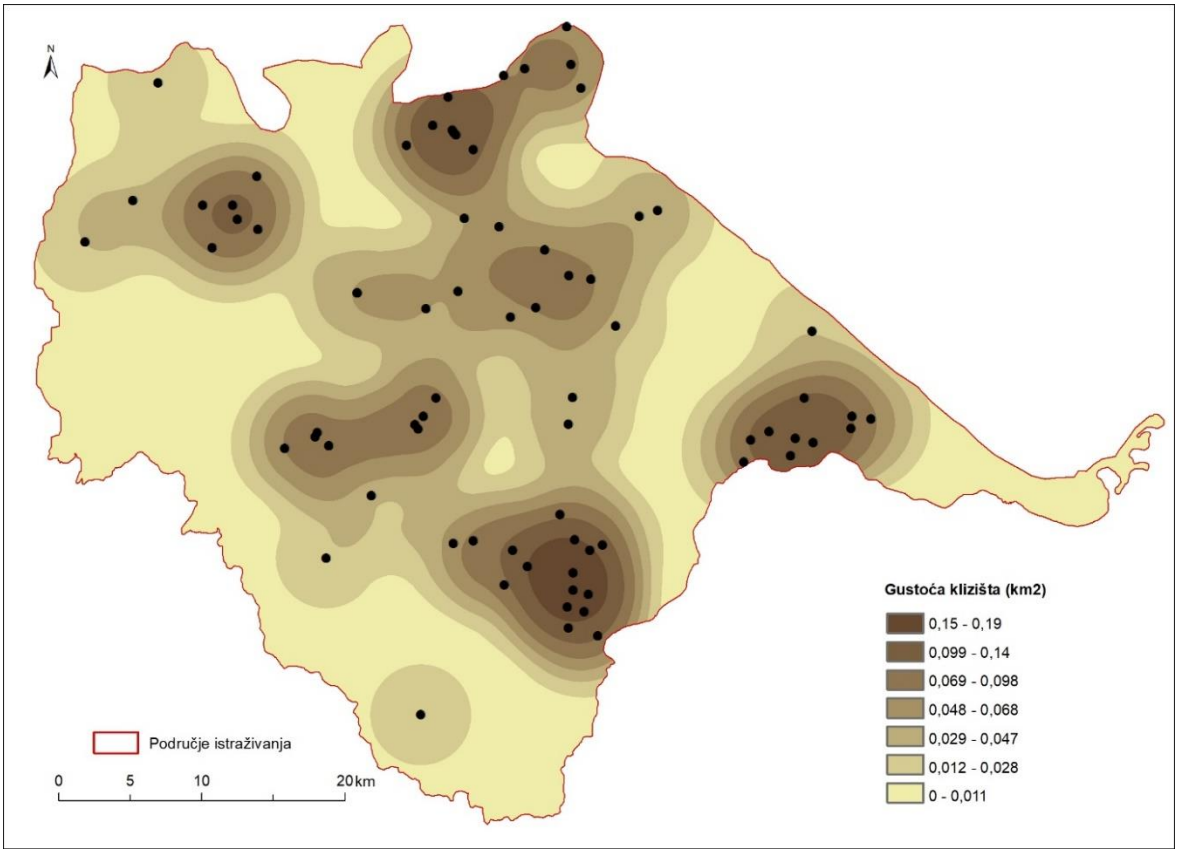
Sl. 3. Prostona raspodjela klizišta na području Banovine
Izvor: Izrađeno prema bazi podataka SafEarth-a

Tab. 1. Broj klizišta po općinama na području Banovine

Općina	Broj klizišta
Donji Kukuruzari	3
Dvor	18
Glina	18
Gvozd	1
Hrvatska Kostajnica	9
Majur	1
Petrinja	16
Sisak	5
Sunja	3
Topusko	1

Izvor: Izrađeno prema bazi podataka SafEarth-a

Na (Sl. 4) prikazana je prostorna raspodjela gustoće klizišta na Banovini. Veća je vjerojatnost da će se nova klizišta pojaviti na mjestima veće koncentracije klizišta, tj. veće gustoće klizišta. Najveća koncentracija klizišta prati područja pobrđa i gora na Banovini. Najveća gustoća klizišta iznosi od 0,15 do 0,19 klizišta po kvadratnom kilometru.



Sl. 4. Gustoća klizišta na području Banovine

5. Veza izdvojenih prostornih obilježja Banovine i pojave klizišta

5.1.Geološke karakteristike

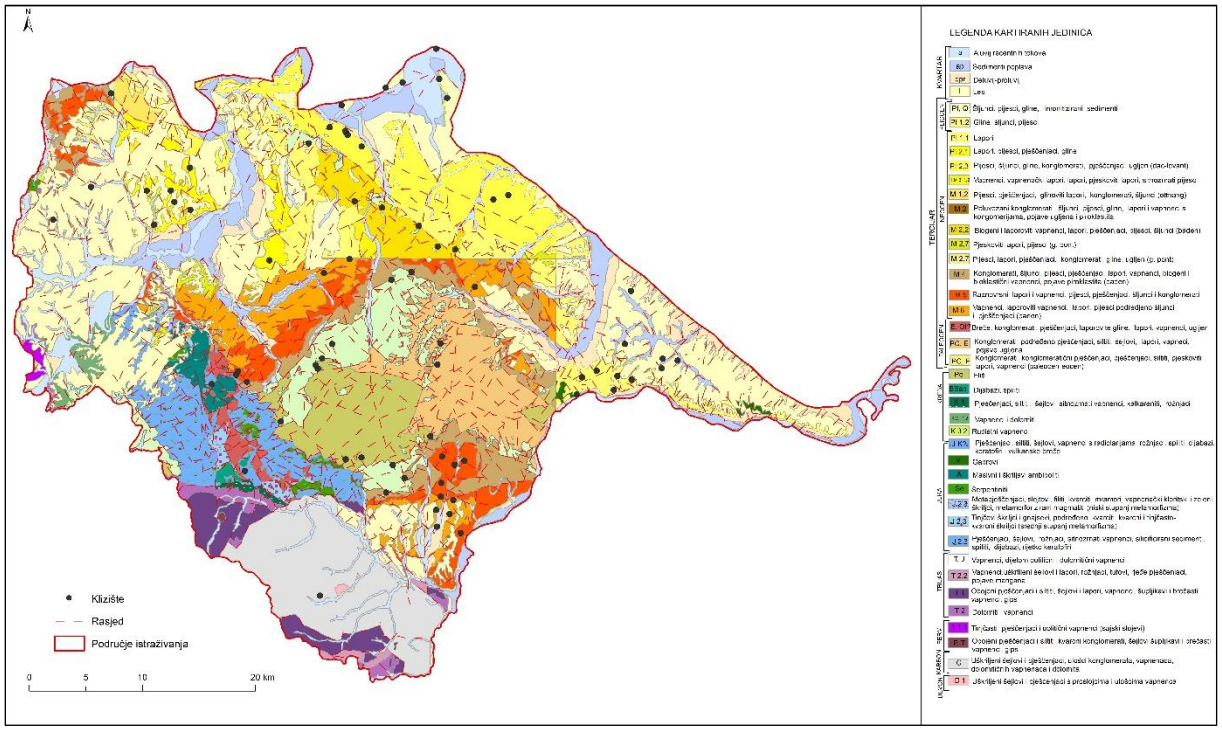
Klizišta se mogu dogoditi u bilo kojoj vrsti stijene. Neka klizišta se događaju kao iznenadni dinamički događaj na padinama koje su prije toga dugo bile stabilne (Mihalić 2007. prema Lončar 2017). Geološka građa je vrlo važan čimbenik kod oblikovanja reljefa. Ona uz hidrografske i pedološke karakteristike ima veliku ulogu kod pojava klizanja. U Hrvatskoj se klizišta najčešće javljaju u magmatskim, sedimentnim i metamorfnim stijenama različite geološke starosti (Lončar, 2017, 84). To su područja čija je stabilnost padina poremećena tektonikom. Uz litološku različitost i stupanj trošnosti površinskih dijelova terena uzrokovane egzodinamskim faktorima i djelovanjem podzemne vode dolazi do slabljenja kohezijskih sila među česticama. To dovodi do smanjenja čvrstoće materijala na padini što pogoduje nastanku klizišta (Šestanović 2001 prema Lončar, 2017). U mlađim stijenama su klizišta veća te uzrokuju znatne materijalne štete (Lončar, 2017).

Područje Banovine ima vrlo heterogenu geološku građu. Ispresjecano je rasjedima različitog usmjerenja i bogato je razvedeno dubokim potočnim dolinama kao što je vidljivo na Sl. 5 (Matas 2010 prema Križe, 2019). Litološki je bogato raznovrsnim stijenama starosti od devona sve do kvartara. U sjevernom dijelu istraživanog područja prevladavaju litološki mlađe jedinice iz doba kvartara, pliocena i neogena. Središnji dio istraživanog područja građen je od stijena nastalih u paleogenu, i mezozoiku, dok krajnji južni i jugozapadni dijelovi čine stijene paleozoika i trijasa. Proučavajući litološku građu prostora Banovine, može se uočiti da su najvećim dijelom zastupljene sedimentne stijene. Šljunci, pijesci, gline i limonitizirani sedimenti pliocenske starosti se prostiru na 18,6% površine što je ujedno i najzastupljenija litološka jedinica. Zatim slijede kvartarne aluvijalne naslage recentnih tokova, uškriljeni šejlovi i pješčenjaci, ulošci konglomerata, vapnenaca, dolomitičnih vapnenaca i dolomita iz devona, te pijesci, šljunci, gline, konglomerati, pješčenjaci i ugljen neogenske starosti. Svaka od navedenih kategorija čini oko 5% površine.

Litologija ima velik značaj kod formiranja klizišta jer o njoj ovisi matični supstrat od kojeg se formira pedološka podloga. Klizišta se obično javljaju u sitnozrnim materijalima kao što su škriljci i nekonsolidirani aluvij. Za njihov nastanak je važna izmjena propusnih i nepropusnih stijena. Isto tako, raspodjela kutova nagiba unutar područja izdanaka geološke

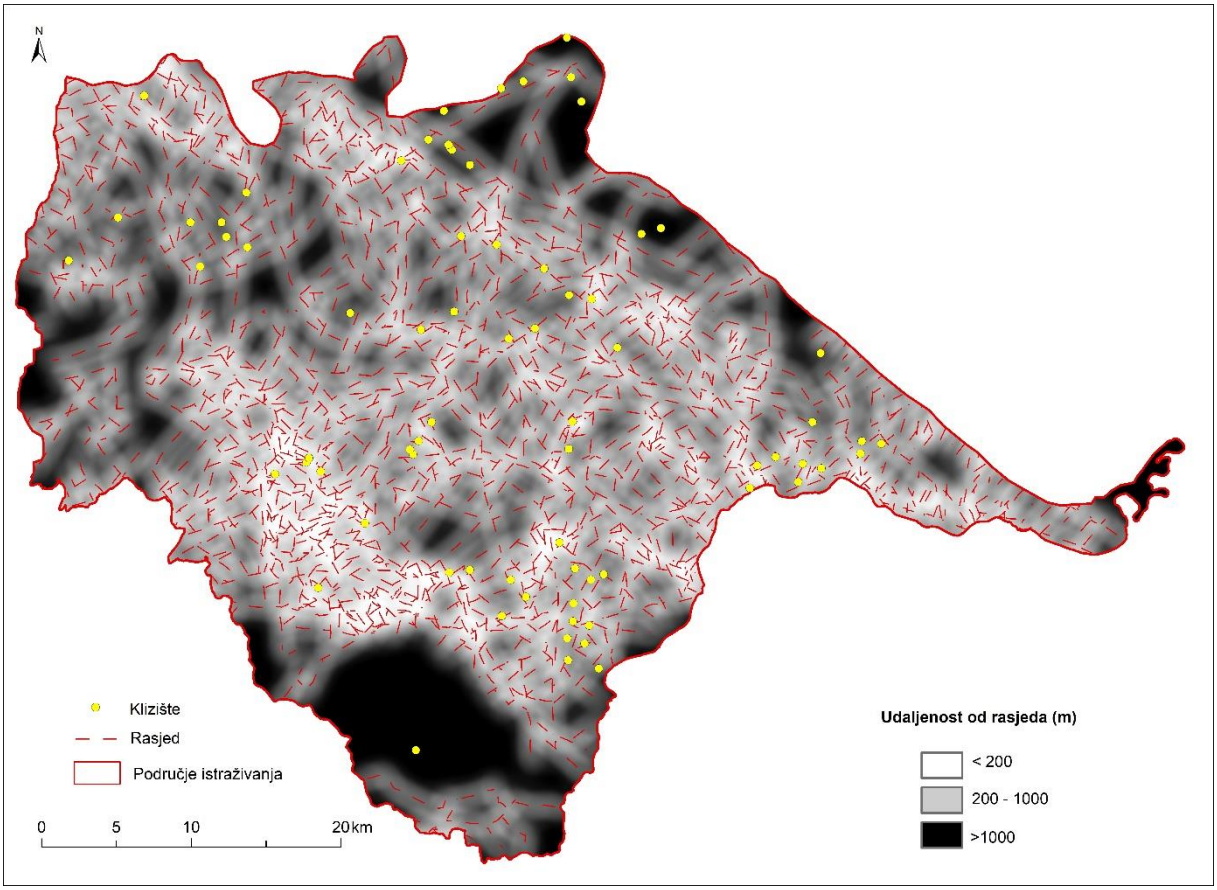
jedinice također utječe na stupanj njene osjetljivosti na klizanje (Ohlmacher, 2001). Ekspanzivne gline povećavaju volumen s povećanjem vlage što dovodi do denudacije stijena i stvaranja tla iz škriljevca (Ingram 1953 prema Ohlmacher, 2001). Osim toga, ekspanzivna priroda gline može narušiti stabilnost tla povećanjem vlage (Ohlmacher, 2001).

Litološki sastav i građa svojim svojstvima i djelovanjem određenih čimbenika, mogu dovesti do smanjenja kohezivnosti materijala na padinama i pojave klizišta. Velik broj klizišta uglavnom je zabilježen na mekšim litološkim jedinicama kao što su pijesak, pješčenjak, glina, les i škriljavci. Prema Tab. 3, najveći broj klizišta, ali i najveću vjerojatnost pojave novih klizišta imaju sljedeće litološke jedinice; Lapori, pijesci, pješčenjaci, gline iz doba neogena, paleogenske naslage konglomerata, konglomeratičnih pješčenjaka, pješčenjka, siltita, pjeskovitih lapora i vapnenca, te raznovrsni lapori i vapnenci, pijesci, pješčenjaci, šljunci i konglomerati iz doba neogena.



Sl. 5. Geološka karta Banovine i prostorni razmještaj klizišta
Izvor: Izrađeno prema HGI, 2014.

