

# Geokološko vrednovanje georaznosti fluviočkih dolina jugoistočnog Žumberačkog gorja

---

Stipković, Jurica

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:438626>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

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



**Jurica Stipković**

**Geokološko vrednovanje georaznolikosti fluviokrških  
dolina jugoistočnog Žumberačkog gorja**

**Diplomski rad**

**Zagreb**

**2024.**



**Jurica Stipković**

**Geoekološko vrednovanje georaznolikosti fluviokrških  
dolina jugoistočnog Žumberačkog gorja**

**Diplomski rad**

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

**Zagreb**

**2024.**

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

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Diplomski rad

**Geokološko vrednovanje georaznolikosti fluviokrških dolina jugoistočnog  
Žumberačkog gorja**

Jurica Stipković

**Izvadak:** Doline jugoistočnog Žumberačkog gorja reprezentativan su primjer fluviokrškog reljefa u Hrvatskoj. Zbog specifične litološke podloge u kojoj prevladavaju dolomiti, na ovom području su se razvili specifični krški i fluviokrški reljefni oblici. Geomorfološke strukture endogenog i egzogenog reljefa doprinose velikoj georaznolikosti promatranog područja. Vrijednost georaznolikosti djelomično je prepoznata, iako još nije u potpunosti valorizirana i istražena. U ovome je radu provedena detaljna analiza čimbenika oblikovanja reljefa, krajobraznih i morfometrijskih parametara koji utječu na georaznolikost jugoistočnog Žumberačkog gorja. Cilj rada je izdvajanje najrelevantnije fluviokrške doline na temelju brojnosti karakterističnih i dijagnostičkih oblika krškog i fluviokrškog reljefa u Hrvatskoj te provođenje detaljne geomorfološke analize. Metodom relativnog vrednovanja reljefa izdvojena su područja najveće vrijednosti u istraživačke i obrazovne svrhe. U svrhu edukacije o značaju fluviokrškog reljefa u Hrvatskoj, predložene su trase potencijalnih poučnih staza koje bi povezivale zone najveće georaznolikosti. Dolina Slapnice, zbog svoje georaznolikosti bila bi reprezentativan primjer fluviokrškog reljefa Žumberačkog gorja i kao takva predstavljala bi jedinstvenu geobaštinu Republike Hrvatske.

95 stranica, 41 grafičkih priloga, 15 tablica, 84 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

**Ključne riječi:** Žumberačko gorje, geomorfologija, fluviokrš, georaznolikost, vrednovanje

**Voditelj:** prof. dr. sc. Nenad Buzjak

**Povjerenstvo:** prof. dr. sc. Nenad Buzjak  
prof. dr. sc. Neven Bočić  
prof. dr. sc. Danijel Orešić

**Tema prihvaćena:** 9. 2. 2023.

**Rad prihvaćen:** 5. 9. 2024.

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

**Geocological evaluation of the geodiversity of the fluviokarst valleys of the southeastern  
Žumberak mountain**

Jurica Stipković

**Abstract:** The valleys of the southeastern Žumberak mountain are a representative example of fluviokarst relief in Croatia. Due to the specific lithological base in which dolomites predominate, specific karst and fluviokarst landforms have developed in this area. Geomorphological structures of endogenous and exogenous relief contribute to the great geodiversity of the observed area. The value of geodiversity is partially recognized, although it has not yet been fully valorized and explored. In this paper, a detailed analysis of the relief shaping factors, landscape and morphometric parameters that influence the geodiversity of the southeastern Žumberak mountain was carried out. The aim of the work is to single out the most relevant fluviokarst valley based on the number of characteristic and diagnostic forms of karst and fluviokarst relief in Croatia and to carry out a detailed geomorphological analysis. The method of relative evaluation of the relief singles out areas of greatest value for research and educational purposes. In order to educate the population about the significance of the fluviokarst relief in Croatia, routes of potential educational trails were proposed that would connect the zones of greatest geodiversity. The valley of greatest geodiversity would be a representative example of the fluviokarst relief of Žumberak mountain and as such would represent the unique geoheritage of the Republic of Croatia.

95 pages, 41 figures, 15 tables, 84 references; original in Croatian  
mountain, geomorphology, fluviokarst, geodiversity, evaluation

Žumberak

Supervisor: Nenad Buzjak, PhD, Full Professor

Reviewers: Nenad Buzjak, PhD, Full Professor  
Neven Bočić, PhD, Full Professor  
Danijel Orešić, PhD, Full Professor

Thesis title accepted: 09/02/2023

Thesis accepted: 05/09/2024

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





## Sadržaj:

1. Uvod .....	1
2. Teorijski okvir i pregled dosadašnjih istraživanja .....	2
2.1. Teorijski okvir .....	2
2.2. Pregled dosadašnjih geoloških, geomorfoloških i speleoloških istraživanja Žumberačkog gorja .....	7
3. Prostorni obuhvat i geomorfološki položaj .....	9
3.1. Prostorni obuhvat .....	9
3.2. Geomorfološki položaj .....	11
4. Metode rada i podaci .....	12
4.1. Određivanje granice područja istraživanja .....	12
4.2. Geološki, geomorfološki i speleološki podaci .....	13
4.2.1. Geološki podaci .....	13
4.2.2. Morfometrijska obilježja i drenažna mreža .....	13
4.2.3. Geomorfološki podaci .....	14
4.2.3.1. Izdvajanje najreprezentativnijeg porječja .....	14
4.2.3.2. Geomorfološka analiza i sinteza .....	15
4.3. Klimatološki podaci .....	16
4.4. Krajobrazna obilježja .....	16
4.5. Geokološko vrednovanje .....	17
5. Rezultati i rasprava .....	20
5.1. Geološka građa i morfološka struktura .....	20
5.1.1. Geološka građa .....	20
5.1.2. Morfološka struktura .....	23
5.2. Morfometrijska obilježja reljefa .....	24
5.2.1. Hipsometrijska obilježja .....	24
5.2.2. Nagibi padina .....	26
5.2.3. Vertikalna raščlanjenost reljefa .....	29
5.2.4. Ekspozicija padina .....	32
5.2.5. Zakrivljenost padina .....	35
5.2.5.1. Profilna zakrivljenost .....	35
5.2.5.2. Planarna zakrivljenost .....	37
5.3. Klimatska obilježja .....	40
5.4. Hidrološka obilježja .....	42
5.4.1. Drenažna mreža .....	42

5.4.2. Obilježja porječja .....	44
5.5. Krajobrazna obilježja .....	47
5.5.1. Pedološka obilježja .....	47
5.5.2. Obilježja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta .....	49
5.5.3. Kategorije zaštite .....	51
5.6. Izdvajanje najreprezentativnijeg porječja.....	53
5.6.1. Dolinska mreža .....	54
5.6.2. Rasjedi .....	55
5.6.3. Hidrogeološki elementi georaznolikosti .....	57
5.6.4. Ponikve .....	58
5.6.5. Speleološki objekti.....	59
5.7. Analiza georaznolikosti porječja Slapnice .....	61
5.7.1. Egzogeomorfološka obilježja porječja Slapnice .....	63
5.7.1.1. Morfogenetski tipovi reljefa .....	63
5.7.1.2. Fluviokrški reljef.....	64
5.7.1.3. Krški reljef.....	72
5.7.1.4. Padinski i Fluviodenudacijski reljef .....	75
5.7.1.5. Antropogeni reljef .....	77
5.7.2. Geoekološko vrednovanje porječja Slapnice .....	79
5.7.2.1. Rezultati vrednovanja .....	79
5.7.2.2. Poučne staze.....	86
6. Zaključak.....	88
7. Popis literature i izvora.....	89
7.1. Popis literature .....	89
7.2. Popis izvora .....	95
Prilozi.....	VIII

## 1. Uvod

Žumberačko gorje, sa svojih 1178 m nadmorske visine, predstavlja najvišu goru Panonskog bazena u Hrvatskoj (Bognar, 2001). Smješteno je između dolina rijeka Kupe i Save na granici Hrvatske i Slovenije. U geomorfološkom kontekstu, Žumberačko gorje je subgeomorfološka regionalna jedinica gorsko – zavalске makrogeomorfološke regije rubnog dijela sjeverozapadne Hrvatske i jugoistočne Slovenije. Morfogenetski gledano, rubni je dio Dinarida koji predstavljaju najveće područje krškog reljefa u Hrvatskoj. Krški reljef u Hrvatskoj od izrazitog je značaja jer prekriva 43,7% teritorija Republike Hrvatske (Bognar i dr., 2012). Upravo se na krškom reljefu razvijaju najvrjedniji i najatraktivniji geomorfološki oblici zbog njegovih jedinstvenih karakteristika i svojstava.

U geotektonskom pogledu, Žumberačko gorje je gorski masiv koji je dio zone unutrašnjih Dinarida. Predstavlja geotektonsku cjelinu složene strukture sastavljene od niza geotektonskih jedinica (Šikić i dr., 1979). Žumberačko gorje je, morfostrukturno gledajući, heterogeni gromadni gorski masiv složene geološke građe i litološkog sastava, što je utjecalo na heterogenost morfostruktura i oblika. Žumberačko gorje može se podijeliti na sjeverozapadniji, strmiji dio te jugoistočni, položitiji dio (Dujmović i Bognar, 1995). U jugoistočnom dijelu razvio se čitav niz dolina (Slapnica, Puškarov jarak, Stiska, Žumberačka rijeka) s geomorfološki značajnim strukturama i oblicima koji su reprezentativan primjer fluviokrša u Hrvatskoj. Većina dolina nalazi se unutar granica parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje te uživaju određeni stupanj zaštite. Međutim, valorizacija vrijednosti dolina uglavnom se temelji na zaštiti bioloških komponenti s malim naglaskom na abiotičke faktore.

Upravo zato, cilj ovoga rada je provođenje detaljne geomorfološke analize radi izdvajanja najreprezentativnije fluviokrške doline te metodom geoekološkog vrednovanja izdvajanje područja najveće georaznolikosti i njihovo povezivanje trasama poučnih staza radi veće valorizacije, primjenu u istraživačke i obrazovne svrhe te dodatne zaštite.

## 2. Teorijski okvir i pregled dosadašnjih istraživanja

### 2.1. Teorijski okvir

Reljef predstavlja jedan od temeljnih čimbenika koji oblikuju krajobraz. Na njemu se provodi najveći dio ljudske aktivnosti te se razvija tlo i vegetacija. Budući da reljef oblikuju prirodni, prirodno-antropogeni i isključivo antropogeni procesi, oblik reljefa, njegove promjene i procesi koji ga oblikuju imaju djelomično odlučujuću ulogu u gospodarskim aktivnostima i općenito u razmještanju stanovništva (Bognar, 1990). Stoga bi zaštita reljefa trebala biti ključna u planiranju prostora ili pojedinih gospodarskih aktivnosti na određenom prostoru. Osnovni cilj zaštite prirode je proučiti i utvrditi pravilan odnos čovjeka, društva i prirodne osnove, ali ne samo u svrhu konzervacije već i u razvojno dinamičkom pogledu (Bognar, 1979).

Zbog dinamike razvoja i promjena u suvremenom društvu, čovječanstvo, a s time i znanost stoji pred bitnim problemom vezanim za prirodni okoliš. Čovjek svojom aktivnošću velikom brzinom mijenja prirodni okoliš. Sve je izraženiji imperativ zaštite i očuvanja okoliša te potreba za optimalnim korištenjem životnog prostora i gospodarenja njime (Mamut, 2010c). Upravo je to temelj i interes geoekologije. Geoekologija je primijenjena znanost o krajobrazu (kao okolišu života i rada čovjeka i drugih organizama) čiji je cilj definiranje ekološki optimalne prostorne organizacije, korištenja i zaštite krajobraza (Miklos, 1994). Geoekološki pristup je interdisciplinaran i temelji se na principu održivog razvoja. Okolišni pristup nastoji ujediniti faktore utjecaja prirodnih elemenata na ljudsko društvo, ali i utjecaj čovjeka na prirodne elemente i krajobraz općenito (Drdoš, 1994). Prema Bastianu (2002), krajobraz je kompleksan, visoko integrirani geografski sustav koji nije samo ukupnost pojedinih geografskih faktora nego proizlazi iz različitih sfera. Sfere koje određuju krajobraz su anorganska, biološka i socijalna sfera.

Biotička i abiotička komponenta prostora u krajobrazu konstantno su u međusobnoj interakciji. Kada se govori o zaštiti prirode, ona se uglavnom temelji na zaštiti živih organizama i ekosustava, odnosno biotičkoj komponenti prostora. Međutim, zaštita geoloških i geomorfoloških prirodnih vrijednosti, odnosno abiotička komponenta prostora ima dugu tradiciju i svakim danom postaje sve zanimljivija (Zwicker i dr., 2008). Nakon Konvencije o biološkoj raznolikosti usvojenoj u Rio de Janeiru 1992. g., postalo je jasno da mora postojati ekvivalent bioraznolikosti

kako bi se opisala abiotička komponenta prirode. U tu svrhu u svjetskoj literaturi od 1993.g. počeo se upotrebljavati termin *georaznolikost*. Georaznolikost je skraćena verzija termina „geološka i geomorfološka raznolikost“, a definira se kao prirodni raspon (raznolikost) geoloških (stijene, minerali, fosili), geomorfoloških (strukture, oblici, procesi) i pedoloških karakteristika određenog prostora (Gray, 2008). Proučavanjem georaznolikosti može se pratiti sam razvoj života na Zemlji, procesi stvaranja planina, kontinenta i oceana te klimatski uvjeti koji su prevladavali u to vrijeme. Geološke i geomorfološke vrijednosti svake pojedine države predstavljaju njezinu geobaštinu (Zwicker i dr., 2008).

Situacija u Republici Hrvatskoj poklapa se sa svjetskim trendom u pogledu zaštite prirode. Prema Zwicker i dr. (2008), u Upisniku Zaštićenih prirodnih vrijednosti, u Hrvatskoj se nalazi 461 zaštićeno područje od kojih su samo 54 zaštićena kao geolokaliteti. Najveći broj lokaliteta, njih 36, zaštićeni su kao geomorfološki spomenici prirode. Vidljivo je kako se i u Hrvatskoj veći prioritet glede zaštite prirode daje bioraznolikosti, a manji georaznolikosti.

Jedna od temeljnih značajki georaznolikosti jest njezina dinamičnost u prostoru i vremenu. U neraskidivoj je vezi s bioraznolikošću budući da uključuje raznolikost abiotičkih elemenata neophodnih za funkcioniranje živog svijeta. Georaznolikost samim time omogućuje i podržava bioraznolikost što često rezultira njihovim proporcionalnim odnosom. Usko je vezana s geologijom te se može pratiti u kontekstu geološkog vremena što dinamiku njezina nastanka čini starijom u odnosu na biološke komponente prostora (Gray, 2018). Iz toga proizlazi jedna od temeljnih karakteristika georaznolikosti, a to je njezina spora obnova. Abiotičke komponente prostora višestruko se sporije oporavljaju od posljedica uništavanja, što ih razlikuje od ostalih sastavnica krajolika. Također, potpuno uništenje georaznolikosti nepovratan je proces (Gray, 2013). Sukladno tome javlja se sve veći imperativ određivanja vrijednosti georaznolikosti u svrhu njezina očuvanja i zaštite.

Gray (2004), navodi šest kategorija vrijednosti georaznolikosti, a to su intrinzična, kulturološka, estetska, gospodarska, funkcionalna te istraživačka i obrazovna vrijednost.

Intrinzična ili vrijednost postojanja odnosi se na etičko uvjerenje da su određene stvari (u ovom slučaju prirodna georaznolikost) vrijedne same po sebi, a ne isključivo za ljudsku korist. Ovo je ujedno i vrijednost georaznolikosti koju je najteže valorizirati s obzirom da uključuje etičke i filozofske dimenzije odnosa između društva i prirode.

Kulturološka vrijednost odnosi se na vrijednost koja je određenom aspektu fizičkog okoliša dodijeljena od strane ljudskog društva zbog njegovog značenja za određenu zajednicu. Kulturološka vrijednost može se odnositi na određeni folklor, odnosno geomitologiju, arheološki i povijesni značaj, duhovnu vrijednost i na tzv. osjećaj mjesta.

Pod estetsku vrijednost podrazumijeva se osjetilni dojam koji ostavlja fizički okoliš, a uključuje lokalne krajolike, geoturizam i slobodne aktivnosti te umjetničku inspiraciju u krajoliku.

Gospodarska vrijednost primarno označava novčanu vrijednost prirodnih resursa koji se nalaze na određenom prostoru. Unutar uobičajene klasifikacije gospodarskih prirodnih resursa ubrajaju se fosilna goriva, industrijski, metalurški i dragocjeni minerali te građevni materijali. Međutim, u pogledu georaznolikosti, gospodarska vrijednost također uključuje fosile, ostale oblike energije, tla te okolišne resurse.

Funkcionalna vrijednost odnosi se na ulogu koju abiotičke komponente imaju u okolišu. Funkcionalna vrijednost može se podijeliti u dvije kategorije. Prva je suprotnost intrinzične vrijednosti, a odnosi se na utilitarističku vrijednost georaznolikosti za ljudsko društvo. Krajobraz je prostor smještaja i razvoja ljudskog društva i mjesto obavljanja ljudskih aktivnosti što mu istovremeno daje funkcionalnu i gospodarsku vrijednost. Druga je funkcionalni značaj za bioraznolikost. Raznolikost geoloških, geomorfoloških i pedoloških pojava ujedno označava i raznolikost neophodnih tvari, staništa i abiotičkih procesa koji održavaju fizičke i ekološke sustave i tako podupiru bioraznolikost.

Istraživačka i obrazovna vrijednost u mnogim pogledima može se smatrati kao najvažnija kategorija vrijednosti georaznolikosti. Gray (2004), smatra da konzervacija georaznolikosti omogućava objašnjavanje i razumijevanje procesa koji su oblikovali naš planet, monitoring sadašnjeg i izradu scenarija budućeg stanja te edukaciju o što je moguće boljem korištenju životnog prostora.

Određivanje vrijednosti georaznolikosti za određenu svrhu putem geografskih i geoekoloških istraživanja trebalo bi imati sve veću ulogu u prostornom planiranju. Zbog sve veće interakcije prakse i znanosti dolazi do brojnih izazova za sve prirodne znanosti, pa tako i za geografiju, a unutar nje neposredno i na geomorfologiju (Bognar, 1979). Geomorfologija je svojim pristupima, metodama i rezultatima usko vezana za ekološku problematiku, a samim time i za

geoekologiju. Za razliku od fizičke, regionalne ili socijalne geografije, geoekologija je mlađa znanstvena disciplina nastala na kontaktu geografije, biologije i srodnih znanosti. Po svome je karakteru znanstvena disciplina čiji je objekt proučavanja vrednovanje strukturnih i funkcionalnih veza u krajobrazu (Mamut, 2010a). Među fundamentalnim je pitanjima dakle kako najoptimalnije iskoristiti i/ili zaštititi pojedini krajobraz.

Brojne su značajne, stvarne i potencijalne prijetnje koje zahtijevaju bolje razumijevanje kako bi se adekvatno upravljalo georaznolikošću te kako bi se ona propisno zaštitila. Treba naglasiti kako prijetnje geološkim, geomorfološkim i pedološkim procesima nisu uvijek lokalizirane i isprva vidljive (Gray, 2004). Zato je prilikom planiranja, a naročito u krškim područjima zbog njihove iznimne osjetljivosti, važno uključiti i šire okolno područje. Dinamika društveno-gospodarskog razvoja zahtjeva vrednovanje oblika i stanja reljefa u svrhu funkcionalnijeg korištenja prostora. Zbog toga je sve veći interes za znanstveno-primijenjenim vrednovanjem reljefa u svakodnevnoj praksi, ali i u dugoročnom planiranju (Bognar, 1992).

Jedna od najzastupljenijih geokoloških metoda je geokološko vrednovanje. Geokološkim vrednovanjem određuje se pogodnost prostora za određeni način korištenja, ali se stvara i mogućnost otkrivanja nelogičnosti u trenutačnom načinu korištenja prostora (Čirjak i Mamut, 2016). Jedan od prvih znanstvenika u Hrvatskoj koji uvodi metodu relativnog vrednovanja reljefa u sustavna geokološka istraživanja bio je akademik A. Bognar (1990). Njegovo istraživanje na otoku Hvaru, koje je obuhvatilo geomorfološku analizu, terensko istraživanje i sintezu rezultata, naglasilo je važnost integracije geomorfoloških istraživanja u geokološka istraživanja. Ovo istraživanje istaknulo je ključnu ulogu geomorfoloških istraživanja kao temeljnog koraka u geokološkim istraživanjima. Primjenom metode relativnog vrednovanja reljefa, Bognar je omogućio dublje razumijevanje prostornih sustava, identifikaciju ključnih obilježja reljefa i definiranje smjernica za održivo korištenje prostora. Istraživanje na Hvaru primjer je dobre prakse u integraciji geomorfoloških i geokoloških istraživanja te ukazuje na važnost holističkog pristupa u proučavanju i upravljanju prostorom radi postizanja održivog razvoja i zaštite okoliša.

U narednim godinama primjena metode relativnog vrednovanja reljefa postaje sve učestalija i korištenija metoda prilikom određivanja optimalnog korištenja prostora. M. Saletto Janković (1994), provodi geokološko vrednovanje reljefa NP Paklenica. Ovim istraživanjem

prikazuje neophodnost uključivanja geomorfoloških istraživanja radi cjelovitog upoznavanja reljefnih osobina koje predstavljaju temeljni element krajobraza. A. Lepirica (2006), provodi geokološko vrednovanje reljefnih oblika gornjeg toka Une. Metodom indeksa rekreacijskog potencijala nastoji utvrditi prirodne predispozicije za razvoj određenih tipova turizma i rekreacije. U svom istraživanju posebno naglašava neophodne mjere zaštite kako bi se odstranili postojeći negativni antropogeni utjecaji. N. Buzjak (2008), djelomično izmijenjenom metodom indeksa rekreacijskog potencijala provodi geokološko vrednovanje speleoloških pojava Žumberačke gore u turističke svrhe.

M. Mamut (2010a, 2010b, 2010c), provodi vrednovanja reljefa otoka Rave, Ugljana i Pašmana s ciljem procjene mogućnosti turističkog iskorištavanja. Prilikom vrednovanja koristi tri kriterija: fizička pogodnost, estetska vrijednost i dostupnost. Kombinirajući kriterije vrednovanja, ova istraživanja pružaju cjelovit uvid u potencijale reljefa za turističku valorizaciju. Također, ova istraživanja mogu poslužiti kao osnova za planiranje održivog turizma i upravljanja prostorom s ciljem očuvanja prirodnih resursa i krajobrazne vrijednosti.

U novije vrijeme sve su brojniji radovi vezani za geokološko vrednovanje reljefa u poljoprivredne svrhe. B. R. Čirjak i M. Mamut (2016), provode geokološko vrednovanje reljefa otoka Hvara s aspekta poljodjelske valorizacije, a N. Tandarić i dr. (2018), provode geokološko vrednovanje doline Kupčine za procjenu pogodnosti zemljišta za agrarno korištenje kao dominirajući krajobrazni element. Iz navedenog je vidljivo da se u posljednje vrijeme provode geokološka vrednovanja za određivanje prvenstveno utilitarističke vrijednosti georaznolikosti. Vrijednost georaznolikosti Žumberačke gore uglavnom se valorizira u turističke ili poljoprivredne svrhe.



## **2.2. Pregled dosadašnjih geoloških, geomorfoloških i speleoloških istraživanja Žumberačkog gorja**

Sustavna istraživanja Žumberačkog gorja imaju dugu povijest. Prva značajnija istraživanja teritorija Hrvatske, pa tako i prostora Žumberačkog gorja, počinju tijekom 17. st. Kao jedan od najznačajnijih autora ovoga razdoblja izdvaja se W. Valvasor koji u svojem djelu „Die Ehre dess Herzogthums Crain“ iz 1689.g. spominje speleološke objekte na području Žumberačkog gorja (Hirc, 1905).

Tijekom 19. st. geološka i geomorfološka istraživanja Žumberačkog gorja uglavnom su se bazirala na istraživanjima speleoloških objekata i rudnih sirovina. J. Fras opisuje pećine u okolici Karlovca i na Žumberku (Fras, 1835). V. Klaić, u djelu „Prirodni zemljopis Hrvatske“ opisuje 50-ak pećina na području Hrvatske, a među njima, na području Žumberka, spominje špilju Bijela Strana u Mrzлом polju i Žumberačku pećinu kraj Sošica čije lokacije nisu poznate (Sakač, 1953). Najznačajniji istraživač Žumberačkog gorja u 19. st. bio je Dragutin Gorjanović-Kramberger koji u svojem djelu „Geologija gore Samoborske i Žumberačke“, između ostalog, detaljno prikazuje genezu i morfologiju jame Stričanice. Također, spominje špilju Židovske kuće kraj Budinjaka i Poganu jamu kod Ječmeništa te prvi detaljno opisuje krške predjele Žumberka i kršku morfologiju i hidrografiju (Gorjanović-Kramberger, 1894).

Početkom 20. st. D. Hirc (1905), u svojem djelu „Prirodni zemljopis Hrvatske“ detaljno je opisao reljef i prostorni obuhvat Žumberačkog gorja. Također, opisao je i morfološke značajke najznačajnijih fluviokrških dolina i estetsku vrijednost vodopada Brisalo i Vranjačkog slapa. Navodi kako duboki dol Kupčine dijeli Žumberačko gorje na istočno i zapadno krilo te opisuje impozantne slapove u dolini Slapnice (Hirc, 1905). A. Tornquist 1918.g. daje pregled geološke građe područja Brežica te prvi navodi prisutnost najmlađe jure („Aptychenkalk“) u istočnom Žumberačkom gorju, a F. Koch objavljuje 1919.g. paleontološke radove o gornjokrednoj fauni Žumberačkog gorja (Šikić i dr., 1979). U međuratnom razdoblju F. Šuklje (1927), opisuje dolinu Slapnice s naglaskom na njezinu karbonatnu građu te u nekoliko navrata piše o krškom reljefu i speleološkim pojavama Žumberačkog i Samoborskog gorja. Istaknuti hrvatski speleolog J. Poljak (1933), istražio je, opisao i izradio nacрте speleoloških objekata na području Medvednice i

Žumberačkog gorja, a S. Milojević vrši speleološka istraživanja pećine Polamnice u žumberačkom kršu (Sakač, 1953).

Nakon 2. svjetskog rata Z. Dugački (1949-50) detaljno opisuje i analizira genezu, geomorfologiju, hidrografiju te značajke krškog reljefa Žumberačkog gorja. U sklopu geoloških istraživanja na području Žumberačkog gorja, valja istaknuti M. Heraka (1968), koji se bavio geologijom te istraživao osnovne stratigrafske jedinice Žumberačkog gorja te I. Gušića i LJ. Babića (1970), koji su se bavili litostratigrafskim osobinama Žumberačkog gorja. U sklopu geološkog kartiranja Jugoslavije, Pleničar i Premru (1977) i Šikić i dr. (1979) nastavljaju daljnja geološka istraživanja Žumberačkog gorja. U drugoj polovici 20. st. dodatna se važnost pridodaje turističkoj važnosti Žumberačkog gorja pa tako V. Božić (1971; 1987), u dva navrata piše o pogodnosti Žumberačkog gorja za planinarenje te o speleološkim istraživanjima u kanjonu Slapnice. A. Bognar i. Dujmović (1995), pišu o temeljnim strukturnogeomorfološkim značajkama sjeveroistočnog dijela masiva Žumberačkog gorja. Prvo značajnije pedološko istraživanje proveli su B. Mayer i B. Vrbek (1995), u djelu „Struktura zemljišnog pokrova na dolomitima Samoborskog i Žumberačkog gorja“. U djelu navode kako su glavni čimbenici nastanka tla matična dolomitna stijena i njena pržina te jako disecirani reljef.

Sredinom 90-ih godina prošlog stoljeća, istraživanja na području Žumberačkog gorja većinom su usmjerena na zaštitu krškog reljefa i speleoloških objekata. Tako N. Buzjak (1994), ukazuje na problem onečišćenja podzemlja u kršu na primjeru jame Medjama. U radu također ukazuje na važnost zaštite vode na području krša. Buzjak i dr. (1996), istražuju speleološke objekte Žumberačkog gorja te ukazuju na negativne posljedice zagađenja speleoloških objekata uzrokovane blizinom naselja. N. Bočić i N. Buzjak (1998), analiziraju kršku morfologiju područja oko špilje Provale na području Donjeg Oštrca te obrađuju problematiku speleogeneze.

U sklopu speleoloških i geomorfoloških istraživanja Žumberačkog gorja, N. Buzjak (2002), obrađuje 51 speleološku pojavu u Parku prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“ te naglašava utjecaj geološke građe terena na značajke speleoloških objekata. Slična tema istraživanja bila je ona N. Buzjaka i dr. (2004), u speleološkom istraživanju špilje Drobovnik. Također, N. Buzjak (2006), izrađuje speleološki katastar Parka prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“ na temelju speleoloških istraživanja Speleološkog odsjeka PD "Japetić" i Speleološkog kluba Samobor. O. Škunca (2003), u sklopu izrade programa zaštite okoliša Zagrebačke županije

izrađuje detaljan elaborat u kojem opisuje prirodne i društvene posebnosti Žumberačkog gorja. M. Pahernik i N. Buzjak (2006), u sklopu izrade geomorfološke baze podataka izrađuju geomorfološku kartu Žumberačkog i Samoborskog gorja u mjerilu 1:100 000. T. Vujnović (2011), objavljuje rezultate istraživanja izvora u Parku prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“ tijekom razdoblja 2007.-2008. godine. Među značajnijim geomorfološkim istraživanjima, valja istaknuti ono N. Buzjak i dr. (2011) koji su istraživali florističke, mikroklimatske i geomorfološke značajke urušne ponikve Japage koja se ističe kao najveća takva pojava na Žumberačkom gorju.

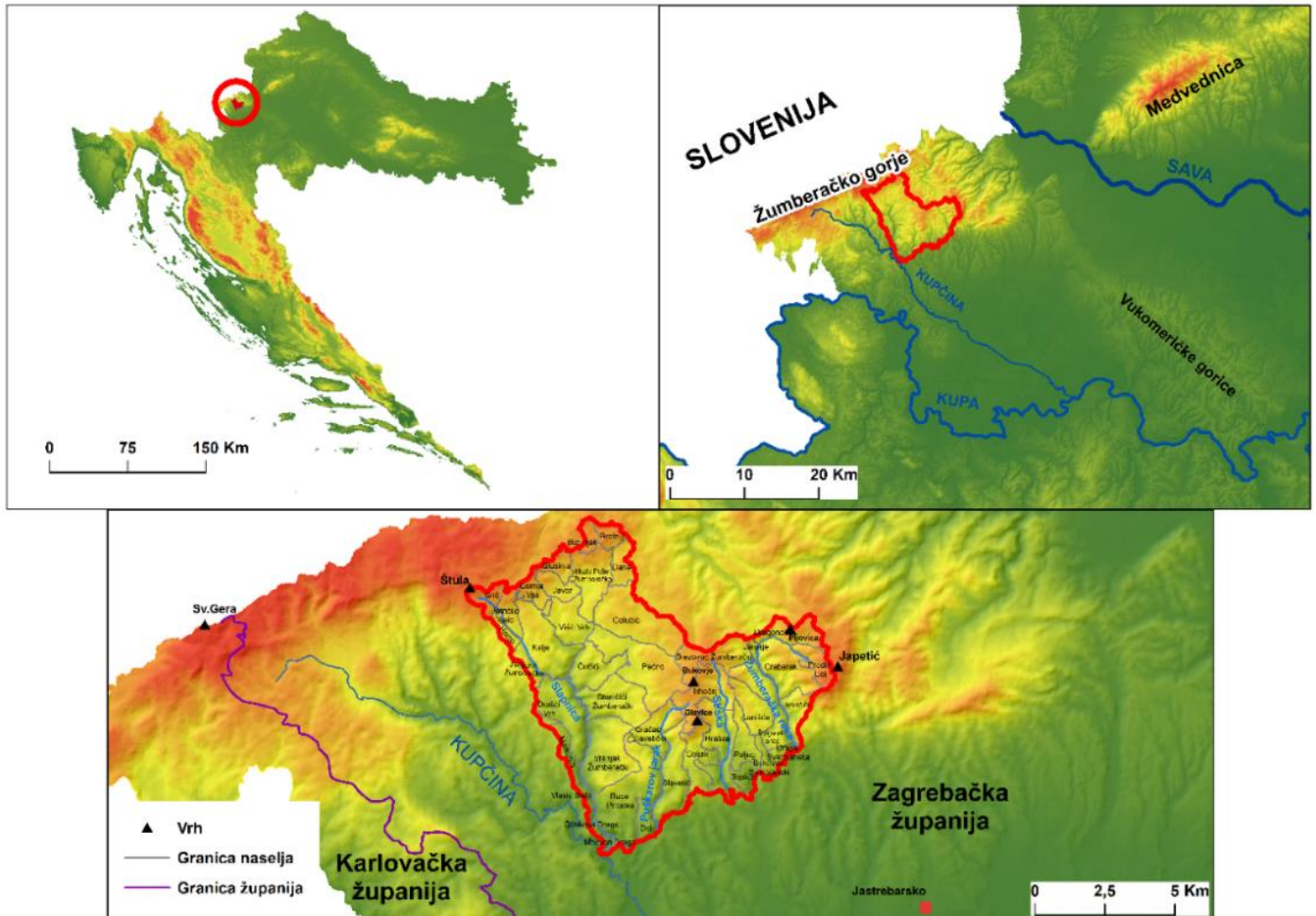
Novija istraživanja Žumberačkog gorja uglavnom su vezana uz biološka, geološka i arheološka istraživanja. Tako se ističe istraživanje R. Šošćarić i dr. (2013), o flori i fauni Sopotskog slapa i gornjeg toka Kupčine u kojem se predlažu adekvatne mjere zaštite. I. Pavičić i dr. (2017), analiziraju pukotinske sustave u gornjotrijaskim dolomitima Žumberačkog gorja. M. Želle (2014), provodi arheološka istraživanja špilje Židovske kuće kod Cerovice, a L. Štefan i dr. (2020), izrađuju projekt pod nazivom „Topografija i reambulacija Žumberačkog gorja“ s ciljem uočavanja potencijalnih arheoloških lokaliteta koji bi se mogli koristiti u vrednovanju kulturološkog značaja georaznolikosti.

### **3. Prostorni obuhvat i geomorfološki položaj**

#### **3.1. Prostorni obuhvat**

Žumberačko gorje je gorska regija koja se proteže u smjeru jugozapad – sjeveroistok u duljini od otprilike 40 km (Crkvenčić, 2002). Na sjeveroistoku, prirodnu granicu čini dolina rijeke Save, dok na jugozapadu dolina rijeke Kupe (sl.1). Područje istraživanja obuhvaća nešto više od 75 km<sup>2</sup> središnjeg i jugoistočnog dijela Žumberačkog gorja . Nalazi se na sjeverozapadu Hrvatske u blizini granice sa susjednom Slovenijom (sl. 1). Državna granica na području Žumberačkog gorja uglavnom se proteže kroz najviši greben gorskog masiva u ukupnoj duljini od 86 km (Bognar i Bognar, 2010). Područje istraživanja obuhvaća porječja četiriju većih tokova: Slapnice, Puškarovog jarka, Stiske i Žumberačke rijeke. One spadaju u porječje rijeke Kupčine koja se ulijeva u Kupu (sl. 1). Nešto je izduženije u smjeru istok-zapad u odnosu na smjer sjever-jug te se prostire u duljini od gotovo 13,5 km od vrha Štula na zapadu do vrha Japetić na istoku (sl. 1). Područje istraživanja se administrativno nalazi u sastavu Zagrebačke županije te se na njemu nalazi

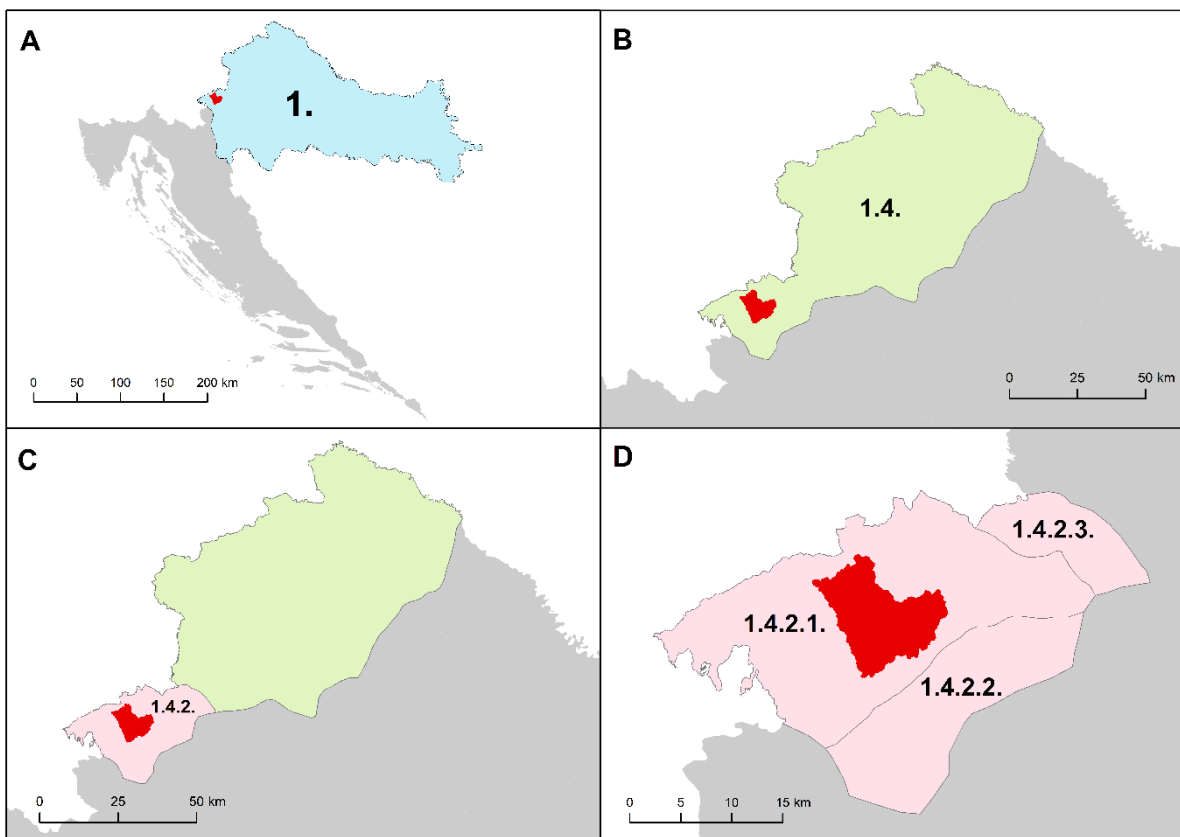
46 naselja (sl. 1). Dio Žumberačkog gorja u sastavu Zagrebačke županije funkcionalno je podijeljen između Grada Samobora te općina Krašić i Žumberak, koje su prije bile ujedinjene u općinu Jastrebarsko. Većina naselja na području istraživanja gravitira gradu Jastrebarskom (Turk i dr., 2016).



