

# Morfogeneza krškog reljefa na području Družanice i Drenovače (Zapadna Medvednica)

---

Vidić, Pava

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:217:980370>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

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



**Pava Vidić**

**Morfogeneza krškog reljefa na području Družanice i  
Drenovače (Zapadna Medvednica)**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2020.**



**Pava Vidić**

**Morfogeneza krškog reljefa na području Družanice i  
Drenovače (Zapadna Medvednica)**

**Diplomski rad**

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

**Zagreb  
2020.**

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

*Hvala mojoj obitelji, prijateljima, Velebitašima i profesorima za podršku, savjete i pomoć.*

*Za moga ćaću i moju prijateljicu Žiku.*

Sveučilište u Zagrebu  
 Prirodoslovno-matematički fakultet  
 Geografski odsjek

Diplomski rad

## **Morfogeneza krškog reljefa na području Družanice i Drenovače (Zapadna Medvednica)**

Pava Vidić

**Izvadak:** Cilj istraživanja je doprinijeti poznavanju površinskog i podzemnog krškog reljefa na području Družanice i Drenovače (Zapadna Medvednica) sa svrhom razumijevanja njegove morfogeneze. Metode rada obuhvaćaju opću i specifičnu morfometrijsku analizu, usporedbu reljefa s geološkom građom odabranog područja te geospeleološku analizu. Kao izvori podataka poslužili su digitalni model reljefa, topografske i geološke karte te podaci iz speleološkog katastra Republike Hrvatske. Reljef na tom području oblikovan je kroz tri faze. Prva faza je razvoj površinske drenažne mreže koja usijeca doline. Drugu fazu karakterizira okršavanje čijim napredovanjem dolazi do razvoja podzemnog otjecanja stvarajući područja ponornih zona, ponikve i speleološke objekte. Treća faza rezultirala je daljnjim napredovanjem procesa iz druge faze te stvaranjem recentnog reljefa.

44 stranica, 25 grafički prilog, 6 tablica, 38 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: geomorfologija, geospeleologija, krš, Medvednica

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

Povjerenstvo: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić  
 doc. dr. sc. Mladen Pahernik  
 doc. dr. sc. Dalibor Paar

Tema prihvaćena: 5. 12. 2019.

Rad prihvaćen: 13. 2. 2020.

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

**Morphogenesis of the karst relief in the area of Družanica and Drenovača (Western Medvednica)**

Pava Vidić

**Abstract:** The aim of the research is to contribute to the knowledge of surface and underground karst relief in the area of Družanica and Drenovača (Western Medvednica) with the purpose of understanding its morphogenesis. Methods of work include general and specific morphometric analysis, comparison of relief with geological structure of the selected area and geospeleological analysis. Digital elevation model, topographic and geological maps and data from the speleological cadastre of the Republic of Croatia were used as sources of data. The relief in this area was formed through three phases. The first phase is the development of a surface drainage network that creates valleys. The second phase is characterized by karstification, whose progression leads to the development of underground runoff, creating areas of sinking zones, sinkholes and speleological objects. The third phase resulted in the further progress of the processes from the second phase and the creation of the recent relief.

44 pages, 25 figures, 6 tables, 38 references; original in Croatian

**Keywords:** geomorphology, geospeleology, karst, Medvednica

**Supervisor:** Neven Bočić, PhD, Associate Professor

**Reviewers:** Neven Bočić, PhD, Associate Professor  
Mladen Pahernik, PhD, Assistant Professor  
Dalibor Paar, PhD, Assistant Professor

**Thesis title accepted:** 05/12/2019

**Thesis accepted:** 13/02/2020

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





## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKA OSNOVA .....	2
3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	4
4. PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	5
4.1. Obuhvat i položaj.....	5
4.2. Geološka građa .....	6
4.3. Geomorfologija.....	7
4.4. Klimatska obilježja .....	8
5. PODACI I METODE RADA.....	9
6. REZULTATI.....	11
6.1. Geomorfološka analiza .....	11
6.1.1. Hipsometrija .....	11
6.1.2. Nagib padina .....	12
6.1.3. Vertikalna raščlanjenost .....	14
6.1.4. Ekspozicija padina.....	16
6.1.5. Krške depresije .....	17
6.1.6. (Paleo)drenažna mreža .....	21
6.2. Geospeleološka analiza.....	24
6.2.1. Jama bijele sige .....	27
6.2.2. Velebitaška jama .....	33
7. RASPRAVA.....	37
8. ZAKLJUČAK .....	39
POPIS LITERATURE I IZVORA .....	40
POPIS SLIKA I TABLICA.....	43

## 1. UVOD

Krš je jedna od prepoznatljivih posebnosti Hrvatske, a raznoliki krški oblici prekrivaju više od polovice državnog teritorija i to 28571 km<sup>2</sup> ili 50,5%. Zato se Hrvatska često ističe i kao tipična krška zemlja - *locus typicus* za sva krška područja svijeta (Matas, 2009). Krš obuhvaća ne samo površinske oblike već i podzemlje, a pukotinsko protjecanje voda i podzemne šupljine su temeljne specifičnosti krša (Roglić, 2004).

Južno od rijeke Save, pravcem SZ-JI, Hrvatskom se proteže pojas Dinarskog krša. Dinarski krš predstavlja klasično krško područje. Inspirirao je prve teorijske koncepcije postanka i razvoja krša, a i danas je predmetom izučavanja mnogih istraživača. Međutim, krških terena ima i izvan pojasa Dinarskog krša, u području Hrvatskog zagorja, Medvednice i Papuka. Vjerojatno zbog blizine atraktivnijeg Dinarskog krša, mnoštva literature o njemu, duljoj tradiciji istraživanja i relativno malih površina, krški tereni sjeverno od rijeke Save, tzv. tereni izoliranog krša (fizički nevezanog uz Dinarski krš) s geografskog i geološkog aspekta gotovo da i nisu bili proučavani i istraživani (Cuković, 1996).

Stoga je cilj ovog diplomskog rada s geomorfološkog i speleološkog aspekta istražiti obilježja jednog manjeg dijela krškog terena sjeverno od rijeke Save, tj. na zapadnom dijelu Medvednice. Konkretno, cilj istraživanja je doprinijeti poznavanju površinskog i podzemnog krškog reljefa na području Družanice i Drenovače na Zapadnoj Medvednici sa svrhom razumijevanja njegove morfogeneze.

Ovaj rad neće obuhvaćati špilju Veternicu i područje Ponikava, a glavni razlog je taj što su do sada detaljnije istraženi u geomorfološkom i geospeleološkom smislu. Upravo zbog njegove slabije istraženosti, rad će se fokusirati na područje Drenovače i Družanice, zapadno od Ponikava.

## 2. TEORIJSKA OSNOVA

Reljef je u stalnom razvoju i izmjeni u vremenu i prostoru. Morfometrijske i morfografske osobine te geneza i evolucija reljefa imaju središnje značenje u geomorfološkim istraživanjima (Bognar, 1987). Krš predstavlja područje kojeg čini poseban površinski i podzemni reljef te prevladavajuća podzemna hidrografska mreža. Ona je nastala kao rezultat cirkulacije vode kao geomorfološkog agensa kroz šupljine i pukotine u topljivim stijinama te njenog korozijskog djelovanja te stijene u podzemlju. Kršu su svojstvene topive stijene smještene na ili blizu površine terena. Proces okršavanja rezultat je prvenstveno kemijskog djelovanja vode otapanjem i odnošenjem otopljenih tvari iz stijenskog masiva (Bonacci, 1987 prema Matas, 2009). Pukotine se međusobno presijecaju i spajaju i tako omogućavaju učinkovito kretanje vode u podzemlju te usmjeravaju njeno destruktivno djelovanje. Djelovanjem vode u podzemlju uže pukotine se postupno razvijaju u sve prostranije kanale, čime stijena zadobiva terciarnu ili kanalsku poroznost (Bočić, 2019). Taj process nastanka i razvoja speleoloških objekata naziva se speleogeneza, a dio je sveukupnog procesa okršavanja (Bočić i Mišur, 2019). Voda korodira stijene što utječe na vertikalne dijelove u speleološkim objektima, dok na području slabije propusnih karbonatnih naslaga, osim korozijom, voda utječe i erozijom što rezultira kanalima manjih nagiba (Stroj, 2010).

Boljem poznavanju krških oblika i pojava u našim nacionalnim i svjetskim razmjerima u velikoj mjeri doprinijela su speleološka istraživanja. Speleologija se najčešće određuje kao skup aktivnosti kojima je cilj istraživanje špilja, jama i drugih podzemnih krških fenomena. Primarni cilj speleološkog istraživanja je izrada speleološkog nacрта špilje ili jame na temelju istraživanja te mjerenja dimenzija i pružanja špiljskih kanala, kao i redoviti monitoring te dokumentiranje opaženih geoloških, morfoloških, hidroloških i drugih svojstava. Stručno i znanstveno istraživanje u speleologiji obuhvaća proučavanje procesa okršavanja (nastanka špilja i jama), hidrogeologije krša, te bogate špiljske faune (Rnjak i dr., 2019).

Speleomorfologija je dio geomorfologije koji istražuje morfologiju špilja te opis i interpretaciju oblika u podzemlju koji nastaju zbog korozije, erozije i loma. Ovaj svijet oblika klasificiran je u velike oblike, koji obuhvaćaju najmanju cijev do najvećih šupljina i najsloženije razgranatih špiljskih sustava, i male oblike, koji nastaju na površini velikih oblika (Bögli, 1980).

Veliku važnost u ovom radu ima geoinformatika - znanost i tehnologija koja se bavi prikupljanjem, obradom, analizom i vizualizacijom prostornih informacija (Anbazhagan, Subramanian i Yang, 2011). To uključuje i DMR (digitalni model reljefa), tj. skup položajno i visinski određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine te je pogodan za daljnju računalnu obradu (URL 1).

Mikroklima podzemlja je važna sastavnica abiotičkih čimbenika osjetljivih krških podzemnih ekosustava, a njeno proučavanje može pomoći u razumijevanju fizikalno-kemijskih procesa koji su oblikovali krški reljef i njegove podzemne oblike i sustave (Paar i Buzjak, 2019).

### 3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje krša u Hrvatskoj ima dugu tradiciju što je i razumljivo kad se uzme u obzir da više od polovice hrvatskog teritorija ima krška obilježja.

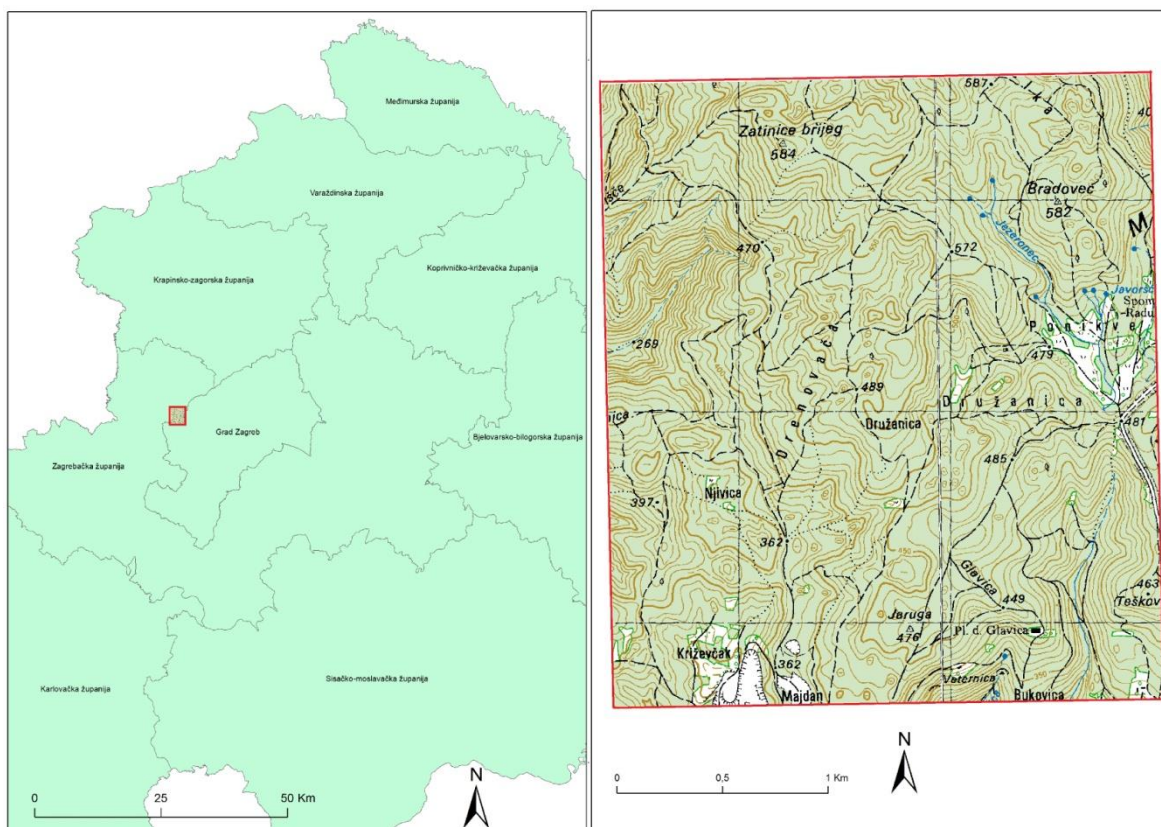
No što se tiče izoliranog krša poput Medvednice, prva istraživanja vezana su uz geološka obilježja prostora, koja su od velikog značaja za razumijevanje današnjih geomorfoloških procesa i oblika. Krešimir Šikić i suradnici (Šikić i dr., 1977) izrađuju Osnovnu geološku kartu i pripadajući Tumač, a 1995. godine Šikić uređuje geološki vodič Medvednice u kojem detaljno objašnjava tektoniku i litologiju (Šikić, 1995). Bognar (2001) diferencira Hrvatsku na geomorfološke regije, subregije do mikrorazine, a Lozić (2001) klasificira i tipizira reljef sjeverozapadne Hrvatske. Pozornost istraživanja je bila manja na prostoru Družanice i Drenovače najviše zbog blizine Veternice koja je postala prioritet u istraživanju najviše zbog svoje veličine. Veternicu prvi put spominje Gorjanović-Kramberger u 19. stoljeću, iako ne spominje samo ime (Gorjanović-Kramberger, 1899). Od tada je glavna tema rada mnogih znanstvenika. Poljak (1934) opisuje speleološka i geološka istraživanja Veternice. Malez (1965) daje opći speleološki pregled, a Božičević (1974) piše o podzemnim krškim fenomenima na Medvednici nabrajajući speleološke objekte i navodeći povijest istraživanja i 1960. o špilji Veternici. U novije vrijeme, istražuje se i piše detaljnije o postanku i uvjetima u prošlosti, primjerice, u radu Lackovića i suradnika (2011). Danas doseže tlocrtnu duljinu od 5996 m što je stavlja na deveto mjesto najduljih speleoloških objekata u Hrvatskoj, a najdulji na Medvednici (Rnjak i dr., 2019). Ipak, postoje zapisi i o jamama koje su tema ovog rada iako ne tako opširno i detaljno kao za Veternicu. Istraživanje Velebitaške jame obavljeno je 05. i 11.03.1973. godine što je rezultiralo nacrtom kojeg su izradili članovi tadašnjeg Speleološkog odsjeka Planinarskog društva Sveučilišta Velebit iz Zagreba i člankom u časopisu Naše planine (Čepelak, 1974). Jama bijele sige je istražena 18.05.1996. godine, a nacrt su izradili članovi Speleološkog kluba Željezničar iz Zagreba. Osim izrade speleoloških nacrtu u obje jame nisu izvedena druga istraživanja. Stoga je motivacija ovog rada bila prikupiti o njima dodatne podatke i proširiti dokumentaciju te kvantitativno obraditi sve poznate speleološke objekte na tom području.

