

GIS analiza ponikva hrvatskog dijela Ćićarije

Licul, Natalia

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:217:541995>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-19**



Repository / Repozitorij:

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



Natalia Licul

GIS analiza ponikava hrvatskog dijela Čićarije

Diplomski rad

**Zagreb
2024.**

Natalia Licul

GIS analysis of dolines in the Croatian part of Ćićarija Mt.

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: Geografski informacijski sustavi* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

Gis analiza ponikava hrvatskog dijela Ćićarije

Natalia Licul

Izvadak: Ponikve su jedan od najkarakterističnijih krških oblika pa se smatraju i dijagnostičkim oblikom za krš. Njihov prostorni raspored i gustoća posljedica su nekoliko čimbenika. U radu je provedena analiza gustoća ponikava po razredima nadmorske visine, nagiba padina, orijentacije padina, vertikalne raščlanjenosti reljefa i geološkoj podlozi terena. Podaci o lokacijama ponikava preuzeti su vektoriziranjem s topografskih karata 1: 25 000, a opći morfometrijski podaci reljefa generirani su iz digitalnog modela reljefa rezolucije 5 x 5 m. Detaljnije su analizirana tri izdvojena područja DEM-om razlučivosti 1x1m izrađenim LiDAR-skim snimanjem. Na temelju dobivenih oboda ponikava izračunate su reljefni atributi (površina, opseg, volumen i dubina) te analiza prostornih statistika (gustoća ponikava, indeks okršenosti). Dominantni pravac pružanja ponikava je SZ-JI. Na istraživanom području ukupno su identificirane 14 857 ponikve. Izračunata je visoka gustoća od 37,81 pon/km². Najveća gustoća ponikava je na vapnencima i dolomitima, a ponikve su raspršene kroz cijelo istraživano područje. Analiza upućuje na povezanost između općih morfometrijskih karakteristika reljefa i pojave te gustoće ponikvi.

63 stranica, 42 grafičkih priloga, 9 tablica, 28 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: krš, ponikve, Ćićarija, GIS

Voditelj: prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Neven Bočić
prof. dr. sc. Nenad Buzjak
doc. dr. sc. Ivan Šulc

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.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master Thesis

GIS analysis of dolines in the Croatian part of Ćićarija Mt.

Natalia Licul

Abstract: Dolines are one of the most characteristic karst formations, often considered diagnostic features of karst landscapes. Their spatial distribution and density are influenced by several factors. This paper presents an analysis of doline density based on various parameters such as elevation classes, slope gradient, slope aspect, vertical dissection of the relief, and geological substrate. Data on the locations of dolines were obtained by vectorizing 1:25,000 scale topographic maps, while general morphometric relief data were generated from a digital elevation model with a 5 x 5 m resolution. Three specific case studies were analyzed in more detail with a 1x1 m resolution DEM, which was produced using LiDAR scanning. Based on the identified doline boundaries, relief attributes such as area, perimeter, volume, and depth were calculated, along with an analysis of spatial statistics, including doline density and karst index. The dominant orientation of dolines is NW-SE, with a total of 14,857 dolines identified. Doline's density rate is high of 37.81 dolines/km². The highest doline density is found on limestones and dolomites, and the dolines are scattered throughout the whole study area. The analysis suggests a correlation between general morphometric relief characteristics and the occurrence and density of dolines.

63 pages, 42 figures, 9 tables, 28 references; original in Croatian

Keywords: karst, dolines, Ćićarija mt., GIS

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Full Professor

Reviewers: Neven Bočić, PhD, Full Professor
Nenad Buzjak, PhD, Full Professor
Ivan Šulc, PhD, Assistant 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.

Zahvala

Smotani ka i dvi zmije puštali smo da nas sunce grije

Treti tote ni rabija, samo Čićarija

Ti i ja, dvi zmije, i vrhi, vrhi Čićarije

Gustafi, 2002

Iskreno se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Nevenu Bočiću na smjernicama, vodstvu i pomoći pri izradi ovoga rada. Također, veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima na nesebičnoj podršci koju su mi pružali tijekom studija. Hvala vam na svemu što ste učinili za mene.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. KRŠKI RELJEF	2
1.2. PONIKVE.....	3
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	5
3. ISTRAŽIVANO PODRUČJE.....	6
3.1. POLOŽAJ I OBUHVAT.....	6
3.2. GEOLOŠKA GRAĐA	8
3.3. KLIMATSKA OBILJEŽJA	9
4. METODE I PODACI.....	11
5. REZULTATI.....	13
5.1. PROSTORNI RASPORED I GUSTOĆA PONIKAVA.....	13
5.2. ODNOS HIPSOMETRIJSKIH ZNAČAJKI RELJEFA I POJAVE PONIKAVA	16
5.3. ODNOS NAGIBA PADINA I POJAVE PONIKAVA.....	18
5.4. ODNOS EKSPozICIJE PADINA I POJAVE PONIKAVA.....	21
5.5. ODNOS VERTIKALNE RAŠČLANJENOSTI RELJEFA I POJAVE PONIKAVA..	24
5.6. ODNOS GEOLOŠKOG SASTAVA I POJAVE PONIKAVA	26
5.7. DETALJNA ANALIZA ODABRANIH PODRUČJA	30
5.7.1. STUDIJA SLUČAJA A	31
5.7.2. STUDIJA SLUČAJA B.....	36
5.7.3. STUDIJA SLUČAJA C.....	41
6. RASPRAVA.....	47
7. ZAKLJUČAK.....	51
8. LITERATURA	52
9. PRILOZI.....	54

1. UVOD

Ponikve, kao jedinstveni geomorfološki oblici, predstavljaju karakteristične elemente krškog reljefa. One su udubljena različitih veličina i oblika koje nastaju kemijskim trošenjem vapnenca i drugih karbonatnih stijena koje se odvodnjavaju izravno u podzemlje.

Uloga ponikvi u kršu je višestruka i od velike važnosti za razumijevanje dinamike ovih kompleksnih sustava. One značajno doprinose hidrogeološkim karakteristikama krškog terena, a njihovom proučavanju pridaje se posebna važnost zbog specifičnog utjecaja na lokalnu hidrologiju, bioraznolikost i održivost ekosistema.

Istraživanje ponikvi je ključno za nekoliko disciplina, uključujući geomorfologiju, hidrologiju i ekologiju. Detaljna analiza njihovih karakteristika, kao što su morfološke osobine, dimenzije, prostorni raspored i dinamika nastanka, omogućava bolje razumijevanje procesa koji oblikuju krški reljef. Ponikve ne samo da reflektiraju geološke i klimatske uvjete, već i ljudsku aktivnost, te tako predstavljaju važne indikatore promjena u okolišu.

Krški reljef, s ponikavama kao jednim od najuočljivijih oblika, nastaje kroz dugotrajne procese kemijskog trošenja, korozije i erozije karbonatnih stijena. Ovi procesi rezultiraju kompleksnim podzemnim i površinskim oblicima koje su karakteristične za krške krajolike. Ponikve se često nalaze u specifičnim prostornim rasporedima koji odražavaju geološke i hidrološke uvjete te omogućavaju detaljne studije o distribuciji i razvoju krškog reljefa.

Cilj ovog rada je istražiti prostorni raspored i karakteristike ponikava na Ćićariji. U ovom radu bit će predstavljene osnovne karakteristike ponikvi, njihov prostorni raspored i važnost u kontekstu nastanka i evolucije krškog reljefa. Prostorni raspored i gustoća ponikava važni su pokazatelji razine okršenosti nekog područja. Kroz detaljnu analizu ponikvi u odabranom istraživačkom području, nastojat će se doprinijeti boljem razumijevanju ovih složenih geomorfoloških fenomena i njihovom utjecaju na okoliš.

Suvremena geomorfološka istraživanja koriste razne kvantitativno-statističke metode za analizu reljefnih oblika i procesa, kao i veze između faktora koji oblikuju reljef. Osnovni morfometrijski parametri reljefa uključuju hipsometriju, nagib padina, ekspoziciju padina, vertikalnu raščlanjenost reljefa te uzdužnu i poprečnu zakrivljenost padina. Ovi parametri se u modernim geomorfološkim istraživanjima izračunavaju i prikazuju pomoću digitalnih modela reljefa (Pahernik, 2007).

1.1. KRŠKI RELJEF

Krš je oblik reljefa nastao u topljivim stijenama, uglavnom karbonatima, vapnencima i dolomitima, ali i soli i gipsu. Oko 12,5 % Zemljine površine je krš, a čak 25 % stanovništva koristi vodu iz krških područja. Krški i fluviokrški reljef zauzimaju 43,7 % površine Hrvatske, a razvija se na karbonatnim stijenama, vapnencu i dolomitu (Bognar i dr., 2012.).

Termin "krš" potječe iz vapnenačke regije na granici Slovenije i Italije, koja se odlikuje upravo ovim geološkim oblicima. Ime regije je Kras (na slovenskom) ili Carso (na talijanskom), a tijekom Austro-Ugarskog carstva germanizirano je u termin Karst, kada su započela prva znanstvena istraživanja geomorfologije i hidrologije ovog područja. Karakteristike krša se dijele na vanjske i unutarnje oblike. Vanjski ili egzokrški oblici su škrape, kamenice, zaravni, polja u kršu, uvale te humovi i kukovi. Unutarnje ili endokrške reljefne oblike čine krški oblici nastali ispod površine Zemlje a to su jame i špilje.

Uvjeti za formiranje krša jesu: prisutnost vodotopivih karbonatnih stijena (>90 % CaCO_3), razvijena sekundarna poroznost te prisutnost veće količine vode koja djeluje na karbonatne stijene i sadrži ugljikov dioksid (Goudie, 2004).

Prema Fordu i Williamsu 2007., samo topljivost stijena nije dovoljno za stvaranje krša. Formiranju doprinosi i kemijska energija za otapanje karbonata i potencijalna energija stvorena na padini kao rezultat mehaničke energije. Najintenzivniji krš razvija se na masivnim i grubo razlomljenim stijenama.

Vapnenci su uglavnom sastavljeni od kalcita (kalcijev karbonat, CaCO_3), koji je najzastupljeniji, ali također sadrže dolomit, kvarc, glinu, organsku tvar i dr. Slabije je topiv u čistoj vodi, ali se lako otapa u vodi bogatoj ugljičnom kiselinom (H_2CO_3). Reakcijom vode i CO_2 nastaje slaba ugljična kiselina koja otapa mineral kalcit (CaCO_3) te nastaje kalcijev bikarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Ugljična kiselina se stvara kada kišnica apsorbira ugljični dioksid iz zraka. Proces otapanja vapnenca naziva se korozija.

Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) je najzastupljeniji mineral u istoimenoj stijeni, a nastaje procesom dolomitizacije. Dolomitizacija, ili dijageneza, je proces u kojem se minerali kalcita ili aragonita zamjenjuju dolomitom (Ford i Williams, 2007).

1.2. PONIKVE

Ponikve, ili vrtače, su najtipičniji, najčešći i najbrojniji egzogeomorfološki krški oblik reljefa. Prema Fordu i Williamsu 2007., ponikve su dijagnostički krški reljefni oblik. One nastaju korozijskim djelovanjem vode, obično na tektonski poremećenim krškim terenima. One su zatvorene udubine (Sl.1) cirkularnog, eliptičnog ili izduženog oblika te lijevkastog, zdjelastog ili bunarastog presjeka čiji je promjer od nekoliko metara do 1 km, dok je prosječna dubina desetak metara, a voda se drenira u podzemlje kroz sustav pukotina, šupljina i spilja (Sauro, 2005).

Ponikve su mjesto autogenog (difuznog) ulaza vode u krški sustav. Tako se voda koja padalinama dospije na kršku površinu odmah difuzno procjeđuje u podzemlje. Kao posljedica nastaju zatvorene krške udubine, snižava se razina površine zbog korozije te izostatak vodenih tokova na površini (Ford i Williams, 2007). Ponikve se razvijaju kada površinske vode dospiju do pukotina u stijenama, gdje se infiltriraju i postupno otapajući stijene proširuju te pukotine. Kroz vrijeme, ovi procesi rezultiraju formiranjem većih udubljenja ili depresija. Ponikve su ključne za kršku hidrologiju jer omogućavaju direktni prijenos površinske vode u podzemni hidrološki sustav. Uvjeti za nastanak ponikava uključuju debelo uslojenu karbonatnu podlogu (topljive stijene), strukturne predispozicije vezane za rasjede, pukotinske sustave i presjecišta pukotina (tektonski izlomljena struktura), klimatske uvjete (prvenstveno temperaturu i količinu padalina), te blage nagibe padina između 0° i 12° (ponikve se u pravilu ne pojavljuju na nagibima većim od 32°). Krš s velikom gustoćom ponikava (preko 40 ponikava po kvadratnom kilometru) naziva se ponikavasti krš. Dno ponikava često je prekriveno padinskim trošinama, koje predstavljaju rijetke obradive površine u kršu, poznate kao dolci ili doci.



Slika 1. Ponikava u Matuljima, Ćićarija (foto: Natalia Licul, 10.8.2024)

Ponikve se klasificiraju prema obliku udubljenja i prema postanku. Prema Sauru (2005), prema obliku udubljenja, dijelimo ih na tanjuraste, zdjelaste, ljevkaste i bunaraste. Tanjuraste ponikve su plitke, s dubinom do jedne trećine širine, imaju blago nagnute strane i ravno dno prekriveno crvenicom. Zdjelaste ponikve imaju prolukružan presjek. Ljevkaste ponikve imaju dubinu između jedne trećine i dvije trećine širine, često završavaju ponorom. Bunaraste ponikve su najdublje, s dubinom iznad dvije trećine širine, a njihov oblik je pod snažnim utjecajem strukture i rasjeda.

Ford i Williams (1989) su prema genezi ponikve podijelili u tri vrste. To su korozijske, sufozijske i urušne ponikve. Najčešće su korozijske ponikve (*solution dolines*). Nastaju isključivo djelovanjem korozije na okršenoj stijeni, posljedicom površinskih procesa kemijskim otapanjem vode. To omogućuje vertikalno protjecanje vode infiltrirane vode. Otapanje karbonatnih stijena najizraženije je u sredini ponikve te na površini dolazi do depresije, na mjestima gdje prevladava lokalna korozija. Voda sa ugljikovim dioksidom (CO_2) dospijeva u podzemlje stvarajući šupljine koje se šire s vremenom (Ford i Williams, 2007).

Urušne ponikve (*collapse dolines*) su rezultat kombinacije urušavanja i korozije, kao što su Crveno i Modro jezero pri čemu se ruši tanak krov podzemne šupljine. Dakle, korozijom materijal oslabi te se iznenada ili postupno krov sruši ostavljajući udubinu na površini sa strmim nagibima.

Sufozijske (*suffosion dolines*) ponikve formiraju se u slojevima rastresitih, nevezanih stijena kao što su aluvij ili tlo, smještenih iznad karbonatnih stijena. Nastaju sufozijom, ispiranjem nepovezanog sedimentnog pokrova u podzemlje te nastaju kao vertikalne ponikve sa strmim nagibima (Mihevc i Mihevc, 2021). Kada voda istječe kroz topive stijene, dolazi do slijeganja i sufozije gornjih slojeva, što rezultira stvaranjem zatvorenih depresija (Ford i Williams, 2007).

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Prva detaljna istraživanja ponikava i krških fenomena provodili su znanstvenici u 19. stoljeću, fokusirajući se na područja s izraženim krškim reljefom poput Dinarida i Alpa. Među prvima u istraživanju ponikava bio je Jovan Cvijić (1895), koji je dao značajan doprinos razumijevanju morfografske klasifikacije ponikava, a on ih je dijelio po obliku. Cvijić je detaljno istražio različite aspekte krša, uključujući formiranje ponikava i sustave podzemnih rijeka.

Mihljević (1992) istraživao je gustoću ponikava na području Učke i Ćićarije u sklopu svog magistarskog rada pod nazivom "Strukturno-geomorfološke karakteristike Učke i jugoistočnog dijela Ćićarije", koristeći analizu gustoće ponikava kao dio morfostrukturne analize. Osim toga, analizirao je prostorne značajke i distribuciju ponikava kao geomorfološkog indikatora recentnih deformacija geološke strukture (Mihljević, 1994), gdje je koristeći Fry-ovu metodu računao koeficijent elipsticiteta i orijentaciju elipsoida na Učki i Ćićariji.

Pahernik (2012) je izradio analizu prostorne gustoće ponikava kao dio šire analize za područje cijele Republike Hrvatske. Koristeći topografske karte u mjerilu 1 : 25.000, kartirao je dna ponikava, a gustoća je izračunata pomoću Kernel metode unutar površine od 1 km².

Faivre (1992) je analizirala ponikve na području Sjevernog Velebita i Senjskog bila, pružane u smjeru SZ-JI, s jasnom izmjenom gustoće ponikava, što sugerira da su tri osnovne rasjedne zone imale značajan utjecaj na njihovu distribuciju.

Bočić i dr. (2015) istraživali su područje Unsko-koranske zaravni, vektorizirajući dna ponikava na topografskoj karti u mjerilu 1 : 25.000. Utvrdili su da se najveća koncentracija ponikava nalazi u reliktnim dolinama. Tektonske aktivnosti tijekom pleistocena povećale su hidraulički gradijent, što je rezultiralo urezivanjem tokova na površini i smanjenjem razine podzemne vode. Manji tokovi su postali izloženi preoblikovanju, te se aktivna drenažna mreža transformirala u suhu, a potom u reliktnu, gdje se bilježi najveća gustoća ponikava.

Mihevc i Mihevc (2021) istraživali su morfološke karakteristike i raspored ponikava u Sloveniji pomoću digitalnog modela visina i snimaka sa LIDAR-a. Podijelili su ih na tri osnovna genetska

tipa te pomoću u-net tipa machine learning algoritma opisali karakteristike: dubinu, opseg i volumen te gustoću ponikava.

3. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

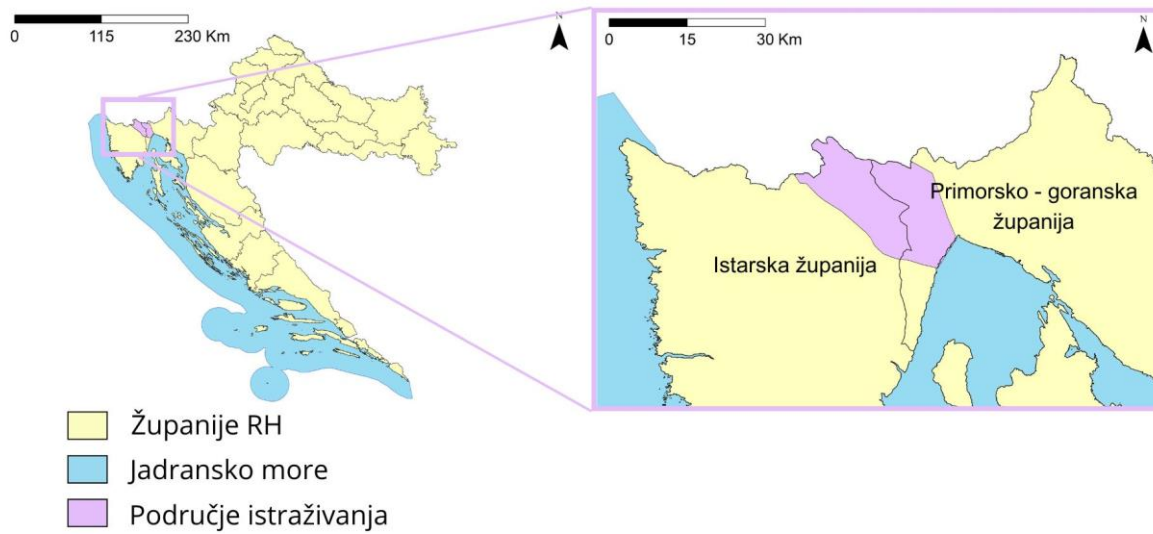
3.1. POLOŽAJ I OBUHVAT

Ćićarija se nalazi u sjeveroistočnom dijelu istarskog poluotoka, djelomično u Hrvatskoj i djelomično u Sloveniji. Omeđena je Pazinskim fliškim bazenom na jugozapadu, dolinom Riječine na jugoistoku i Brkinskom sinklinalom na sjeverozapadu, a zajedno s Učkom čini gorski dio Istre (Šikić i Pleničar, 1975).

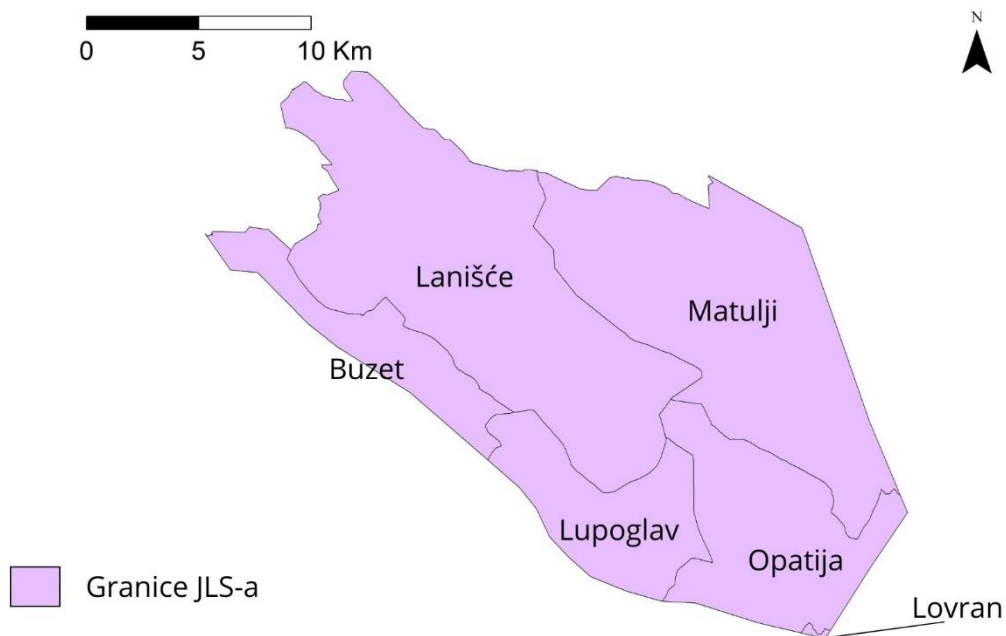
Ćićarija je vapnenački planinski lanac, dio Dinarida s karakterističnim smjerom pružanja sjeverozapad-jugoistok, od sjeverozapada (zaleđe Trsta i Kopra) prema jugoistoku (zaleđe Rijeke i Opatije). Izdvaja se svojom složenom geološkom građom, koja uključuje navlačne komplekse i ljuskavu strukturu, što je čini jednim od najzanimljivijih i najkompleksnijih geoloških područja u Hrvatskoj. Posebna je i po tome što nema jedinstveni hrbat kao većina drugih dinarskih planina, već se sastoji od niza hrptova (Palenik, 2020). Vrhovi tih hrptova često prelaze visinu od 1000 metara, a razdvajaju ih veće ili manje udoline. Neki od vrhova su Orljak, Brajkov vrh, Šija, Lisina; dok je najviši vrh Planik (1273 m) koji je ujedno i najviša točka istarskog poluotoka. U odnosu na ostatak Istre, izdvaja se većom nadmorskom visinom i hladnijom klimom.

Ćićarija nema jasno definirane granice: na istočnoj strani graniči s cestom Kastav–Matulji–Veprinac–Vranja do prijevoja Poklon. Istočno od nje, nalazi se liburnijski prostor uz Opatijsku rivijeru. Na sjeverozapadu graniči s tršćanskim Krasom i Brkinom, dok je sjeverna granica hrbat uspoređen s cestom Rijeka–Trst. Južna granica je između vapnenačke i flišne podloge. Sjeverni dio Ćićarije nalazi se u Sloveniji, dok je veći južni dio u Hrvatskoj, što se odražava i na sastav stanovništva i jezik. Južno od linije Opatija-Vranja, Ćićarija se nastavlja na masiv Učke, koji se proteže do Plomina. Ćićariju i Učku razdvaja prijevoj Poklon (Dinarsko gorje, 2014).

Istraživani prostor obuhvaća planinu Ćićariju te se prostire na 392,86 km² (Sl.2.). Kao planina zapadne Hrvatske, nalazi se u dvije županije: Istarskoj i Primorsko-goranskoj. Unutar obuhvata istraživanog prostora nalaze se šest jedinica lokalne samouprave, dva grada i četiri općina (Sl.3.). U istarskoj županiji to je istočni dio Buzeta te općine Lanišće i Lupoglav. U Primorsko-goransku županiju ubraja se dio Opatije te općine Matulji i Lovran. Na istraživanom području je ukupno 64 naselja.