Uz seizmički najaktivnije pravce u zonama rasjeda postoji mogućnost pojave klizišta te stvaranja većih odrona i erozije stijena zbog narušavanja stabilnosti slojeva (Križe, 2019). Kako bi utvrdili uzročno-posljedične veze između postojanosti klizišta i rasjedanja, napravljena je analiza broja klizišta u odnosu na njihovu udaljenost od rasjeda. Alat euklidske udaljenosti poslužio je kod izrade zona udaljenosti od rasjeda koje su podjeljene u tri klase; 0-200m, 200-1000m, i više od 1000m kako je prikazano na Sl. 6, a zatim su njihovi prijelazi zaglađeni alatom Focal statistic. Najveća koncentracija klizišta, ali i FR vrijednost, zabilježena je za područja najbliža rasjedima. Na udaljenosti do 200 metara nalazi se 41 klizište, a FR vrijednost iznosi 1,202. Udaljavanjem od rasjeda opada i broj klizišta. Na udaljenosti od 200 do 1000m nalazi se 29 klizišta, a 5 klizišta na udaljenosti većoj od 1000 m.



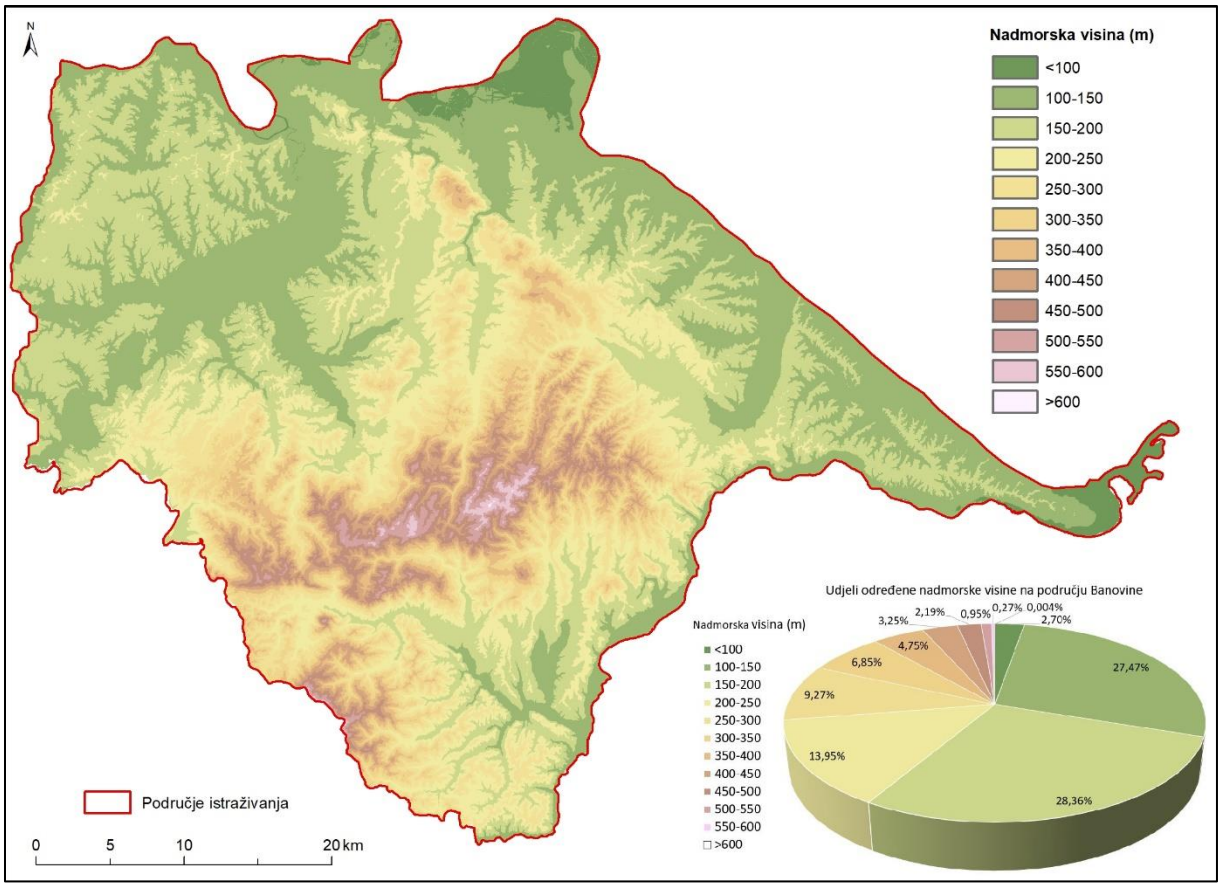
Sl. 6. Zone udaljenosti od rasjeda i prostorni razmještaj klizišta

5.2.Morfometrijska obilježja reljefa

Morfometrija je geomorfološka discplina koja proučava dimenzije (kvantitativna obilježja) reljefa. Opća morfometrija obuhvaća analizu cijele površine određenog prostora. Za istraživanje klizišta na području Banovine analizirana su sljedeća morometrijska obilježja; hipsometrija, nagib padina i ekspozicija padina. Od morfometrijskih obilježja, najveću ulogu u nastanku klizišta ima nagib padina jer se klizanje regolita najčešće odvija na padinama od 12° do 15°. Uz nagib, značjniji je i utjecaj ekspozicije padina. Ovisno o orijentaciji padine, različita je i količina padalina koju ona prima, ali je različito i osunčana što utječe na denudaciju i stabilnost stijena i tla, te u konačnici i na pojavu klizišta.

5.2.1. Hipsometrija

Hipsometrijskom analizom prikazuju se visinske karakteristike reljefa. Područje Banovine prostire se u visinskom rasponu više od 600 m te je podijeljeno u dvanaest visinskih klasa po 50 metara što je vidljivo na Sl. 7. Najniža točka nadmorske visine, 87 m nalazi se kod ušća rijeke Kupe u Savu, kod Sisaka. Najviša točka je vrh Zrinske gore, 616 m. Ovaj prostor uglavnom karakteriziraju planinsko-brdski te znatno manje brdsko-brežuljkasti predjeli. Ravničarski dijelovi se nalaze uglavnom uz veće rijeke kao što su Una i Glina te veći tokovi poput Maje, Žirovnice, Bručine, Petrinjčice i Sunje. Od planinsko-brdskih područja ističu se Trgovska gora, Zrinska gora s najvišim vrhom Piramida. Ona obuhvaća teren koji je sa sjevra omeđen rijekama Sava i Kupa, a na zapadu dolinom rijeke Gline. Kod Petrinje se nalazi još Hrastovička gora, a na krajnjem sjeverozapadnom dijelu Banovine prostiru se obronci Petrove gore.



Sl. 7. Hipsometrijska karta Banovine

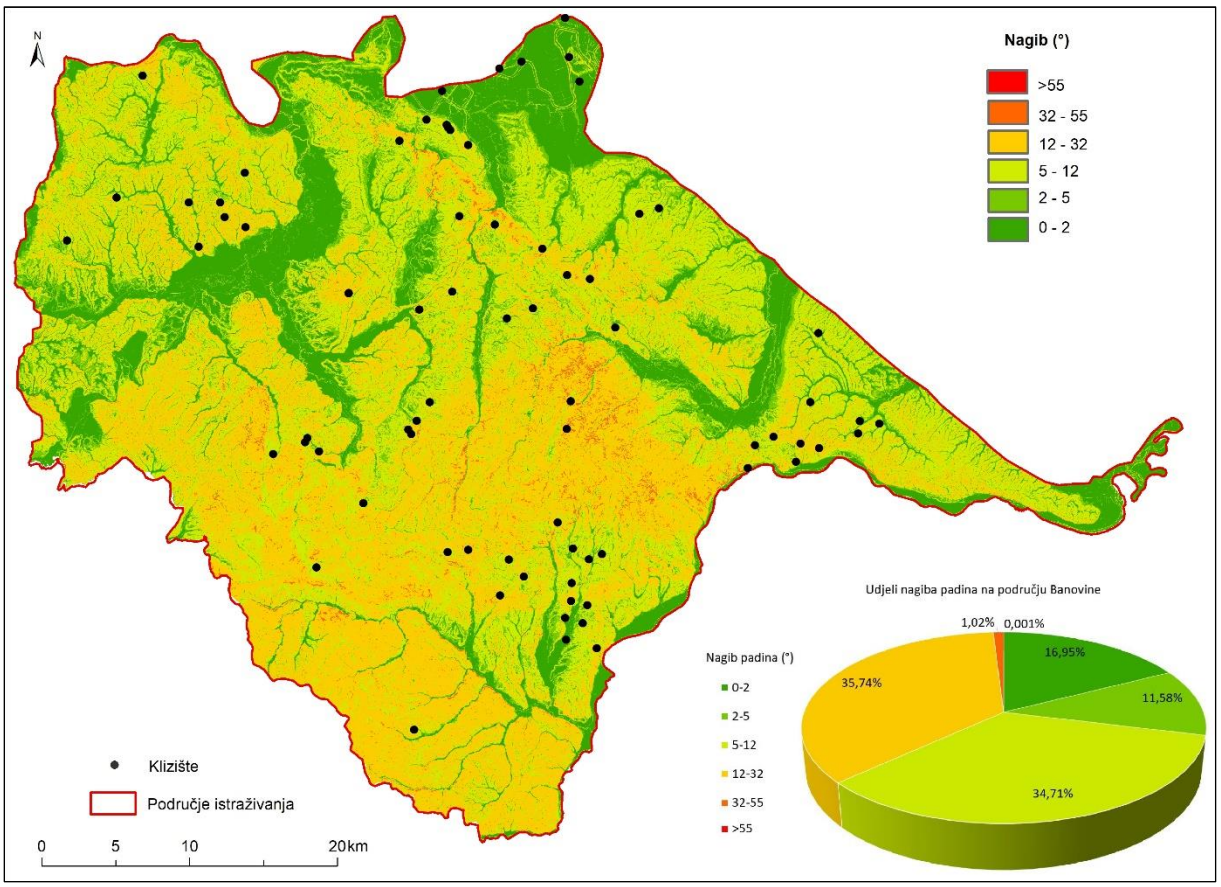
5.2.2. Nagib padina

Padine su najčešći morfološki oblici na Zemlji, a čine ih površine čiji je nagib veći od 2° (Lonačar, 2017). Određivanje nagiba padina jedan je od bitnih elemenata analize reljefa. Nagib padina je definiran kutom koji zatvara površina terena s vodoravnom ravninom. On ukazuje na prostorni raspored i intenzitet djelovanja egzogenih geomorfoloških procesa odnosno denudacije i akumulacije (Lozić, 1996, 42).

Za anlizu nagiba padina korištene su standardne kategorije koje se temelje na dominantnim morfološkim procesima koji se aktiviraju ovisno o veličini nagiba, ali i odgovarajućim geomorfološkim oblicima. Na Sl. 8. prikazana je prostorna raspodjela nagiba u šest klasa. Najveću površinu, 35,74%, zauzimaju padine nagiba 12°-32° koje su rasprostranjene na području Trgovačke, Zrinske i Hrastovičke gore te obroncimma Petrove gore. U ovoj kategoriji nagiba se najčešće javljaju klizišta što znači da se, uz druge prateće uzroke kliženja, na ovom dijelu istraživanog područja može očekivati veći broj klizišta, nego u ostalim kategorijama. Padine nagiba 5°-12° rasprostranjene su na cijelom području Banovine te čine

34,71% površine. Nadalje, 16,95% površine čini zaravnjen teren nagiba od 0°-2° koji prati doline rijeka, većim dijelom na sjeveru i istoku, a manjim na jugu. Nagib 2°-5° zauzima 11,58% površine istraživanog područja. Najmanje su zastupljeni nagibi veći od 32°. Kategorija nagiba 32°-55° čini 1,02%, a koncentrirana je uglavnom u središnjem gorskom dijelu Banovine. Najslabije su zastupljene padine nagiba >55°. One predstavljaju strme litice i rasjedne zone.

Promatrajući vrijednosti Tab. 3, najveća koncentracija klizišta zabilježena je za nagibe 5°-12° te 12°-32°(31 klizište). U pravilu se klizišta najčešće javljaju na padinama nagiba 12°-15° što potvrđuje ovu pojavnost. U skladu sa brojem klizišta, najveća korelacija je, isto tako, kod navedenih kategorija nagiba. Najmanje klizišta zabilježeno je za područja s nagibom većim od 32°, a mali broj klizišta se pojavio i na padinama s nagibom do 5°.



Sl. 8. Kategorije nagiba padina na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta

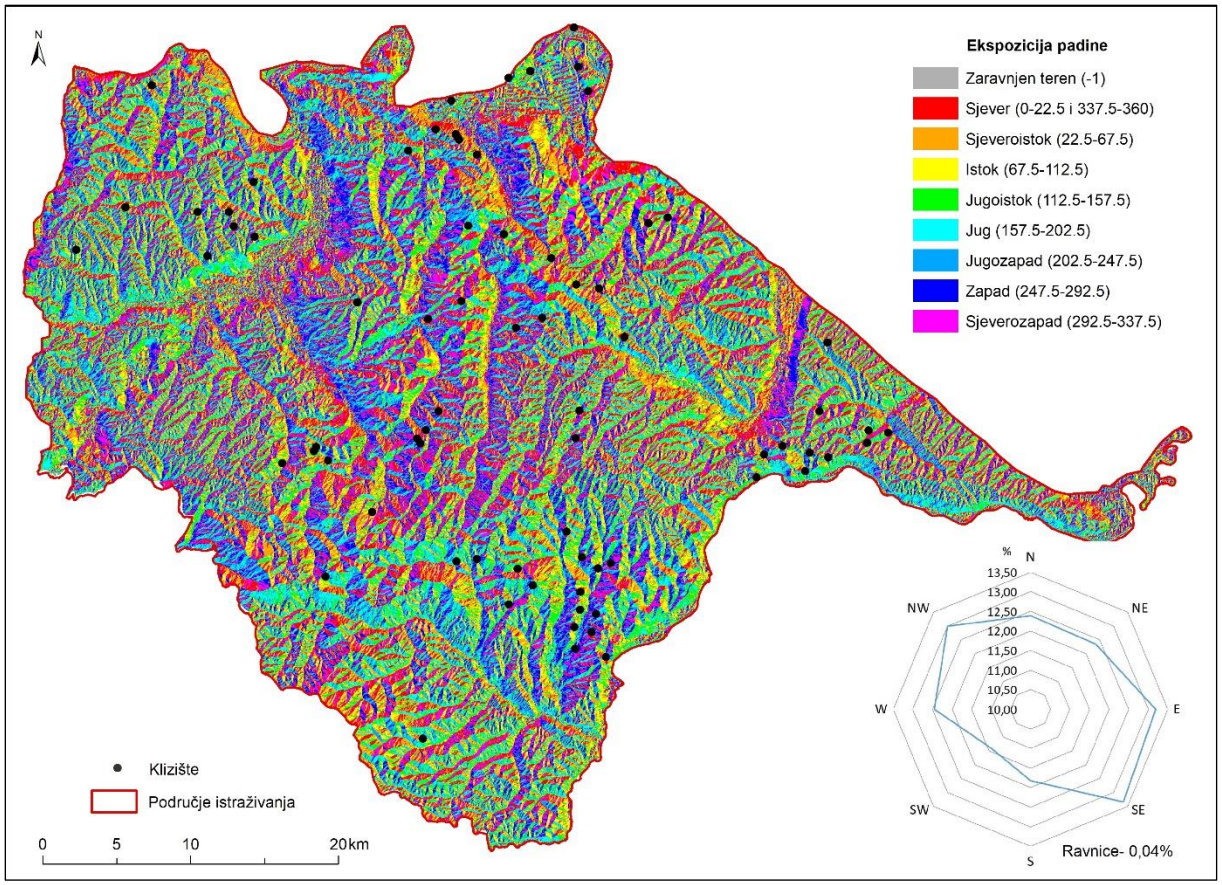
5.2.3. Ekspozicija padina

Ekspozicija predstavlja orijentaciju padine u odnosu na glavne i sporedne strane svijeta. Kut se određuje od pravca sjevera u smjeru kazaljke na satu. U konceptualnom smislu, funkcija ekspozicije odnosi se na izračun vrijednosti ekspozicije središnjeg piksela u odnosu prema osam susjednih (mreža piksela 3 × 3). Smjer prema kojem je ploha okrenuta predstavlja ekspoziciju za središnji piksel (Burrough i McDonnell, 1998). Zatim se vrijednost ekspozicije pretvara u stupnjeve (0° – 360°).

