

# Digitalna analiza reljefa Papuka

---

**Brkljača, Antonela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2025**

*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:217:204486>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Antonela Brkljača**

**Digitalna analiza reljefa Papuka**

**Diplomski rad**

**Zagreb**

**2025.**



**Antonela Brkljača**

# **Digitalna analiza reljefa Papuka**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog zvanja

magistre geografije

**Zagreb**

**2025.**

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

Diplomski rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geografski odsjek

### Digitalna analiza reljefa Papuka

Antonela Brkljača

**Izvadak:** Papuk je dio Slavenskog gorja smješten između dolina Save i Drave, unutar panonskog dijela Hrvatske. Cilj ovog rada je analizom morfometrijskih parametara pomoću digitalnog modela reljefa utvrditi reljefne značajke te njihovu povezanost s geološkom građom. Primijenjene su opće metode morfometrijske analize reljefa, uključujući hipsometriju, nagibe padina, ekspoziciju, zakrivljenost padina, kao i specifične morfometrijske metode analize drenažnih bazena, drenažne mreže, grebena i ponikava. Istraživanje je pokazalo da se reljef Papuka odlikuje izraženim prostornim razlikama u morfometrijskim obilježjima, što upućuje na njegovu složenu geomorfološku evoluciju. Osim toga, analiza je omogućila prepoznavanje područja s intenzivnim denudacijskim procesima.

61 stranica, 36 grafičkih priloga, 6 tablica, 55 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: Papuk, digitalna analiza reljefa, morfometrijska analiza, geološka građa

Voditelj: prof. dr. sc. Neven Bočić

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Neven Bočić  
prof. dr. sc. Aleksandar Toskić  
dr. sc. Marin Mićunović

Tema prihvaćena: 8. 2. 2024.

Rad prihvaćen: 4. 2. 2025.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Master Thesis

Faculty of Science

Department of Geography

**Digital analysis of the relief of Papuk**

Antonela Brkljača

**Abstract:** Papuk Papuk is part of the Slavonian Mountains, located between the Sava and Drava river valleys within the Pannonian region of Croatia. The aim of this study is to determine the relief characteristics and their relationship with geological structure by analyzing morphometric parameters using digital elevation model. General morphometric methods were applied, including hypsometry, slope, aspect, and curvature, as well as specific methods of the drainage basins, drainage network, ridges and karst dolines analysis. The study revealed that the relief of Papuk is characterized by pronounced spatial diversity of morphometric characteristics of the relief indicating its complex geomorphological evolution. Additionally, the analysis enabled the identification of areas with intense surface denudation processes.

61 pages, 36 figures, 6 tables, 55 references; original in Croatian

Keywords: Papuk, digital terrain analysis, morphometric analysis, geological structure

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Full Professor

Reviewers: Neven Bočić, PhD, Full Professor

Aleksandar Toskić, PhD, Full Professor

Marin Mićunović, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 08/02/2024

Thesis accepted: 04/02/2025

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

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. TEORIJSKI OKVIR .....	2
1.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA .....	3
1.3. PROSTORNI OBUHVAT .....	3
1.4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	4
2. GEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	6
2.1. GEOLOŠKA GRAĐA .....	6
2.2. STRUKTURNO-TEKTONSKA OBILJEŽJA.....	8
3. METODE RADA.....	10
4. REZULATATI.....	13
4.1. OPĆA MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA.....	13
4.1.1. HIPSOMETRIJA .....	13
4.1.2. NAGIB PADINA.....	14
4.1.3. ORIJENTIRANOST PADINA.....	16
4.1.4. VERTIKALNA RAŠČLANJENOST RELJEFA .....	17
4.1.5. ZAKRIVLJENOST PADINA .....	19
4.1.6. TOPOGRAPHIC POSITION INDEX .....	23
4.1.7. HRAPAVOST (Topographic Roughness Indeks).....	24
4.1.8. TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX .....	25
4.1.9. STREAM POWER INDEX .....	27
4.2. SPECIFIČNA MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA.....	29
4.2.1. DRENEŽNI BAZENI I DRENAŽNE MREŽE.....	29
4.2.2. HIPSOMETRIJSKI INTEGRAL.....	35
4.2.3. HIPSOGRAFSKA KRIVULJA .....	37
4.2.4. GREBENI.....	40
4.2.5. PONIKVE .....	41
5. USPOREDBA MORFOMETRIJSKIH PARAMETRA S GEOLOŠKOM GRAĐOM ...	44
5.1. USPOREDBA MORFOMETRIJSKIH PARAMETRA S LITOLOGIJOM .....	44
5.2. USPOREDBA MORFOMETRIJSKIH PARAMETRA S RASJEDIMA .....	47
6. RASPRAVA .....	50
7. ZAKLJUČAK.....	55