Slika 2. Geografski položaj istraživanog područja

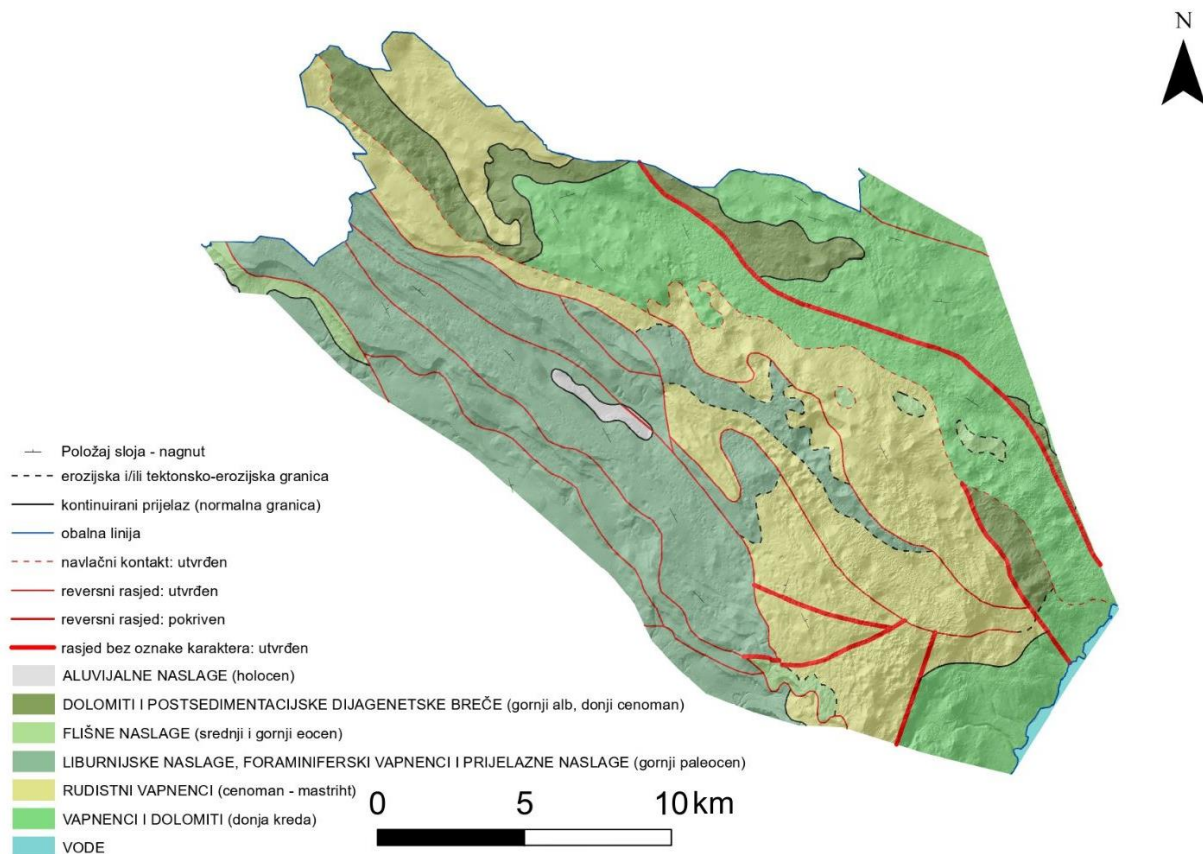


Slika 3. Pregled JLS-a na istraživanom prostoru

3.2. GEOLOŠKA GRAĐA

Planinski okvir Istre obuhvaća masive Učke i Ćićarije s Ćićarijskim zaravnima, što čini kamenjarski krški prostor. Padine Ćićarije, karakteristične su po malim zaravnima koje su urezane u izrazito poremećenu krednu vapnenačku seriju, što je uobičajeno za dinarski krš. Na spoju fliša i čistih krednih vapnenaca, stratigrafski odnosi sugeriraju da je izvorno flišni kompleks bio ravnani, ali su tektonski procesi rezultirali fragmentiranim prostorom s promjenjivim dolinama i grebenima te naglašenom raznolikošću mikroreljefa (Magaš, 2013). Paleogenska ljuskava struktura jugozapadnog dijela Ćićarije formirala se kao rezultat kompresije i navlačenja iz neposrednog sjeveroistočnog zaleđa, koje je sastavljeno od kredno-paleogenih i krednih naslaga. Ova struktura predstavlja tzv. Thinskinneled deformaciju, pri kojoj su sudjelovale samo paleogene naslage. Paleogene naslage su fizički odvojene od svoje kredne podloge plitkim regionalnim dekolmanom koji blago tone prema sjeveroistoku (Palenik, 2020).

Morfološko obilježje područja Ćićarije čini planinski niz uzvisina i udolina u dinarskom smjeru sjeverozapad-jugoistok (Sl.4.). Osnova ovog područja su flišne naslage preko kojih su se, uslijed tektonskih pokreta, klizno navukle starije vapnenačke naslage, što je Ćićariji dalo specifičnu ljuskavu strukturu. Iznad tih navlaka nalaze se zaravnjene terase koje oblikuju udoline s pašnjacima i šumama. Izdignuti dijelovi vapnenačkih vrhova uglavnom su ogoljeni i imaju vertikalne odsjeke na mjestima gdje su "čela" navlaka preko flišne podloge. Tektonski pokreti stvorili su niz polegatih navlaka i slična prekrivanja, što čini prostor Ćićarije vrlo složenim. Zbog okršnog reljefa, većina prostora je bezvodna, a samo nekoliko stalnih izvora povezano je s pojavom vodonepropusnih flišnih lapora. (Dinarsko gorje, 2014)



Slika 4. Geološka karta istraživanog područja, Izvor: Geološka karta RH mjerila 1:300000, Hrvatski geološki institute, Zagreb

3.3. KLIMATSKA OBILJEŽJA

Položaj na sjevernom rubu Jadranskoga mora, na prijelazu između Sredozemlja i euroazijske kopnene mase, također je značajan. Sredozemno more, a donekle i Jadransko, ublažavaju neugodne utjecaje suhe i vruće sjeverne Afrike, jer se topli zrak iz Sahare (jugo) navlaži prelaskom preko mora. Ova zračna masa uzrokuje u Istri uglavnom blage i vlažne zime, dok su ljeta vruća i sparna. Zimi, hladan i suh zrak (bura) stiže preko Alpa i Dinarida iznad kontinentalnih dijelova Europe, što može značajno sniziti temperaturu i uzrokovati mraz. Utjecaj reljefa na klimu posebno je vidljiv u brdovitoj Ćićariji, od Slavnika do Učke, gdje je zbog veće nadmorske visine temperatura niža, a količina oborina veća nego u nižim dijelovima Istre. Prostorni raspored oborina u Istri izravno je pod utjecajem reljefa. Većina vlažnog zraka dolazi s jugozapada. Zračne mase sudaraju se s reljefnom preprekom između Slavnika i Učke, što uzrokuje podizanje zraka, kondenzaciju i stvaranje oborina. Stoga su brdoviti predjeli na sjeveroistoku najkišovitiji, s godišnjim količinama oborina iznad 1500 mm, dok masiv Učke

prima čak i više od 2000 mm (Istrapedija,2005). Na ovom području prevladava umjereno topla vlažna klima s toplim ljetima, po Koppenovoj klasifikaciji tipa Cfb, što odgovara submediteranskoj klimi (Magaš, 2013).

Ogoljavanje planinskog dijela Ćićarije rezultat je kolonizacije stočara Vlaha i intenzivne ljetne ispaše, što je dovelo do prekomjernog iskorištavanja šumskog pokrova submediteranske zajednice hrasta medunca. Intenzivna ispaša sitne stoke, krčenje i paljenje vegetacije izložili su stijensku podlogu. Šume su također korištene za rad u ugljenokopima te za ogrjev i građevinski materijal.

Prirodni šumski pokrov kasnije se počeo obnavljati, a mjere austrijske uprave ubrzale su regeneraciju. Te mjere uključivale su obvezno ograđivanje suhozidima, lugaršku službu i pošumljavanje krša. Prirodna i umjetna reforestacija crnim borom učinile su ovaj dio krša najpošumljenijim, dok je stanovništvo gotovo potpuno napustilo područje. Zbog ponovne vegetacije, naziv "Bijela Istra" više se ne koristi. Potencijali ovog prostora uključuju suvremeno ekstenzivno stočarstvo, posebno uzgoj koza. (Magaš, 2013)

4. METODE I PODACI

U ovome radu korištene su metode geomorfološke analize i sinteze, daljinska istraživanja te metode analize i vizualizacije u GIS-u.

S obzirom da Ćićarija nema jasne definirane granice niti jedne druge dogovorene granice, samostalno je određeno područje istraživanja. Korišten je DEM rezolucije 5 x 5 metara koji je ustupljen sa Geografskog odsjeka PMF-, kao i geološki podaci, prema Geološkoj karti 1 : 3 000 000 te točkasti sloj ponikava dobiven vektoriziranjem dna s listova TK 25, gdje jedna točka označava jednu ponikvu, odnosno njeno dno.

Provedena je usporedba prostornog rasporeda ponikava s navedenim morfometrijskim parametrima te s geološkom građom. Za obradu i vizualizaciju prikupljenih podataka korišten je softver ArcGIS 10.3. Pomoću skupine alata *Spatial analyst* dobiveni su nagibi (*Slope*), vertikalna raščlanjenost reljefa (*Focal statistics*), orijentacija padina (*Aspect*) te gustoća ponikava (*Kernel density*). Kako bi se napravila statistička analiza navedenih morfometrijskih kategorija, napravljena je reklasifikacija rastera pomoću alata *reclassify*, zatim su se rasteri konvertirali u vektore (*raster to polygon*). Spajanjem poligona po atributu alatom *dissolve* dobila se preglednost, a zatim je uslijedilo spajanje slojeva alatom *join* kako bi se dobio broj ponikava u pojedinim klasificiranim razredima. Površina se računala u atributnoj tablici te izvezla za daljnju obradu. Za vizualizaciju dijagrama i tablica morfometrijskih obilježja reljefa, korišten je MS Office Excel.

Za detaljniju morfometrijsku analizu ponikava na odabranim područjima, korišten je DEM iz LIDAR-skog snimanja rezolucije 1 x 1 m koji je preuzet iz baze prostornih podataka Geografskog odsjeka PMF-a u Zagrebu. Ponikve su generirane alatima *Fill* i *Cut Fill* tako što su se ispunile nepravilnosti na terenu te su dobiveni podaci o površini oboda ponikve i volumenu ispune. Pomoću alata *Zonal statistic* izračunata je najveća i najmanja vrijednost rastera, a ulazni podatak bio je DEM. Alatom Raster calculator je od rastera s najvišim vrijednostima oduzet raster s najnižim vrijednostima te je dobiven raster s podacima o dubinama. Izdvojene su ponikve površina većih od 28,26 m² što daje ponikvu veću od 6m promjera.

Hipsometrija se odnosi na prikaz apsolutnih nadmorskih visina područja pomoću paleta boja koje su podijeljene u visinske razrede. To naglašava trodimenzionalnost reljefa i pomaže u interpretaciji morfogenetskih procesa zajedno s drugim morfometrijskim kartama (Buzjak, 2020). Nagib padina je jedan od osnovnih morfometrijskih elemenata, važan za razumijevanje geomorfoloških procesa. Na lokalnoj razini, nagib padina odražava djelovanje egzogenih geomorfoloških procesa, omogućujući analizu odnosa denudacije i akumulacije. Na regionalnoj

razini, nagib padina odražava djelovanje endogenih procesa, što je povezano s neotektonskom aktivnošću (Marković, 1983).

Ekspozicija padina se odnosi na orijentaciju padina u odnosu na strane svijeta, obično mjereno od sjevera u smjeru kazaljke na satu. Ekspozicija je dobar pokazatelj intenziteta trenutnih geomorfoloških procesa, posebno u pogledu utjecaja Sunčevog zračenja, mehaničkog trošenja stijena i izloženosti kišonosnim vjetrovima. Najveće razlike u egzogenim procesima uočavaju se na padinama s različitim ekspozicijama (Pahernik, 2007).

Vertikalna raščlanjenost reljefa na lokalnoj razini odražava litološke i klimatske karakteristike koje utječu na razvoj egzogenih geomorfoloških procesa, te se koristi za analizu odnosa denudacije i akumulacije (Marković, 1983). Na regionalnoj razini, vertikalna raščlanjenost, definirana kao visinska razlika između najviših i najnižih točaka promatranog područja, rezultat je endogenih procesa. Analiza vertikalne raščlanjenosti na regionalnoj razini omogućava uvid u neotektonska zbivanja, uključujući položaj, intenzitet i prirodu neotektonskih pokreta (Marković, 1983).

5. REZULTATI

5.1. PROSTORNI RASPORED I GUSTOĆA PONIKAVA

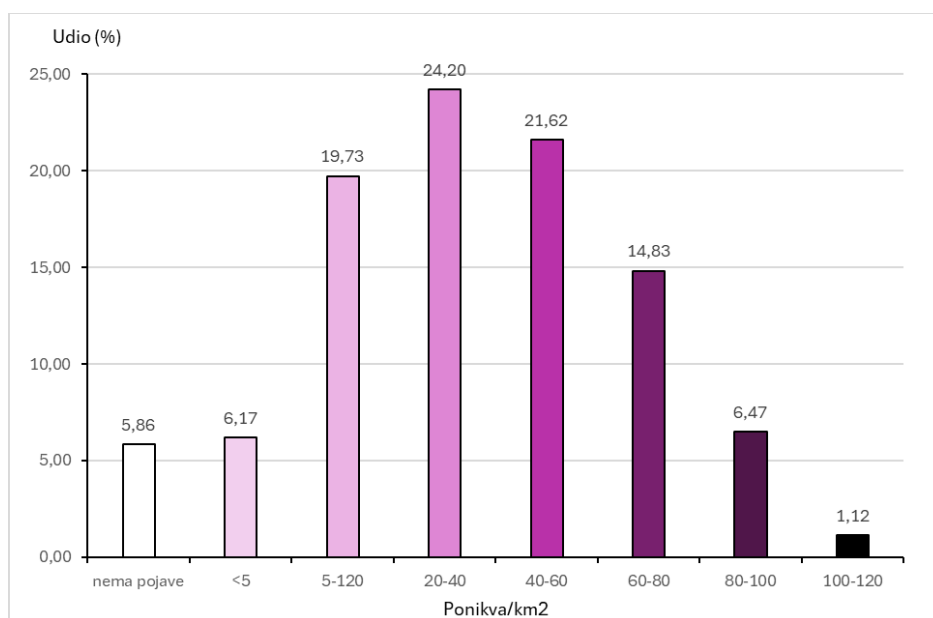
Na istraživanom području površine 392,86 km² utvrđene su 14857 ponikava, što čini prostornu gustoću ponikava 37,81 pon/km². Izuzme li se područje na kojemu nema ponikava, na površini od 369,86 km² gustoća ponikava iznosi 40,17 pon/km². Karta prostornog rasporeda ponikava upućuje na to da je područje sa značajnom pojavom ponikava orijentirano pravcem SZ-JI. Najviše ponikava pojavljuje se na sjeveroistoku i sredini područja, a bez ponikava je jugozapad i sredina istraživanog područja (Sl.6.).

Na temelju izračunatih vrijednosti određeno je 8 razreda gustoće ponikava (Tab.1.). Najveći udio u ukupnoj površini od 24,20 % ima razred 20 – 40 pon/km² (Sl.5.). Ovaj razred pokriva površinu od 95,08 km² na kojoj je zabilježeno ukupno 483 ponikve, što čini 3,25 % ukupnog broja ponikava. Zatim, udio od 21,62 % zauzima razred s 40 – 60 pon/km² te okružuje prethodni razred sa ukupno 2525 ponikava. Dakle, na površini od 84,93 km² rasprostranjeno je 17 % ponikava. Nakon njih, razred sa 5 – 20 pon/km² zauzima 77,52 km² površine, što čini 19,73 % udjela u ukupnoj površini te se 97 ponikve pojavljuju na sjeverozapadu istraživanog područja. Razred 60 – 80 pon/km² zauzima 14,83 % udjela površine te se rasprostranjuje na istoku. Ovaj razred prekriva površinu od 58,25 km² na kojoj je zabilježeno 4319 ponikava, što čini 29,07 % ukupnog broja ponikava. Najveći broj ponikava ima razred 80 – 100 pon/km², ukupno 4419, odnosno 29,74 % ukupnog broja. Taj razred zauzima samo 25,43 km² odnosno 6,47 % ukupne površine, što znači da su ova diskontinuirana polja od sredine prema istoku i jugoistoku istraživanog područja vrlo intenzivno zasićeno ponikavama (Sl.7.).

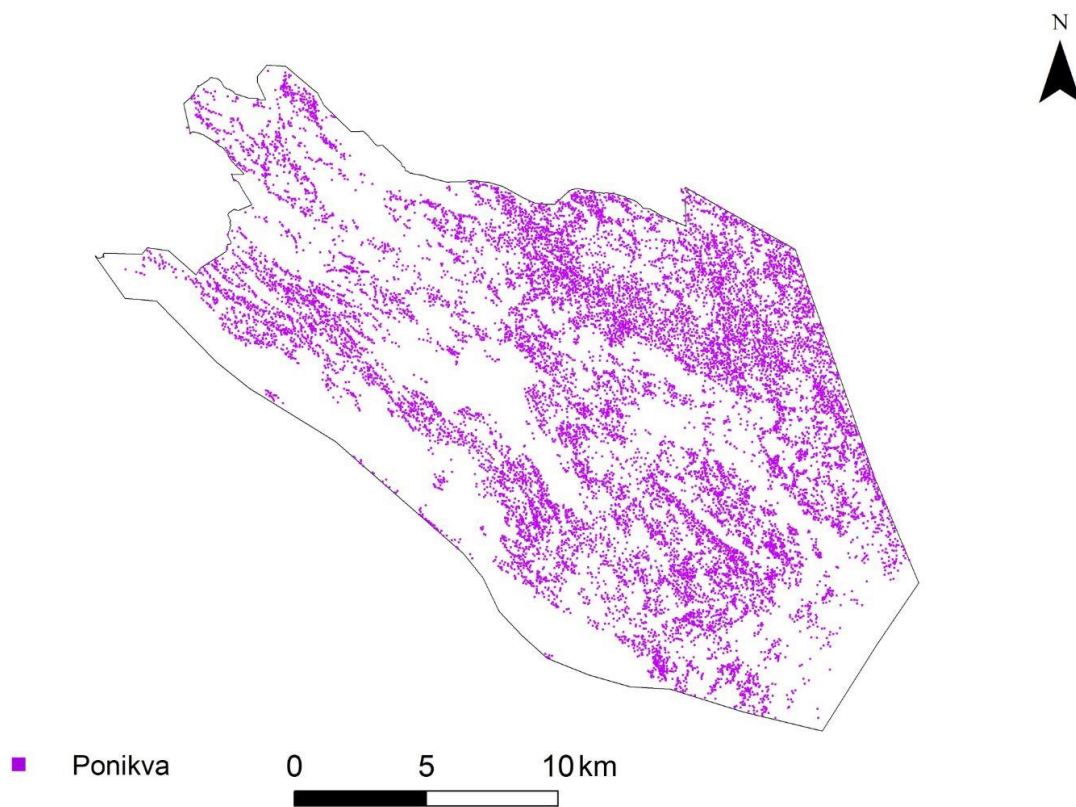
Najveća gustoća ponikava od 100 – 120 pon/km² također se pojavljuje u nekoliko diskontinuiranih grupa od sredine prema granicama istraživanog područja, a zauzima 4,41 km² ili 1,12 % udjela površine. U ovom razredu prepoznato je 2997 ponikava, što čini 20,17 % ukupnog broja ponikava. Nije zabilježena pojava ponikava na 23 km² ili 5,86 % udjela površine.

Tablica 1. Gustoća, površina, udio i broj ponikava po razredima

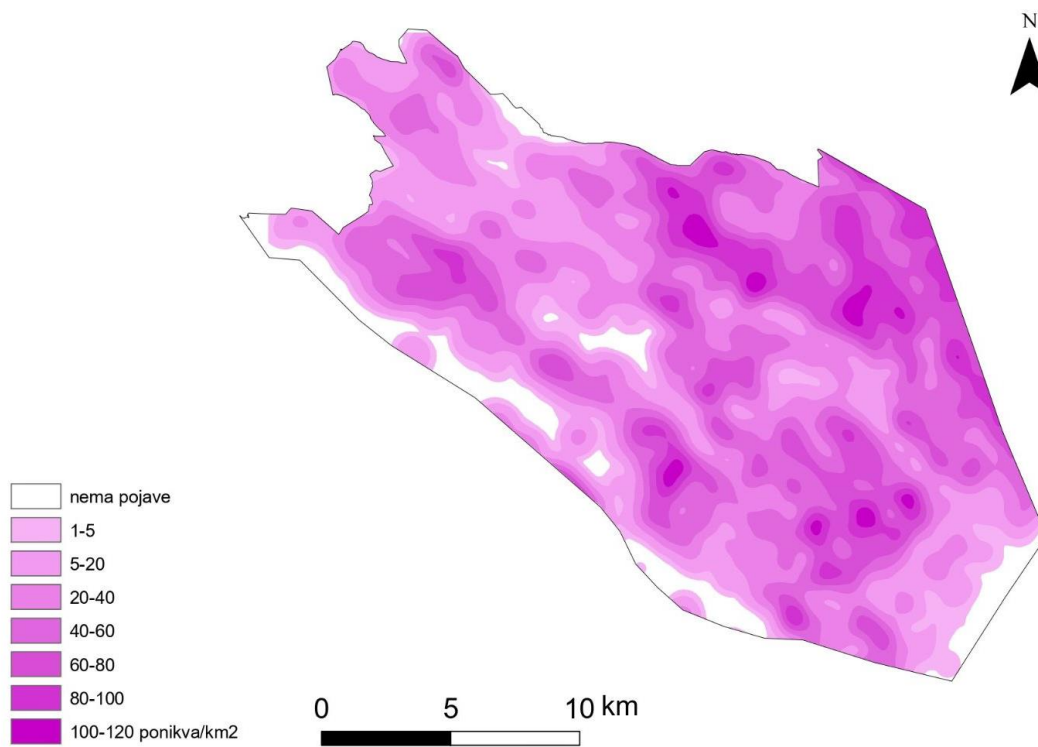
RAZRED (pon/km ²)	POVRŠINA (km ²)	UDIO (%)	BROJ PONIKAVA	UDIO PONIKAVA (%)
nema pojave	23,01	5,86	0	0
0-5	24,24	6,17	17	0,11%
5-20	77,52	19,73	97	0,65%
20-40	95,08	24,20	483	3,25%
40-60	84,93	21,62	2525	17,00%
60-80	58,25	14,83	4319	29,07%
80-100	25,43	6,47	4419	29,74%
100-120	4,41	1,12	2997	20,17%
Ukupno	392,86	100,00	14857	100,00