Orijentacija padina je važna jer utječe na klimatološke i geomorfološke procese. Različito orijentirane padine primaju različitu količinu kratkovalnog zračenja što utječe na karakteristike klimatskih elemenata kao geomorfoloških agensa te na raspored vegetacije. Tijekom različitog doba dana ili godišnjeg doba, različit je i intenzitet kratkovalnog Sunčeva zračenja na padinama. Tako primjerice na Sjevernoj hemisferi najveću količinu Sunčeva zračenja primaju južne padine, a sjeverne najmanje. Padine koje su orjentirane istočno i zapadno su manje ozračene od južnih, a više od sjevernih; istočne najviše zračenja prime ujutro, a zapadne u predvečerje (Šegota i Filipčić, 1996).

Na području Banovine najviše prevladavaju padine jugoistočne i istočne orijentacije, te u neznatno manjoj mjeri padine zapadne i sjeverozapadne orijentacije što je vdljivo na Sl. 9. Uglavnom je orijentacija padina po stranama svijeta ravnomjerno raspodijeljena na Banovini što označava i ravnomjernije djelovanje geomorfoloških procesa. Zaravnjen teren čini vrlo mali površinski udio, svega 0,04% Banovine.

Promatrajući orijentaciju padina i broj klizišta, može se uočiti ravnomjerna raspodjela klizišta. Najveća kncentracija klizišta je na sjevernim, južnim, jugozapadnim i zapadnim padinama. Na zaravnjenom terenu nema zabilježenih klizišta što je i razumljivo jer se ona javaljaju na padinama. Najveće FR vrijednosti tj. korelaciju pojave klizanja imaju zapadno i južno orijentirane padine što se može povezati sa količinom padalina koje primaju.



Sl. 9. Ekspozicije padina na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta

5.3.Morfogenetska obilježja reljefa

Morfogeneza podrazumijeva postanak i razvoj reljefa. Reljef je posljedica međudjelovanja endogenih i egzogenih sila i procesa koje istražuju endogena i egzogena geomorfologija. Područje Banovine karakteriziraju tri morfogenetska tipa reljefa; krški, fluvijalni i fluviodenudacijski prikazani na Sl. 10.

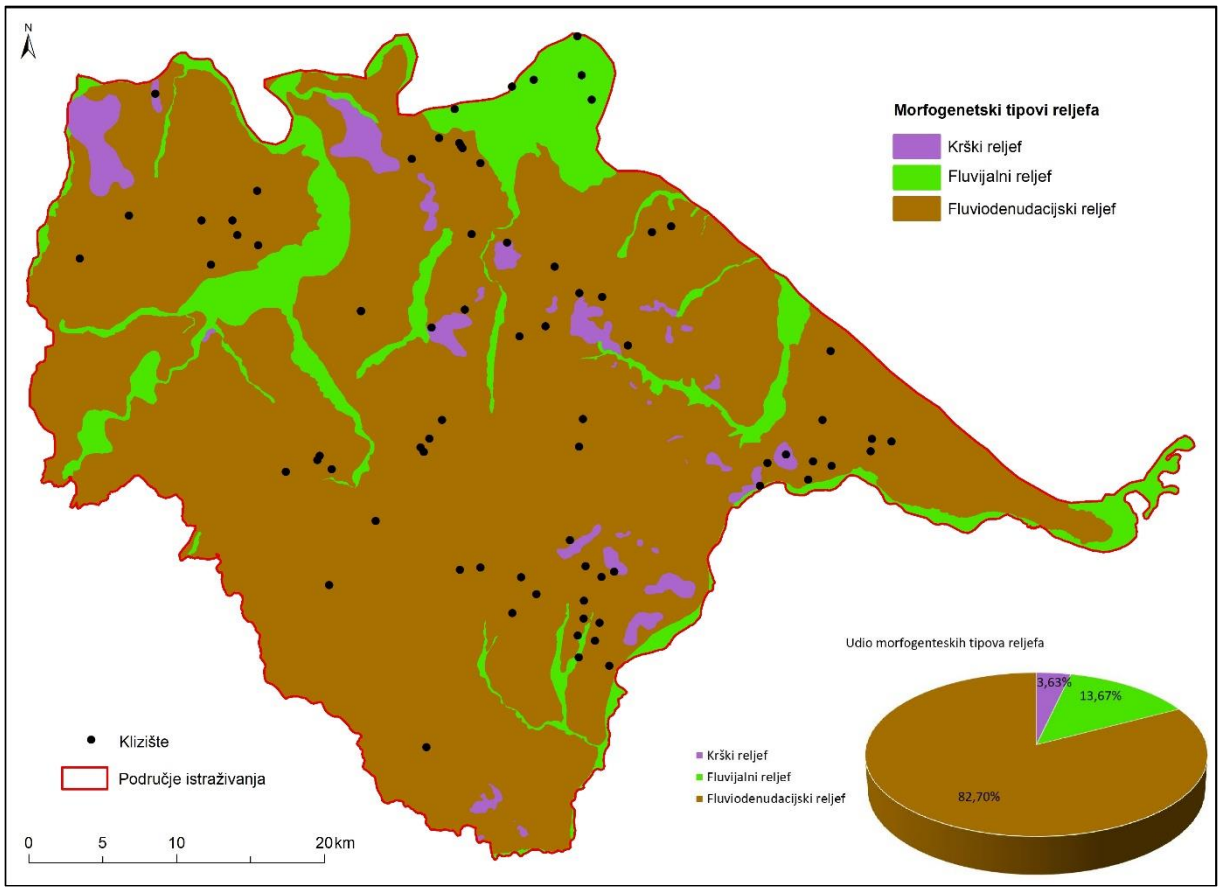
Svi destrukcijski procesi koji se odvijaju na padinama nazivaju se derazija. Deraziju se može definirati kao spontane pokrete rastresitog materijala niz padinu pod utjecajem gravitacije. Taj rastresiti materijal se naziva regolit. Usitnjeni materijal se uslijed djelovanja gravitacije i drugih egzogenih procesa može pokrenuti niz padinu. Padinski procesi se dijele u tri skupine; gravitacijski pokreti koji obuhvaćaju urušavanje i osipanje, zatim procesi puženja, tečenja i klizanja zemljišta te procesi spiranja i jaruženja (Tandarić, 2010).

Na području Banovine je najzastupljeniji fluviodenudacijski reljefni tip koji čini 82,70 % površine. Fluviodenudacijski reljef nastao je radom tekućica, najviše procesom dubinske

erozije, ali i akumulacijom. Doline mogu biti u različitom stupnju razvoja, a karakteristične su po strmom padu korita, velikoj brzini toka te po koritastom i V-izgledu poprječnog presjeka. U razvoju ovog tipa reljefa, uz erozijski rad tekućica, sudjeluju i padinski procesi na dolinskim stranama. Padinski procesi obuhvaćaju spiranje, bujičenje, kliženje, tečenje zemljišta te urušavanje i odrone (Bočić i dr., 2016, 164). Na ovom prostoru, kao geomorfološke prijetnje, osobito se ističu pojave bujica i klizišta. Kako bi se padinski procesi pokrneuli, potrebna je padina, rastresita stijenska masa, različita otpornost stijena, voda, ogoljene stijene bez vegetacije, tlo te gravitacija (Tandarić, 2010).

Drugi po redu povšinom je fluvijalni reljef. Prostire se uz doline većih tokova istraživanog područja te čini 13,67 % površine. Uglavnom je koncentriran u sjevernom i središnjem dijelu Banovine. Fluvijalni reljef oblikovan je denudacijskim i akumulacijskim radom tekućica u zoni srednjega i donjeg mehanizma vodenog toka. Nagib korita je mali, dno doline je široko, a tekućica uglavnom teče po vlastitim nanosima te ih erodira (Bočić i dr., 2016, 163). Glavni reljefni oblici su doline rijeka Save, Kupe, Gline, Petrinjčice, Une, Maje, Utinje, Sunje, Žirovnice i drugih manjih pritoka. Uz tokove rijeka izražene su i naplavne ravnice te riječne terase. Budući da pojedine tekućice meandriraju uslijed djelovanja bočne erozije, može se uočiti i velik broj mrtvaja.

U najmanjoj mjeri je zastupljen krški reljef koji zauzima 3,63 % istraživanog područja. Krški reljef nastaje kemijskim djelovanjem vode na topljive stijene, a taj se proces naziva korozijom. Okršenost se ogleda u smanjenom broju površinskih tokova te u pojavi većeg broja krških depresija (ponikva i uvala) i speleoloških objekata (Bočić i dr., 2016, 164). Od krških reljefnih oblika, na području Banovine su najzastupljenije ponikve.

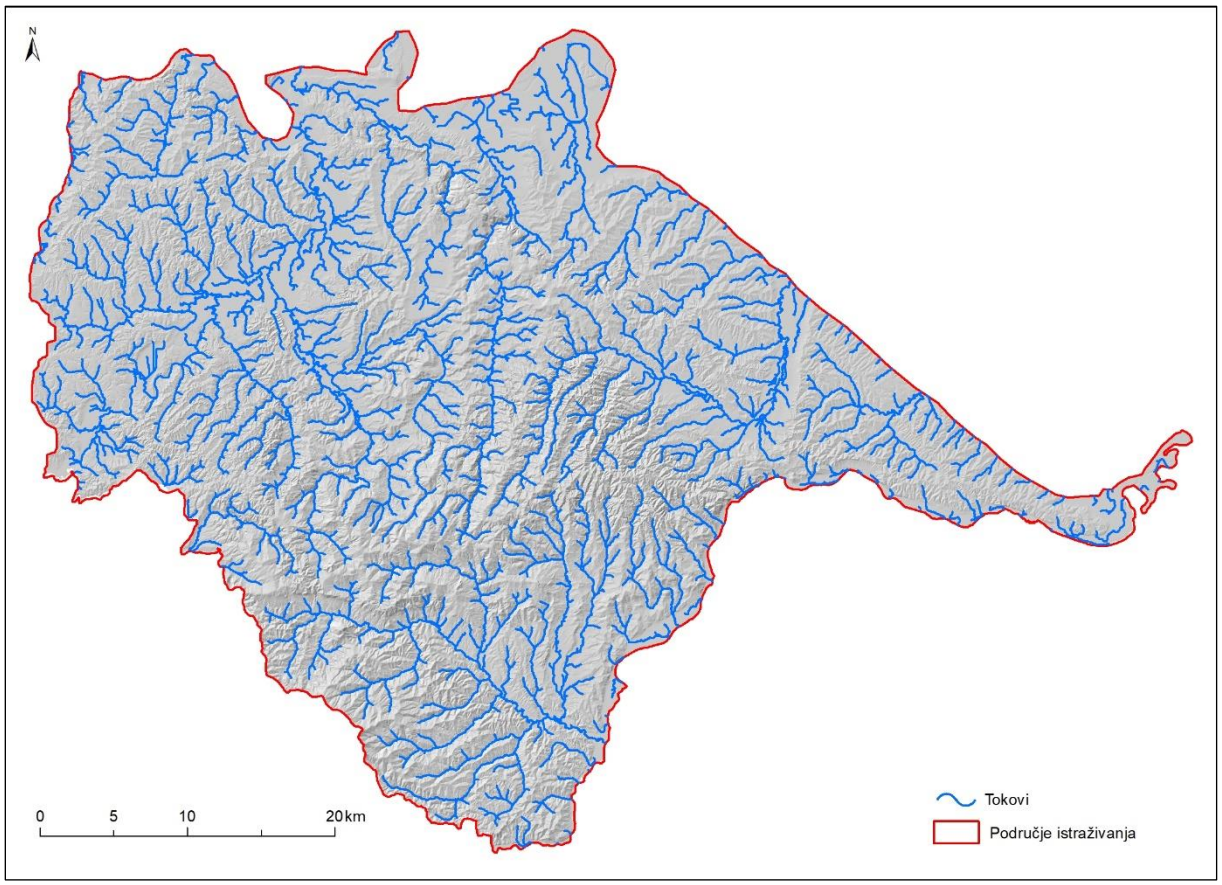


Sl. 10. Morfogenetski tipovi reljefa na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta

5.4.Hidrografske karakteristike

Prostorni raspored površinskih i podzemnih voda određen je morfološkim i hidrogeološkim značajkama prostora. Banovinu karakterizira gusta hidrološka mreža, a tekućice ovog područja pripadaju crnomorskom slivu. Osobito se ističu sljedeći veliki riječni tokovi; Glina i Maja na sjeverozapadu, Kupa, Utinja i Petrinjčica na sjeveru, Sunja na istoku, Una na jugoistoku uz granicu Bosne i Hercegovine, te Žirovnica na jugu. Sustav navodnjavanja ne odgovara složenoj dinamici rijeka pa je visok rizik od poplava.

Riječna mreža se može vidjeti na Sl. 11. Karta u stvarnosti predstavlja dolinsku mrežu, no ona može poslužiti u analizi riječnih tokova jer ocrtava moguće pravce kretanja vode tj. površinske tokove (Loparić i Pahernik, 2012).