## 4. PROSTORNI OBUHVAT ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 4.1. Obuhvat i položaj

Medvednica je smještena na području sjeverozapadne Hrvatske, sjeverno od grada Zagreba. Predstavlja orografsku cjelinu koja se izdiže između naplavnih riječnih dolina Save, Krapine i Lonje. Proteže se od Podsuseda na jugozapadu do Gornjeg i Donjeg Orešja na sjeveroistoku u dužini od oko 40 km i zauzima površinu od oko 240 km<sup>2</sup>. Njen pravac pružanja je sjeveroistok - jugozapad i suprotan je od tipičnog dinarskog smjera pružanja sjeverozapad - jugoistok. Orografski je relativno jednostavne morfologije. Ističe se gorski hrbat s dvije padine koje su ispresijecane brojnim gorskim rebrima (Šikić, 1995).

Odabrano područje istraživanja nalazi se na jugozapadnom dijelu Medvednice. To je područje Družanice i Drenovače, a okruženo je područjem Ponikve, Podbjelka, Dragoljinec, Glavica, Njivica i Križevčak (Sl. 1.).



Sl. 1. Položaj (Izvor: Središnji registar prostornih jedinica, 2018) i prostorni obuhvat (Izvor: Geoportal DGU) istraživanog područja

## 4.2. Geološka građa

Geološki čimbenici razvoja reljefa Medvednice interpretirani su na temelju Osnovne geološke karte i pripadajućeg tumača (Šikić i dr., 1977) te geoloških istraživanja iz dostupne literature.

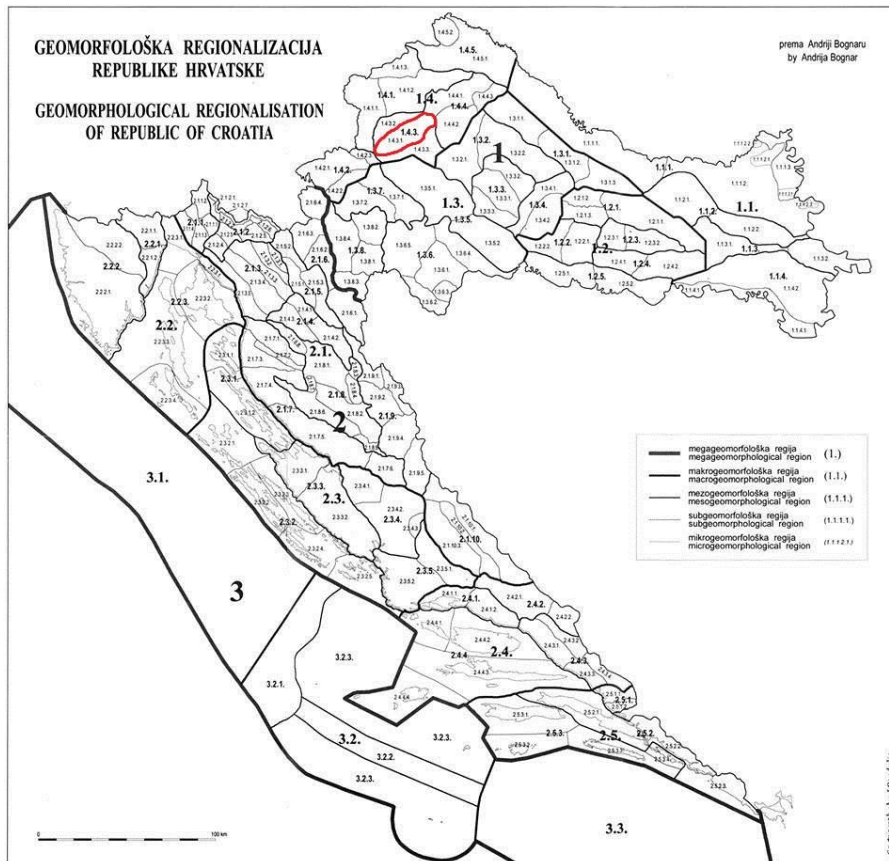
Litološka osnova uvjetuje razvoj krša. Za razliku od ostatka Medvednice, gdje su karbonatne stijene kombinirane sa silikoklastičnim, metamorfnim i vulkanskim stijenama, zapadni dio Medvednice je uglavnom sačinjen od karbonatnih stijena (Šikić, 1995 prema Lacković i dr., 2011). Karbonatne stijene jugozapadne Medvednice zauzimaju površinu od oko 15 km<sup>2</sup> (Šikić i dr., 1979 prema Cuković, 1996). Uže gledano područje, područje Družanice i Drenovače je izgrađeno stijenama srednjeg i gornjeg trijasa (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>) i gornjeg tortona (M<sub>2</sub><sup>2</sup>). Trijaski kompleks stijena zastupljen je dolomitičnim vapnencima, vapnencima i dolomitima. Trijasko stijene navučene su na paleozojske metamorfne i kredne magmatske i klastične stijene. Transgresivno na njih naliježu gornjotortonski biogeni vapnenci (Šikić i dr., 1979). Početkom gornjeg badena počelo je maksimalno širenje marinske transgresije i more je prekrilo šire područje sjeverozapadne Hrvatske pa tako i dio jugozapadnih predjela Medvednice što je vidljivo i u gornjem tortonu (Šikić, 1995). Gornjotortonske naslage izgrađene su pretežno od priobalnih i plitkovodnih marinskih sedimenata. Na raznim brečama i konglomeratima dolaze vapnenački pješčenjaci, litavci, litotamnijski vapnenci te glinovito-pjeskoviti i vapnenački lapori. To su vapnenačke stijene, koje se genetski mogu podijeliti na sediment nastao kao rezultat intenzivne organske aktivnosti, dok drugi tip nosi obilježja klastičnih naslaga s prisustvom terigenog materijala (Šikić i dr., 1979).

Na okršavanje ovog područja pozitivno je utjecala kombinacija litološkog sastava, tektonske poremećenosti i superpozicijski položaj karbonatnih stijena. Visok udio CaCO<sub>3</sub> u trijaskim dolomitičnim vapnencima i naročito u gornjotortonskim vapnencima, te velika tektonska razdrobljenost, posebno trijaskih stijena omogućili su prodiranje vode u podzemlje i njihovo intenzivno otapanje. Transgresivnim položajem gornjotortonskih vapnenaca na trijaskim dolomitičnim vapnencima povećana je debljina karbonatnih stijena, a diskordantna granica između njih još je jedna pogodna zona za podzemni tok vode (Cuković, 1996).



### 4.3. Geomorfologija

Prema Andriji Bognaru (Bognar, 2001), područje istraživanja na Medvednici po njegovoj geomorfološkoj regionalizaciji spada u megamakrogeomorfološku regiju *Panonski bazen*, u makrogeomorfološku regiju *gorsko-zavalsko područje SZ Hrvatske*, mezogeomorfološku regiju *gorski hrbat Medvednice s pred-gorskim stepenicama* i subgeomorfološku regiju *Gorski hrbat Medvednice* (Sl. 2).



Sl. 2. Geomorfološki položaj istraživanog područja u okviru geomorfološke regionalizacije Hrvatske prema Bognaru (2001). Subgeomorfološka regija Gorski hrbat Medvednice, unutar koje se nalazi istraživano područje, označena crvenom bojom

Ovaj dio gorskog hrpta Medvednice oblikovali su različiti egzogeomorfološki procesi od padinskih, krških i fluviokrških. Vodeći je geomorfološki proces oblikovanja krških oblika korozija. Krški i fluviokrški procesi dominiraju kao morfogenetski tipovi reljefa, bilo da je riječ o površinskom dijelu ili o dubinskim dijelovima stijenskih masa koje sudjeluju u sastavu karbonatnog područja. Na istraživanom području uočljivi su egzokrški i endokrški reljefni oblici. To su brojne ponikve, jame, špilje.

Na području Ponikve, koje je u blizini istraživanog područja Družanice i Drenovače, nalaze se tokovi koji se pojavljuju u Veternici koja je nastala na kontaktu vapnenca i dolomita, a dokazano je tehnikom bojanja vode, tj. trasiranja (Božičević, 1976 prema Lacković i dr., 2011).

#### 4.4. Klimatska obilježja

Na klimu promatranog područja utječe niz faktora. Prije svega važan je položaj u umjerenim geografskim širinama. Prema Köppenovoj klasifikaciji, ovdje vlada umjereno topla vlažna klima s toplim ljetima ili klima bukve za što je oznaka Cfb (Šegota, Filipčić, 1996). Karakteristike te klime su da srednja temperatura najhladnijeg mjeseca nije niža od  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a najmanje jedan mjesec ima srednju temperaturu višu od  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nema sušnog razdoblja, svi su mjeseci vlažni te su ljeta topla – srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža je od  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Šegota, Filipčić, 2003). Medvednica, u odnosu na okolne nizinske krajeve, ponaša se kao “otok” u klimatološkim svojstvima, s više oborina, nižim temperaturama, trajanju i količini snježnog pokrivača. Područje Medvednice nalazi se u temperaturnoj zoni u kojoj se temperatura zraka smanjuje za  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  na svakih 100 m. Prema karakteristikama godišnjeg hoda oborine, Medvednica ima obilježje kontinentalnog oborinskog režima s maksimumom oborina u toplom dijelu godine (4 - 9 mjeseca). Prosječna godišnja količina oborina iznosi 1267,5 mm, a godišnje je u prosjeku 93,9 dana pod snijegom. Relativna vlažnost zraka je najviša u hladnom dijelu godine i u pravilu je veća na postajama s većom nadmorskom visinom zbog nižih temperatura, ali i bujnije vegetacije. Ljeti se na Medvednici može naći ugodno osvježenje. Zimi je ponekad prisutna i temperaturna inverzija. Naime, anticiklona se zimi razvija nad hladnim kontinentom. Kada joj je središte blizu, u Zagrebu je hladno i tmurno, a na Sljemenu je toplije. Prosječna godišnja temperatura zraka na Medvednici  $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a u Zagrebu  $11,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (URL 2 i URL 3). Osnovni klimatski elementi, temperatura i padaline, daju sasvim povoljne uvjete za nastanak i razvoj krškog procesa i stvaranje svih onih površinskih i podzemnih oblika kojima krš obiluje.

## 5. PODACI I METODE RADA

Istraživanje je započelo prikupljanjem postojeće literature, analizom prikupljenog te selekcijom na temelju relevantnosti. Nadalje, prilikom kabinetskih istraživanja korištene su topografske karte mjerila 1: 25 000 Vojnogeografskog instituta (listovi 320-2-3 i 320-2-4), Osnovna geološka karta mjerila 1:100 000 list Zagreb (Šikić i dr. 1977) s pripadajućim Tumačem (Šikić i dr., 1979), digitalni model reljefa veličine ćelija 5x5, generiran iz visinskih podataka Državne geodetske uprave u GIS laboratoriju Geografskog odsjeka PMF-a te orohidrografska karta izrađena na temelju navedenih listova topografskih karata. Sljedeći korak odnosi se na metode terenskih istraživanja gdje se neposrednim promatranjem terena i mjerenjem skupljaju podaci. Prikupljena je i vlastita fotografska dokumentacija. Za dolazak do ulaza, ulazak i kretanje kroz speleološke objekte, korištene su različite metode terenskog istraživanja. Da bi se došlo do ulaza speleoloških objekata na području Zapadne Medvednice, korišten je GPS prijemnik Garmin GPSmap 64s. Ulazak u jame na Medvednici (-27 m i -45 m) omogućava tehnika za svladavanje vertikalnih kanala SRT - tehnika jednostrukog užeta. Za takvu djelatnost, potrebno je imati speleološku opremu pomoću koje se oprema vertikalni jamski kanal (polustatičko speleološko uže, različite vrste karabinera, fiksevi, kladio, bušilica, različite pločice itd.) i osobnu speleološku opremu (rasvjeta, kaciga, speleološki pojas, croll, bloker, stop descender - spuštalica s kočnicom, razne vrste karabinera ovisno o namjeni, prsni navez, pupčana vrpca, stremen) (Bakšić i Glušević, 2019). Preduvjet za upotrebu SRT tehnike je završena speleološka edukacija (speleološka škola).

Speleološki nacrti su prethodno izrađeni bez upotrebe digitalnih tehnika te su dostupni u Katastru speleoloških objekata Republike Hrvatske pod katastarskim brojevima HR00513 (Jama bijele sige) i HR 01426 (Velebitaška jama). Stoga je ideja u okviru ovog rada bila dopuniti te nacрте s podacima prikupljenim digitalnim tehnikama. Zato je na prvom izlasku na teren snimljena Jama bijele sige u programu Topodroid uz pomoć tableta i laserskog daljinomjera Leica DistoX310, a stari nacrt Velebitaške jame je digitaliziran. Prikupljeni podaci obrađeni su i dovršeni računalom u programu Corel Draw. Dodatno je za obradu podataka i izradu 3D animacije horizontalnog dijela Jame bijele sige u programu CloudCompare izvedeno skeniranje pomoću Lenovo Phab 2 Pro pri čemu su georeferenciranje korišteni DistoX2 i Topodroid.