Slika 5. Prikaz udjela ponikava po razredu gustoći ponikava



Slika 6. Distribucija ponikava na istraživanom području



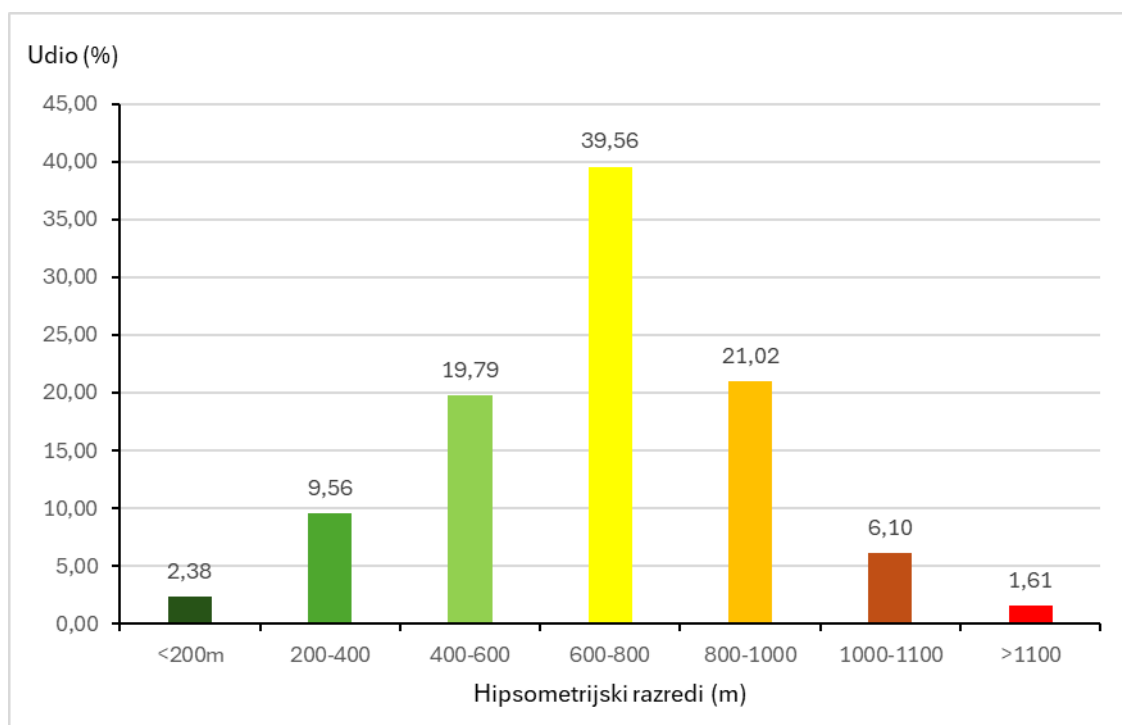
Slika 7. Gustoća ponikava na Čićariji

5.2. ODNOS HIPSOMETRIJSKIH ZNAČAJKI RELJEFA I POJAVE PONIKAVA

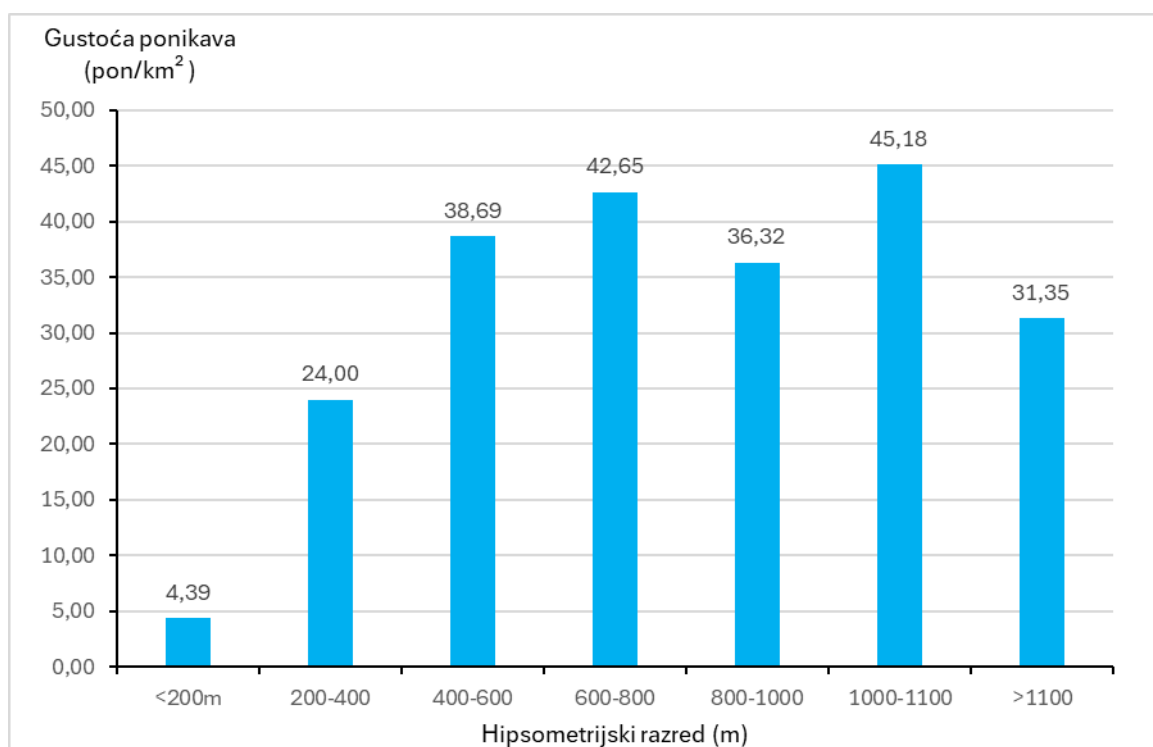
Rasponi nadmorskih visina istraživanog prostora kreću se od 0 do 1271 m, dok je prosječna visina područja 678 m. Cijeli istraživani prostor podijeljen je na 7 razreda po 200 m, osim iznad 1000 m, gdje je podijeljen na više od 1000 m radi bolje vizualizacije (Tab.2.). Najviši dijelovi, viši od 1100 m, vezani su uz vrh Veliki Planik te Hrvatsko-slovensku granicu na sjeveru. Ovoga je raspona najmanje (1,61 %). U ovom razredu nalazi se 198 ponikava, što čini 1,33 % ukupnog broja, a gustoća ponikava iznosi 31,35 pon/km² (Sl.8.). Razred raspona 1000-1100 m zauzima 23,95 km² odnosno 6,1 % udjela u površini područja. U tom se razredu prepoznato je 1082 ponikava što čini 7,28 % udjela svih ponikava. S obzirom na malu površinu, gustoća ponikava u ovom razredu iznosi visokih 45,18 pon/km² (Sl.9.). Zatim, rasponi od 800 do 1000 m zauzimaju 21 % površine te okružuju sredinu područja. Na površini od 82,56 km² rasprostranjeno je 2999 ponikava. Ovaj razred sadrži 20,19 % svih ponikava, a gustoća iznosi 36,32 pon/km². Rasponi 600 – 800 m pokriva površinu od 155,4 km², što čini 39,56 % ukupne površine analiziranog područja. To ga čini najvećim razredom po površini, a koncentriran je na sredini područja te sadrži i najveći broj ponikava, ukupno 6628. To čini 44,61 % svih ponikava a gustoća iznosi 42,65 pon/km². Rasponi 400 – 600 m pokrivaju površinu 77,74 km² što čini 19,79% ukupne površine analiziranog područja. Ti rasponi sadrže 3008 odnosno 20,25 % ukupnog broja ponikava sa gustoćom 38,69 pon/km². U razredu raspona 200 – 400 m identificirano je ukupno 901 ponikava rasprostranjenih na 37,55 km². To je 6 % ukupnog udjela ponikava na 9,56 % ukupne površine, sa gustoćom 24 pon/km². Najniži raspon >200 m prostire se na 9,34 km² te ima ukupno 41 ponikvu, odnosno 2,38 % udjela u površini te 0,28 % svih ponikava. Gustoća ponikava iznosi 4,39 pon/km². Ova tri najniža razreda koncentrirana su uz rubove istraživanog prostora (Sl.10.).

Tablica 2. Gustoća, udio i broj ponikava po hipsometrijskim razredima

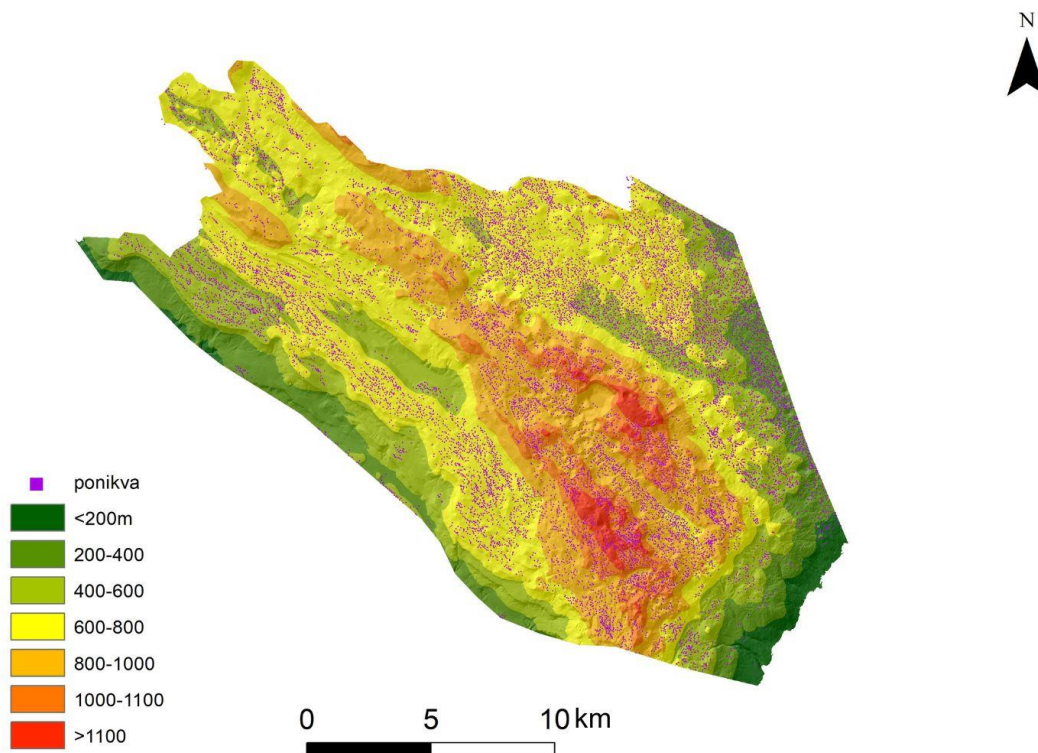
RAZRED (m)	POVRŠINA (km ²)	UDIO (%)	BROJ PONIKAVA	UDIO PONIKAVA (%)	GUSTOĆA PONIKAVA (pon/km ²)
<200m	9,34	2,38	41	0,28	4,39
200-400	37,55	9,56	901	6,06	24,00
400-600	77,74	19,79	3008	20,25	38,69
600-800	155,40	39,56	6628	44,61	42,65
800-1000	82,56	21,02	2999	20,19	36,32
1000-1100	23,95	6,10	1082	7,28	45,18
>1100	6,32	1,61	198	1,33	31,35
Ukupno	392,86	100,00	14857	100,00	



Slika 8. Udio površine po hipsometrijskim razredima



Slika 9. Gustoća ponikava po hipsometrijskim razredima



Slika 10. Distribucija ponikava po hipsometrijskim razredima

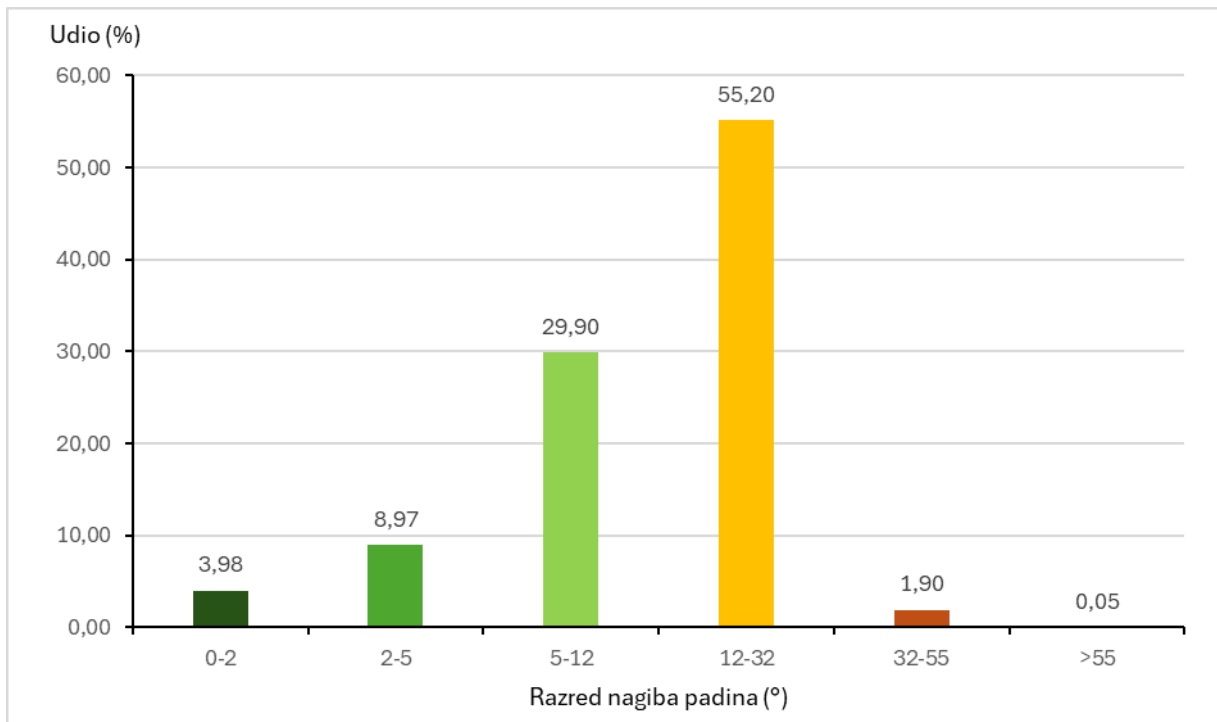
5.3. ODNOS NAGIBA PADINA I POJAVE PONIKAVA

Računanje nagiba padina na temelju visinskih podataka digitalnog modela reljefa vrši se određivanjem najveće promjene visinskih vrijednosti između središnje ćelije i njenih okolnih susjednih ćelija. Korištena je klasifikacija nagiba padina u šest razreda po International Geographical Union, koja je temeljena na razredima nagiba padina koji su diferencirani prema prevladavajućim geomorfološkim procesima. To su: ravnice ($0-2^\circ$) gdje nema vidljivog skretanje stijenske mase, blago nagnuti tereni ($2-5^\circ$) gdje prevlada blago spiranje, tečenje i kliženje tla, nagnuti tereni ($5-12^\circ$) sa snažnom erozijom te intenzivnim tečenjem i kliženjem tla, jako nagnuti tereni ($12-32^\circ$) sa karakteristikama vrlo snažne erozije i pojačanim ispiranjem tla, vrlo strm teren ($32-55^\circ$) sa izrazitim pokretima stijenske mase te strmci i litice ($>55^\circ$) gdje dominiraju intenzivni procesi odrona i osipavanja (Tab. 3.). Na istraživanom području rasponi nagiba padina se kreću od 0° do 85° , dok je prosječna vrijednost 14° . S obzirom na prosječnu vrijednost, mogu se očekivati snažni erozijski i derazijski procesi. Najniže kategorije nagiba, do 5° nalaze se uz sjeverni i južni rub područja (Sl.11.). Razred do 2° nagiba zauzima $15,62 \text{ km}^2$, skoro 4 % ukupne površine. U ovom razredu nalazi se 1485 ponikava, što čini 10 %

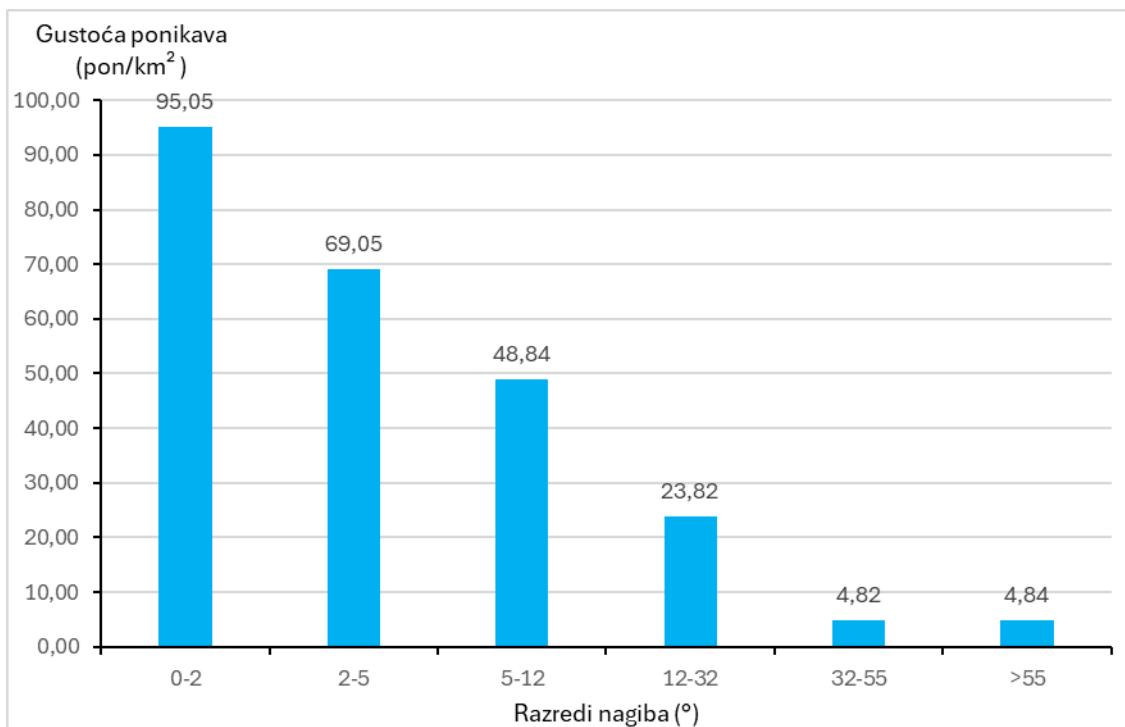
ukupnog broja ponikava, te najveća gustoća koja iznosi 95,05 pon/km² (Sl.12.). U razredu od 2 do 5° nalaze se 2432 ponikve rasprostranjene na 35,22 km². To je ukupno 16,37 % ponikava na 8,97 % ukupne površine područja, visoke gustoće 69,05 pon/km². Zatim, razred 5-12° nagnutog terena prostire se na 117,47 km², a nastavlja se na razrede ispod, što čini trećinu ukupne površine istraživanog područja. U ovom razredu uočeno je najviše ponikava, 5737, odnosno 38,61 % ukupnog udjela. One čine gustoću od 48,84 pon/km². Najzastupljenija kategorija nagiba vezana je uz razred 12°-32° odnosno jako nagnutog terena na koje otpada 55,2 % površine i 34,77 % ukupnog broja ponikava, a prostire se kroz cijelo područje. To je 5166 ponikava na 216,87 km², a gustoća iznosi 23,82 pon/km². Najmanje udjela površine otpada na najstrmije razrede, one od 32°-55° te >55° koji se prostiru uz jugozapadnu granicu, u smjeru sjeverozapad-jugoistok (Sl.13.).

Tablica 3. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima nagiba padina

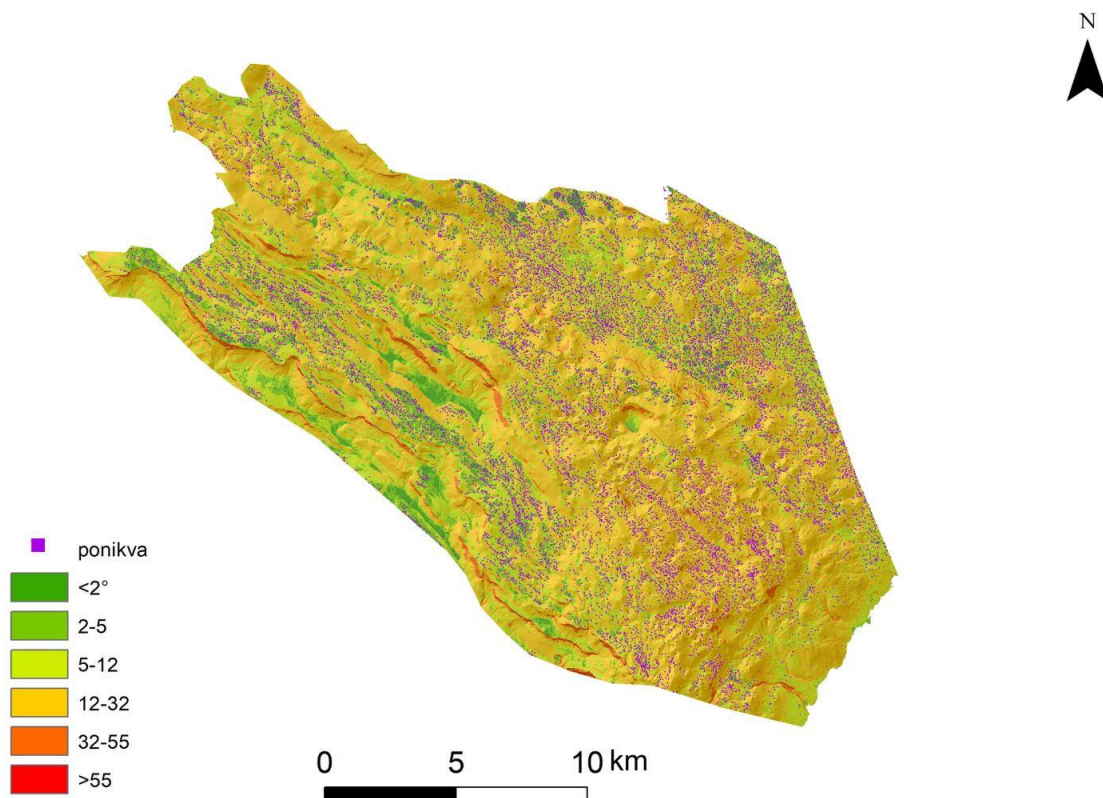
RAZRED (°)	POVRŠINA (km ²)	UDIO (%)	BROJ PONIKAVA	UDIO PONIKAVA (%)	GUSTOĆA PONIKAVA (pon/km ²)
0-2	15,62	3,98	1485	10,00	95,05
2-5	35,22	8,97	2432	16,37	69,05
5-12	117,47	29,90	5737	38,61	48,84
12-32	216,87	55,20	5166	34,77	23,82
32-55	7,48	1,90	36	0,24	4,82
>55	0,21	0,05	1	0,01	4,84
Ukupno	392,86	100,00	14857	100,00	



Slika 11. Udio površine po razredima nagiba padina



Slika 12. Gustoća ponikava po razredima nagiba padina



Slika 13. Distribucija ponikava po razredima nagiba padina

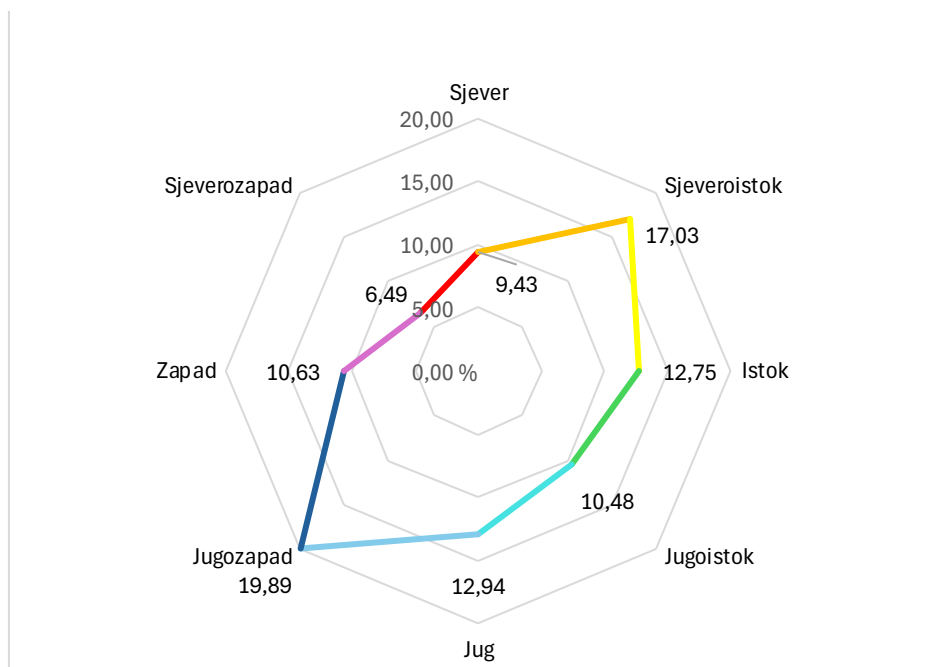
5.4. ODNOS EKSPOZICIJE PADINA I POJAVE PONIKAVA

Ekspozicija padina, koja pokazuje orijentaciju padine prema stranama svijeta, određuje se u smjeru najvećeg nagiba. Kut se pritom obično mjeri od sjevera u smjeru kazaljke na satu. Prema analizi prostorne distribucije ekspozicije padina istraživanog prostora, vidljiva su dva izražena maksimuma ekspozicije (Tab. 4.). To su sjeveroistočna sa 17 % i jugozapadna orijentacija sa 19 % ukupnog udjela (Sl.14.). Ove navedene kategorije posljedica su primarne orografske osi Ćićarije u smjeru sjeverozapad-jugoistok. Sjeveroistočna orijentacija pokriva 66,90 km² i ima 1788 ponikava (12,03 %) s gustoćom od 26,72 pon/km² (Sl. 15.). Jugozapadna orijentacija pokriva 78,15 km², a uočeno je 2215 ponikava (14,91 %) s gustoćom od 28,34 pon/km². Kategorija bez ekspozicije, odnosno zaravnjene površine javljaju se u izuzetno malenom postotku (0,36 %). Kategorija zaravnjenih površina pokriva 1,40 km² te je identificirano 263 ponikava (1,77 %) s najvećom gustoćom od 187,59 pon/km². Iako je to relativno mali broj u odnosu na ukupni broj ponikava, s obzirom na malu površinu, to je značajan broj. Ostale su kategorije jednako zastupljene, jug sa 12 % površine i 11 % ukupnog broja ponikava, istok sa 12 % površine te 10 % ukupnog broja ponikava. Kategorija jugoistoka rasprostranjena je na

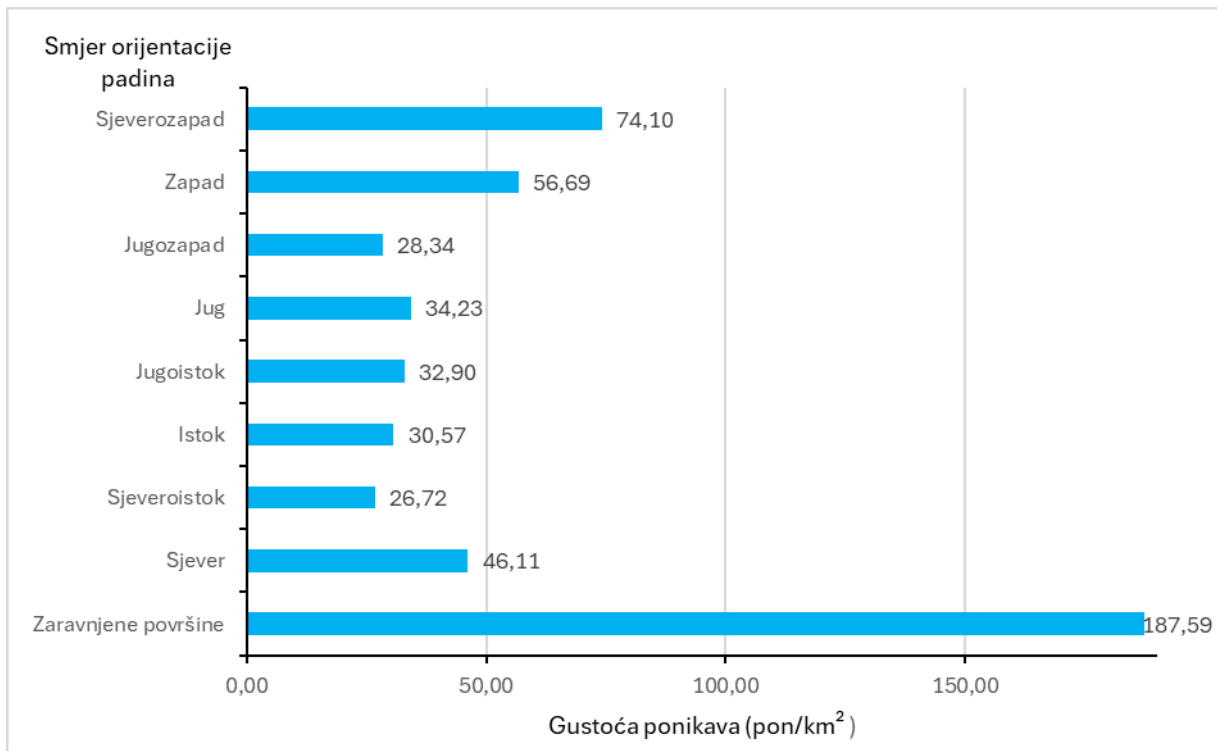
41,18 km² (10,48 %) te sadrži 1355 ponikava (9,12 %) s gustoćom od 32,90 pon/km². Sjever pokriva 37,04 km² površine (9,43 %) i ima 1708 ponikava (11,50 %) s nešto višom gustoćom od 46,11 pon/km². Kategorija sjeverozapadne orijentacije pokriva 25,49 km² (6,49 %) a prepoznato je 1889 ponikava (12,71 %) s visokom gustoćom od 74,10 pon/km². Kategorija sa najvećim brojem ponikava je zapadne orijentacije. Zapadna ekspozicija rasprostranjena je na 41,77 km² (10,63 %) i ima 2368 ponikava (15,94 %) s gustoćom od 56,69 pon/km² (Sl. 16.).