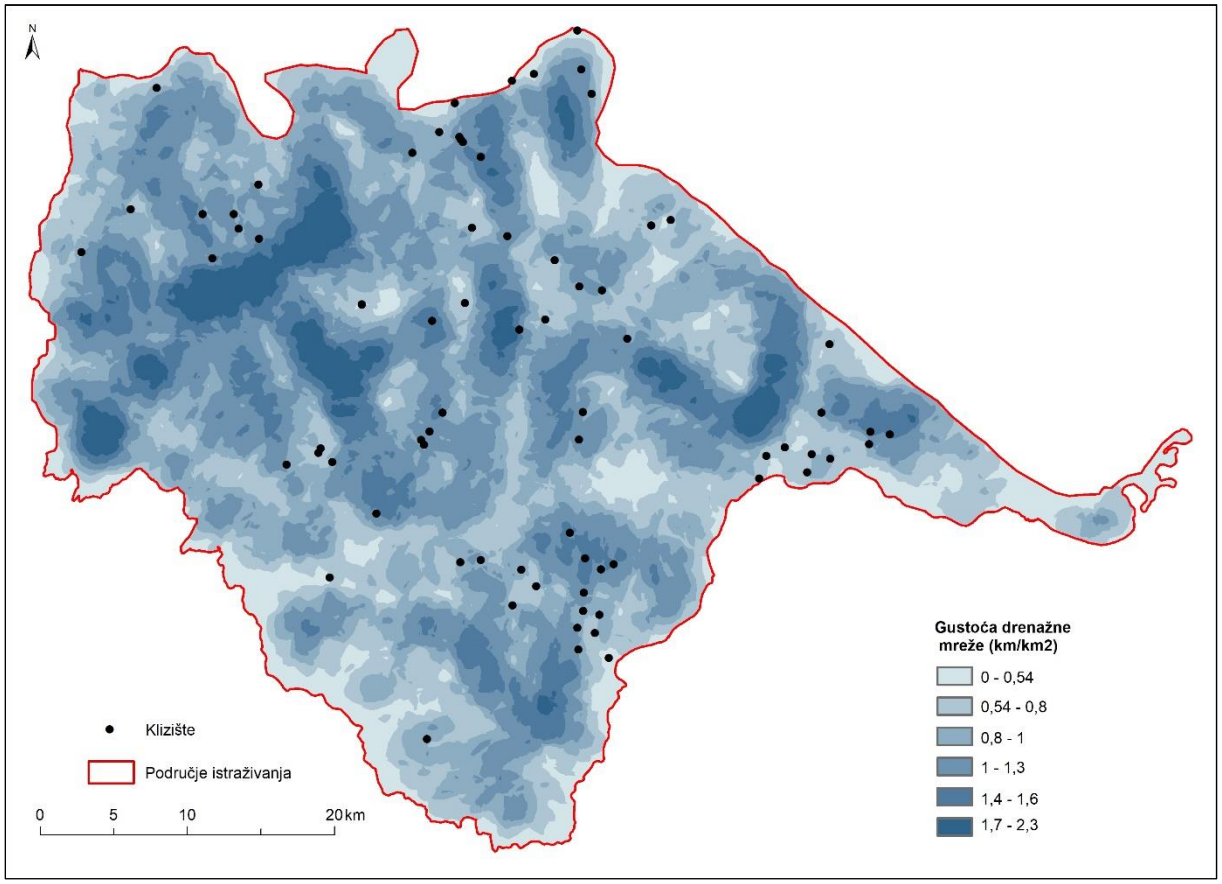
Sl. 11. Drenažna mreža Banovine

Rijeka Kupa je desni pritok rijeke Save. Na području Sisačko-moslavačke županije teče u smjeru zapad prema istoku, te kod Petrinje mijenja smjer prema sjeveru. Kupa nakon Petrinje ima karakter nizinske rijeke, a njen vodostaj se tijekom godine znatno mijenja, što je rezultat rasporeda i količine padalina u njenom porječju. Najvažniji pritoci rijeke Kupe su Velika Trepča, Golinja, Glina, Utinja, Petrinjčica, Moščenica i Odra. Rijeka Glina izvire nedaleko od Slunja, protječe kroz doline podno Petrove gore, a u donjem dijelu svog toka, kroz područje Grada Gline, teče sporije i meandrira kroz riječnu ravnicu sve do utoka u rijeku Kupu. Veće pritoke rijeke Gline s desne strane su: Buzeta i Maja s pritokom Bručinom, a s lijeve strane Perna, Čemernica s pritokom Turčenicom i Solina. Rijeka Petrinjčica ima usko porječje, a pritoke su joj potočići koji se spuštaju sa brda istočno i zapadno od njene riječne doline. Kratki pritoci i veći nagibi utječu na bujično obilježje što znači da ovi tokovi imaju veliku erozijsku snagu. Rijeka Una je desni pritok Save. U svojem donjem toku graniči između Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Najveći lijevi pritok Une je Žirovnica sa pritocima Ljubina, Javnica, Čemernica i Javošnica. Rijeka Sunja je desni pritok rijeke Save, u koji se s lijeve strane ulijevaju pritoci Svinica, Radonjak i Đipan, a s desne strane Radakovac, Turija, Čađavac i Obreška. Sunja izvire

podno Zrinske gore i u gornjem toku je brza gorska rijeka, a nizvodno od naselja Sunje kanalizirana je i teče paralelno s rijekom Savom (Mesarić i dr., 2015, 76).

Voda je kritičan čimbenik kod pokreta na padinama. U slučaju kada je debris prezasićen vodom postaje teži i vjerojatnije je da će poteći niz padinu (Lonačar, 2017.). Pojavom dugotrajnih oborina nakon sušnog razdoblja dolazi do dizanja razine podzemne vode u padini, povećavanje brzine toka i promjene hidrauličkog gradijenta što pogoduje nastanku klizišta. Djelovanje podzemnih voda može se sagledati u smislu promjena strujnog tlaka vode i njenog režima i odnošenja i trošnog materijala koji izgrađuju padinu što negativno utječe na ravnotežu padine (Šestanović 2001. prema Lončar, 2017).

Sl. 12. prikazuje gustoću riječne mreže podjeljenu u šest klasa. Najveću gustoću riječne mreže imaju područja gdje ona iznosi 1,7 do 2,3 kilometra tekućice po kvadratnom kilometru. Najmanju gustoću riječne mreže imaju područja gdje je gustoća manja ili jednaka 0,54 kilometara tekućice po kilometru kvadratnom.



Sl. 12. Gustoća riječne mreže na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta

Kod analize gustoće drenažne mreže i pojave klizišta, koncentracija klizišta, ali i FR vrijednosti, najveće su kod klase gustoće 0,54 – 0,8 km/km^2 (22 klizišta) te 1-1,3 km/km^2 (23 klizišta). Na području najveće gustoće drenažne mreže nije se pojavilo niti jedno klizište, a u klasi od 1,3-1,6 km/km^2 zabilježeno je samo 7 klizišta. Pretpostavka je da će veći broj klizišta biti na područjima bliža tokovima, tj. s većom gustoćom drenažne mreže. Prema dobivenim rezultatima, najviše klizišta javilo se na prostorima srednje gustoće drenažne mreže. Moguće je da su klizišta nastala uslijed povećanja razine podzemne vode ili uslijed povećanja razine vode u tekućici koja je djelovala na slojeve padine. Prezasićenjem vode, površinski slojevi su zbog veće težine počeli klizati. Isto tako je moguće da je tekućica svojim erozivnim djelovanjem potkopala slojeve te narušaila stabilnost padine.

5.5. Pedološke karakteristike

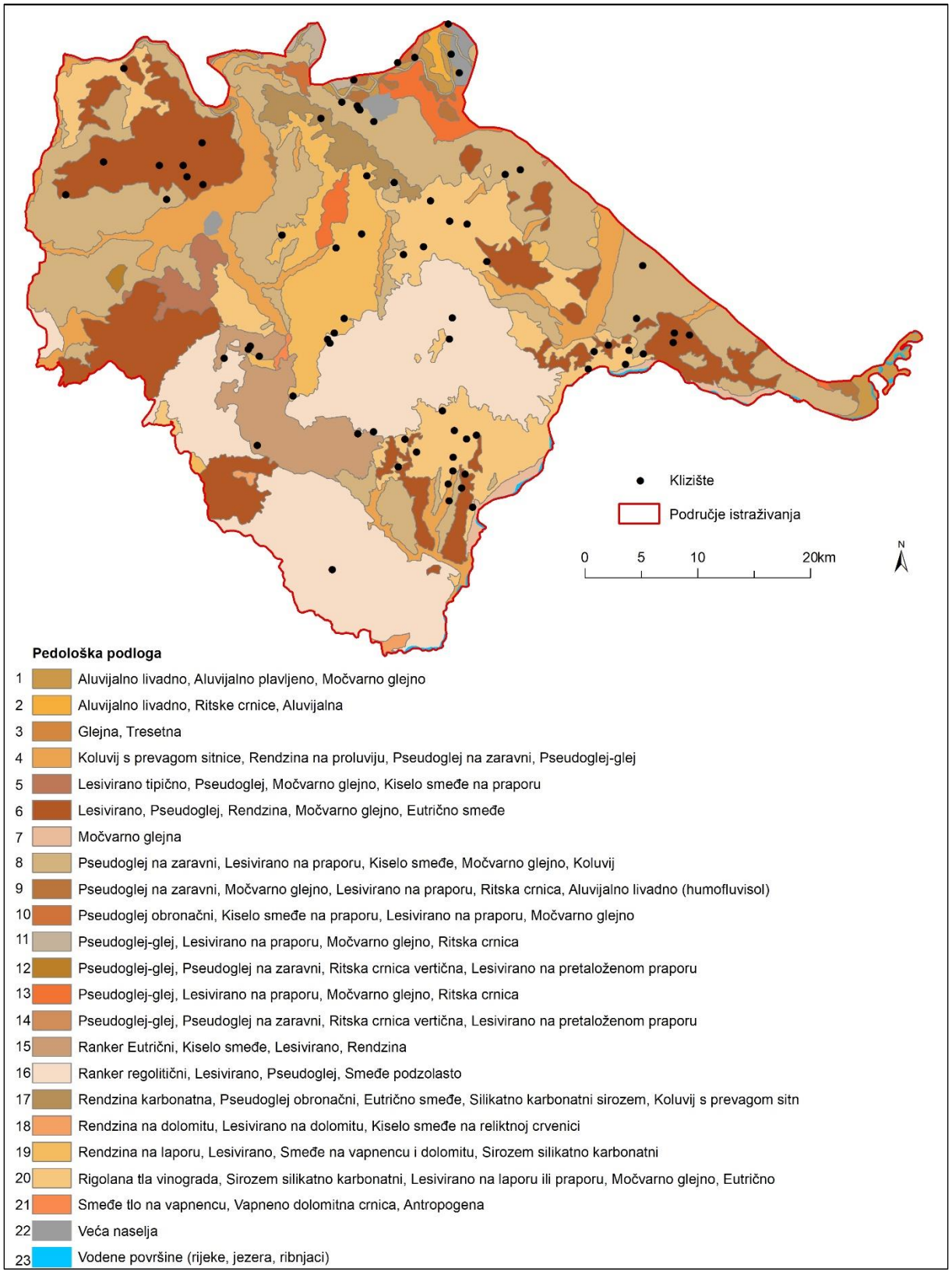
Tlo je rastresiti površinski sloj Zemljine kore. Njegov sastav, tipovi i kakvoća su rezultat duge pedogeneze, odnosno djelovanja različitih prirodnih i društvenih čimbenika kao što su; sastav stijena, biogeografska i hidrografska svojstava, klima, antropogeni utjecaj i dr. (Magaš, 2013). Na području istih pedogenetskih činitelja razvijaju se ista ili vrlo slična tla. Na području Banovine najveći udio površine zauzimaju pseudogleji na zaravni, ranker regolitični, lesivirana tla, rigolana tla vinograda te rendzina na laporu. Raspodjela tala prikazana je na Sl. 13. Te iste pedološke slojeve karakterizira i najveći broj klizišta. Veći postotak glina znači i veću mogućnost za razvoj klizišta. Veliki utjecaj ima i izmjena propusnih pjeskovitih i nepropusnih glinovitih slojeva na padini (Bognar, 1996).

Tlo je jedan od najvažnijih faktora koji dovodi do pojave klizišta. Osobito su važne gline i les koji može sadržavati zrna pijeska i gline. Glina ima specifične karakteristike koje pogoduju stvaranju klizišta. One se primarno sastoje od različitih minerala glina koje u velikoj mjeri utječu na njena svojstva. Njihovim vlaženjem ili sušenjem se mijenjaja konzistencija, a u dodiru s vodom im se naglo povećava volumen, tj. ona bubri (Benac, 2016). Dakle, izrazito su porozne i slabo propusne. Les karakterizira poroznost s brojnim vertikalnim kapilarnim pukotinama zbog čega je sklon vertikalnom cijepanju. Uslijed derazijskih procesa dolazi do urušavanja i klizanja na lesnim naslagama (Tandarić, 2010). Osnovna značajka lesnih naslaga je ta da se gubitkom prirodne stabilnosti stepeničasto urušavaju uz okomit zid fronte.

Nesaturirani pijesak se drži slijepljen zbog napetosti vode. U saturiranom pijesku zrna su odijeljena vodom, zbog čega ova mješavina lako teče; rahla zrna lijepe se jedno za drugo zbog

površinske napetosti. Na taj način stvara se vodeni film i povećava se posmična čvrstoća. Povećavanjem količine vode u debrisu povećava se i brzina kretanja. S druge strane, vlažan debris ne mora se uopće kretati, dok se mokri debris kreće polako niz padinu (Lončar, 2017, 75).

Fizičkim svojstvima tala određena je njihova podložnost klizanju. Tla pogodnija za poljoprivrednu obradu imaju i veću mogućnost nastanka klizišta (Loparić i Pahernik, 2012). Najveći broj klizišta, ali i vrijednosti korelacije imaju sljedeće klase tala: Rigolana tla vinograda, sirozem silikatno karbonatna tla, lesivirano tlo na laporu ili praporu, močvarno glejno, i eutrično tlo, zatim obrončani pseudoglej, kiselo smeđe tlo na praporu, lesivirano tlo na praporu i močvarno glejno tlo. Nakon njih slijede još i glejna, tresetna tla, zatim lesivirano tlo, pseudoglej, rendzina, močvarno glejno i eutrično smeđe tlo, te u konačnici područja većih naselja.



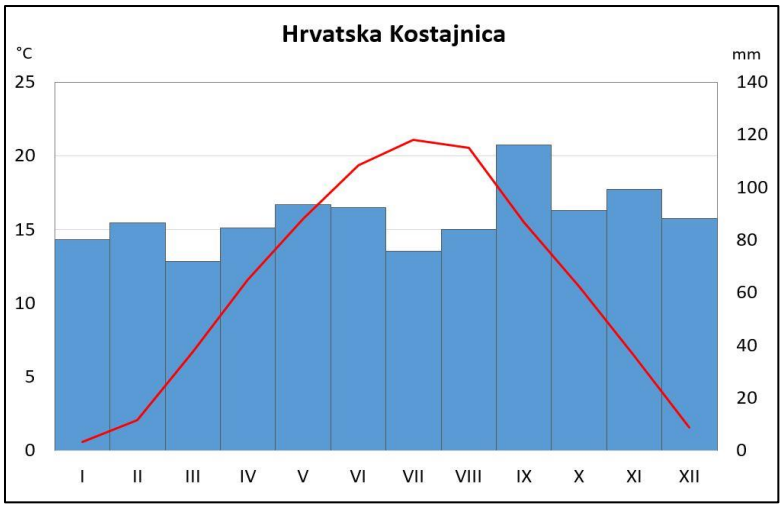
Sl. 13. Tipovi tala na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta
Izvor: izrađeno prema podacima Tlo i biljka, 2018.