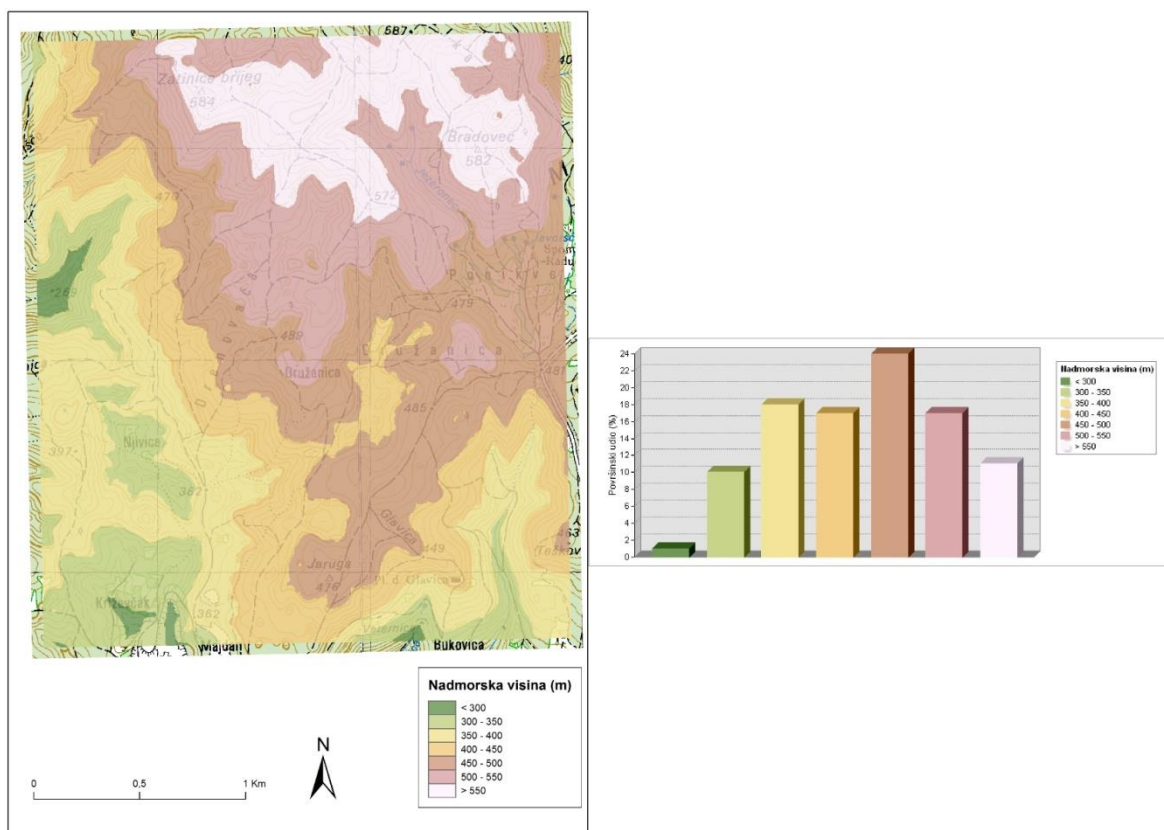
Za kvantitativnu analizu reljefa, koja obuhvaća morfometrijsku analizu odabranog terena, to jest izradu morfometrijskih karata, korišten je digitalni model reljefa (DMR), topografska karta (TK), osnovna geološka karta (OGK) i orohidrografska karta (OHK) u programu ArcGIS 10.7., tvrtke ESRI. Kvalitativna analiza prostora odnosi se na utvrđivanje morfogenetskih čimbenika oblikovanja reljefa, to jest endogenih i egzogenih sila i procesa. Od metoda opće morfometrije u radu je korištena hipsometrija, analiza nagiba padina, analiza vertikalne raščlanjenosti i ekspozicije padina. U okviru hipsometrijske analize podaci su grupirani u kategorije od po 50 m. Nagibi padina određeni su metodom najveće visinske razlike unutar susjedstva 3 x 3 kvadrata, a kategorizirani su u standardnih šest kategorija nagiba koji se koriste u geomorfologiji. Vertikalna raščlanjenost, visinska razlika po jediničnoj površini, mjerena je u jediničnim površinama 1 km<sup>2</sup>, tj. u krugovima radijusa 564 m. Izražena je u m/km<sup>2</sup>, a podaci su svrstani u standardne geomorfološke kategorije. Ekspozicija je utvrđena kao orijentiranost padina u odnosu na osam glavnih i sporednih strana svijeta. Kao izvor podataka korišten je DMR. Specifična morfometrijska analiza obuhvatila je analizu krških depresija te analizu prostornog rasporeda i gustoće ponikava te analizu (paleo)drenažne mreže. Izvor podataka za analizu ponikava bile su topografske karte, a njihova prostorna gustoća određena je *Kernel* metodom i izražena kao broj ponikava/km<sup>2</sup>. Krške depresije definirane su na temelju razlika površina DMR-a i modificiranog DMR-a kojem su sve depresije "ispunjene" do njihovog najnižeg ruba funkcijom *Fill* u sklopu hidroloških analiza programskog paketa ArcGIS. Recentna drenažna mreža se također generirala iz DMR-a korištenjem funkcije *Fill*, a paleodrenažna mreža je ručno crtana na temelju orohidrografske karte. Geospeleološki pristup obuhvatio je analizu prostornog rasporeda speleoloških objekata područja, njihov odnos prema geološkoj podlozi, odnos prema morfometrijskim parametrima i analizu unutarnje morfologije dviju jama: Jama bijele sige i Velebitaška jama koje su odabrane kao reprezentativne za to područje. Mikroklimatska mjerenja u odabranim jamama izvedena su s HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger, (preciznost: ±0.21°C, ±5% RH (>90%)), te s CO2meter 1% CO2 + RH/T Data Logger (preciznost ±30 ppm). Koncentracija radona mjerena je s Tesla TSR3 radon probe (preciznost <18%).

## 6. REZULTATI

### 6.1. Geomorfološka analiza

#### 6.1.1. Hipsometrija

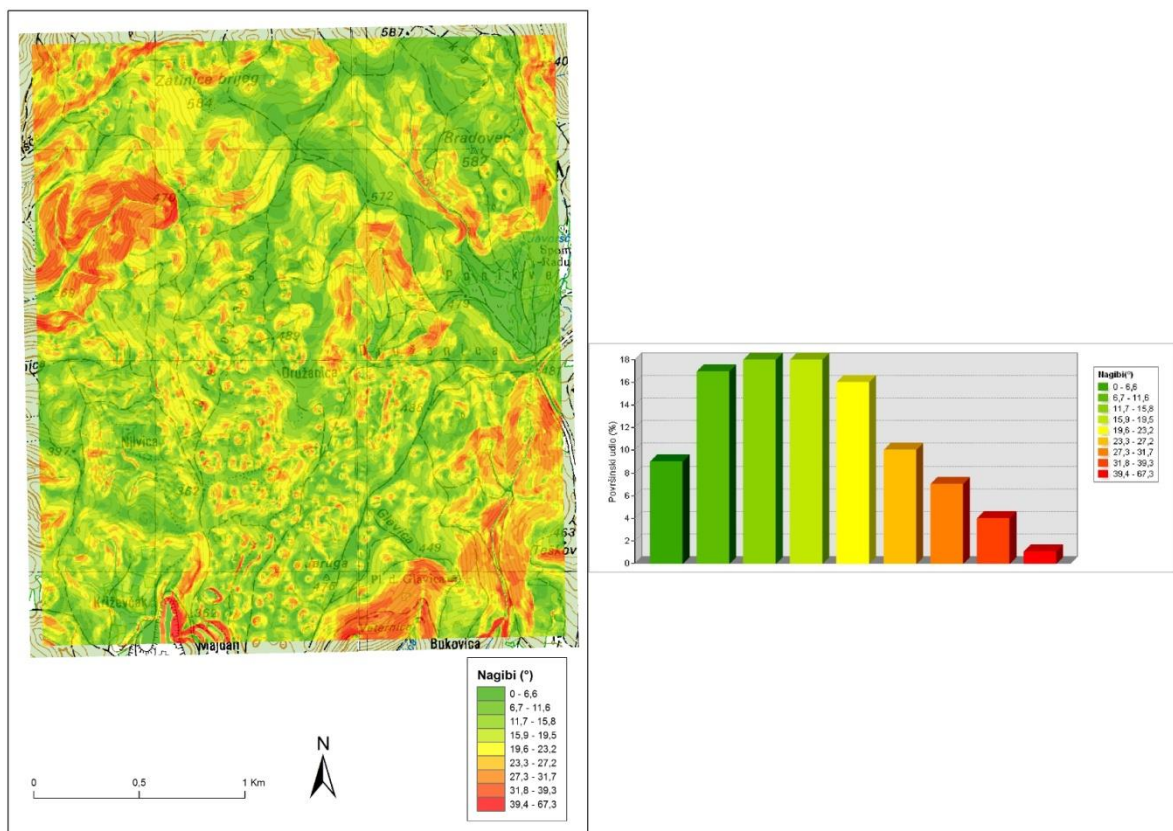
Za potrebe hipsometrijske analize područje je podijeljeno u 7 visinskih razreda u rasponu od 50 m (Sl. 3.). Najniža nadmorska visina odabranog područja je 265 m, a najviša 593 m. Visinski pojasevi su izduženi pravcem sjeverozapad-jugoistok, a uglavnom se pravilno smjenjuju i uvlače od jugozapada prema sjeveroistoku do visine od 593 m. Histogram površinskih udjela hipsometrijskih razreda ukazuje na veliku zastupljenost visinske kategorije 450 m – 500 m, i to oko 24%. Nasuprot tome, visinska kategorija < 300 m zauzima najmanji dio prostora, tek oko 1%. Kategorije s vrijednostima 350 m – 400 m, 400 m – 450 m i 500 m – 550 m zauzimaju približno isti udio površine od oko 17% i 18%. Isto tako kategorija > 500 m i 300 m – 350 m protežu se na oko 10% i 11% područja.



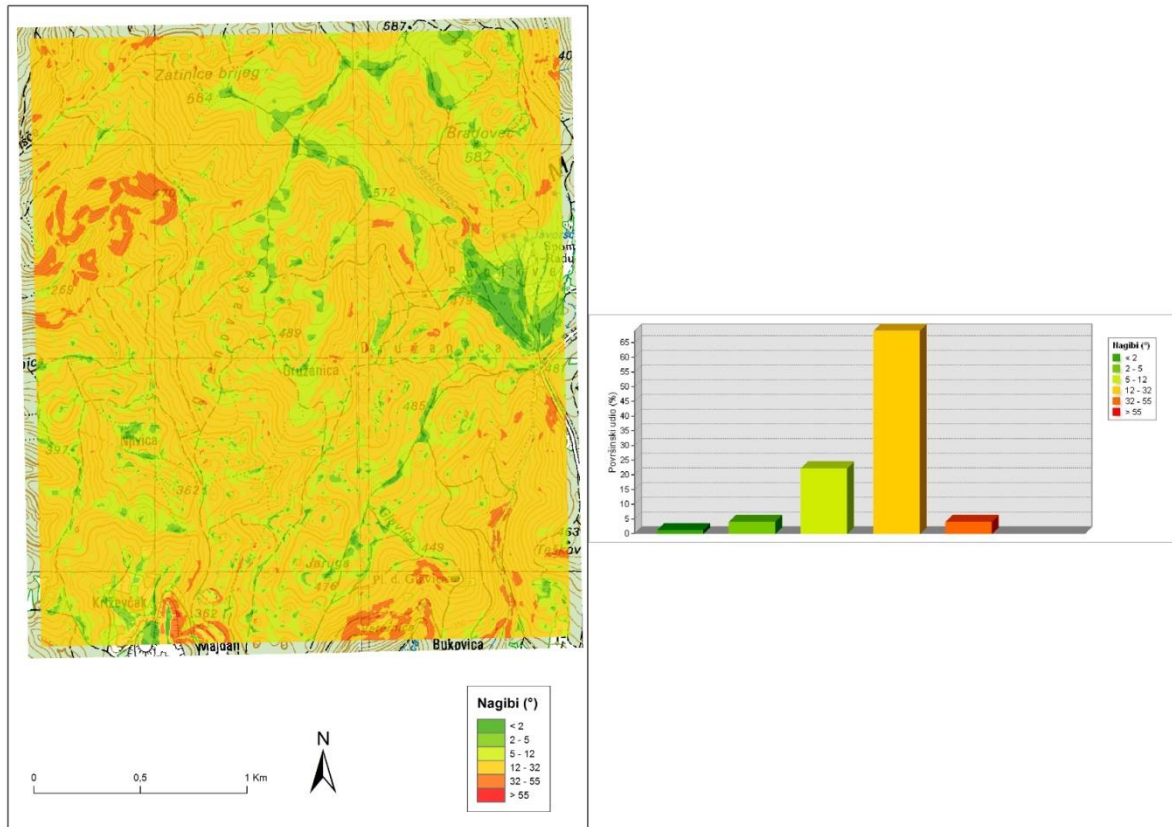
Sl. 3. Hipsometrijska karta područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela hipsometrijskih razreda

### 6.1.2. Nagib padina

Analiza površinskih udjela razreda nagiba pokazuje da oko 69% površine odabranog područja spada u četvrtu kategoriju ( $12^{\circ} - 32^{\circ}$ ) što je prema geomorfološkoj klasifikaciji nagiba padina (Demek, 1972) kategorija jako nagnutog terena, za koji su karakteristični padinski procesi i gdje se pojavljuje snažna erozija, spiranje i jaruženje (Tab.1.). Najmanje je zastupljena šesta kategorija i to samo 0,01%. Najveće područje ravnica i blago nagnutog terena je područje Ponikve, iako i te kategorije zauzimaju po 1,4% i 4,5% terena (Sl. 4. i Sl. 5.).