8. LITERATURA.....	56
9. PRILOZI .....	60
9.1. POPIS GRAFIČKIH PRILOGA.....	60
9.2. POPIS TABLICA .....	61

# 1. UVOD

Digitalna analiza reljefa predstavlja suvremeni pristup prikupljanju, obradi i interpretaciji podataka u digitalnom obliku, što omogućuje preciznije i brže razumijevanje prirodnih i društvenih fenomena. U kontekstu istraživanja prirodnih područja, kao što je Papuk, digitalna analiza koristi različite tehnologije poput geografskih informacijskih sustava (GIS), daljinskog istraživanja (satelitske snimke, zračne fotografije) te modeliranja terena kako bi se dobili precizni podaci o prostoru. Omogućava integraciju širokog spektra podataka, poput topografskih, klimatskih, vegetacijskih i geomorfoloških obilježja, stvarajući na taj način sveobuhvatan prikaz istraživanog područja. Osim što pojednostavljuje prikaz i analizu kompleksnih sustava, digitalna analiza predstavlja ključni alat za donošenje odluka u upravljanju prirodnim resursima, prostornom planiranju i očuvanju okoliša.

Slavonsko gorje čine dva gorska niza koji predstavljaju najveću hrvatsku peripanonsku gorsku gromadnu skupinu. Papučko - krndijski ili sjeverni niz i južni gorski niz ili Psunj - Požeška gora (Babja gora) – Dilj. Papuk, s najvišim vrhom na 953 metra, kao složeni gorski sustav s dominantnim fluviodenudacijskim reljefom, predstavlja najviši i najizrazitiji dio reljefa sjevernog, odnosno papučko-krndijskog gorskog niza. Predstavlja značajan i kompleksan gorski sustav unutar slavonskog gorja, ističući se geološkom raznolikošću i reljefnim karakteristikama. Reljef Papuka je prevladavajuće obilježen fluviodenudacijskim oblicima, gdje vodeni tokovi značajno utječu na eroziju i oblikovanje terena. Ovi procesi rezultiraju u dolinama, padinama i nizom manjih potoka koji prekrivaju područje, doprinoseći njegovoj hidrografskoj složenosti (Magaš i dr., 2023).

Cilj ovog rada je primjenom digitalne analize reljefa istražiti morfometrijske značajke Papuka te utvrditi njihovu povezanost s geološkom građom i tektonskim strukturama. Kroz analizu hipsometrije, nagiba, vertikalne raščlanjenosti i drenažne mreže, istraženo je kako različite litološke jedinice i rasjedi utječu na oblikovanje reljefa. Nadalje, rezultati će biti uspoređeni s dosadašnjim istraživanjima Papuka te s geomorfološkim obilježjima susjednih planinskih cjelina. Ovim radom nastoji se dati doprinos boljem razumijevanju geomorfoloških procesa na ovom području te ukazati na značaj digitalnih metoda u analizi kompleksnih reljefnih sustava.

## 1.1. TEORIJSKI OKVIR

Digitalna analiza reljefa je metoda za kvantitativno razumijevanje i modeliranje procesa na Zemljinoj površini. Koristeći geografske informacijske sustave (GIS) kao centralnu platformu, digitalna analiza reljefa integrira različite vrste prostornih podataka kako bi pružila sveobuhvatan uvid u topografiju i njezine interakcije s drugim okolišnim čimbenicima.