Tablica 4. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima orijentacije padine

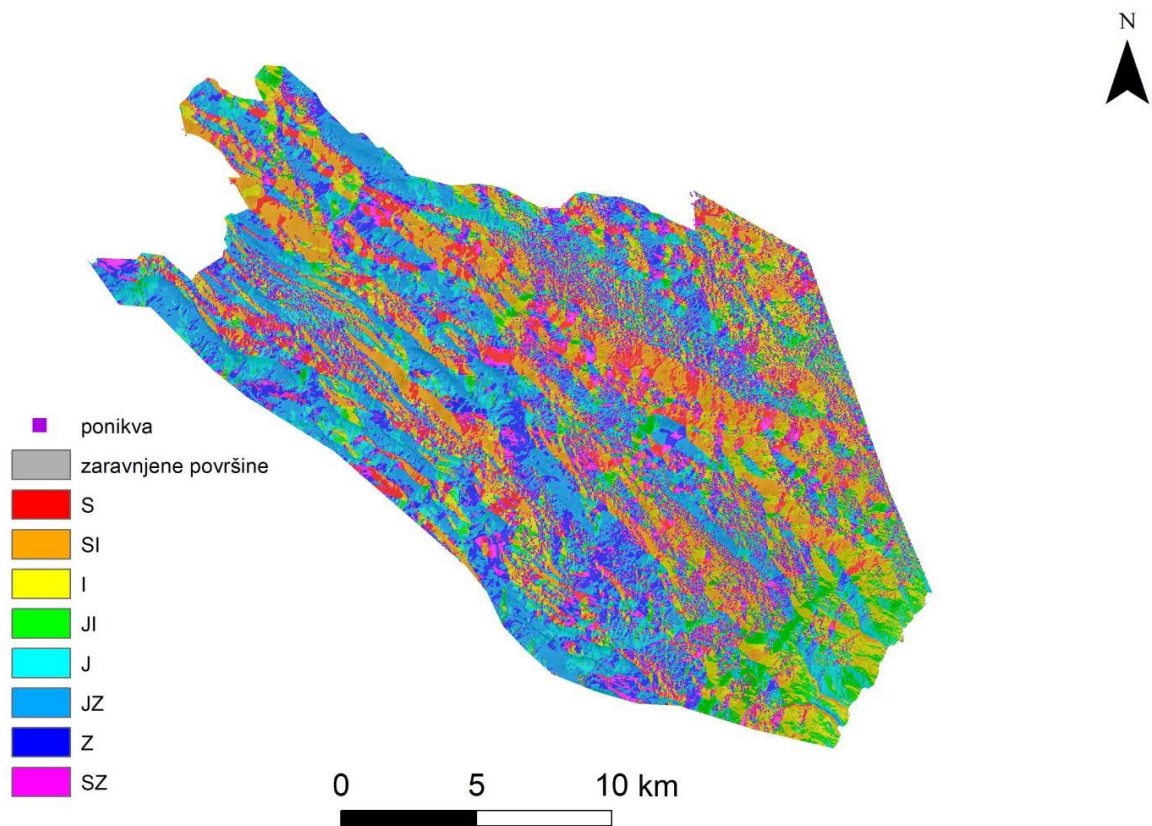
SMJER	POVRŠINA (km ²)	UDIO (%)	BROJ PONIKAVA	UDIO PONIKAVA (%)	GUSTOĆA PONIKAVA (pon/km ²)
Zaravnjene površine	1,40	0,36	263	1,77	187,59
Sjever	37,04	9,43	1708	11,50	46,11
Sjeveroistok	66,90	17,03	1788	12,03	26,72
Istok	50,09	12,75	1531	10,30	30,57
Jugoistok	41,18	10,48	1355	9,12	32,90
Jug	50,83	12,94	1740	11,71	34,23
Jugozapad	78,15	19,89	2215	14,91	28,34
Zapad	41,77	10,63	2368	15,94	56,69
Sjeverozapad	25,49	6,49	1889	12,71	74,10
Ukupno	392,86	100,00	14857	100,00	



Slika 14. Udio površine po razredima orijentacije padine



Slika 15. Gustoća ponikava po razredima orijentacije padine



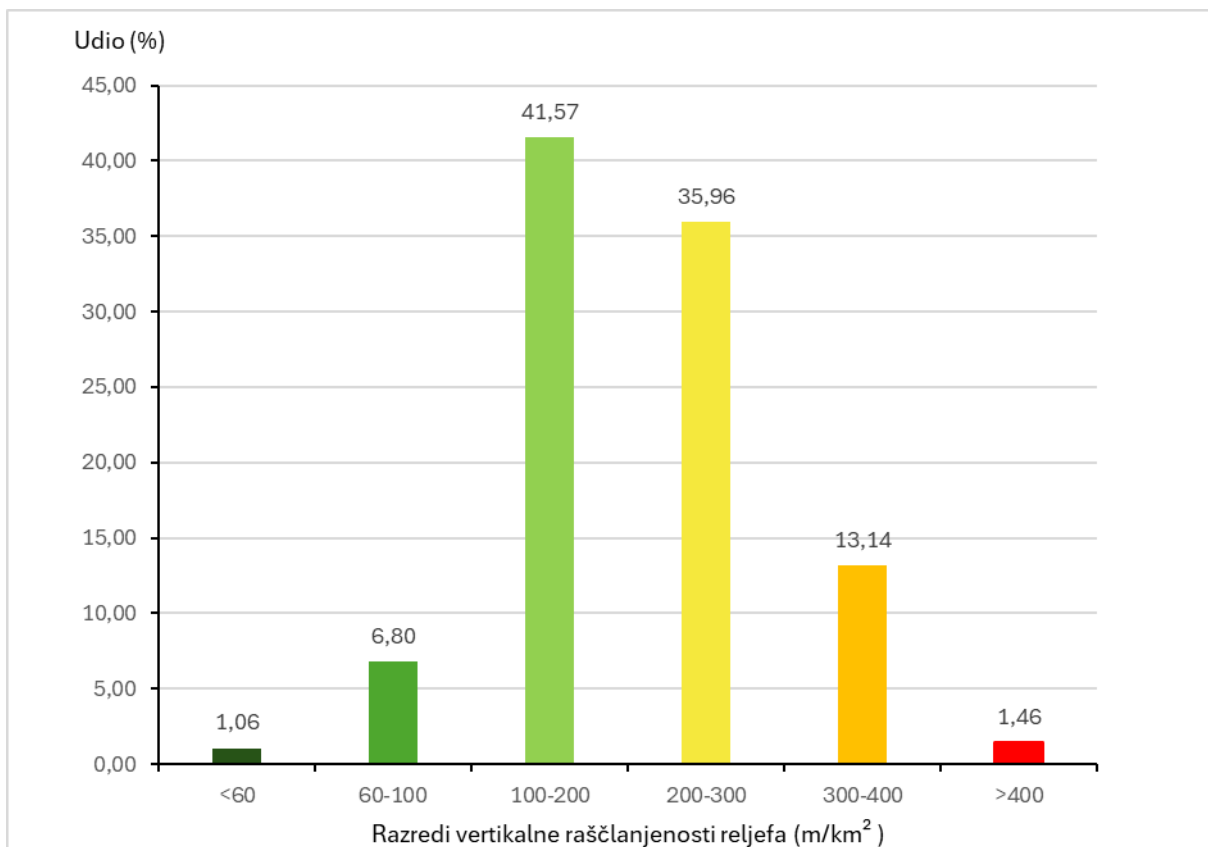
Slika 16. Distribucija ponikava po razredima orijentacije padine

5.5. ODNOS VERTIKALNE RAŠČLANJENOSTI RELJEFA I POJAVE PONIKAVA

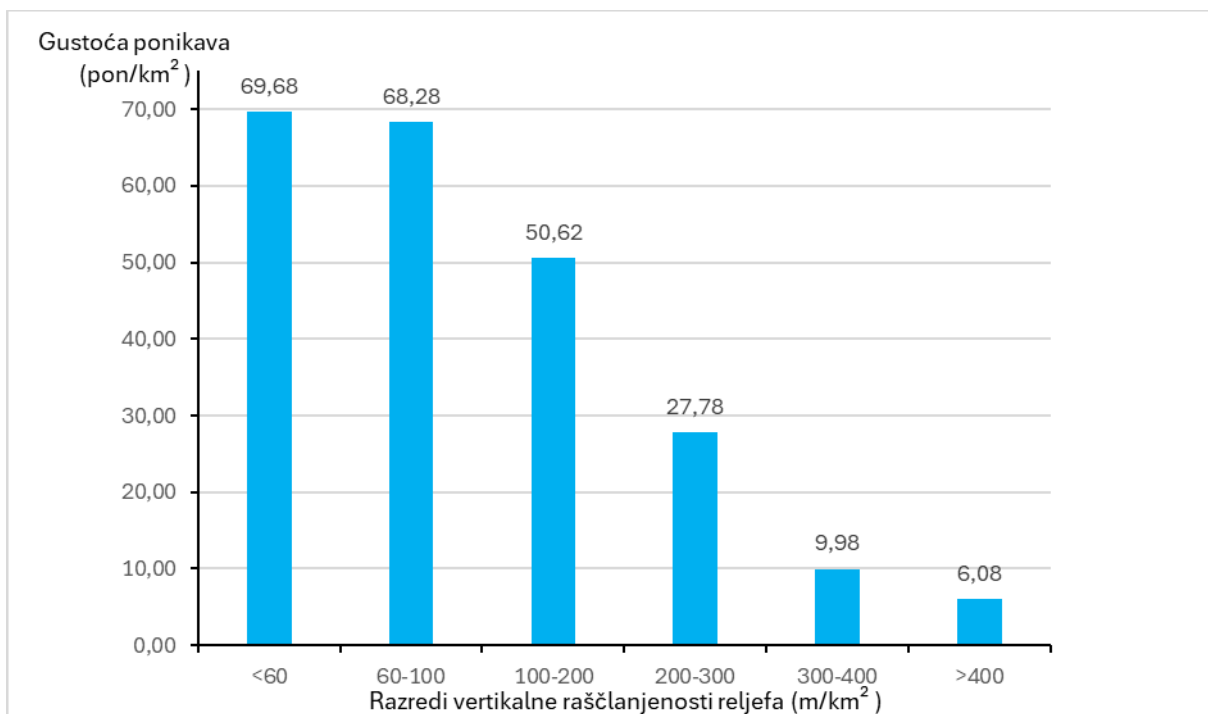
Vertikalna raščlanjenost reljefa kvantitativno opisuje reljef kroz mjerenje visinske razlike između najviših i najnižih točaka unutar određene površine. Na lokalnoj razini, ova karakteristika je određena specifičnostima terena, kao što su litološki sastav, raspored, te količina vode. Ona također ukazuje na intenzitet egzogenih procesa. Na područjima s manjom vertikalnom raščlanjenošću dolazi do pojačane akumulacije materijala, dok se na područjima s većom raščlanjenošću javlja veći intenzitet erozije (Lozić, 1995). Rasponi vertikalne raščlanjenosti reljefa na istraživanom području variraju u rasponu od 21 – 499 m/km², a prosječna vrijednost vertikalne raščlanjenosti iznosi 207 m/km² (Tab.5.). Može se tvrditi da područje spada u umjereno raščlanjen reljef. Razred raspona do 60 m/km² pokriva najmanju površinu od 4,15 km², što čini 1,06 % ukupne površine (Sl.17.). Ima 289 ponikava, što je 1,95 % ukupnog broja, s najvišom gustoćom od 69,68 ponikava po km² (Sl.18.). Razred raspona od 60 do 100 m/km² pokriva 26,73 km² (6,80 % ukupne površine). Broj ponikava je 1825, što čini 12,28 % ukupnog broja, s gustoćom od 68,28 ponikava po km². Najviše je zastupljen razred raspona 100 – 200 m/km² koja zauzima 41% površine i prostire se kroz cijelo područje. S 8268 ponikava, ovaj razred sadrži 55,65 % ukupnog broja ponikava, s gustoća iznosi 50,62 ponikava po km². Zatim, kategorija raspona 200 - 300m/km² zauzima 35 % površine i prostire se u linijama smjera SZ-JI. Ovaj razred pokriva 141,28 km², što čini 35,96 % ukupne površine. Identificirano je 3925 ponikava, što je 26,42 % ukupnog broja, s gustoćom od 27,78 ponikava po km². Razred raspona 300 – 400 m/km² rasprostire se na 51,63 km² ili 13,14 % ukupne površine. Broj ponikava je 515, što čini 3,47 % ukupnog broja, s gustoćom od 9,98 ponikava po km². Najveća kategorija raspona >400 m/km² prati najviše vrhove, stoga se može naći na jugoistoku područja, te zauzima 5,76 km² ili 1,46 % površine. S 35 ponikava, ovaj razred čini 0,24 % ukupnog broja, s gustoćom od 6,08 ponikava po km² (Sl. 19).

Tablica 5. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa

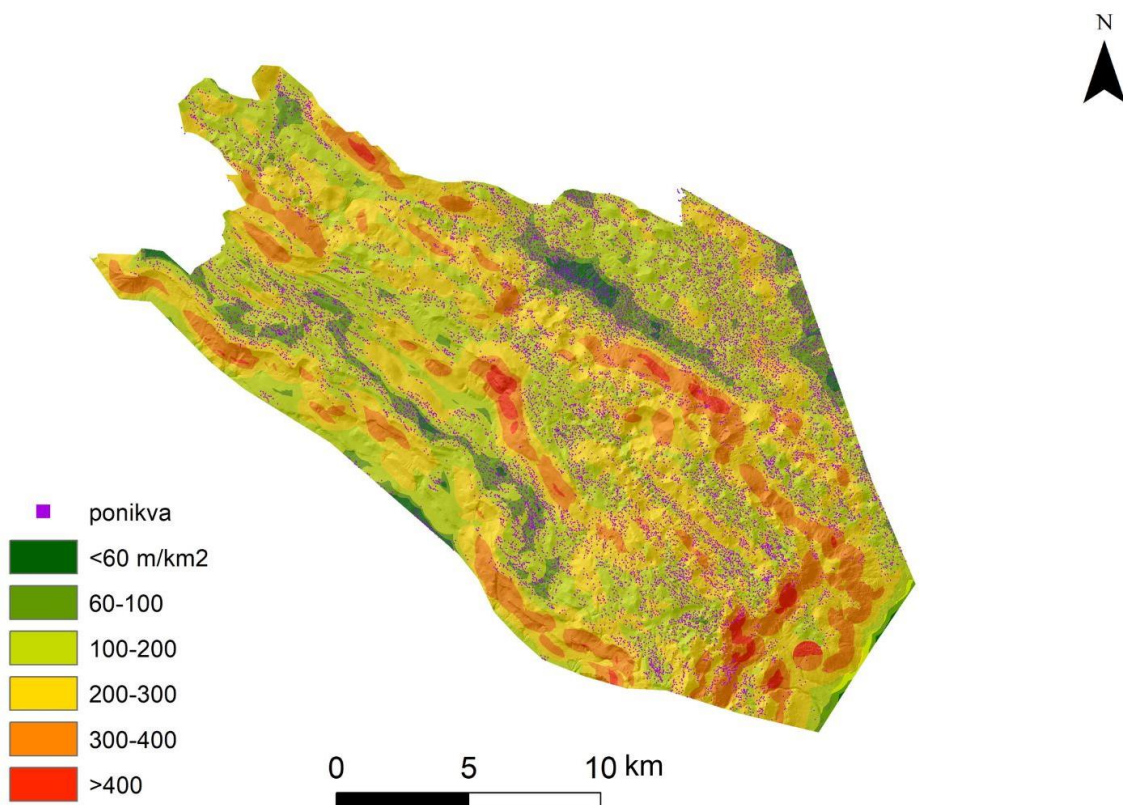
RAZRED (m/km ²)	POVRŠINA (km ²)	UDIO (%)	BROJ PONIKAVA	UDIO PONIKAVA (%)	GUSTOĆA PONIKAVA (pon/km ²)
<60	4,15	1,06	289	1,95	69,68
60-100	26,73	6,80	1825	12,28	68,28
100-200	163,32	41,57	8268	55,65	50,62
200-300	141,28	35,96	3925	26,42	27,78
300-400	51,63	13,14	515	3,47	9,98
>400	5,76	1,46	35	0,24	6,08
Ukupno	392,86	100,00	14857	100,00	



Slika 17. Udio površine po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa



Slika 18. Gustoća ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa



Slika 19. Distribucija ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa

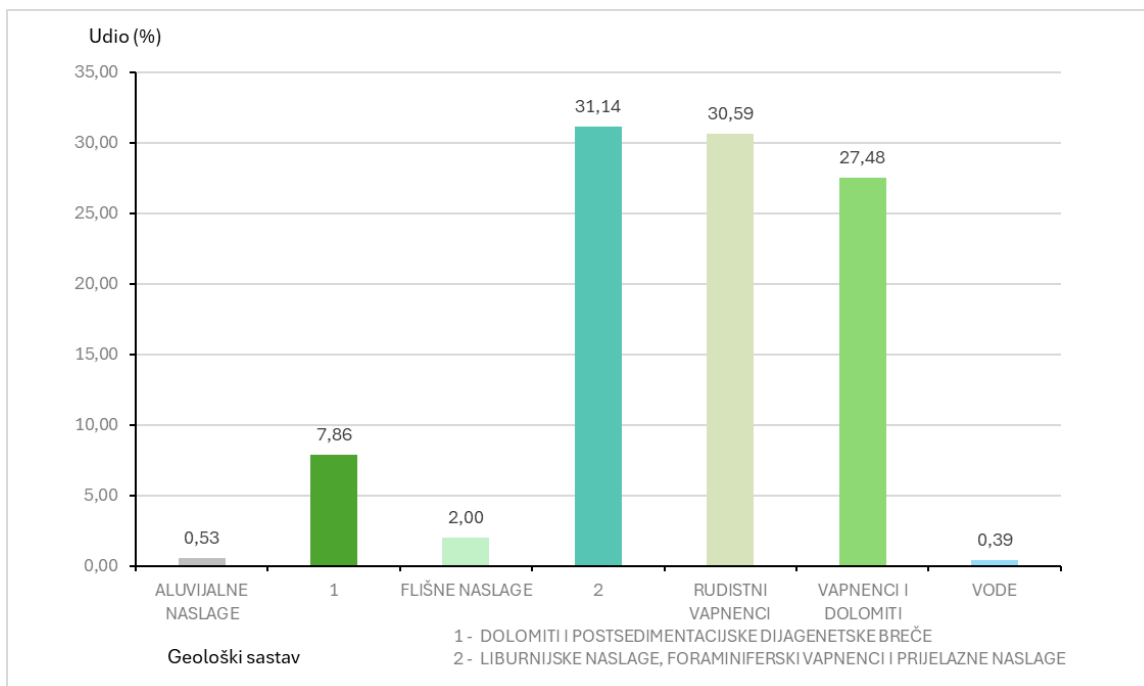
5.6. ODNOS GEOLOŠKOG SASTAVA I POJAVE PONIKAVA

Geološka građa zapadne Hrvatske izuzetno je heterogena, a s obzirom da kompleksnost geomorfoloških karakteristika velikim dijelom proizlazi iz evolucije terena, strukturnih odnosa i litologije, od velike su važnosti litostratigrafski odnosi. Na Ćićariji se od stratigrafskih članova nalaze stijene iz perioda donje (alb) i gornje krede (od cenomana do mastrihta), tercijara (paleocena i eocena) te kvartara (holocen). Najstarije stijene istraživanog prostora vežu se uz epohe gornji alb te donji cenoman i čine ih dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče (Izvor 3) (Tab. 6.). Njihova prostorna distribucija je na sjever istraživanog područja, pružaju se linijski uz kontinuirani prijelaz (granicu) te zauzimaju 30,89 km² odnosno 7,86 % udjela u površini (Sl. 20.). Na ovom prostoru zabilježeno je 1106 ponikava (7,44 %), a gustoća iznosi 35,80 pon/km² (Sl.21.). U donju kredu spadaju još i vapnenci i dolomiti koji su zastupljeni na istoku i sjeveru istraživanog područja te zauzimaju 107,94 km² ili 27,48 % udjela u površini. Identificirano je 5331 ponikava (35,88 %) s gustoćom od 49,39 ponikava po km². Ovaj razred

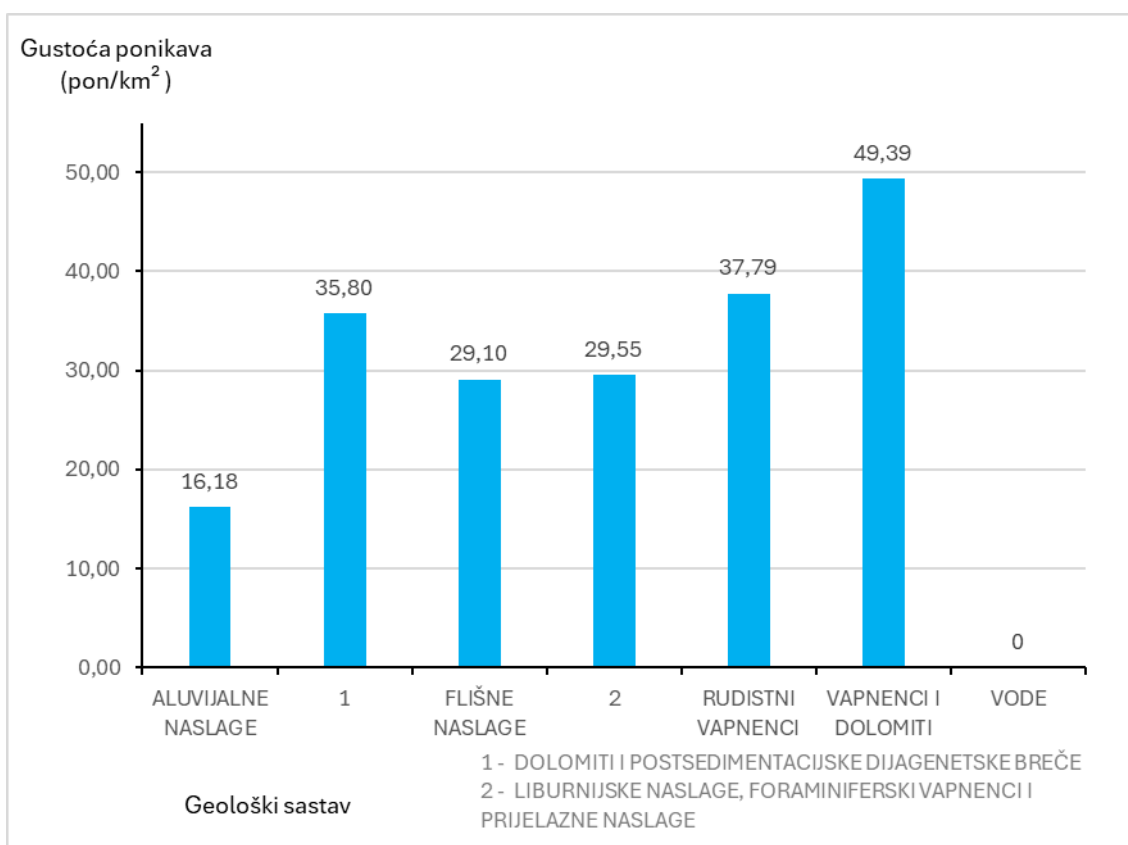
ima najveći broj i najvišu gustoću ponikava, što ukazuje na povoljne uvjete za njihovo formiranje. Uz gornji kredu i epohe nastanka od cenomana sve do mastrihta vežemo rudistne vapnence u kojima prevladavaju veći ili manji dijelovi ljuštura školjkaša. Oni su zastupljeni preko cijelog područja u smjeru sjeverozapad jugoistok, s većom koncentracijom u središnjem dijelu područja te zauzimaju 120,18 km² odnosno 30,59 % udjela u površini. Imaju 4542 ponikava (30,57 %) s gustoćom od 37,79 ponikava po km². Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage vežu se uz epohu paleocena. Oni zauzimaju najveću površinu istraživanog područja od 122,34 km² ili 31,14 % ukupne površine, a nalaze se na jugozapadu područja. Zastupljeno je 3615 ponikava (24,33 %) s gustoćom od 29,55 ponikava po km². Uz tercijar vežemo i flišne naslage iz epohe eocena. Fliš zauzima 7 km², odnosno 2 % udjela u površini te ga nalazimo na nekoliko mjesta, najviše na zapadu područja, malo na jugu te u sredini. Na flišnim naslagama prepoznato je 229 ponikava (1,54 %) s gustoćom od 29,10 ponikava po km². Najmlađe, aluvijalne naslage kvartara, epohe holocena nalazimo na sredini istraživanog područja te zauzimaju 2,10 km² površine odnosno 0,53 % udjela u površini. Na ovom području zabilježeno je 34 ponikave, što je 0,23 % ukupnog broja, s gustoćom od 16,18 ponikava po km². Ostatak otpada na more (1,54 km² ili 0,39 % ukupne površine) uz jugoistok područja bez pojave ponikava (Sl.22.).