Sl. 4. Karta nagiba područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela kategorije nagiba s automatski klasificiranim razredima



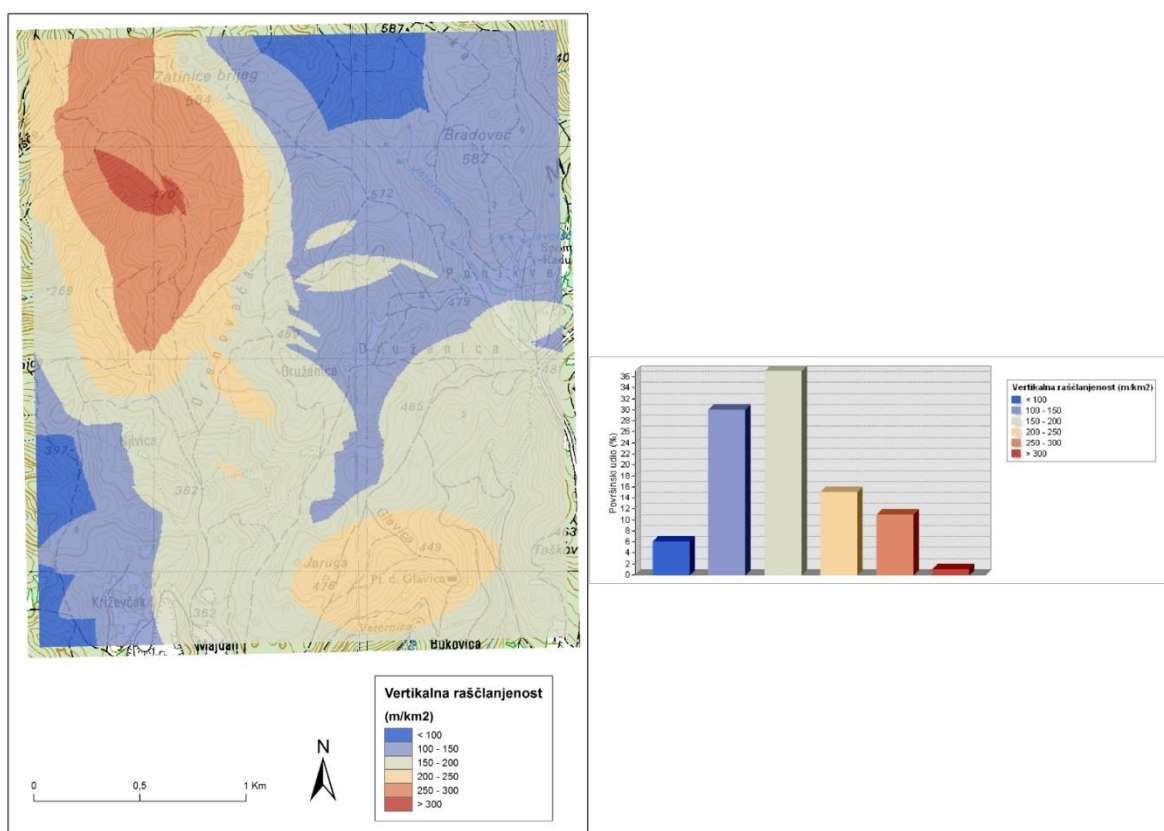
Sl. 5. Karta nagiba područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela kategorije nagiba. Kategorije su prema standardnoj geomorfološkoj klasifikaciji (Demek, 1972)

Tab. 1. Površinski udio kategorija nagiba prema geomorfološkoj klasifikaciji nagiba padina (Demek, 1972)

Redni broj	Nagib ( $^\circ$ )	Opis	Površinski udio
1.	0-2	Ravnice	1%
2.	2-5	Blago nagnuti teren	4%
3.	5-12	Nagnuti teren	22%
4.	12-32	Jako nagnuti teren	69%
5.	32-55	Vrlo strm teren	4%
6.	>55	Strmci	0%

### 6.1.3. Vertikalna raščlanjenost

Znajući da je visinska razlika najviše i najniže točke relativno velika i da teren bilježi značajne stupnjeve nagiba, logično je za očekivati i umjerenu do veliku energiju reljefa, odnosno vertikalnu raščlanjenost reljefa. Utvrđeno je da najniža vrijednost vertikalne raščlanjenosti reljefa istraživanoga područja iznosi  $75 \text{ m/km}^2$ , a najviša vrijednost  $308 \text{ m/km}^2$ . Na temelju utvrđenog raspona između najviše i najniže vrijednosti, određeno je šest kategorija vertikalne raščlanjenosti reljefa po  $50 \text{ m/km}^2$  (Sl. 6.). Uz to, izražena je analiza temeljena na standardnim kategorijama (Gams i dr., 1981 prema Bogonar, 1992). Gotovo cijelo promatrano područje nalazi se unutar četvrte kategorije ( $100 \text{ m/km}^2 - 300 \text{ m/km}^2$ ) vertikalne raščlanjenosti što označava umjereno raščlanjen reljef, dok udio dviju susjednih kategorija nije toliko značajan: slabo raščlanjenog reljefa ( $30 \text{ m/km}^2$  do  $100 \text{ m/km}^2$ ) te izrazito raščlanjen reljef ( $300 \text{ m/km}^2$  do  $500 \text{ m/km}^2$ ) (Sl. 6.). Kategorije zaravnjenog reljefa ( $0 \text{ m/km}^2 - 5 \text{ m/km}^2$ ), slabo raščlanjenih ravnica ( $5 \text{ m/km}^2 - 30 \text{ m/km}^2$ ) i vrlo izrazitog raščlanjenog reljefa ( $> 800 \text{ m/km}^2$ ) uopće nisu zabilježene, a što je i razumljivo jer je dio gorskog hrpta Medvednice (Tab.2.).



Sl. 6. Karta vertikalne raščlanjenosti područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela razreda vertikalne raščlanjenosti

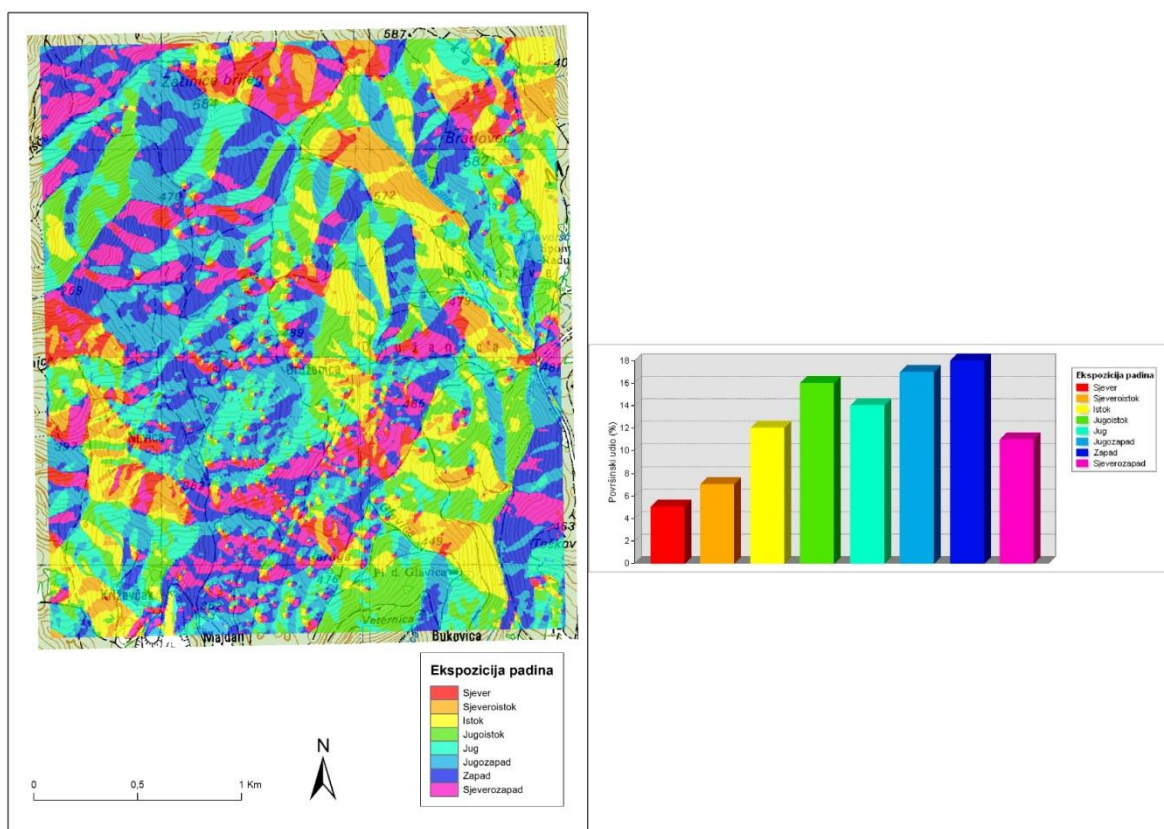


Tab. 2. Površinski udio kategorija vertikalne raščlanjenosti prema standardnoj kategorizaciji raščlanjenosti reljefa (Gams i dr., 1981 prema Bognar, 1992)

Redni broj	Granice kategorija	Naziv kategorija	Površinski udio
1.	0-5 m/km <sup>2</sup>	Zaravnjen reljef	0%
2.	5-30 m/km <sup>2</sup>	Slabo raščlanjene ravnice	0%
3.	30-100 m/km <sup>2</sup>	Slabo raščlanjen reljef	6%
4.	100-300 m/km <sup>2</sup>	Umjereno raščlanjen reljef	93%
5.	300-800 m/km <sup>2</sup>	Izrazito raščlanjen reljef	1%
6.	>800 m/km <sup>2</sup>	Vrlo izrazito raščlanjen reljef	0%

#### 6.1.4. Ekspozicija padina

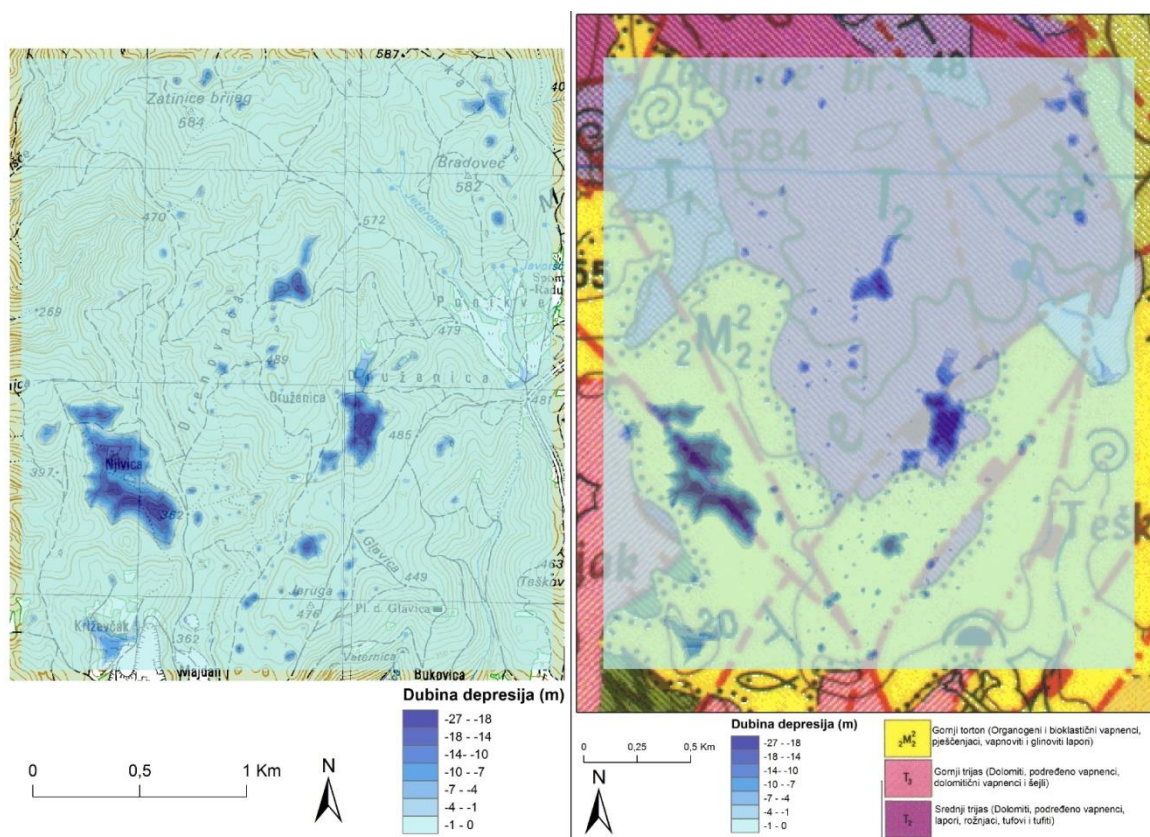
Ekspozicija, tj. orijentiranost padina u odnosu na strane svijeta (Sl. 7.), na području Družanice i Drenovače ukazuje na egzogeni značaj. Sjeverne ekspozicije dulje su pod utjecajem snijega, dok su južne padine izloženije procesima koji su uvjetovani dnevnom temperaturnom amplitudom s maksimumom iznad, a minimumom ispod 0°C. Iz karte ekspozicije i histograma je vidljivo da prevladava zapadna ekspozicija (18%) i jugozapadna (17%), jugoistočna (16%) i južna (14%) što odgovara smještaju na jugozapadnoj strani Medvednici.