5.6. Klimatološke karakteristike

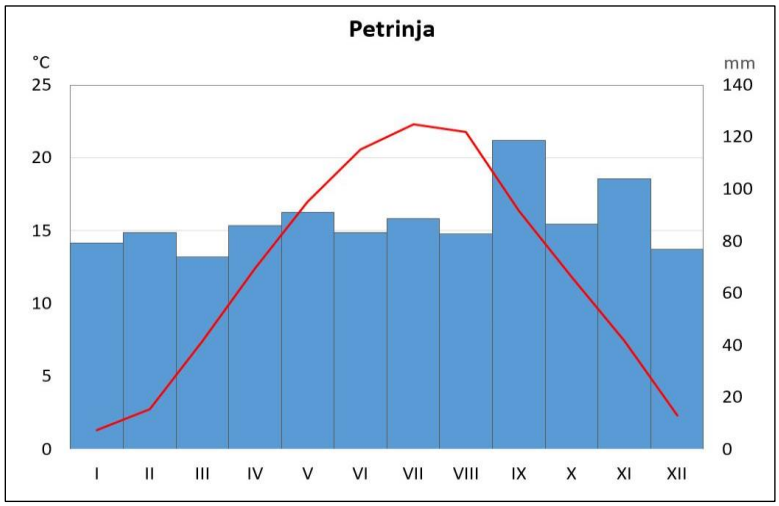
Najvažniji modifikatori klime na području Hrvatske jesu Jadransko i šire Sredozemno more, orografija Dinarida sa svojim oblikom, nadmorskom visinom i položajem prema prevladavajućem strujanju, otvorenost sjeveroistočnih krajeva prema Panonskoj ravnici, te raznolikost biljnog pokrova. Kontinentalna Hrvatska ima umjereno kontinentalnu klimu i cijele se godine nalazi u cirkulacijskom pojasu umjerenih širina, gdje je stanje atmosfere vrlo promjenjivo: obilježeno je raznolikošću vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine (Zaninović, 2008, 15).

Područje Banovine ima umjereno toplu vlažnu klimu sa toplim ljetima (Cfb) (Filipčić, 1998). Ovaj tip klime karakteriziraju male apmlitude dnevnih (7-10° C) i godišnjih temperatura (oko 10° C). Srednja temperatura zraka u srpnju se kreće od 20 - 22° C, a srednja temperatura siječnja iznosi od 0 do -3° C . Isto tako, najmanje četiri mjeseca imaju temperaturu zraka veću ili jednaku 10° C (Šegota i Filipčić, 1996).

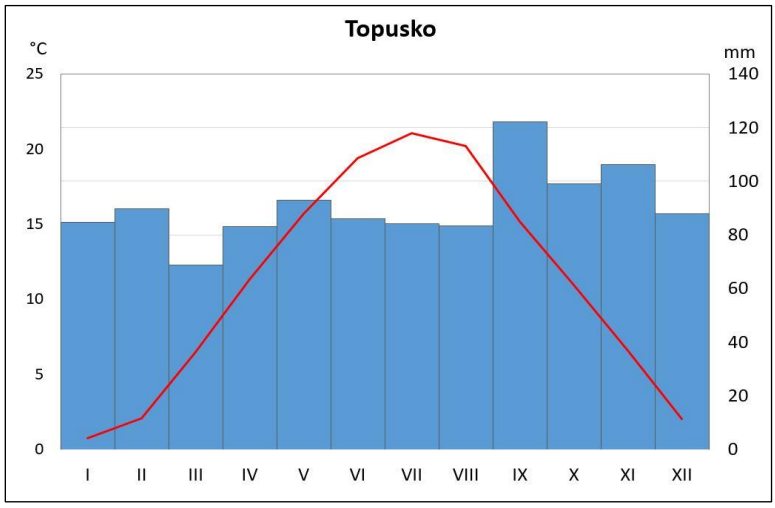
U dvadesetogodišnjem razdoblju, od 1999. do 2018. godine, godišnja raspodjela padalina je slična za sve tri klimatološke postaje na području Banovine; Hrvatska Kostajnica, Topusko i Petrinja. Godišnja raspodjela padalina je najviša na području Hrvatske Kostajnice (1063 mm), zatim slijedi Topusko (1046 mm) te Petrinja (969 mm). Najveća količina padalina karakterizira jesenski dio godine, a najmnaje je padalina zimi. Godišnji hod padalina je gotovo identičan za sve tri klimatološke postaje. Najvišu godišnju središnju temperaturu u razdoblju od 1999. do 2018. ima Petrinja (11,7° C), zatim Hrvatska Kostajnica (11,2° C) i na poslijetku Topusko (10,8° C). Male razlike u temperaturama i padalinama kod postaja je posljedica različitih reljefnih karakteristika okolnog područja klimatoloških postaja. Ova svojstva mogu se iščitati na priloženim klimadijagramima Sl. 14., Sl. 15., Sl. 16.



Sl. 14. Klimadijagram za klimatološku postaju Hrvatska Kostajnica za razdoblje (1999.-2018.)



Sl. 15. Klimadijagram za klimatološku postaju Petrinja za razdoblje (1999.-2018.)



Sl. 16. Klimadijagram za klimatološku postaju Topusko za razdoblje (1999.-2018.)

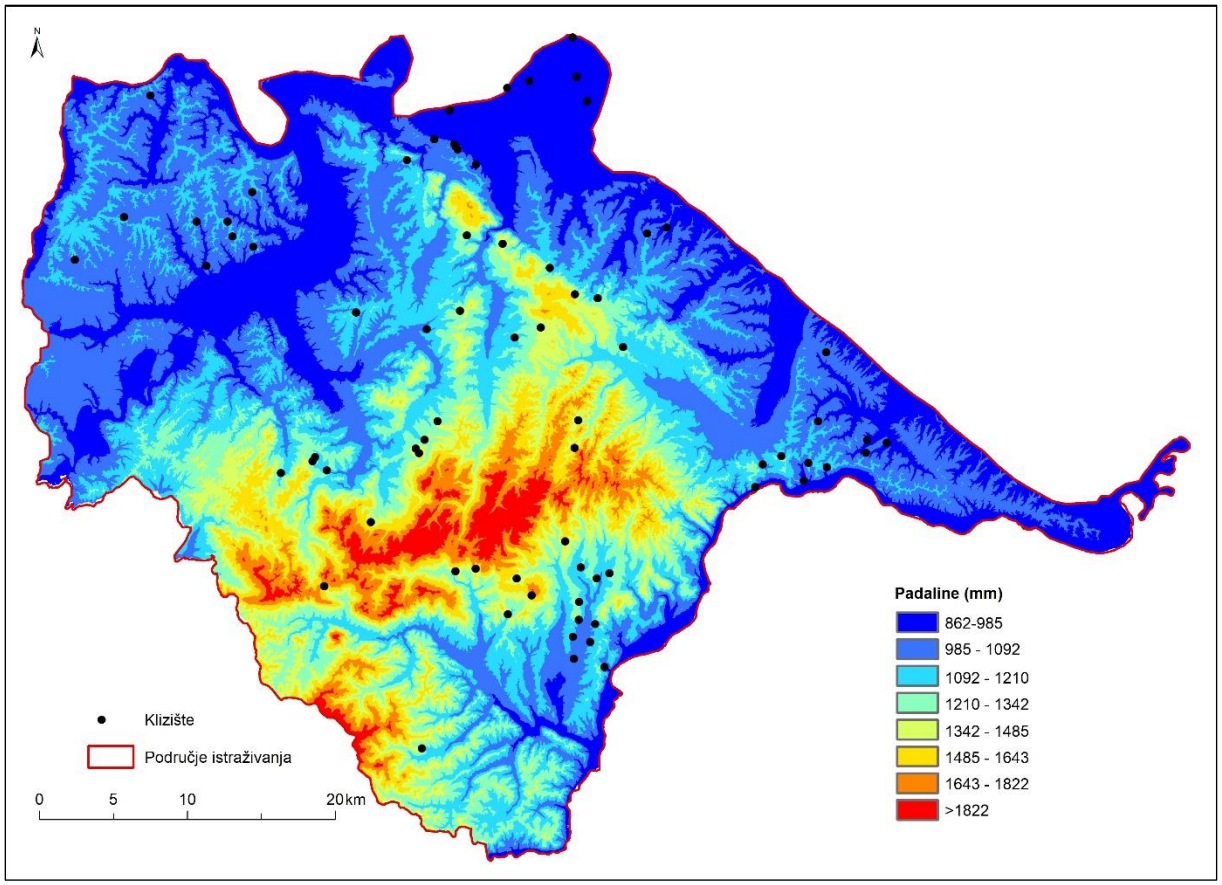
Padaline imaju vrlo važnu ulogu kod klizanja tla. Naime, voda je jedan od glavnih uzorka postanka klizišta te primjerice uslijed većih i kratkotrajnih ili dugotrajnih kiša, može doći do prezasićenja debrisa vodom, on postaje teži, gubi čvrstoću uslijed naprezanja, te je veća vjerojatnost da će početi kliziti niz padinu. Povećanje razine podzemne vode isto tako, može biti uzrok pojave klizišta (Loparić i Phernik, 2012).

Na temelju desetogodišnjeg niza podataka o padalinama sa osam klimatoloških i sedam kišomjernih postaja na području Banovine, izračunate su srednje godišnje količine padalina. One se mogu vidjeti u Tab. 2. Dobivene vrijednosti, koristeći linearnu regresiju, poslužile su za izradu karte prostorne raspodjele padalina Sl. 17. koja se je u konačnici koristila u analizi rizika klizanja tla. Najveću količinu padalina primaju brdsko-planinska područja Zrinske gore, Hrastoviče i Trgovske gore. Okolna, niža područja, bilježe manje količine padalina.

Tab. 2. Srednja desetogodišnja količina padalina prema postajama na Banovini

Postaja	**Visina postaje (m) x**	**Srednja godišnja količina padalina (mm) y**
Blinjski Kut	105	509,8
Glina	113	1096,8
Jasenovac	94	919,4
Kutina	130	821,7
Lekenik	114	991
Lonja	98	944
Mečečani	179	1116,6
Novska	120	922,6
Osekovo	120	864,6
Potok	112	845,5
Stružec	138	883
Sunja	100	1005,1
Hrvatska Kostajnica	140	1089,6
Petrinja	106	1022,9
Topusko	126	1100,5

Izvor: Napravljeno prema podacima DHMZ-a



Sl. 17. Prostorna raspodjela padalina na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta

Važno je napomenuti da posljednjih desetak godina sve više do izražaja dolaze klimatske promjene koje također utječu na pojavu klizišta. Naime, sve je više ekstremnijih vremenskih uvjeta kao što su velike količine padalina u kratkom vremenskom periodu, izrazitije suše, brzo odmrzavanje snijega i/ili leda itd. što dovodi do narušavanja stabilnosti tla te u konačnici doprinosi pojavi klizišta, ali i bujičnih poplava.

Analizom podataka o prostornoj raspodjeli klizišta i srednje desetogodišnje količine padalina na području Banovine, ustanovljeno je da se najveći broj klizišta nalazi u kategoriji padalina od 985-1092 mm, njih 21. Sedamnaest klizišta nalazi se na područjima gdje količina padalina iznosi od 1092-1210 mm. Niti jedno klizište nije zabilježeno na područjima najveće količne padalina. Za klasu padalina 1210-1342 mm zabilježeno je 11 klizišta, a kod klase 1342-1485 mm 10 klizišta. FR vrijednosti su najveće za posljednje navede klase padalina, iako nemaju najveću koncentraciju klizišta, a razlog toga je ponovno u odnosu manje površine i broja klizišta. Dakle, najveće FR vrijednosti vezane su za klase srednjih godišnjih količina oborina. Prema tome, vidimo da najveća količina padalina ne mora značiti i najveću pojavnost klizišta. Razlog tome je to što najveća ukupna godišnja količina padalina ne mora predstavljati i najveću

opasnost od klizanja jer padaline mogu biti ravnomjerno raspoređene tijekom godine. Veću prijetnju predstavljaju vremenski duži kišni periodi ili kratkotrajnije intenzivne kiše koje dovode do prezasićenja tla, narušavanja stabilnosti na padini i nastanka klizišta.