Sl.1. Prostorni obuhvat i geografski položaj područja istraživanja

### 3.2. Geomorfološki položaj

Prema geomorfološkoj regionalizaciji (Bognar, 2001), područje istraživanja spada pod megageomorfološku regiju 1. *Panonski bazen* (sl. 2a). Na nižoj razini, spada pod makrogeomorfološku regiju 1.4. *Gorsko – zavalsko područje SZ Hrvatske* (sl. 2b). Gorske strukture ove regije oblikovane su rasjednom tektonikom tijekom Alpske orogeneze. Ono što ih čini tipičnima su disecirane predgorske stepenice brežuljkasto – platoastog morfološkog obilježja te manje zavale i riječne doline. Unutar ove kategorije, područje istraživanja spada pod mezogeomorfološku regiju 1.4.2. *Gorski masiv Žumberačke gore s JI predgorskom stepenicom* (sl. 2c). Predgorske stepenice se, u svom morfogenetskom razvoju, čvrsto povezuju uz tektoniku viših gorskih uzvišenja. Zbog toga su Gorski masiv Žumberačkog gorja i predgorska stepenica izdvojeni kao jedna kategorija. Na najnižoj razini, područje istraživanja spada pod subgeomorfološku regiju 1.4.2.1. *Gorski masiv Žumberačke gore* (sl. 2d).



**Sl.2.** Geomorfološki položaj područja istraživanja

**Izvor:** Bognar (2001)

## 4. Metode rada i podaci

Prilikom geomorfološke analize korištene su metode regionalno-geomorfološkog istraživanja. Prema Bočić i dr. (2010), to je kompleks različitih metoda koje obuhvaćaju faze pripreme podataka, geomorfološke analize i geomorfološke sinteze. Svaka faza istraživanja može se sastojati od više etapa, a metode istraživanja mogu se grupirati prema obliku rada u kabinetske, terenske, laboratorijske i dr. Za izradu ovoga rada primijenjene su kabinetske metode prikupljanja i obrade podataka i terensko istraživanje. Korištene su metode geomorfološke analize i sinteze, metode analize i vizualizacije u GIS-u, metoda relativnog vrednovanja reljefa te terensko geomorfološko kartiranje i trasiranje poučnih staza.

### 4.1. Određivanje granice područja istraživanja

Granice područja istraživanja definirane su na podlozi digitalnog modela reljefa rezolucije 5x5 metara (DEM 5x5) iz arhive Geografskog odsjeka PMF-a. Određivanje područja istraživanja uključivalo je izdvajanje topografskog porječja najvećih fluviokrških tekućica jugoistočnog Žumberačkog gorja. Najveće doline određene se izdvajanjem najznačajnijih tokova koji se nalaze na dobivenom DEM-u.

Za izdvajanje topografskih porječja korištena je skupina alata *Hydrology tools* u sastavu alatnog paketa *Spatial Analyst Tools* aplikacije ArcMap 10.8. (ArcGIS 10.8). Funkcija *Fill* korištena je za popunjavanje depresija unutar DEM-a, *Flow direction* za određivanje smjera otjecanja, a *Flow accumulation* kako bi se dobio raster akumuliranih tokova za svaku ćeliju. Na dobivenom rasteru bilo je potrebno pravilno podesiti graničnu vrijednost kako bi se dobili najveći tokovi na tom području. Pomoću funkcije *Basin* izdvojeno je 6 najvećih topografskih porječja. Najveće područje bilo je ono rijeke Kupčine i njenog pritoka Slapnice. Dolina rijeke Kupčine izrazito je modificirana antropogenim utjecajem zbog čega je izostavljena iz ove analize (Tandarić i dr., 2018). Pomoću funkcije *Watershed* odvojeno je porječje Slapnice od Kupčine.

Konačno izdvajanje područja uključivalo je izostavljanje antropogeno izmijenjenih južnih dijelova porječja. Metodom preklapanja porječja s topografskom podlogom TK25 (HTRS/96TM) preuzetom s WMS servisa Geoportala DGU, izostavljeni su dijelovi porječja na kojima je vidljiv

izraziti antropogeni utjecaj u reljefu. Dobiveno je područje istraživanja čije se granice poklapaju s vanjskim granicama porječja tokova od Slapnice na zapadu do Žumberačke rijeke na istoku izostavivši krajnje južne antropogeno izmijenjene dijelove porječja. Njegova površina iznosi 75,36 km<sup>2</sup>. Prosječna visina područja istraživanja izračunata je iz DEM-a i iznosi 493 m.

## **4.2. Geološki, geomorfološki i speleološki podaci**

### **4.2.1. Geološki podaci**

Geološki podaci preuzeti su s Osnovne geološke karte (OGK) 1:100 000. Za potrebe rada korišteni su pojedini listovi s pripadajućim tumačima preuzeti s portala Hrvatskog geološkog instituta. Područje istraživanja obuhvaća listove L 33-79 Novo Mesto (Pleničar i dr., 1976) i L 33-80 Zagreb (Šikić i dr., 1978). Za interpretaciju korišteni su pripadajući tumači listova Zagreb (Šikić i dr., 1979) i Novo Mesto (Pleničar i dr., 1977). Geološke karte su georeferencirane u projekcijski koordinatni sustav HTRS96/TM. Nakon referenciranja, ručno su vektorizirani poligonski slojevi litostratigrafskih jedinica i linijski slojevi rasjeda.

### **4.2.2. Morfometrijska obilježja i drenažna mreža**

Morfometrijske analize provedene su u ArcMap-u 10.8., koji je dio programskog paketa ArcGIS 10.8., na digitalnom modelu reljefa (DEM 5x5) iz arhive Geografskog odsjeka PMF-a. Sve morfometrijske analize obavljene su skupinom alata *Spatial analyst*. Nagibi padina dobiveni su pomoću alata *Slope*, a vertikalna raščlanjenost reljefa pomoću alata *Focal statistics*. Prilikom određivanja vertikalne raščlanjenosti reljefa korištena je kružnica radijusa 564 m kako bi se dobilo područje površine 1 km<sup>2</sup>. Korištenjem parametra *Range* softver računa visinsku razliku između najniže i najviše točke. Ekspozicija padina dobivena je alatom *Aspect*, profilna zakrivljenost padina alatom *Profile curvature*, a planarna zakrivljenost padina alatom *Planar curvature*. Statističke analize morfometrijskih obilježja provedene su zonalnim funkcijama alata *Zonal statistics*. Radi dojma plastičnosti reljefa, korišten je alat *Hillshade*. Tablice i dijagrami morfometrijskih podataka izrađeni su u MS Office Excelu.

Drenažna mreža dobivena je korištenjem alata *Hydrology tools* iz rastera akumuliranih tokova dobivenog prethodno opisanim postupcima prilikom samog izdvajanja područja istraživanja. Pomoću alata *Stream order* napravljena je klasifikacija akumuliranih tokova na području istraživanja prema Strahleru. Rasterski model klasifikacije prema Strahleru pretvoren je u vektorski sloj pomoću alata *Stream to feature* radi bolje vizualizacije.

### 4.2.3. Geomorfološki podaci

#### 4.2.3.1. Izdvajanje najreprezentativnijeg porječja

Zbog karakteristika i posebnosti krškog reljefa, temeljna je pretpostavka da se na njemu mogu pronaći vrijedni i geomorfološki zanimljivi reljefni oblici. U tu svrhu, za izdvajanje geomorfološki najrelevantnijeg porječja uzeti su najučestaliji i najreprezentativniji krški i fluviokrški reljefni oblici, hidrogeološki elementi (izvori i ponori), dolinska mreža, ponikve i speleološki objekti. Zbog utjecaja tektonike na pukotinsku poroznost stijena važnu za nastanak krša, u analizu su uključeni i rasjedni elementi pojedinih dolina.

Navedeni elementi kvantificirani su određivanjem njihove gustoće na površini od 1 km<sup>2</sup>. Analiza gustoće provedena je u ArcGIS 10.8. upotrebom alata iz skupine *Spatial analyst*. Gustoća linijskih elemenata određena je pomoću alata *Line density*, a gustoća hidrogeoloških elemenata, ponikva i speleoloških objekata pomoću alata *Kernel density*.

Kernel metoda analize gustoće često se koristi kod kontinuiranih rasterskih podataka. Ova metoda koristi se za procjenu gustoće prostorne distribucije točkastih uzoraka. Temeljna zamisao ove metode je da svaki točkasti uzorak pridonosi gustoći na bilo kojoj lokaciji unutar definiranog prostora, a ne samo na mjestu gdje je pojava zabilježena. Lokacije unutar područja istraživanja određene su ćelijama pravilne rasterske mreže, a gustoća pojave predstavlja vrijednost broja pojave unutar kruga radijusa 564 m (i površine 1 km<sup>2</sup>) čije se središte nalazi na definiranoj lokaciji (Pahernik, 2012).

Zbog značajne razlike u dimenzijama pojedinih dolina, izračunate su i prosječne vrijednosti gustoća pojedinih elemenata radi objektivnijih rezultata. Za izračun prosječnih vrijednosti gustoća



korišten je alat *Zonal statistics*. Podaci o speleološkim objektima dobiveni su iz baze podataka speleološkog kluba „Samobor“, a točkasti slojevi hidrogeoloških elemenata i ponikva ručno su vektorizirani s topografske podloge TK25 (HTRS/96TM).

#### **4.2.3.2. Geomorfološka analiza i sinteza**

Nakon što je ustanovljeno da je dolina Slapnice geomorfološki najreprezentativnija na području jugoistočnog Žumberačkog gorja, provedena je detaljna geomorfološka analiza čitavog porječja Slapnice. Geomorfološka analiza uključivala je metode kabinetskog prikupljanja podataka u GIS-u te terensko istraživanje.

Kabinetske metode uključivale su ručnu vektorizaciju najznačajnijih geomorfoloških oblika na topografskoj podlozi TK25 (HTRS/96TM) s listova 319-2-4, 319-4-2, 320-1-3 i 320-3-1. Iz navedena četiri lista izrađena je orohidrografska karta porječja Slapnice radi lakšeg uočavanja najznačajnijih oblika. Budući da se na topografskoj podlozi ne mogu opaziti svi relevantni geomorfološki oblici, provedeno je terensko geomorfološko istraživanje doline Slapnice.

Terenski dio rada uglavnom se bazirao na kartiranje najznačajnijih fluvijalnih i fluviokrških reljefnih oblika koji se nalaze neposredno u blizini glavnog toka Slapnice i njezinih najznačajnijih pritoka. Kartiranje je uključivalo ucrtavanje na orohidrografsku podlogu terena, a terenska baza podataka i fotodokumentacija izrađena je pomoću mobilne aplikacije Locus Map. U sklopu terenskog istraživanja izvršene su i izmjere najznačajnijih fluviokrških reljefnih oblika pomoću laserskog daljinomjera. Na temelju vektorizacije topografskih karata i terenskog istraživanja izrađena je baza podataka reljefnih oblika za svaki morfofenetski tip reljefa.

Završni dio geomorfološke analize uključivao je izradu tematske geomorfološke karte porječja Slapnice u mjerilu 1:45 000 na temelju izrađene baze podataka geomorfoloških oblika. Na geomorfološkoj karti prikazani su morfografski, morfostrukturni, morfometrijski (nagib padina) te morfofenetski elementi reljefa. Morfofenetski tipovi reljefa određeni su na temelju dominantnih procesa, i s njima povezanih prevladavajućih reljefnih oblika, te litologije. Vektorski slojevi su digitalizirani u ArcGIS 10.8. softveru te radi bolje vizualizacije obrađeni i kao takvi vizualizirani u vektorskom programu CorelDraw.

### **4.3. Klimatološki podaci**

Klima se smatra jednim od najvažnijih čimbenika oblikovanja egzogenog reljefa. Budući da je za nastanak krša važna voda, kao geomorfološki agens, količina padalina ključna je za razumijevanje procesa okršavanja i njime nastalih reljefnih oblika. Za razumijevanje klime područja istraživanja izrađen je klimatski dijagram prema podacima DHMZ-a o srednjoj mjesečnoj količini padalina i srednjoj mjesečnoj temperaturi u razdoblju od 1996. do 2023. godine. Budući da na području istraživanja ne postoji mreža klimatoloških postaja DHMZ-a, uzeti su podaci najbliže klimatološke postaje Sošice (558 m nadmorske visine). Zbog blizine i približnih visinskih vrijednosti, podaci klimatološke postaje Sošice uzeti su kao relevantni za čitavo područje istraživanja uzimajući u obzir moguća minimalna odstupanja. Klimatski dijagram izrađen je u MS Office Excelu.

### **4.4. Krajobrazna obilježja**

U sklopu krajobrazne analize korištena su obilježja tla, obilježja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta te postojeće kategorije zaštite prirode, vizualizirana u ArcMapu 10.8. Za analizu tla korišten je sloj vrsta tala preuzet s Digitalne pedološke karte Hrvatske (Digitalna pedološka karta Hrvatske, 2023). Način korištenja zemljišta određen je prema CORINE Land Cover 2018 (CopernicusEu, 2023). Slojevi postojeće kategorije zaštite prirode dobiveni su ručnom vektorizacijom na temelju WMS-a Bioportala Ekološka mreža Natura 2000.

#### 4.5. Geokološko vrednovanje

Geokološko vrednovanje porječja Slapnice, kao najatraktivnije doline istraživanog područja, provedeno je kako bi se odredila područja od znanstvenog i edukativnog značenja i potencijala. Za vrednovanje je korištena modificirana metoda relativnog vrednovanja reljefa (Bognar, 1990).

U tu svrhu odabrana su četiri kriterija vrednovanja: obilježja reljefa, dostupnost, estetska vrijednost i zaštita (tab. 1). Zbog brojnih obilježja kriterija i njihovih kategorija određeno je da je ukupni broj bodova za vrednovanje 500. Obilježjima reljefa je među kriterijima vrednovanja dato najveće značenje te mu je dodijeljeno 250 bodova. U svrhu istraživanja i edukacije, uz samu funkcionalnu vrijednost prostora, važan je i vizualni dojam zbog čega je estetskoj vrijednosti, kao kriteriju vrednovanja, dodijeljeno 150 bodova. Pristupačnost područja s aspekta dostupnosti važna je za mogućnost istraživanja i obrazovanja, a već postojeće kategorije zaštite govore o prepoznatom značaju prirodnih datosti određenih prostora, dakle njihovo funkcionalno značenje u krajobrazu i ekosustavima. Tim dvama kriterijima je dodijeljeno po 50 bodova. Unutar kriterija obilježja reljefa, kategorija egzogenog reljefa se s aspekta znanstvenog i edukativnog značenja smatra najvažnijom zbog čega je ova kategorija dobila 100 bodova. Obilježja endogenog reljefa utječu na današnji izgled reljefa zbog čega je toj kategoriji dodijeljeno 60 bodova. Morfometrijska obilježja koriste se za determinaciju i analizu određenih reljefnih oblika i prevladavajućih procesa te je toj kategoriji dodijeljeno 50 bodova. Krajobrazna obilježja uključuju obilježja pokrivenosti područja određenim vrstama tala te način korištenja zemljišta. Budući da način korištenja zemljišta uključuje ljudsku intervenciju u reljefu, koja u pravilu narušava prirodnu georaznolikost, toj kategoriji je dodijeljeno 40 bodova. U sklopu kriterija dostupnosti najvažnija je kategorija postojećih puteva te je toj kategoriji dodijeljen najveći broj bodova, dok nagib padina i vertikalna raščlanjenost reljefa utječu na manju pristupačnost pojedinim prostorima te se smatraju ograničavajućim faktorima. Najveći dio promatranog područja nalazi se na području fluviokrškog reljefa zbog čega je toj kategoriji, u sklopu kriterija estetske vrijednosti, dodijeljen najveći broj bodova. S obzirom da speleološki objekti uvažavaju posebnu zaštitu u sklopu zaštite prirode Republike Hrvatske, u sklopu kategorija obilježja im je dodijeljen najveći broj bodova.

Vrednovanje je provedeno u softveru ArcGIS 10.8. Nakon određivanja kriterija vrednovanja potrebno je bilo sve vektorske podatke pretvoriti u rasterske pomoću alata *Feature to*

*raster*, zatim reklasificirati podatke prema bodovima pomoću alata *Reclassify* te naposljetku zbrojiti vrijednosti ćelija svih rastera alatom *Cell statistics*. Nakon toga slijedi njihovo uvrštavanje u bonitetne kategorije prema dobivenim relevantnim vrijednostima. Određeno je devet bonitetnih kategorija s time da bonitetna kategorija najmanje vrijednosti predstavlja vrlo nepogodni teren za istraživanje i edukaciju dok bonitetna kategorija s najvećim vrijednostima predstavlja područja koja su najvrjednija u pogledu istraživanja i edukacije. Alatom *Extract by attributes*, na temelju bonitetnih vrijednosti, izdvojena su najvrjednija područja. Budući da najvrjednija područja obuhvaćaju pretežito točkaste elemente krških, fluviokrških i fluvijalnih geomorfoloških oblika vrlo malih prostornih dimenzija, izrađena je *buffer* zona od 150 m oko najvrjednijih lokaliteta radi lakše vizualizacije. Završni dio vrednovanja uključivao je povezivanje najvrjednijih područja trasama poučnih staza. Radi što manjih intervencija u reljefu, za trasiranje poučnih staza korišteni su već postojeći planinarski putevi preuzeti s interaktivne planinarske karte Hrvatskog planinarskog saveza (HPS, 2024).

Tab. 1. Kriteriji, kategorije i obilježja kriterija vrednovanja georazolikosti porječja Slapnice

Kriterij vrednovanja	Kategorija kriterija	Br.bod.	Obilježja kriterija	Br. Bod.	Kategorija obilježja	Br. Bod.	Postupak
OBILJEŽJA RELJEF	MORFOMETRISKA OBIJEŽJA	50	nagib padina	20	0-2	3,35	20/6 = 3,33
					2-5	6,68	
					5-12	10,01	
		hipsometrijska obilježja	3	12-32	13,34	3/8 = 0,38	
				32-55	16,67		
				>55	20		
				100-200	0,34		
				200-300	0,72		
				300-400	1,1		
		orijentacija padina	2	400-500	1,48	2/4 = 0,5	
				500-600	1,86		
				600-700	2,24		
	vertikalna raščlanjenost reljefa	15	700-800	2,62	15/7 = 2,14		
			>800	3			
			sjever	0,5			
			jug	2			
			istok	1			
	profilna zakrivljenost padina	5	zapad	1,5	5/3 = 1,66		
			0-60	2,16			
	planarna zakrivljenost padina	5	60-120	4,3	5/3 = 1,66		
			120-180	6,44			
	KRAJOBRAZNA OBIJEŽJA	40	pedološka obilježja	10	180-240	8,58	10/4 = 2,5
					240-300	10,72	
					300-360	12,86	
		način korištenja zemljiša	30	>360	15	30/6 = 5	
				konveksne	5		
				konkavne	5		
uravnotežene				3,34			
konvergentne				5			
divergentne				5			
uravnotežene				3,34			
ENDOGENI RELJEF	60	geološka obilježja	20	crvenica lešvirana	2,5	20/6 = 3,33	
				eutrično smeđe na fluvi ili mekom vapnencu	5		
				rendzina na dolomitu i vapnencu	10		
				smeđe na dolomitu	7,5		
				mozaik poljoprivrednih površina	5		
	morfotektonični reljef	40	rasjed izražen u reljefu	40	bjelogorična šuma	25	40/4 = 10
					laktasto skretanje doline	30	
					asimetrija dolinskih strana	10	
					rasjedni odsjek	20	
					rasčlanjen greben	8	
EGZOGENI RELJEF	100	padinski reljef	8	nerasčlanjen greben	7,53	8/17 = 0,47	
				greben na kosi	6,12		
				zaobljeni vrh	6,59		
				kupolasti vrh	7,06		
				stožasti vrh	7,53		
				sedlo	5,18		
				točilo	5,65		
				della	3,77		
				derazijski cirkus	4,24		
				derazijska dolina	4,71		
fluviomudacijski reljef	15	jaruga	3,33	jaruga	3,33	15/3 = 5	
				sipar, osulina	2,86		
				deluvijalni konus	2,69		
				proluvijska plavina	2,22		
				kotuvijalni zastor	1,75		
fluvijalni reljef	20	služište	1,28	dolina V oblika	15	20/5 = 4	
				koritasta dolina	5		
				probójnica	10		
				aktivno riječno korito usječeno u matičnu stijenu	16		
				kaskade, brzaci	12		
krški reljef	25	ada	8	ada	8	25/7 = 3,57	
				sprud	4		
				vodopad	20		
				hum	21,43		
				ponikva	7,15		
fluviokrški reljef	30	ponikve u nizu	17,86	ponikva uvala	10,72	30/14 = 2,14	
				plitka uvala na zaravni	3,58		
				speleološki objekti	25		
				polje u kršu	14,29		
				izvoršni obluk	21,44		
				fluviokrška dolina V oblika	25,72		
				koritasta fluviokrška dolina	19,3		
				reliktna fluviokrška dolina	23,58		
				fluviokrški kanjon	30		
				ponorska dolina	27,86		
antropogeni reljef	2	okršena jaruga	6,46	okršena jaruga	6,46	2/4 = 0,5	
				slapovi na sedri	12,88		
				vodopadi na sedri	15,02		
				reliktna sedra	10,74		
				sedreni blok	8,6		
DOSTUPNOST	50	putevi	30	sedrena litica	8,6	30/4 = 7,5	
				zaravan u kršu	4,32		
				izvor, ponor	17,16		
		nagib padina	15	otkop, aktivan	1		15/6 = 2,5
				antropogeno modificirane površine	0,5		
ESTETSKA VRIJEDNOST	150	vertikalna raščlanjenost reljefa	5	antropogeno modificirane površine	0,5	5/7 = 0,71	
				poljoprivredne terasirane površine	2		
				antropogena taložnica	1,5		
				asfaltirana cesta	15		
				makadamska cesta	22,5		
ZASTITA	50	zaštićena područja	20	planinarski put	30	20/2 = 10	
				pješački put	7,5		
				0-2	15		
				2-5	12,5		
				5-12	10		
EGZOGENI RELJEF	50	fluvijalni reljef	45	12-32	7,5	45/5 = 9	
				32-55	5		
				>55	2,5		
				0-60	5		
				60-120	4,29		
	krški reljef	50	ada	18	120-180	3,58	50/7 = 7,14
					180-240	2,87	
					240-300	2,16	
					300-360	1,45	
					>360	0,74	
speleološki objekti	30	speleološki objekti	30	aktivno riječno korito usječeno u matičnu stijenu	27	30/7 = 4,29	
				kaskade, brzaci	36		
				ada	18		
				sprud	9		
				vodopad	45		
				hum	42,86		
				ponikva	21,44		
				ponikve u nizu	28,58		
				ponikvasta uvala	14,3		
				plitka uvala na zaravni	7,16		
speleološki objekti	50						
polje u kršu	35,72						
izvoršni obluk	15,7						
fluviokrška dolina V oblika	27,49						
koritasta fluviokrška dolina	23,56						
reliktna fluviokrška dolina	11,77						
fluviokrški kanjon	47,14						
ponorska dolina	31,42						
okršena jaruga	7,84						
slapovi na sedri	51,07						
vodopadi na sedri	55						
reliktna sedra	35,35						
sedreni blok	39,28						
sedrena litica	43,21						
zaravan u kršu	3,91						
izvor	19,63						
park prirode	20						
značajni krajobraz	10						
sušija	17,13						
grupa spilja	21,42						
spilja s vodom	25,71						
spilja povremeni izvor	30						
spilja povremeni ponor	30						
jama	17,13						
jama s vodom	25,71						

## 5. Rezultati i rasprava

### 5.1. Geološka građa i morfološka struktura

#### 5.1.1. Geološka građa

Složeni geološki sastav i struktura utjecali su na raznovrsnost reljefnih procesa i oblika što utječe na ukupnu georaznolikost Žumberka. Intenzivna geotektonska aktivnost na području Žumberačkog gorja može se manifestirati kroz česte promjene u vertikalnom i horizontalnom slijedu naslaga. U geološkoj građi dominiraju sedimentne stijene stratigrafskog raspona od karbona do kvartara (Vujnović, 2011).

Područje Žumberačkog gorja karakteriziraju složene geološke formacije koje nastaju navlačenjem. U slučaju područja istraživanja, navlačne strukture često uključuju gornjotrijaski dolomit koji prekriva mlađe naslage jurskih i donjokrednih vapnenaca, djelomično prekrivenih rubnim naslagama fliša (Herak, 1991). Zbog svoje dominantno karbonatne građe, područje Žumberačkog gorja podložno je okršavanju (Vujnović, 2011.).

Najstarije stijene na području istraživanja nastale su u srednjem trijasu, a karakterizira ih pretežno ujednačen dolomitni razvoj s vrlo oskudnim fosilnim ostacima. U ovoj litološkoj jedinici, kontinuirano i dijelom u rasjednom kontaktu, na dolomitima leže nekoliko desetaka metara debele naslage u kojima se izmjenjuju vapnenci, lapori, šejlovi, radiolarijski rožnjaci i tufiti (Šikić i dr., 1979). Na području istraživanja naslage srednjotrijaskih dolomita zauzimaju 9,7% i prostiru se južnim dijelom dolina Slapnice i Puškarovog jarka pa sve do naselja Slavetić (sl.3).

Najveći dio područja istraživanja (66,5%) zauzimaju stijene gornjeg trijasa. Gornjotrijaski dolomiti najrasprostranjeniji su i najznačajniji litološki element građe istraživanog područja. Debljina tih naslaga prelazi 800 m. Gornjotrijaski dolomiti su stromatolitnog tipa, a uz njih se mogu pronaći i homogeni mozaični i zrnasti dolomiti. Dominacija stromatolitnih dolomita ukazuje na sedimentaciju u vrlo plitkoj litoralnoj zoni. Najmlađi dio gornjotrijaskih dolomita sastoji se od izmjenjene dolomita te dolomitiziranih i sivih vapnenaca (Šikić i dr., 1979). Dolomiti iz gornjeg trijasa prevladavaju u zapadnom, središnjem te krajnjem istočnom dijelu područja istraživanja (sl. 3).

Stijene jurske starosti karakterizira dominacija vapnenaca u odnosu na dolomite. Zauzimaju 5,1% istraživanog područja i predstavljaju ostatke plitkovodnih karbonatnih sedimenata (Šikić i dr., 1979). Na području istraživanja pojavljuju se u obliku klina između trijaskih i krednih stijena koji se prostire u smjeru SZ-JI od Mrzlog Polja Žumberačkog do sela Stići te na krajnjem sjeverozapadu istraživanog područja (sl.3.).

Tijekom gornje krede dolazi do transgresije mora na paleoreljef koji je izgrađen uglavnom od trijaskih dolomita te jurskih vapnenaca i rožnjaka. Pretaložavanjem stijenske podloge nastale su bazalne breče i konglomerati. Iznad bazalnog dijela nalaze se sedimenti u kojima prevladavaju vapnoviti i glinoviti lapori i šejlovi s kojima se izmjenjuju vapnenci i rožnjaci, a mjestimice su prisutni nepravilni ulošci nesortiranih karbonatnih breča (Šikić i dr., 1979). Opisane vrste stijena pokrivaju 16,5% područja istraživanja i nalaze se na krajnjem sjeveru i sjeveroistoku te kao izolirani otoci jugoistočno od Mrzlog Polja Žumberačkog, oko vrha Bukovje i oko naselja Lanišće između Stiske i Žumberačke rijeke (sl. 3).

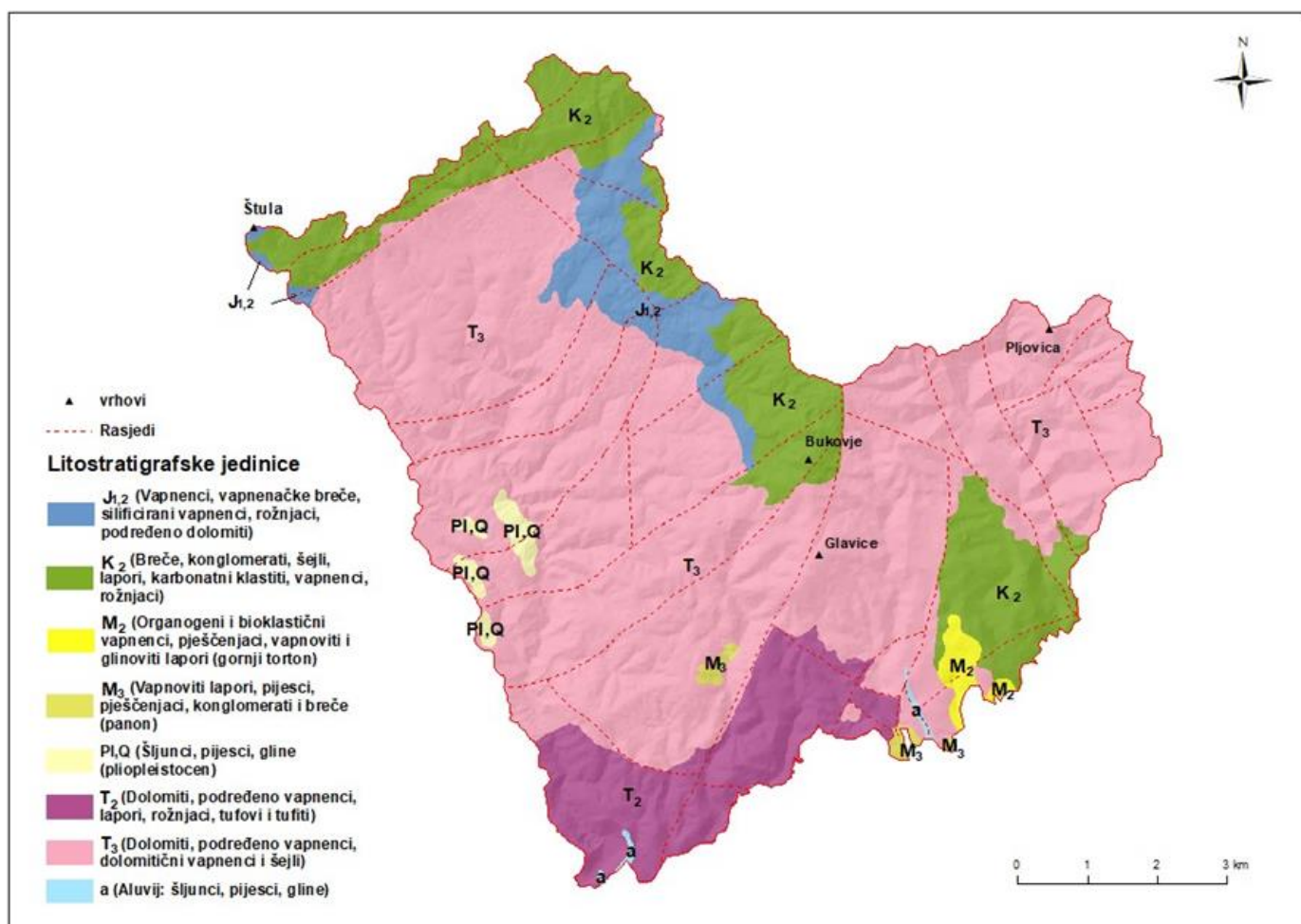
Marinski sedimenti iz donjeg miocena zauzimaju 0,8% istraživanog područja i nalaze se oko sela Bukovac u jugoistočnom dijelu istraživanog područja (sl.3). Ovo su vapnenačke naslage izgrađene pretežno od breča, konglomerata, vapnenačkih pješčenjaka, litavca, litotamnijskog vapnenca te glinovito–pjeskovitih i vapnenačkih lapora. Stijene donjeg miocena mogu se genetski podijeliti na dvije glavne kategorije: one koje su nastale kao rezultat intenzivne organske aktivnosti i one koje nose obilježja klastičnih naslaga s prisustvom terigenog materijala (Šikić i dr., 1979).

Gornjomiocenske naslage u osnovi leže kontinuirano preko donjomiocenskih naslaga. U bazi se nalaze vapnenački lapori, koji smanjenjem udjela karbonata postupno prelaze u lapore s približno podjednakim udjelom karbonatne i glinovite komponente, a mjestimice se javljaju i pjeskoviti lapori (Šikić i dr., 1979). Vapnoviti lapori zauzimaju 0,4% područja istraživanja i nalaze se u jugoistočnom dijelu u blizini sela Toplice i u okolici sela Hrašća te oko središnjeg dijela doline Puškarovog jarka (sl. 3).

Pliocenske naslage zauzimaju 0,8% i nalaze se u obliku četiri izolirana 'otoka' u zapadnom dijelu istraživanog područja (sl. 3). Ove naslage izgrađene su pretežito od šljunaka, pijeska i gline sedimentiranih u fluvijalno-jezerskom facijesu. Na temelju veličine valutica šljunka, može se zaključiti o prostoru i uvjetima u kojima su taloženi. Uslojeni šljunci taložili su se na širim prostorima rubnih dijelova postojećih jezera, dok su nesortirani, krupnozrni i slabije zaobljeni

šljunci taloženi u neposrednoj blizini obala, a djelomice i na kopnu. Ovakva diferencijacija navodi na zaključak da se najveći dio ovih sedimenata taložio brzim spiranjem i odnošenjem materijala sa strmih padina tadašnjeg izdignutog reljefa na prijelazu iz pliocena u pleistocen (Šikić i dr., 1979).

Potočne aluvijalne naslage kvartarne starosti predstavljaju najmlađe naslage istraživanog područja. Zauzimaju 0,2% i izdvojeni su samo u ušćima većih potočnih dolina kao što su dolina Slapnice i Stiske (sl. 3). Debljina im ne prelazi 10 m, a izgrađene su uglavnom od šljunaka i pijeska različite granulacije (Šikić i dr., 1979).



**Sl.3.** Geološka karta područja istraživanja

**Izvor:** OGK 1:100 000, listovi L 38-80, Zagreb (Šikić i dr., 1978) i L 33-79 Novo Mesto (Pleničar i dr., 1976)



### 5.1.2. Morfološka struktura

Žumberačko gorje je tijekom geološke prošlosti prolazilo kroz više faza tektonskih pokreta koji su rezultirali transgresijama i regresijama koje su dovele do današnjeg izgleda gorskog masiva. Područje Žumberka je u dijelu paleozoika prvotno bilo dio oceanskog podmorja, a zatim u karbonu i permu, tijekom hercinske orogeneze, postaje dio hercinskog gorskog pojasa. Tijekom mezozoika područje je ponovno postalo dio podmorja pa zatim ponovno i gorski masiv. Krajem kenozoika gorski masiv je bio zahvaćen transgresijom da bi u kvartaru mlađim tektonskim pokretima bio izdignut i došao do današnjeg izgleda (Dujmović i Bognar, 1995).

Karakteristika Žumberačkog gorja jest njegova blokovska struktura. Rasjedna tektonika u razdoblju od kasnog miocena do danas utjecala je na oblikovanje dinamičnog reljefa u kojem se izdvajaju blokovi hrptova i brdskih struktura. Na temelju morfostrukturne analize i blokovske strukture, Dujmović i Bognar (1995), izdvojili su četiri morfostrukture Žumberačkog gorja. Svaka od njih ima osobine izometričnog uzvišenja (bloka), a svako od njih se može diferencirati na niz manjih blokova (hrptastih ili brdskih).

U sklopu morfostrukturne regionalizacije, područje istraživanja spada pod regiju Gorsko uzvišenje – blok središnjeg dijela Žumberačke gore (1.3.). Područje istraživanja zapravo predstavlja istočni dio regije gdje dolina Žumberačke rijeke čini granicu sa susjednim blokom. Blok središnjeg dijela Žumberačke gore ima jasno izražene stepeničaste karakteristike. Svaka stepenica međusobno je odvojena izraženim strmcmem koji se uglavnom pruža u smjeru SI-JZ, a najviša je stepenica neotektonski rasjedno izdignuta i ima osobine vrlo okršene zaravni. Blok je prema jugu oštro odijeljen od predgorske stepenice, a donje dvije stepenice su rasjedno predisponiranim dolinama Slapnice, Puškarovog jarka i Drage disecirane u manje međudolinske kose koje su zaravnjene u svom vršnom dijelu (Dujmović i Bognar, 1995).

## **5.2. Morfometrijska obilježja reljefa**

Moderna geomorfološka istraživanja reljefa obuhvaćaju širok spektar kvantitativno-statističkih metoda koje se koriste za opis, determinaciju i analizu reljefnih oblika i procesa. Ove metode pružaju alate za usporedbu kvalitativnih razlika na temelju numeričkih parametara unutar određenog prostora te omogućuju dublje razumijevanje interakcija između različitih čimbenika koji oblikuju reljef. U suvremenoj geomorfologiji naglasak je na detaljnoj morfometrijskoj analizi padina u GIS-u na temelju digitalnog modela reljefa (Pahernik, 2007). Najčešće analizirani morfometrijski elementi su relativni visinski odnosi reljefa, nagib, vertikalna raščlanjenost reljefa, ekspozicija padina te profilna i planarna zakrivljenost padina. Analizom navedenih elemenata na lokalnoj razini može se zaključiti o djelovanju egzogenih geomorfoloških procesa, a u širem kontekstu navedeni elementi ukazuju na djelovanje endogenih sila.