Tablica 6. Gustoća, udio i broj ponikava po litološkim jedinicama

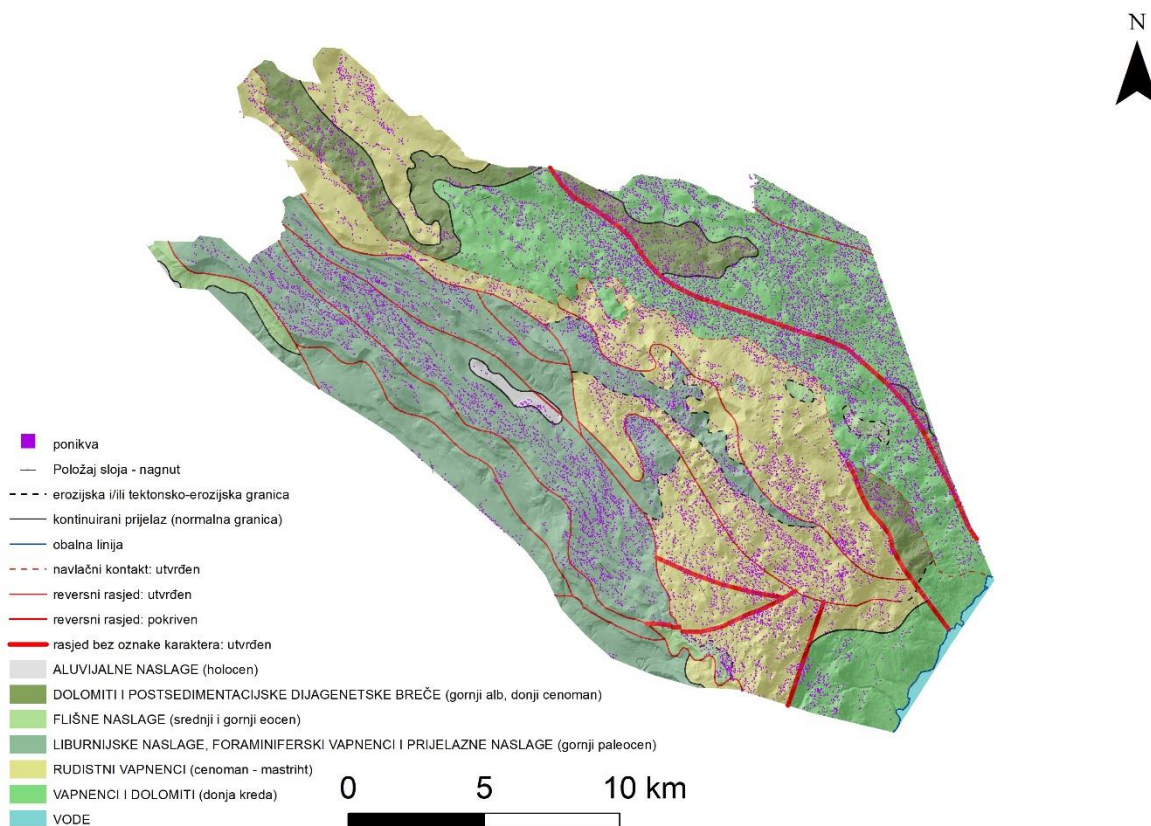
GEOLOŠKI SASTAV	POVRŠINA (km ²)	UDIO (%)	BROJ PONIKAVA	UDIO PONIKAVA (%)	GUSTOĆA PONIKAVA (pon/km ²)
Aluvijalne naslage	2,10	0,53	34	0,23	16,18
Dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče	30,89	7,86	1106	7,44	35,80
Flišne naslage	7,87	2,00	229	1,54	29,10
Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage	122,34	31,14	3615	24,33	29,55
Rudistni vapnenci	120,18	30,59	4542	30,57	37,79
Vapnenci i dolomiti	107,94	27,48	5331	35,88	49,39
Vode	1,54	0,39	0	0,00	0,00
Ukupno	392,86	100,00	14857	100,00	



Slika 20. Udio površine po litostratigrafskim jedinicama

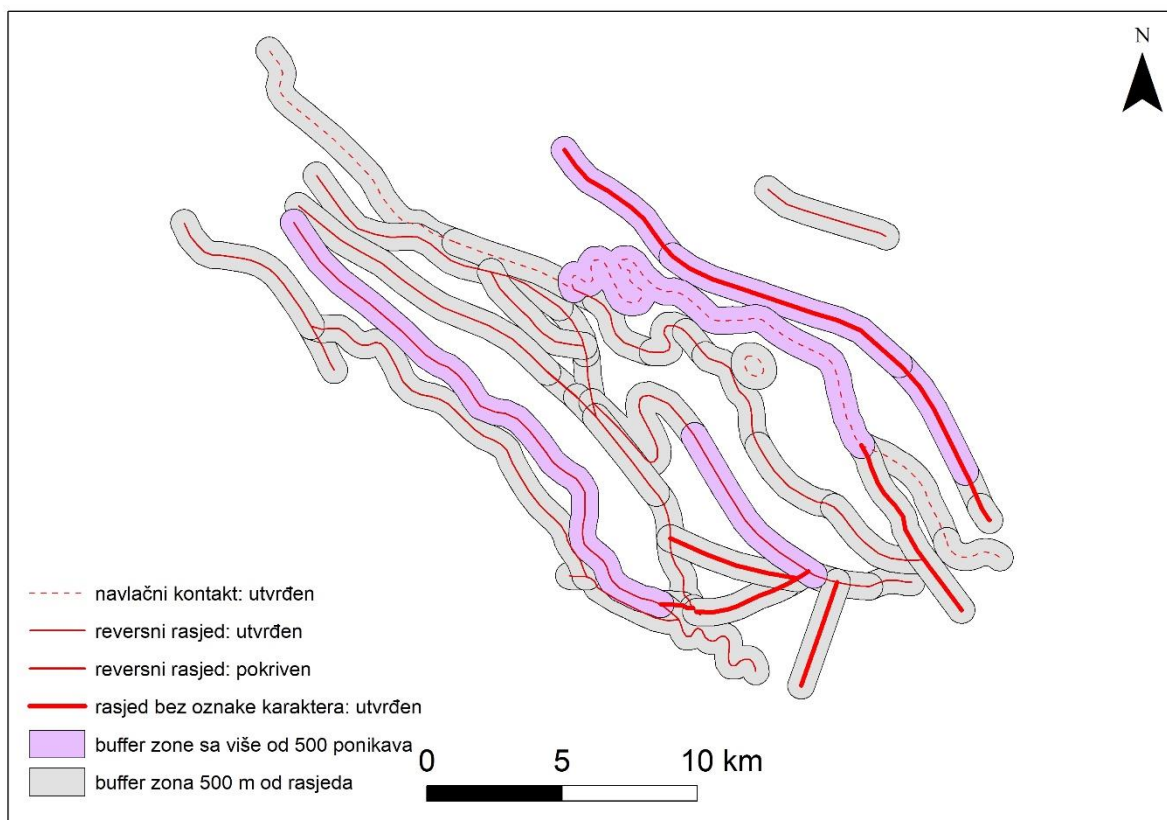


Slika 21. Gustoća ponikava po litoškim jedinicama



Slika 22. Distribucija ponikava po litološkim jedinicama

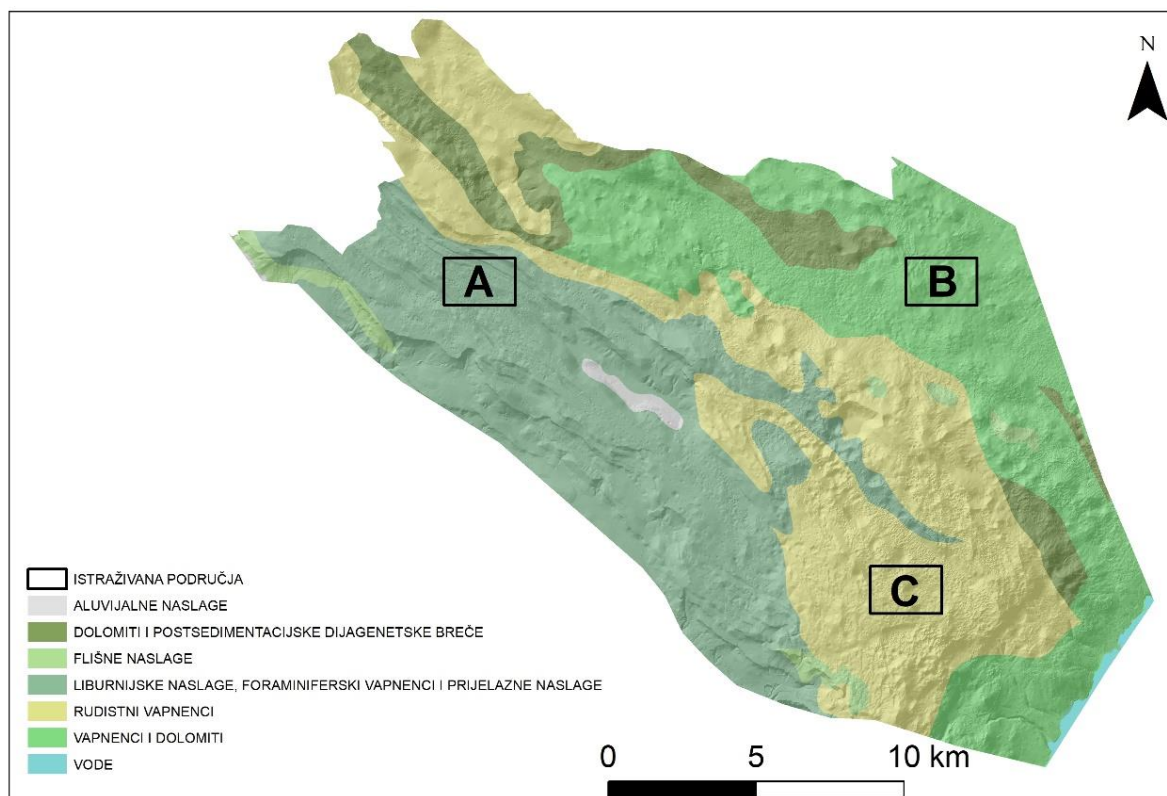
Na području Ćićarije ima mnogo rasjeda. Rasjedi su većinom orijentirani u pravcima sjeverozapad–jugoistok i istok – zapad, dok je smjer sjever-jug rjeđe prisutan. Pravac pružanja rasjeda sjeverozapad – jugoistok je dominantan, što se podudara s dinarskim pravcem pružanja gorja. Korištenjem buffer metode određeni su pojasevi od 500 metara oko rasjeda (Sl.23.). Unutar tih pojaseva identificirane su 7663 ponikve, što čini 51,58 % svih kartiranih ponikava. Ovo ukazuje na to da osim litoloških karakteristika, i tektonika značajno utječe na prostorni raspored ponikava. Posebno su izdvojene 6 zona u kojima je utvrđeno više od 500 ponikava. U tim zonama ukupno je identificirano 5494 ponikava (Sl.23.).



Slika 23. Izdvojene buffer zone s visokom gustoćom ponikava

5.7. DETALJNA ANALIZA ODABRANIH PODRUČJA

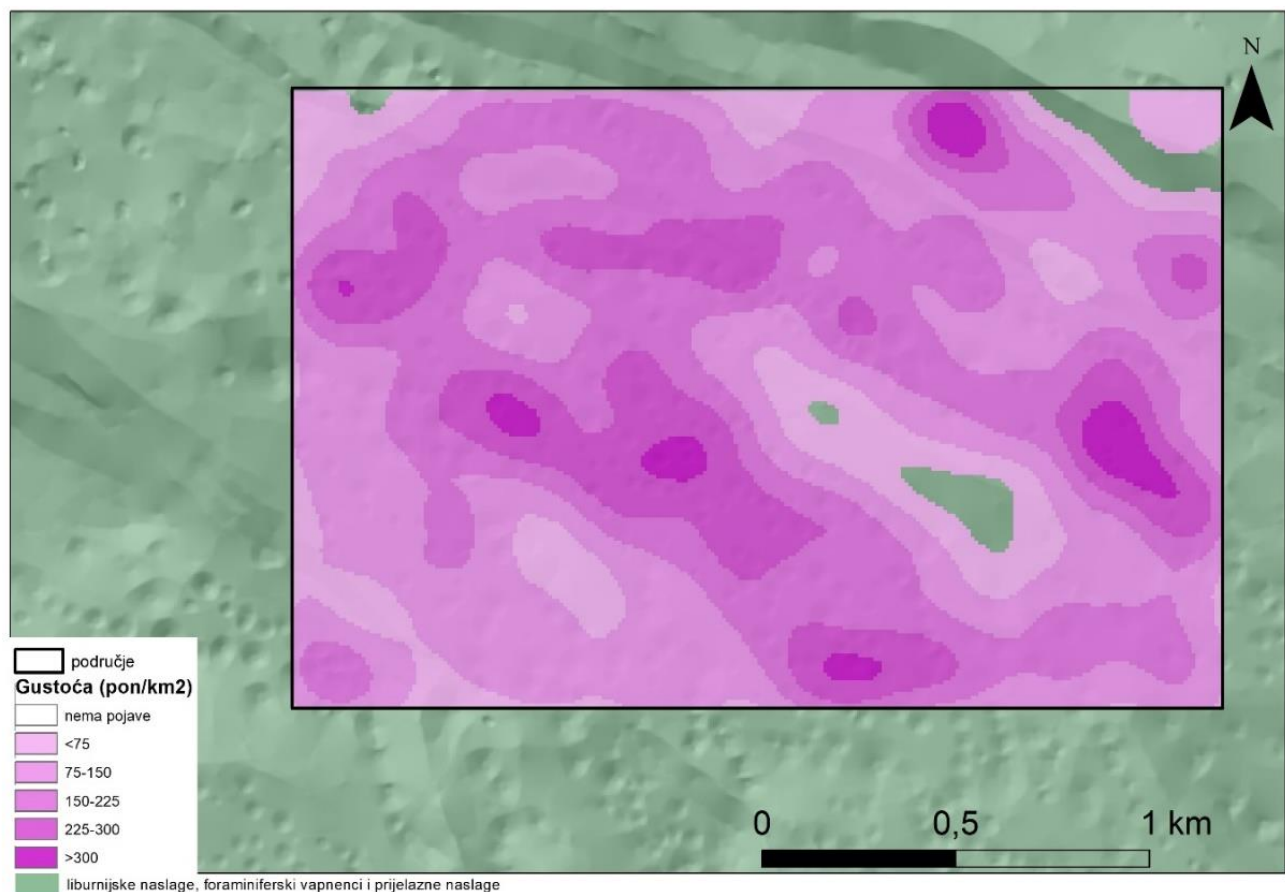
Tijekom istraživanja izdvojena su tri područja koja se razlikuju po geološkoj podlozi (Sl.24.). Ponikve su se generirale iz LIDAR-ske snimke DEM-a 1x1 m. Provedena je analiza ključnih parametara ponikava u svakom području, uključujući gustoću, površinu, volumen, dubinu i opseg. Na kraju su ovi parametri međusobno uspoređeni kako bi se utvrdile razlike.



Slika 24. Izdvojene područja kod kojih su izrađene studije slučaja

5.7.1. STUDIJA SLUČAJA A

Istraživano područje koje se cijelo nalazi na liburnijskim naslagama, foraminiferskim vapnencima i prijelaznim naslagama obuhvaća 573 ponikve s gustoćom od 150,91 ponikava po kvadratnom kilometru (Tab.7.). Usporedbe radi, izdvojeno područje sadrži 255 ponikve generirane iz topografskih karata. Ukupna površina područja iznosi 3.840.016,97 m² (3,84 km²), a rasprostranjeno je u dva visinska razreda. Područje visinskog razreda od 400 do 600 metara prostire se na jugozapadu, a na razred od 600 do 800 m nadmorske visine otpada ostatak površine. Većina ponikava pojavljuje se u razredu 600 - 800 m nadmorske visine. Zbroj površina ponikava iznosi 597.384,47 m² (0,59 km²), što znači da ponikve zauzimaju značajan dio ukupne površine, a raspoređene su linijski u smjeru SZ-JI. Prosječna gustoća ponikava iznosi 150, 91 pon/km², a gustoća se pojavljuje u intervalu od najmanje 0 do najveće 368,81 pon/km² (Sl.25.). Najveća gustoća ponikava je na sjevernom i istočnom rubu područja. Visoka gustoća ponikava proteže se i središnjim dijelom u smjeru sjeverozapad jugoistok.

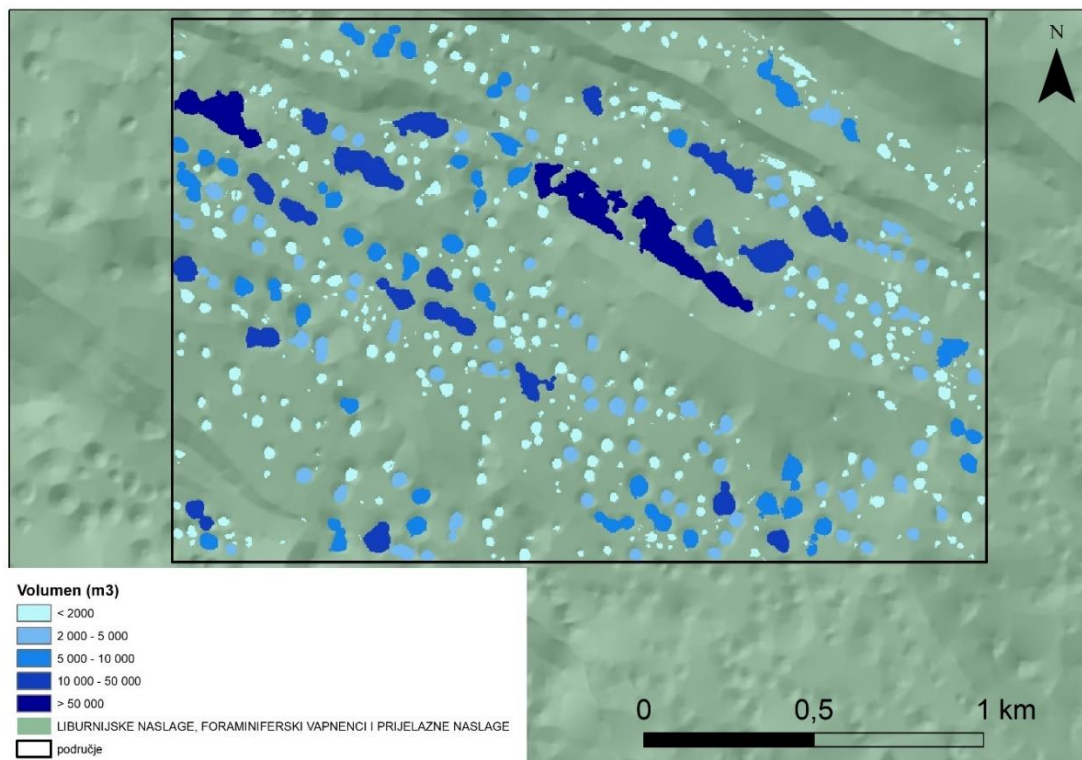


Slika 25. Gustoća ponikava unutar studije slučaja A

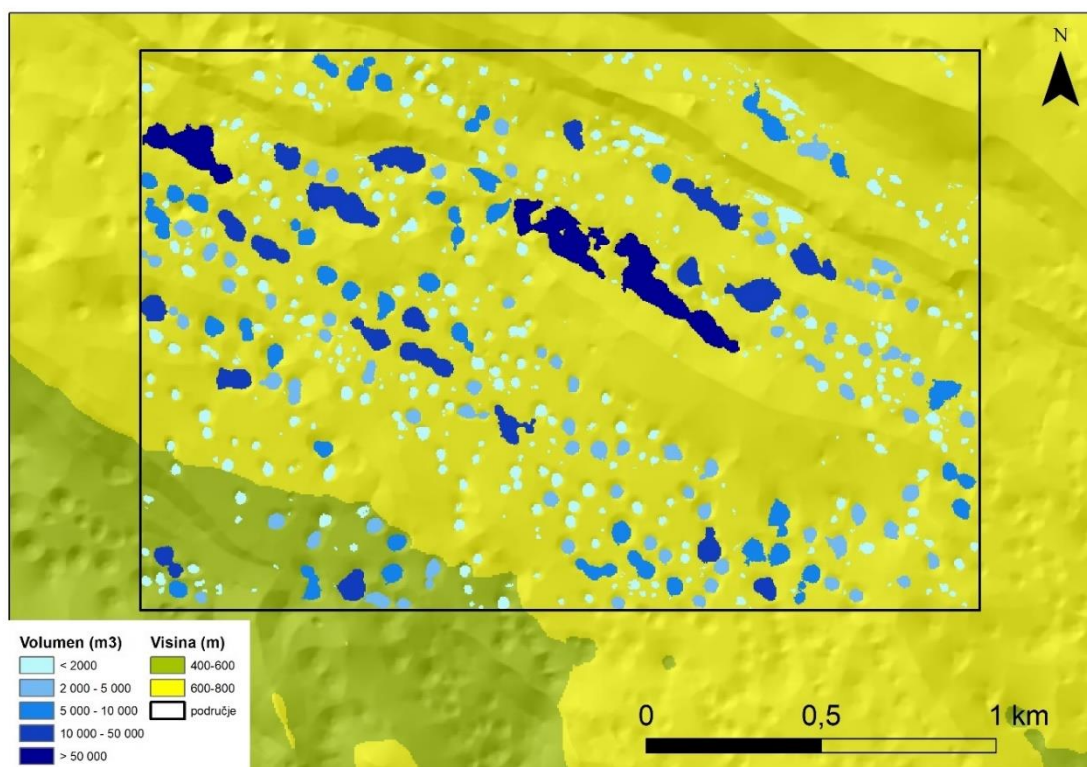
Tablica 7. Statistički rezultati analiziranih parametara studije slučaja A

Parametri	Vrijednost
Broj ponikava	573
Gustoća ponikava (pon/km ²)	150,91
Ukupna površina SS (m ²)	3840016,97
Zbroj površina ponikava (m ²)	597384,47
Prosječna površina ponikve (m ²)	1042,56
Minimalna površina ponikve (m ²)	28,30
Maksimalna površina ponikve (m ²)	29803,77
Zbroj volumena ponikava (m ³)	1336133,67
Prosječan volumen (m ³)	2321,55
Minimalan volumen (m ³)	0,35
Maksimalan volumen (m ³)	119499,96
Prosječna dubina (m)	6,85
Minimalna dubina (m)	0,06
Maksimalna dubina (m)	15,12
Prosječan opseg (m)	116,09
Minimalan opseg (m)	21,05
Maksimalan opseg (m)	1428,94
Indeks okršenosti	15,56%

Prosječna površina ponikve je 1.042,56 m², s minimalnom površinom od 28,3 m² i maksimalnom od 29.803,77 m². Volumen ponikava raspoređen je u pet razreda veličina do 2 000 m³, od 2 000 do 5 000 m³, od 5 000 do 10 000 m³, od 10 000 do 50 000 m³ te volumena većeg od 50000 m³ (Sl.26.). Najviše je ponikava volumena manjeg od 2 000 m³, a najmanje onih većeg od 50 000 m³. Zbroj volumena svih ponikava je 1.336.133,67 m³, s prosječnim volumenom od 2.321,55 m³. Najmanji volumen pojedine ponikve je 0,35 m³, dok najveća ima volumen od 119.499,96 m³. Najveće ponikve nalaze se na sredini područja te su izdužene u pravcu SZ-JI, dok su ostale ponikve kružnog oblika (Sl.27.).