Sl. 7. Karta ekspozicije padina s histogramom površinskih udjela ekspozicije padina

### 6.1.5. Krške depresije

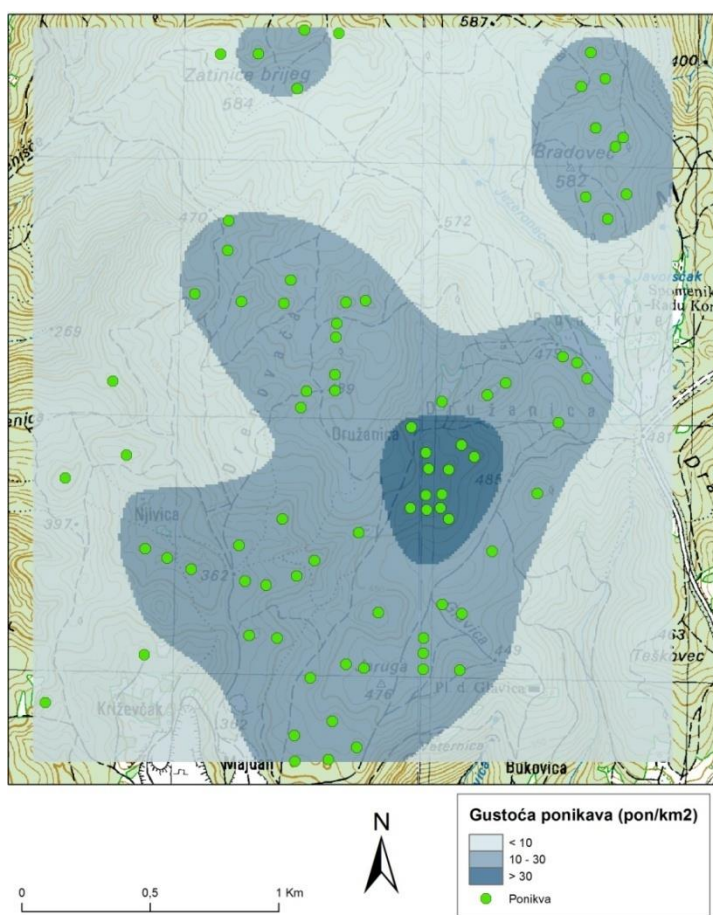
Zbog podzemnog odvodnjavanja u kršu oblikuju se zatvoreni oblici – krške depresije. Analiza krškog reljefa pokazala je da je oko 7% terena predstavljeno krškim depresijama, a to su ponikve i uvale čija dubina ne prelazi 27 m. Najveća krška depresija je uvala na području Njivice. Izduženog je oblika, širine oko 300 m, duljine oko 800 m te dubine do 27 m, a smjer pružanja je sjeverozapad-jugoistok. Nalazi se u rasjednoj zoni na miocenskim stijenama. Sljedeća velika krška depresija je na području Družanice, izduženog oblika širine oko 150 m, duljine oko 400 m i dubine 27 m, sa smjerom pružanja sjever-jug. To je prostor najveće gustoće ponikava. Nalazi se u blizini rasjeda i kontakta trijasa i miocena (Sl. 8.).



Sl. 8. Odnos krških depresija s topografskom kartom u podlozi na lijevoj slici i geološkom kartom u podlozi na desnoj slici (Šikić i dr., 1979)

Ponikve ili vrtače su najčešći i prepoznatljiviji krški reljefni oblik pa se često smatraju dijagnostičkim krškim reljefnim oblikom (Ford i Williams, 2007 prema Bočić i dr., 2019). Dobivene vrijednosti gustoće ponikava odnose se na njihov apsolutni broj unutar površine od 1 km<sup>2</sup> bez obzira na morfometrijska obilježja same ponikve. Ta činjenica sigurno otežava korelaciju gustoće ponikava te promatranih geomorfoloških i geoloških čimbenika

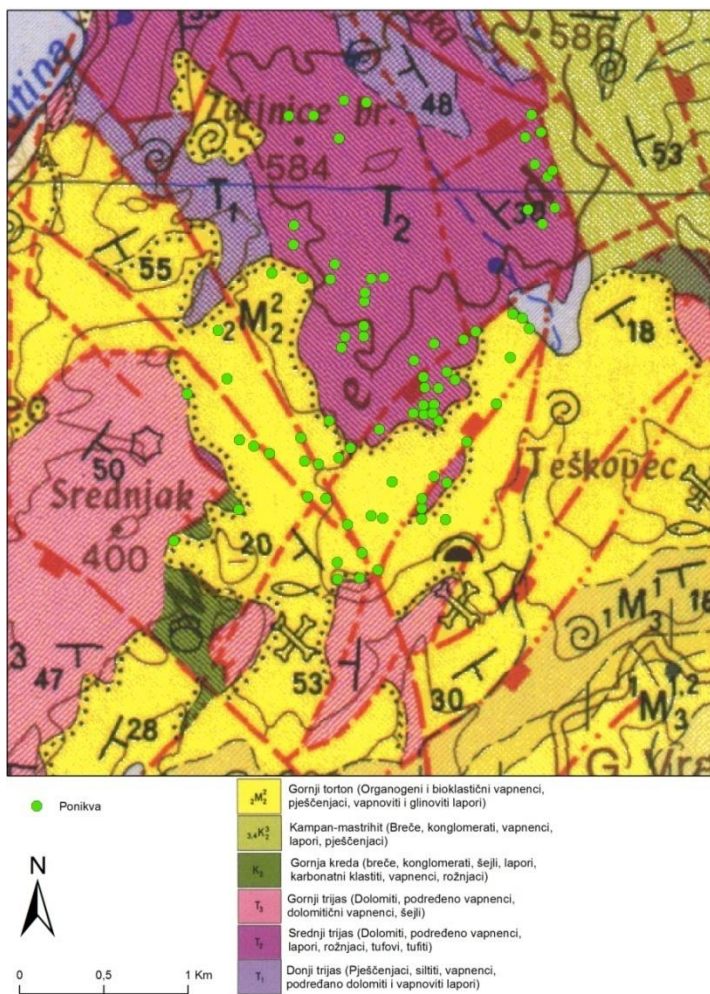
njihova razvoja, jer oni ne utječu samo na njihovu pojavu već i na dimenziju i oblik. S druge strane, svakako volumen ponikava, odnosno opseg njihova ruba obrnuto proporcionalno utječe i na prostornu gustoću (Pahernik, 2012). Na cijelom istraživanom području ima sveukupno 81 zabilježena ponikva. To je područje neznatne (1 - 10 ponikava/km<sup>2</sup>), male (10 - 30 ponikava/km<sup>2</sup>) ili srednje gustoće (30 - 60 ponikava/km<sup>2</sup>) prema Pahernikovoj kategorizaciji (Tab. 3.). Najveća gustoća ponikava po kilometru kvadratnom zabilježeno je na uskom području Družanice (Sl. 9., Sl. 11.). Najmanja koncentracija ponikava uočava se na području manje vertikalne raščlanjenosti. Ponikve su uglavnom formirane na području jako nagnutog terena. Litologiju možemo smatrati primarnim čimbenikom razvoja ponikava jer bez karbonatnih naslaga, na površini i blizu nje nema ni oblikovanja krških oblika. Preklapanjem sloja ponikava s geološkom kartom odabranog područja utvrđen je razvoj ponikava na karbonatima srednjeg i ponegdje gornjeg trijasa i gornjeg tortona (Sl. 10.).



Sl. 9. Gustoća ponikava na području Družanice i Drenovače s kartom lokacija ponikava (piktogram)

Tab. 3. Razredi gustoće ponikava (Pahernik, 2012)

Redni broj	Raspon (pon/km <sup>2</sup> )	Opis
1.	1-10	Neznatna gustoća
2.	10-30	Mala gustoća
3.	30-60	Srednja gustoća
4.	60-100	Velika gustoća
5.	100-200	Vrlo velika gustoća
6.	>200	Izrazito velika gustoća



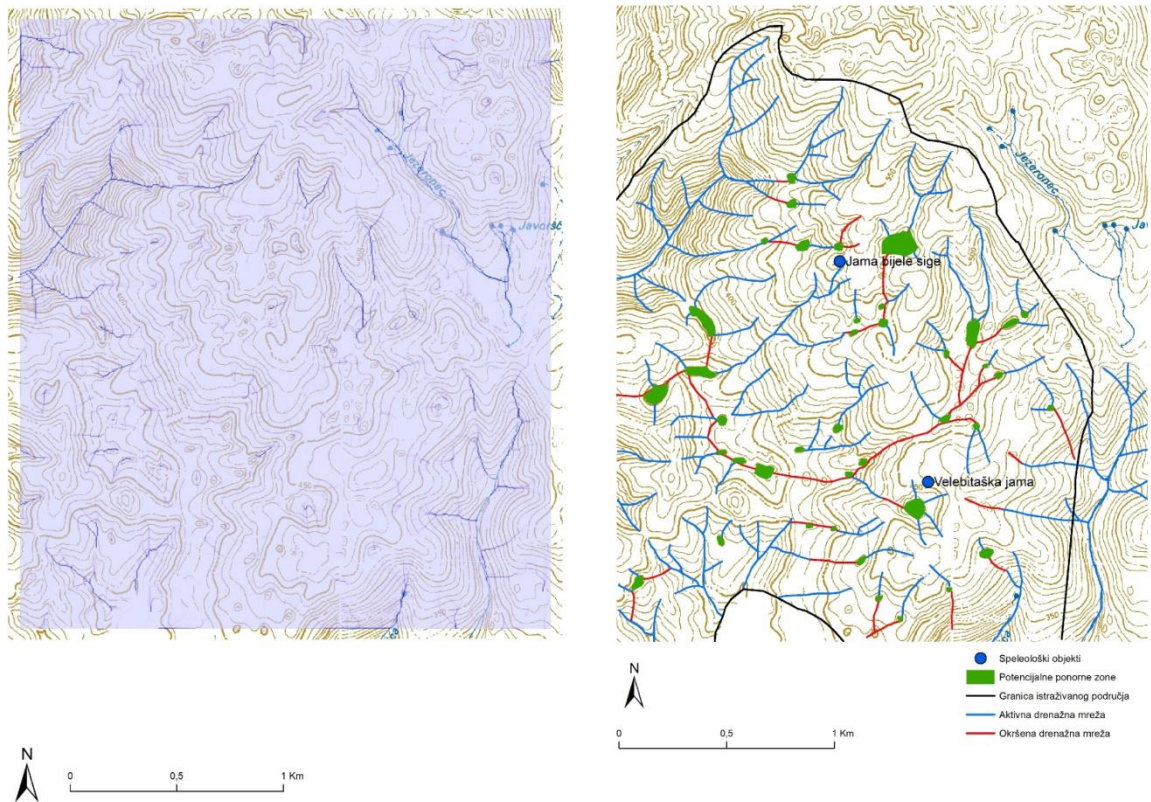
Sl. 10. Odnos prostornog rasporeda ponikava i geološke podloge (Šikić i dr., 1979)



Sl. 11. Primjeri ponikava na istraživanom području (na desnoj slici s ulazom u jamu Mistique) (Fotografirala: Pava Vidić, 22.02.2020.)

#### 6.1.6. (Paleo)drenažna mreža

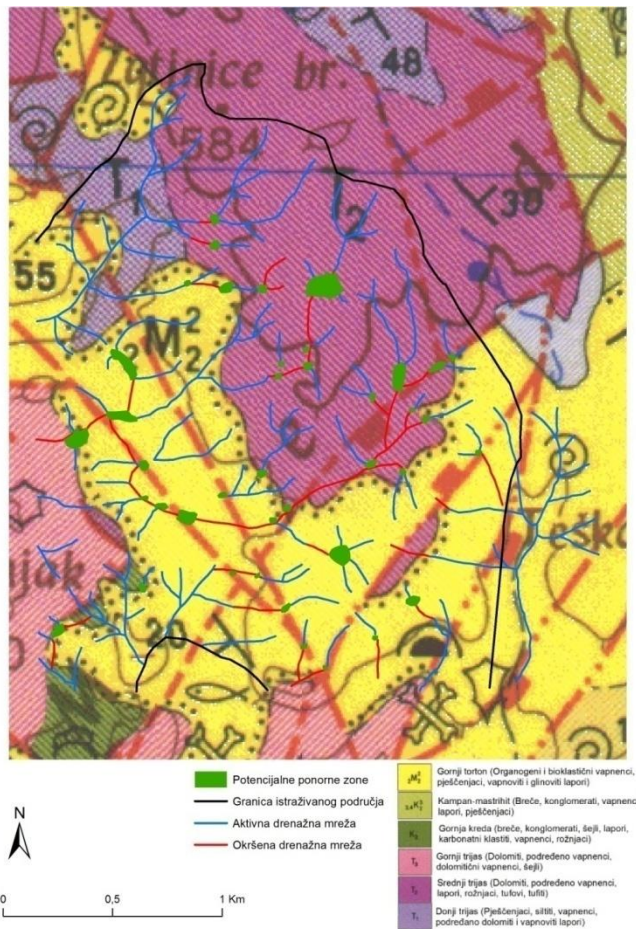
Drenažnu mrežu nekog područja čini skup kanala kojima stalno ili povremeno protječe voda. Usporedbom recentne drenažne mreže i rekonstruirane paleodrenažne mreže istraživanog područja (Sl. 12.), vidljivo je da danas više nema toliko površinskih tokova. Danas je to područje gdje je došlo do okršavanja i stvaranja zona suhih dolina i potencijalnih ponornih zona gdje se nalaze speleološki objekti i krške depresije. Potencijalne ponorne zone velikim dijelom prate položaje današnjih ponikava te lokacije speleoloških objekata (Sl. 13.). Okršena drenažna mreža najvećim dijelom prati linije rasjeda i litološke kontakte (Sl. 14.).