### **5.2.1. Hipsometrijska obilježja**

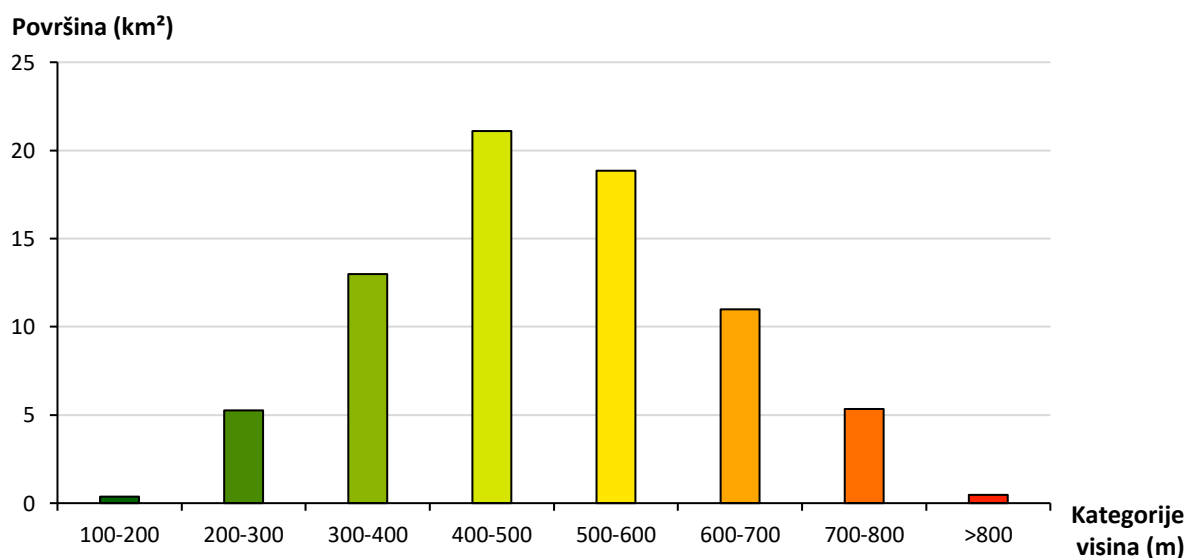
Najniža vrijednost nadmorske visine na području istraživanja iznosi 167 m (ušće Slapnice), najviša vrijednost 903 m (vrh Štula), a prosječna visina područja istraživanja iznosi 493 m. Područje istraživanja podijeljeno je u 8 hipsometrijskih razreda od 100 m (tab. 2, sl. 4). Najveći dio područja istraživanja (27,99%) zauzima visinski razred između 400 i 500 m, a najmanji dio (0,49%) zauzima visinski razred između 100 i 200 m (tab. 2, sl. 4.). U pogledu georaznolikosti ističu se izvorišna područja najvećih tokova i njihove doline gdje se na relativno malom području nalazi veliki broj različitih hipsometrijskih razreda (sl. 5).

Hipsometrijski razredi područja istraživanja većinom se poklapaju s morfostrukturnim značajkama bloka središnjeg dijela Žumberka. Vidljivo je kako su najveći vodeni tokovi na području istraživanja utjecali na hipsometrijske odnose (sl. 5). Slapnica je svojim usijecanjem izrazito izmijenila hipsometrijske odnose promatranog područja što čini dolinu Slapnice iznimno zanimljivim prostorom u pogledu georaznolikosti. Najniža područja nalaze se na južnim dijelovima rasjedno predisponiranih dolina u prostoru predgorske stepenice dok se najviša područja nalaze na sjeverozapadu, prema izdignutom bloku sjeveroistočnog dijela gorskog masiva, te na krajnjem istoku, na prostoru bloka Japetić.

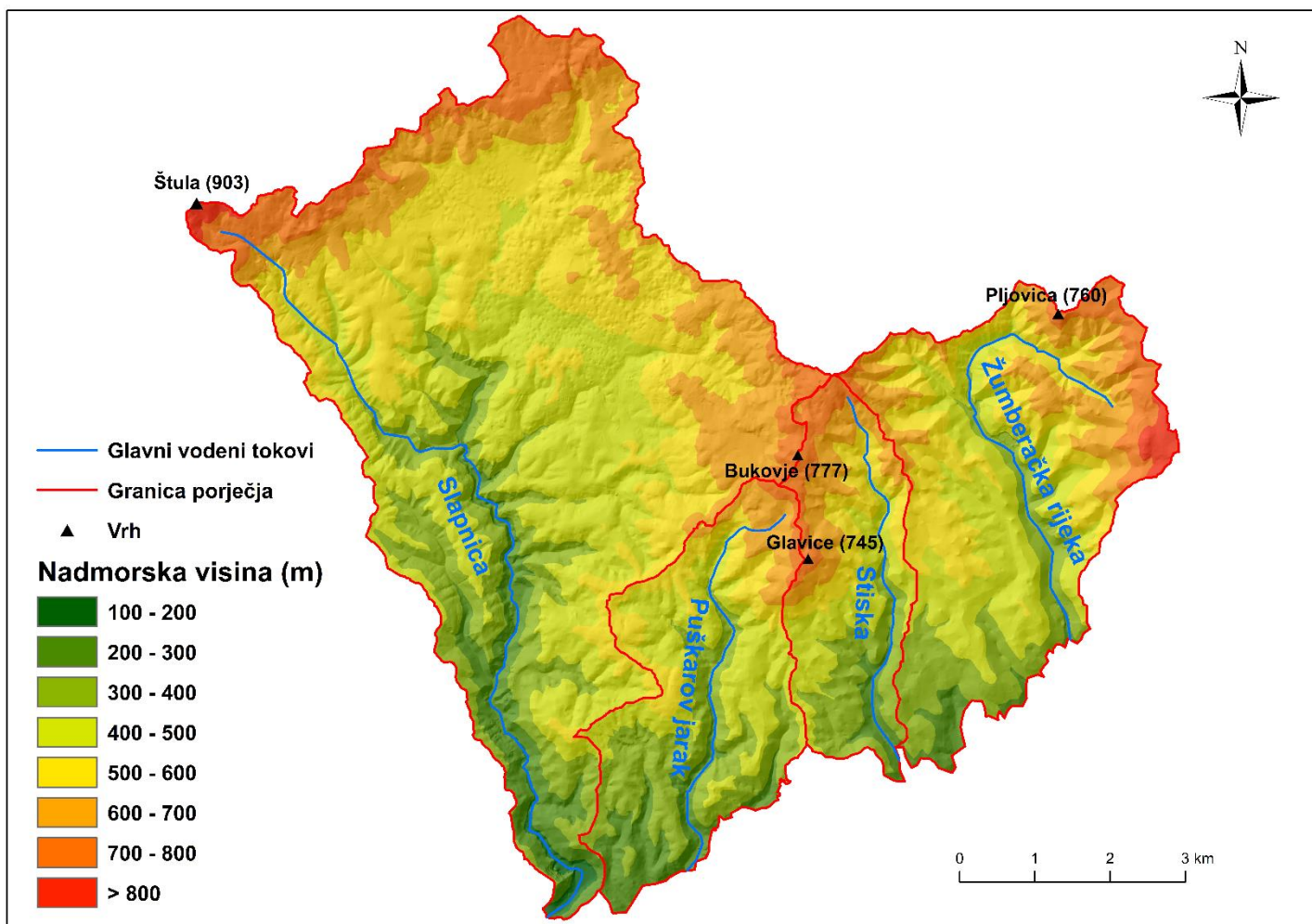
Hipsometrijski razredi fluviokrških dolina pravilno se smjenjuju od najnižih vrijednosti u prostoru talvega do najviših dijelova grebena. Najviša područja ujedno su i najviše točke razgraničenja topografskih porječja dolina (Štula, Bukovje, Glavice, Pljovica). Na razini pojedinačnih dolina, visinske vrijednosti se u pravilu ravnomjerno smanjuju od sjeverozapada prema jugoistoku. Najniže područje nalazi se na samom jugu područja istraživanja, na prostoru ušća Slapnice u Kupčinu (sl. 5).

**Tab.2.** Površine i udjeli hipsometrijskih razreda na području istraživanja

RAZRED (m)	POVRŠINA (km <sup>2</sup> )	UDIO (%)
100-200	0,37	0,49
200-300	5,26	6,98
300-400	12,99	17,24
400-500	21,1	27,99
500-600	18,85	25,02
600-700	10,99	14,58
700-800	5,34	7,08
>800	0,47	0,62
<b>UKUPNO</b>	<b>75,37</b>	<b>100</b>



**SI.4.** Udjeli hipsometrijskih razreda u ukupnoj površini područja istraživanja



Sl.5. Hipsometrijska karta područja istraživanja

### 5.2.2. Nagibi padina

Nagib padina je važan kvantitativni geomorfološki pokazatelj intenziteta djelovanja geomorfoloških procesa (Tandarić i dr., 2018) zbog čega je bitna determinanta georaznolikosti. U lokalnim okvirima, nagib padina može poslužiti za utvrđivanje intenziteta denudacije, odnosno akumulacije dok u regionalnim okvirima predstavlja pokazatelj djelovanja endogenih morfostrukturnih procesa (Lozić, 1996). U radu je korištena geomorfološka klasifikacija nagiba padina (tab. 3) temeljena na dominantnim morfološkim procesima IGU-a (International Geographical Union; Demek, 1972). Dominantni geomorfološki procesi na pojedinoj padini aktiviraju se ovisno o veličini nagiba i odgovarajućem reljefnom obliku (Lozić, 1996).

**Tab.3.** Razredi nagiba padina prema dominantnim procesima

<b>RAZRED</b>	<b>OPIS</b>	<b>DOMINANTNI PROCESI</b>
<b>0 - 2°</b>	<b>ravnice</b>	<b>kretanje masa se ne opaža</b>
<b>2 - 5°</b>	<b>blago nagnuti teren</b>	<b>blago spiranje</b>
<b>5 - 12°</b>	<b>nagnuti teren</b>	<b>pojačano spiranje i kretanje masa</b>
<b>12 - 32°</b>	<b>jako nagnut teren</b>	<b>snažna erozija, spiranje i izrazito kretanje masa</b>
<b>32 - 55°</b>	<b>vrlo strm teren</b>	<b>dominira destrukcija</b>
<b>&gt; 55°</b>	<b>strmci, litice (eskarpmani)</b>	<b>urušavanje</b>

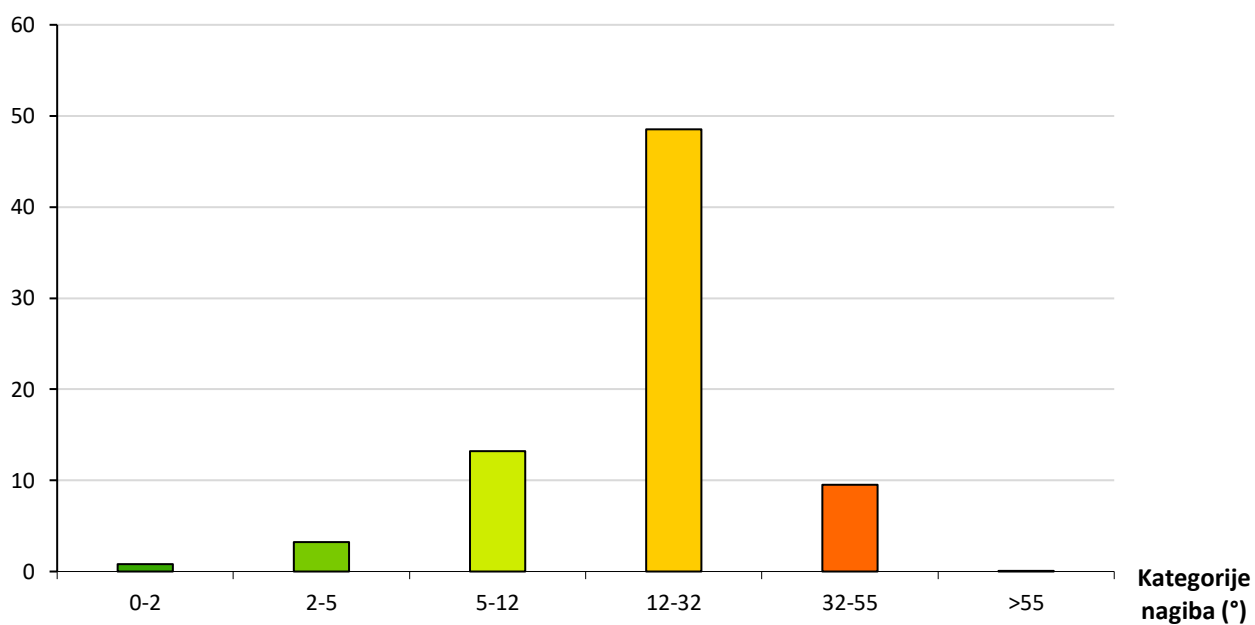
**Izvor:** Lozić (1996)

Analizom nagiba padina (tab. 4, sl. 6) ustanovljeno je da najveću površinu zauzimaju padine kategorije nagiba od 12 do 32°. Najveće kategorije nagiba (32 - 55° i > 55°; sl. 7) zabilježene su na području duboko usječenih fluviokrških dolina Slapnice, Puškarovog jarka, Stiske i Žumberačke rijeke te njihovih pritoka. Najzastupljenija kategorija nagiba (12 - 32°) prisutna je na cijelom području istraživanja i većinom se nalazi na prostorima padina između najviših točaka grebena i strmih dolinskih strana. Kategorije nagiba 2 - 5° i 5 - 12° vezane su uz sama vršna područja grebena te krških zaravni i depresija, a kategorija nagiba 0 - 2° prevladava u dolinskim proširenjima fluviokrških dolina, vrhovima grebena te najnižim dijelovima krških depresija. Sukladno rezultatima analize nagiba padina (sl. 7), na većini područja istraživanja prevladava snažna erozija, spiranje, izrazito kretanje masa i destrukcija.

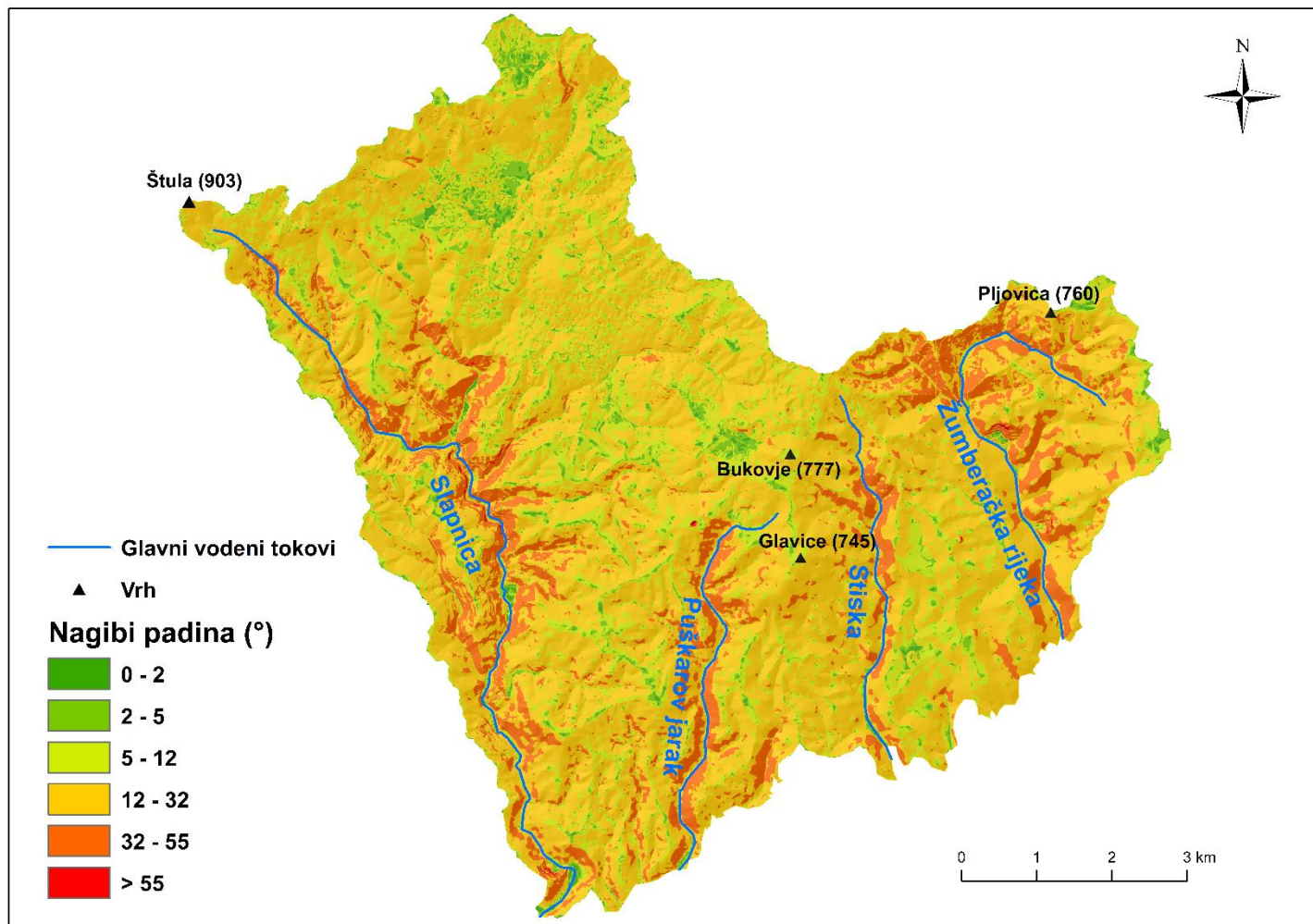
**Tab.4.** Površine i udjeli kategorija nagiba padina na području istraživanja

<b>RAZRED (°)</b>	<b>POVRŠINA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>UDIO (%)</b>
<b>0-2</b>	<b>0,81</b>	<b>1,08</b>
<b>2-5</b>	<b>3,23</b>	<b>4,28</b>
<b>5-12</b>	<b>13,21</b>	<b>17,52</b>
<b>12-32</b>	<b>48,53</b>	<b>64,4</b>
<b>32-55</b>	<b>9,52</b>	<b>12,64</b>
<b>&gt;55</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>
<b>UKUPNO</b>	<b>75,37</b>	<b>100</b>

**Površina (km<sup>2</sup>)**



**Sl.6.** Udjeli kategorija nagiba padina u ukupnoj površini područja istraživanja



Sl.7. Kategorije nagiba padina na području istraživanja

### 5.2.3. Vertikalna raščlanjenost reljefa

Vertikalna raščlanjenost reljefa važan je morfometrijski parametar reljefa koji predstavlja visinsku razliku između najviše i najniže točke unutar određene površine. Uvjetovana je specifičnostima terena kao što su geološki sastav i struktura te raspored i količina vode na terenu. Ovaj element morfometrijske analize u lokalnim okvirima predstavlja parametar intenziteta razvoja egzogenih procesa koji utječu na georaznolikost. Područja s većom vertikalnom raščlanjenosti reljefa imaju veći intenzitet erozije dok područja s manjom imaju veći intenzitet akumulacije. U regionalnim okvirima, vertikalna raščlanjenost reljefa predstavlja odraz neotektonskih pokreta. Analizom vertikalne raščlanjenosti dobivaju se podaci o položaju neotektonskih struktura te intenzitetu i predznaku pokreta (Lozić, 1995).

Kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa (tab. 5) standardizirane su unaprijed utvrđenim kriterijima prema A. Bognaru (1992).

**Tab.5.** Kategorije i opis kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa

<b>RAZRED (m/km<sup>2</sup>)</b>	<b>OPIS</b>
<b>0 - 5</b>	<b>zaravnjen teren</b>
<b>5 - 30</b>	<b>slabo raščlanjene ravnice</b>
<b>30 - 100</b>	<b>slabo raščlanjen reljef</b>
<b>100 - 300</b>	<b>umjereno raščlanjen reljef</b>
<b>300 - 800</b>	<b>izrazito raščlanjen reljef</b>
<b>&gt; 800</b>	<b>vrlo izrazito raščlanjen reljef</b>

**Izvor:** Bognar (1992)

U radu su, s obzirom na reljefne karakteristike, korištene modificirane kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa. Područje istraživanja podijeljeno je u 7 kategorija s veličinom razreda od 60 m/km<sup>2</sup>. Analizom vertikalne raščlanjenosti reljefa (tab. 6, sl. 8) utvrđeno je da najveću površinu područja istraživanja (31,83 km<sup>2</sup>, što čini 42,23% područja istraživanja) zauzima kategorija 180 - 240 m/km<sup>2</sup>. Znatno su zastupljene kategorije 120 – 180 m/km<sup>2</sup>, koja zauzima 25,4% i 240 – 300 m/km<sup>2</sup>, koja zauzima 19,6% područja istraživanja. Manje su zastupljene kategorije 300 – 360 m/km<sup>2</sup> (6,19%) i 60 – 120 m/km<sup>2</sup> (4,84%), a najmanje su zastupljene kategorije > 360 m/km<sup>2</sup> (1,7%) i 0 – 60 m/km<sup>2</sup> (0,04%).

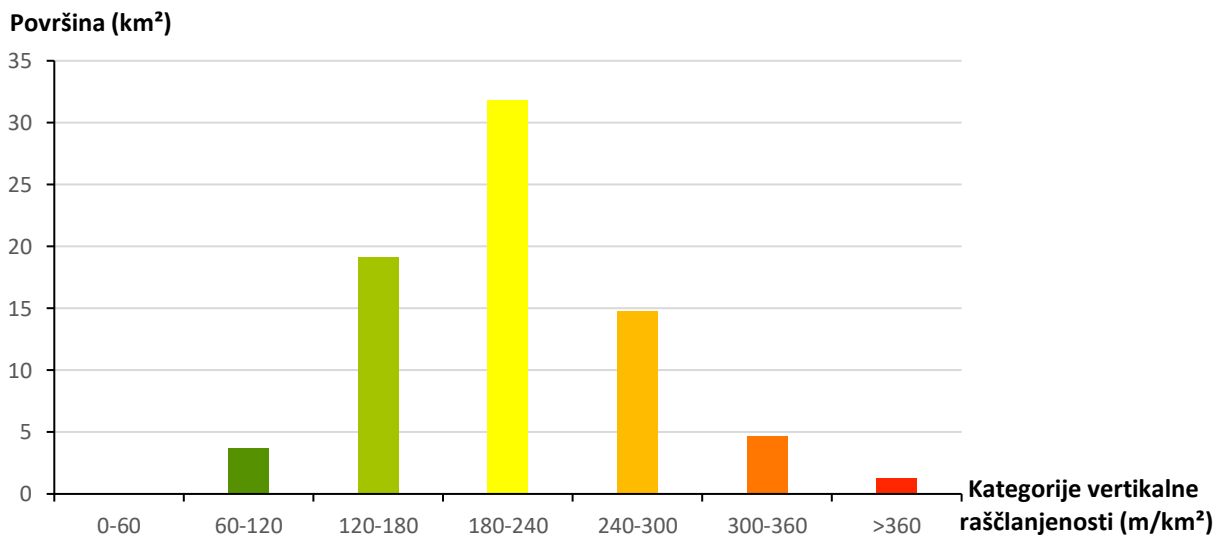
Kategorije najveće vertikalne raščlanjenosti zastupljene su istočno i južno od vrha Glavice te na istoku područja istraživanja oko topografske razvodnice Žumberačke rijeke (sl. 9). Kategorije 300 – 360 i 240 – 300 m/km<sup>2</sup> prostiru se u kružnom pojasu oko kategorije najveće raščlanjenosti, na južnom području doline Slapnice te na sjeverozapadu, južno od vrha Štula. Najzastupljenija kategorija (180 – 240 m/km<sup>2</sup>) prostire se kroz cijelo područje istraživanja te prevladava na prostorima dolinskih strana najvećih tokova i na rasjedno odvojenom sjevernom dijelu područja istraživanja. Kategorije najmanjih vrijednosti vertikalne raščlanjenosti vezane su uglavnom uz zaravnjena krška područja i vršne dijelove grebena. S obzirom na prevladavajuće kategorije vertikalne raščlanjenosti, područje istraživanja spada pod umjereno raščlanjen reljef. U pogledu georaznolikosti mogu se izdvojiti dvije zone gdje se na relativno malom prostoru nalazi veliki broj



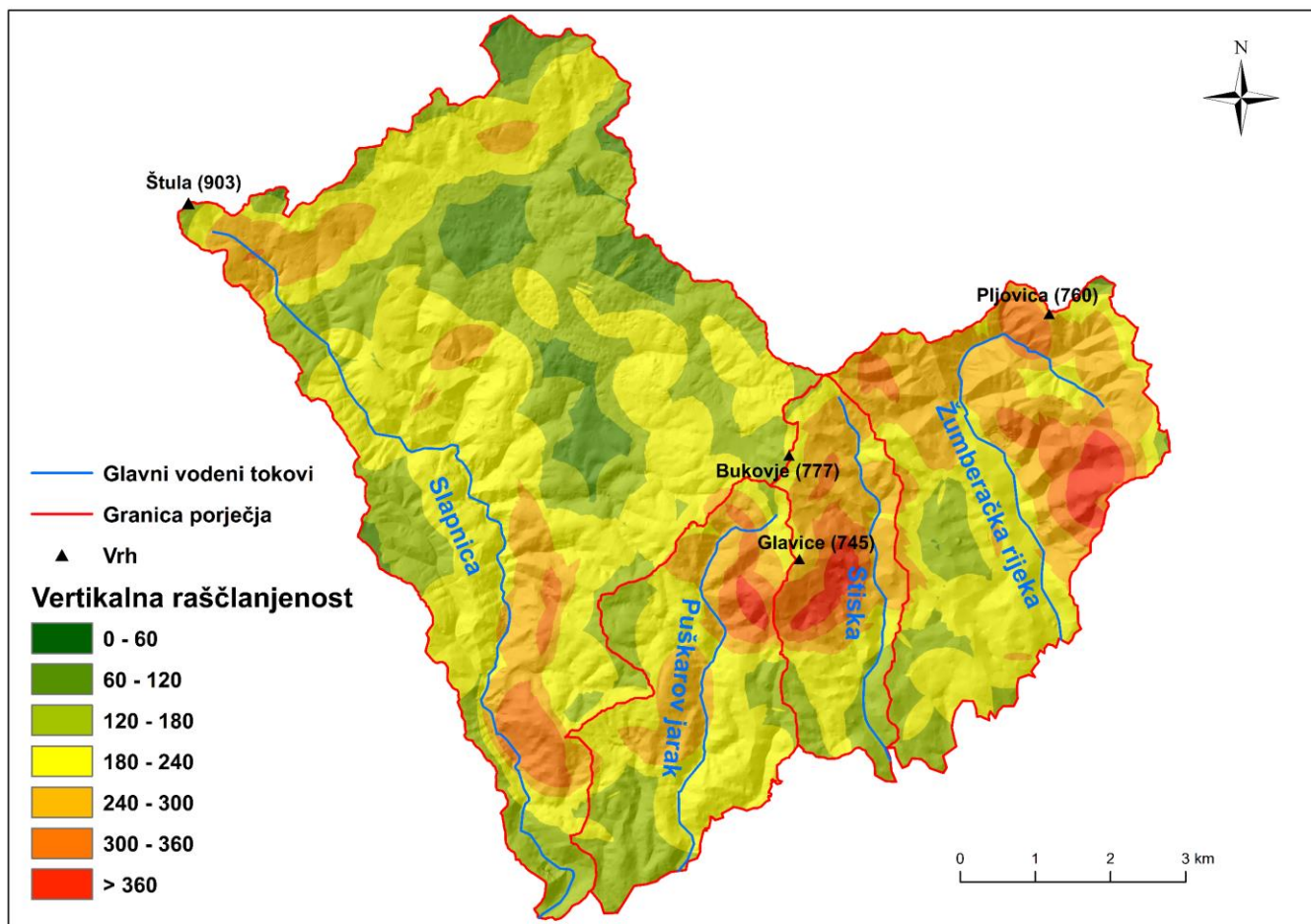
kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa, a to su prostor između Puškarovog jarka i Stiske te područje istočno od toka Žumberačke rijeke. Navedene zone također se poklapaju sa zonama najveće raznolikosti hipsometrijskih razreda te se može zaključiti kako su u navedenim prostorima endogene sile značajno utjecale na georaznolikost.

**Tab.6.** Površine i udjeli kategorija vertikalne raščlanjenosti na području istraživanja

<b>RAZRED (m/km<sup>2</sup>)</b>	<b>POVRŠINA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>UDIO (%)</b>
<b>0-60</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>
<b>60-120</b>	<b>3,65</b>	<b>4,84</b>
<b>120-180</b>	<b>19,14</b>	<b>25,4</b>
<b>180-240</b>	<b>31,83</b>	<b>42,23</b>
<b>240-300</b>	<b>14,77</b>	<b>19,6</b>
<b>300-360</b>	<b>4,67</b>	<b>6,19</b>
<b>&gt;360</b>	<b>1,28</b>	<b>1,7</b>
<b>UKUPNO</b>	<b>75,37</b>	<b>100</b>



**Sl.8.** Udjeli kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa u ukupnoj površini područja istraživanja



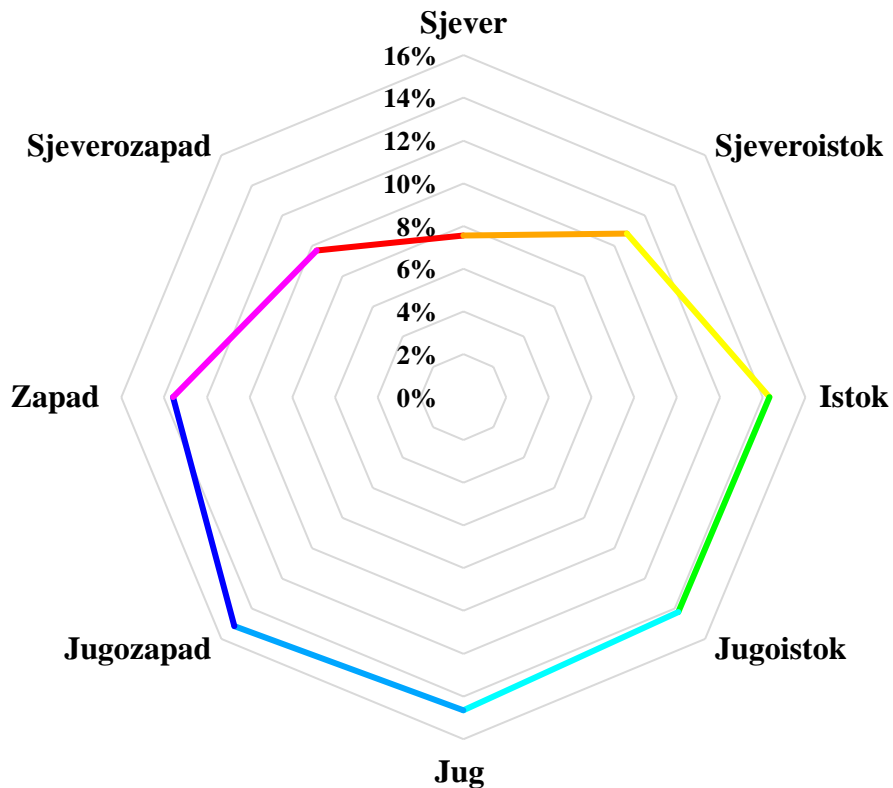
SI.9. Kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa na području istraživanja

#### 5.2.4. Ekspozicija padina

Ekspozicija padina u smjeru najvećeg nagiba odnosi se na orijentaciju s obzirom na strane svijeta pri čemu se kut određuje od pravca sjevera u smjeru kazaljke na satu (Pahernik, 2007). U kombinaciji s drugim morfometrijskim parametrima, ekspozicija padina utječe na intenzitet egzogeomorfoloških procesa (Tandarić i dr., 2018), a samim time i na nastanak geomorfoloških oblika koji povećavaju georaznolikost prostora. Značaj ekspozicije najviše se odražava u njezinu utjecaju na modificiranje određenih klimatskih elemenata. Različite ekspozicije padina utječu na intenzitet Sunčeva zračenja, temperaturne amplitude, mehaničko trošenje stijena, dužinu vegetacijskog perioda i izloženost kišonosnim vjetrovima. Navedeni elementi različito modificiraju stijene te samim time utječu na raznolikost geomorfoloških oblika. Na nasuprotnim ekspozicijama, odnosno prisojnim i osojnim padinama, uočavaju se maksimalne razlike utjecaja ekspozicije na spomenute pojave (Pahernik, 2007). Razumijevanje ovih utjecaja omogućuje

preciznije predviđanje geomorfoloških procesa odgovornih za današnji izgled i karakteristike reljefa.

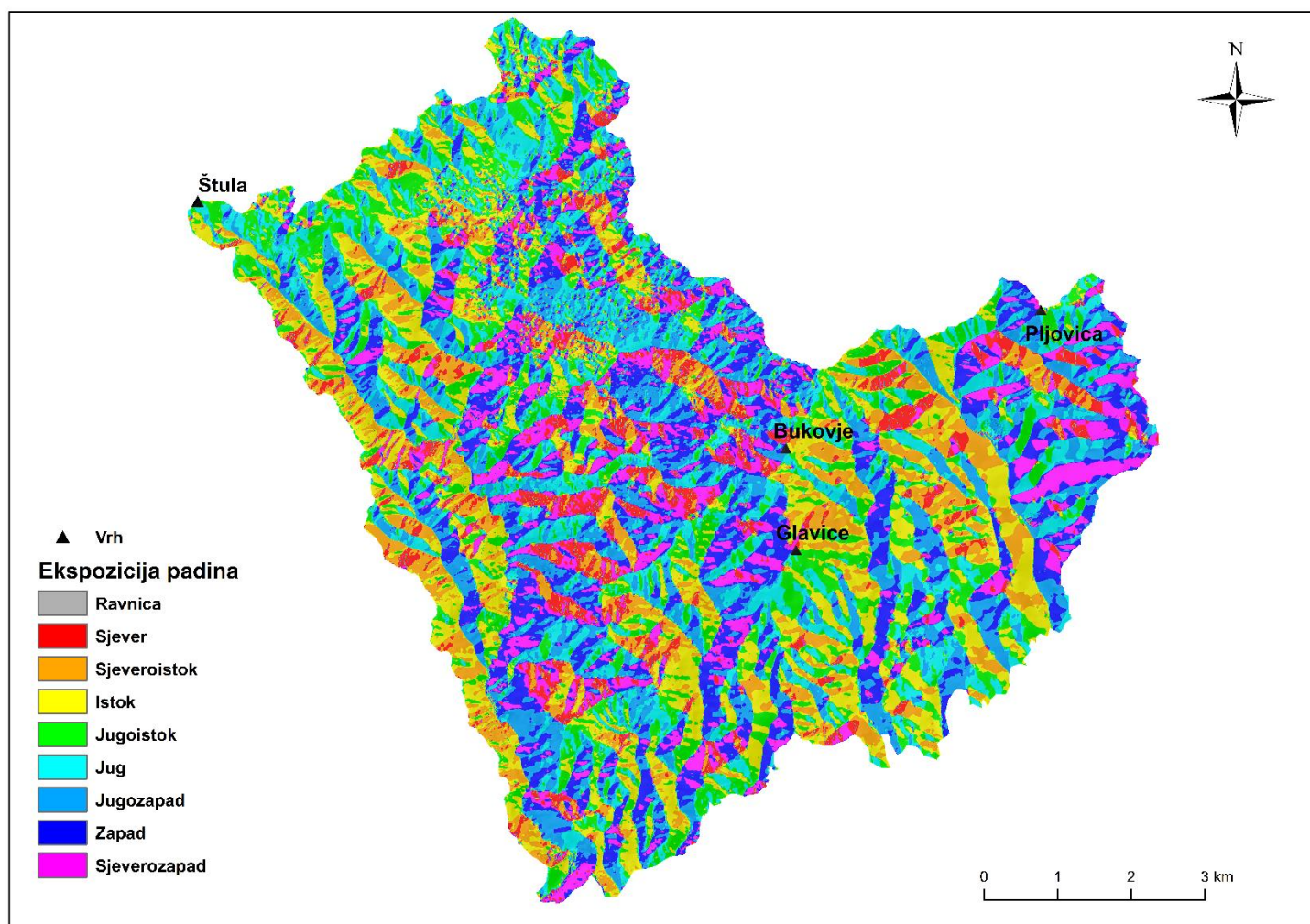
Analizom ekspozicija padina (sl. 10, tab. 7, sl. 11) utvrđeno je kako najveću površinu područja istraživanja (11,42 km<sup>2</sup>) zauzimaju padine jugozapadne orijentacije s udjelom od 15,15%. Prevladavajuće orijentacije padina poklapaju se s primarnom orografskom osi Žumberačkog masiva koji se dominantno proteže u smjeru jugozapad – sjeveroistok. Padine koje se ne poklapaju s glavnim smjerom pružanja Žumberačkog gorja vjerojatno su mlađeg postanka nastale neotektonskim pokretima uslijed promjene orijentacije tektonskog stresa. Na području istraživanja navedene ekspozicije padina indirektno utječu na denudaciju i koroziju stijenske podloge, kao i na hidrološke procese na padinama, što utječe na georaznolikost područja.



**Sl.10.** Udjeli ekspozicija padina na području istraživanja

**Tab.7.** Površine i udjeli kategorija ekspozicija padina na području istraživanja

<b>RAZRED</b>	<b>POVRŠINA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>UDIO (%)</b>
Ravnica	-	-
Sjever	5,69	7,56
Sjeveroistok	8,16	10,82
Istok	10,79	14,32
Jugoistok	10,72	14,22
Jug	11,05	14,65
Jugozapad	11,42	15,15
Zapad	10,23	13,58
Sjeverozapad	7,31	9,7
<b>UKUPNO</b>	<b>75,37</b>	<b>100</b>



**Sl.11.** Kategorije ekspozicija padina na području istraživanja

### 5.2.5. Zakrivljenost padina

Pojam zakrivljenost padina odnosi se na oblik padine čija analiza služi za određivanje dominantnih procesa oblikovanja same padine. Na temelju prevladavajućih geomorfoloških procesa moguće je predvidjeti budući razvoj padine (Pahernik, 2007). Denudacijski i akumulacijski procesi, uzrokovani endogenim i egzogenim geomorfološkim agensima odgovorni su za oblik zakrivljenosti padine. U geomorfološkim istraživanjima najčešće se koriste analize profilne i planarne zakrivljenosti. Ove analize upućuju na područja na kojima dolazi do relativno brzih promjena nagiba padina što može poslužiti za procjenu trendova endogenih i egzogenih geomorfoloških procesa (Radoš i dr., 2012) te njima uvjetovane georaznolikosti.

#### 5.2.5.1. Profilna zakrivljenost

Profilna zakrivljenost odnosi se na zakrivljenost padina ili dijelova padina duž linija koje su okomite na izohipse (Radoš i dr., 2012). S obzirom na profilnu zakrivljenost razlikuju se konveksne, uravnotežene i konkavne padine. *Konveksne* ili izbočene padine su indikator pozitivnih tektonskih pokreta (izdizanja). Na konveksnim padinama prevladavaju denudacijski procesi čiji intenzitet raste s porastom dužine padine. *Konkavne* ili udubljene padine su indikator negativnih tektonskih pokreta (spuštanja). Na takvim padinama prevladava pojačana akumulacija padinskog materijala. Uravnotežene padine upućuju na prostorno uravnotežene denudacijske uvjete, odnosno podjednaki modificirajući utjecaj denudacije i akumulacije na oblikovanje padine (Radoš i dr., 2012).