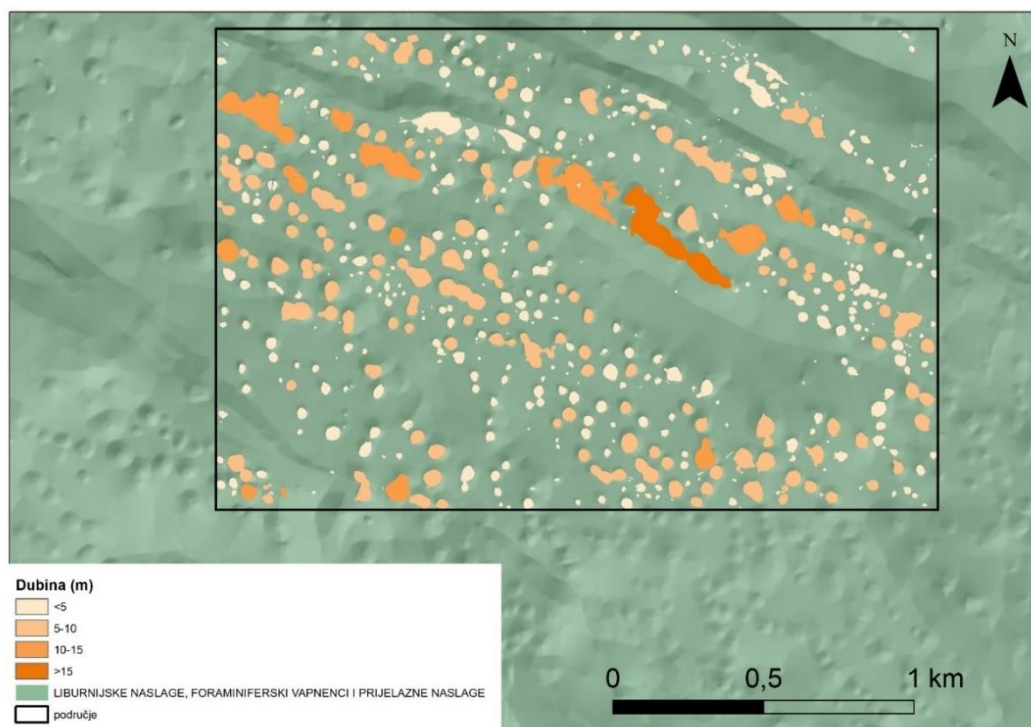


Slika 26. Prikaz volumena ponikava s obzirom na litološke jedinice

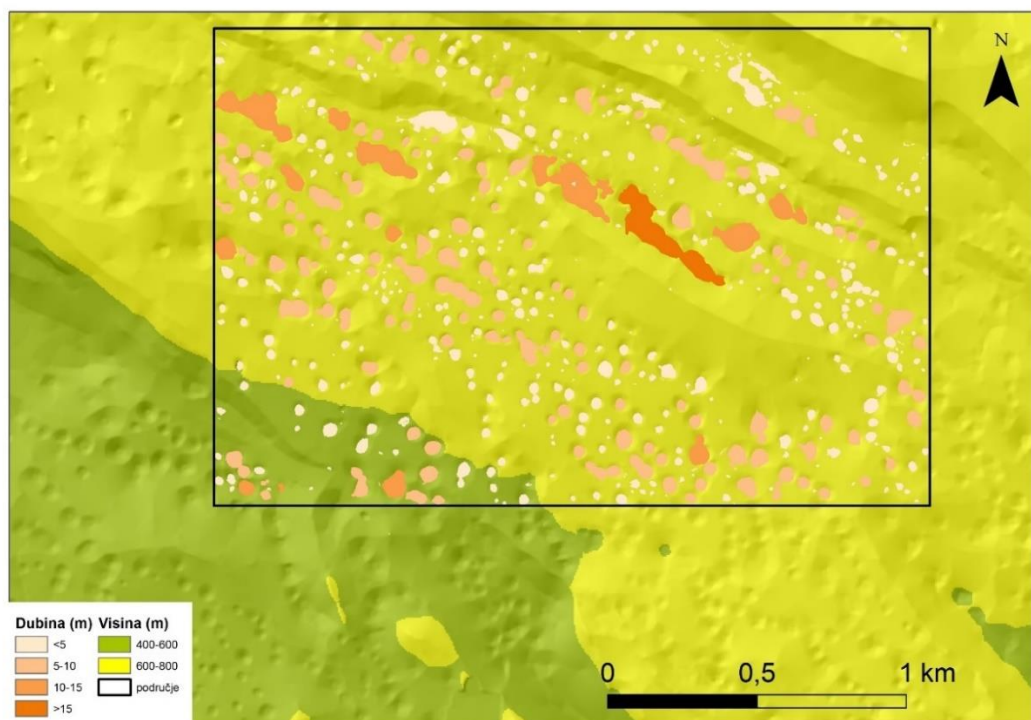


Slika 27. Prikaz volumena ponikava s obzirom na hipsometriju

Dubina se određuje kao razlika između najviše točke ruba ponikve i najniže točke unutar nje. Prosječna dubina ponikava je 6,85 m, pri čemu se najplića ponikava proteže na svega 0,06 m, dok najdublja doseže 15,12 m (Sl.27.). Dubine su klasificirane u 4 razreda po 5 m, a zadnji obuhvaća razred dubina većih od 15 m. Najviše ponikava svrstano je u razred dubine od 5 do 10 metara, a najmanje u razred preko 15 m dubine (Sl.29.). Opseg ponikava također varira, s prosječnim opsegom od 116,09 m, pri čemu minimalni iznosi 21,05 m, a maksimalni doseže 1428,94 m.



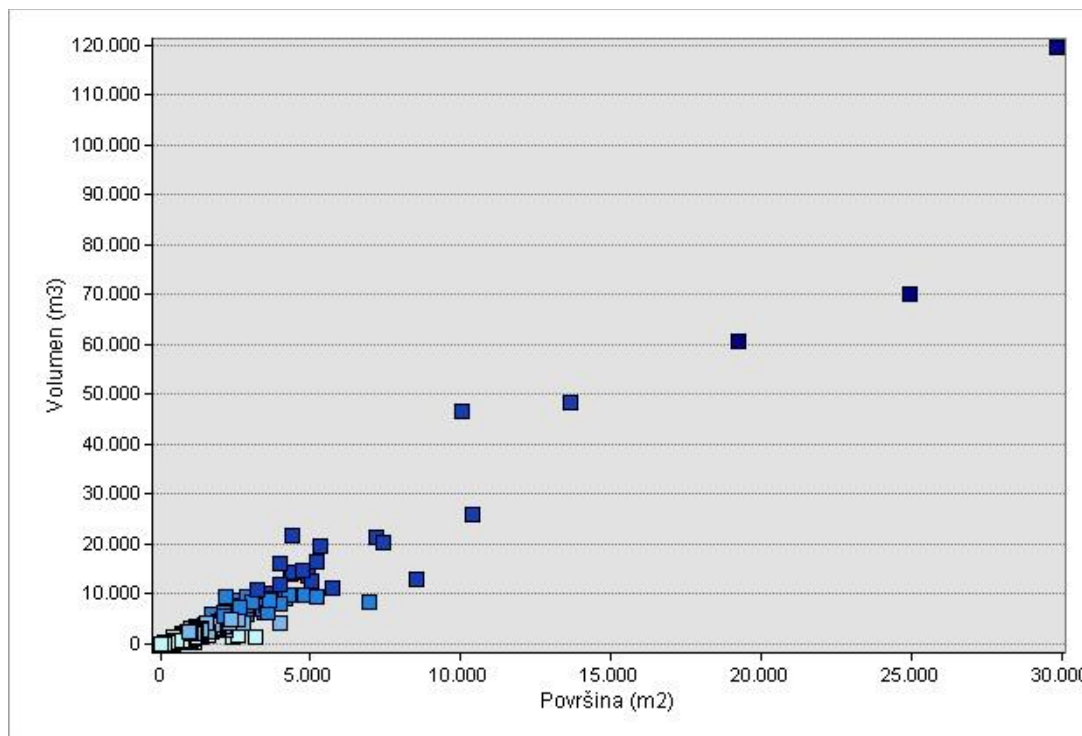
Slika 28. Prikaz dubine ponikava s obzirom na litološke jedinice



Slika 29. Prikaz dubine ponikava s obzirom na hipsometriju

Indeks okršenosti pokazuje do koje je mjere promatrano područje podložno okršavanju. Stupanj okršenosti je veći što se vrijednost indeksa približava vrijednosti 1 (potpuno otjecanje u depresije) (Bauer, 2015). Indeks okršenosti, koji iznosi 15,56 %. Stavivši u odnos površinu i volume ponikava, vidljivo je da se pri većoj površini povećava i volume (Sl.30.). Većina točaka

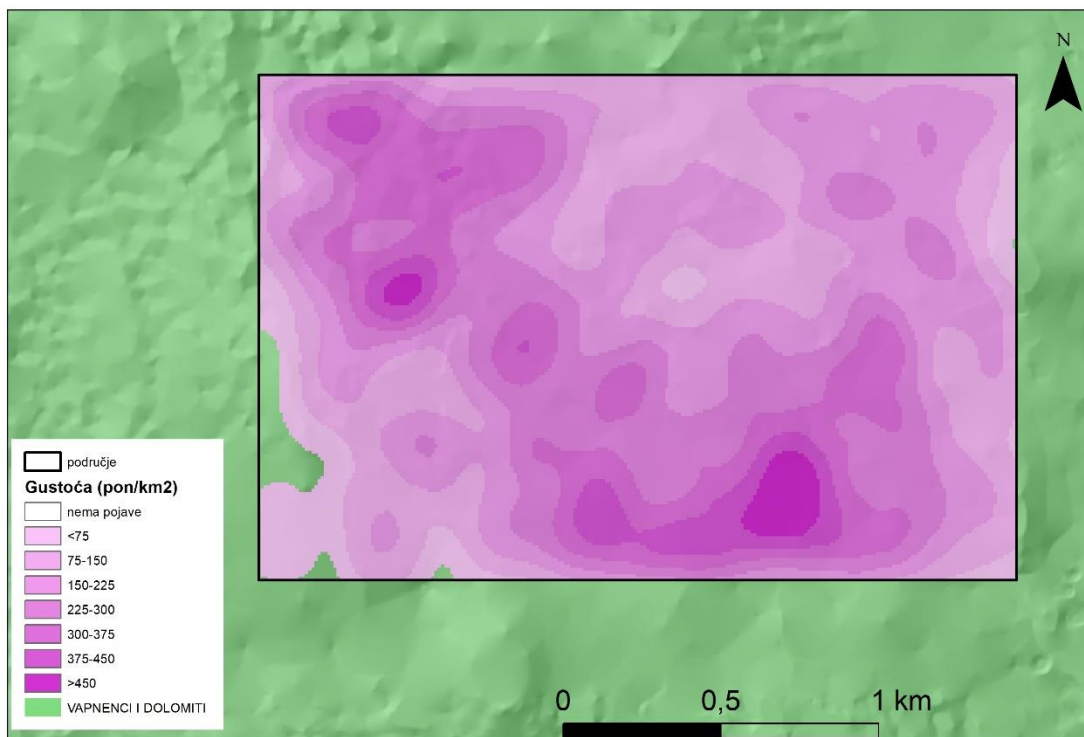
grupirano je u donjem lijevom kutu, što znači da ponikve imaju relativnu malu površinu (do 5 000 m²) i manji volumen (do 20 000 m³). Kako se površina povećava, raste i volumen, no ne linearno. Nekoliko ponikava sa velikom površinom imaju neproporcionalan volumen. Najveća ponikava ima površinu od 29.803,77 m² i volumen od 119.499,96 m³.



Slika 30. Odnos volumena i površine ponikava

5.7.2. STUDIJA SLUČAJA B

Istraživano područje, smješteno na vapnencima i dolomitima, obuhvaća 707 ponikve, što odgovara gustoći od 210,79 ponikava po kvadratnom kilometru (Tab. 8.). Na izdvojenom području identificirano je 284 ponikava koje su utvrđene analizom topografskih karata. Ukupna površina područja iznosi 3.840.016,97 m² (3,84 km²), a ono se prostire u tri visinska razreda: između 400-600 m, 600-800 m i 800-1000 m nadmorske visine, raspoređene u smjeru SSZ-JJI. Najviše površine otpada na razred visina od 600 do 800 m, zatim od 800 do 1000 m, a najmanje je visina razreda od 400 do 600 m. Ponikve su identificirane na svim visinama. Površina ponikava ukupno iznosi 621.994,13 m² (0,62 km²), što znači da ponikve zauzimaju značajan dio ove površine. Prosječna gustoća ponikava iznosi 210,80 pon/km², a gustoća se pojavljuje u intervalu od najmanje 0 do najveće 520,87 pon/km² (Sl.31.). Najveća gustoća ponikava je na sjeveroistočnom rubu te jugu područja. Visoka gustoća ponikava proteže se u kružnom obliku oko spomenutih područja.



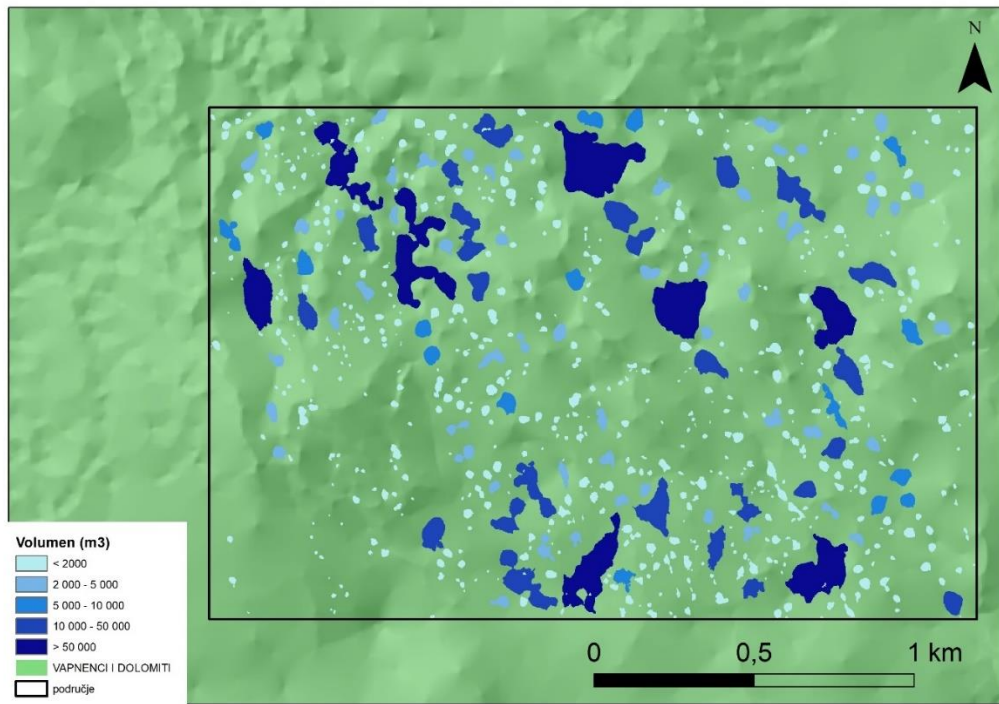
Slika 31. Gustoća ponikava unutar studije slučaja B

Tablica 8. Statistički rezultati analiziranih parametara studije slučaja B

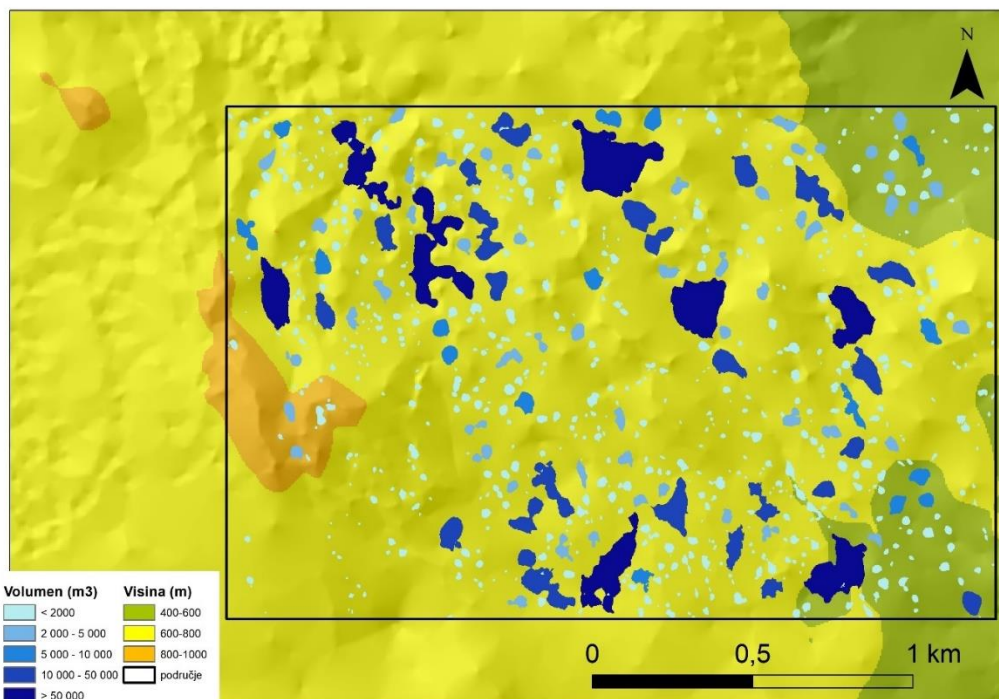
Parametri	Vrijednost
Broj ponikava	707
Gustoća ponikava (pon/km2)	210,80
Ukupna površina SS (m2)	3840016,97
Zbroj površina ponikava (m2)	621994,13
Prosječna površina ponikve (m2)	879,77
Minimalna površina ponikve (m2)	28,54
Maksimalna površina ponikve (m2)	35629,99
Zbroj volumena ponikava (m3)	2020427,93
Prosječan volumen (m3)	2857,75
Minimalan volumen (m3)	1,65
Maksimalan volumen (m3)	291419,22
Prosječna dubina (m)	9,71
Minimalna dubina (m)	0,21
Maksimalna dubina (m)	22,18
Prosječan opseg (m)	96,47
Minimalan opseg (m)	20,57
Maksimalan opseg (m)	1620,71
Indeks okršenosti	16,20%

Prosječna površina jedne ponikve iznosi 879,77 m², dok se veličine pojedinih ponikava kreću od minimalnih 28,54 m² do maksimalnih 35.629,99 m². Volumen ponikava raspoređen je u istih 5 razreda kao i studija slučaja A, kako bi se lakše usporedili (Sl.32.). Najviše je ponikava

volumena manjeg od 2 000m³, a najmanje onih većeg od 50 000m³. Kao i kod studije slučaja A. Ukupni volumen svih ponikava na području iznosi 2.020.427,93 m³, pri čemu prosječan volumen iznosi 2,857,75 m³ (Sl.33.). Najmanja ponikava ima volumen od 1,65 m³, dok najveća ponikava doseže volumen od čak 291.419,22 m³.

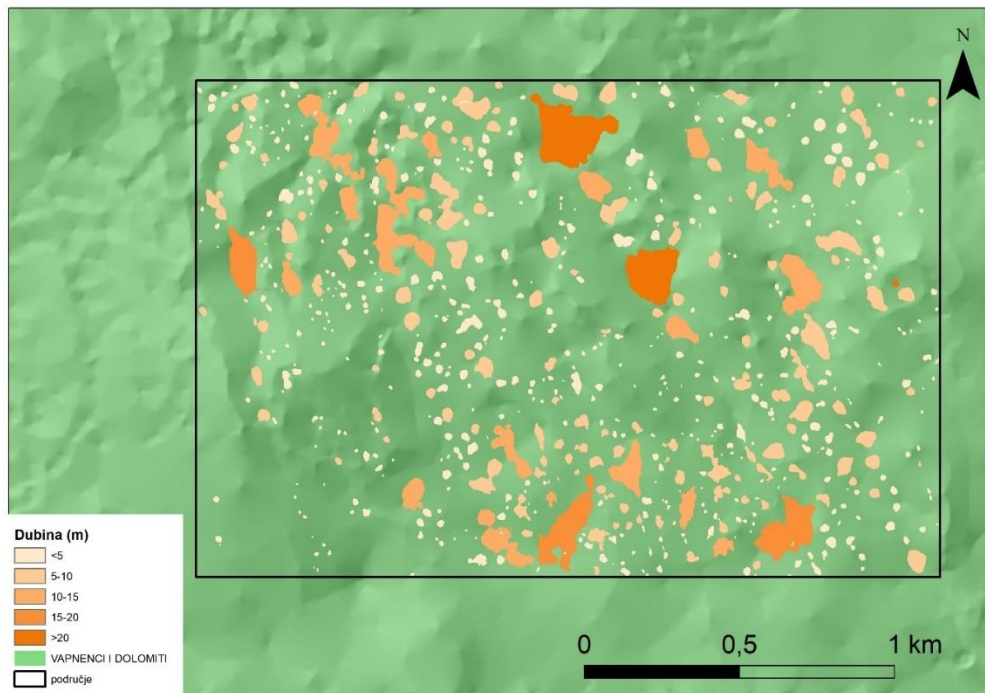


Slika 32. Prikaz volumena ponikava u odnosu na litoške jedinice

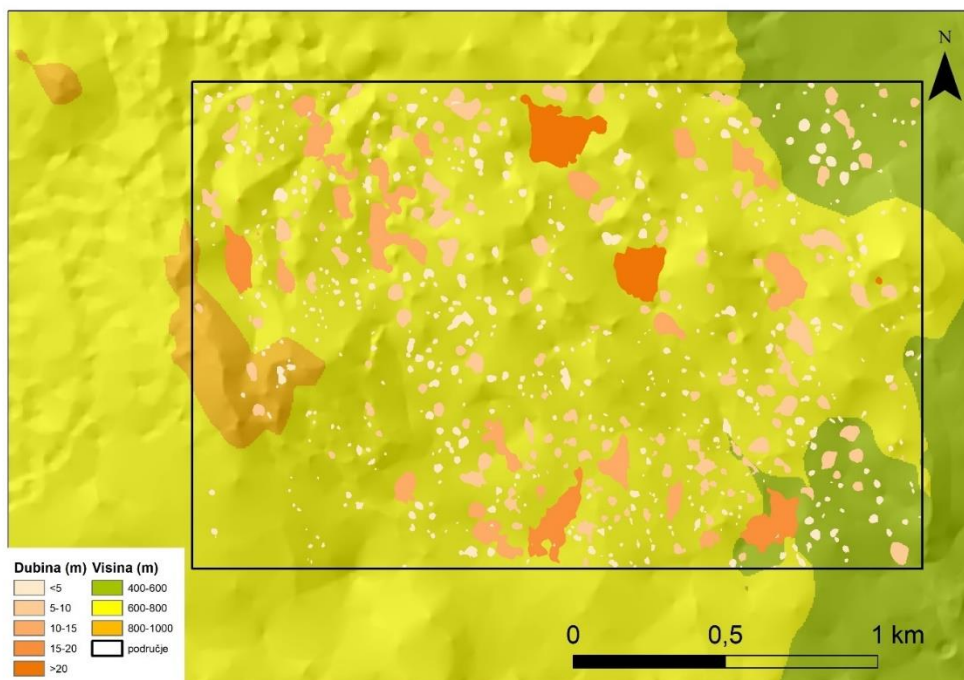


Slika 33. Prikaz volumena ponikava u odnosu na hispometriju

Dubine su klasificirane u 5 razreda, također po 5 m, a zadnji obuhvaća razred dubina većih od 20m (Sl.34.). Najviše ponikava svrstano je u razred dubine od 5 do 10 metara, a najmanje u razred preko 15 m dubine. Prosječna dubina ponikava iznosi 9,71 m, dok najplića ponikava doseže samo 0,21 m, a najdublja ponikava ima dubinu od 22,18 m. Najviše ponikava je pliće od 5m, a najmanje je dublje do 20 m dubine (Sl.35.). Opseg ponikava također pokazuje varijabilnost, s prosječnim opsegom od 96,47 m, pri čemu se minimalni opseg bilježi na 20,57 m, a maksimalni doseže 1.620,71 m. Ponikve su raspršene kroz cijelo područje te su nepravilnog oblika.