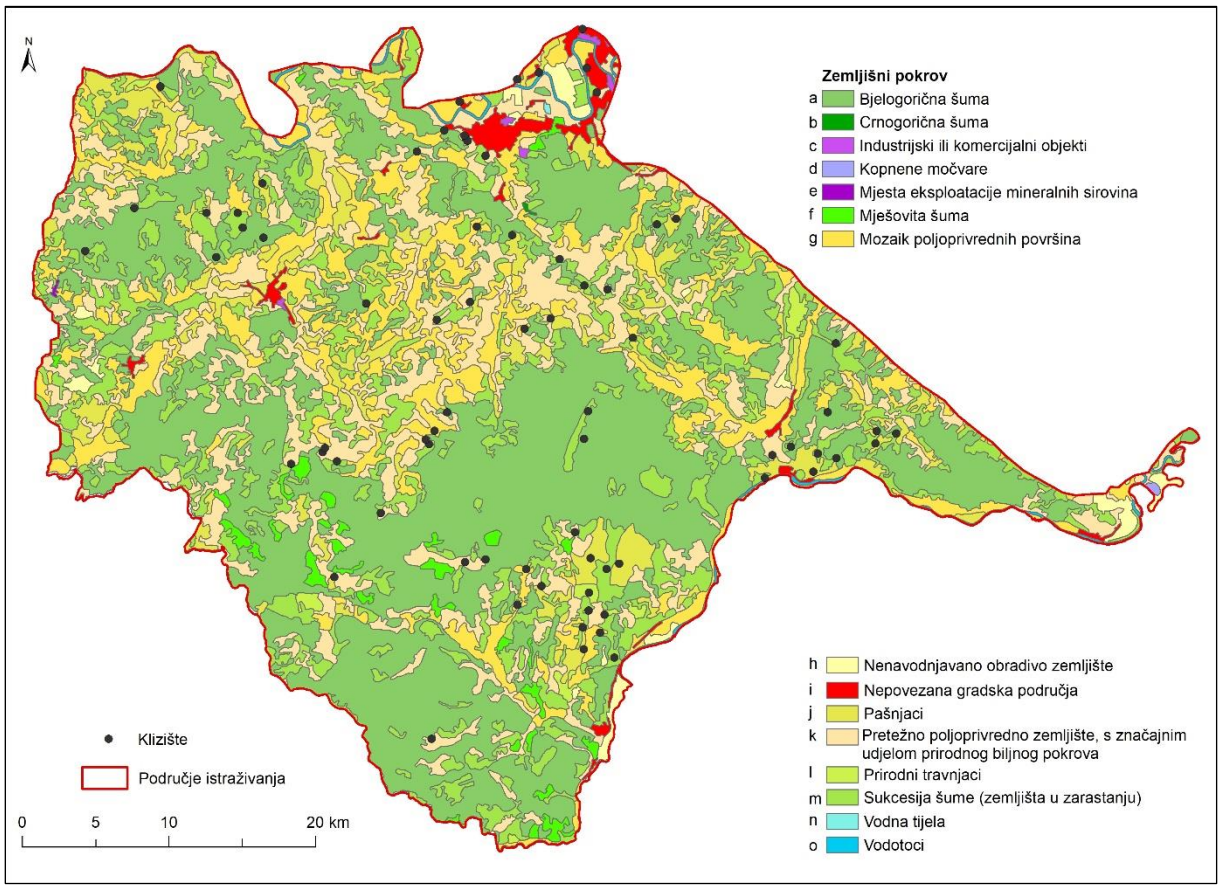
5.7.Zemljišni pokrov

Uz fizičkogeografske čimbenike, važnu ulogu kod nastanka klizišta ima i antropogeni utjecaj. Neadekvatno i prekomjerno iskorištavanje zemljišta i drugih resursa može dovesti do katastrofalnih posljedica, između ostalog, i pogodovati klizanju tla. Mnogi pokreti na padinama posljedica su interakcije prirodnih i antropogenih čimbenika. Čovjek svojim djelovanjem kao što je sječa šuma i gradnja može značajno utjecati na veličinu i učestalost pokreta na padinama. Uklanjanjem vegetacijskog pokrova može doći do povećanog djelovanje egzodinamskih faktora i promjena režima podzemnih voda što utječe na mehaničku stabilnost padine (Lončar, 2017). Dakle, ispiranja tla će biti mnogo veće, a samim time i mogućnosti za pokrete na padinama. Građevinski zahvati, kao što je zasijecanje padina, miniranje, ukopi itd., najčešće utječu na stabilnost padine i pojave klizišta i odrona. Rudarski radovi, kojima se vade sol i ugljen, mogu prouzročiti značajna slijeganja terena. Topljenjem soli stvaraju se pukotine u stijenskoj masi koja se zbog vlastite težine urušava (Lončar, 2017, 76).

Prema CLC-u analizirano je 15 načina iskorištavanja zemljišta na području Banovine čija je prostorna raspodjela vidljiva na Sl. 18. Bjelogorična šuma čini oko 41,2% površine što je i najveći udio površine istraživanog područja. Pretežno poljoprivredno zemljište, sa značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova čini 17,2%, zatim područja sukcesije šume zauzimaju 15,9% površine, a značajan udio čine i mozaici poljoprivredneih površina, 13,7% te pašnjaci, 6,8%. Udjeli površine oko 1% čine nepovezana gradska područja, 1,4%, mješovita šuma, 1,3%, te nenavodnjavano obradivo zemljište, 1,1%. Najmanje površinske vrijednosti, manje od 1%, imaju vodotoci, vodna tijela, prirodni travnjaci, industrijski ili komercijalni objekti, kopnene močvare, crnogorična šuma i mjesta eksploatacije mineralnih sirovina.

Promatrajući klase zemljišnog pokrova i broj klizišta, može se uočiti da se najveća koncentracija klizišta, njih 16, nalazi na poljoprivrednim zemljištima sa značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova. Na područjima sukcesije šume nalzi se 15 klizišta, 13 klizišta se prostire na mozaicima poljoprivrednih površina i na pašnjacima, a 12 klizišta na području bjelogoričnih šuma. Kada govorimo o korelaciji klizišta i pojedine kategorije zemljišnog

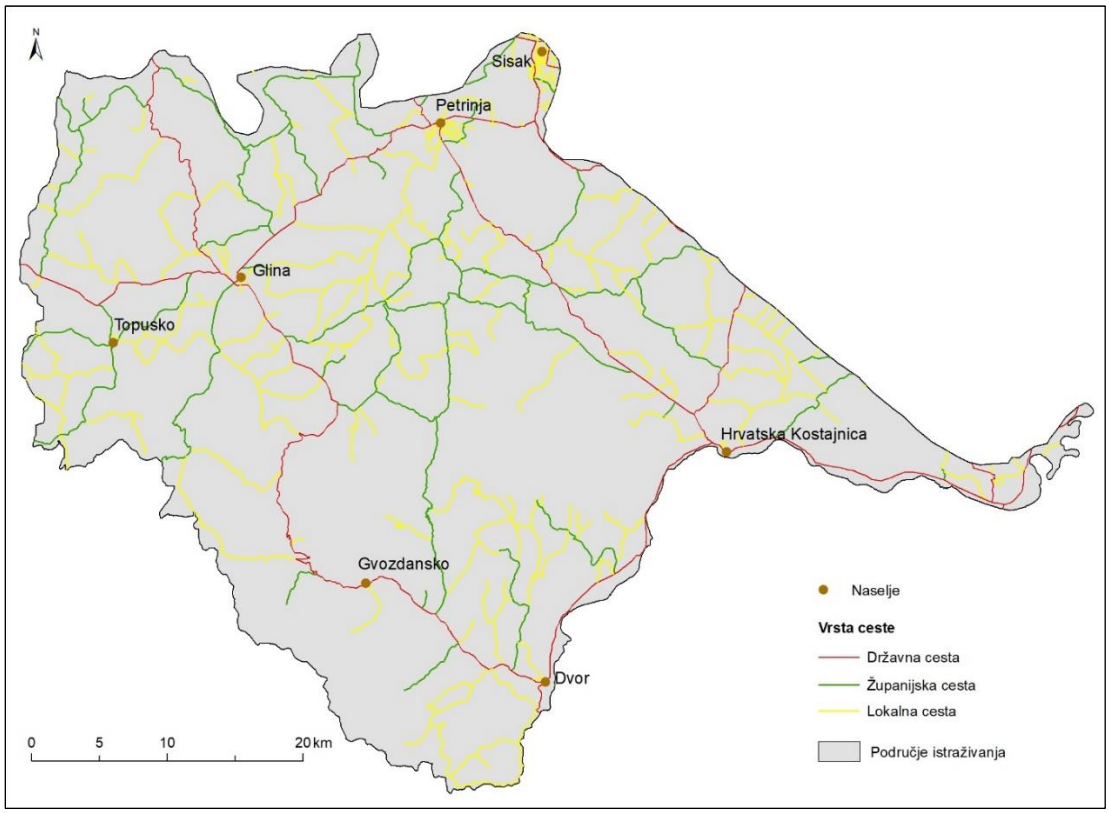
pokrova, prema vrijednostima dobivenim metodom omjera frekvencija, najveće vrijednosti korelacije dobivene su za područja prirodnih travnjaka (4,732), pašnjaka (2,531) i nepovezana gradska područja (3,790). Kod pojedinih kategorija zabilježena je veća korelacija, iako nema velikog broja klizišta, razlog tome je omjer male površine i broja klizišta. Jedan od razloga zašto se najveći broj klizišta nalazi upravo na poljoprivrednim područjima i pašnjacima je nedovoljna stabilnost tla uzrokovana nepostojanjem vegetacije čije bi korijenje učvršćivalo tlo. Isto tako, izgradom različitih objekata, cesta, eksploatacijom određenih minerala dolazi do narušavanja stabilnosti padina što dovodi do klizanja. Stalnom obradom tla i prekomejrnim navodnjavanjem čovjek doprinosi eroziji tla što ponovno pogoduje nastanku klizišta.



Sl. 18. Zemljišni pokrov na području Banovine prema CORINE modelu iz 2018. godine i prostorni razmještaj klizišta
Izvor: izrađeno prema podacima HAOP-a, 2018.

5.8. Cestovna mreža

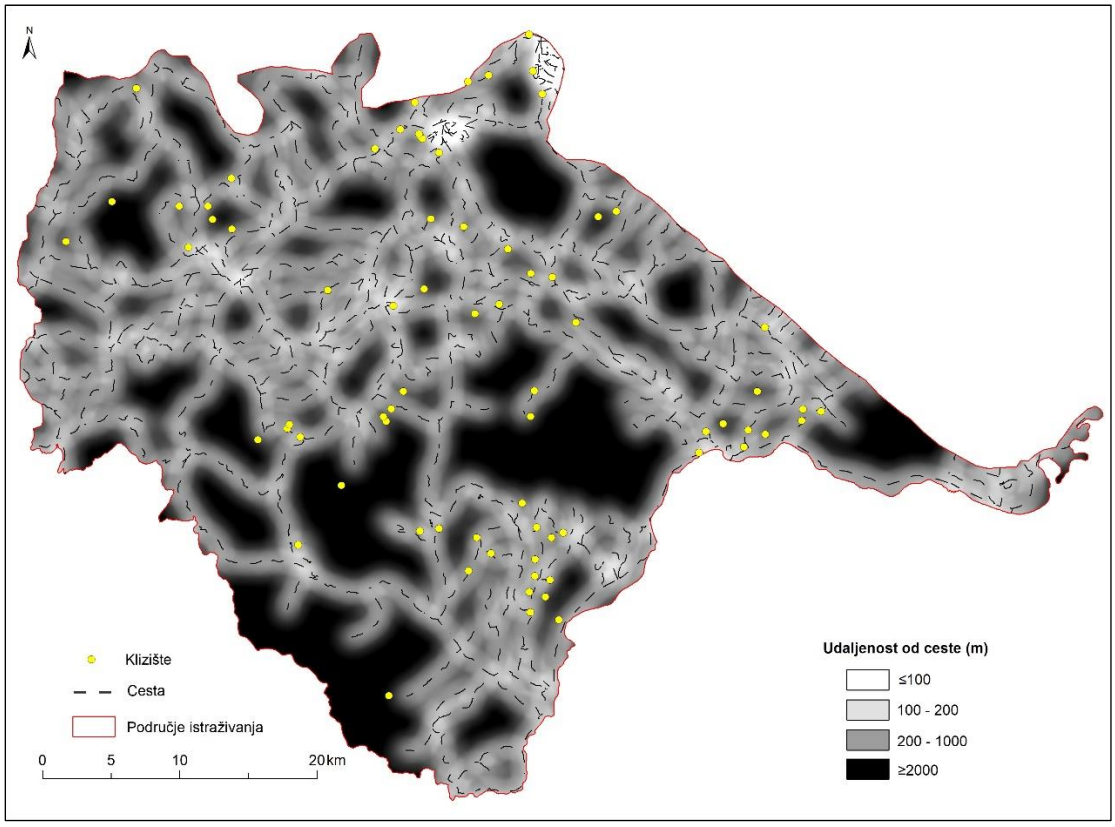
Čovjek svojim djelovanjem u okolišu ostavlja znatan trag što utječe na različite prirodne procese, pa tako i kod nastanka klizišta. Jedne od najčešćih antropogeno nastalih tvorevina kao uzrok nastanka klizišta, su neadekvatno sagrađene prometnice. Na području Banovine postoji oko 252 km državnih cesta, oko 318 km županijskih cesta, 1239 km lokalnih cesta te 383 km neklasificiranih cesta. Cestovna mreža prikazana je na Sl. 19. U daljnjoj analizi izostavljene su neklasificirane ceste prvenstveno jer se ne zna o kojem tipu cesta je riječ te kako se vizualno ne bi opteretilo kartu suvišnim sadržajem. Generalizacija neće umanjiti rezultate daljnje analize jer je vrlo vjerojatno da u neklasificirane ceste spadaju makadmi, pješačke staze itd. za čiju izgradnju nije bilo potrebno usjecati reljef, niti obavljati neke veće i zahtjevnije građevinske zahvate kao što je to kod izgradnje prometnica većeg značaja (državnih, županijskih i lokalnih cesta). To znači da je u područjima složenije izgradnje prometne infrastrukture moglo doći do neadekvatne gradnje zbog složenih i nedovoljno proučenih karakteristika reljefa. Ovakvo antropogeno djelovanje nepovoljno utječe na reljef što kao posljedice može imati klizanje tla, naravno uz djelovanje drugih faktora važnih za nastanak klizišta.



Sl. 19. Cestovna mreža na području Banovine

Kako bi utvrdili uzročno-posljedične veze između postojanosti klizišta i izgradnje prometnica, napravljena je analiza broja klizišta u odnosu na njihovu udaljenost od prometnica. Alatom euklidske udaljenosti napravljenje su zone udaljenosti od prometnica te su podijeljene u tri klase; 0- 200m, 200-1000m, i više od 1000m kako je prikazano na Sl. 20. Nakon toga su njihovi prijelazi zaglađeni alatom Focal statistic.

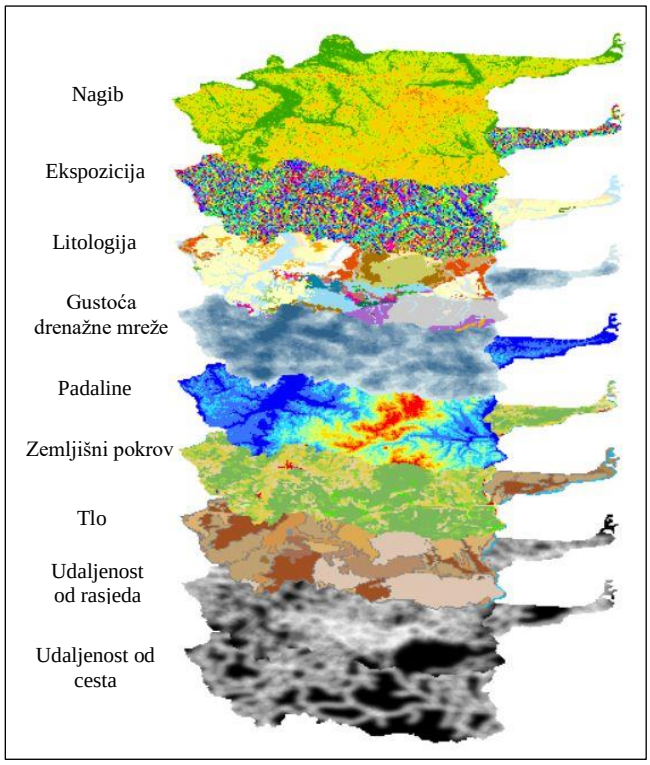
Velika koncentracija klizišta zabilježena je za područja najbliža prometnicama. Na udaljenosti do 100m od prometnica nalazi se 20 klizišta. Najveći broj klizišta zabilježen je na udaljenosti od 200 do 1000m, njih 37. Kada je riječ o FR vrijednosti, ona je najveća za područja najbliža prometnicama. Razlog tome je ponovno u omjeru površine i broja klizišta. U konačnici, može se pretpostaviti da su se neadekvatna izgradnja cesta i zasijecanje padina pokazale kao faktor koji dodatno narušava stabilnost padina i time pogoduje klizanju tla.