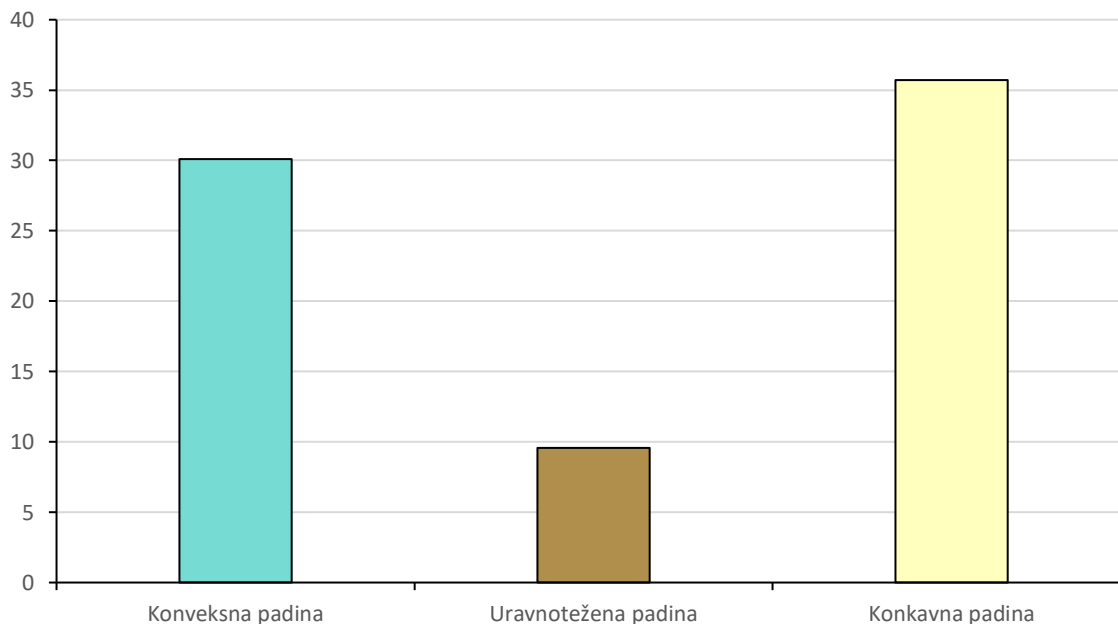
Analizom profilne zakrivljenosti padina (tab. 8, sl. 12, sl. 13) utvrđeno je da na području istraživanja prevladavaju konkavne padine (47,38%). Prostorno su raspoređene po čitavom području istraživanja, s izraženom prevlašću na strmim dolinskim stranama najvećih nagiba. Ovakva distribucija konkavnih padina može se objasniti padinskim i fluvio-derazijskim procesima koji denudiraju dolinske strane i akumuliraju padinski materijal u podnožju dolina. Navedeni procesi su odraz velike raščlanjenosti reljefa i nagiba padina koji, u kombinaciji s geološkim sastavom, vegetacijom, antropogenim utjecajem i klimom, imaju za posljedice određene geomorfološke procese koji modificiraju padinu. Znatno su zastupljene i konveksne padine

(39,93%) koje su prisutne na cijelom području istraživanja i vezane su uz područja grebena. Najmanje su zastupljene uravnotežene padine (12,70%) koje dominiraju u istočnom dijelu područja istraživanja. Može se zaključiti kako su na području topografskog porječja Stiske i Žumberačke rijeke mjestimice ujednačeni denudacijski i akumulacijski procesi. Ujednačenost geomorfoloških procesa smanjuje mogućnost nastanka raznolikih geomorfoloških oblika te na taj način negativno utječe na georaznolikost.

**Tab.8.** Površine i udjeli kategorija profilne zakrivljenosti padina na području istraživanja

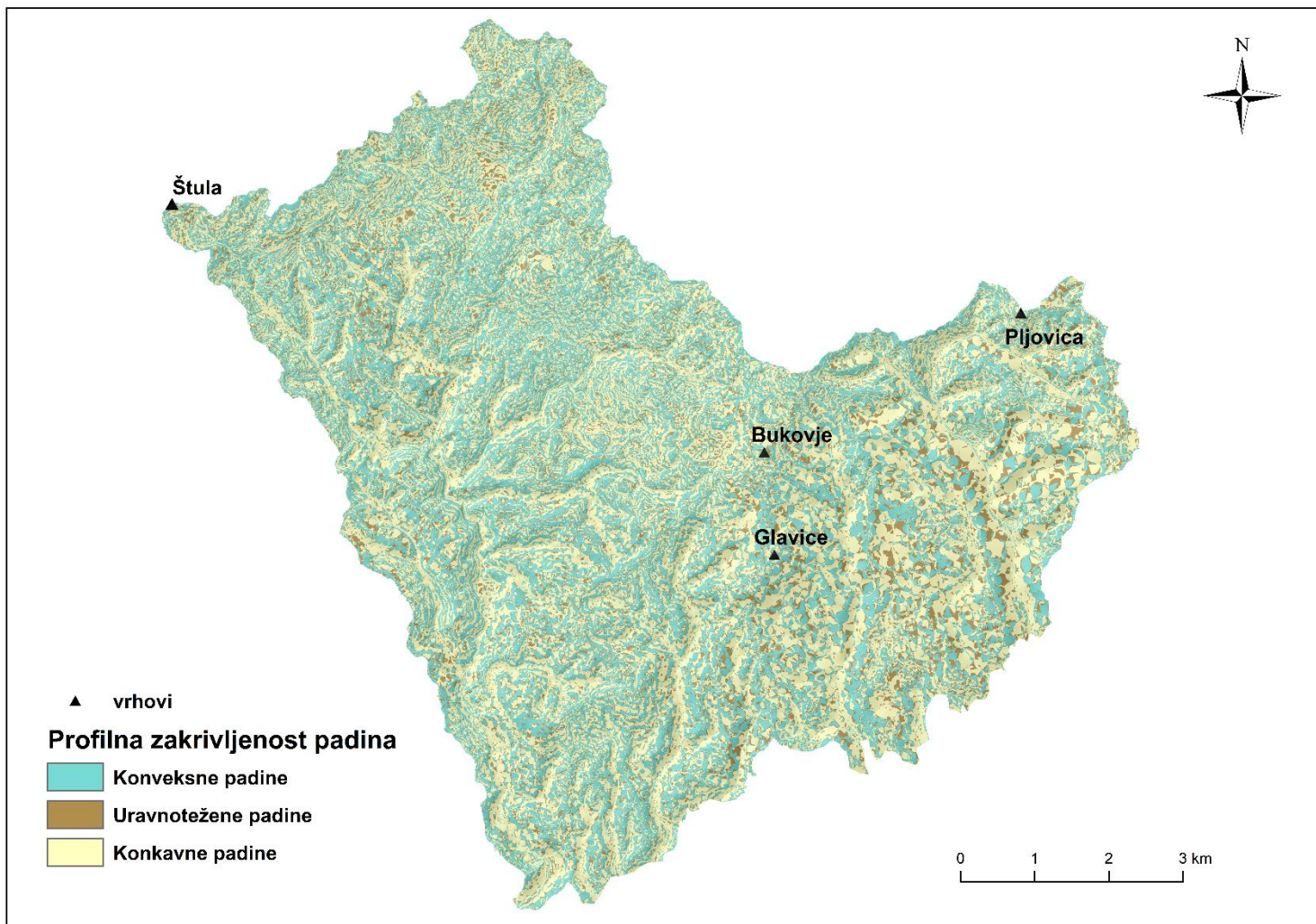
<b>VRSTA PADINE</b>	<b>POVRŠINA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>UDIO (%)</b>
<b>Konveksna padina</b>	<b>30,09</b>	<b>39,93</b>
<b>Uravnotežena padina</b>	<b>9,57</b>	<b>12,70</b>
<b>Konkavna padina</b>	<b>35,71</b>	<b>47,38</b>
<b>UKUPNO</b>	<b>75,37</b>	<b>100</b>

**Površina (km<sup>2</sup>)**



**Vrste padine prema profilnoj zakrivljenosti**

**SI.12.** Udjeli kategorija profilne zakrivljenosti padina u ukupnoj površini područja istraživanja



Sl.13. Karta profilne zakrivljenosti padina na području istraživanja

### 5.2.5.2. Planarna zakrivljenost

Planarna zakrivljenost padine je zakrivljenost padine u sekanti izohipse okomitoj na smjer najvećeg nagiba. Modelom planarne zakrivljenosti moguće je procijeniti divergenciju i konvergenciju hipotetskog otjecanja vode, a time i ocjeditost te vlažnost tla na padini. Razlikujemo divergentne, konvergentne i uravnotežene padine. Divergentne (izbočene) padine povezane su s derazijskim procesima spiranja, puzanja i jaruženja, a konvergentne (udubljene) padine povezane su s procesima otjecanja vode, tla ili detritusa (Radoš i dr., 2012).

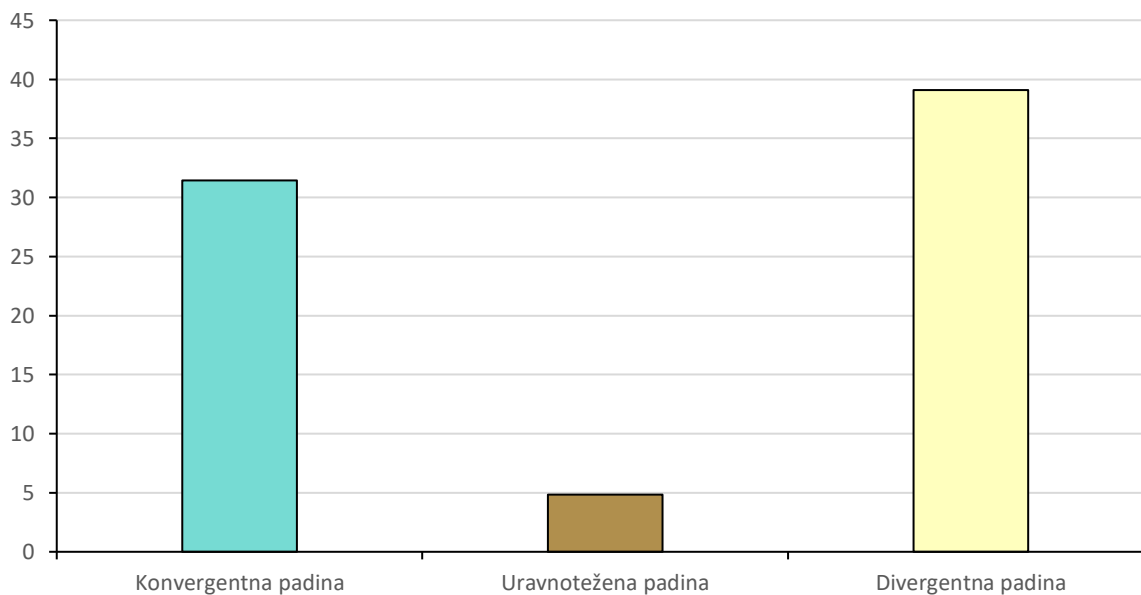
Na području istraživanja prevladavaju divergentne padine s udjelom od 51,86% (tab. 9, sl. 14, sl. 15.). Divergentne i konvergentne padine gotovo su ravnomjerno distribuirane na cijelom

području istraživanja, dok se uravnotežene padine, kao i kod profilne zakrivljenosti, većinom nalaze na prostoru porječja Stiske i Žumberačke rijeke. U topografskom porječju Slapnice primjetna je velika raznolikost divergentnih i konvergentnih padina što znači da se na maloj površini mogu pronaći reljefni oblici koji su posljedica i derazijskih i akumulacijskih procesa. Može se zaključiti kako na cijelom području istraživanja prevladavaju derazijski procesi, a naročito jaruženje što se očituje velikim brojem jaruga na području istraživanja. Derazijski procesi utječu na raznolikost geomorfoloških oblika te povećavaju prirodnu georaznolikost.

**Tab.9.** Površine i udjeli kategorija planarne zakrivljenosti padina na području istraživanja

<b>VRSTA PADINE</b>	<b>POVRŠINA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>UDIO (%)</b>
<b>Konvergentna padina</b>	<b>31,44</b>	<b>41,72</b>
<b>Uravnotežena padina</b>	<b>4,84</b>	<b>6,42</b>
<b>Divergentna padina</b>	<b>39,09</b>	<b>51,86</b>
<b>UKUPNO</b>	<b>75,37</b>	<b>100</b>

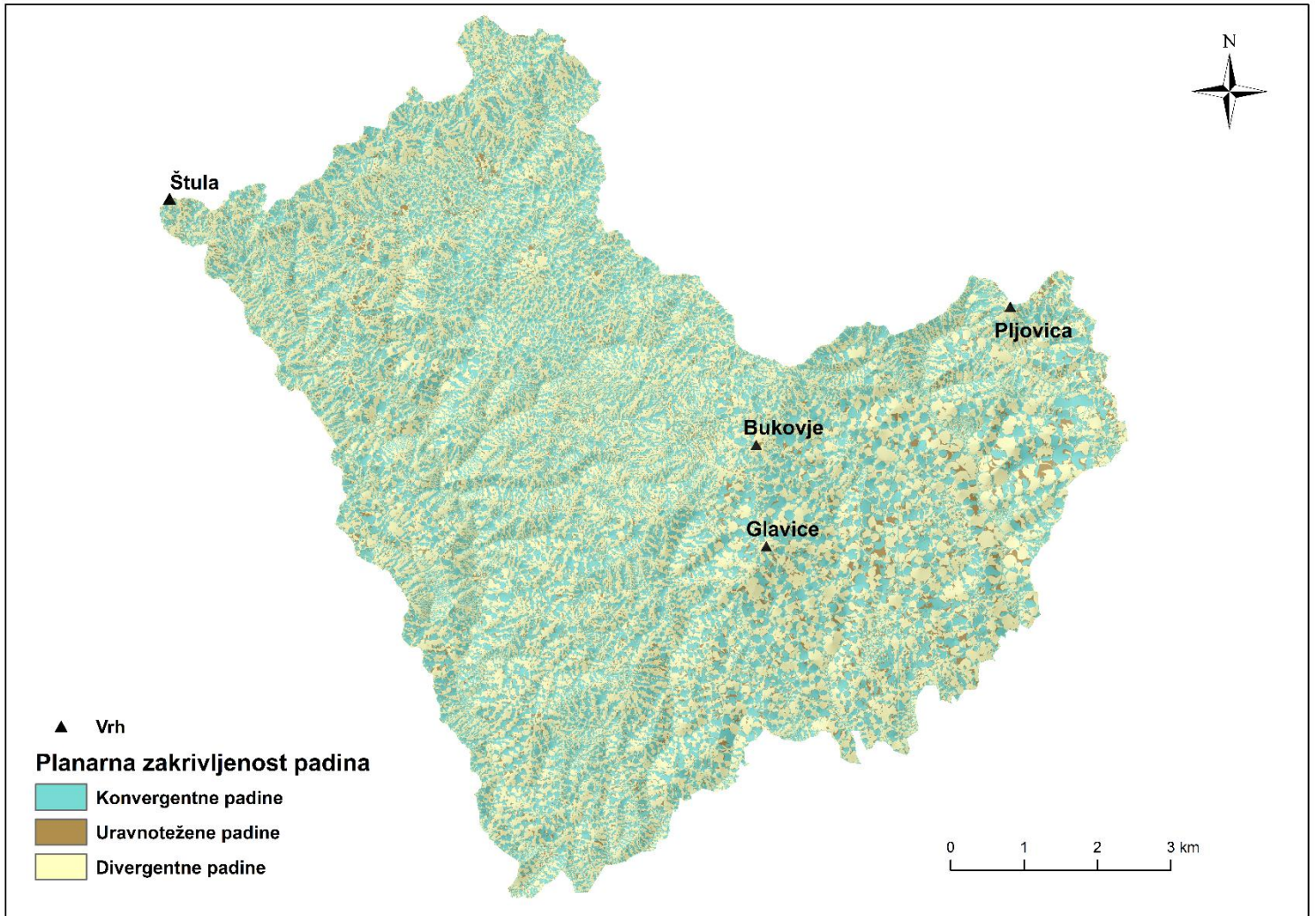
**Površina (km<sup>2</sup>)**



**Vrste padine prema planarnoj zakrivljenosti**

**Sl.14.** Udjeli kategorija planarne zakrivljenosti padina u ukupnoj površini područja istraživanja





SI.15. Karta planarne zakrivljenosti padina na področju istraživanja

### 5.3. Klimatska obilježja

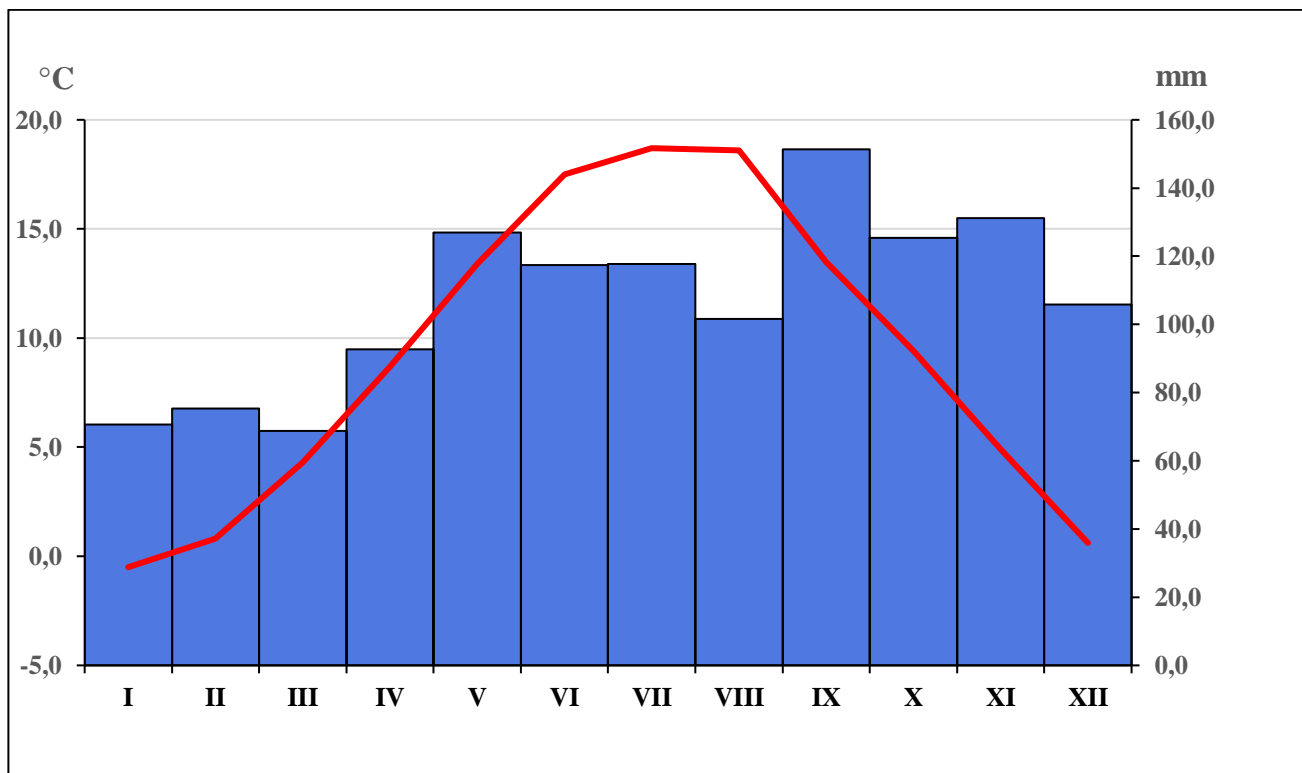
Područje istraživanja podložno je okršavanju zbog dominacije karbonatnih stijena. Temperatura i količina padalina imaju izravan utjecaj na mehanizam nastanka krškog reljefa. Ford i Williams (2007), ističu kako je dostupnost vode ključni klimatski faktor u razvoju krša. Ukupna denudacija stijena, uzrokovana mehaničkim i kemijskim trošenjem, direktno ovisi o vodenim tokovima. Snaga vodenog toka ovisi o njegovom prihranjivanju podzemnom ili oborinskom vodom. S obzirom na način prihranjivanja vodom, razlikuju se autogeni i alogeni sustav. Autogeni, ili autohtoni sustav je onaj koji je u potpunosti izgrađen od okršenih stijena, a voda u njega ulazi isključivo putem padalina. S druge strane, alogeni, ili alohtoni sustav vodu dobiva iz susjednog nekrškog slivnog područja. Većina krških područja kombinacija je autogene i alogene komponente.

Područje istraživanja spada pod kombinirani sustav. Prosječna godišnja količina padalina i temperatura zraka direktno utječu na intenzitet korozije, kako gole karbonatne površine, tako i subkutane korozije (Pahernik, 1998). Padalinska voda većinom je konvekcijskog postanka s dominacijom kiše tijekom cijele godine te snijega na višim područjima u hladnom dijelu godine. Na području Žumberka prevladava trend da, u skladu s porastom nadmorske visine, količina padalina raste od istoka prema zapadu i od juga prema sjeveru. Također, vrijednosti srednjih godišnjih temperatura zraka smanjuju se od istoka prema zapadu (Buzjak, 2006). Područje istraživanja dobiva najveći dio padalinske vode tijekom jeseni kada se ističu dva maksimuma u rujnu i studenom (sl. 16). U razdoblju od 27 godina vrijednosti srednjih mjesečnih količina padalina variraju u rasponu između 70 mm u ožujku i 150 mm u rujnu. Prosječna godišnja količina padalina u navedenom razdoblju kreće su u rasponu od 900 do 1600 mm, s time da je 2023. g. zabilježena najveća prosječna godišnja količina koja je iznosila 1636,2 mm. Iako postoji razlika između mjeseca s najmanjom količinom (ožujak) i mjeseca s najvećom količinom (rujan), uglavnom je količina padalina ravnomjerno distribuirana tijekom cijele godine (sl. 16).

Količina padalina važna je za režim najveće tekućice na području istraživanja, a to je Slapnica. Slapnica pripada slijevu Kupe koja ima dinarski kišno-snježni režim (Čanjevac, 2013). S obzirom na maksimume i minimume količine padalina može se reći kako i Slapnica ima sličan mehanizam prihranjivanja vodom. Tijekom proljeća, Slapnica se prihranjuje pretežito snježnicom

iz viših krajeva dok se tijekom jeseni prihranjuje jesenskim kišama. Jačina toka Slapnice bitan je faktor razvoja reljefa budući da je Slapnica usjekla najveću dolinu na području istraživanja.

Prosječna godišnja temperatura Žumberačke gore proteže se u rasponu od 11°C u nižim predjelima do 6°C u najvišim dijelovima. Prema klimatskom dijagramu klimatološke postaje Sošice (sl. 16), vidljivo je kako područje istraživanja spada pod umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetom (Cfb) prema Köppen-Geigerovoj klasifikaciji klime (Kottek i dr., 2006). U razdoblju od 1996. do 2023. g. najhladniji mjesec bio je siječanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka ispod 0°C, dok je najtopliji mjesec bio srpanj sa srednjom mjesečnom temperaturom iznad 18°C (sl. 16). Prosječna godišnja temperatura zraka istraživanog područja u razdoblju od 1996. do 2023. g. iznosila je 10,4°C. Temperatura zraka imala je veći utjecaj na razvoj reljefa Žumberka tijekom pleistocena nego što to ima danas. Tada je, zbog niže temperature zraka, denudacija stjenovite podloge bila izraženija nego danas (Buzjak, 2006).



**Sl. 16.** Klimatski dijagram srednjih mjesečnih vrijednosti temperature zraka i količine padalina klimatološke postaje Sošice u razdoblju od 1996. do 2023. g.

**Izvor:** DHMZ (2024)

## 5.4. Hidrološka obilježja

Voda, kao geomorfološki agens, neophodna je za nastanak krša (Ford i Williams, 2007), stoga hidrološka obilježja područja istraživanju imaju veliki utjecaj na georaznolikost. U tom pogledu analizirane su posebnosti drenažne mreže i porječja najvećih tokova na području istraživanja.

### 5.4.1. Drenažna mreža

Na području istraživanja ukupna duljina površinskih vodenih tokova iznosi 123,14 km (sl. 17), a prosječna duljina im je 316 m. Najduži kontinuirani tok je Slapnica čija duljina od izvora do ušća iznosi 12,63 km. Najkraći povremeni tokovi su bujice vezane za područja jaruga na dolinskim stranama najvećih tokova. Iako se najveće tekućice na području istraživanja kolokvijalno nazivaju rijeke, u hidrološkom smislu svi tokovi su zapravo male rijeke (rječice) jer im protok nije veći od 200 m<sup>3</sup>/s (Riđanović, 1993). Gustoća drenažne mreže pokazatelj je intenziteta i prostornog rasporeda fluvijalne erozije, a ukupna gustoća na području istraživanja iznosi 1,63 km toka na km<sup>2</sup>. Treba uzeti u obzir kako većina tekućica protječe prostorom krškog i fluviokrškog reljefa zbog čega brojne tekućice poniru na kontaktu nepropusnih i propusnih stijena. Ponornice su najbrojnije na sjevernom dijelu istraživanog područja (sl. 20). Dakle na području istraživanja prisutna je i površinska i podzemna erozija (uz ostale relevantne procese) koja je uvjetovala nastanak geomorfološki najzanimljivijih reljefnih oblika.

Kako bi se bolje razumjela drenažna mreža, provedena je grupacija površinskih tokova. Grupiranje tekućica i određivanje njihova međusobnog položaja, kao i stupnja (reda) prema glavnoj tekućici, pruža odgovarajuće strukture drenažne mreže koje različito utječu na hidrodinamičke procese. Najčešće upotrebljavana metoda je Strahlerova klasifikacija tekućica. Prema Strahlerovoj metodi sve izvorišne tekućice se uvrštavaju u 1. red. Tekućice koje nastaju spajanjem dvaju izvorišnih krakova uvrštavaju se u 2. red prilikom čega pojedinačni tokovi, kao izvorišni kraci, pripadaju 1. redu. Spajanjem tokova 2. reda nastaju tekućice 3. reda i tako redom do maksimalnog ranga na promatranom području (Riđanović, 1993).

Strahlerovom klasifikacijom (sl. 17) izdvojeni su najveći tokovi na području istraživanja. Tekućica najvećeg ranga (4) je Slapnica koja je ujedno i najveća tekućica na području istraživanja. Slijede je redom prema duljini Žumberačka rijeka, Puškarov jarak i Stiska klase 3. Slapnica ima nekoliko značajnih pritoka od kojih su najznačajniji Kalovka, Jarak, Ivošćak, Drenovac i Vranjak koji imaju vrijednost 2 te Duboki potok s vrijednošću 3. Pritoci ostalih većih tekućica uglavnom su pojedinačni tokovi izvorišnih krakova s vrijednosti 1. Najveća ponornica nalazi se na sjeveroistoku porječja Slapnice. Ona ponire na rubu okršene visoravni te vjerojatno podzemno prihranjuje Jarak, a samim time i Slapnicu. Ponornice na sjeveru područja istraživanja poniru uz rub krškog polja te također podzemno prihranjuju Slapnicu. Zbog krških karakteristika na području Slapnice, ovo područje je bogatije vodom nego što to prikazuje površinska drenažna mreža, a to bitno utječe na georaznolikost područja.



Sl. 17. Strahlerova klasifikacija tekućica na području istraživanja

## 5.4.2. Obilježja porječja

Analiza porječja omogućava jasniji uvid u hidrološka obilježja određenog prostora. Prema Riđanoviću (1993, 123), „porječje je dio prostora što ga odvodnjava tekućica sa svojim pritocima na površini kopna ili u podzemlju topljivih stijena“. Razlikuju se topografsko i hidrološko porječje. Topografsko porječje određuje se površinskom razvodnicom te je tipično za nepropusne naslage. Hidrološko (hidrogeološko) porječje određuje se dubinskom razvodnicom koja je karakteristična za područja krških vodonosnika kakvo je i većim dijelom istraživano područje. U takvim stijenama voda ponire i nastavlja otjecanje u podzemlju što otežava određivanje razvodnice, hidroloških veza i odnosa (Riđanović, 1993).

Iako je većina područja istraživanja građena od topljivih stijena, za analizu je korišteno topografsko porječje budući da je određivanje hidrološkog porječja u kršu otežano i zahtjeva temeljito hidrogeološko istraživanje terena. Na temelju površinskih razvodnica najvećih tokova, dobivenih Strahlerovom klasifikacijom, određena su četiri najveća porječja (sl. 18).

Analizom je ustanovljeno da najveće porječje ima tok Slapnice čija površina iznosi 42,11 km<sup>2</sup>, zatim Žumberačka rijeka s veličinom porječja od 15,99 km<sup>2</sup>. Slijedi porječje Puškarovog jarka koje iznosi 10,43 km<sup>2</sup>, a najmanje porječje ima tok Stiske sa 6,84 km<sup>2</sup> (tab. 10). Sukladno veličini, porječje Slapnice ima najveći ukupni broj tokova u porječju (58,86 km) dok porječje Puškarovog jarka ima najveću gustoću tokova koja iznosi 2,38 km tokova na km<sup>2</sup> (tab. 10). Budući da su porječja izdužena u smjeru sjever-jug, izračunate su duljine porječja. Prilikom izračuna je korištena udaljenost između izlaza glavne tekućice iz porječja i najudaljenije točke na razvodnici (Riđanović, 1993). Slapnica ima najdulje porječje (11,99 km) dok Žumberačka rijeka, iako nema najmanju površinu porječja, ima najmanju duljinu porječja koja iznosi 4,87 km. Razlog tome je laktasto skretanje na sjeveru porječja kojim Žumberačka rijeka skreće za gotovo 180°.

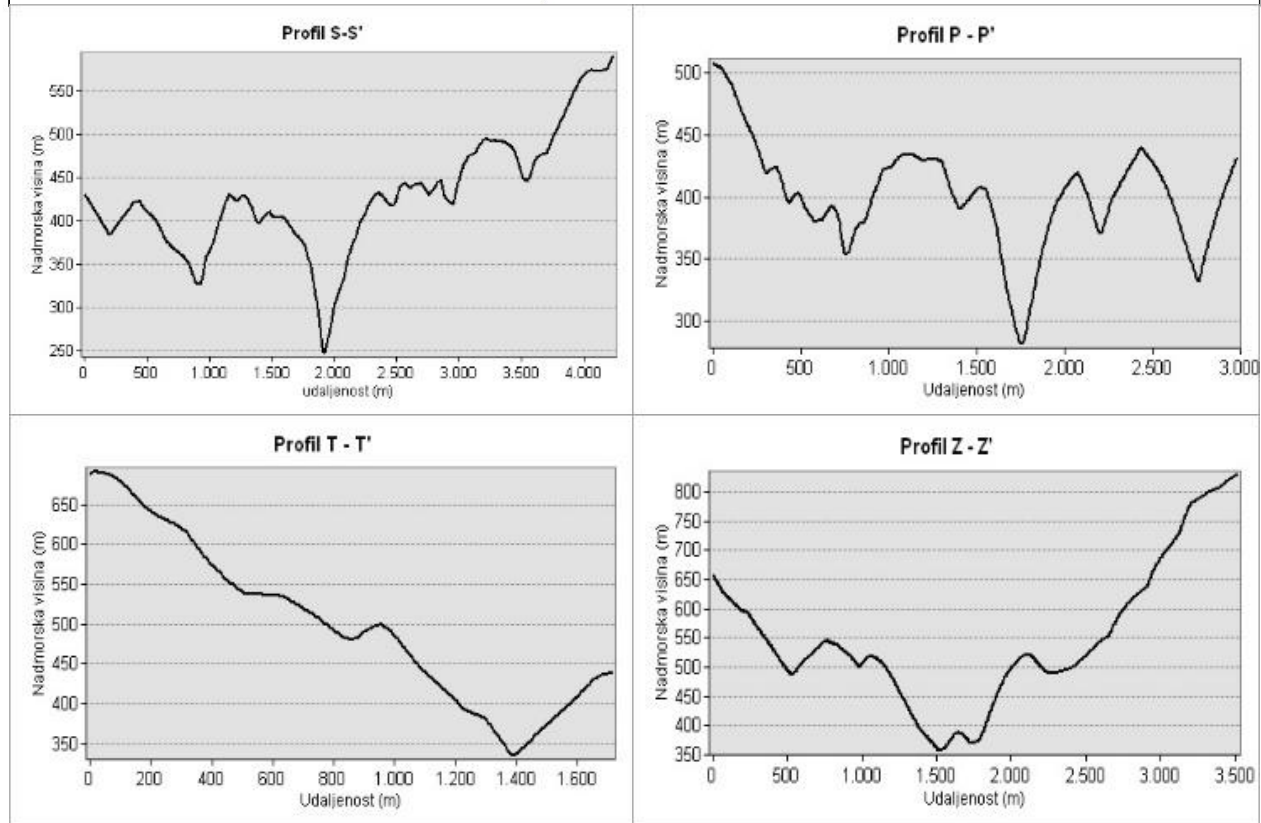
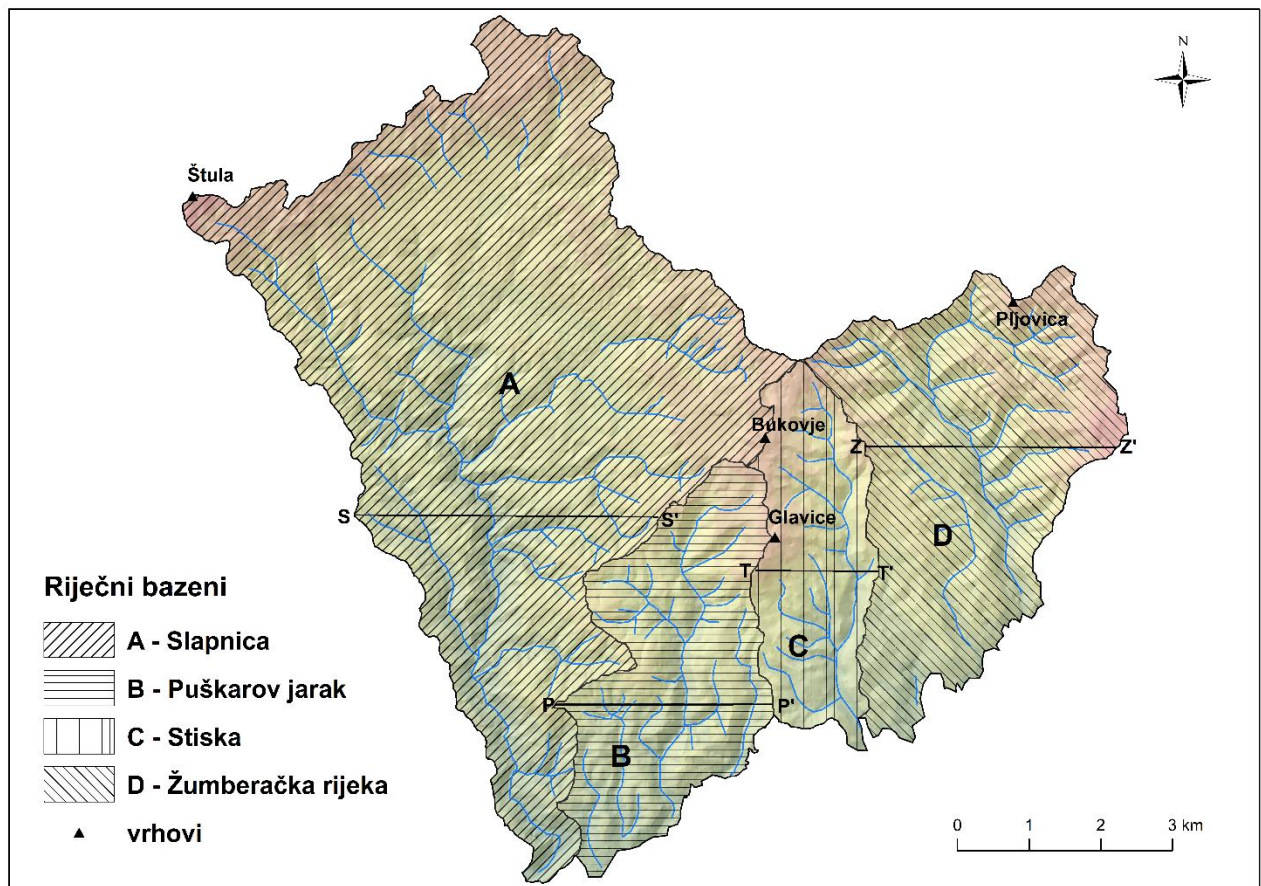
Glavni tokovi usjekli su svoje korito tvoreći fluviokrške doline s geomorfološkim oblicima koji doprinose georazolikosti čitavog područja. Kako bi se odredila nagnutost terena, potrebna za usijecanje dolina, korišteni su apsolutni i relativni padovi glavnih tokova pojedinih porječja (tab. 10). Apsolutni pad ( $J_a$ ) predstavlja visinsku razliku između izvora ( $h_1$ ) i ušća ( $h_2$ ), a izračunava se iz izraza  $J_a = h_1 - h_2$ . Relativni pad ( $J_r$ ) predstavlja prosječan pad tekućice iskazan u metrima na km, a izračunava se iz izraza  $J_r = J_a/L_{km}$  gdje je  $J_a$  apsolutni pad tekućice, a  $L_{km}$  duljina tekućice od

izvora do ušća (Riđanović, 1993). Najveći apsolutni pad od 592,6 m ima Slapnica dok najmanji ima Žumberačka rijeka koji iznosi 335,06 m. S druge strane, najveći relativni pad ima Stiska koja se prosječno usijeca 86,47 m na km, a najmanji relativni pad od 46,92 m na km ima Slapnica. Treba uzeti u obzir da je ukupna duljina toka Slapnice više nego dvostruko dulja od toka Stiske iz čega proizlaze male vrijednosti relativnog pada toka Slapnice. Uzevši u obzir ukupnu duljinu i apsolutni pad Slapnice, brojnost pritoka i litologiju može se zaključiti kako je Slapnica usjekla najveću i najdublju fluviokršku dolinu na području istraživanja.

**Tab. 10.** Hidrološka obilježja porječja na području istraživanja

PORJEČJE	POVRŠINA PORJEČJA (km <sup>2</sup> )	DULJINA PORJEČJA (km)	UKUPNA DULJINA TOKOVA (km)	GUSTOĆA TOKOVA (km/km <sup>2</sup> )	DULJINA GLAVNOG TOKA (km)	VISINA IZVORA (m)	VISINA UŠĆA (m)	APSOLUTNI PAD (m)	RELATIVNI PAD (m/km)
Slapnica	42,11	11,99	58,86	1,39	12,63	761,67	169,07	592,6	46,92
Puškarov jarak	10,43	5,33	24,86	2,38	5,84	644,66	209,28	435,38	74,53
Stiska	6,84	5,16	15,85	2,32	5,31	701,38	242,37	459,01	86,47
Žumberačka rijeka	15,99	4,87	23,57	1,47	6,63	607,38	272,32	335,06	50,52
UKUPNO	75,37	-	123,14	-	30,41	-	-	-	-

Orografske značajke pojedinih porječja prikazane su karakterističnim poprečnim profilima (sl. 18). Poprečni profil porječja Slapnice izrađen je na otprilike polovici glavnog toka dok su za ostala porječja profili izrađeni na najširim dijelovima porječja. Razlog tome je taj što na najširem dijelu porječja Slapnice prevladava krški reljef bez površinskih vodenih tokova. Poprečni profil Slapnice potvrđuje kako je dolina Slapnice najdublje usječena fluviokrška dolina V oblika čija dubina od najviše točke do talvega iznosi 182 m. Porječje Slapnice na polovici toka ima simetrične orografske značajke s porastom visine grebena prema istoku. Slične orografske karakteristike ima dolina Puškarovog jarka čija dubina od najviše točke do talvega iznosi 133 m. Dolina Stiske ima karakteristike široke doline V oblika bez izrazito strmih dolinskih strana. Može se zaključiti da, iako Stiska ima najveći relativni pad, zbog relativno male snage vodenog toka, Stiska nije usjekla duboku dolinu u matičnu podlogu. Dolina Stiske pokazuje izrazitu asimetriju lijeve i desne dolinske strane što se može objasniti rasjednom tektonikom ispod vrha Glavice. Dolina Žumberačke rijeke je također široka dolina V oblika simetričnih dolinskih strana čija dubina od najviše točke do talvega iznosi 145 m. Karakteristika južnog dijela porječja Žumberačke rijeke je to što se nalazi na slabije propusnim krednim naslagama što smanjuje utjecaj erozije na matičnu stijenu.