Digitalni model visina (DEM) predstavlja rasterski prikaz topografske površine Zemlje kroz pravilnu mrežu ćelija. U geomorfologiji i analizi reljefa, DEM se najčešće koristi u obliku rasterskog modela, pri čemu svaki piksel sadrži vrijednost visine terena. Ključni aspekt definicije DEM-a odnosi se na njegovu rezoluciju, koja određuje najmanji detalj koji se može prikazati na modelu. Prostorna rezolucija DEM-a definira horizontalne dimenzije najmanjeg prepoznatljivog obilježja, pri čemu manja veličina piksela omogućava preciznije prikazivanje morfoloških značajki reljefa. Većina globalnih DEM-ova koristi pravokutne mreže georeferencirane u koordinatnom sustavu, pri čemu se razlikuju point-based (piksel predstavlja točnu visinu u njegovom središtu) i area-based (visina predstavlja prosječnu vrijednost unutar ćelije) modeli. Odabir rezolucije i vrste mreže ima značajan utjecaj na analizu reljefa, osobito pri izračunu deriviranih parametara poput nagiba, konveksnosti ili drenažnih karakteristika (Guth i dr., 2021). Unutar GIS-a se primjenjuju specijalizirani algoritmi za izračunavanje topografskih atributa (nagib, azimut, zakrivljenost itd.) koji služe za naprednije analize i modeliranje hidroloških, geomorfoloških i ekoloških procesa. Ova kombinacija podataka i alata omogućuje znanstvenicima dublje razumijevanje formiranja reljefa, predviđanje okolišnih događaja, te donošenje odluka u planiranju i upravljanju okolišem, poljoprivredi, inženjeringu i drugim područjima (Krklec i Lozić, 2012)

Razvoj digitalne analize reljefa usko je povezan s napretkom računalne tehnologije i dostupnosti digitalnih podataka. Od ranih, ručnih metoda analize topografskih karata, digitalna analiza reljefa se razvila u sofisticiranu disciplinu koja koristi digitalni model reljefa za kvantitativno istraživanje reljefa. Počevši od jednostavnih algoritama za izračun osnovnih topografskih atributa na nisko rezolucijskim DMR-ovima, digitalna analiza reljefa je doživjela eksponencijalni rast zahvaljujući povećanoj računalnoj snazi i dostupnosti visoko rezolucijskih DMR-ova iz različitih izvora (fotogrametrija, LiDAR, satelitski podaci). Integracija s geografskim informacijskim sustavima (GIS) omogućila je naprednije analize i modeliranje (Burrough i McDonnell, 1998).

## 1.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

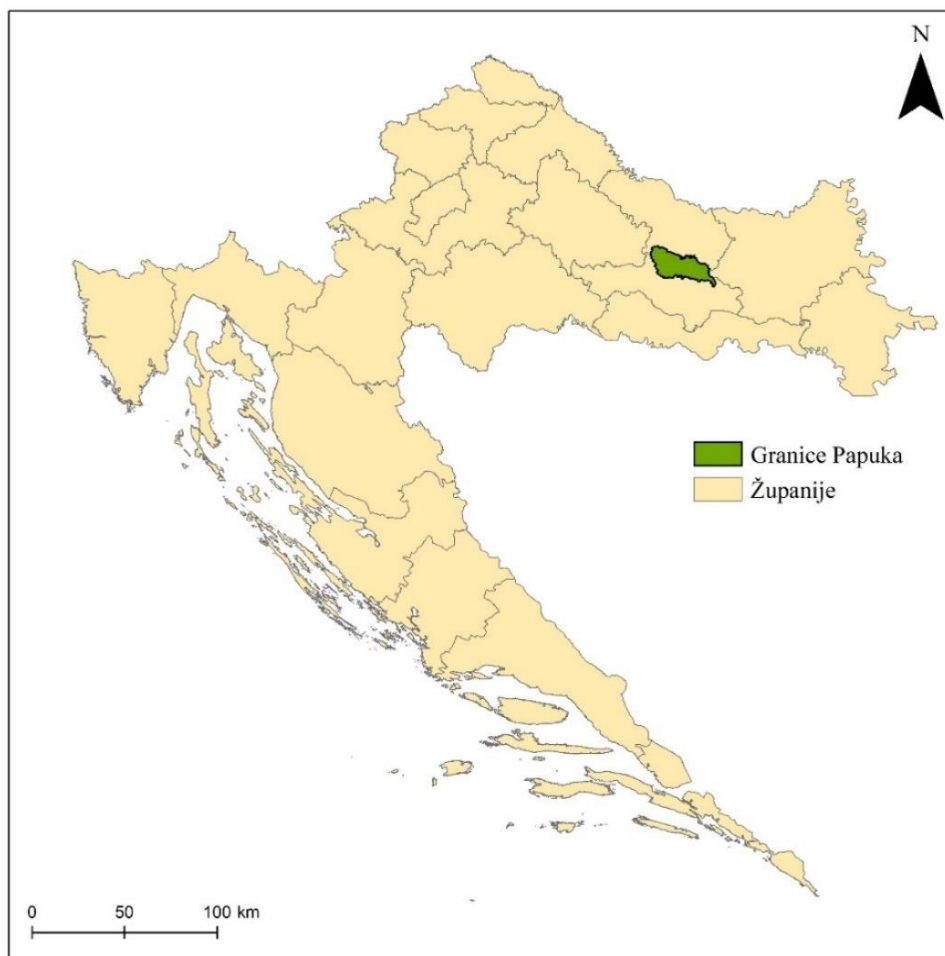
Predmet istraživanja ovog rada je reljef planinskog masiva Papuk, a koriste se metode digitalne analize DMR-a, s naglaskom na kvantifikaciju morfometrijskih parametara i njihovu povezanost s geološkom građom. Općim i specifičnim morfometrijskim metodama nastoji se utvrditi reljefne značajke koje su rezultat geomorfoloških procesa, uključujući erozijske i denudacijske procese te tektonsku aktivnost. Digitalna analiza reljefa omogućava kvantitativno proučavanje njegovih karakteristika, što daje temelj za istraživanje njegove geneze i razvoja.