Sl. 12. Recentna drenažna mreža generirana prema DMR-u (lijevo) i rekonstruirana paleodrenažna mreža istraživanog područja (desno)



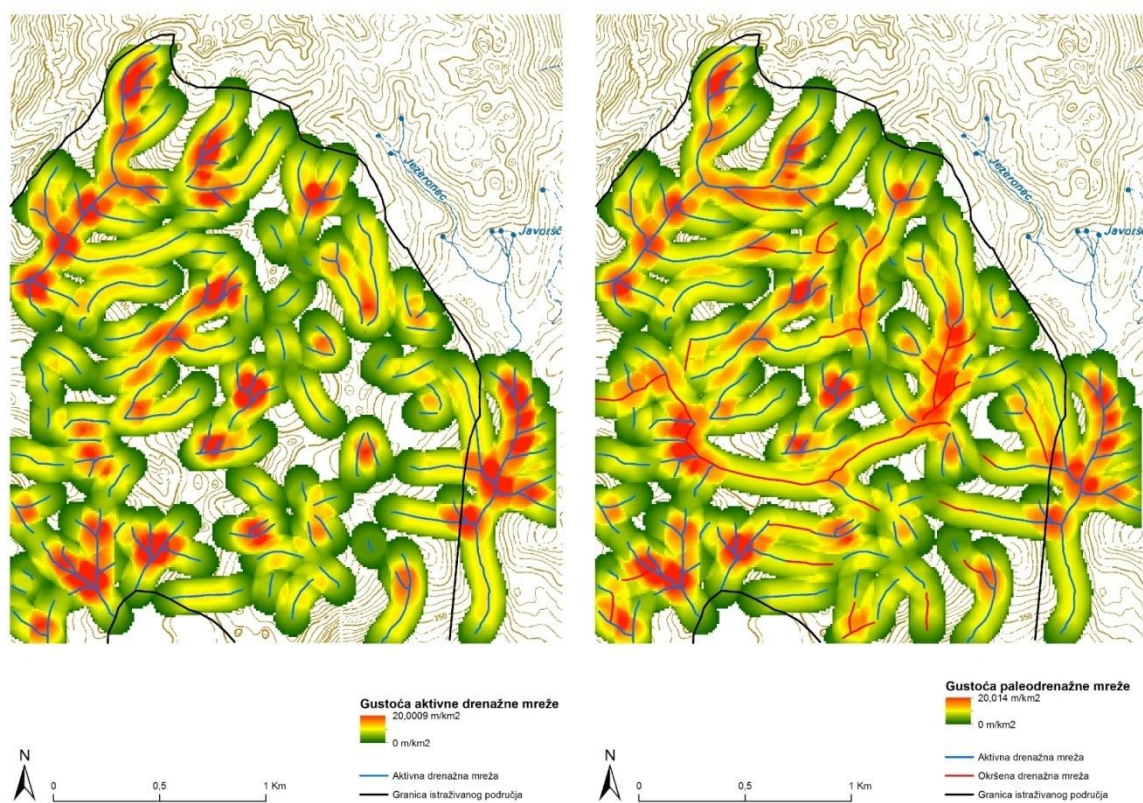
Sl. 13. Jaruga (lijevo) i ponorna zona (desno) kod Velebitaške jame (Fotografirala: Pava Vidić, 22.02.2020.)



Sl. 14. Odnos geološke karte istraživanog područja (Šikić i dr., 1979) i rekonstruirane paleodrenažne mreže



Ukupna duljina recentno aktivne drenažne mreže iznosi oko 26 km, a duljina rekonstruirane paleodrenažne mreže iznosi oko 32 km. Prosječna gustoća recentno aktivne drenažne mreže iznosi  $6,83 \text{ m/km}^2$ , a maksimalna vrijednost je  $20,0009 \text{ m/km}^2$ . Prosječna gustoća rekonstruirane paleodrenažne mreže istraživanog područja iznosi  $7,76 \text{ m/km}^2$ , a maksimalna vrijednost je  $20,014 \text{ m/km}^2$  (Sl.15.). Najveće gustoće su na područjima većih nagiba i veće vertikalne raščlanjenosti te mjesta gdje se pritoke ulijevaju u veće tokove. Razlika između dvije karte na Sl. 15., tj. praznine na lijevoj karti su područja koja su u međuvremenu okršena pa tu više nema aktivnih tokova, nego su ostale suhe doline i to je područje najveće gustoće ponikava.



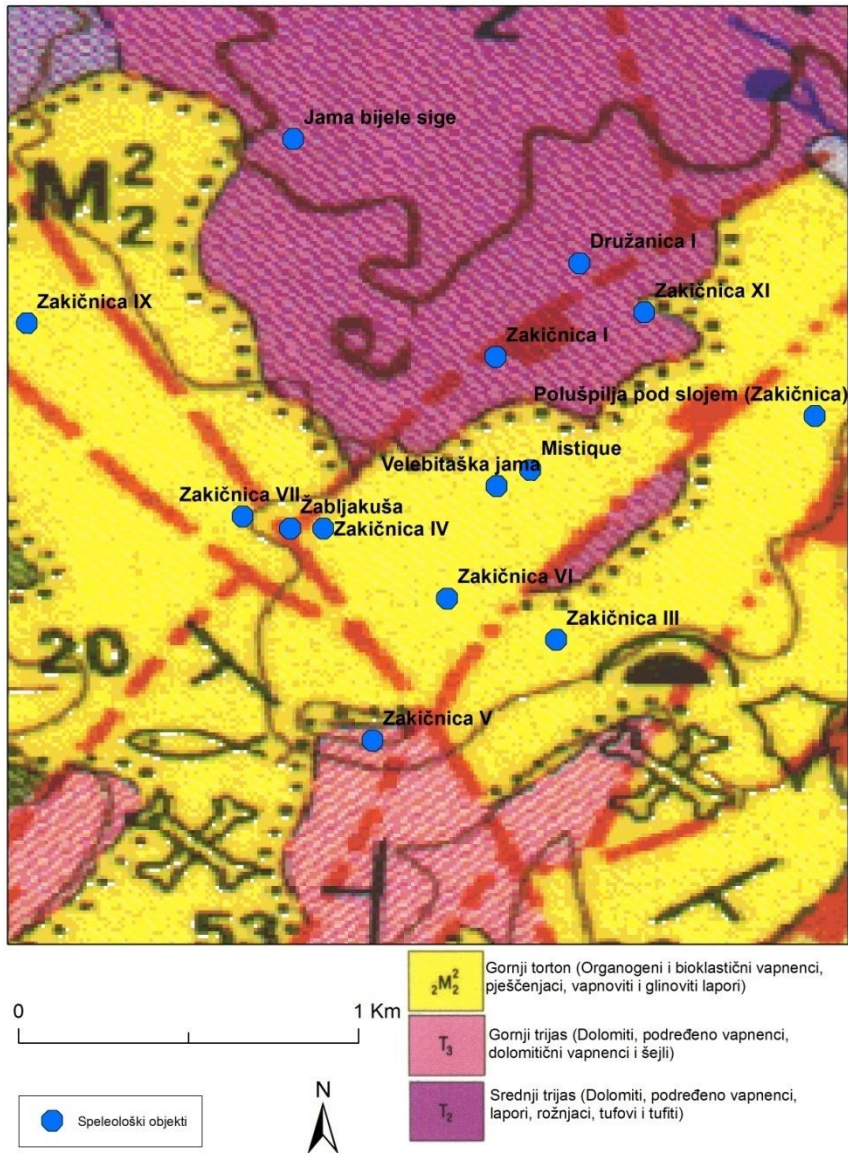
Sl. 15. Gustoća recentno aktivne drenažne mreže (lijevo) i gustoća rekonstruirane paleodrenažne mreže istraživanog područja (desno)

## 6.2. Geospeleološka analiza

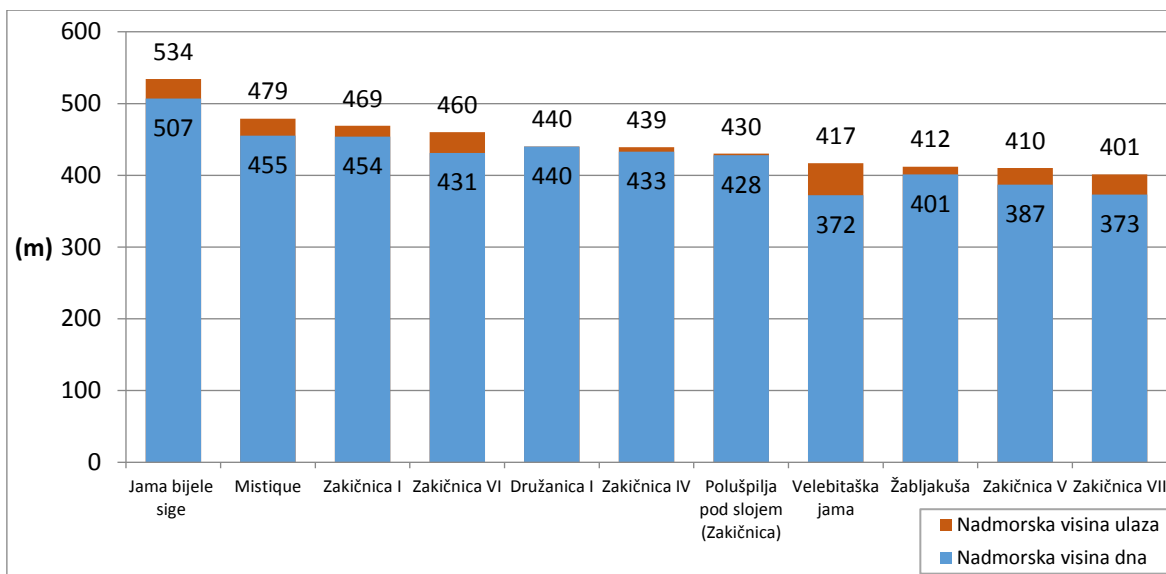
Osim površinskih krških oblika poput ponikava i dolina, oblikovale su se i brojne endokrške forme – špilje i jame. U svrhu geospeleološke analize odabrano je 14 speleoloških objekata čiji su podaci o lokaciji ulaza poznati iz arhive SO PDS Velebit. Od ukupnih 14 odabranih speleoloških objekata, poznate su dimenzije za njih 11. Dvije su špilje, a devet je jama. To su objekti jednostavne morfologije, prosječne dubine od 20 m. Jedna jama ima hidrogeološku funkciju – potok na dnu. Speleološki objekti se nalaze na trijaskoj i miocenskoj podlozi. Jedan objekt je na području dolomita, podređeno vapnenaca, dolomitičnih vapnenaca i šejla gornjeg trijasa, četiri objekta su na području dolomita, podređeno vapnenaca, lapora, rožjaka, tufova i tufita srednjeg trijasa, a devet ih je na području organogenih i bioklastičnih vapnenaca, pješčenjaka, vapnovitim i glinovitim laporima gornjeg tortona. Kako je vidljivo na Sl. 16., šest objekata se nalazi na rasjedu ili u neposrednoj blizini, jedan je na sjecištu rasjeda, dok su ostali nevezani za rasjede.

Tab. 4. Speleološki objekti na istraživanom području s karakteristikama

Naziv	Vrsta objekta	Dubina (m)	Geološka podloga	Blizina rasjeda
Jama bijele sige	Jama	27	Srednji trijas	Ne
Mistique	Jama	24	Gornji torton	Ne
Zakičnica I	Jama	15	Srednji trijas	Da
Zakičnica VI	Jama	29	Gornji torton	Ne
Družanica I	Špilja	0	Srednji trijas	Da
Zakičnica IV	Jama	6	Gornji torton	Da
Polušpilja pod slojem (Zakičnica)	Špilja	1,5	Gornji torton	Ne
Velebitaška jama	Jama	45	Gornji torton	Ne
Žabljakuša	Jama	11	Gornji torton	Da
Zakičnica V	Jama	23	Gornji trijas	Da
Zakičnica VII	Jama	28	Gornji torton	Da
Zakičnica XI	/	/	Srednji trijas	Ne
Zakičnica III	/	/	Gornji torton	Ne
Zakičnica IX	/	/	Gornji torton	Ne



Sl. 16. Odnos geološke karte istraživanog područja (Šikić i dr., 1979) i lokacija speleoloških objekata



Sl. 17. Nadmorske visine ulaza i najdubljih točaka obrađenih jama

Speleološki objekti čija dubina ne prelazi 15 m, u prosjeku se nalaze na nadmorskoj visini od 438 m, a dublji objekti na prosječnoj nadmorskoj visini od 450 m (Sl. 17.). Objekti se nalaze u četvrtoj kategoriji nagiba  $12^{\circ}$ - $32^{\circ}$ , u zonama najvećih gustoća ponikava istraživanog područja, dakle u drugoj i trećoj kategoriji, te u zoni umjerene vertikalne raščlanjenosti reljefa.

Na temelju morfološke složenosti i najveće dimenzije odabrana su dva speleološka objekta radi detaljnijeg opisa. To su Jama bijele sige i Velebitaška jama.

### 6.2.1. Jama bijele sige

Jama bijele sige je špilja s jamskim ulazom, ukupne dubine 27 m i duljine 94 m. Ulaz je uzak, dimenzija 1,5x0,6 m (Sl. 18.), ali se nakon 2 m širi, a nakon 10 m spuštanja po užetu u pravcu istoka otvara se prostrana dvorana. U sjeveroistočnom kraju dvorane je manji skok s manjim dolaznim kanalom odozgo. Drugi dio dvorane penje se u smjeru juga i završava uskim neprolaznim kanalom. Od točke ispod ulazne vertikale drugim krakom kanala u pravcu jugozapada dolazi se do vertikale duljine oko 15 m. U nastavku je kraći horizontalni kanal na dnu jame koji završava manjom dvoranicom. Stijene u jami su obložene sigovinom, mjestimice i do 3 cm debljine, a kroz cijeli objekt se mogu naći brojne vrste siga poput stalaktita, stalagmita, stupova - stalagnata, zavjesa, zavjesa s nazubljenim rubovima, špiljskog bisera - pizolita, stalaktitnih cjevčica - špageta, špiljskog mlijeka, kamenica, špiljskih konkrecija i koraloida (Sl. 21., Sl. 22.). Jama je oblikovana u dolomitima, podređeno vapnencima, laporima, rožnjacima, tufovima i tufitima srednjotrijaske starosti.



Sl. 18. Ulaz u Jamu bijele sige (Fotografirala: Pava Vidić, 31.12.2019.)

U jami su uočena dva pukotinska sustava koji imaju utjecaj na njenu genezu i morfologiju (Sl. 20.). Prvi je u pružanju sjeveroistok-jugozapad (60-240°) i vidljiv je po pružanju kanala ispod ulaza, a drugi ima pružanje sjever-jug (10-190°). Oba su subvertikalna. Pored toga, izgled špilje dijelom je rezultat oblikovanja u vadoznim uvjetima u kojima su glavni speleomorfološki procesi okršavanje duž tih rasjeda kojima se procjeđuje voda, urušavanje i taloženje špiljskih sedimenata. Rezultat tih procesa su poprečni presjeci kanala trokutastog i nepravilnog oblika. Potvrda urušavanja su nakupine stijenskih blokova na dnu kanala (Sl. 19).



Sl. 19. Poprečni presjek kanala na dnu Jame bijele sige i urušene stijene (Fotografirala: Pava Vidić, 15.12.2019.)