**Sl. 18.** Porječja na području istraživanja s karakterističnim poprečnim profilima



## 5.5. Krajobrazna obilježja

### 5.5.1. Pedološka obilježja

Pedološka obilježja, odnosno sastav tla neizostavna je komponenta georaznolikosti. Zaštita tla važan je čimbenik konzervacije cjelokupne georaznolikosti. U posljednje vrijeme problem zaštite tla dobiva sve veću važnost. Glavne prijetnje pedosferi predstavljaju intenzifikacija poljoprivrede, industrija te povećanje broja stanovnika. Uz to, aktualan je problem ranjivosti tla vezan uz degradacijske procese erozije, zbijenosti, zakiseljavanja i na kemijske polutante. Na području Žumberačkog gorja, tla su najviše izložena eroziji vodom na nagnutim terenima (Bogunović i dr., 1997). Tlo na dolomitima Žumberačkog gorja rezultat je složene interakcije specifičnih pedogenetskih čimbenika koji utječu na razvoj i karakteristike tla u ovom području.

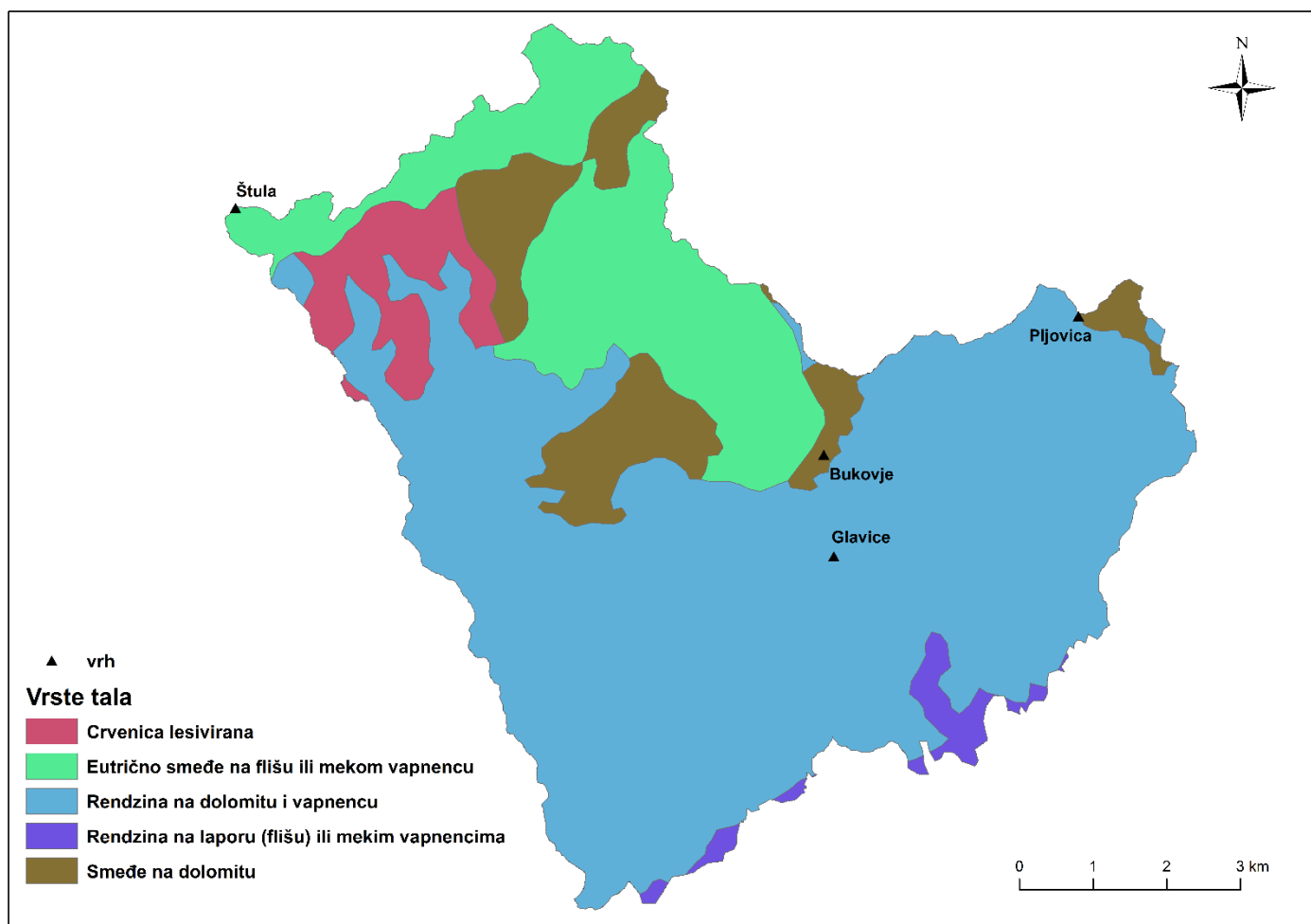
Na području istraživanja izdvojeno je pet osnovnih vrsta tala (sl. 19). Najzastupljenija je rendzina na dolomitu i vapnencu s udjelom od 65,5%. Rendzine na dolomitima Žumberačkog gorja, s finijim oštroidnim skeletom dolomitnog šljunka, omogućuju učinkovito procjeđivanje vode prema matičnoj stijeni, smanjujući protok površinske vode i mogućnost vodne erozije (Mayer i Vrbek, 1995). Ove karakteristike tla doprinose stabilnosti tla i podržavaju specifične biljne zajednice, dok istovremeno predstavljaju izazove i prilike za korištenje zemljišta, posebno u poljoprivredne svrhe.

Druga vrsta tla, prema zastupljenosti (18,6%), jest eutrično smeđe tlo na flišu ili vapnencu. Ova vrsta tla uglavnom se nalazi na jurskim i krednim naslagama u sjevernom i središnjem dijelu istraživanog područja (sl. 19). Smeđe tlo na dolomitu s udjelom od 9,4% treće je po zastupljenosti. Smeđa tla karakterizirana su specifičnim teksturnim sastavom, gdje prevladavaju lake i teške gline. Ovisno o položaju u reljefu i ekspoziciji padine, ova tla mogu zadržavati znatne količine vlage, što im omogućava postizanje srednje produktivnosti za šumsko drveće (Mayer i Vrbek, 1995).

Lesivirana crvenica nalazi se u sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja i zauzima 4,8% (sl. 19). Crvenica na Žumberku se uglavnom nalazi na blago zaobljenim vrhovima brežuljaka i na zaravnima. Po svojim fiziografskim i proizvodnim svojstvima u velikoj je mjeri analogna lesu zbog čega se i naziva lesivirana crvenica (Mayer i Vrbek, 1995). Najmanji udio od 1,7% zauzima

rendzina na laporu (flišu) ili vapnencima. Pojavljuje se kao rubni pojas na jugu područja istraživanja te oko južnog toka Stiske (sl. 19).

Prema Vidaček i Husnjak (2023), s obzirom na način vlaženja tla površinskom i/ili podzemnom vodom, tla na području istraživanja spadaju pod ekscesivno i dobro drenirana automorfna tla što znači da su vlažena vrlo brzo procjednom oborinskom vodom. Ovakav mehanizam procjeđivanja dodatno pospješuje proces okršavanja stijena te na taj način utječe na georaznolikost.



**Sl. 19.** Pedološka karta istraživanog područja

**Izvor:** Digitalna pedološka karta Hrvatske (2024)

### 5.5.2. Obilježja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

U moderno doba socijalna sfera krajobraza dolazi do sve većeg izražaja. Čovjek svojim djelatnostima intenzivno mijenja prirodni krajobraz i prilagođava ga svojim potrebama. Antropogeni krajobrazi u sve većoj mjeri zamjenjuju prirodne krajobraze te tako, uz biološku i krajobraznu raznolikost, narušavaju i georaznolikost.

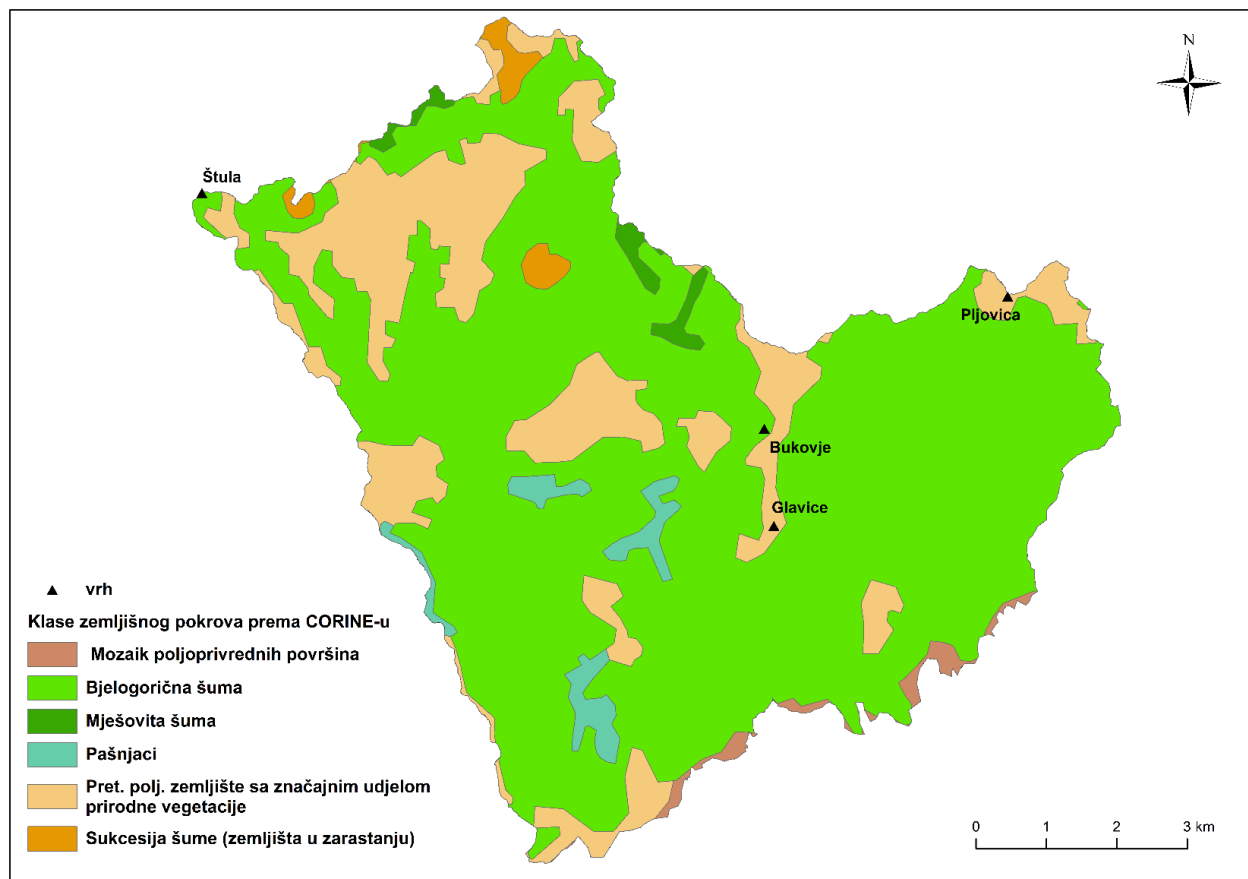
Područje Žumberačkog gorja karakterizira duga povijest naseljenosti što znači da su ljudi u prošlosti mijenjali izgled krajobraza. Krajobraz je odraz društva i kultura koje su ga nastanjivala, a na području Žumberačkog gorja izmjenjivalo se njih nekoliko. Žumberačko gorje bilo je u potpunosti naseljena autohtonim Hrvatima do sredine 16. st. koji su uglavnom oblikovali agrarni krajobraz na nižim nadmorskim visinama. U drugoj polovici 16. st. dolaze novi stanovnici (Uskoci, Vlasi, Rašani i dr.) koji su naselili viša, manje povoljnija područja. Do kraja 19. st. Žumberačko gorje je predstavljalo granicu Vojne Krajine, a na pojedinim područjima se i danas očituje vojno obrambena uloga kroz povijest. Godine 1890. Žumberačko gorje je imalo najveću gustoću stanovništva koja se od tada postupno smanjuje (Crkvenčić, 2002). Potpuni demografski slom zbio se u drugoj polovici 20. st. te su od tada dominantni procesi deagrarizacije i deruralizacije izazvani depopulacijom Žumberačkog gorja (Turk i dr., 2016). Dodatni razlog male gustoće naseljenosti je manjak plodnog tla, problem vodoopskrbe te prometna izoliranost.

Depopulacijski procesi vidljivi su i na području istraživanja u kojem uglavnom prevladavaju prirodni krajobrazi. Prema CORINE-u, na području istraživanja izdvojeno je šest klasa zemljišnog pokrova. Najveći dio, s udjelom od 75,8%, zauzimaju bjelogorične šume koje su prisutne na cijelom području istraživanja (sl. 20). Šume predstavljaju najvažnije prirodno bogatstvo Žumberačkog gorja, a deforestacijom se mijenjao izgled krajobraza kroz povijest.

Druga klasa po zastupljenosti (19%) su pretežito poljoprivredna zemljišta sa značajnim udjelom prirodne vegetacije. Ovo su nekadašnja poljoprivredna zemljišta koja, zbog deagrarizacije i deruralizacije, sukcesijom vegetacije postupno oprirodnjavaju, iako su u njima i dalje vidljivi relikti kulturnih krajobraza (napušteni objekti, agrarne terase i sl.). Ova klasa zemljišnog pokrova prisutna je u obliku nekoliko "otoka" na cijelom području istraživanja (sl. 20).

Pašnjaci predstavljaju treću klasu po zastupljenosti s udjelom od 2,2%. Uglavnom su lokalizirani na graničnim visoravnima porječja Slapnice i Puškarovog jarka te na visoravni iznad doline Dubokog potoka u dolini Slapnice (sl. 20).

Posljednje tri klase zemljišnog pokrova zajedno zauzimaju svega 3% područja istraživanja. Sukcesija šume prevladava na krajnjem sjeveru i sjeverozapadu područja istraživanja te oko okršene visoravni Kremenjak u blizini naselja Višći Vrh (sl. 20). Mješovita šuma prevladava na višim područjima na sjeveru doline Slapnice te na sjevernoj granici porječja Slapnice i Puškarovog jarka (sl. 20). Mozaik poljoprivrednih površina proteže se kao uski pojas na jugu i jugoistoku područja istraživanja gdje u kontakt dolaze prirodni i antropogeni krajobraz (sl. 20). Zbog dominacije bjelogoričnih šuma i prirodne sukcesije, može se zaključiti kako je područje istraživanja većinom prirodni krajobraz s potencijalno očuvanim vrijednim elementima georaznolikosti.



**Sl. 20.** Klase zemljišnog pokrova prema CORINE-u 2018. na području istraživanja

**Izvor:** Copernicus EU (2023)

### 5.5.3. Kategorije zaštite

Prema članku 6. Zakona o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18), „zaštita prirode provodi se očuvanjem bioraznolikosti, krajobrazne raznolikosti i georaznolikosti te zaštitom dijelova prirode“. Na području istraživanja postoje područja koja su zaštićena uglavnom na temelju biološke komponente dok je georaznolikost djelomično ili potpuno zanemarena. Na istraživanom području izdvajaju se tri kategorije zaštićenih područja (sl. 21).

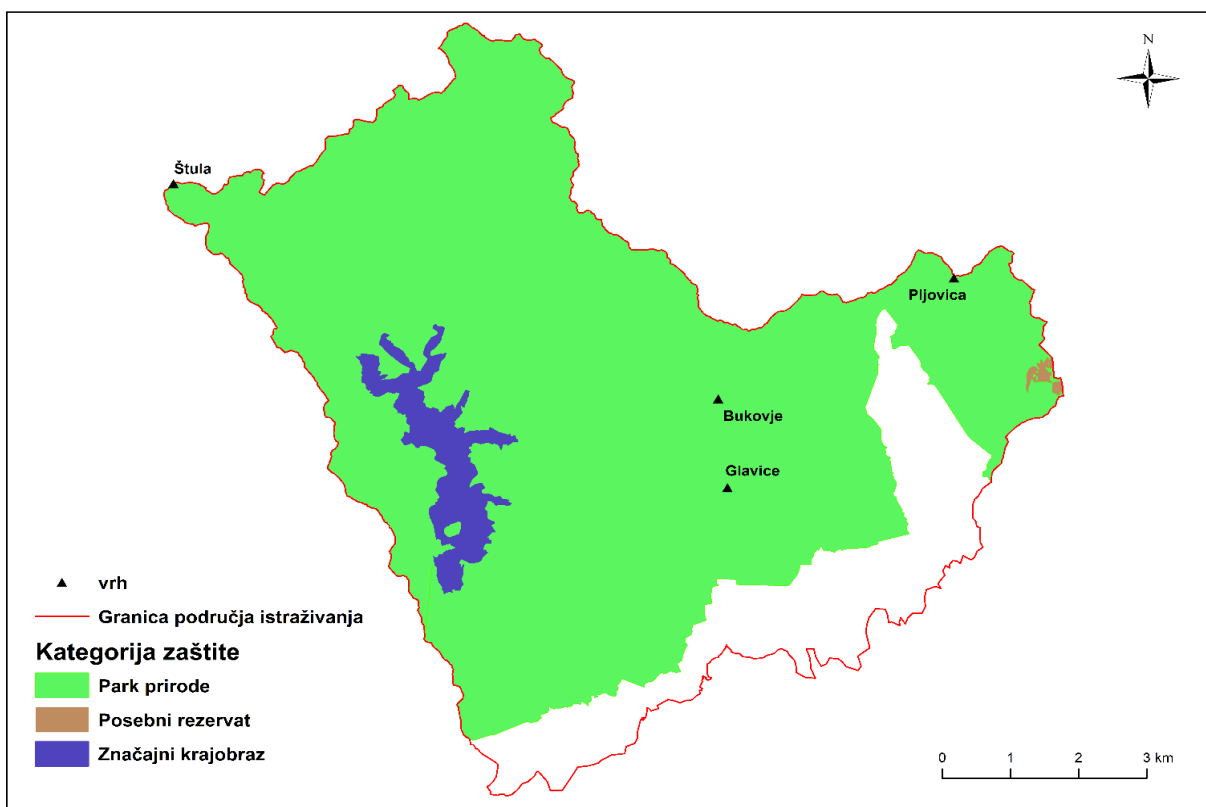
Najveći dio područja istraživanja (81,8%) dio je parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje (sl. 21.). Područje Žumberačkog i Samoborskog gorja jedno je od najvrjednijih prirodnih i kulturnih predjela kontinentalnog dijela Hrvatske, koje se odlikuje izuzetnom biološkom, krajobraznom i georaznolikošću. Ovo područje karakterizira jedinstvena mješavina prirodnih šuma te prostranih travnjaka koji se mozaično izmjenjuju s kultiviranim krajolikom. Park je proglašen 1999.g. na temelju brojnih rijetkih i zaštićenih vrsta flore i faune. Također se odlikuje i raznolikošću osjetljivih i ugroženih staništa kao što su gorske livade, vlažni travnjaci, cretovi, lokve, krške spilje i dr. (PP Žumberak-Samoborsko gorje, 2017). Šoštarić i dr. (2013), posebno naglašavaju ugroženost bazofilnog ravnog creta uz dio potoka Jarak pokraj Sošica.

U pogledu georaznolikosti, u parku prirode najviše se ističu speleološki objekti. Na području parka istraženo je više od 150 speleoloških objekata. Najveće su spilje Provala (duljina 2162 m, dubina 57 m; Barišić, 2021), Dolača (duljina 1261 m, dubina 155 m; Tomašković, 2012) i Bedara (duljina 1593 m, dubina 155 m; Barišić, 2021). Iako su svi speleološki objekti Zakonom o zaštiti prirode striktno zaštićeni, lokalno stanovništvo ih često koristi kao mjesta za ilegalno odlaganje otpada čime direktno zagađuju osjetljive podzemne ekosustave i podzemnu vodu budući da krški reljef prekriva oko 90% površine parka (PP Žumberak-Samoborsko gorje, 2017). Potrebna je dodatna edukacija turista i lokalnog stanovništva kako bi ih se upoznao s osjetljivošću i vrijednostima krških pojava na području Žumberačkog gorja.

Unutar parka prirode nalaze se područja koja već imaju status posebno zaštićenih područja. Na području Japetića, na krajnjem istoku područja istraživanja (sl. 21), 1975.g. proglašen je posebni rezervat šumske vegetacije. Japetić je s visinom od 879 m najviši vrh Samoborskog gorja koje je dolinom Žumberačke rijeke odvojeno od ostatke Žumberačkog gorja. Japetić je proglašen posebnim rezervatom na temelju stare bukove šume koja predstavlja jedinstvenu i reprezentativnu

prirodnu vrijednost. Na grebenima i padinama Japetića nalaze se travnjaci s brojnim zaštićenim i ugroženim biljnim vrstama (PP Žumberak-Samoborsko gorje, 2017). Vidljiva je dominacija biološke komponente glede zaštite iako Japetić ima svojih posebnosti u geološkom pogledu. Japetić je izdvojen kao zasebna strukturna jedinica Žumberačko-medvedničke navlake. Predstavlja alohtonu masu navlake Žumberačkog gorja koja je prema jugoistoku prekrivena naslagama neogenske starosti (Buzjak, 2006). Na primjeru Japetića reprezentativno se može objasniti geološka povijest Žumberačkog gorja.

Značajni krajobraz kanjon rijeke Slapnice nalazi se na zapadu i zauzima 3,5% područja istraživanja (sl. 21). Ovo je jedino područje koje je status zaštite dobilo dominantno na temelju georaznolikosti. Temelji georaznolikosti Slapnice su aktivan proces stvaranje sedre te vodopadi i slapovi zbog kojih je rijeka i dobila ime. Dodatni elementi georaznolikosti Slapnice bit će objašnjeni dalje u radu.



**Sl. 21.** Postojeće kategorije zaštite na području istraživanja

**Izvor:** Bioportal (2024)

## 5.6. Izdvajanje najreprezentativnijeg porječja

Zbog relativno sličnih litoloških i orografskih karakteristika četiriju porječja, provedena je detaljna analiza krških elemenata pojedinih porječja kako bi se izdvojilo najreprezentativnije. Temeljna pretpostavka je da se na području krškog i fluviokrškog reljefa, zbog njegovih specifičnih karakteristika, pojavljuju reprezentativni geomorfološki oblici koji mogu poslužiti u edukaciji o formiranju čitavog područja. Porječje s najvećim brojem krških i fluviokrških elemenata poslužilo bi za detaljnu geomorfološku analizu i geokološko vrednovanje u istraživačke i obrazovne svrhe. Kao takvo, najreprezentativnije porječje poslužilo bi za ogledni primjer fluviokrškog reljefa na području Žumberačkog gorja.

Analiza se temelji na izdvajanju temeljnih ekovrijednosti krških i fluviokrških prostora. U ovome slučaju temeljne ekovrijednosti su karakteristični krški i fluviokrški oblici kao što su hidrogeološki elementi (izvori i ponori), dolinska mreža, ponikve i speleološki objekti te rasjedi koji su bitni jer uvelike determiniraju svojstva georaznolikosti (tab. 11).

Navedeni elementi izdvojeni su kao temeljne ekovrijednosti jer izvori i ponori predstavljaju točke na kojima voda koncentrirano izlazi, odnosno ulazi u krški sustav te na taj način ukazuju na raznolikost litologije, a rasjedi u krškom i fluviokrškom morfogenetskom tipu reljefa korespondiraju s većom koncentracijom geomorfoloških oblika (Butorac i Cvitković, 2020).

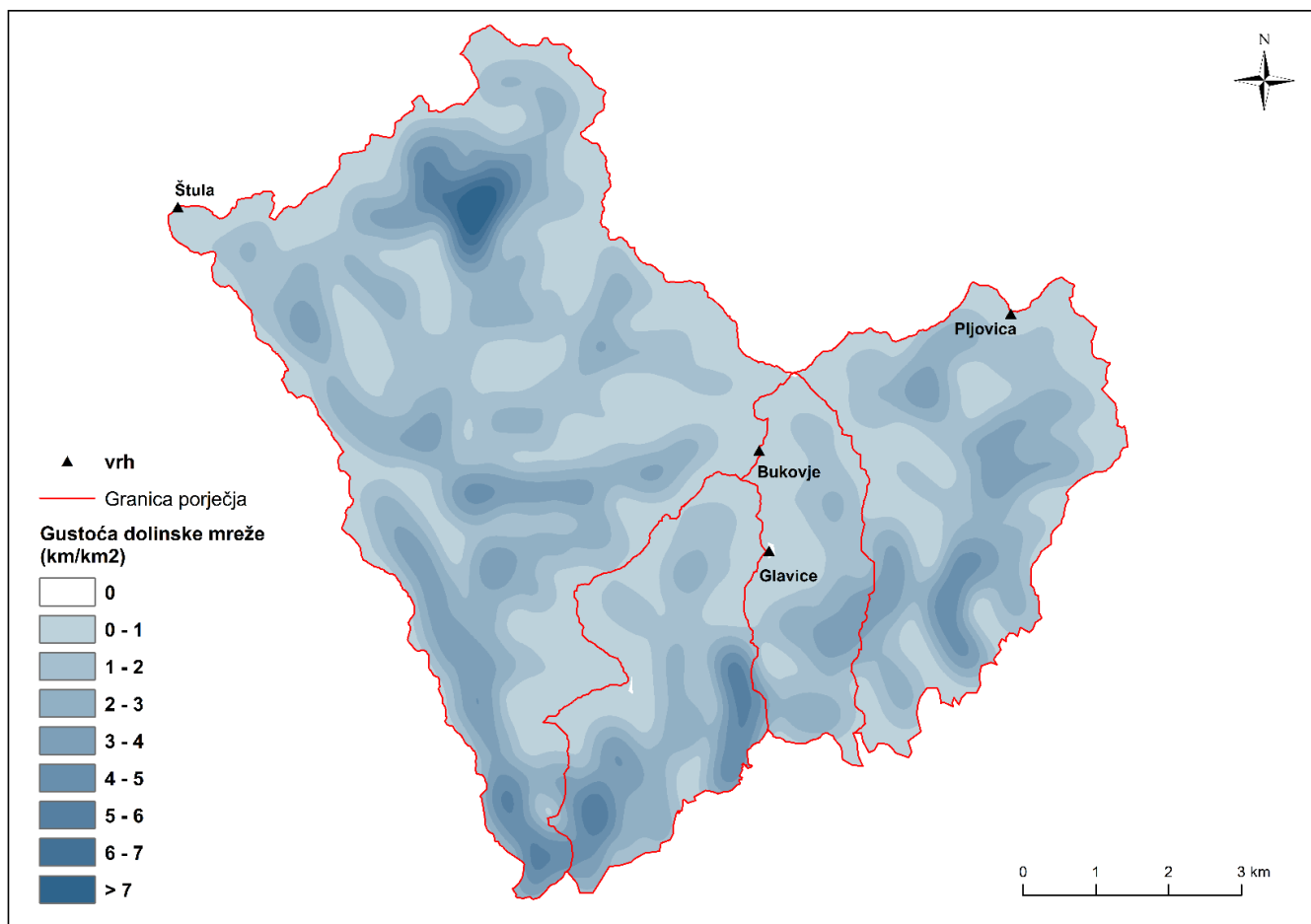
Prema Ford i Williams (2007), ponikve se smatraju dijagnostičkim krškim reljefnim oblikom jer se krš uvijek razvija na području gdje se nalaze ponikve. Nadalje, većina dolina i kanjona koji prolaze kroz vapnenačka područja predstavljaju fluviokrške oblike reljefa poligenetskog postanka. Njihov današnji oblik i karakteristike posljedica su brojnih faza morfoloških i klimatskih promjena tijekom kvartara što uključuje promjene u količini padalina, temperaturi, vegetaciji i drugim klimatskim faktorima koji su oblikovali reljef i dinamiku vodotoka. Špiljski sustavi predstavljaju funkcionalni ekvivalent riječnoj mreži u fluvijalnom morfogenetskom tipu reljefa te se, radi brojnih načina njihovog formiranja, ubrajaju u najsloženije od svih reljefnih oblika zbog čega se uvrštavaju pod jedinstvenu svjetsku geobaštinu.

### 5.6.1. Dolinska mreža

Čitavo područje istraživanja prekriveno je različitim oblicima fluviokrških dolina koje doprinose georaznolikosti područja. Analizom dolinske mreže (tab. 11, sl. 22) utvrđeno je kako najveću ukupnu duljinu dolinske mreže (80,7 km) ima porječje Slapnice dok najveću srednju gustoću dolinske mreže, koja iznosi 1,91 km doline na svaki km<sup>2</sup> porječja, ima Puškarov jarak. Porječje Stiske ima najmanju ukupnu duljinu (12,34 km) te najmanju srednju gustoću dolinske mreže (1,34 km/km<sup>2</sup>).

U analizu dolinske mreže uključene su doline s aktivnim tokom, ali i suhe doline bez aktivnog toka kao i reliktnne doline u kojima je nekada postojao aktivni vodotok. Područje najveće koncentracije dolinske mreže, s više od 7 km doline na km<sup>2</sup>, nalazi se na sjeveru porječja Slapnice (sl. 22.). To je područje slijepih dolina na rubu velikoga krškog polja jugoistočno od sjevernog graničnog grebena porječja Slapnice te reliktnih dolina bez aktivnog vodotoka južno i istočno od krškog polja. Područje najveće koncentracije dolinske mreže je prostor kontaktnog fluviokrša na kojem su najznačajniji geomorfološki reljefni oblici ponori važni za hidrologiju krša. Reliktne doline važne su za razumijevanje evolucije terena te kao takve predstavljaju geomorfološki oblik s većim istraživačkim i edukativnim značajem. Može se zaključiti kako aktivne doline porječja Slapnice, kao i one bez vodotoka, uvelike utječu na georaznolikost čitavog područja.





Sl.22. Gustoća dolinske mreže na području istraživanja

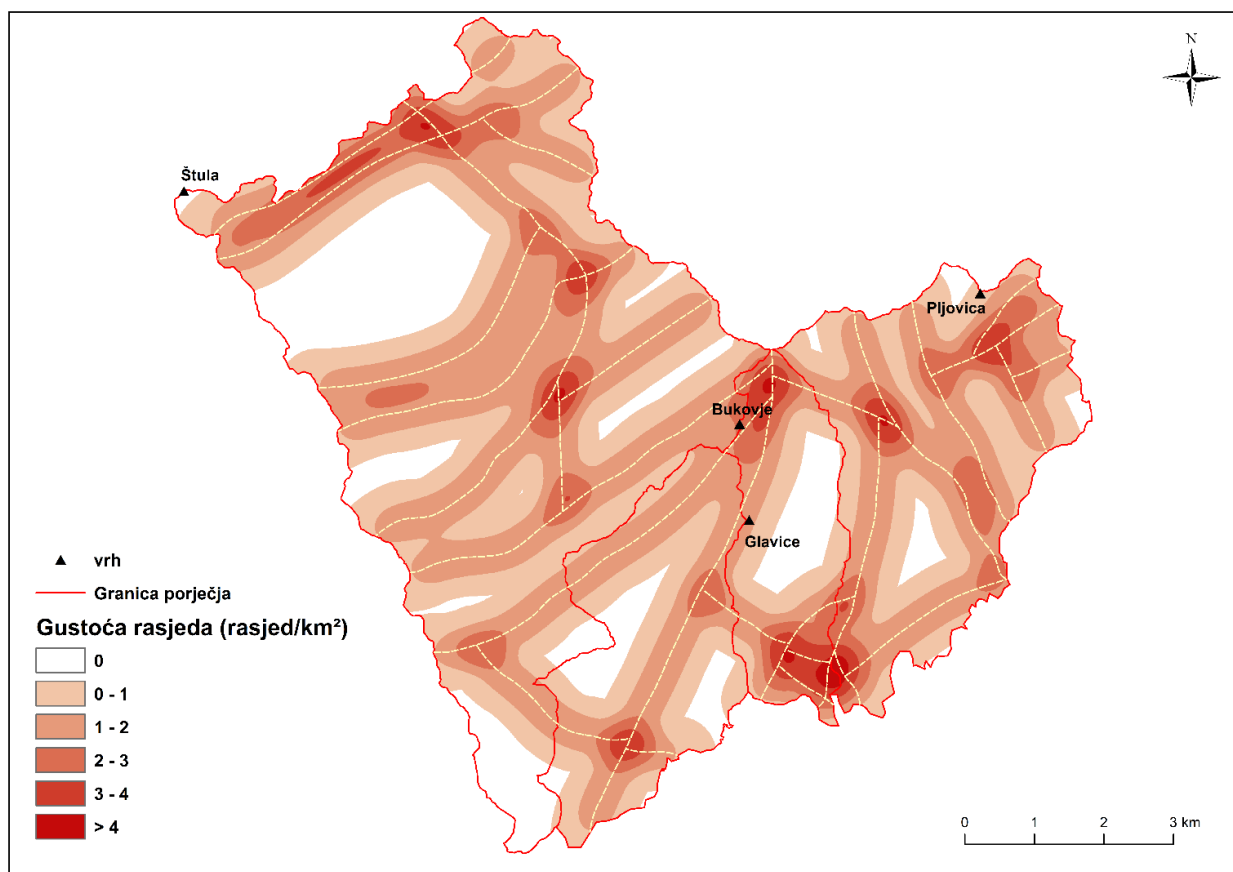
### 5.6.2. Rasjedi

Jedan od temeljnih uvjeta za nastanak krša jest pukotinska poroznost stijena (Ford i Williams, 2007). Zbog toga su krški i fluviokrški reljefni oblici i gustoća rasjeda u korelacijskoj vezi. U pravilu veća gustoća rasjeda korespondira s većim brojem reljefnih oblika.

Analizom broja, razmještaja i gustoće rasjeda (tab. 11, sl. 23) utvrđeno je kako se na području porječja Slapnice i Žumberačke rijeke nalazi po 12 rasjeda dok Žumberačka rijeka ima najveću srednju gustoću rasjeda koja iznosi 1,36 rasjeda na km<sup>2</sup>. Najmanji broj rasjeda nalazi se na području porječja Puškarovog jarka koji ujedno ima i najmanju srednju gustoću rasjeda. Kako

bi se dobila točnija slika na graničnim dijelovima područja istraživanja, u analizu gustoće rasjeda uključeni su i rasjedi koji se nalaze izvan granica područja istraživanja.

Na području istraživanja primjetne su tri lokacije s najvećom gustoćom rasjeda (sl. 23). Najveća prostorna gustoća rasjeda nalazi se na jugu porječja Stiske, na granici s porječjem Žumberačke rijeke gdje se nalazi više od 4 rasjeda na  $\text{km}^2$ . Druga lokacija velike koncentracije rasjeda nalazi se na sjeveru porječja Stiske, na granici s porječjem Slapnice, a treća lokacija najveće prostorne gustoće rasjeda nalazi se na sjeveru porječja Slapnice. Treba uzeti u obzir da su brojni rasjedi posljedica vrlo stare tektonske aktivnosti te su mnogi reljefni oblici, koji su njima bili predisponirani, vremenom denudirani ili su danas slabo vidljivi u reljefu. Najveći utjecaj na georaznolikost imaju rasjedi koji imaju direktan odraz u današnjem izgledu reljefa. S time u vezi, primjetno je kako se u blizini velike gustoće rasjeda na jugu porječja Stiske i na sjeveru porječja Slapnice nalazi i najveća gustoća dolinske mreže te se može zaključiti kako su brojne doline na području istraživanja tektonski predisponirane.

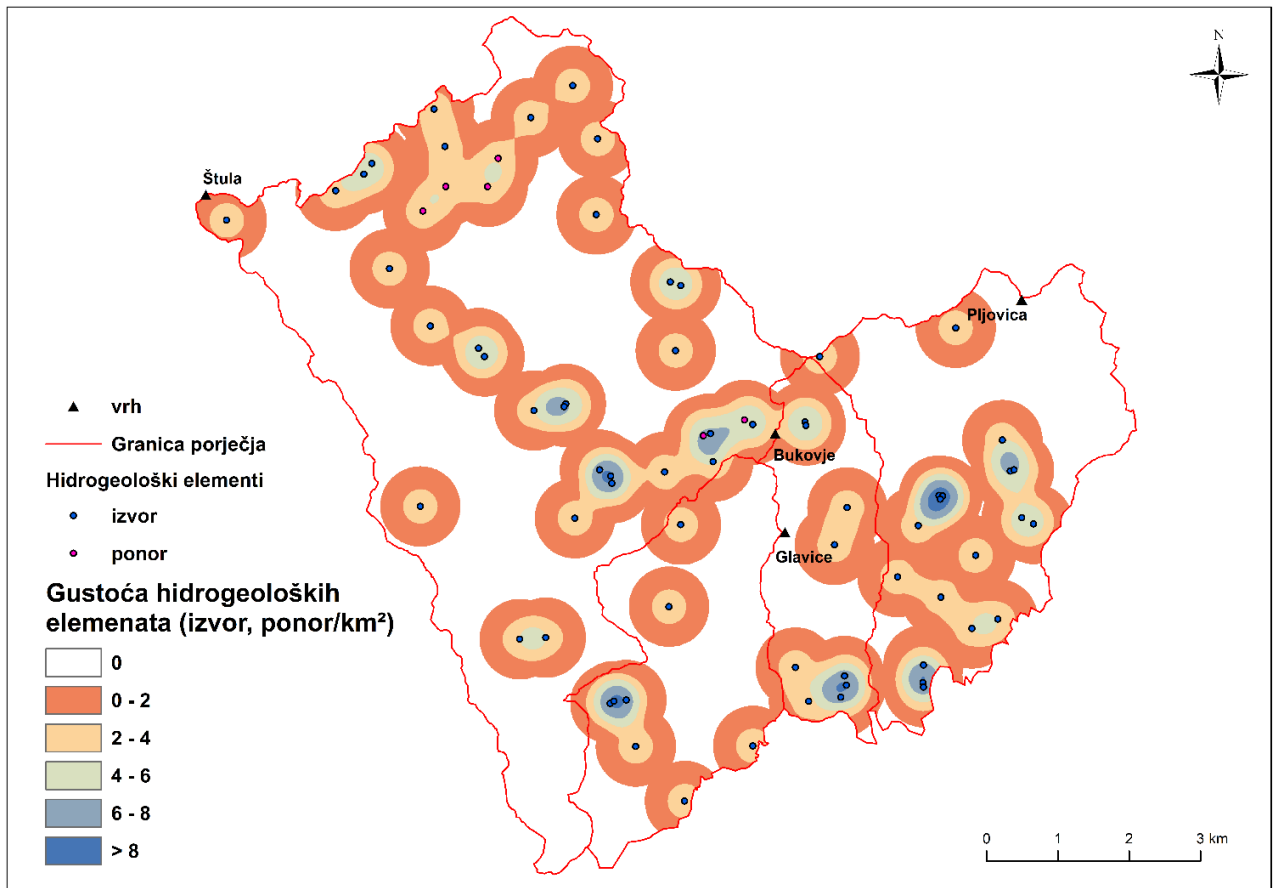


Sl. 23. Prostorna gustoća rasjeda na području istraživanja

### 5.6.3. Hidrogeološki elementi georaznolikosti

Izvori i ponori pojavljuju se na kontaktima propusnih, slabije propusnih i nepropusnih naslaga ponajviše na prostoru kontaktnog fluviokrša. Propusnost stijene, između ostalog, ovisi i o njezinoj poroznosti iz čega proizlazi korelacijska veza između broja hidrogeoloških elemenata i gustoće rasjeda.