Papuk je zbog svoje georaznolikosti i složenosti tektonskog sklopa izuzetno pogodan za primjenu digitalne analize reljefa, jer obuhvaća metamorfne, magmatske i sedimentne stijene, koje su podložne diferencijalnoj eroziji i generiraju specifične morfološke oblike (Bognar, 1999). Analizom drenažnog sustava istražila se korelacija između geološke podloge i razvoja riječnih tokova, uključujući prostorni raspored vodotoka, gustoću drenažne mreže te odnos s rasjedima i litološkom podlogom (Plan upravljanja PP Papuk, 2010).

Ovaj rad doprinosi razumijevanju morfogenetskih procesa koji oblikuju Papuk te pruža znanstvenu osnovu za daljnja geomorfološka i hidrološka istraživanja. Dobiveni rezultati imaju primjenu u prostornom planiranju, zaštiti prirodne baštine i održivom gospodarenju vodnim resursima, čime se potvrđuje multidisciplinarni značaj digitalne analize reljefa.

## 1.3. PROSTORNI OBUHVAT

Na dodiru kontinentalnog dijela središnje i istočne Hrvatske nalazi se Papuk. Nalazi se na granici Požeško-slavonske županije i Virovitičko-podravske županije, ali jednim dijelom ulazi i područje Osječko-baranjske županije (sl. 1). Pripada Slavonskom gorju, odnosno panonskoj megaregiji prema prirodno-geografskoj regionalizaciji. Gorski hrbat Papuka smješten je u sjeverozapadnom dijelu Slavenskog gorja i proteže se otprilike 45 km u pravcu ZSZ-IJI. Najšira je na području zapada s otprilike 20 km, dok se na krajnjem istoku sužava na manje od 10 km. Najviši vrh, koji nosi naziv Papuk, doseže visinu od 953 m, a orografski Papuk se dijeli na tri dijela: zapadni, središnji i istočni (Bočić, 2010). Područje digitalne analize određeno je granicama Parka prirode Papuk.



*Slika 1 Položaj PP Papuka u okvirima RH*

#### 1.4. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Papuk, kao važan dio prirodne baštine istočne Hrvatske, istražuje se u kontekstu hidrogeologije, geologije, biologije i kulturne baštine. Prva zapisana istraživanja toga područja datiraju još iz druge polovice 19. stoljeća za potrebe izrade karata Austro-Ugarske Monarhije koja je u to doba bila u procesu formiranja. Sažeti prikaz kristalnih stijena tog područja daje Wodiczk (1855) dok su prvi geološki podaci o mezozojskim naslagama dani od strane Stura (1861). Pilar (1875) donosi prve podatke o paleozojskim kristalnim stijenama odnosno određuje magmatsko podrijetlo i starost metamorfnih stijena Papuka. Koch (1906) provodi prvu analizu vodotoka na području Orahovica-Beničanci koje se nalazi u jugoistočnom dijelu planine. Za to područje Poljak (1934a) izrađuje geološku kartu. Prethodno tome Poljak (1911, 1923) daje značajne doprinose o geološkom i geomorfološkom poznavanju planinskog vrha Krndije. Poljak (1934a,b) ima značajan doprinos u istraživanju geološke građe slatinsko-voćinskog i

orahovačkog dijela Papuka što je dovelo do geološkog i hidrogeološkog pregleda Jankovačkog prostora 1975. Iste godine za potrebe izrade Osnovne geološke karte SFRJ u mjerilu 1 : 100 000, Šikić i dr. (1975) daju kompletni kartografski prikaz mezozojskih naslaga Papuka.