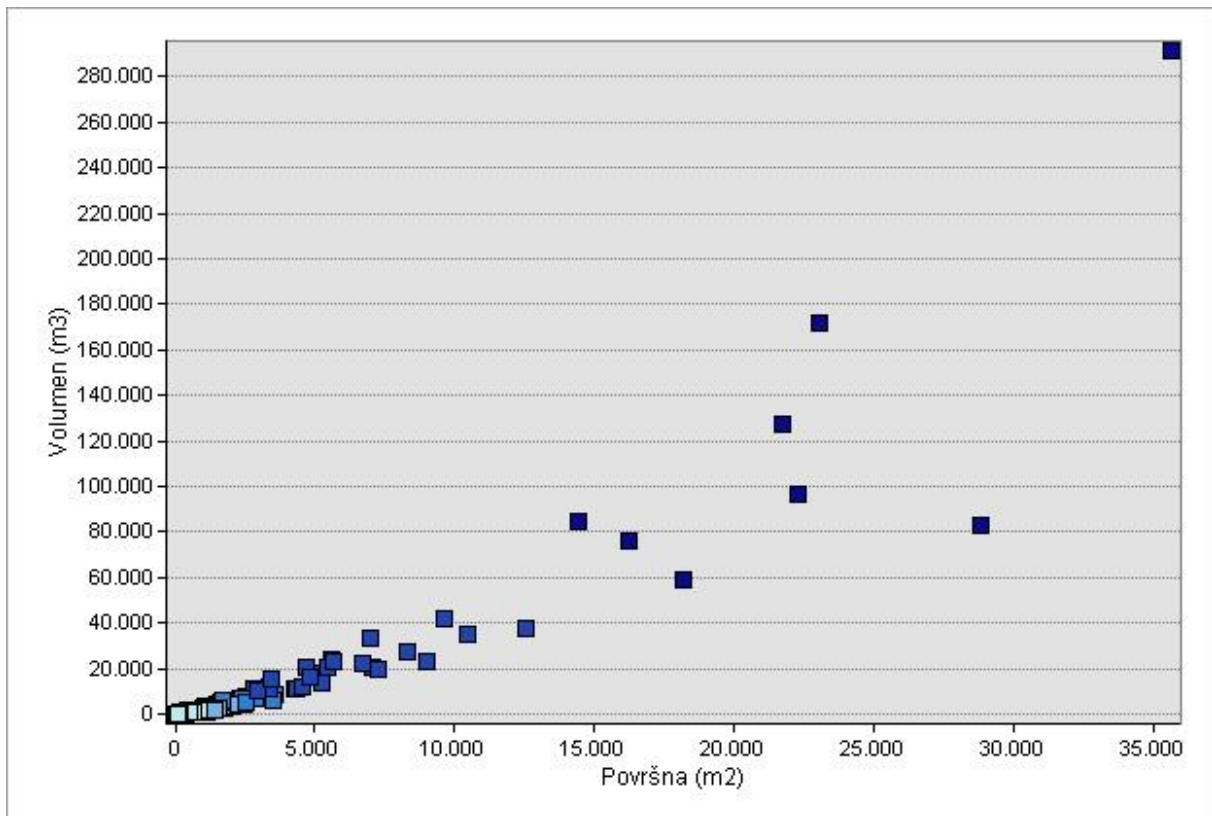


Slika 34. Prikaz dubina ponikava u odnosu na litološke jedinice



Slika 35. Prikaz dubina ponikava u odnosu na hipsometriju

Indeks okrštenosti iznosi 16,20%. Kada se gleda odnos površine i volumena ponikava, vidljiv je pozitivan trend povećanja volumena sa površinom (Sl.36.). Većina podataka je grupirano u donjem lijevom kutu što ukazuje na ponikve male površine do 10 000 m² i malog volumena do 40 000 m³. Najveća ponikava ima površinu od 35.629,99 m² i volumen od 291.419,22 m³. Nekoliko ponikava sa velikom površinom imaju neproporcionalan manji volumen.

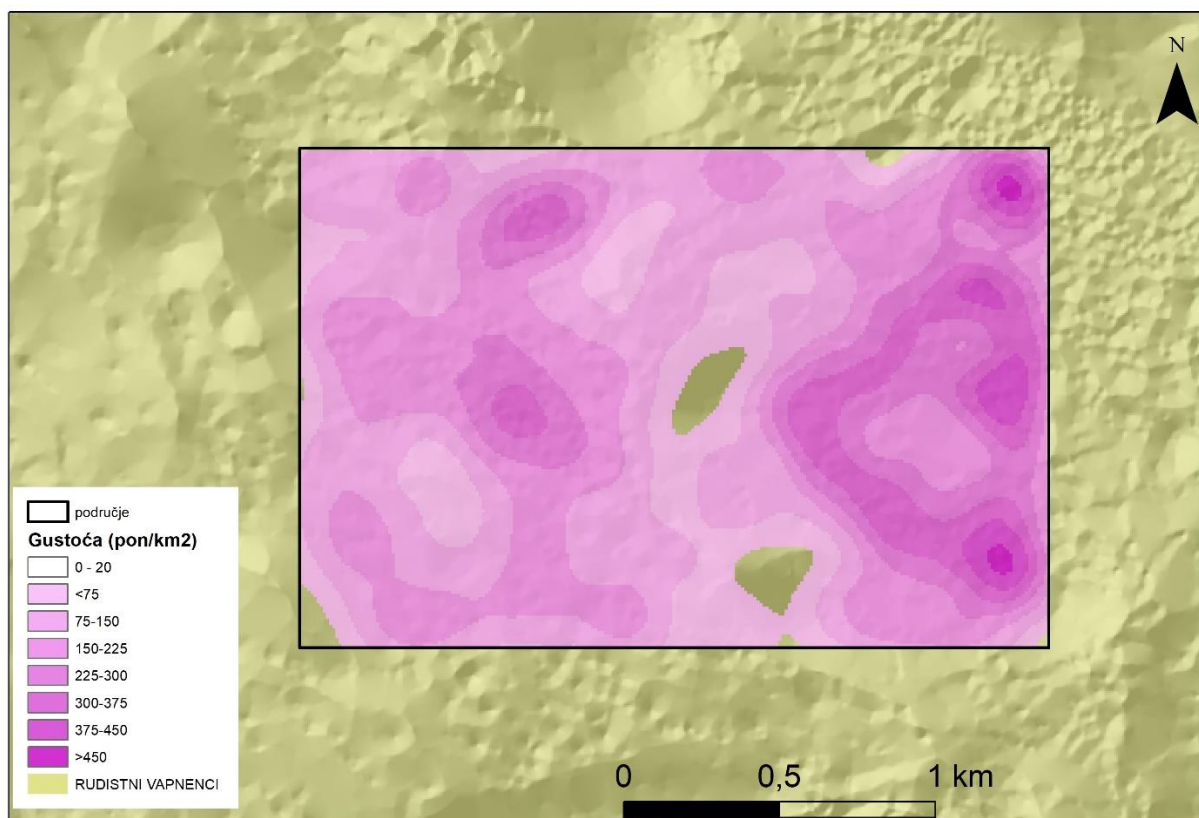


Slika 36. Odnos volumena i površine ponikava

5.7.3. STUDIJA SLUČAJA C

Istraženo područje, smješteno na rudistnim vapnencima, obuhvaća ukupno 576 ponikava, s gustoćom od 163,87 ponikava po kvadratnom kilometru (Tab.9.). Za usporedbu, u izdvojenom području identificirano je 304 ponikava na temelju analize topografskih karata. Površina područja iznosi 3.840.016,97 m² (3,84 km²) i proteže se unutar četiri visinska pojasa: od 600 do 800 m, 800 do 1000 m, 1000 do 1100 m te više od 1100 metara nadmorske visine. Počevši od najnižeg razreda na istoku, nadmorska visina se penje prema zapadu. Najviše prostora zauzima razred od 800 do 1000 m te od 1000 do 1100 m, a u njima se pojavljuju i najviše ponikava koje su raspršene kroz cijelo područje. Ponikve zauzimaju ukupno 629.157,17 m² (0,63 km²), što čini značajan udio površine, otprilike 16,38 % ukupnog prostora.

Prosječna gustoća ponikava iznosi 163,87 pon/km², a pojavljuje se u rasponu od 0 do 471,51 pon/km² (Sl.37.) . Najveća je gustoća na istoku područja sa tri maksimuma, te opada prema sredini. Na istoku područja primjeti se još dva maksimuma.



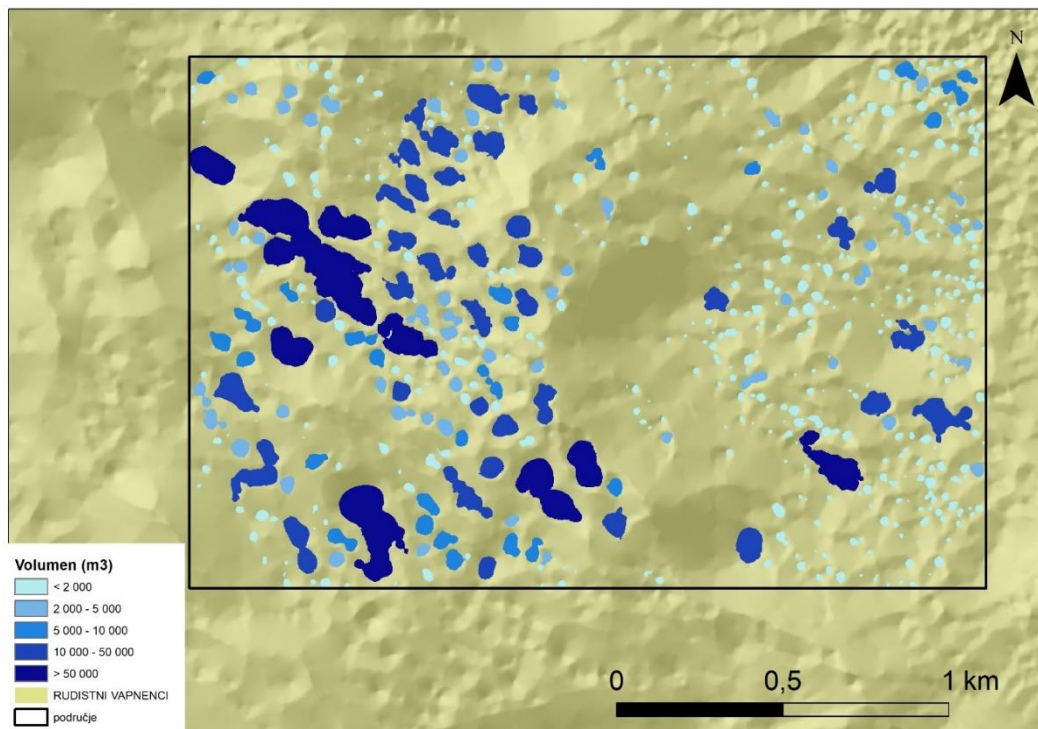
Slika 37. Gustoća ponikava unutar studije slučaja C

Tablica 9. Statistički rezultati analiziranih parametara studije slučaja C

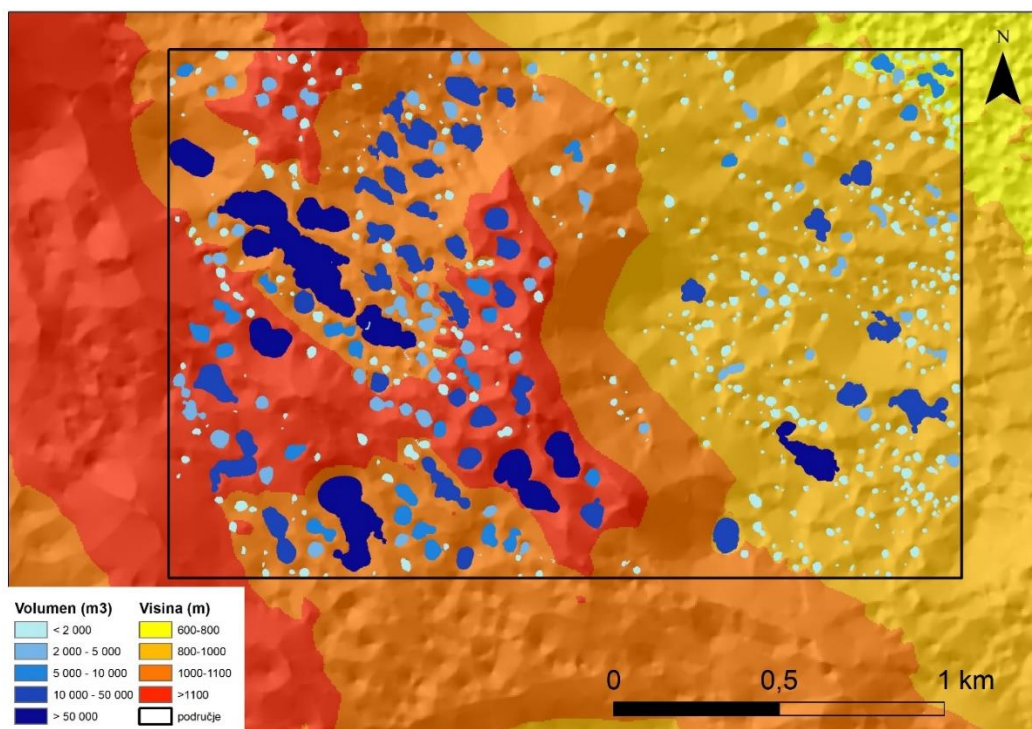
Parametri	Vrijednost
Broj ponikava	576
Gustoća ponikava (pon/km ²)	163,87
Ukupna površina SS (m ²)	3840016,97
Zbroj površina ponikava (m ²)	629157,17
Prosječna površina ponikve (m ²)	1156,54
Minimalna površina ponikve (m ²)	28,64
Maksimalna površina ponikve (m ²)	57474,83
Zbroj volumena ponikava (m ³)	2371963,60
Prosječan volumen (m ³)	4117,99
Minimalan volumen (m ³)	1,10
Maksimalan volumen (m ³)	410867,88
Prosječna dubina (m)	11,25
Minimalna dubina (m)	0,13
Maksimalna dubina (m)	25,46
Prosječan opseg (m)	107,75
Minimalan opseg (m)	20,66
Maksimalan opseg (m)	1675,72
Indeks okršenosti	16,38%

Prosječna površina pojedinačne ponikve iznosi 1.156,54 m², dok se njihove površine kreću od najmanjih 28,64 m² do najvećih 57.474,83 m² (Sl.38.). Volumen ponikava raspodijeljen je u 5 razreda, kao i kod prve dvije studije slučaja. Ponavlja se da je najviše ponikava volumena manjeg od 2 000 m³, a najmanje onih većih od 50 000 m³.

Ukupni volumen svih ponikava u ovom području iznosi 2.371.963,60 m³, s prosječnim volumenom od 4.117,99 m³. Najmanja zabilježena ponikava ima volumen od 1,10 m³, dok najveća doseže 410.867,88 m³ (Sl.39.). Ponikve najvećeg volumena nalaze se na visini od 1000 do 1100 m te su nepravilnog oblika, a ostatak ponikava je kružnog oblika.



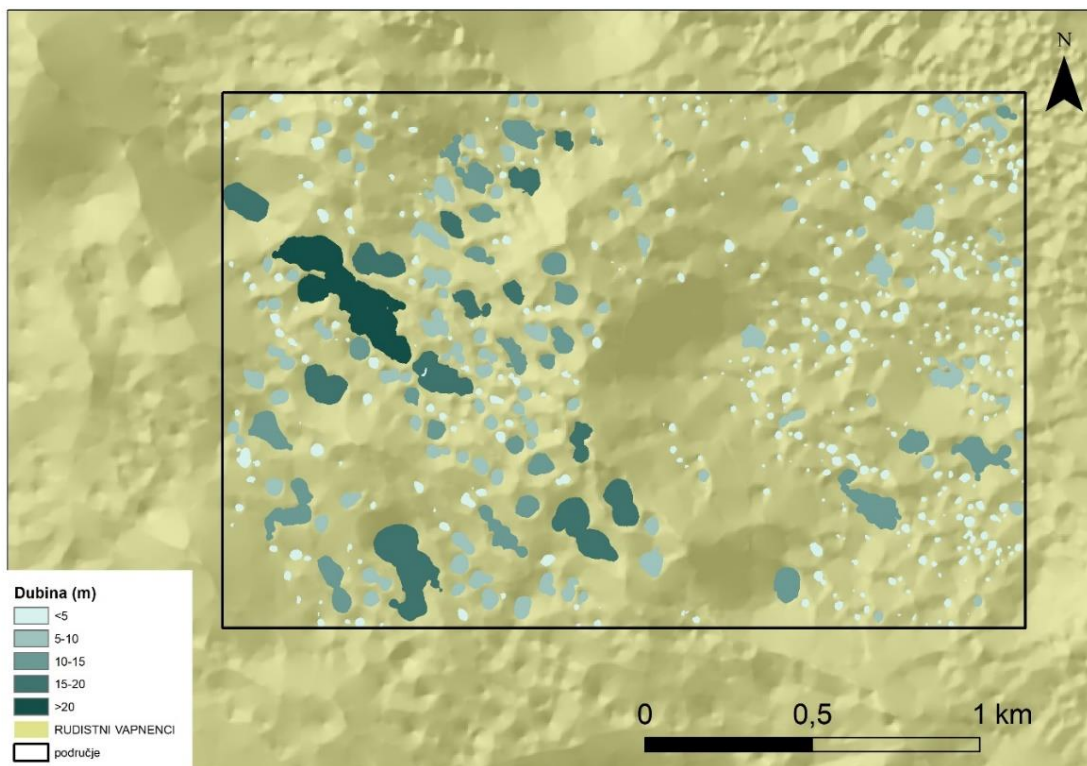
Slika 38. Prikaz volumena ponikava u odnosu na litološke jedinice



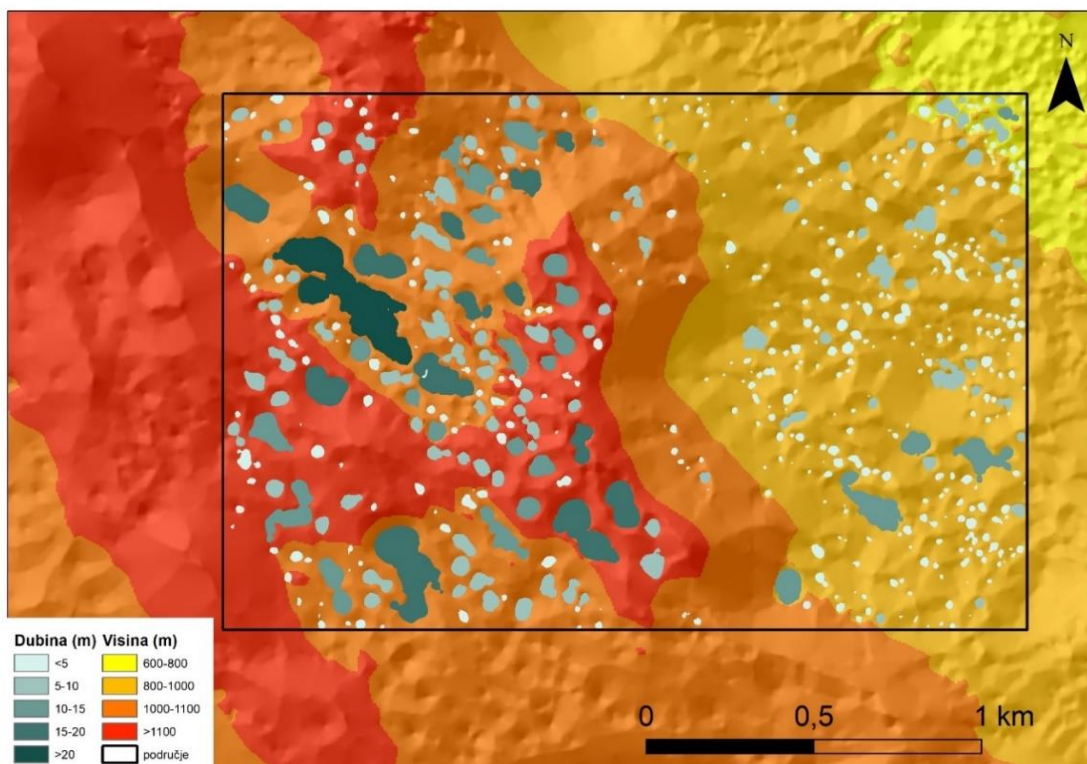
Slika 39. Prikaz volumena ponikava u odnosu na hipsometriju

Dubine ponikava variraju, s prosječnom dubinom od 11,25 m. (Sl.40.) Najplića ponikava je duboka 0,13 m, dok najdublja doseže 25,46 m. Tako su ponikve podijeljene u 5 razreda dubine, a to su dubine do 5 m, od 5 do 10 m, 10 do 15 m, 15 do 20 m te dubine veće od 20 m. Najviše je ponikava dubine do 5 m te od 5 do 10 m dubine. Najmanje je ponikava dubine preko 20 m (Sl. 41.).

Opseg ponikava također pokazuje značajnu raznolikost, s prosječnim opsegom od 107,75 m, pri čemu se opsezi kreću od minimalnih 20,66 m do maksimalnih 1.675,72 m.

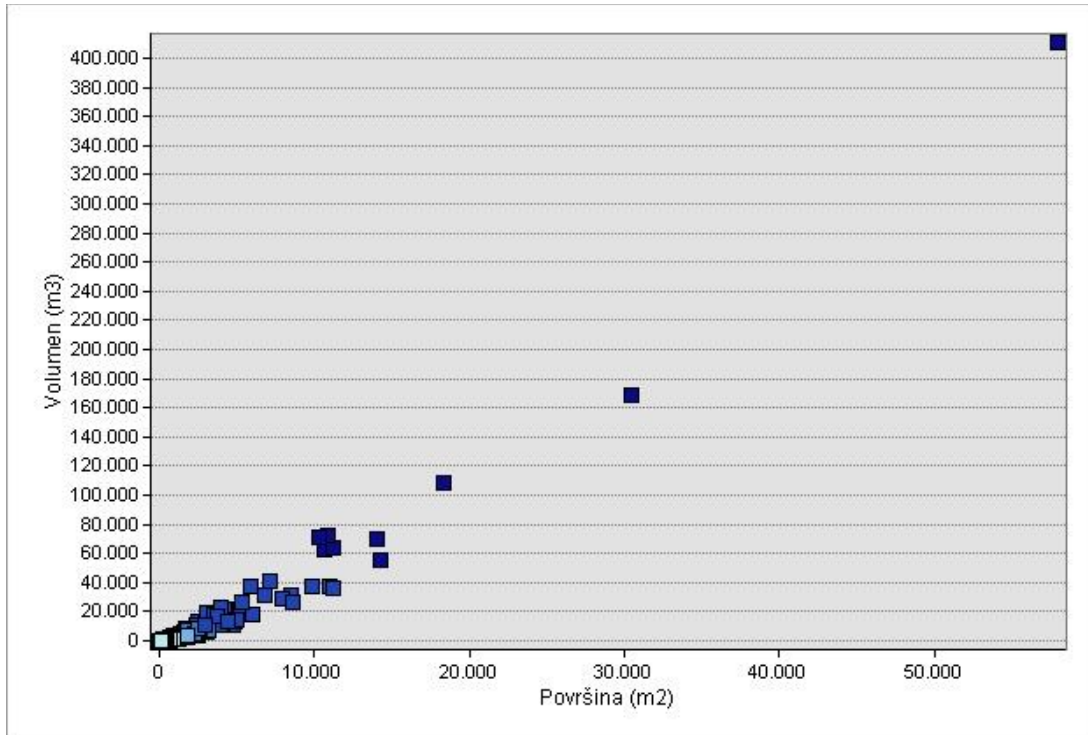


Slika 40. Prikaz dubine ponikava u odnosu na litološke jedinice



Slika 41. Prikaz dubine ponikava u odnosu na hipsometriju

Scatter plot prikazuje pozitivan linearni trend između površine i volumena ponikava, bez odstupanja (Sl. 42.). Većina podataka je u donjem lijevom kutu, što znači da su ponikve površine manje od 10 000m² te volumena manjeg od 40 000 m³. Najveća ponikava ima površinu od 57.474,83 m² i volumen od 410.867,88 m³.