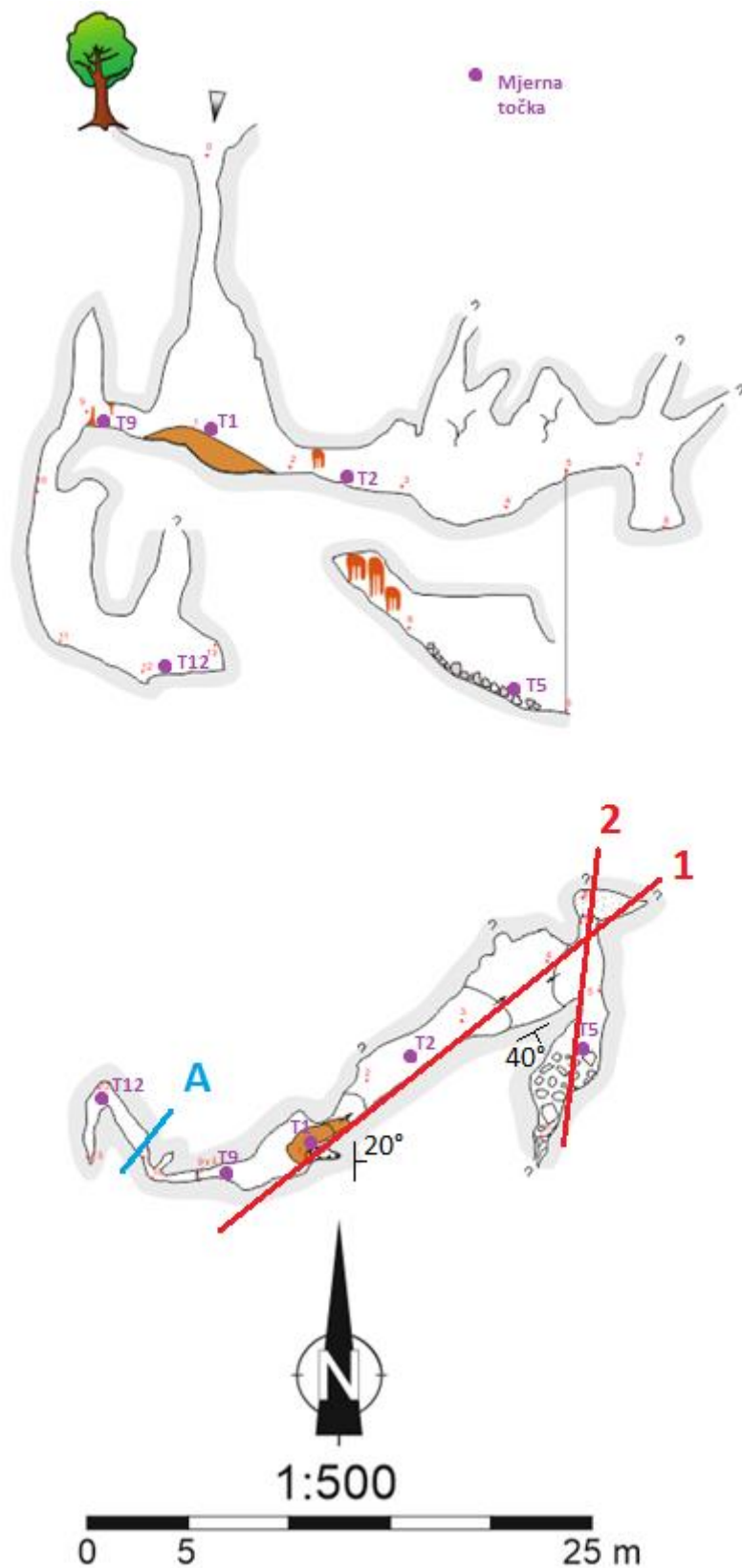
Slojevitost stijena u jami nije uočljiva zbog pokrivenosti stijena istaloženim sigama. U Jami bijele sige zabilježen je alohtoni i autohtoni sediment. Alohtoni sediment je neposredno ispod ulaza kuda je i dospio, a to su uglavnom grane, zemlja i lišće. Također, kosti životinja koje su upale u jamu čine sediment. Autohtoni sedimenti nastali su i taloženi u jami. Zabilježeni su sitnozrnati sedimenti transportirani prokapnicom te kameni blokovi. Jama bijele sige danas nema hidrogeološku ulogu jer njenim kanalima ne protječe podzemna voda. Danas se voda pojavljuje samo kao prokapnica, a njeno geomorfološko

značenje je veliko upravo zbog taloženja siga, ali i položaja i vidljivog utjecaja pukotina na genezu i morfologiju.

Mikroklimatskim mjerenjem dobiveni su rezultati dani u Tab. 5. Izuzme li se lokacija ispod ulaza, prosječna izmjerena temperatura u jami na dan mjerenja bila je 9,8 °C, a prosječna relativna vlažnost 95 %. Nije zabilježeno mjerljivo strujanje zraka. Izmjerena je i maksimalna koncentracija radona  $803 \pm 144 \text{ Bq/m}^3$ .

Tab. 5. Mikroklimatsko mjerenje u Jami bijele sige 15.12.2019.

Lokacija	Temperatura (°C)	Relativna vlažnost (%)	Opis lokacije
T1	11,565	59,973	Ispod ulazne vertikale
T2	9,78	94,717	U kanalu prema dvorani sa
T5	9,731	94,557	U dvorani sa sigama
T9	9,63	96,694	Na vrhu druge vertikale
T12	9,952	94,534	Dno jame



S1. 20. Nacrt Jame bijele sige izrađen digitalnom tehnikom 2019. godine s dodanim položajima rasjeda i pukotina (1, 2) te pozicijama točaka mjerenje mikroklimе i radona i pozicijom poprečnog presjeka (A) (Izradila: Tea Selaković, SO PDS Velebit)





Sl. 21.: a) Koraloide i osigana životinjska kost; b) Špiljsko mlijeko; c) Kamenica sa špiljskom konkrecijom; d) Stalaktiti – špageti; e) Saljev; f) Stalagmiti. (Fotografirali: Pava Vidić, Ana Bakšić i Dalibor Paar, 15.12.2019. i 22.01.2020.)



Sl. 22. 3D animacija horizontalnog dijela Jame bijele sige (Izradio: Loris Redovniković, 2019)

### 6.2.2. Velebitaška jama

Velebitaška jama je jama razgranate i koljenaste morfologije (Sl. 25.). Ima uski ulaz dimenzija 1x1 m (Sl. 23.), duljina je 70 m, a dubina 45 m. Velebitaška jama je najdublja od odabranih 14 speleoloških objekata. Na četvrtom metru od ulaza, jama se proširuje, na 12. m je mala polica, nakon toga slijedi skok od 30 m. Jama je u donjem dijelu znatno šira. Stijene su djelomično presvučene sigovinom ili prekrivene blatom zbog procjeđivanja vode. Na pojedinim lokacijama nalaze se nakupine stalaktita i stalagmita. Siga ima znatno manje nego u prethodno prikazanoj jami. Kroz nekoliko uskih, teško prolaznih vertikalnih kanala, dolazi se na horizontalni kanal s vodenim tokom čiji je smjer prema jugozapadu (Sl. 24.). Jama je nastala u organogenim i bioklastičnim vapnencima, pješčenjacima, vapnovitim i glinovitim laporima gornjeg tortona. Članovi SO PDS Velebit istraživali su je 1973. godine i pretpostavili da je potok koji teče na dnu povezan s Veternicom, ali zbog nemogućnosti prolaska radi vrlo niskog stropa istraživanje je obustavljeno (Čepelak, 1974). Na tlocrtu su vidljiva dva pukotinska sustava. Prvi ima pružanje u smjeru sjeveroistok-jugozapad (20-200°) i prati vodeni tok, a blago je nagnut prema sjeverozapadu. Drugi je skoro okomit na prvi s pružanjem sjeverozapad-jugoistok (140-320°), subvertikalni.



Sl. 23. Ulaz u Velebitašku jamu (Fotografirao: Dalibor Paar, 08.12.2019.)

U Velebitaškoj jami zabilježen je ulazni facijes u obliku kostiju životinja i grana koje su upale u jamu i facijes unutrašnjosti u obliku pijeska, valutica i oblutaka.

Na dnu jame izmjerene su osnovne mikroklimatske značajke (Tab. 6.). Prosječna temperatura i relativna vlažnost zraka slični su kao u Jami bijele sige i također nije ustanovljeno mjerljivo strujanje zraka.

Tab. 6. Mikroklimatsko mjerenje u Velebitaškoj jami 18.12.2019.

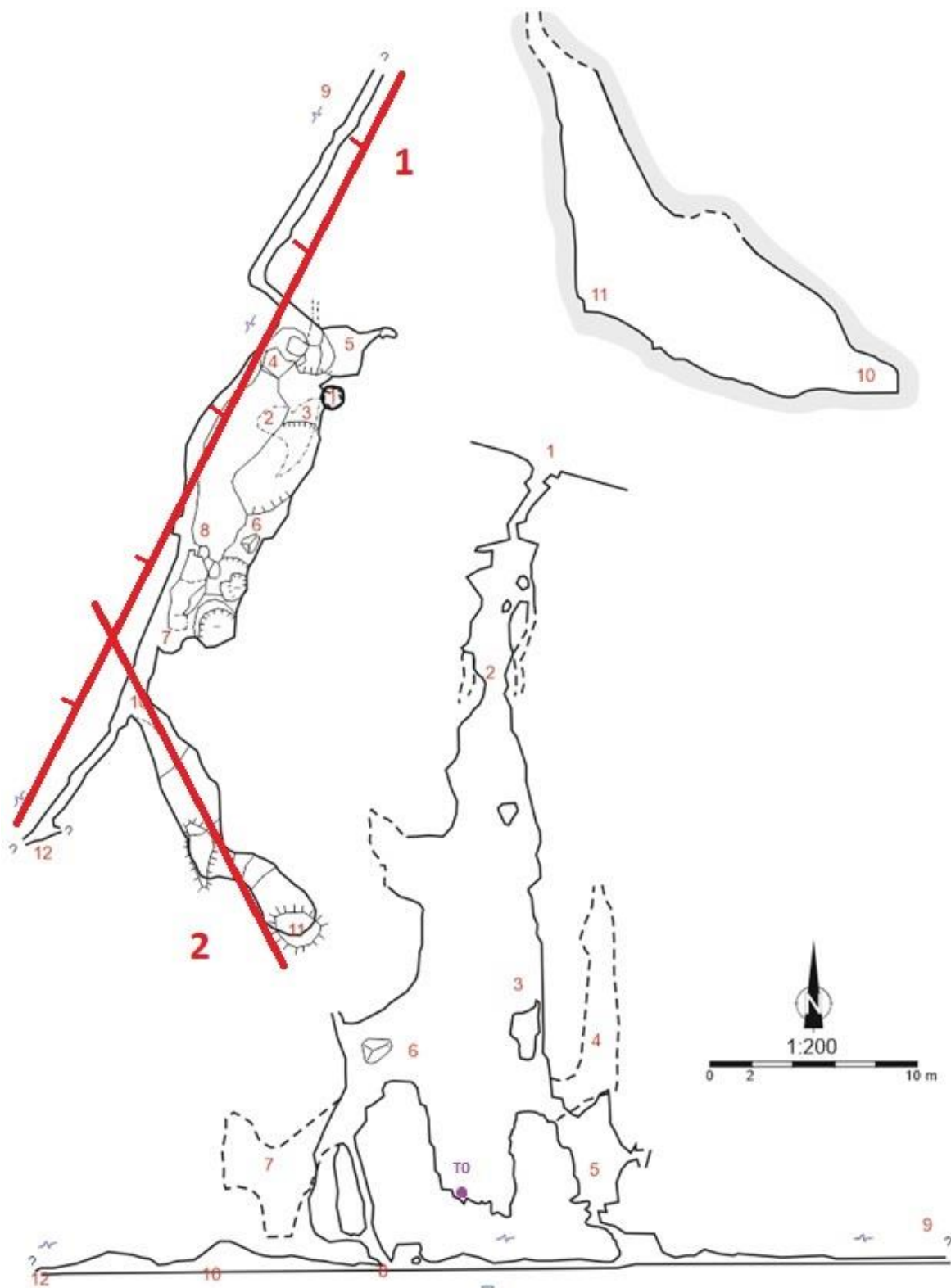
Lokacija	T (°C)	RH (%)	Opis lokacije
T0	10,173	95,158	Dno jame

U Velebitaškoj jami izmjerena je koncentracija ugljikovog dioksida  $3233 \pm 30$  ppm, dok je maksimalna koncentracija radona tijekom boravka u jami  $4000 \pm 720$  Bq/m<sup>3</sup> što je dosta viša vrijednost u odnosu na Jamu bijele sige.

Zbog izmjerene visoke koncentracije ugljikovog dioksida i radona, može se zaključiti da je u zimskom razdoblju ventilacija u Velebitaškoj jami slaba, unatoč činjenici da je vodeni tok na dnu. Koncentracija radona iznad 1000 Bq/m<sup>3</sup> prema svjetskim standardima smatra se rizičnom za istraživače i ljude koji dugo borave u speleološkim objektima (turistički vodiči) i pristup takvim lokacijama bi trebao biti kontroliran (Sperrin, 2000). U prethodnim istraživanjima špilja u Hrvatskoj ustanovljene su dosta veće koncentracije radona u ljetnom razdoblju u odnosu na zimsko. To znači da se u Velebitaškoj jami mogu očekivati puno veće koncentracije radona i ugljikovog dioksida u ljetnom razdoblju (Paar i Buzjak, 2019).



Sl. 24. Potok na dnu Velebitaške jame (Fotografirala: Ana Bakšić, 22.01.2020.)



Sl. 25. Digitalizirani nacrt Velebitaške jame na temelju nacrt iz 1973. godine (Izradio: M. Čepelak, digitalizirala: T. Selaković) s dodanim prikazom pružanja pukotinskih sustava (1, 2) i s točkom mjerenja mikroklimne, radona i CO<sub>2</sub> (T0)

## 7. RASPRAVA

Područje Družanice i Drenovače odlikuje se smjenjivanjem i uvlačenjem visinskih razreda od jugozapada prema sjeveroistoku, koje je uglavnom posljedica unazadne erozije i usijecanja drenažne mreže. Sjeveroistočni dio je najviši i odonuda se vode slijevaju prema jugu, jugozapadu i zapadu u prošlosti usijecajući drenažnu mrežu. Povećani nagibi padina pogodovali su razvijanju fluviokrša jer je to morfogenetski tip reljefa nastao međudjelovanjem krške korozije te fluvijalne i padinske erozije (Bočić, 2009 prema Bočić i dr., 2019). Umjereni vertikalna raščlanjenost reljefa posljedica je, a istovremeno i dobar pokazatelj, endogenih i egzogenih utjecaja na oblikovanje reljefa. Okršavanje i razvoj ponikava doprinijelo je povećanju raščlanjenosti.