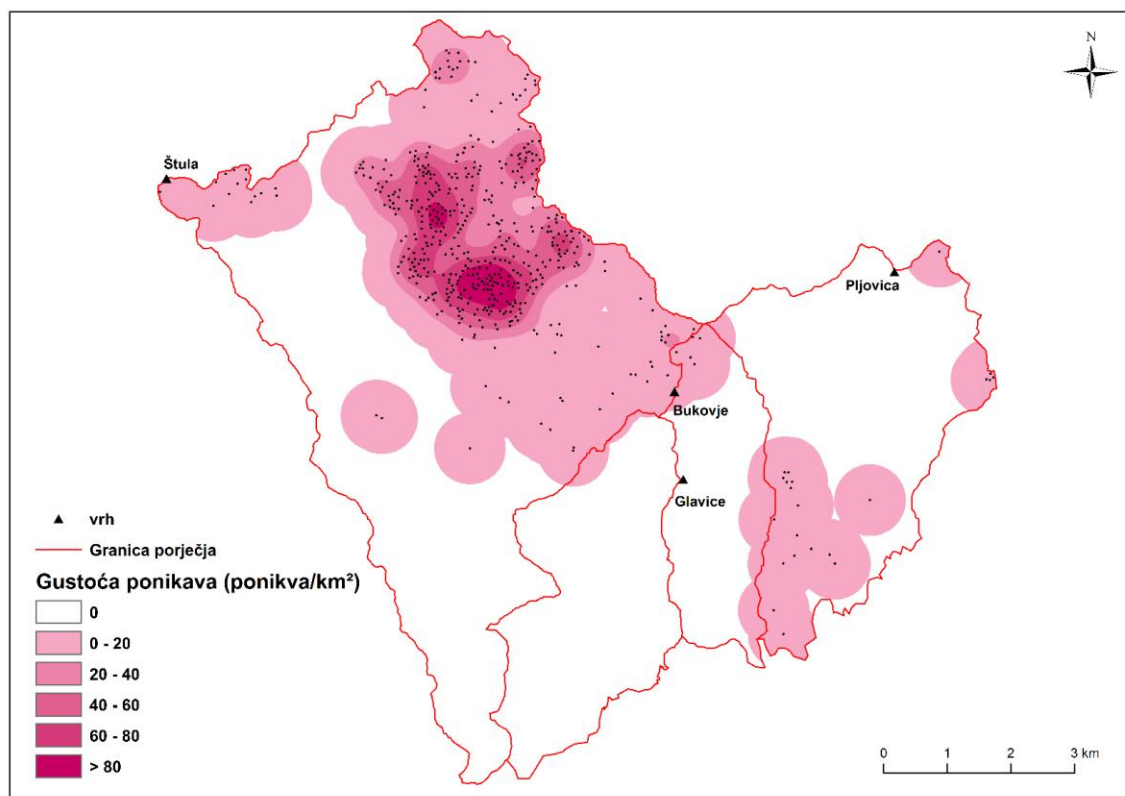
Na području istraživanja kartirana su 73 hidrogeološka oblika, od čega su 67 izvori, a njih 6 su ponori (tab. 11, sl. 24). Svi ponori i gotovo polovica svih izvora nalazi se u porječju Slapnice, a najmanji broj izvora, njih 8, nalazi se u porječju Puškarovog jarka. Najveću srednju gustoću hidrogeoloških elemenata (1,31) ima porječje Stiske što je u direktnoj korelaciji s dvije lokacije najveće prostorne gustoće rasjeda na jugu i sjeveru porječja Stiske. Analizom gustoće hidrogeoloških elemenata (sl. 24) potvrđeno je kako se gotovo na cijelom području istraživanja prostori najveće gustoće izvora i ponora poklapaju s prostorima najveće gustoće rasjeda i s njima povezanih pukotinskih sustava.



Sl. 24. Prostorna gustoća hidrogeoloških elemenata na području istraživanja

#### 5.6.4. Ponikve

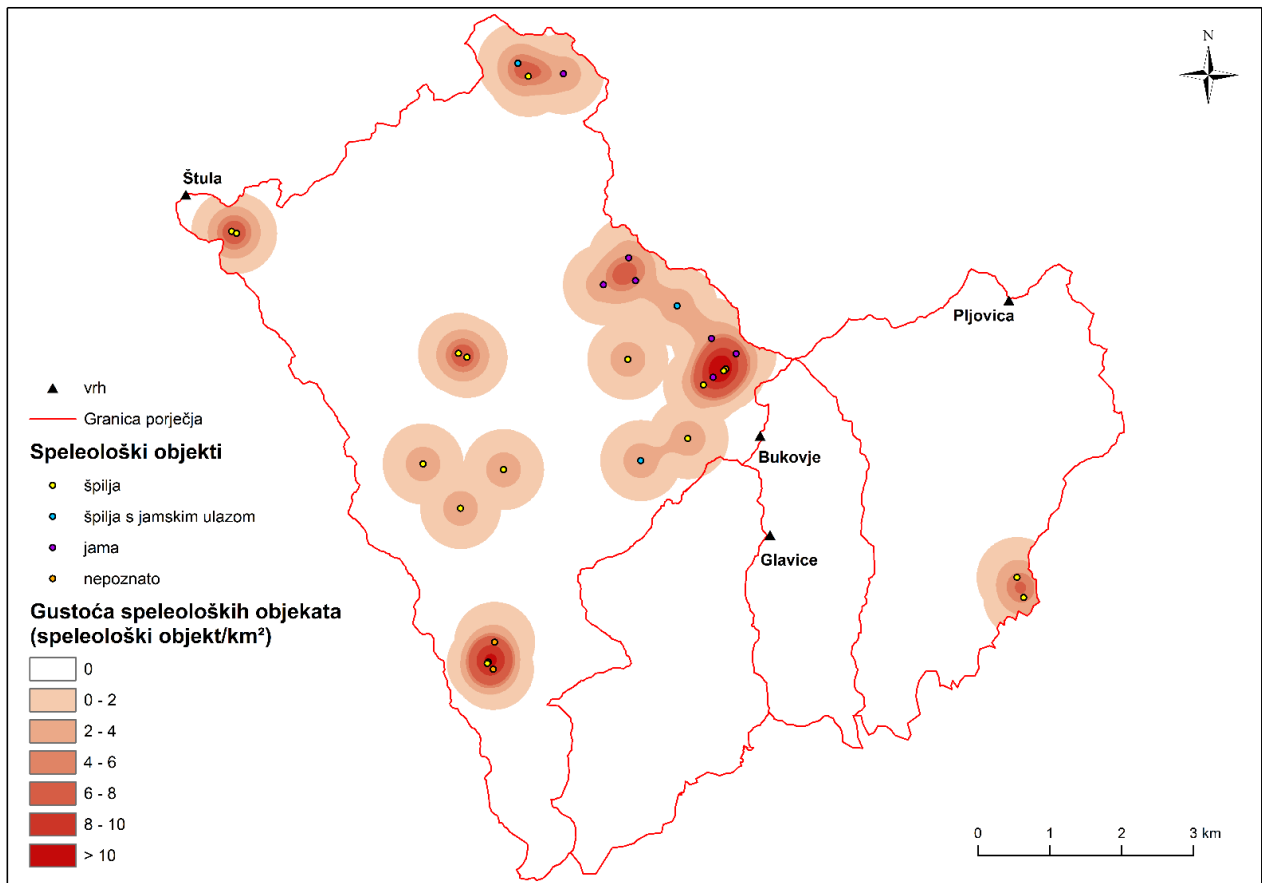
Budući da su ponikve dijagnostički krški reljefni oblici, njihova prostorna gustoća od izuzetne je važnosti za određivanje geomorfološki najzanimljivijih krških područja. Na području istraživanja kartirane su 532 ponikve, a gotovo 95% svih ponikava je u porječju Slapnice. Najmanje ponikava, njih 5, je u porječju Stiske, 22 ponikve su u porječju Žumberačke rijeke dok u porječju Puškarovog jarka nije zabilježena niti jedna ponikva (tab. 11., sl. 25). Analizom ponikava u porječju Slapnice utvrđena je gustoća koja iznosi 12 ponikava/km<sup>2</sup>. Većina ponikava koncentrirana je na sjeveroistoku porječja Slapnice, a mjestimice ih se može pronaći i više od 80 na kvadratnom kilometru. Vidljivo je kako je porječje Slapnice najokršenije porječje na području istraživanja. Vapnenačka podloga je najpodložnija okršavanju zbog čega se na prostoru jurskih vapnenaca razvio najveći broj ponikava. Gustoća ponikava u izravnoj je korelaciji s nagibom padina i energijom reljefa. Manji nagibi padina pogoduju nastanku ponikava te je vidljivo kako se prostori najveće gustoće ponikava poklapaju sa zonama malih nagiba padina i vertikalne raščlanjenosti reljefa.



Sl. 25. Prostorna gustoća ponikava na području istraživanja

### 5.6.5. Speleološki objekti

Speleološki objekti su podzemni krški reljefni oblici koji, zbog svoje složenosti i osjetljivosti, predstavljaju jedan od najznačajnijih elemenata georaznolikosti. Na području istraživanja ukupno se nalazi 29 speleoloških objekata, od čega ih se 27 nalazi u porječju Slapnice, 2 u porječju Žumberačke rijeke dok u porječjima Puškarovog jarka i Stiske nije zabilježen niti jedan speleološki objekt zbog prisutnosti slabije propusnih naslaga (tab. 11., sl. 26). Analizom prostorne gustoće speleoloških objekata (sl. 26) ustanovljeno je kako se izdvajaju dvije lokacije najveće gustoće u južnom i istočnom dijelu porječja Slapnice. Istočni dio porječja Slapnice nalazi se u blizini područja najveće prostorne gustoće rasjeda te se može zaključiti kako je rasjedna tektonika, pored ostalih bitnih čimbenika, utjecala na veliku gustoću speleoloških objekata. Što se tiče vrste speleoloških objekata, dominiraju špilje (15), zatim jame (7), a najmanje je špilja s jamskim ulazom (3).



Sl. 26. Prostorna gustoća speleoloških objekata na području istraživanja

Na temelju analize relevantnih krških i fluviokrških reljefnih oblika, ali i hidroloških i morfoloških značajki, ustanovljeno je kako je porječje Slapnice najreprezentativnije i geomorfološki najraznolikije porječje na području istraživanja. Porječje Slapnice je najveće porječje na području istraživanja s najvećom duljinom aktivnih tokova. Glavni tok Slapnice ima najveći apsolutni pad, a samim time i hidraulički gradijent zbog čega je Slapnica usjekla najdublju fluviokršku dolinu na području istraživanja. Na prostoru porječja Slapnice nalazi se najdulja dolinska mreža, najveći broj rasjeda te najveći broj ponikava i speleoloških objekata. Zbog svega navedenog, porječje Slapnice je porječje najveće georaznolikosti na kojem će biti provedena detaljna geomorfološka analiza i geokološko vrednovanje.

**Tab. 11.** Analiza dolinske mreže, rasjeda, hidrogeoloških elemenata, ponikva i speleoloških objekata porječja Slapnice, Puškarovog jarka, Stiske i Žumberačke rijeke

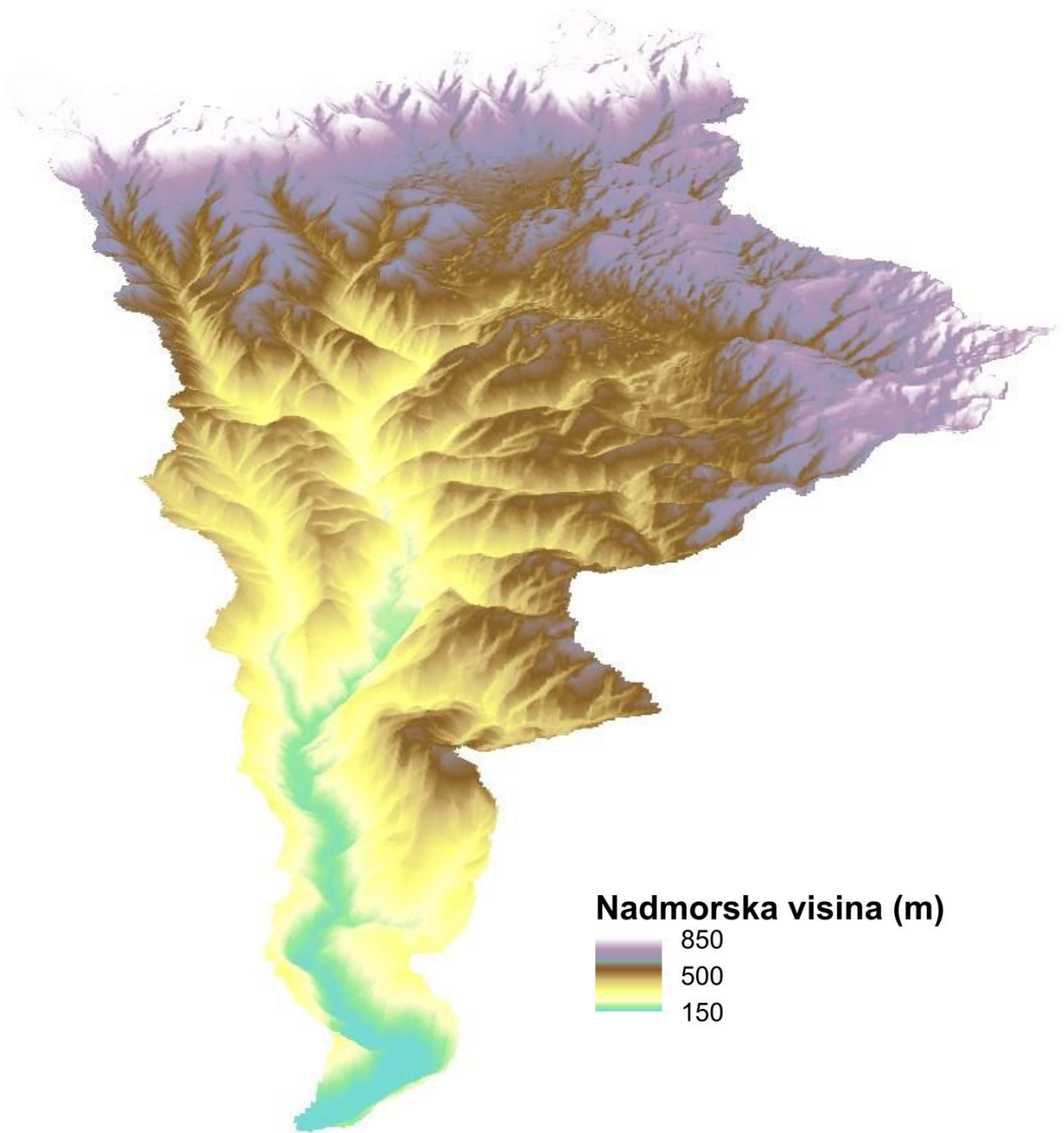
PORJEČJA		SLAPNICA	PUŠKAROV JARAK	STISKA	ŽUMBERAČKA RIJEKA	UKUPNO	
POVRŠINA (KM <sup>2</sup> )		42,11	10,43	6,84	15,99	75,37	
DOLINSKA MREŽA	ukupna duljina (km)	80,7	19,32	12,34	29,02	141,38	
	srednja gustoća (km/km <sup>2</sup> )	1,72	1,91	1,34	1,63	-	
RASJEDI	broj rasjeda	12	5	9	12	38	
	srednja gustoća rasjeda po km <sup>2</sup>	1,03	0,97	1,35	1,36	-	
HIDROGEOLOŠKI ELEMENTI	broj elemenata	izvor	31	8	9	19	67
		ponor	6	0	0	0	6
	srednja gustoća elemenata po km <sup>2</sup>	0,84	0,71	1,31	1,08	-	
PONIKVE	broj ponikava	505	0	5	22	532	
	srednja gustoća ponikava po km <sup>2</sup>	11,52	0	0,84	1,15	-	
SPELEOLOŠKI OBJEKTI	broj speleoloških objekata	27	0	0	2	29	
	srednja gustoća po km <sup>2</sup>	0,65	0	0	0,01	-	

## 5.7. Analiza georazolikosti porječja Slapnice

Najznačajnija geomorfološka struktura porječja Slapnice je dolina glavnog toka koja se smatra primarnom morfostrukturom. Slapnica je tekućica bujičnog karaktera čiji je vodotok usječen u vlastito korito tvoreći kompozitnu fluviokršku dolinu. Prema morfologiji, dolina Slapnice pretežito je kompozitna dolina V oblika s izmjenama kanjonskog tipa i dolinskih proširenja (sl. 27).

Dolina je predisponirana rasjednom tektonikom te je oblikovana u naslagama dolomita. Zbog tektonskog izdizanja terena, cjelokupni drenažni sustav Slapnice udubio je doline u gornje slojeve stijene do dubine dolomitne podloge. Nakon što se dosegne podloga, oblik doline ovisi o relativnom položaju razine podzemne vode i razine površinskog drenažnog sustava. U situaciji kada je razina podzemne i površinske vode jednaka ili blizu jedna drugoj, površinski drenažni sustav nastavlja produbljivati dolinu. Do ove situacije dolazi kada je brzina udublivanja doline jednaka brzini tektonskog izdizanja terena. Na ovaj način formiraju se epigenetske doline. U slučaju da uvjeti izdizanja i udublivanja ostaju jednaki tijekom formiranja doline, mjestimice može doći do nastanka dubokog kanjona. Kada je na početku epigenetskog formiranja doline veća udaljenost između razine podzemne i površinske vode, zbog postojanja debljeg sloja vapnenca bez vode, površinska voda ostaje zarobljena ispod površine i počinju se formirati speleološki objekti. (Hevesi, 2001).

Morfologija doline Slapnice upućuje na epigenetski postanak, ali speleološki objekti koji se nalaze u blizini same doline dokaz su da je u određenoj fazi formiranja doline bila veća udaljenost između razine podzemne i površinske vode.



SI. 27. Trodimenzionalni model porječja Slapnice. Zeleno = dolinsko dno Slapnice



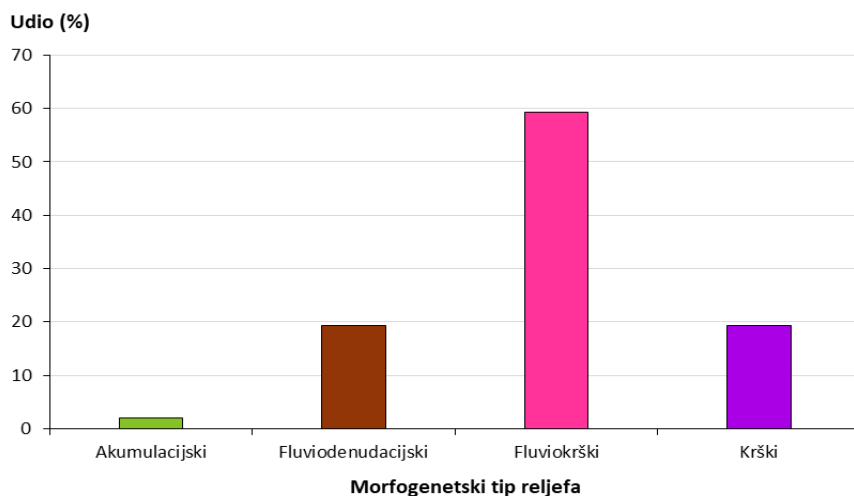
## 5.7.1. Egzogeomorfološka obilježja porječja Slapnice

### 5.7.1.1. Morfogenetski tipovi reljefa

U porječju Slapnice analizom su utvrđena četiri morfogenetska tipa reljefa (tab. 12, sl. 28). Među egzogenim procesima i oblicima najzastupljeniji je fluviokrški morfogenetski tip reljefa na dolomitnoj podlozi s udjelom od 59,27%. Fluviodenudacijski i krški morfogenetski tipovi gotovo su podjednako zastupljeni. Krški tip reljefa uglavnom prevladava na sjeveroistoku porječja na vapnenačkoj podlozi gdje nema mreže površinskih vodenih tokova i gdje se nalaze različiti krški reljefni oblici od kojih su najbrojnije ponikve. Fluviodenudacijski morfogenetski tip reljefa prevladava u rubnom sjevernom, zapadnom i jugoistočnom dijelu porječja gdje dominiraju padinski procesi i oblici. Najmanje je zastupljen akumulacijski morfogenetski tip reljefa (2,04%) koji obuhvaća fluvijalne i padinske akumulacijske reljefne oblike kojih ima najviše u dolini glavnog toka Slapnice (sl. 38).

**Tab. 12.** Površine i udjeli morfogenetskih tipova reljefa u porječju Slapnice

MORFOGENETSKI TIP	POVRŠINA (km <sup>2</sup> )	UDIO (%)
Akumulacijski	0,86	2,04
Fluviodenudacijski	8,15	19,34
Fluviokrški	24,96	59,27
Krški	8,14	19,35
UKUPNO	42,11	100



**Sl. 28.** Udio morfogenetskih tipova reljefa u porječju Slapnice

### 5.7.1.2. Fluviokrški reljef

Fluviokrški procesi imali su veliki utjecaj na oblikovanje porječja Slapnice. Zbog dominacije gornjotrijaskih dolomita na većini područja, u porječju Slapnice prevladava dolomitni podtip fluviokrša. Kao što samo ime kaže, fluviokrški morfogenetski tip reljefa odlikuje se kombinacijom djelovanja krških i fluvijalnih procesa, odnosno pojavom riječnih dolina na okršenom području (Roglić, 1957). Geomorfološkom analizom (sl. 38) utvrđeni su arealni i kontaktni fluviokrški procesi i oblici. Najznačajniji reljefni oblici arealnog fluviokrša su aktivne i reliktno fluviokrške doline i kanjoni. Područja kontaktnog fluviokrša predstavljaju litološku granicu i prijelaznu zonu između krškog i fluviokrškog tipa reljefa (Ford i Williams, 2007). U porječju Slapnice utvrđeni su ponorski i izvorišni podtip kontaktnog fluviokrša s karakterističnim oblicima kao što su ponorske doline i izvorišni obluci raznih vrsta. Dodatna specifičnost doline Slapnice je sedra koja se najviše akumulira u donjem toku i predstavlja najznačajniji akumulacijski fluviokrški reljefni oblik.

Dolina Slapnice najveća je fluviokrška dolina promatranog područja. Od elemenata u koritu karakteriziraju ju brojni slapovi, vodopadi, kaskade i brzaci odakle joj i potječe naziv i što joj daje bujičast karakter. Važne elemente georazolikosti predstavljaju i duboko usječeni poligenetski dijelovi doline nastali kombinacijom fluvijalne erozije i padinskih procesa. Analizom doline Slapnice (sl. 38) utvrđena je dominacija kaskada i brzaca u donjem toku između probojnice nakon dolinskog proširenja (sl. 30, B) i probojnice na jugu nakon koje se Slapnica ulijeva u Kupčinu. Brzaci su strukturnog tipa uzrokovani uglavnom pružanjem slojeva otkrivenima u koritu. U kontekstu georazolikosti, brzaci i sedrene kaskade predstavljaju vizualno impozantan reljefni oblik koji je jedan od temelja estetske vrijednosti doline Slapnice (sl. 29, A, B). Najčešći pojavni oblici sedrenih kaskada na Slapnici su pregrade koje nastaju lokalnim uspravnim uzdizanjem sedre (Bonacci i Roje-Bonacci, 2006). One se često pojavljuju u nizu u vrlo pravilnim razmacima duž vodotoka. Veliki apsolutni pad Slapnice uzrokuje jaki hidraulički gradijent zbog čega u gornjem toku prevladava jaka dubinska erozija dok u svom donjem toku ima izraženu bočnu eroziju i akumulaciju. Posljedica toga je nastanak različitih sprudova koji su vezani za obalu ili su slobodni sprudovi unutar toka. Analizom je utvrđeno da u dolini Slapnice prevladavaju priobalni šljunkoviti sprudovi (sl. 29, C). Među akumulacijskim oblicima ističe se riječni otok koji se nalazi na otprilike polovici toka Slapnice (sl. 29, D).

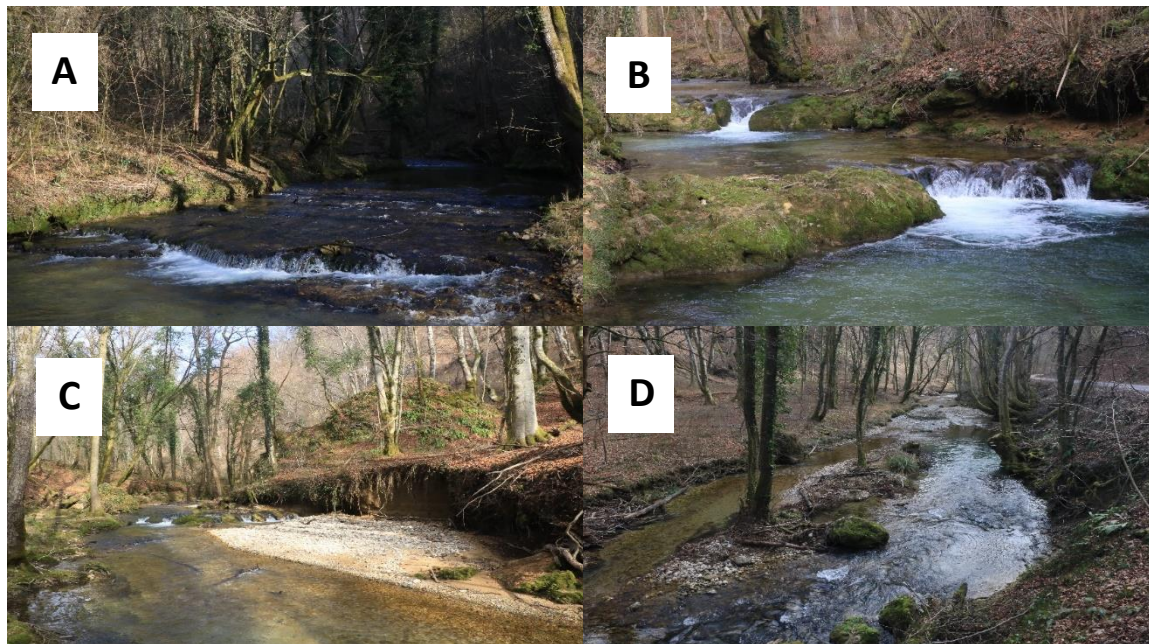
Od ostalih fluviokrških dolina ističu se dolina Jarka, Duboki potok, Ivoščak i Vranjak. U kontekstu georaznolikosti posebno su zanimljive doline Dubokog potoka (sl. 30, A) i Vranjaka u kojima vodopadi, slapovi i kaskade predstavljaju primarne elemente georaznolikosti. U blizini ušća Dubokog potoka u Slapnicu nalazi se vodopad Brisalo (sl. 31) koji u svom gornjem dijelu ima elemente slapa jer se voda prelijeva preko kaskada, a zatim se strmo obrušava tvoreći sedrenu bradu, a u podnožju sedreni čunj. Brisalo je najveći vodopad u dolini Slapnice, a laserskim daljinomjerom utvrđena je ukupna visina koja iznosi 17,2 m. Posebnost Brisala je sedreni čunj koji se istaložio na dnu vodopada, a čija ukupna visina iznosi 3,1 m (sl. 31). Sedreni čunj nastao je izlučivanjem kalcijevog karbonata iz vode koja slobodno pada 14,6 m preko sedrene brade. Kalcijev karbonat izlučuje se iz kapljica vode prilikom udara o stijenu te se uz posredstvo algi, mahovina i cijanobakterija ponovno kristalizira i formira se sedreni čunj koji i dalje aktivno raste.

Od ostalih arealnih fluviokrških oblika ističe se denudacijska zaravan u kršu između Dubokog potoka i Jarka, okršene jaruge te reliktna dolina (sl. 38). Okršene jaruge pretežito se nalaze u dolini ponornice na istoku porječja Slapnice i u njima se nalaze njezini izvorišni kraci, a reliktna dolina se većinom nalaze na sjeveroistoku porječja i na području okršene krške visoravni.

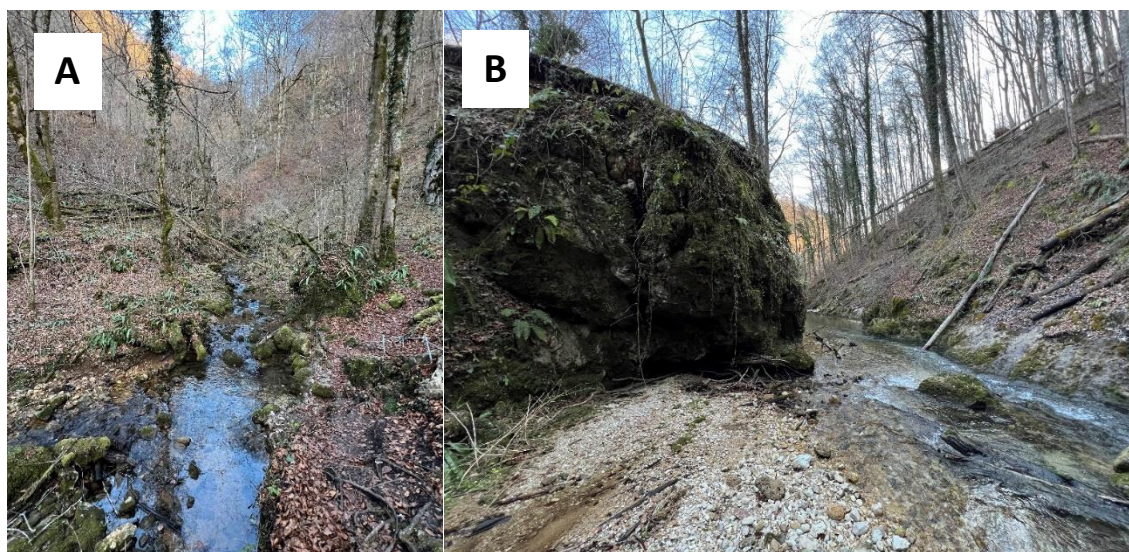
Na temelju morfoloških karakteristika i dijagnostičkih oblika, kao što su ponikve u nizu, određena je mreža reliktnih dolina. Reliktne doline se pretežito nalaze na višim područjima porječja te su intenzivno denudirane zbog čega se teško mogu zamijetiti dolinski elementi. U kontekstu evolucije terena, reliktna dolina su od velikog značaja jer se na temelju njihovog prostornog rasporeda mogu utvrditi koridori površinskog paleootjecanja sjeveroistočnog dijela porječja. Može se zaključiti kako je u prošlosti postojala čitava mreža tokova koja je prihranjivala gornji tok Slapnice.

Na kontaktu višeg gorskog područja i okršene visoravni stvaraju se uvjeti za razvoj kontaktnog fluviokrša. U tom području dolazi do poniranja površinskih tekućica i oblikovanja slijepih dolina ponajviše na rubu velikog polja u kršu (sl. 38). Širenje aktivnih slijepih dolina pospješuje bočna korozija zbog smanjenog propusnog kapaciteta ponora (Bočić, 2020). Analizom su utvrđene četiri aktivne ponorske doline, od kojih je najveća ona na istoku porječja, te tri manje suhe ponorske doline. Ponorske doline uglavnom se pružaju iz smjera sjevera prema jugu uz iznimku ponornice na istoku porječja koja se pruža iz smjera istoka prema zapadu. Ponornice uz sjeverni rub polja u kršu čine najveću aktivnu ponorsku zonu fluviokrškog sustava porječja

Slapnice. Izvori i izvorišni obluci predstavljaju reljefne oblike izvorišnog kontaktnog fluviokrša. Geomorfološkom analizom utvrđena su dva aktivna fluviokrška izvorišna obluka, od kojih je najveći izvorišni obluk Kalovke, te tri suha fluviokrška izvorišna obluka. Ponorska dolina na krajnjem sjeveru porječja i reliktna dolina u njezinom produžetku izvrstan su primjer evolucije fluviokrškog reljefa uslijed regresijske korozije i pomicanja ponorske zone prema sjeveru. Do relokacije ponorske zone došlo je otvaranjem novog ponora uslijed pojačane tektonske aktivnosti.



**Sl. 29.** Geomorfološki oblici unutar korita Slapnice: brzaci (A), kaskade u nizu (B), priobalni sprud (C), riječni otok (D)



**Sl. 30.** Fluviokrška dolina Dubokog potoka (A) i probojnica fluviokrške doline Slapnice (B)



**Sl.31.** Vodopad Brisalo i sedreni čunj

Sedra predstavlja važan element georaznolikosti doline Slapnice. Budući da Slapnica spada među površinske tokove hrvatskog krša, na njoj postoje povoljni uvjeti za taloženje sedre čiji je geomorfološki značaj prepoznat u okviru Značajnog krajobraza kanjon rijeke Slapnice. Naziv sedra koristi se za sve karbonatne taložine koje nisu morskog podrijetla, a javljaju se na kopnenim izvorima, rijekama i jezerima i tlu oko njih (Bonacci i Roje-Bonacci, 2006). Sedra predstavlja akumulacijski fluviokrški reljefni oblik koji se uglavnom sastoji od minerala kalcita ili niskomagnezijskog kalcita, a sadrži i manje količine detritičnog materijala kao što su zrnca kvarca, muskovit i minerali glina. Karakteristika sedre jest njezina poroznost koja je posljedica šupljikavosti uzrokovane truljenjem organskog materijala oko kojega se talože minerali te otpuštanjem određenih plinova (Tišljar, 2001). Talozenje sedre je složen geokemijski proces u kojemu važnu ulogu imaju biljke, alge i mahovine koje imaju sposobnost zadržavanja istaloženog vapnenca. Da bi nastala sedra moraju biti zadovoljeni određeni abiotički uvjeti kao što su povoljan hidrološki režim, optimalna brzina strujanja vode, položaj i količina svjetlosti te odsutnost bilo kakvih onečišćivača u tekućici (Vevec, 2020).

Sedrene tvorbe uglavnom su formirane tijekom kvartara, a oblik sedre ovisi o facijesu u kojem se taložio kalcijev karbonat. Postoje različite metode klasifikacije sedre, a Pedley (1990) je u svojem radu proširio klasifikaciju sedre na temelju petrografskog sastava i sedrotvornih komponenata. Navedeni autor navodi dvije osnovne kategorije sedre, a to su autohtona i klastična sedra. Unutar autohtone kategorije izdvajaju se fitoherma i stromatolitna sedra. Fitoherma je općenito naziv za sedreni oblik nastao od fitogene sedre koja nastaje inkrustracijom na biljnim ostacima posredstvom cijanobakterija. Uz biljne ostatke, u fitohermi se može pronaći raznolika fauna koja obično uključuje anelide, ostrakode te ličinke insekata i mekušce. Glavno obilježje fitoherme je brzo raspadanje ugljičnog vezivnog tkiva zbog čega nastaje karakterističan vrlo porozan i šupljikav geomorfološki oblik. Stromatolitna sedra sastoji se od skeletnog stromatolita formiranog posredstvom cijanobakterija. U stromatolitnoj sedri općenito se pojavljuju onkoidi, a njezino glavno obilježje je laminarna struktura. Najčešći oblik klastičnih sedrenih tvorbi je fitoklastična sedra. Ove naslage se uglavnom sastoje od alohtonih fragmenata biljaka prekrivenih sedrom. Obično se sastoje od lišća i prenesenih fragmenata grana. Fitoklasti se cementiraju zajedno nakon taloženja, ali može doći do razvoja vezivnog tkiva oko fitoklasta prije ili tijekom njihova transporta.

U dolini Slapnice uočeni su geomorfološki oblici aktivnog i reliktnog procesa osedavanja. Najveći broj različitih sedrenih tvorbi nalazi se na dijelu toka Slapnice između Dubokog jarka i Vranjaka (sl. 38). U kontekstu sedrene georazolikosti posebno se ističe dolina Vranjaka u kojoj je uočena nekolicina različitih sedrenih tvorbi. Primarni fluviookrški reljefni oblik je Vranjački vodopad koji se prelijeva preko osedrene litice čineći impozantan vodopad na sedri (sl. 32). Lokalno stanovništvo ga naziva Vranjački slap iako je to ustvari vodopad jer voda ne dodiruje stijenu nego se strmo obrušava preko sedrene brade. Ukupna izmjerena visina Vranjačkog vodopada iznosi 15,2 m te je to drugi najveći vodopad u dolini Slapnice. Dolina Vranjaka je tektonski predisponirana te se usred recentne tektonske aktivnosti od matične sedrene stijene odlomio sedreni blok. Budući da se na njemu ne odvija aktivan proces osedavanja, sedreni blok predstavlja geomorfološki oblik reliktno sedre. Odlomljeni sedreni blok primjer je fitogene sedre dužine 11,2 m i visine od 8 m (sl. 33). U dolini Vranjaka također je pronađen i izvrstan primjer stromatolitne sedre laminarne strukture (sl. 34, A.). Od ostalih geomorfoloških oblika aktivnog procesa osedavanja ističu se brojni slapovi na sedri, kaskade i pregrade fitoklastične sedre (sl. 34, B). Na velikom dijelu toka Slapnice nalaze se oblici reliktno sedre koji se nalaze u okolišu aktivnih procesa. Jedan od takvih najznačajnijih oblika je reliktna sedrena kaskada koja svjedoči o paleotoku Slapnice. Reliktna kaskada sastoji se od erozijskih oblika, kao što su vrtložni lonci, i akumulacijskih oblika poput pregrada koje svjedoče o rastu sedre u vis prilikom formiranja fitoherme. Neposredno u blizini reliktno kaskade nalazi se reliktna spilja u sedri koja je primjer singenetske spilje jer je nastala paralelno s taloženjem same sedre. Zbog velike osjetljivosti i značaja za evoluciju fluviookrškog reljefa, sedreni oblici su od izuzetne vrijednosti u kontekstu istraživačke i obrazovne vrijednosti georazolikosti.