Slika 42. Odnos volumena i površine ponikava

6. RASPRAVA

Korištenjem nekoliko različitih pristupa analiza prostorne distribucije i gustoće ponikava na području Ćićarije provedena je kako bi se faktori koji utječu na njihovu pojavu temeljnije ispitali. Na istraživanom području evidentirano je 14857 ponikava koje sa površinom od 392,86 km² čine gustoću od 37,86 pon/km². Kada se izuzme dio bez ponikava, na 369,86 km² gustoća ponikava je 40,17 pon/km².

Distribucija u prostoru upućuje na linijsko pružanje ponikava u smjenu sjeverozapad – jugoistok. Može se primijetiti povezanost pružanja ponikava i lokalnih struktura (Pahernik, 2012). Kernelovom metodom računanja gustoće dobivena je gustoća raspona od 0 do 123 pon/km². Najviše površine otpada na područje s gustoćom od 20 do 40 pon/km², čak 24,20 %. Područje sa najvećom evidentiranom gustoćom iznad 100 pon/km² zauzima 4,41 % površine te 20 % ukupnog broja ponikava. Najveća gustoća ponikava rasprostranjena je na sjeveroistoku područja. Velika gustoća upućuje na izraženu prisutnost ponikava. Uspoređujući s prijašnjim istraživanjima, Pahernik (2012) je istaknuo Ćićariju (154,6 pon/km²) i Kastavsku zaravan (150,5 pon/km²) kao područja visoke gustoće ponikava.

Rezultati istraživanja otkrili su izraženu povezanost i promjene u gustoći ponikava u odnosu na različite morfometrijske parametre. Ponikve su najvećim brojem prisutne na visinama između 400 i 1000 m, ukupno čak 85,05 svih ponikava. Najviše ponikava smješteno je u hipsometrijskom razredu na visinama od 600 do 800 m, njih 44,61 %. Prema Paherniku (2012), distribucija ponikava na ovim nadmorskim visinama prisutna je zbog veće gustoće ponikava po dnu većih uvala, dolina i sedimenata gorskih uzvišenja Ćićarije, ali i Žumberka, Gorskoga kotara, Velike i Male Kapele te Velebita. Iako je većina ponikava smještena na nižim visinskim razredima, najveća gustoća ponikava javlja se na većim nadmorskim visinama između 1000 i 1100 m te iznosi 54,14 pon/km². Razlog mogu biti klimatski elementi kao što su količina oborina i niže temperature koji utječu na intenzitet korozije u ponikavama na višim nadmorskim visinama (Perica, 1998). Osim klime, velike površine te nadmorske visine sa manjim nagibom pogoduju pojavi i gustoći ponikava. To se primjećuje na jugoistoku Ćićarije, Risnjaku, Velebitu, Svilaji i Biokovu (Pahernik, 2012). Gustoća i broj ponikava ipak je manja u najvišem razredu nadmorskih visina, a to se može objasniti strmijim padinama Ćićarije.

Što se nagiba tiče, polovina istraživanog područja je jako nagnuti teren sa nagibima od 12° do 32° koji su u teoriji neprikladni za nastanak ponikava zbog toga što veliki nagibi povećavaju površinsko otjecanje a to smanjuje utjecaj korozije (Faivre, 1992). Tako je najviše ponikava, njih čak 38,61 % smješteno na terenima nagnutima od 5° do 12°. Za njim slijedi

razred nagiba od 12° do 32° koji sadrži čak 34,77 % ponikava, što odstupa od očekivanog. To se može objasniti kako na strmijim nagibima postoje pukotine ili lomovi koji olakšavaju otapanje stijene i formiranje ponikava (Ford i Williams, 2007). Osim toga, vegetacija na Čićariji i debljina tla mogla bi zadržati vlagu i na strmijem terenu da se ponikve mogu formirati (Zhang i Zhang, 2023). Najveća gustoća zabilježena je na ravninama do 2°, a iznosi 95,05 pon/km². Gustoća ponikava opada sa porastom stupnja nagiba padina jer manji nagibi zadržavaju vodu, smanjeno je površinsko otjecanje te je pospješena infiltracija (Pahernik, 2012).

Najviše područja otpada na padine jugozapadne orijentacije, njih 19 %, i sjeveroistočne orijentacije sa 17 % površine. To je povezano sa dominantnim smjerom pružanja gorskih hrptova Dinarida (Pahernik, 2012). Analiza ekspozicija padine pokazala je da najveći udio ponikava obuhvaća zapadna orijentacija sa 15,94 % ponikava te jugozapadna orijentacija padina sa 14,91 % ponikava. Na površini najmanjom kategorijom, zaravnjene površine, identificirano je dakako i najmanje ponikava, svega 1,77 %, no i najveća gustoća od 187,59 pon/km². Zatim slijede padine sjeverozapadne orijentacije sa gustoćom od 74,10 pon/km² te zapadne sa 56,69 pon/km². To se može objasniti većem intenzitetu čimbenika koji djeluju na mehaničku i kemijsku destrukciju stijenske mase (Pahernik, 2012). Najmanju gustoću ponikava od 26,71 pon/km² imaju padine orijentacije sjeveroistoka.

Analizom vertikalne raščlanjenosti reljefa, najveći udio u površini od 41,57 % zauzima razred od 100 do 200 m/km koji također sadrži najveći udio ponikava, 55,65 %. Najveću gustoću ponikava ima razred vertikalne raščlanjenosti do 60 m/km a iznosi 69,68 pon/km². Odmah iza njega je razred od 60 do 100 m/km te gustoća iznosi 68,28 pon/km². Kako se povećava raščlanjenost, gustoća ponikava opada. Veća gustoća i pojava ponikava na manje raščlanjenim područjima tumači da manje raščlanjena područja nemaju velike oscilacije visine. Te su površine zaravnjene te manjeg nagiba, što je povoljan uvjet a formiranje ponikava (Faivre, 1992).

Analizom geološke građe utvrđeno je da je najviše ponikava prisutno na vapnencima i dolomitima, čak 35,88 %. Na ovim litološkim jedinicama zabilježena je i najveća gustoća ponikava koja iznosi 49,39 pon/km². Vapnenci i dolomiti rasprostranjeni su u pravcu sjever – istok – jug. Svi tipovi vapnenaca odlikuju se velikim udjelom CaCO₃, a udio dolomita u matičnoj stijeni ima veći utjecaj na morfologiju ponikava nego na njen postanak (Pahernik, 2000). Vapnenci, koji su uglavnom sastavljeni od kalcita (CaCO₃), imaju visoku topivost u vodi bogatoj ugljičnim dioksidom, što olakšava njihovo otapanje i formiranje ponikava (Ford & Williams, 2007). Osim toga, vapnenci su obično propusniji i porozniji od dolomita, što omogućuje bolju infiltraciju vode i ubrzava korozivne procese (Sweeting, 1972). Dolomiti,

sastavljeni od minerala dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) kompaktnije su i manje propusne stijene od vapnenaca zbog prisutnosti magnezija (Goudie, 2004). Slijede rudistni vapnenci sa 30,57 % svih ponikava te visokom gustoćom od 37,79 pon/km². Rudistni vapnenci imaju visoku poroznost i brojne pukotinama, što omogućuje olakšani protok vode i ubrzava koroziju. Zbog ovih svojstava, voda brzo ulazi u podzemlje, uzrokujući otapanje stijena i time formiranje ponikava (Ford i Williams, 2007). Ovi vapnenci također sadrže visok udio kalcita, koji se lako otapa u vodi bogatoj ugljičnim dioksidom, što dodatno pospješuje razvoj ponikava (Sweeting, 1972). Oni su rasprostranjeni na sredini istraživanog područja te se pružaju od sjeverozapada prema jugoistoku. Litologiju možemo smatrati primarnim čimbenikom razvoja ponikava jer bez karbonatnih naslaga, na površini i blizu nje nema ni oblikovanja krških oblika (Pahernik, 2000).

U buffer zonama 500 m oko rasjeda identificirane su 7663 ponikve, što čini 51,58 % svih kartiranih ponikava. Izdvajanjem buffer zona sa preko 500 rasjeda, analizirano je 6 područja sa ukupno 5494 ponikava. Primjećuje se povezanost pravca pružanja ponikava i lokalnih struktura u smjeru dinarskog pravca te s tim i gustoća uzduž graničnih rasjeda struktura. Trase rasjeda lako su uočljive u reljefu, pa je tako velika gustoća ponikava na rasjednom kontaktu između fragmenata zaravni Mune-Žejane-Brgud, a mala na najvećim strmcima Ćićarije. Ova strukturalna zona nastavlja se na kvarnerske otoke, te je na sjevernom dijelu Cresa zabilježena najveća gustoća ponikava na jadranskim otocima (Pahernik, 2012). Ovo ukazuje na to da osim litoloških karakteristika, i tektonika značajno utječe na prostorni raspored ponikava.

Sve studije slučaja nalaze se na istoj površini od 3,84 km², ali na različitim geološkim podlogama. Tako je područje A smješteno na liburnijskim naslagama, foraminiferskim vapnencima i prijelaznim naslagama, područje B na vapnencima i dolomitima te područje C na rudistnim vapnencima. Studija slučaja B ima najviše ponikava te najveću gustoću ponikava od 210,80 pon/km². Slijedi studija slučaja C sa 163,87 pon/km² te na kraju studija slučaja A koje ima nešto manje ponikava te gustoću koja iznosi 150,91 pon/km². Područje B ima najveću zabilježenu gustoću ponikava od 520,80 pon/km², a raspoređeno je u na jugu te sjeverozapadu područja. Zatim, područje C mjeri najveću gustoću od 471,51 pon/km² koja je raspoređena na istoku, a područje A mjeri najveću gustoću od 368,81 pon/km² raspoređenu u dvije linije SZ-JI smjera. Analizom studija slučaja, najveća gustoća zabilježena je na vapnencima i dolomitima, zatim rudistnim vapnencima.

Područje C ima najveći zbroj površina i prosječnu površinu ponikava (1156,54 m²), što ukazuje na veće. Također ima najveću ponikvu od 57474,83 m². Područje A ima nešto manji

zbroj i prosječnu površinu (1042,56 m²), dok područje B ima najmanju prosječnu površinu ponikava (876,77 m²), ali blizu područja C po ukupnoj površini. Područje C ima najveći zbroj volumena i najveći prosječan volumen ponikava od čak 4117,99 m³, što znači prisutnost većih i dubljih ponikava. Područje B je drugo po veličini volumena, u prosjeku 2857,75 m³, dok područje A ima najmanji ukupni volumen i prosječan volume od 2321,55 m³.

Očekivano, područje C ima najdublje ponikve, sa prosječnom vrijednosti 11,25 m dubine, dok najdublja iznosi 25,46 m. Dakle, najdublje ponikve nalaze se na rudistnim vapnencima, zatim na vapnencima i dolomitima. Područje B je slijedi sa prosječnom dubinom od 9,71 m te najdubljom pojavom od 22,18 m. Područje A ima prosječnu dubinu ponikava 6,85 m a najdublja ponikava iznosi 15,12 m. Područje A ima najveći prosječan opseg koji iznosi 116,09 m, a najveća ponikava mjeri 1428,94 m. Područje B je drugo po veličini prosječnog i maksimalnog opsega, a područje C ima opseg od 107,75 m, ali najveći makimalni opseg od 1675,72 m.

Kada se gleda usporedba grafova koji prikazuju odnos volumena I površine ponikava, graf područja C daje trend povećanja volumena sa površinom, bez većih odstupanja. Kod područja A i B također je zabilježen pozitivan trend, no uz nekoliko odstupanja gdje su zabilježene ponikve veće površine sa manjim volumenom. Studija slučaja C se ističe po najvećoj prosječnoj i maksimalnoj dubini, volumenu i indeksu okršenosti, što ukazuje na najpovoljnije uvjete za nastanak ponikava. Analizom studije slučaja B identificirano je najviše ponikava te najviša gustoća ponikava, ali su one prosječno pliće nego u području C. Područje A ima najmanju gustoću ponikava i ukupnu površinu ponikava među analiziranim područjima. Prosječna i maksimalna dubina su također najniže, a zbroj volumena ponikava je najmanji.

Analiza i usporedba triju izdvojenih studija slučaja na različitoj geološkoj podlozi ukazuje na razliku u dubini, volumenu, površini i opsegu. Prema Mihevcu i Mihevcu, 2021, prosječna dubina korozijskih ponikava u Sloveniji je 9m sa volumenom od 14 000m³. Prosječna gustoća ponikava u Sloveniji iznosi oko 400 - 500 pon/km². Karakteristična distribucija ponikava je u paralelnim redovima u dinarskom smjeru, prateći rasjede. Udio ponikava varira i uglavnom ovisi o stijinama, gdje ih je najmanje na dolomitu. Stjenovitost površine također ovisi o geološkoj podlozi, a najmanja je na dolomitu. Prosječan volumen je također najveći na rudistnim vapnencima, no manji je od Slovenskog. U Hrvatskoj, indeks okršenosti je posebno visok u Dinarskom kršu, što je u skladu sa provedenom analizom. Studija slučaja C na rudistnim vapnencima mjeri najveći indeks okršenosti od 16,38 %, zatim studija slučaja B s 16,20 % te studija slučaja A na liburnijskim naslagama, foraminiferskim vapnencima i prijelaznim naslagama sa 15,56 %.

7. ZAKLJUČAK

Vapnenački planinski lanac Ćićarija izdvaja se svojom složenom geološkom građom te je veoma okršeno područje. Na istraživanom području evidentirano je 14857 ponikava koje sa površinom od 392,86 km² čine gustoću od 37,86 pon/km². Distribucija i gustoća ponikava ovisi o morfometrijskim parametrima reljefa. Gledajući ukupne rezultate, zabilježena je visoka gustoća i udio ponikava na ukupnim nadmorskim visinama od 400 do 1000 m, a najveći je zabilježeno u razredu nadmorskih visina od 600 do 800 m. Porastom stupnja nagiba padina, gustoća ponikava opada. Površinom najveći razred nagiba je od 12° do 32° koji i sadržava trećinu ponikava istraživanog područja. Povećanjem vertikalne raščlanjenosti reljefa, opada gustoća ponikava. Polovina istraživanih ponikava nalazi se u razredu vertikalne raščlanjenosti raspona 100 do 200 m/km. Najviše je ponikava na padinama ekspozicije jugozapada i zapada, a najveća gustoća primjećuje se na zaravnjenim ekspozicijama padina. Polovina ponikava područja prate pružanje reversnih rasjeda. Najveći udio ponikava te njihova gustoća pojavljuje se na vapnencima, dolomitima te rudistnim vapnencima. Prate ih i liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage. Izdvojena su tri područja na ovim geološkim jedinicama. Rezultati pokazuju okrugle ponikve, koje se pružaju u smjeru SZ-JI sa gustoćom od 150,91 pon/km² na području liburnijskih naslaga, foraminiferskih vapnenaca i prijelaznih naslaga. Ove su ponikve najpliće, u prosjeku 6,85 m, najvećeg opsega sa 116,09 m, prosječnim volumenom od 2321,55 m³ te površinom od 1042,56 m². Okršenost područja istraženog u okviru studije slučaja A je 15,56 %. Rezultati ponikava na vapnencima i dolomitima pokazuju smjer pružanja SSZ-JJI, sa nešto nepravilnijim ponikavama. Izračunata gustoća je najveća, sa 210,80 pon/km², a prosječna dubina je 9,71 m. Ove su ponikve najmanjeg opsega sa prosječnim od 96,47 m, najmanje površine od 879,77 m², a volumena 2857,75 m³. Indeks okršenosti izdvojene cjeline je 16,20 %. Ponikve na rudistnim vapnencima su najdublje (11,25 m), najvećeg kapaciteta (4117,99 m³) te najveće površine (1156,54 m²). Opseg im je 107,75 m, indeks okršenosti 16,38 % a gustoća ponikava iznosi 163,87 pon/km². Na ovom području nalazimo ponikvu najveće dubine 25,46 m.

8. LITERATURA

1. Bauer, C., 2015: Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data, *Geomorphology*, 250, 78–88
2. Bočić, N., 2009: Geomorfološke značajke prostora Slunjske zaravni, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb, pp. 270.
3. Bočić, N., 2020: Geomorfologija krša na području Oštarije–Tounj i njezin značaj geomorfološkoj evoluciji šireg područja. *Hrvatski geografski glasnik*, 82(2), pp.5-37
4. Bočić, N., Pahernik, M., Faivre, S., 2019 : Geomorfološka obilježja Sjevernog Velebita, *Senjski zbornik*, 46, 5-36.
5. Bognar, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N. 2012: Recent landform evolution in the Dinaric and Pannonian Region of Croatia, u: *Recent Landform Evolution*,(ur. Lóczy, D., Stankoviansky, M., Kotarba, A.), Springer, Heidelberg – London – New York
6. Cvijić, J., 1895: *Karst*, geografska monografija, Beograd, 1-135.
7. Dinarsko gorje, 2014: <https://www.dinarskogorje.com/262i263arija--268i269arija.html> (20.07.2024.)
8. Goudie, A. S., 2004: *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, New York
9. Faivre, S. 1992: Analiza gustoće ponikava na Sjevernom Velebitu i Senjskom bilu, *Senjski zbornik*, 19, 13-24.
10. Faivre, S., Pahernik, M. 2007: Structural influences on the spatial distribution of dolines, Island of Brač, Croatia, *Zeitschrift für Geomorphologie*
11. Ford, D. C., Williams, P. W. 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons, West Sussex, England, pp. 562.
12. Ford, D. C., Williams, P. W., 1989: *Karst Geomorphology and Hydrology*, Springer, Netherlands.
13. Istrapedija., 2005: Istarska enciklopedija <https://www.istrapedia.hr/hr/natuknice/611/cicarija#> (20.07.2024.)
14. Lozić S., 1995: Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 1995, 17– 28.
15. Magaš, D., 2013: *Geografija Hrvatske*. Zadar: Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru, Meridijani, 2013
16. Marković, J., Bočić, N., Pahernik, M., 2016: Prostorni raspored i gustoća ponikava jugoistočnog Velebita, *Geoadria* 21, 1–28.

17. Mihevc, A., Mihevc, R., 2021: Morphological characteristics and distribution of doline sin Slovenia, a study of a LIDAR-based doline map of Slovenia, *Acta Carsologica* 50/1
18. Mihljević, D., 1994: Analiza prostornih značajki i distribucija ponikvi, kao geomorfološkog indikatora recentnih deformacija geološke strukture, *Acta Geografica Croatica*, 29, 29-36
19. Mihljević, D., 1995: Geomorfološke značajke gorskog hrpta Učke gorske skupine Ćićarije i Istarskog pobjrđa, disertacija, Geografski odsjek PMF-a, Zagreb.
20. Mihljević, D. 1996: Strukturno – geomorfološke značajke i model razvoja gorskog hrpta Učke, *Hrvatski geografski glasnik*, 58, 33-50.
21. Pahernik, M. 2000: Prostorni raspored i gustoća ponikava SZ dijela Velike Kapele – rezultati računalne analize susjedstva, *Geoadria*, 5, 105-120.
22. Pahernik, M., 2012: Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, *Hrvatski geografski glasnik* 74 (2), 5-26.
23. Palenik, D., 2020: Geološka građa i rekonstrukcija tektogeneze središnjeg dijela Ćićarije, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
24. Perica, D. (1998): Geomorfologija krša Velebita, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb, pp. 220.
25. Sauro, U., 2003: Dolines and sinkholes: Aspect of evolution and problems of classification, *Acta carsologica*, 32 (2), 41-52.
26. Sweeting, M., M., 1979: Karst morphology and limeston petrology, Macmillan, London
27. Šikić, D., Pleničar, M., 1975: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ilirska Bistrica L 33-89. Savezni geološki zavod, Beograd, 51p
28. Zhang, H., Zhang, W., 2023: Plant-soil interactions in karst regions, *Forests*, 14(5), 922

Izvori

1. Digitalni model reljefa (DEM), veličina jedinične ćelije 1 x 1 m, Baza prostornih podataka Geografskog odsjeka Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. (10.7.2024)
2. Digitalni model reljefa (DEM), veličina jedinične ćelije 5 x 5 m, Baza prostornih podataka Geografskog odsjeka Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. (10.7.2024)
3. Geološka karta RH mjerila 1:300000, Hrvatski geološki institute, Zagreb

9. PRILOZI

Popis slika

Slika 1. Ponikava u Matuljima, Čićarija (foto: Natalia Licul, 10.8.2024)	4
Slika 2. Geografski položaj istraživanog područja	7
Slika 3. Pregled JLS-a na istraživanom prostoru.....	7
Slika 4. Geološka karta istraživanog područja, Izvor: Geološka karta RH mjerila 1:300000, Hrvatski geološki institute, Zagreb.....	9
Slika 5. Prikaz udjela ponikava po razredu gustoći ponikava	14
Slika 6. Distribucija ponikava na istraživanom području.....	15
Slika 7. Gustoća ponikava na Čićariji	15
Slika 8. Udio površine po hipsometrijskim razredima	17
Slika 9. Gustoća ponikava po hipsometrijskim razredima	17
Slika 10. Distribucija ponikava po hipsometrijskim razredima	18
Slika 11. Udio površine po razredima nagiba padina.....	20
Slika 12. Gustoća ponikava po razredima nagiba padina.....	20
Slika 13. Distribucija ponikava po razredima nagiba padina	21
Slika 14. Udio površine po razredima orijentacije padine	22
Slika 15. Gustoća ponikava po razredima orijentacije padine	23
Slika 16. Distribucija ponikava po razredima orijentacije padine.....	23
Slika 17. Udio površine po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa.....	25
Slika 18. Gustoća ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa.....	25
Slika 19. Distribucija ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa	26
Slika 20. Udio površine po litostratigrafskim jedinicama	28
Slika 21. Gustoća ponikava po litološkim jedinicama	28
Slika 22. Distribucija ponikava po litološkim jedinicama.....	29
Slika 23. Izdvojene buffer zone s visokom gustoćom ponikava	30
Slika 24. Izdvojene područja kod kojih su izrađene studije slučaja	31
Slika 25. Gustoća ponikava unutar studije slučaja A	32
Slika 26. Prikaz volumena ponikava s obzirom na litološke jedinice	33
Slika 27. Prikaz volumena ponikava s obzirom na hipsometriju	34
Slika 28. Prikaz dubine ponikava s obzirom na litološke jedinice	35
Slika 29. Prikaz dubine ponikava s obzirom na hipsometriju	35
Slika 30. Odnos volumena i površine ponikava	36
Slika 31. Gustoća ponikava unutar studije slučaja B	37

Slika 32. Prikaz volumena ponikava u odnosu na litološke jedinice	38
Slika 33. Prikaz volumena ponikava u odnosu na hipsometriju.....	38
Slika 34. Prikaz dubina ponikava u odnosu na litološke jedinice	39
Slika 35. Prikaz dubina ponikava u odnosu na hipsometriju.....	40
Slika 36. Odnos volumena i površine ponikava	41
Slika 37. Gustoća ponikava unutar studije slučaja C	42
Slika 38. Prikaz volumena ponikava u odnosu na litološke jedinice	43
Slika 39. Prikaz volumena ponikava u odnosu na hipsometriju.....	44
Slika 40. Prikaz dubine ponikava u odnosu na litološke jedinice	45
Slika 41. Prikaz dubine ponikava u odnosu na hipsometriju.....	45
Slika 42. Odnos volumena i površine ponikava	46

Popis tablica

Tablica 1. Gustoća, površina, udio i broj ponikava po razredima	14
Tablica 2. Gustoća, udio i broj ponikava po hipsometrijskim razredima.....	16
Tablica 3. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima nagiba padina	19
Tablica 4. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima orijentacije padine	22
Tablica 5. Gustoća, udio i broj ponikava po razredima vertikalne raščlanjenosti reljefa	24
Tablica 6. Gustoća, udio i broj ponikava po litološkim jedinicama	27
Tablica 7. Statistički rezultati analiziranih parametara studije slučaja A	32
Tablica 8. Statistički rezultati analiziranih parametara studije slučaja B	37
Tablica 9. Statistički rezultati analiziranih parametara studije slučaja C	42