Sl. 20. Cestovna mreža sa zonama udaljenosti i prostorni razmještaj klizišta

6. Analiza podložnosti padina na klizanje

Izrada karte podložnosti na klizanje prikazuje prostornu vjerojatnost pojave klizanja na padinama. Kako bi se ostvarila izrada takve karte, provedena je višekriterijska GIS analiza koja je uključivala sljedeće ulazne podatke: klizišta, nagib padina, ekspoziciju, litologiju, gustoću drenažne mreže, padaline, tlo, zemljišni pokrov, udaljenost od rasjeda i udaljenost od cesta. Ulazni slojevi analize prikazani su na Sl. 21.



Sl. 21. Ulazni slojevi analize ugroženosti padina klizanjem na Banovini

Za izradu indeksa klizanja korištena je metoda omjera frekvencija. Ova metoda se temelji na odnosu distribucije lokacija nastanka klizišta i svakog čimbenika zasebno koji utječe na pojavu klizišta. Uz pomoć ove metode može se vidjeti korelacija između svakog pojedinog ulaznog podatka i sloja klizišta. Stoga, kod obrade ulaznih podataka, glavnu ulogu je imao sloj klizišta. Broj klizišta bio je zabilježen kod svake klase pojedinog faktora koji utječe na klizanje. Izračunom FR modela, dobivene su različite vrijednosti. Vrijednosti veće od 1 ukazuju na velik udio pojave klizišta na području i visoku korelaciju, a vrijednosti manje od 1 ukazuju na slabu korelaciju. U Tab. 3, nalazi se popis svih ulaznih slojeva i pripadajući izračuni korišteni u daljnjoj obradi rasterskih podataka.

Metoda omjera frekvencija računa se na temelju omjera površine pojedine klase i broja klizišta iste te klase određenog sloja. Upravo je veličina površine razlog zašto je kod pojedinh klasa slojeva zabilježena veća FR vrijednost, tj. korelacija, nego što je broj klizišta u toj klasi.

Za izračun FR modela, prvo je bilo potrebno vrijednosti površine i broja klizišta matematički dovesti na jedinice primjerene njenom računanju. Dakle, površina je izražena u broju pikesla te se kao takva ne može računati sa brojem klizišta. Budući da podaci o broju piksela klizišta nisu dostupni jer je sloj klizišta geometrijski zabilježen točkom, a ne poligonom, bilo je potrebno izračunati postotak klizišta svake klase, ali i postotak površine pripradajuće klase za svaki sloj. Nakon toga je bilo moguće dijeliti postotke klizišta sa površinom kako bi se izračunale FR vrijednosti koje predstavljaju korelaciju. Ove vrijednosti pokazuju koja je vjerojatnost da će se u budućnosti na određenom području pojaviti klizište.

Nakon izračuna FR modela, dobivene vrijednosti je bilo potrebno pretvoriti u postotak uz pomoć relativne frekvencije (RF) kako bi se one dalje mogle koristi kod reklasifikacije. RF je izračunata dijeljenjem FR vrijednosti svake klase sa sumom svih FR vrijednosti pojedinog sloja nakon čega je pretvorena u postotak. Postotak vrijednosti relativne frekvencije sveden je na cijeli broj (RF INT) koji je poslužio kod reklasifikacije ulaznih slojeva analize podložnosti klizanja.

Tab. 3. Izračun FR modela i relativne frekvencije

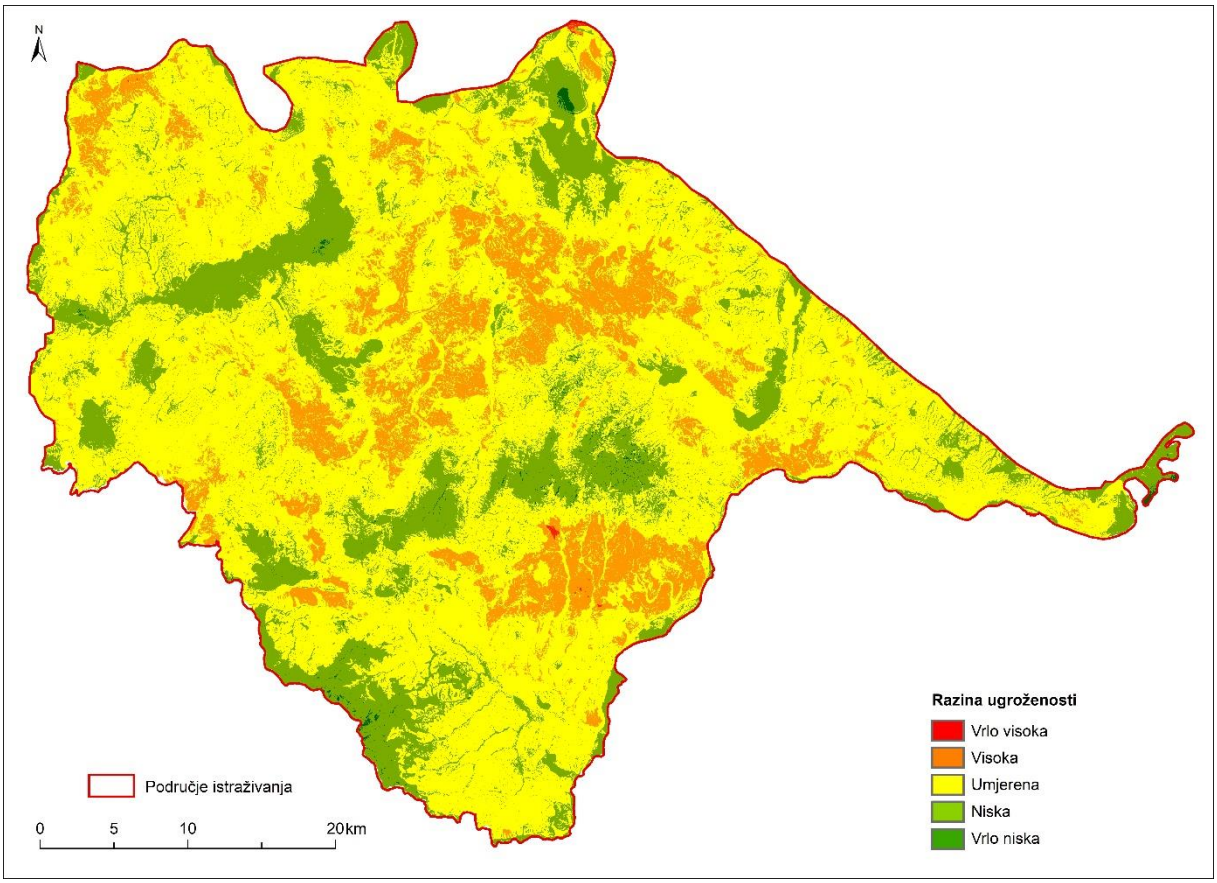
Sloj	Klase	Pikseli u klasi	% piksela u klasi	Broj klizišta u klasi	% Klizišta u klasi	FR	RF	RF (%)	RF (INT)
Nagib (°)	0-2	3475548	16,965	8	10,667	0,629	0,177	17,711	17
	2-5	2380333	11,619	5	6,667	0,574	0,162	16,163	16
	5-12	7088455	34,600	31	41,333	1,195	0,337	33,651	33
	12-32	7344839	35,852	31	41,333	1,153	0,325	32,476	32
	32-55	197388	0,963	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	>55	109	0,001	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
		20486672		75		3,550			
Ekspozicija	Ravnice	7307	0,036	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	N	2547814	12,436	10	13,333	1,072	0,133	13,302	13
	NE	2537725	12,387	9	12,000	0,969	0,120	12,019	12
	E	2724408	13,298	9	12,000	0,902	0,112	11,196	11
	SE	2719494	13,274	8	10,667	0,804	0,100	9,970	9
	S	2439207	11,906	11	14,667	1,232	0,153	15,283	15
	SW	2332407	11,385	10	13,333	1,171	0,145	14,530	14
	W	2529020	12,345	11	14,667	1,188	0,147	14,741	14
	NW	2649290	12,932	7	9,333	0,722	0,090	8,955	8
		20486672		75		8,0660			
Gustoća drenažne mreže (km/km2)	0-0,54	1966756	9,566	4	5,333	0,558	0,115	11,522	11,000
	0,54-0,8	4681624	22,771	22	29,333	1,288	0,266	26,621	26,000
	0,8-1	5078163	24,700	19	25,333	1,026	0,212	21,196	21,000
	1-1,3	5663175	27,545	23	30,667	1,113	0,230	23,007	23,000
	1,3-1,6	2245137	10,920	7	9,333	0,855	0,177	17,663	17,000
	1,6-2,3	924860	4,498	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		20559715		75		4,839			
Padaline (mm)	862-985	4461376	21,749	12	16,000	0,736	0,108	10,838	10
	985-1092	5683506	27,707	21	28,000	1,011	0,149	14,888	14
	1092-1210	3657935	17,832	17	22,667	1,271	0,187	18,726	18
	1210-1342	2338137	11,398	11	14,667	1,287	0,190	18,956	18
	1342-1485	1785283	8,703	10	13,333	1,532	0,226	22,570	22
	1485-1643	1273600	6,209	3	4,000	0,644	0,095	9,491	9
	1643-1822	887794	4,328	1	1,333	0,308	0,045	4,539	4
	>1822	425518	2,074	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
		20513149		75		6,788			
Litologija	a	1526202	7,423	3	4,000	0,539	0,021	2,079	2
	M 2,2	412671	2,007	3	4,000	1,993	0,077	7,688	7
	E, OI?	173070	0,842	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	dpr	966861	4,703	2	2,667	0,567	0,022	2,188	2
	Bbab	32841	0,160	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	T 2	155738	0,757	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	Pc	942468	4,584	3	4,000	0,873	0,034	3,366	3
	v	26756	0,130	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	PI 1,2	105381	0,513	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0

	PC,E	60425	0,294	1	1,333	4,537	0,175	17,503	17
	M 4	831417	4,044	5	6,667	1,649	0,064	6,360	6
	PI 1,1	1003561	4,881	6	8,000	1,639	0,063	6,323	6
	PI 2,1	333363	1,621	3	4,000	2,467	0,095	9,518	9
	I	985417	4,793	4	5,333	1,113	0,043	4,293	4
	A	166634	0,810	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	J 2,3	9858	0,048	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	P, T	5902	0,029	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	T 1	391363	1,904	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	M 2,7	45163	0,220	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	M 1, 2	79642	0,387	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	PI 2,3	1054520	5,129	7	9,333	1,820	0,070	7,020	7
	M 2,7	72866	0,354	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	K 1	35338	0,172	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	J-K?	31600	0,154	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	J 2,3	864065	4,203	2	2,667	0,635	0,024	2,448	2
	M 2	953871	4,640	8	10,667	2,299	0,089	8,870	8
	M 5	817254	3,975	8	10,667	2,683	0,104	10,353	10
	PC,E	1023015	4,976	1	1,333	0,268	0,010	1,034	1
	K 3,2	7611	0,037	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	ap	1053708	5,125	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	Se	91348	0,444	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	PI, Q	3821365	18,587	13	17,333	0,933	0,036	3,598	3
	1 T 1	29484	0,143	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	J 2,3	99820	0,486	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	D 1	8628	0,042	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	C	1365495	6,642	1	1,333	0,201	0,008	0,775	0
	K 2, 1,2	80018	0,389	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	M 6	804427	3,913	5	6,667	1,704	0,066	6,574	6
	1 M 3, 1,2	38879	0,189	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	T 2,2	51710	0,252	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
		20559755		75		25,92			
Tlo	1	152890	0,744	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	2	272725	1,327	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	3	8018	0,039	1	1,333	34,182	0,614	61,427	61
	4	243298	1,184	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	5	336824	1,639	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	6	11459	0,056	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	7	64046	0,312	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	8	47105	0,229	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	9	5196916	25,283	12	16,000	0,633	0,011	1,137	1
	10	146423	0,712	2	2,667	3,744	0,067	6,727	6
	11	1231394	5,991	2	2,667	0,445	0,008	0,800	0
	12	66209	0,322	2	2,667	8,279	0,149	14,878	14
	13	3042586	14,802	15	20,000	1,351	0,024	2,428	2
	14	2462390	11,979	20	26,667	2,226	0,040	4,000	4

	15	112051	0,545	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	16	340202	1,655	1	1,333	0,806	0,014	1,448	1
	17	1257960	6,120	8	10,667	1,743	0,031	3,132	3
	18	4451096	21,655	6	8,000	0,369	0,007	0,664	0
	19	26254	0,128	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	20	879799	4,280	6	8,000	1,869	0,034	3,359	3
	21	18651	0,091	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	22	143630	0,699	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	23	43128	0,210	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
		20555054		75		55,646			
Zemljišni pokrov	a	8452538	41,206	12	16,000	0,388	0,026	2,554	2
	b	3424	0,017	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	c	21216	0,103	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	d	5848	0,029	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	e	2935	0,014	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	f	257187	1,254	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	g	2809103	13,694	13	17,333	1,266	0,083	8,325	8
	h	228026	1,112	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	i	288665	1,407	4	5,333	3,790	0,249	24,927	24
	j	1404767	6,848	13	17,333	2,531	0,166	16,647	16
	k	3528271	17,200	16	21,333	1,240	0,082	8,158	8
	l	115598	0,564	2	2,667	4,732	0,311	31,124	31
	m	3263510	15,910	15	20,000	1,257	0,083	8,268	8
	n	2673	0,013	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
	o	129185	0,630	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
		20512946		75		15,204			
Udaljenost od rasjeda (m)	0-200	9351564	45,485	41	54,667	1,202	0,428	42,786	42
	200-1000	9409888	45,769	29	38,667	0,845	0,301	30,076	30
	>1000	1798263	8,747	5	6,667	0,762	0,271	27,134	27
		20559715		75		2,809			
Udaljenost od cesta (m)	0-100	2526872	12,290	20	26,667	2,170	0,458	45,784	45
	100-200	2155644	10,485	9	12,000	1,145	0,242	24,151	24
	200-1000	10648710	51,794	37	49,333	0,952	0,201	20,099	20
	>1000	5228489	25,431	9	12,000	0,472	0,100	9,957	9
		20559715		75		4,739			

U konačnici, preklapanjem rasterskih slojeva napravljena je karta koja prikazuje stupanj ugroženosti prostora Banovine klizištima (Sl. 22). Metodom jednakih intervala napravljena je klasifikacija dobivenih vrijednosti u pet klasa razine ugroženosti. Formula izračuna indeksa klizanja glasi:

$$LSI = FR_{nagib} + FR_{ekspozicija} + FR_{gustoća\ drenažne\ mreže} + FR_{litologija} + FR_{padaline} + FR_{tlo} + FR_{zemljišni\ pokrov} + FR_{udaljenost\ od\ rasjeda} + FR_{udaljenost\ od\ cesta}$$



Sl. 22. Karta ugroženosti padina klizištima na području Banovine

U posljednja dva desetljeća LSI je postao vrlo važan i učinkovit način procjene pojava klizišta. Rezultati LSI-a mogu se koristiti za upravljanje zemljištem i ublažavanje opasnosti od klizišta (Zhou i dr., 2016). Izradom karte indeksa ugoženosti padina klizištima na području Banovine (Sl. 22) prema prostornoj raspodjeli se može uočiti da su izrazito malo zastupljena područja s vrlo niskom ugroženosti od klizanja. Ona obuhvaćaju dijeliće dolina Kupe i Gline te izrazito male dijelove na Zrinskoj i Trgovačkoj gori. Područja niske ugroženosti klizištima uglavnom su vezana za doline rijeka i najviše predjele Zrinske gore. U najvećoj mjeri su zastupljene padine koje su umjerno ugožene klizanjem te se one prostiru na svima dijelovima

Banovine. Zastupljenošću se ističu i područja visoke ugroženosti klizištima. Ona obuhvaćaju uglavnom planinsko-brdske predjele Zrinske i Hrastovičke gore, širi pojas Hrvatske Kostajnice te krajnje obronke Trgovačke i Petrove gore. Manje područje visoke i vrlo visoke ugroženosti nalazi se u dolini rijeke Kupe što je neuobičajeno. Prema lokacijama klizišta na tome području može se pretpostaviti da se radi o klizištima nastalim zbog usjecanja prometica. Vrlo visoka ugroza klizanjem karakterizira izrazito male dijelove obronaka Petrove gore te predjele južnih obronaka Zrinske gore. Iz priloženog se može zaključiti da su prirodno geografske karakteristike Banovine izrazito pogodne za nastanak klizišta, a tome još pridonosi i antropogeni utjecaj.