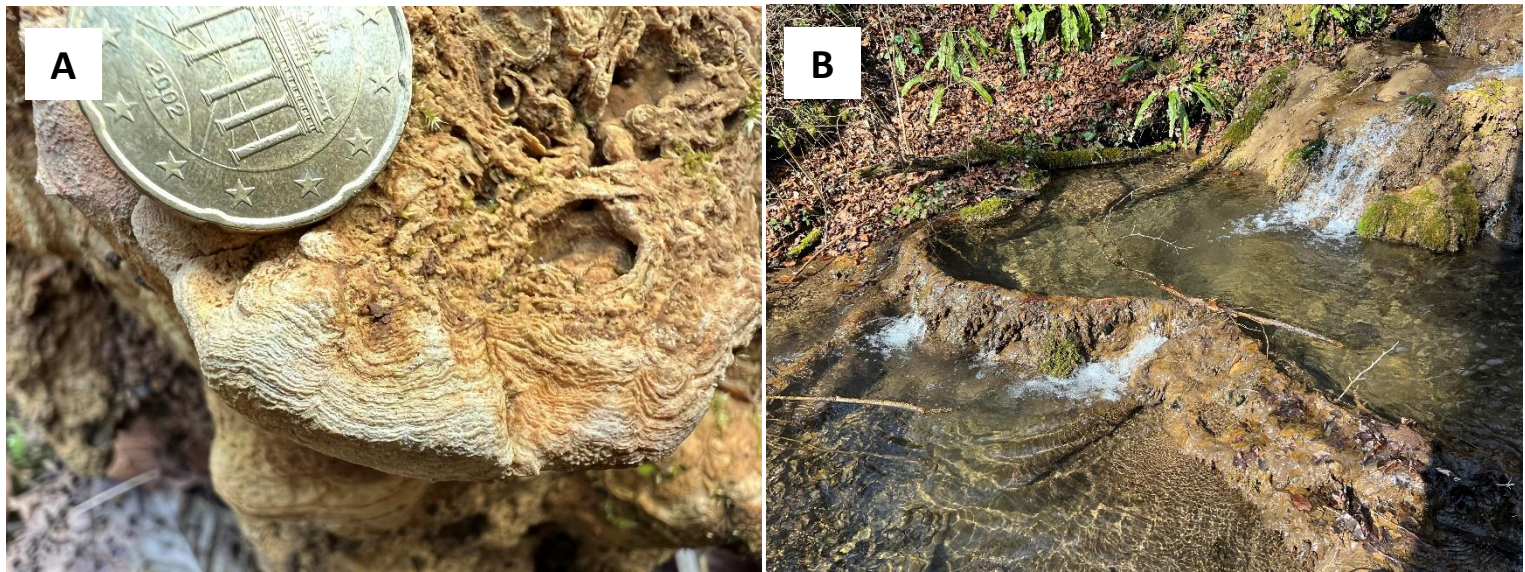


**Sl. 32.** Vranjački vodopad i osedrena litica preko koje se prelijeva





Sl. 33. Sedreni blok i njegova primarna porozna struktura



Sl. 34. Stromatolitna sedra (A) i fitoklastična sedrena pregrada (B)

### 5.7.1.3. Krški reljef

Krški morfogenetski tip reljefa drugi je po zastupljenosti u porječju Slapnice. Što se tiče pokrivenosti, riječ je uglavnom o pokrivenom i polupokrivenom kršu. Krški reljef prostorno je raspoređen u pet izoliranih „otoka“ od kojih je najveći središnja krška visoravan koju zatvaraju tri grebena s južne, zapadne i istočne strane (sl. 38). Najbrojniji krški reljefni oblici su ponikve koje prevladavaju u središnjoj krškoj visoravni. Ponikve su male do srednje velike zatvorene krške depresije koje su mjesta autogenog ulaska vode u krški sustav. Oblik ponikva ukazuje na mehanizam njihova nastanka. Njihov zdjelasti oblik implicira na odnošenje veće mase stijene iz njihovih središta nego s njihovih bočnih strana što je posljedica prirodnog procesa koji lokalizira koroziju stijene (Ford i Williams, 2007). Dakle, ponikve su posljedica lokalizirane korozije u topljivim stijenama. Na temelju topografske karte (TK25) utvrđeno ih je 505 dok im prosječna gustoća u porječju Slapnice iznosi 12 ponikava na km<sup>2</sup>. Gotovo sve ponikve u porječju Slapnice su relativno male i suhe ponikve uz iznimku izvor ponikve podno grebena u sjeveroistočnom krškom „otoku“ koja je gotovo konstantno ispunjena vodom (sl. 38).

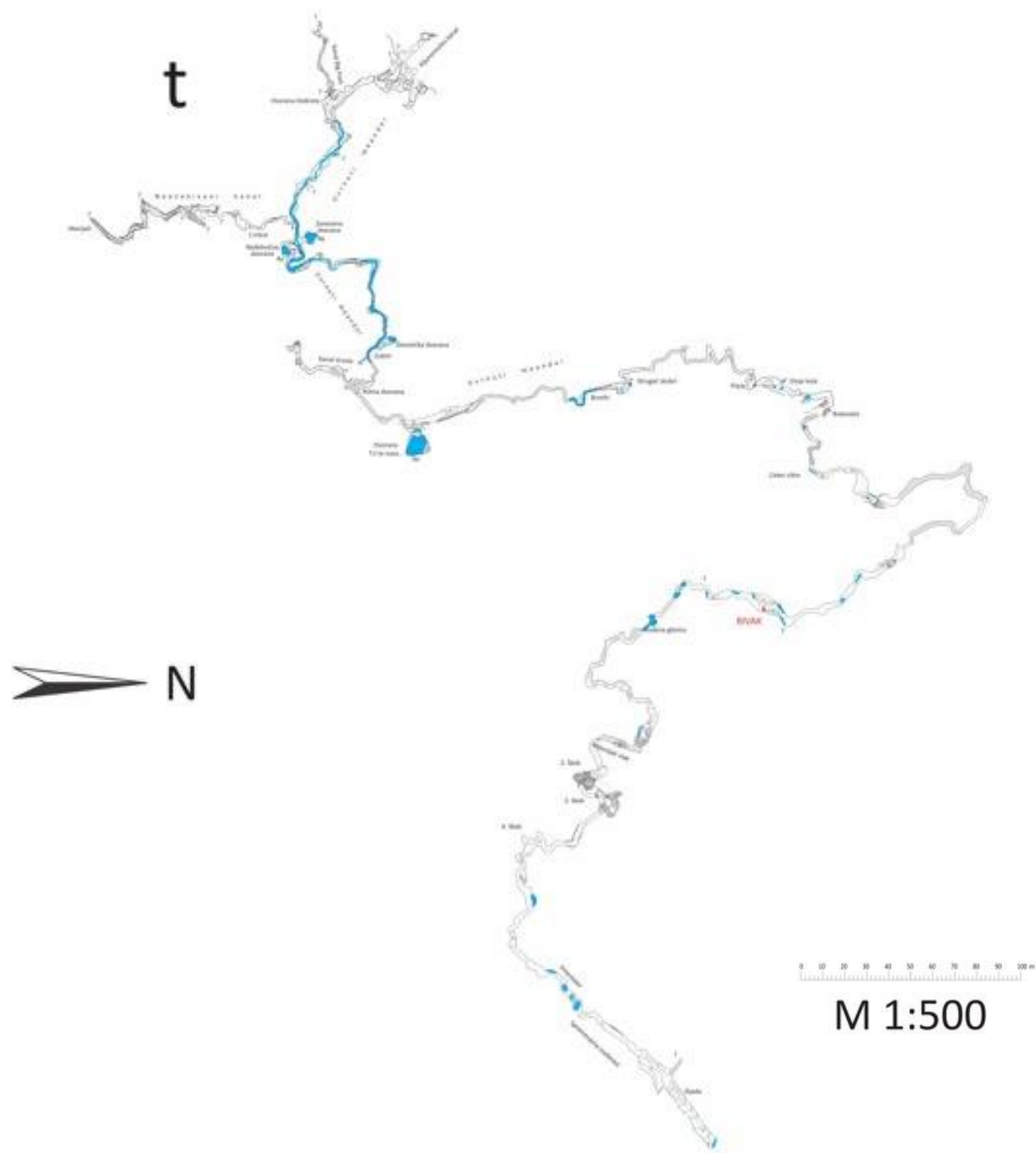
U porječju Slapnice utvrđeno je nekoliko krških depresija od kojih je najveća polje u kršu na sjeveru porječja (sl. 38). Prema Ford i Williams (2007), polje u kršu je velika zatvorena depresija ravnog dna u krškim područjima povezana s ulaskom i protokom vode. S obzirom na vrstu polja, polje na sjeveru porječja primjer je graničnog polja u kršu. Ovaj tip polja nalazi se na geološkom kontaktu na kojem površinski tokovi alogeno ulaze u krško polje. Razvijaju se na područjima gdje se zona fluktuacije podzemne vode u slabije propusnim stijenama nastavlja u područje građeno od vapnenačkih stijena što omogućuje alogeni ulaz vode. Ovo krško polje nastalo je srastanjem nekolicine slijepih ponorskih dolina koje dolaze iz viših gorskih područja. U slučaju strmog hidrauličkog gradijenta dolazi do bočnog širenja dolina što dovodi do spajanja susjednih i tako do stvaranja veće zatvorene depresije. Ako se u formiranoj zatvorenoj depresiji razvije aluvijsko dno, odnosno spoje se poplavne ravnice alogenih tokova, razvije se granično polje u kršu. Ovakva vrsta polja tipična je na područjima kontakta s gorskim predjelima iz kojih dolaze alogeni tokovi.

Od ostalih krških depresija izdvajaju se plitke uvale na zaravni sjeverno od doline Dubokog potoka te nekolicina ponikvastih uvala koje su najbrojnije na sjeveroistoku porječja (sl. 38).

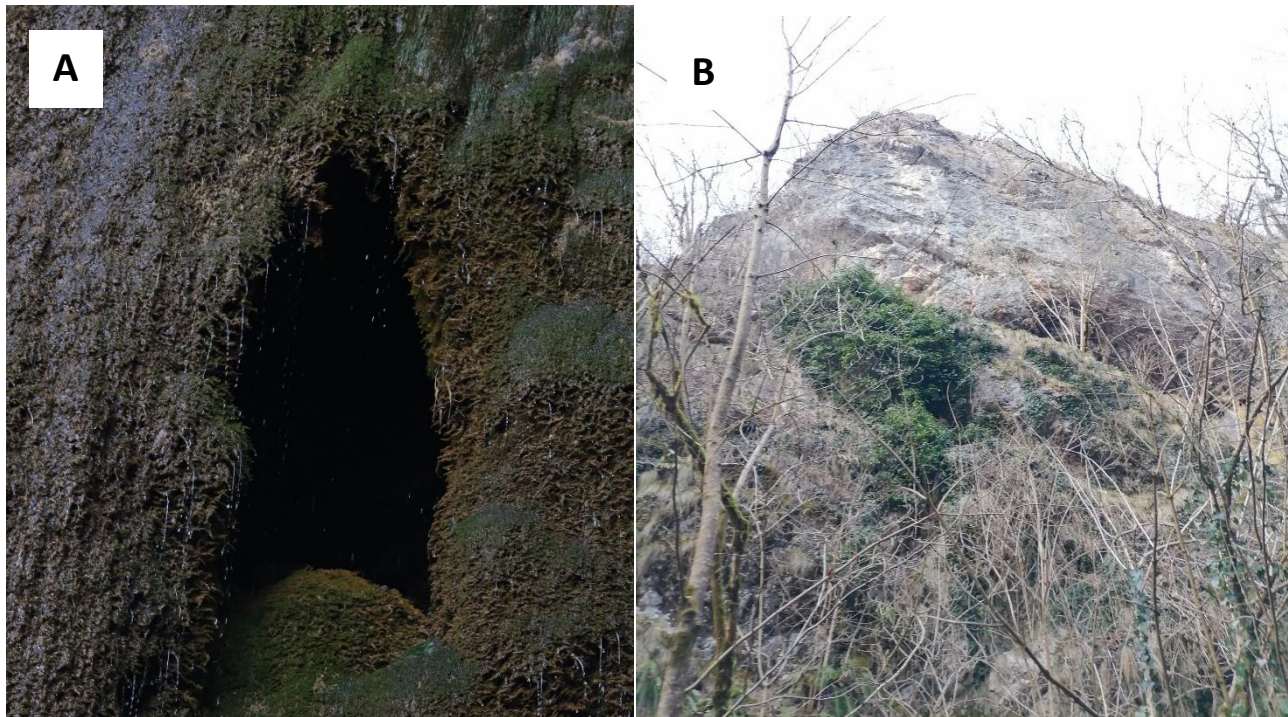
Uz površinske, u porječju Slapnice razvili su se i podzemni krški reljefni oblici (sl. 38). Od ukupno 27 speleoloških objekata, 20 je špilja i 7 jama. Speleološki objekti na većini porječja nalaze se u fluviokrškoj zoni te u blizini rasjednih kontakata. Osam špilja nalazi se na području doline Slapnice te je njihov postanak usko vezan uz evoluciju same doline. Raznolikost speleoloških objekata upućuje na činjenicu da se speleogeneza odvijala u nekoliko faza. U prvoj fazi speleogeneza je bila uvjetovana lateralnim kretanjem vode u podzemlju kojim su nastali cjevasti provodnici i horizontalni kanali te su se speleološki objekti najviše širili u duljinu. Neotektonskim izdizanjem nastajale su niže i mlađe etaže te su cjevasti kanali koji su se našli u vadoznoj zoni preoblikovani u kanale s presjekom ključanice. U posljednjoj fazi, lateralnu cirkulaciju u izdignutim zonama zamijenila je vertikalna cirkulacija što je dovelo do stvaranja relativno mlađih vertikalnih kanala, odnosno jama (Bočić i dr., 2010).

U hidrološkom smislu, većina speleoloških objekata predstavlja povremeni tok te su ispunjeni vodom. Špilja Bedara, s duljinom od 1593 m i dubinom od 155 m, najveći je speleološki objekt u porječju Slapnice. U hidrogeološkom smislu posebno su zanimljive špilje Dolača i Mramor u blizini naselja Drašći Vrh. Špilja Dolača (sl. 35) ima hidrogeološku funkciju povremenog ponora dok špilja Mramor ima hidrogeološku funkciju povremenog izvora. U pogledu georaznolikosti, posebno je važna Vranjačka špilja (sl. 36., A) pored Vranjačkog vodopada koja je singenetska špilja u sedri. Ostali veći speleološki objekti su Zidane pećine, špilja s jamskim ulazom Mikulička, Špilja na izvoru, Ponor u Stićima i Židovske kuće. Jame su najbrojniji speleološki objekti na sjeveroistoku porječja Slapnice (sl. 38), a najdublja je Tandaričina jama (42 m), zatim Znetva Pištavac (29 m) i Trzno (21 m).

Od rezidualnih krških oblika ističe se izolirani krški humak na području središnje krške visoravni (sl. 36, B). Humak predstavlja ostatak nekadašnjeg okršenog grebena koji se nalazio između današnjih reliktnih dolina, a nastao je selektivnom denudacijom (Ford i Williams, 2007). Ovakva rezidualna uzvišenja svjedoče o evoluciji i denudaciji krških terena te imaju veliku istraživačku i obrazovnu vrijednost, dok, s druge strane, zbog impresivnog reljefnog izgleda predstavljaju i vrijedan element estetske vrijednosti georaznolikosti.



**Sl. 35.** Speleološki tlocrt špilje Dolače  
**Izvor:** Speleološki klub „Samobor“ (n.d.)



**Sl. 36.** Ulaz u poluspilju podno Vranjačkog vodopada (A) i rezidualni krški humak (B)

#### 5.7.1.4. Padinski i Fluviodenudacijski reljef

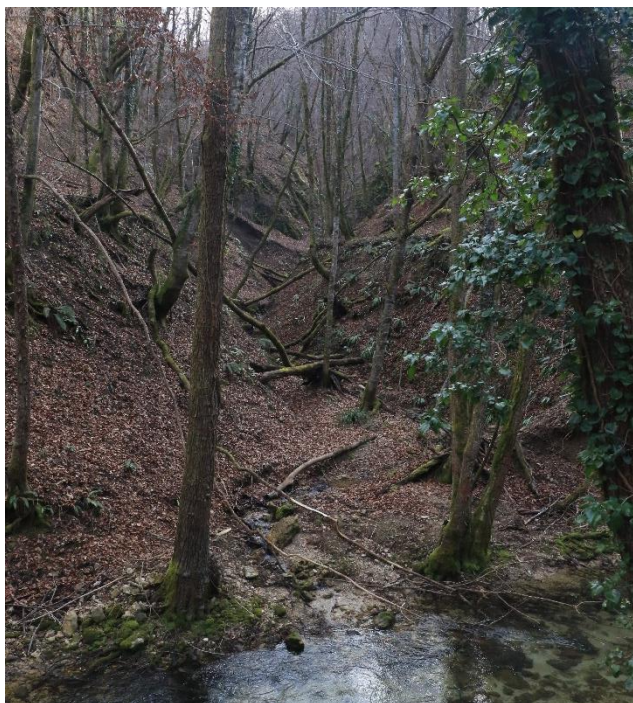
Fluviodenudacijski reljef nastao je kombiniranim djelovanjem padinskih i fluvijalnih procesa. Prostorni raspored fluviodenudacijskog reljefa u porječju Slapnice uvjetovan je prevladavajućim procesima, razlikama u litologiji, hipsometrijskim obilježjima, nagibima padina, vertikalnom raščlanjenošću reljefa, ekspozicijom padina te tektonskim zonama rasjeda. U porječju Slapnice najizrazitiji fluviodenudacijski procesi i njima oblikovani reljefni oblici nalaze se u četiri rubne zone oko topografskih razvodnica (sl. 38). Najveća zona fluviodenudacijskog reljefa na zapadu porječja uvjetovana je pretežito nepropusnim klastičnim naslagama podložnima mehaničkom trošenju i derazijskim procesima. Na području sjevera i jugoistoka porječja koje je izgrađeno od karbonatnih stijena otpornijih na mehaničko trošenje, uz fluviokršku koroziju, fluviodenudacijski procesi imaju veći utjecaj na oblikovanje reljefa na dolomitnoj podlozi zbog čega su navedene zone izdvojene kao fluviodenudacijski reljef. Izdvojene fluviodenudacijske zone su područja povećanog nagiba padina, zbog čega su izraženiji padinski procesi, te su te zone rasjedno odvojene od ostatka dolomitne podloge. Na prostoru fluviodenudacijskog reljefa utvrđeni su primjeri gravitacijskih procesa (osipavanje), procesa kliženja te procesa spiranja i jaruženja.

Budući da je porječje Slapnice izdvojeno na temelju topografske razvodnice, glavnu okosnicu predstavlja mreža raščlanjenih i neraščlanjenih grebena koji okružuju čitavo porječje. Dominiraju raščlanjeni grebeni koji se račvaju u obliku slova epsilon između kojih se nalaze fluviodenudacijske doline. To su uglavnom uske doline poprečnog presjeka V oblika, a ističe se fluviodenudacijska dolina Kalovke na zapadu porječja. Dolina Kalovke predstavlja poligentesku dolinu koja nastaje spajanjem dviju duboko usječenih dolina V oblika. Na mjestu njihova spoja dolazi do dolinskog proširenja te je u tom dijelu Kalovka uska koritasta dolina, a kasnije se ponovno sužava i postaje uska dolina V oblika (sl. 38). Ovakav raspored grebena i dolina čini rebrasti oblik reljefa karakterističan za prostor Žumberačke gore. Grebeni su međusobno povezani vrhovima čiji oblik ovisi o intenzitetu denudacije. Tako su najbrojniji izrazito denudirani zaobljeni vrhovi, zatim slabije denudirani kupolasti, a utvrđen je samo jedan izraženi stožasti vrh, a to je vrh Veliki Učak na jugoistoku porječja. Na pojedinim područjima dolazi do ulegnuća na tjemenu grebena te nastaje sedlo (sl. 38).

Najbrojniji destruktivski padinski oblici su jaruge koje su razvijene na cijelom porječju. Najgušće mreže jaruga nalaze se u zonama fluviodenudacijskog reljefa (sl. 38). Jaruge nastaju fluvijalnom erozijom na padinama. U početku su to male vododerine koje s većom erozijskom snagom povremenog toka prelaze u jaruge. Veličina i oblik jaruge variraju ovisno o intenzitetu erozije te su na promatranom području uočene razne veličine jaruga, od onih najmanjih pa sve do jaruga čija je veličina sukladna onoj pojedinih fluviodenudacijskih dolina (sl. 37). Pojedine jaruge međusobno su odvojene grebenima na kosama.

Od gravitacijskih destruktivskih oblika analizom su utvrđena točila koja su najbrojnija na krajnjem jugu porječja (sl. 38). Većina točila usječena je u antropogeno izmijenjenim padinama gdje za to postoji strukturalna predispozicija. Pod utjecajem gravitacije, na najstrmijim mjestima je nastala mreža točila u dolomitu koji je podložan mehaničkom trošenju. Procesi klizanja utvrđeni su u jugozapadnoj fluviodenudacijskoj zoni gdje su na strmim padinama asimetrične doline Drenovca registrirane dvije zone klizišta (sl. 38). Od ostalih destruktivskih oblika utvrđene su derazijske doline, delle i derazijski cirkusi. Najznačajniji akumulacijski oblici su proluvijalne plavine akumulirane na dnu najvećih jaruga. Najveće proluvijalne plavine mjestimice mijenjaju smjer vodenih tokova te na taj način preoblikuju reljef. Podno točila gravitacijski se akumuliraju sipari koji se sastoje uglavnom od dolomitne pržine, a na području

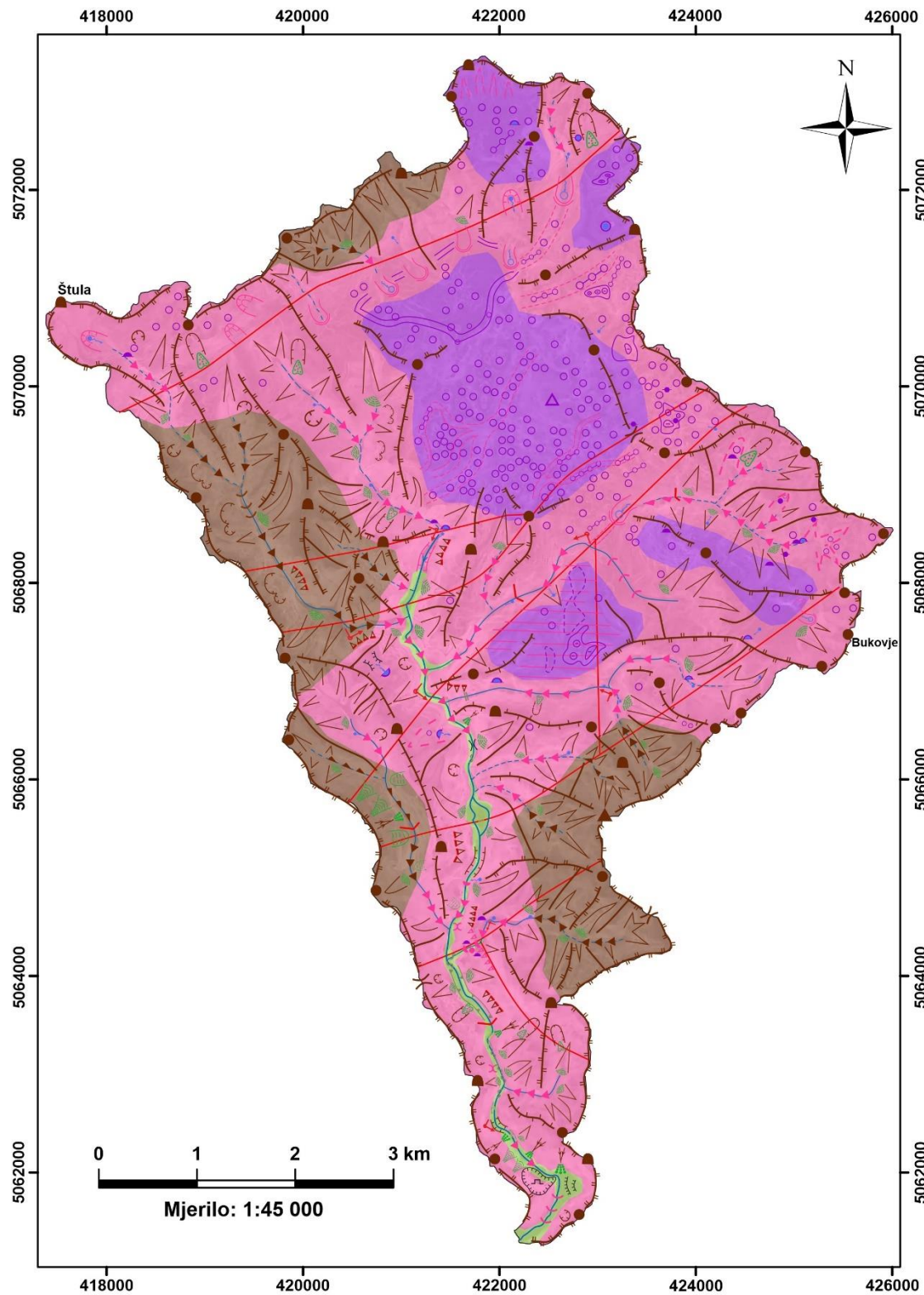
gušće mreže točila dolazi do pojave koluvijalnih zastora. Na dnu plitkih i ovalnih derazijskih dolina na padinama dolazi do akumulacije materijala te nastaje deluvijalni konus (sl. 38).



**Sl.37.** Velika jaruga u dolini Slapnice

#### **5.7.1.5. Antropogeni reljef**

U porječju Slapnice ljudska djelatnost neposredno utječe na preoblikovanje reljefa i to ponajviše na krajnjem južnom dijelu porječja, u blizini ušća Slapnice (sl. 38). Najznačajniji destruktivni antropogeni reljefni oblik je kamenolom na krajnjem jugu doline Slapnice. Kamenolom je najznačajniji eskavacijski reljefni oblik za čije potrebe je u potpunosti modificiran krajnji južni dio doline Slapnice. Otkopavanjem dolomita proširena je fluviokrška dolina Slapnice koja od kamenoloma do ušća ima obilježje koritaste fluviokrške doline. Najznačajniji konstruktivni reljefni oblik je antropogena taložnica koja se nalazi na otprilike polovici toka rijeke Slapnice. Antropogenom taložnicom reguliran je prirodni tok Slapnice te je modificiran njezin prirodni bujični karakter nizvodno od taložnice. Poljoprivredno terasirane površine imaju kombinirani konstruktivno-eskavacijski utjecaj na oblikovanje reljefa u blizini ušća Slapnice te u blizini naselja Drašći Vrh (sl. 38). Zbog modificiranja prirodnog reljefa, antropogeni oblici smanjuju prirodnu georaznolikost te povećavaju krajobraznu raznolikost promatranog područja.



## TUMAČ ZNAKOVA:

### 1. Endogeni reljef

#### 1.1. Morfotektonogeni reljef

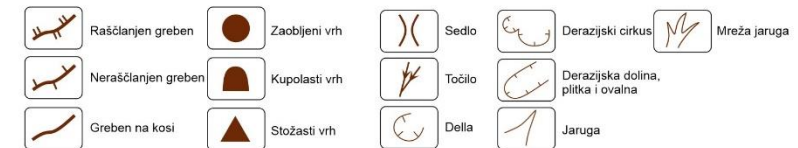
1.1.1. Oblici vezani uz rasjedanje



### 2. Egzogeni reljef

#### 2.1. Padinski reljef

2.1.1. Denudacijski oblici



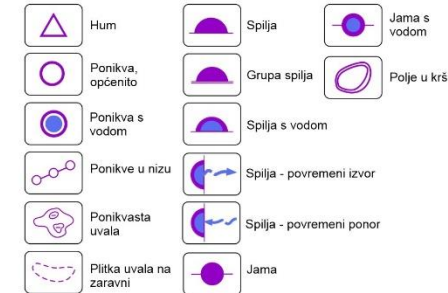
2.1.2. Akumulacijski oblici



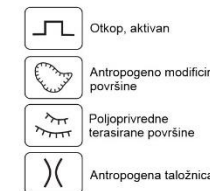
#### 2.3. Fluvijalni reljef



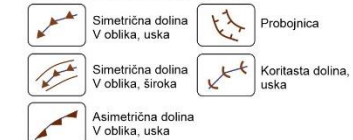
#### 2.4. Krški reljef



#### 2.6. Antropogeni reljef



#### 2.2. Fluviodenudacijski reljef



#### 2.5. Fluviokrški reljef



#### Morfogenetski tipovi reljefa s kategorijama nagiba padina

	0 - 2°	2 - 5°	5 - 12°	12 - 32°	32 - 55°	> 55°
Akumulacijski (fluvijalni i padinski)	Light green	Light green	Light green	Light green	Light green	Light green
Fluviodenudacijski	Light brown	Light brown	Light brown	Light brown	Light brown	Light brown
Fluviokrški	Light pink	Light pink	Light pink	Light pink	Light pink	Light pink
Krški	Light purple	Light purple	Light purple	Light purple	Light purple	Light purple

Sl.38. Geomorfološka karta porječja Slapnice



## 5.7.2. Geoekološko vrednovanje porječja Slapnice

### 5.7.2.1. Rezultati vrednovanja

Na temelju svih analiziranih elemenata reljefa porječja Slapnice provedeno je geoekološko vrednovanje reljefa kako bi se odredila najpovoljnija područja za daljnje istraživanje reljefnih specifičnosti te edukaciju stanovništva o značaju fluviokrškog reljefa jugoistočnog Žumberačkog gorja. Vrednovanje je provedeno preklapanjem rasterskih slojeva rezolucije 5x5 m i zbrajanjem vrijednosti kategorija obilježja dodijeljenih u tablici vrednovanja (tab. 1). Kada bi postajalo područje u porječju Slapnice na kojem bi se preklapile sve maksimalne vrijednosti kategorija obilježja, teoretska ukupna vrijednost takvog područja iznosila bi 500 bodova što je jednako ukupnom broju bodova u tablici. S obzirom da ne postoji takvo područje, preklapanjem slojeva je utvrđeno da maksimalna vrijednost na promatranom području iznosi 230, a najmanja vrijednost 2. Na temelju dobivenih vrijednosti određene su bonitetne kategorije područja. Prilikom određivanja kategorija korištene su bonitetne kategorije A. Bognara (1990) prilagođene potrebama promatranog područja (tab. 13).

**Tab. 13.** Bonitetne kategorije reljefa

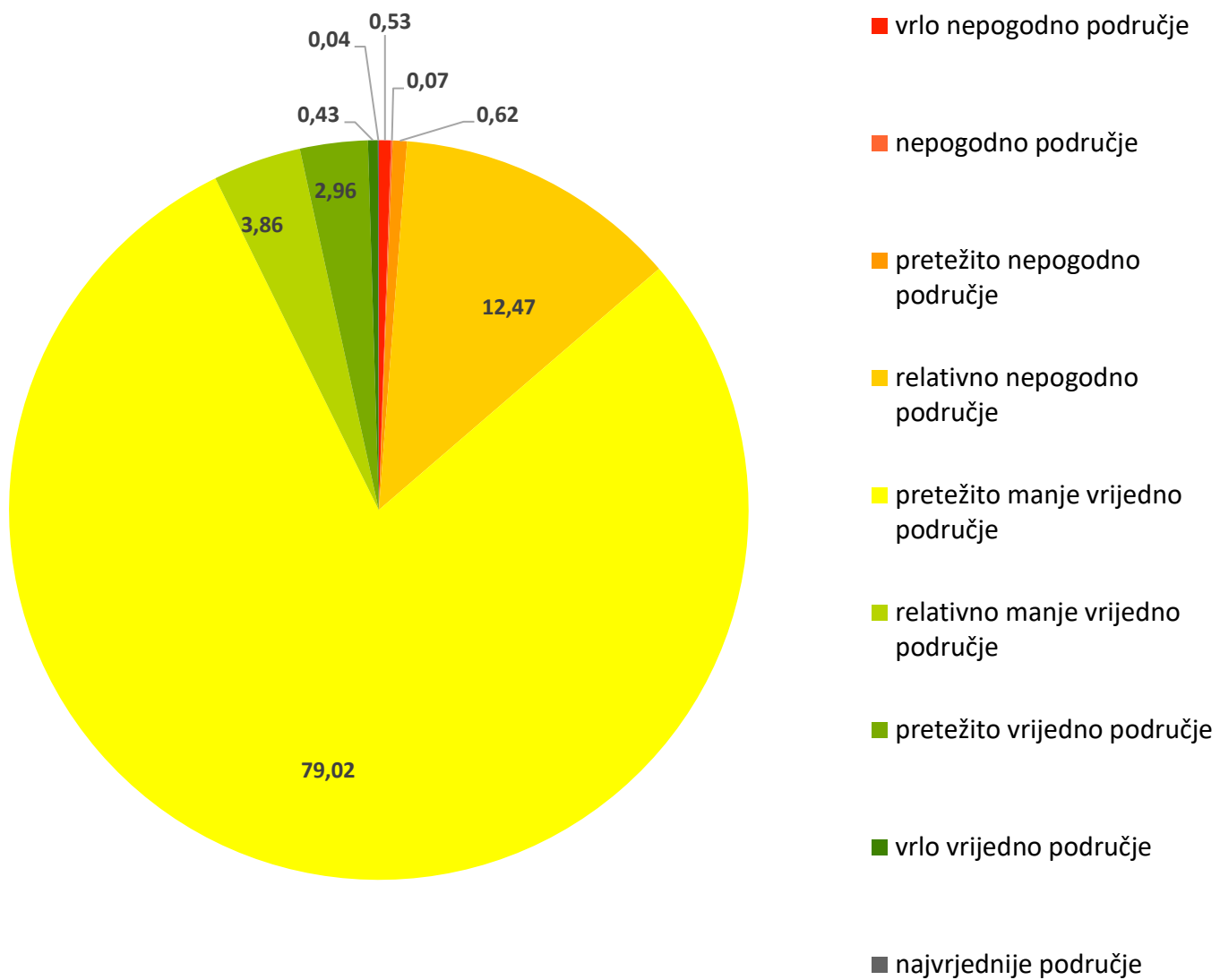
Bonitetna kategorija	Razred	Broj bodova
1	vrlo nepogodno područje	0 - 25
2	nepogodno područje	25 - 50
3	pretežito nepogodno područje	50 - 75
4	relativno nepogodno područje	75 - 100
5	pretežito manje vrijedno područje	100 - 125
6	relativno manje vrijedno područje	125 - 150
7	pretežito vrijedno područje	150 - 175
8	vrlo vrijedno područje	175 - 200
9	najvrjednije područje	> 200

Vrednovanjem je određeno 9 bonitetnih kategorija s veličinom razreda od 25 bodova (tab. 13). Područja čija je kumulativna vrijednost bodova manja od 25 predstavljaju vrlo nepogodna područja dok ona čija je kumulativna vrijednost bodova veća od 200 predstavljaju najvrjednija područja u kontekstu istraživanja i edukacije. Srednja vrijednost čitavog porječja iznosi 102 što znači da je općenito porječje Slapnice, s obzirom na odabrane kriterije, pretežito manje vrijedno područje s naglašenim razlikama između najvrjednijih i manje vrijednih područja.

Udjeli i površine pojedinih bonitetnih kategorija prikazani su u tab. 14 i sl. 39. Analizom dobivenih bonitetnih kategorija utvrđeno je kako je uvjerljivo najzastupljenija kategorija pretežito manje vrijednih područja koja zauzima 33,53 km<sup>2</sup> što čini 79,02% ukupnog teritorija porječja Slapnice. Slijedi ju kategorija relativno nepogodnog područja koja ima udio u površini od 12,47%. Ostale bonitetne kategorije prevladavaju na puno manjoj površini porječja. Najmanje zastupljena bonitetna kategorija je najvrjednije područje koja zauzima samo 0,04% površine. Imajući na umu brojnost kriterija određenih za vrednovanje te veličine rastera, ne iznenađuje činjenica da je kategorija najvrjednijih područja najmanje zastupljena budući da su područja preklapanja rastera najvećih vrijednosti lokalizirana na izrazito malu površinu porječja. Kategorija vrlo vrijednih područja, s udjelom od 0,43%, druga je bonitetna kategorija prema vrijednosti područja i zastupljenija je od najvrjednije bonitetne kategorije. Slični su i rezultati negativnih bonitetnih kategorija. Kategorija nepogodnih područja lokalizirana je na izrazito maloj površini te je s udjelom od 0,07% druga najmanje zastupljena kategorija na promatranom području. Može se zaključiti kako u porječju Slapnice postoje izrazite varijacije u zastupljenosti pojedinih bonitetnih kategorija što je posljedica dodijeljenih vrijednosti odabranih kriterija.

**Tab. 14.** Površine i udjeli bonitetnih kategorija u porječju Slapnice

<b>RAZRED</b>	<b>POVRŠINA (KM<sup>2</sup>)</b>	<b>UDIO (%)</b>
vrlo nepogodno područje	0,22	0,53
nepogodno područje	0,01	0,07
pretežito nepogodno područje	0,26	0,62
relativno nepogodno područje	5,25	12,47
pretežito manje vrijedno područje	33,53	79,02
relativno manje vrijedno područje	1,63	3,86
pretežito vrijedno područje	1,25	2,96
vrlo vrijedno područje	0,18	0,43
najvrjednije područje	0,02	0,04



**Sl. 39.** Udjeli bonitetnih kategorija u porječju Slapnice

Analizom prostornog rasporeda bonitetnih kategorija (sl. 40) vidljivo je kako se područja najveće vrijednosti georaznolikosti podudaraju s područjima gdje se preklapaju specifični krški, fluvijalni i fluviokrški geomorfološki reljefni oblici. Najvrjednija područja obuhvaćaju pretežito točkaste elemente krških i fluviokrških reljefnih oblika veličine od jednog do par rastera. Radi jasnije vizualizacije izrađena je buffer zona od 150 m oko najvrjednijih područja za istraživanje i edukaciju. Na taj način dobiveno je 9 zona najveće georaznolikosti. Budući da kriteriji reljefnih obilježja i estetske vrijednosti imaju najveći broj bodova oni su ujedno i najrelevantniji element određivanja najvrjednijih zona. Sedam od devet zona nalazi su u dolini Slapnice i njezinim pritocima zbog čega je dolina Slapnice područje najveće georaznolikosti na čitavom porječju.