Na području Družanice i Drenovače speleološki objekti su malih dimenzija. Prevladavaju jame jednostavne morfologije bez hidrogeološke uloge. Samo jedna jama (Velebitaška jama) ima hidrogeološku funkciju. Jama bijele sige morfološki je razvijenija, bogatija sigama nego Velebitaška jama. Jama bijele sige je genetski starija, a Velebitaška jama je mlada, u recentnom razvoju. Sve to ukazuje na relativnu mladost krša.

Drenažna mreža je indikator fluvijalnih procesa koji djeluju na transport vode i sedimenata. Nastanak krških depresija i speleoloških objekata posljedica su okršavanja, ali njihov razvoj je povezan i s prostornim rasporedom drenažne mreže.

Na temelju provedenih istraživanja mogu se izdvojiti tri osnovne faze morfogeneze krškog reljefa na ovom području:

1. faza: Ovu fazu karakterizira razvoj površinske mreže uslijed tektonskog izdizanja i stvaranja većeg hidrauličkog gradijenta. Usijecaju se duboke doline i među njima se razvijaju grebeni. Drenažna mreža se razvija jer se podloga ne može okršavati velikom brzinom. Najvjerojatniji razlog tome je veći udio dolomita te nedovoljna tektonska razlomljenost stijenske podloge.
2. faza: Napredovanjem okršavanja dolazi do napuštanja dijela drenažne mreže te razvoja podzemnog otjecanja. Nastaju ponorne zone te područja s razvijenim ponikvama. Okršavanje i razvoj krških oblika vezano je za rasjedne zone, litološke kontakte te morfološke stepenice u uzdužnom profilu talvega dolina. Speleološki objekti se počinju razvijati kao posljedica procjeđivanja te kao posljedica podzemnog otjecanja u ponornim zonama.
3. faza: Ova faza rezultirala je daljnjim napredovanjem procesa iz druge faze te stvaranjem recentnog reljefa. Poniranje, tj. gubljenje funkcije površinskih dolina

javlja se na sve više mjesta, a najčešće se poniranje pomiče uzvodno. To dovodi do snižavanja vodnog lica i stvaranja novih provodnika (sve nižih i uzvodnijih), tj. špiljskih kanala. Paralelno se zbog procjeđivanja s površine sve više razvijaju jame. Uz to, prisutno je opće denudacijsko snižavanje prostora uslijed erozije i korozije. To neke speleološke objekte dovodi (npr. Jama bijele sige) u poziciju znatno iznad erozijske baze.



## **8. ZAKLJUČAK**

Reljef Družanice i Drenovače oblikovan je radom tekućica te okršavanjem. Prostor jugozapadne Medvednice izgrađen je od karbonatnih stijena miocenske i trijaskke starosti, i zbog toga je znatno okršen. Okršavanje je bilo predodređeno prvotnom aktivnom drenažnom mrežom. Reorganizacijom drenažne mreže na tom području, tj. nastankom ponornih zona i suhih dolina, nastali su speleološki objekti.

Područje Zapadne Medvednice geomorfološki je raznoliko, stoga je potrebno daljnje geomorfološko istraživanje i kartiranje posebno sa svrhom inventarizacije, vrednovanja i kvalitetnog upravljanja ovim područjem. Postoji velik potencijal za druga znanstvena istraživanja i potencijal u turističkoj valorizaciji. Pri tome treba obratiti pažnju na održivost te minimalizirati potencijalne štetne utjecaje na okoliš.

## POPIS LITERATURE I IZVORA

1. Anbazhagan, S., Subramanian, S. K., Yang, X., 2011: *Geoinformatics in Applied Geomorphology*, CRC Press, Boca Raton, London, New York.
2. Bakšić, D., Glušević, M., 2019: Speleološka oprema, u: *Speleologija* (ur. Rnjak, G.), 117 – 148.
3. Bočić, N., Pahernik, M., Faivre, S., 2019: Geomorfološka obilježja sjevernog Velebita, u: *Senjski zbornik*, 46, 5 – 36.
4. Bočić, N., 2019: Krš – definicija, svojstva, distribucija, u: *Speleologija* (ur. Rnjak, G.), 583 – 596.
5. Bočić, N., Mišur, I., 2019: Speleogeneza i speleomorfologija, u: *Speleologija* (ur. Rnjak, G.), 613 – 623.
6. Bögli, A., 1980: *Karst Hydrology and Physical Speleology*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
7. Bognar, A., 1987: Geomorfologija – položaj, razvoj i problemi, *Hrvatski geografski glasnik*, 49, (1), 78-79.
8. Bognar, A., 1992: Inženjerskogeomorfološko kartiranje, *Acta geographica Croatica*, Vol 27, Geografski odjel PMF-a, Zagreb.
9. Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34, 7-29.
10. Božičević, S., 1960: Pećina Veternica nekada, sada i u budućnosti, *Speleolog*, 10, 7 – 24.
11. Božičević, S., 1974: Podzemni krški fenomeni planine Medvednice kraj Zagreba, *Acta Carsologica*, 6, 99 – 109.
12. Cuković, Z., 1996: *Krš Hrvatskog zagorja*, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 73 str.
13. Čepelak, M., 1974: Velebitaška jama na Medvednici, *Naše planine*, 26 (1-2), 29-31.
14. Čepelak, M., 1977: Novija i buduća speleološka istraživanja u Veternici, *Speleolog*, 19, 1-8.
15. Demek, J., 1972: *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*, IGU – Commission on Geomorphological survey and mapping, Czechoslovak, Academy of Science, Prague.

16. Ford, D., Williams, P., 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Wiley, Engleska.
17. Gorjanović-Kramberger, D., 1899: Krš zagrebačke gore, *Hrvatski planinar*, 11, 161 – 164.
18. Lacković, D., Crnjaković, M., Stroj, A., 2011: Usporedba sedimentoloških i paleontoloških istraživanja klastičnih sedimenata s izotopnim istraživanjima siga spilje Veternice u Hrvatskoj, 2. znanstveni skup Geologija kvartara u Hrvatskoj, Zagreb.
19. Lacković, D., Glumac, B., Asmerom, Y., Stroj, A., 2011: Evolution of the Veternica Cave (Medvednica Mountain, Croatia) drainage system: insights from the distribution and dating of cave deposits, *Geologia Croatica*, 64 (3), 213-221.
20. Lozić, S., 2001: Multivariate approach to relief classification and typology – the example of north-western Croatia, *Acta Geographica Croatica*, 35, 19 – 43.
21. Malez, M., 1965: Pećina Veternica u Medvednici. I. Opći speleološki pregled. II. Stratigrafija kvartarnih taložina, *Acta geologica*, 5, 185-190
22. Matas, M., 2009: *Krš Hrvatske – geografski pregled i značenje*, Hrvatsko geografsko društvo, Split.
23. Ozimec, R., Šincek, D., 2011: Speleološki objekti planinskih masiva SZ Hrvatske, *Radovi Zavoda za znanstveni rad Varaždin*, 22, 201-232.
24. Paar, D., Buzjak, N., 2019: Mikroklima i druga fizikalno-kemijska svojstva speleoloških objekata, u: *Speleologija* (ur. Rnjak, G.), 685-696.
25. Pahernik, M., 2012: Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, *Hrvatski geografski glasnik* 74 (2), 5-26.
26. Poljak, J., 1934: Pećina Veternica u Zagrebačkoj gori, *Priroda*, 5, 133 – 139.
27. Rnjak, G., 2019: *Speleologija*, SD Velebit, HPS, HGSS, Zagreb.
28. Roglić, J., 2004: *Krš i njegovo značenje – sabrana djela*, Geografsko društvo, Hrvatsko geografsko društvo, PMF – Geografski odsjek, Split, Zadar, Zagreb.
29. Sperrin, M., Denman, T., Phillips P.S., 2000: Estimating the dose from radon to recreational cave users in the Mendips, UK, u: *Journal of Environmental Radioactivity*, 49 (2), 235-240.
30. Stroj, A., 2010: *Podzemni tokovi u zaleđu krških priobalnih izvora na području Velebitskog kanala*, Doktorska disertacija, RGN, Zagreb
31. Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, III. prerađeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb

32. Šegota, T., Filipčić, A., 2003: Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria* 8/1, 17 – 37.
33. Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1977: *Osnovna geološka karta 1:100 000 list Zagreb*, SGZ, Beograd – IGI, Zagreb.
34. Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1979: *Tumač osnovne geološke karte 1:100 000 za list Zagreb*, SGZ, Beograd – IGI, Zagreb.
35. Šikić, K., 1995: Prikaz geološke građe Medvednice, u: *Geološki vodič Medvednice* (ur. Šikić, K.), Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 7-30.

#### IZVORI

36. URL 1: Državna geodetska uprava, <https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjerne/digitalni-model-reljefa/180> (30.12.2019.)
37. URL 2: Park prirode Medvednica, <https://www.pp-medvednica.hr/priroda-i-kultura/klima/> (27.1.2020.)
38. URL 3: Ruralna.hr, <https://ruralna.hr/?page=client&id=10> (27.1.2020.)

## POPIS SLIKA I TABLICA

Sl. 1. Položaj (Izvor: Središnji registar prostornih jedinica, 2018) i prostorni obuhvat (Izvor: Geoportal DGU) istraživanog područja.....	5
Sl. 2. Geomorfološki položaj istraživanog područja u okviru geomorfološke regionalizacije Hrvatske prema Bognaru (2001). Subgeomorfološka regija Gorski hrbat Medvednice, unutar koje se nalazi istraživano područje, označena crvenom bojom.....	7
Sl. 3. Hipsometrijska karta područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela hipsometrijskih razreda.....	11
Sl. 4. Karta nagiba područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela kategorije nagiba s automatski klasificiranim razredima .....	12
Sl. 5. Karta nagiba područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela kategorije nagiba. Kategorije su prema standardnoj geomorfološkoj klasifikaciji (Demek, 1972).....	13
Sl. 6. Karta vertikalne raščlanjenosti područja Družanice i Drenovače s histogramom površinskih udjela razreda vertikalne raščlanjenosti .....	14
Sl. 7. Karta ekspozicije padina s histogramom površinskih udjela ekspozicije padina.....	16
Sl. 8. Odnos krških depresija s topografskom kartom u podlozi na lijevoj slici i geološkom kartom u podlozi na desnoj slici (Šikić i dr., 1979).....	17
Sl. 9. Gustoća ponikava na području Družanice i Drenovače s kartom lokacija ponikava (piktogram) .....	18
Sl. 10. Odnos prostornog rasporeda ponikava i geološke podloge (Šikić i dr., 1979) .....	19
Sl. 11. Primjeri ponikava na istraživanom području (na desnoj slici s ulazom u jamu Mistique) (Fotografirala: Pava Vidić, 22.02.2020.) .....	20
Sl. 12. Recentna drenažna mreža generirana prema DMR-u (lijevo) i rekonstruirana paleodrenažna mreža istraživanog područja (desno).....	21
Sl. 13. Jaruga (lijevo) i ponorna zona (desno) kod Velebitaške jame (Fotografirala: Pava Vidić, 22.02.2020.).....	22
Sl. 14. Odnos geološke karte istraživanog područja (Šikić i dr., 1979) i rekonstruirane paleodrenažne mreže .....	22
Sl. 15. Gustoća recentno aktivne drenažne mreže (lijevo) i gustoća rekonstruirane paleodrenažne mreže istraživanog područja (desno).....	23

Sl. 16. Odnos geološke karte istraživanog područja (Šikić i dr., 1979) i lokacija speleoloških objekata.....	25
Sl. 17. Nadmorske visine ulaza i najdubljih točaka obrađenih jama.....	26
Sl. 18. Ulaz u Jamu bijele sige (Fotografirala: Pava Vidić, 31.12.2019.).....	27
Sl. 19. Poprečni presjek kanala na dnu Jame bijele sige i urušene stijene (Fotografirala: Pava Vidić, 15.12.2019.).....	28
Sl. 20. Nacrt Jame bijele sige izrađen digitalnom tehnikom 2019. godine s dodanim položajima rasjeda i pukotina (1, 2) te pozicijama točaka mjerenje mikroklimе i radona i pozicijom poprečnog presjeka (A) (Izradila: Tea Selaković, SO PDS Velebit) .....	30
Sl. 21.: a) Koraloidi i osigana životinjska kost; b) Špiljsko mlijeko; c) Kamenica sa špiljskom konkrecijom; d) Stalaktiti – špageti; e) Saljev; f) Stalagmiti. (Fotografirali: Pava Vidić, Ana Bakšić i Dalibor Paar, 15.12.2019. i 22.01.2020.).....	31
Sl. 22. 3D animacija horizontalnog dijela Jame bijele sige (Izradio: Loris Redovniković, 2019).....	32
Sl. 23. Ulaz u Velebitašku jamu (Fotografirao: Dalibor Paar, 08.12.2019.).....	33
Sl. 24. Potok na dnu Velebitaške jame (Fotografirala: Ana Bakšić, 22.01.2020.).....	35
Sl. 25. Digitalizirani nacrt Velebitaške jame na temelju nacrta iz 1973. godine (Izradio: M. Čepelak, digitalizirala: T. Selaković) s dodanim prikazom pružanja pukotinskih sustava (1, 2) i s točkom mjerenja mikroklimе, radona i CO <sub>2</sub> (T0).....	36
Tab. 1. Površinski udio kategorija nagiba prema geomorfološkoj klasifikaciji nagiba padina (Demek, 1972).....	13
Tab. 2. Površinski udio kategorija vertikalne raščlanjenosti prema standardnoj kategorizaciji raščlanjenosti reljefa (Gams i dr., 1981 prema Bognar, 1992).....	15
Tab. 3. Razredi gustoće ponikava (Pahernik, 2012).....	19
Tab. 4. Speleološki objekti na istraživanom području s karakteristikama .....	24
Tab. 5. Mikroklimatsko mjerenje u Jami bijele sige 15.12.2019. ....	29
Tab. 6. Mikroklimatsko mjerenje u Velebitaškoj jami 18.12.2019. ....	34