7. Rasprava

Prema rezultatima dobivenim GIS analizom koja je utemeljena na recentnim klizištima, može se vidjeti da je područje Banovine vrlo ugroženo pojavama klizišta. Stoga je potrebno poduzeti različite mjere prevencije, sanacije i edukacije kako bi posljedice bile što manje. Analize ugroženosti padina klizištima imaju veliku ulogu u prostornom planiranju. Nepostojanje adekvatnih karata zonacije terena prema stabilnosti i ugroženosti od klizanja može dovesti do katastrofalnih posljedica. Te karte prikazuju vrlo rizična područja za izrgadnju stambenih zagrada i/ili poslovnih zgrada, ali i za gradnju nekakvih drugih složenih objekta ili prometnica. Stoga bi ta područja trebalo izbjegavati ili primijeniti adekvatne metode gradnje za nj. Multikriterijskim analizama nagiba padina, ekspozicije, litologije, drenažne mreže, padalina, tla, zemljišnog pokrova, rasjeda, cestovne mreže, ali i još drugih kao što je erozija, vlažnost tla itd., mogu se dobiti informacije ključne za prostorno planiranje, arhitekturu i građevinu. Naime, ovisno o karakteristikama terena, litologiji, vrsti tla, nagibu itd. može se prilagodi izgradnja, i osigurati padine ugrožene klizanjem kako bi se smanjile materijalne štete.

Slovenija je nakon intenzivnih kiša posljednjih godina zabilježila velik broj klizišta. To ih je navelo na izradu katastra klizišta, ali i na razvoj sustava predviđanja klizišta kao preventivnu mjeru smanjenja opasnosti od klizanja tla. Uspostava takvih rješenja bi najviše pridonjela očuvanju ljudskih života i imovine. Korištenjem tehnolgija, kao što je LIDAR, te uz pomoć osnovne i topografske karte, bilo bi moguće detaljno iskartirati klizišta. Katastar klizišta i karte ugrženosti padina klizištima trebale bi biti uspostavljene za cijelu zemlju, te bi se trebale

koristiti kod prostornog planiranja, ali i biti javno dostupne za različite svrhe, kao što je primejrica kupovanje parcela za privatne ili poslovne svrhe.

Danas su razvijene različite metode sprječavanja ili ublaživanja pojave klizišta. Jedan od primjera je pošumljavanje vegetacijom koja ima duboko korijenje koje učvršćuje tlo i zahtjeva veću količinu vode. To bi ujedno na jedan način i dreniralo tlo. Drenažom vode s padina dolazi do smanjenja razine vodnog lica što smanjuje i pojavu klizišta. Od tehničkih zahvata poznata je ugradnja velikih vijaka u padinu koja stablilizira slojeve, zatim terasiranje padina što smanjuje nagibe i preraspodjeljuje masu na njima, te uklanjanje nestabilnih dijelova na padinama, a često se grade i potporni zidovi koji zadržavaju debris ili stabiliziraju regolit.

8. Zaključak

Klizanje je prirodan proces oblikovanja reljefa koji se javlja kao posljedica djelovanja egzogenih procesa i/ili antropogenog djelovanja. Provedbom GIS analize napravljena je karta indeksa klizanja koja je ukazala na visok stupanj ugroženosti padina klizištima na Banovini. To nam govori da su prirodne karakteristike ovog područja izrazito pogodne za nastanak mnogobrojnih klizišta u budućnosti. Najveći utjecaj na nastanak klizišta ima litologija i pedologija. Veća koncentracija klizišta javila se na mekšim stijenama i sitnozrnatim materijalima. Velik broj klizišta uglavnom je zabilježen kod pijesaka, glina, konglomerata, šljunka, lesa i škriljavaca. Veći postotak glina znači i veću mogućnost za razvoj klizišta. Područja izmjene propusnih pjeskovitih i nepropusnih glinovitih slojeva na padini predstavljaju najpogodnije uvjete za nastanak klizišta. Glina je zbog svojeg specifičnog svojstva bubrenja ključna kao klizna ploha klizišta. Ostali čimbenici u manjoj mjeri utječu na klizanje, no njihov utjecaj je i dalje značajan. Narušavanjem stablinosti slojeva, uz seizmički najaktivnije pravce u zonama rasjeda, također može doći do pojave klizišta. Nagibi padina od 5°do 32° pokazali su se najpogodniji za buduće pojave klizanja tla. Ekspozicije padina imaju gotovo jednake mogućnosti nastanka klizišta. Za njih je ključno koliku količinu padalina primaju. Kada je riječ o padalinama, najveću mogućnost pojave klizišta imaju padine sa srednjom desetogodišnjom količinom padalina. Vjerojatno je da su ova područja u kraćem vremenskom periodu bila izložena kratkotrajnijim intenzivnim kišama koje su dovele do prezasićenja tla i narušavanja stabilnosti padine. Nadalje, zemljišni pokrov ukazuje koliko je neko područje izloženo eroziji tla te samim time, kolika je vjerojatnost klizanja. Najveći broj klizišta nalazi se na

poljoprivrednim parcelama i pašnjacima. Uzrok toga je nedovoljna stabilnost tla uzrokovana nepostojanjem vegetacije čije bi korijenje učvršćivalo tlo, ali i konstantna obrada poljoprivrednog zemljišta te navodnjavanje koje doprinosi eroziji tla. Nadalje, izgradnja različitih objekata, cesta, eksploatacija minerala, također dovode do narušavanja stabilnosti padina. U konačnici se može zaključiti kako karte ugroženosti padina klizištima mogu poslužiti kao temelj za racionalno upravljanje i iskorištavanje zemljišta, prvenstveno zbog sigurne i planske gradnje. Uspostavom sustava pravovremenog upozorenja spasili bi se ljudski životi, ali i umanjila materijalna šteta, a organiziranjem edukativnih projekata podigla bi se svijest o riziku i opasnostima koje nose klizišta.

Literatura

Al-Thuwaynee, O., Pradhan, B., Ahmad, N., 2014: Landslide susceptibility mapping using decision-tree based CHi-squared automatic interaction detection (CHAID) and Logistic regression (LR) integration

Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005: The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan

Baeza, C., Corominas, J., 2001: Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques

Bai, S., Wang, J., Lu, G. N., Xu, S. N., Gen, Z. P., Hou, S. S., 2010: GIS-based and logistic regression for landslide susceptibility mapping of Zhongxian segment in the Three Gorge area,China

Benac, Č., 2016: Riječnik pojmova u općoj i primijenjenoj geologiji

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

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

Cruden, D. M., Varnes, D. J., 1996: Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75

Faivre, S., Radeljak, P., Grabac 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.

Foumelis, M., Lekkas, E., Parcharidis, I., 2004: Landslide susceptibility mapping by GIS-based qualitative weighting procedure in Corinth area

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

HGI, 2014: Geološka karta Bosanski Novi, Hrvatska Kostajnica, Karlovac, Kutina, Sisak, Slunj, 1:100.000, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Horvat J., Mijoč, J., 2014: Osnove statistike, Naklada Ljevak, Zagreb.

Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., 2014: The Varnes classification of landslide types, an update

Križe, I., 2019: Uzroci, posljedice i sanacija klizišta na Banovini

Lee, S., Sambath, T., 2006: Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models

Lee, S., 2008: Predictive landslide susceptibility mapping using spatial information in the Pechabun area of Thailand

Lončar, N., 2017: Geografija prirodnih prijetnji, Skripta predavanja, Zadar

Loparić, I., Pahernik, M., 2012: Acta Geographica Croatica GIS analiza ugroženosti padina klizištima u području grada Lepoglave

Lozić, S., 1996: Acta Geographica Croatica Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske

Magaš, D., 2013: Geografija Hrvatske, Meridijani, Zagreb

Mesarić, M. i dr. 2015: Izvješće o stanju okoliša Sisačko – moslavačke županije 2011 – 2014, str. 8-253., Zagreb

Neuhäuser, B. i Terhorst, B. 2007: Landslide susceptibility assessment using "weights-of-evidence" applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany)

Ohlmacher, G. C., 2001: The Relationship Between Geology and Landslide Hazards of Atchison, Kansas, and Vicinity

Pahernik, M. 2007: Digitalna analiza padina otoka Raba, Geoadria, vol. 12 (1); str. 3-22.

Pamela, P., Sadisun, I. A., Arifianti, Y., 2018: Weights of Evidence Method for Landslide Susceptibility Mapping in Takengon, Central Aceh, Indonesia

Pourghasemi, H. R., Devkota K., 2013: Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya

Pradhan, B., Lee, S., 2010: Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling

Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M. F., 2010: Remote Sensing and GIS-based Landslide Susceptibility Analysis and its Cross-validation in Three Test Areas Using a Frequency Ratio Model

Šagud, D., Mihalić Arbanas, S., 2015: Statistička analiza inventara klizišta Podsljemenske zone iz 1979. godine

Šegota, T., Filipčić, A. 1996: Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb

Tandarić, N., 2010: Opća geomorfologija, skripta, Zagreb

Tsangaratos, P., Loupasakis, C., Rozos, D. E., Ilia, I. K., 2015: Landslide susceptibility assessments using the k-Nearest Neighbor algorithm and expert knowledge. Case study of the basin of Selinounda river, Achaia County, Greece.

Vujnović, R., Mihalić Arbanas, S., 2021: Procjena podložnosti na klizanje na području Grada Slatine primjenom bivarijatne statističke metode

Wang, Q., Li, W., Chen, W., Bai, H., 2015: GIS-based assessment of landslide susceptibility using certainty factor and index of entropy models for the Qianyang County of Baoji city, China

Wang Q., Li, W., 2017: A GIS-based comparative evaluation of analytical hierarchy process and frequency ratio models for landslide susceptibility mapping

Yalcin, A., 2008: GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations

Yilmaz, I., 2009: Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey)

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

Zhou, Qiming, 2017: Digital Elevation Model and Digital Surface Model

Zhou, S., Chen, G., Fang, L., Nie, Y., 2016: GIS-Based Integration of Subjective and Objective Weighting

Izvori

https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=1f60e2d2cf904e90b154eae4516f7877&extent=13.0029,43.1441,21.1273,46.3991, 2017.-2019. (15. 11. 2021)

Digitalni model reljefa rezolucije 10 x 10 m, baza podataka GIS laboratorija Geografskog odsjeka PMF-a

Državna geodetska uprava, Središnji registar prostornih jedinica RH, (GIS shapefileovi), /https://dgu.gov.hr/registar-prostornih-jedinica-172/172 (15.11. 2021.)

Državna geodetska uprava (DGU), 2010., https://geoportal.dgu.hr (11. 12. 2021.)

Geofabrik, https://www.geofabrik.de (1.12.2021.)

Hrvatski geološki institut (HGI), https://www.hgi-cgs.hr (20. 12. 2021.)

Tlo i biljka, 2018., http://tlo-i-biljka.eu/iBaza/DPK-Hr_2021/index.html (30.11. 2021.)

Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, 2018., http://www.haop.hr/hr/ (30. 11. 2021.)

European Environment Aagency, Corine land cover, 1990 - 2000, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2/corine-land-cover-classes-and/clc_legend.csv (1.12. 2021.)

Popis grafičkih priloga

Sl. 1. Oblik rotacijskog klizišta i osnovni dijelovi klizišta 3
Sl. 2. Geografski i geomorfološki položaj Banovine 8
Sl. 3. Prostona raspodjela klizišta na području Banovine 15
Sl. 4. Gustoća klizišta na području Banovine 16
Sl. 5. Geološka karta Banovine i prostorni razmještaj klizišta 18
Sl. 6. Zone udaljenosti od rasjeda i prostorni razmještaj klizišta 19
Sl. 7. Hipsometrijska karta Banovine 21
Sl. 8. Kategorije nagiba padina na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta 22
Sl. 9. Ekspozicije padina na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta 24
Sl. 10. Morfogenetski tipovi reljefa na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta 26
Sl. 11. Drenažna mreža Banovine 27
Sl. 12. Gustoća riječne mreže na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta 28
Sl. 13. Tipovi tala na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta 31
Sl. 14. Klimadijagram za klimatološku postaju Hrvatska Kostajnica za razdoblje (1999.-2018.) 33
Sl. 15. Klimadijagram za klimatološku postaju Petrinja za razdoblje (1999.-2018.) 33
Sl. 16. Klimadijagram za klimatološku postaju Topusko za razdoblje (1999.-2018.) 33
Sl. 17. Prostorna raspodjela padalina na području Banovine i prostorni razmještaj klizišta ... 35
Sl. 18. Zemljišni pokrov na području Banovine prema CORINE modelu iz 2018. godine i prostorni razmještaj klizišta 37
Sl. 19. Cestovna mreža na području Banovine 38
Sl. 20. Cestovna mreža sa zonama udaljenosti i prostorni razmještaj klizišta 39
Sl. 21. Ulazni slojevi analize ugroženosti padina klizanjem na Banovini 40
Sl. 22. Karta ugroženosti padina klizištima na području Banovine 45

Popis tablica

Tab. 1. Broj klizišta po općinama na području Banovine 15
Tab. 2. Srednja desetogodišnja količina padalina prema postajama na Banovini 34
Tab. 3. Izračun FR modela i relativne frekvencije 42