Prva zona najveće georaznolikosti nalazi se u donjem toku Slapnice te obuhvaća elemente fluvijalnog i fluviokrškog reljefa. Glavni elementi georaznolikosti su korito Slapnice usječeno u matičnu stijenu, strukturni brzaci, kaskade u nizu te reljefni oblici aktivnog i reliktnog procesa osedavanja. Navedeni fluvijalni elementi imaju veliku estetsku vrijednost jer pružaju dojmljiv izgled reljefu, ali su zajedno sa sedrenim strukturama, bitan faktor oblikovanja fluviokrškog reljefa što im daje veliku istraživačku i obrazovnu vrijednost.

Druga zona najveće georaznolikosti je dolina potoka Vranjaka. Ova zona može se smatrati zonom najveće georaznolikosti jer se u njoj na relativno maloj površini nalazi nekolicina relevantnih elemenata krškog i fluviokrškog reljefa. Ovo je zona sjecišta dvaju rasjeda zbog čega je tektonska aktivnost imala veliki utjecaj na oblikovanje reljefa ove zone. Primarni reljefni oblik je vodopad Vranjak i osedrena litica preko koje se obrušava. Najznačajniji krški oblici su špilje koje se nalaze u ovoj zoni od kojih je najzanimljivija Vranjačka špilja u sedri. U dolini Vranjaka različiti sedreni oblici predstavljaju izuzetnu istraživačku i obrazovnu vrijednost fluviokrškog reljefa. Najznačajniji oblici aktivnog procesa osedavanja su slapovi na sedri, sedrene kaskade i sedrene pregrade, a odlomljeni reliktni sedreni blok svjedoči o tektonskoj aktivnosti ove zone.

Treća zona nalazi se uzvodno od Vranjaka te je to zona kombiniranog utjecaja fluviokrških i fluviodenudacijskih procesa. Glavne elemente georaznolikosti ove zone čine probojnica i dolinsko suženje koji svjedoče o litologiji i evoluciji doline Slapnice. Proluvijalna plavina velike jaruge sa lijeve strane glavnog toka usmjerava tok blago u desno modificirajući prirodni tok Slapnice. Od ostalih elemenata izdvajaju se slapovi na sedri, kaskade te brzaci uzrokovani ubrzanim tokom dolinskog suženja.

Četvrta i peta zona nalaze se otprilike na polovici toka Slapnice te svjedoče o tektonskoj predisponiranosti i evoluciji doline. Glavnu okosnicu ovih zona čine špilje značajnih hidrogeoloških funkcija, Dolača koja je povremeni ponor i špilja Mramor koja je povremeni izvor, a koje su formirane prije epigenetske faze formiranja doline. U petoj zoni tok Slapnice laktastim skretanjem naglo mijenja svoj smjer što je posljedica rasjeda koji prolazi ovom zonom. Južno od tih zona nalazi se antropogena taložnica koja ima modificirajući utjecaj na prirodni tok Slapnice.

Šesta zona nalazi se u dolini Dubokog potoka gdje je glavni element georaznolikosti kompozitni vodopad Brisalo i formirani sedreni čunj. Nakon sedrene brade voda se u dva odvojena mlaza strmo obrušava na sedreni čunj te je svojom snagom erodirala dolomitnu stijenu u kojoj se formirao vodeni bazen. Vodopad i bazen na njegovom dnu imaju jaki vizualni dojam te su vrijedan element estetske georaznolikosti. Nadalje, uzvodno od vodopada u dolomitu se formirala Zidana pećina u kojoj su pronađeni ostaci zidina koje svjedoče o obrambenoj funkciji špilje što joj daje i arheološku vrijednost.

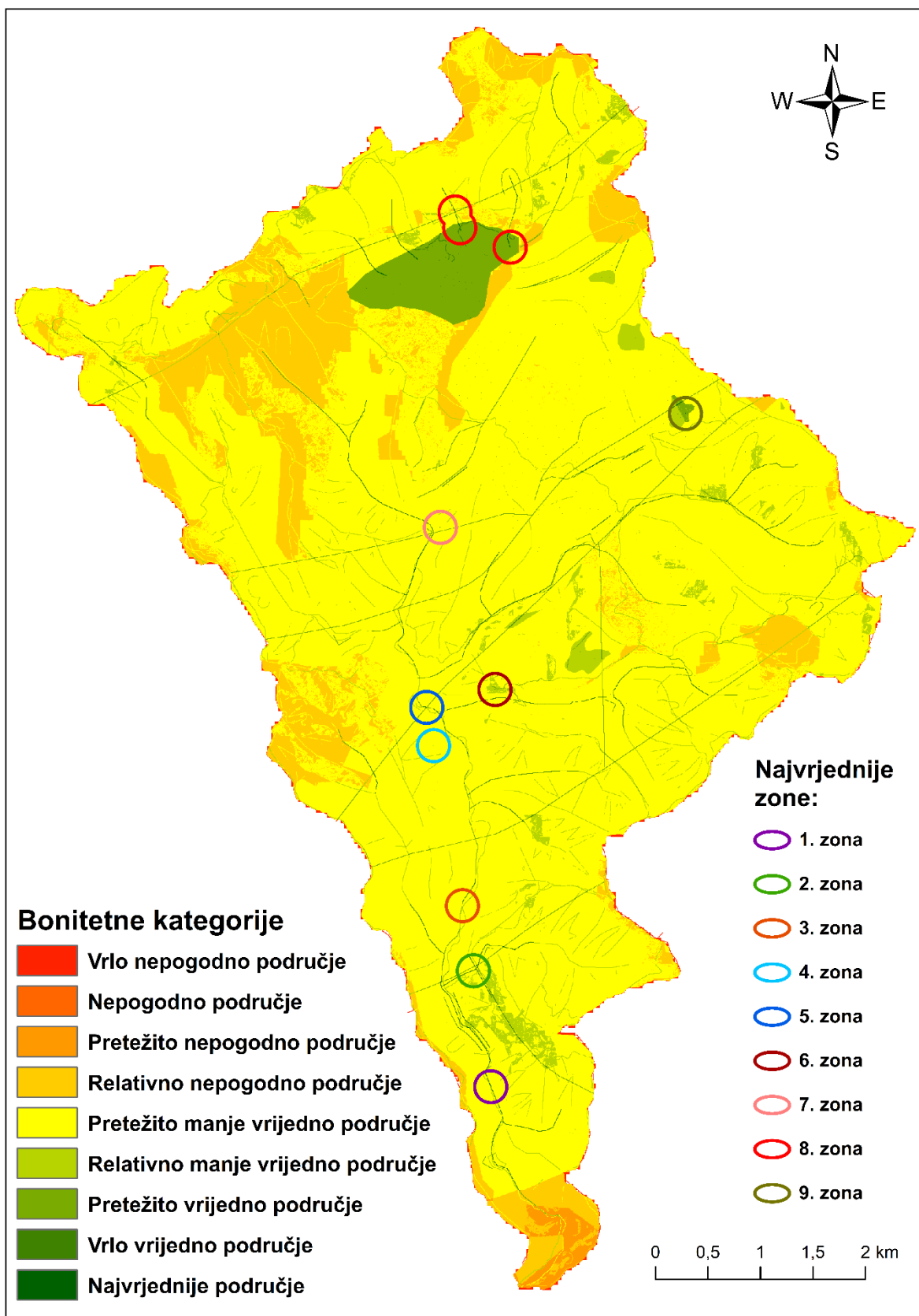
Sedma zona obuhvaća najizraženije laktasto skretanje, špilje te kanjonski dio toka Slapnice. Ovo je tektonski predisponirana zona u kojoj Slapnica zaokreće svoj tok za gotovo 90° nakon čega slijedi dio toka kanjanskog karaktera. Na lijevoj obali toka nalaze se dvije špilje od kojih se jedna nalazi neposredno uz izvor zbog čega je ispunjena vodom. Kanjonski dio toka svjedoči o evoluciji doline te zbog impozantnog izgleda utječe na estetsku vrijednost ovog dijela toka.

Osma zona obuhvaća tri područja kontaktnog fluviokrša. Ovo je ponorska zona u kojoj alogeni tokovi poniru uz rub velikog krškog polja. Istraživačka i obrazovna vrijednost ovog područja proizlazi iz geneze krškog polja srastanjem slijepih dolina, regresijske korozije, o čemu svjedoči reliktna dolina na istoku polja, te alogenog ulaska vode u krško podzemlje.

Deveta zona predstavlja područje u kojem se na maloj površini nalazi nekolicina krških površinskih i podzemnih reljefnih oblika te svjedoči o evoluciji krškog reljefa. Ovo je zona ponikvastog krša u kojoj se između dva izražena grebena nalazi velika uvala ispunjena ponikvama oko koje se nalazi nekolicina jama od kojih je najveća Trzno. Budući da je dostupnost jedan od ključnih kriterija vrednovanja, prostori najdubljih jama ne ulaze u najvrjednije zone zbog njihove teške dostupnosti, bez obzira na njihov značaj u kontekstu georaznolikosti. U ovom slučaju jama Trzno je reprezentativan primjer vertikalnog speleološkog objekta.

U vrlo vrijedna područja ubrajaju se fluviokrške doline izraženih nagiba, rijeke ponornice te područja speleoloških objekata. Pretežito vrijedno područje predstavlja granično krško polje na sjeveru porječja, područje ponikvastog krša te prostor reliktnih dolina. Relativno manje vrijedna područja predstavljaju rasjedi s odrazom u reljefu, područja oko rijeka ponornica te zona kontakta fluviokrškog i fluviodenudacijskog reljefa na jugu porječja. Prostori pretežito manje vrijednih područja nalaze se na čitavom porječju Slapnice dok su relativno nepogodna područja smještena uz rubove porječja. Najveća zona relativno nepogodnih područja nalazi se na sjeverozapadu i to je zona gdje na dolomitnoj podlozi dominiraju fluviodenudacijski procesi. Pretežito nepogodno i nepogodno područje je antropogeno preoblikovan krajnji južni dio doline Slapnice dok se vrlo nepogodna područja nalaze uz vrhove topografskih razvodnica porječja (sl. 40).

Na temelju provedene analize može se zaključiti kako je većina porječja Slapnice pretežito manje vrijedno područje u kontekstu istraživačke i obrazovne vrijednosti georaznolikosti s izraženim razlikama u pojedinim dijelovima porječja. Ovakvi rezultati posljedica su kompleksnosti kriterija i koncentracije najvrjednijih geomorfoloških oblika na malom geografskom području. Ističe se dolina Slapnice sa svojim lijevim pritocima kao područje izuzetne istraživačke i obrazovne vrijednosti. Drugo područje obuhvaća sjeverni i sjeveroistočni dio porječja koji čini prostor kontaktnog fluviokrškog i krškog reljefa. Prema rezultatima analize proizlazi da su najmanje vrijedna područja zapadni i sjeverozapadni dio porječja gdje prevladavaju fluviodenudacijski procesi, krajnji južni dio porječja čiji je reljef izmijenjen ljudskom aktivnošću te prostori oko vršnih točaka najvećih grebena koji čine topografsku razvodnicu.



Sl. 40. Bonitetne kategorije i najvrjednije zone u porječju Slapnice

### 5.7.2.2. Poučne staze

Na temelju dobivenih najvrjednijih zona georaznolikosti izrađena je trasa potencijalnih poučnih staza koja bi povezivala navedene zone. Svrha poučnih staza je edukacija posjetitelja o specifičnostima krškog i fluviokrškog reljefa povezivanjem zona najveće georaznolikosti. Poučne staze uglavnom posjećuju posjetitelji koji predstavljaju ekološki osvješteniji dio populacije te posjeduju višu razinu informiranosti o sadržajima na stazi (Navratil i dr., 2015). Jedan od ciljeva je osvijestiti ostatak populacije o važnosti i osjetljivosti krškog reljefa. Radi što manjih intervencija u reljefu, prilikom izrade trasa potencijalnih staza korišteni su već postojeći planinarski putevi Hrvatskog planinarskog saveza (HPS, 2024), makadamske ceste te pješački putevi preuzeti s mrežne stranice Geofabrik (Geofabrik, 2024).

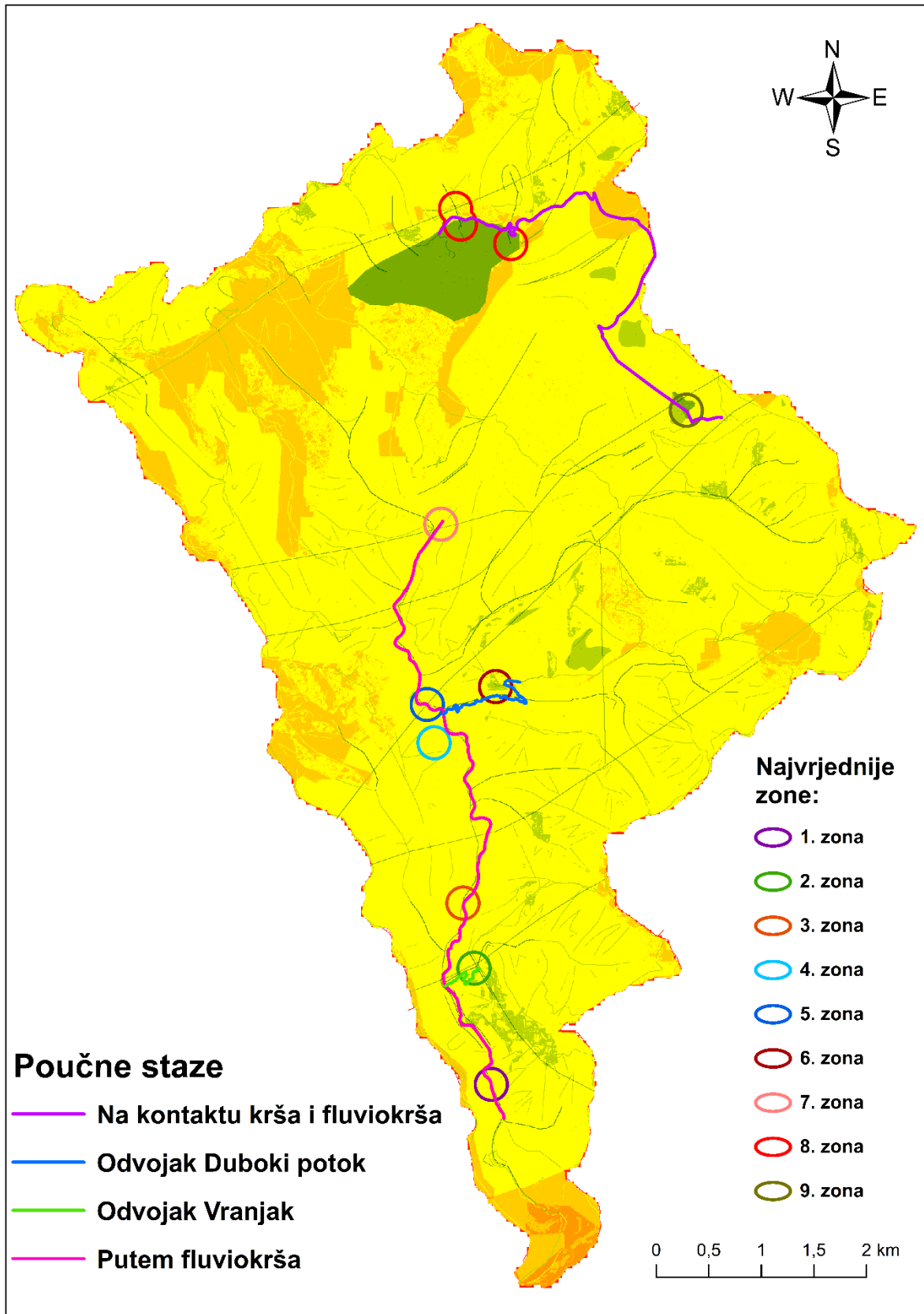
Analizom su određene dvije glavne linijske poučne staze: poučna staza „Putem fluviokrša“, sa odvojcima Vranjak i Duboki potok, i poučna staza „Na kontaktu krša i fluviokrša“ (tab. 15, sl. 41). Poučna staza „Putem fluviokrša“ dugačka je 7,08 km te povezuje zone najveće georaznolikosti u dolini Slapnice. Poučna staza „Na kontaktu krša i fluviokrša“ dugačka je 5,64 km te povezuje najvrjednija područja kontaktnog fluviokrša i zonu s koncentriranim krškim površinskim i podzemnim reljefnim oblicima (sl. 41).

**Tab.15.** Predložene poučne staze u porječju Slapnice i njihova duljina

<b>POUČNA STAZA</b>	<b>DULJINA (KM)</b>
Putem fluviokrša	7,08
Odvojak Vranjak	0,64
Odvojak Duboki potok	1,55
Na kontaktu krša i fluviokrša	5,64

Poučna staza „Putem fluviokrša“ educirala bi posjetitelje o postanku i evoluciji fluviokrške doline Slapnice te nastanku fluvijalnih, krških i fluviokrških reljefnih oblika. Odvojci Vranjak i Duboki potok služili bi za edukaciju o posebnostima sedre i njezinih tvorbi u fluviokrškom reljefu. Također bi mogli poslužiti kao mjesta za odmor posjetitelja poučne staze podno impozantnih vodopada.





Sl.41. Predložene rute poučnih staza

## 6. Zaključak

Područje jugoistočnog Žumberačkog gorja karakteriziraju brojne doline koje se izmjenjuju s grebenima čineći karakterističan rebrasti reljef. Većina Žumberačkog gorja izgrađena je od dolomita zbog čega prevladava fluviokrški reljef sa svojim karakterističnim reljefnim oblicima. Raznolikost bioloških komponenti prepoznata je i zaštićena u okviru parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje dok jedini prepoznati i nedovoljno valorizirani geolokalitet predstavlja dolina rijeke Slapnice. Na području istraživanja razvijena je relativno gusta mreža površinskih tokova, dok na području krškog reljefa prevladava podzemno otjecanje vode. Na temelju analize izdvojena su najveća porječja: Slapnice, Puškarovog jarka, Stiske i Žumberačke rijeke. Porječja uglavnom pokazuju slične hidrološke i morfološke karakteristike, a izdvaja se porječje Slapnice. Na temelju provedene analize, porječje Slapnice određeno je kao reprezentativan primjer fluviokrškog reljefa na području jugoistočnog Žumberačkog gorja. Kombiniranim utjecajem endogenih i egzogenih sila, u porječju Slapnice su se razvili specifični oblici fluvijalnog, fluviokrškog, krškog i fluviodenudacijskog reljefa koji predstavljaju temelj georaznolikosti Slapnice. Rezultati geoekološkog vrednovanja za određivanje najpogodnijih područja za obavljanje aktivnosti vezanih uz istraživanje i edukaciju pokazuju kako je većina područja pretežito nepogodna za navedene aktivnosti, uz iznimku same doline Slapnice i sjevernog i sjeveroistočnog dijela porječja koji imaju veliku istraživačku i obrazovnu vrijednost. Na temelju najvrjednijih zona predložena je ruta poučnih staza koja bi poslužila za daljnje istraživanje i edukaciju stanovništva o osjetljivosti, važnosti i specifičnosti fluviokrškog i krškog reljefa koji predstavlja jedinstvenu geobaštinu Republike Hrvatske.

## 7. Popis literature i izvora

### 7.1. Popis literature

Barišić, A., 2021: Speleostatistika, *Subterranea Croatica* 19 (1), 95-96.

Bastian, O., 2002: Landscape Ecology – towards a unified discipline?, *Landscape Ecology* 16 (1), 757-766.

Bočić, N., 2020: Geomorfologija krša na području Oštarije – Tounj i njezin značaj u geomorfološkoj evoluciji šireg područja/Karst geomorphology in the Oštarije – Tounj area and its significance in the geomorphological evolution of the broader area, *Hrvatski geografski glasnik* 82 (2), 5-37.

Bočić, N., Buzjak, N., 1998: Speleomorphology of dry passage in Provala cave (Croatia), *Acta Carsologica* 27 (2), 25-40.

Bočić, N., Pahernik, M., Bognar, A., 2010: Geomorfološka obilježja Slunjske zaravni, *Hrvatski geografski glasnik* 72 (2), 5-23.

Bognar, A., 1979: Uloga i zadaci geomorfologije u proučavanju i zaštiti okoliša, *Geographica Slovenica* 9 (1), 127-130.

Bognar, A., 1990: Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reljefa, *Hrvatski geografski glasnik* 52 (1), 49-64.

Bognar, A., 1992: Inženjerskogeomorfološko kartiranje, *Acta Geographica Croatica* 27 (1), 173-184.

Bognar, A., 1994: Geomorfološke značajke reljefa Zagreba i njegove šire okolice, *Geografski horizont* 40 (2), 27-34.

Bognar, A., 1996: Fizičko-geografske pretpostavke regionalnog razvoja Hrvatske, u: Pepeonik, Z. (ur.): *I. Hrvatski geografski kongres, geografija u funkciji razvoja u Hrvatskoj*, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 51-65.

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 34 (1), 7-29.

Bognar, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N. 2012: Recent Landform Evolution in the Dinaric and Pannonian Regions of Croatia in: *Recent Landform Evolution*. Lóczy, D., Stankoviansky, M., Kotarba, A. (ur.). Heidelberg, London, New York: Springer, 313-344.

Bognar, H.I., Bognar, A., 2010: Povijesni razvoj i političko-geografska obilježja granice i pograničja Republike Hrvatske s Republikom Slovenijom na Žumberku i Kupsko-čabranskoj dolini, *Geoadria* 15 (1), 187-224.

Bogunović, M., Vidaček, Ž., Racz, Z., Husnjak, S., Sraka, M., 1997: Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba, *Agronomski glasnik* 59 (5-6), 363-399.

Bonacci, O., Roje-Bonacci, T., 2006: Sedra, *Hrvatska Vodoprivreda* 161 (15), 12-17.

Božić, V., 1971: Speleološki objekti kanjona Slapnice, *Naše planine* 9-10 (1), 213-216.

Božić, V., 1987: Kuda na speleološki izlet, U Samoborsko i Žumberačko gorje, *Bilogorski planinar* 22 (1), 10-15.

Butorac, V., Cvitković, M., 2020: Geoekološka analiza u procjeni utjecaja na okoliš - Primjer buduće akumulacije Kosinjskog jezera u Lici/Geoecological analysis in environmental impact assesment - An example of the future accumulation of Kosinjsko jezero in Lika, *Acta Geographica Croatica* 45/46 (1), 15-32.

Buzjak, N., 1994: Onečišćenje podzemlja u kršu (na primjeru Medjama kraj Samobora), *Priroda* 84 (801-802), 13-14.

Buzjak, N., 2002: Speleološke pojave u parku prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“, *Geoadria* 7 (1), 31-49.

Buzjak, N., 2006: Geomorfološke i speleomorfološke značajke Žumberačke gore i geoekološko vrednovanje endokrškog reljefa, disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb.

Buzjak, N., 2006: Speleološki katastar parka prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“, *Subterranea Croatica* 4 (6), 47-52.

Buzjak, N., 2008: Geoekološko vrednovanje speleoloških pojava Žumberačke gore, *Hrvatski geografski glasnik* 70 (2), 73-89.

Buzjak, N., Buzjak, S., Orešić, D., 2011: Florističke, mikroklimatske i geomorfološke značajke ponikve Japage na Žumberku (Hrvatska), *Šumarski list* 135 (3-4), 127-136.

- Buzjak, N., Perica, D., Gregurić, Z., 1996: Speleološki objekti Samoborskog gorja, u: Pepeonik, Z. (ur): *1. Hrvatski geografski kongres, geografija u funkciji razvoja u Hrvatskoj*, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 143-150.
- Buzjak, N., Rašić, I., Rubinić, T., 2004: Špilja Drobovnik, *Subterranea Croatica* 2 (3), 34-39.
- Crkvenčić, I., 2002: Žumberačka Gora – Transformation from a Refuge to an Exodus Zone, *Migracijske i etničke teme* 18 (4), 289-306.
- Čanjevaca, I., 2013: Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik* 75 (1), 23-42.
- Čirjak, B., R., Mamut, M., 2016: Geoekološko vrednovanje reljefa otoka Hvara s aspekta poljodjelske valorizacije, *Socijalna ekologija* 25 (3), 211-234.
- Demek, J., 1972: *Manual of detailed geomorphological mapping*, International Geographic Union, Academia, Prag.
- Drdoš, J., 1994: Environmental research in Slovakia: foundation, current state, perspectives, *Geograficky Casopis* 46 (2), 117-129.
- Dugački, Z., 1949-50, Žumberačka gora, *Hrvatski geografski glasnik* 11-12 (1), 97-116.
- Dujmović, I., Bognar, A., 1995: Temeljne strukturnogeomorfološke značajke sjeveroistočnog dijela masiva Žumberačke gore (Samoborsko gorje), *Hrvatski geografski glasnik* 57 (1), 21-35.
- Ford, D., Williams, P., 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex.
- Gorjanović-Kramberger, D., 1894: *Geologija gore Samoborske i Žumberačke*, Rad JAZU 120, 1-82.
- Gray, M., 2004: Valuing Geodiversity in: *Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 65-132.
- Gray, M., 2008: Geodiversity: developing the paradigm, *Proceedings of the Geologists Association* 119 (3-4), 287-298.
- Gray, M., 2013: *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature, 2nd edition*. Wiley Blackwell, Chichester.

Gray, M., 2018: The confused position of the geosciences within the “natural capital” and “ecosystem services” approaches, *Ecosystem Services* 34 (1), 106-112.

Gušić, I., Babić, Lj., 1970: Neke biostratigrafske i litogenetske osobine jure Žumberka, *Geološki vjesnik* 23 (1), 39-55.

Herak, M., 1968: Noviji rezultati istraživanja osnovnih stratigrafskih jedinica u Žumberku, *Geološki vjesnik* 21 (1), 111-116.

Herak, M., 1991: Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu, *Acta Geologica* 21 (2), 67- 69.

Hevesi, A., 2001: About the formation of limestone gorges..., *Acta Geographica Croatica* 35 (1), 57-66.

Hirc, D., 1905: *Prirodni zemljopis Hrvatske*, Tisak i Naklada Antuna Scholza, Zagreb.

Javna ustanova „Park prirode Žumberak – Samoborsko gorje“, 2017: Plan upravljanja „Parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje“ za razdoblje 2017 – 2026, Samobor, <https://www.pp-zumberak-samoborsko-gorje.hr/wp-content/uploads/2024/01/Plan-upravljanja-PPZSG-2017-2026-1-3.pdf> (6.5.2024.).

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3), 259-263.

Lepirica, A., 2006: Geoekološke značajke doline gornjeg toka Une od Martin Broda do Pritoke, *Hrvatski geografski glasnik* 68 (2), 31-55.

Lozić, S., 1995: Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 30 (1), 17-28.

Lozić, S., 1996: Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 31 (1), 41-50.

Mamut, M., 2010a: Primjena metode relativnog vrednovanja reljefa na primjeru otoka Rave (Hrvatska), *Naše more* 19 (3), 260-271.

Mamut, M., 2010b: Geoekološki i turistički potencijal krajolika otoka Ugljana, *Socijalna ekologija* 19 (3), 247-271.

Mamut, M., 2010c: Geoekološko vrednovanje reljefa otoka Pašmana, *Geoadria* 15 (2), 241-267.

- Mayer, B., Vrbek, B., 1995: Structure of soil cover on dolomites of Samobor and Žumberak hills, *Acta Botanica Croatica* 54 (1), 141-149.
- Miklos, L., 1994: Research Report, u: *Spatial Organization of the Landscape*. Department of Geography and International Development Studies, Roskilde University, Roskilde, 89-103.
- Navratil, J., Knotek, J., Picha, K., 2015: The significance of self-guided interpretive trails in protected areas for the environmental education of visitors, *Socijalna ekologija* 24 (1), 5-21.
- Nejašmić, I., Toskić, A., 2016: Ostarjelost stanovništva seoskih naselja Republike Hrvatske, *Migracijske i etničke teme* 32 (2), 191-219.
- Pahernik, M., 1998: Utjecaj klime i reljefa na intenzitet površinske korozije karbonata gorske skupine Velike Kapele, *Acta Geographica Croatica* 33 (1), 47-57.
- Pahernik, M., 2007: Digitalna analiza padina otoka Raba, *Geoadria*, 12 (1), 3-22.
- Pahernik, M., 2012: Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, *Hrvatski geografski glasnik* 74 (2), 5-26.
- Pahernik, M., Buzjak, N., 2006: Geomorfološka karta Žumberka i Samoborskog gorja 1:100 000, *Geomorfološka baza podataka*, Zagreb.
- Pavičić, I., Dragičević, I., Vlahović, T., Grgasović, T., 2017: Fraktalna analiza pukotinskih sustava u gornjotrijaskim dolomitima u području Žumberka, Hrvatska, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 32 (3), 1-13.
- Pedley, H.M., 1990: Classification and environmental models of cool freshwater tufas, *Sedimentary Geology* 68 (1-2), 143-154.
- Pleničar, M., Premru, U., 1977: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Novo Mesto L 33-79*, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Poljak, J., 1933: Nekoje pećine Zagrebačke i Samoborske gore, *Hrvatski planinar* 9 (1), 256-263.
- Radoš, D., Lozić, S., Šiljeg, A., 2012: Morfometrijske značajke šireg područja Duvanjskog polja, Bosna i Hercegovina, *Geoadria* 17 (2), 177-207.
- Riđanović, J., 1993: Tekućice, u: Jelić, T. (ur.): *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb, 121-147.

- Roglić, J., 1957: Zaravni na vapnencima, *Hrvatski geografski glasnik* 19 (1), 103-131.
- Sakač, K., 1953: Kratki historijat speleologije u Hrvatskoj, *Speleolog* 1 (1), 2-7.
- Saletto-Janković, M., 1994: The role of geomorphological research in geoecology, *Acta Geographica Croatica* 29 (1), 37-44.
- Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1979: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Zagreb L 33-80*, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Škunca, O., 2003: *Program zaštite okoliša Zagrebačke županije*, OIKON.
- Šoštarić, R., Sedlar, Z., Mareković, S., 2013: Flora i vegetacija Sopotskog slapa i gornjeg toka Kupčine (Park prirode Žumberak – Samoborsko gorje) s prijedlogom mjera zaštite, *Glasnik Hrvatskog botaničkog društva* 1 (2), 4-17.
- Štefan, L., Stingl, S., Čanković, T., Maslač, J., Sekulić, S., Mrvelj, M., 2020: Topografija i reambulacija Žumberačkog gorja, *Annales Instituti Archaeologici* 16 (1), 163-179.
- Šuklje, F., 1927: U dolini Slapnice i na Cerinskom viru, *Hrvatski planinar* 9 (1), 129-130.
- Tandarić, N., Buzjak, N., Bočić, N., Dubovečak, V., Lacković, I., Zastavniković, I., Tomić, D., 2018: Fizičkogeografska analiza i geoekološko vrednovanje potencijalno zaštićenog područja - primjer doline Kupčine/Physical geographical analysis and geoecological assessment of potential protected area – the example of the Kupčina river valley, Zagreb County, Croatia, *Hrvatski geografski glasnik* 80 (1), 27-59.
- Tišljar, J., 2001: Sedimentologija karbonata i evaporita, *Geologica Croatica* 54 (2), 279-280.
- Tomašković, D., 2012: Špilja Dolača, *Subterranea Croatica* 10 (14), 20-21.
- Turk, I., Šimunić, N., Živić, D., 2016: Prometna dostupnost kao čimbenik depopulacije i razvojnoga zaostajanja: primjer Žumberka, *Društvena istraživanja* 25 (2), 241-266.
- Vevec, I., 2020: Sedra na rijeci Zrmanji kao nedovoljno istraženi i valorizirani geomorfološki fenomen, *Acta Geographica Croatica* 45/46 (1), 69-83.
- Vidaček, Ž., Husnjak, S., 2023: Primjena Hidropedološke karte Republike Hrvatske i klimatske promjene, *Agronomski glasnik* 85 (5-6), 165-182.
- Vujnović, T., 2011: Springs in the Žumberak – Samoborsko gorje nature park, *Natura Croatica* 20 (1), 19-34.



Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13, 15/18).

Zwickwer, G., Žeger Pleše, I., Zupan, I., 2008: *Zaštićena geobaština Republike Hrvatske*, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.

Želle, M., 2014: Arheološka istraživanja špilje Židovske kuće kod Cerovice u Žumberku, *Subterranea Croatica* 12 (16), 36-39.

## 7.2. Popis izvora

CopernicusEu, 2023: CORINE Land Cover, CLC (2018), <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (17.11.2023.).

Državni Hidrometeorološki zavod (DHMZ), 2022: Infrastruktura; prizemna meteorološka mjerenja; klimatološke postaje, Sošice, [https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze\\_postaja&param=pmm&el=klimatoloske](https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja&param=pmm&el=klimatoloske) (28.5.2024.).

Digitalna pedološka karta Hrvatske, 2023: [http://pedologija.com.hr/iBaza/DPK-Hr\\_2021/index.html#2/44.7/16](http://pedologija.com.hr/iBaza/DPK-Hr_2021/index.html#2/44.7/16) (15.11.2023.).

Digitalni model reljefa 5x5 m, Arhiva Geografskog odsjeka PMF-a.

Geofabrik, 2024: Open street maps, roads. <http://download.geofabrik.de/europe/croatia.html> (15.6.2024.).

Geoportal DGU, 2023: Topografska karta, 1: 25000, WMS servis, <https://geoportal.dgu.hr/#/menu/podaci-i-servisi> (23.10.2023.).

Hrvatski planinarski savez (HPS), 2024: Interaktivna planinarska karta Hrvatske, planinarski putevi, Žumberačka gora, <https://www.hps.hr/karta/> (15.6.2024.)

Speleološki klub „Samobor“, 2024: Katastar speleoloških objekata, <https://speleo-klub-samobor.hr/category/speleoloski-katastar/> (27.5.2024.).

Topografska karta 1: 25000, Gauss-Krüger 5. zona, listovi: 319-2-4, 319-4-2, 320-1-3 i 320-3-1, Arhiva Geografskog odsjeka PMF-a.

Vektorski sloj speleoloških objekata na području istraživanja, Arhiva Geografskog odsjeka PMF-a.

## **Prilozi**

### **Popis slika:**

- Sl.1.** Prostorni obuhvat i geografski položaj područja istraživanja
- Sl.2.** Geomorfološki položaj područja istraživanja
- Sl.3.** Geološka karta područja istraživanja
- Sl.4.** Udjeli hipsometrijskih razreda u ukupnoj površini područja istraživanja
- Sl.5.** Hipsometrijska karta područja istraživanja
- Sl.6.** Udjeli kategorija nagiba padina u ukupnoj površini područja istraživanja
- Sl.7.** Kategorije nagiba padina na području istraživanja
- Sl.8.** Udjeli kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa u ukupnoj površini područja istraživanja
- Sl.9.** Kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa na području istraživanja
- Sl.10.** Udjeli ekspozicija padina na području istraživanja
- Sl.11.** Kategorije ekspozicija padina na području istraživanja
- Sl.12.** Udjeli kategorija profilne zakrivljenosti padina u ukupnoj površini područja istraživanja
- Sl.13.** Karta profilne zakrivljenosti padina na području istraživanja
- Sl.14.** Udjeli kategorija planarne zakrivljenosti padina u ukupnoj površini područja istraživanja
- Sl.15.** Karta planarne zakrivljenosti padina na području istraživanja
- Sl.16.** Klimatski dijagram srednjih mjesečnih vrijednosti temperature zraka i količine padalina klimatološke postaje Sošice u razdoblju od 1996. do 2023. g.
- Sl.17.** Strahlerova klasifikacija tekućica na području istraživanja
- Sl.18.** Porječja na području istraživanja s karakterističnim poprečnim profilima
- Sl.19.** Pedološka karta istraživanog područja
- Sl.20.** Klase zemljišnog pokrova prema CORINE-u 2018. na području istraživanja
- Sl.21.** Postojeće kategorije zaštite na području istraživanja
- Sl.22.** Gustoća dolinske mreže na području istraživanja
- Sl.23.** Prostorna gustoća rasjeda na području istraživanja
- Sl.24.** Prostorna gustoća hidrogeoloških elemenata na području istraživanja
- Sl.25.** Prostorna gustoća ponikava na području istraživanja

- Sl.26.** Prostorna gustoća speleoloških objekata na području istraživanja
- Sl.27.** Trodimenzionalni model porječja Slapnice
- Sl.28.** Udio morfogenetskih tipova reljefa u porječju Slapnice
- Sl.29.** Geomorfološki oblici unutar korita Slapnice: brzaci (A), kaskade u nizu (B), priobalni sprud (C), riječni otok (D)
- Sl.30.** Fluviokrška dolina Dubokog potoka (A) i probojnica fluviokrške doline Slapnice (B)
- Sl.31.** Vodopad Brisalo i sedreni čunj
- Sl.32.** Vranjački vodopad i osedrena litica preko koje se prelijeva
- Sl.33.** Sedreni blok i njegova primarna porozna struktura
- Sl.34.** Stromatolitna sedra (A) i fitoklastična sedrena pregrada (B)
- Sl.35.** Speleološki tlocrt špilje Dolače
- Sl.36.** Ulaz u poluspilju podno Vranjačkog vodopada (A) i rezidualni krški humak (B)
- Sl.37.** Velika jaruga u dolini Slapnice
- Sl.38.** Geomorfološka karta porječja Slapnice
- Sl.39.** Udjeli bonitetnih kategorija u porječju Slapnice
- Sl.40.** Bonitetne kategorije i najvrjednije zone u porječju Slapnice
- Sl.41.** Predložene rute poučnih staza

**Popis tablica:**

- Tab.1.** Tablica vrednovanja georaznolikosti porječja Slapnice u svrhu istraživanja i edukacije
- Tab.2.** Površine i udjeli hipsometrijskih razreda na području istraživanja
- Tab.3.** Razredi nagiba padina prema dominantnim procesima
- Tab.4.** Površine i udjeli kategorija nagiba padina na području istraživanja
- Tab.5.** Kategorije i opis kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa
- Tab.6.** Površine i udjeli kategorija vertikalne raščlanjenosti na području istraživanja
- Tab.7.** Površine i udjeli kategorija ekspozicija padina na području istraživanja
- Tab.8.** Površine i udjeli kategorija profilne zakrivljenosti padina na području istraživanja
- Tab.9.** Površine i udjeli kategorija planarne zakrivljenosti padina na području istraživanja
- Tab.10.** Hidrološka obilježja porječja na području istraživanja
- Tab.11.** Analiza dolinske mreže, rasjeda, hidrogeoloških elemenata, ponikva i speleoloških objekata porječja Slapnice, Puškarovog jarka, Stiske i Žumberačke rijeke

**Tab.12.** Površine i udjeli morfogenetskih tipova reljefa u porječju Slapnice

**Tab.13.** Bonitetne kategorije reljefa

**Tab.14.** Površine i udjeli bonitetnih kategorija u porječju Slapnice

**Tab.15.** Predložene poučne staze u porječju Slapnice i njihova duljina