Istraživanja i prikupljanje podataka za izradu Osnovne geološke karte SFRJ-a provodila su se između 1971. i 1987. Brkić i Jamčić (1976) daju rezultate geoloških istraživanja područja Orahovica za potrebe izrade lista. Jamčić (1983a,b) također prikazuje podatke metamorfnog kompleksa, a uz to daje podatke o tangencijalnim pokretima u Slavonskom gorju. Jamčić je tokom 20. stoljeća dao veliki doprinos geološkim istraživanjima Slavonskih gora, a kruna njegovog stvaralaštva bila je izrada geološke karte za listove Daruvar, Orahovica i Našice (Jamčić 1987a,b). Šaler (1990) primjenjuje metodu izodera na jugoistočnim padinama Papuka točnije na prostoru drenažnog bazena Vojlovice, Voćnike i Čađavice. Faivre (1994) radi analizu strukturno-geomorfoloških tipova dolinske mreže. Pamić (1999) i Pamić i dr. (1996, 2002) su radovi koji se bave daljnjom analizom podatka o kristalinskim stijenama Papuka. Pamić (1999) piše o pripadnosti Papuka planinskom sustavu Karpata dok su 1975. Eger i Matošević Papuk smatrali istočnim ogrankom Alpa. Pamić i dr. (2003), nakon što je Papuk i dio Krndije proglašen kao park prirode, objavljuju „Geološki vodič kroz Park prirode Papuk“.

Istraživanja o speleološkim značajkama Papuka provela su se kroz projekt „Speleološka i biospeleološka istraživanja Parka prirode Papuk“ (Bedek i Lukić, 2005; Bedek i dr. 2007, 2009). Špoljar i drugi (2011) provode analize o taloženju sedre u Jankovačkom potoku na jugoistočnim padinama Papuka. Rad se nadovezuje na radove o uvjetima života u Jankovačkom potoku i razvoju biocenoze (Špoljar i dr. 2008, 2012). Planinić (2010) u some radu pruža sveobuhvatan pregled morfometrijskih karakteristika Papuka. Iste godine geomorfološku analizu krškog područja Papuka napravio je Bočić (2010). Kvetek (2014) provodi morfometrijsku analizu drenažne mreže dok Strilić (2012) daje općenitu analizu geomorfoloških obilježja Papuka.

## 2. GEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Papuk je prvi UNESCO-ov Geopark u Hrvatskoj, proglašen 2007. godine, što potvrđuje njegovu iznimnu geološku, prirodnu i kulturnu vrijednost. Predstavlja jedno od najsloženijih i geološki najraznolikijih područja u Republici Hrvatskoj, obilježeno stijenama koje variraju u starosti, litološkom sastavu i načinu nastanka. Geološka građa Papuka uključuje naslage iz paleozojskog, mezozojskog i kenozojskog razdoblja, a osim što pokazuje geokronološku raznolikost, zbog sedimentnih, magmatskih i metamorfnih procesa u geološkoj prošlosti stijene Papuka odlikuje i litološka raznolikost koja svjedoči o kompleksnoj geološkoj povijesti ovog područja (Plan upravljanja PP Papuk, 2010.).

### 2.1. GEOLOŠKA GRAĐA

Geološka građa Papuka odlikuje se slojevitom strukturom koja svjedoči o dugoj i složenoj geološkoj povijesti regije. Dominantne litostratigrafske jedinice pripadaju različitim geološkim erama, od prekambrija do kvartara, odražavajući promjene u paleogeografskim uvjetima i procesima sedimentacije kroz geološko vrijeme.

**Prekambrij**, s udjelom od 17,65 %, predstavlja najstariju geološku eru zabilježenu na Papuku. Sastoji se od metamorfnih stijena koje su pod utjecajem visokih temperatura i tlaka pretrpjele značajne promjene. Ove stijene svjedoče o dubokim korijenskim dijelovima pradavnih orogenskih sustava te su temelj na kojem su se taložili mlađi sedimentni slojevi.

**Ordovicij, silur i devon**, s dominantnim udjelom od 50,4 %, predstavljaju središnji dio geološke građe Papuka. Ove ere su obilježene naslagama sedimentnih stijena poput škriljevaca, pješčenjaka i vapnenaca, koje svjedoče o razdobljima plitkomorskih uvjeta. Stijene iz ovog razdoblja upućuju na intenzivne procese sedimentacije u paleozojskim morima.

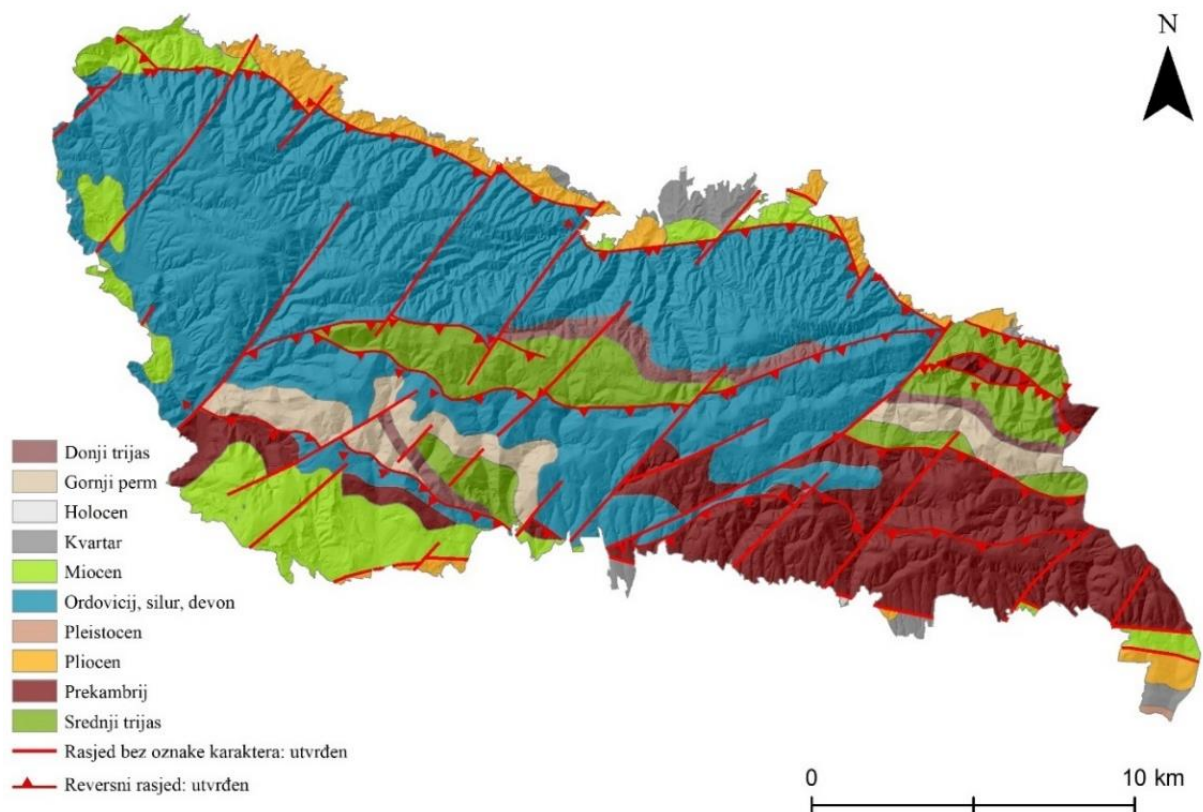
**Srednji trijas** obuhvaća 9,41 % površine i karakterizira ga pojava karbonatnih stijena, ponajprije vapnenaca i dolomita. Ovi sedimenti nastali su u toplim i plitkim morskim okolišima, tipičnim za karbonatne platforme trijasa. Razdoblje je značajno i zbog pojave prvih tragova fosilnih organizama koji ukazuju na evolucijski prijelaz u složenije ekosustave.

**Gornji perm**, s udjelom od 4,82 %, predstavlja kraj paleozoika. Permski sedimenti ukazuju na uvjete sušnih kopnenih okoliša s povremenim evaporitima. Ove stijene upućuju na značajne promjene u paleoklimatskim uvjetima.

**Miocen**, s udjelom od 9,46 %, obilježava mlađe tercijarne sedimente. Ove stijene svjedoče o uvjetima koji su nastali uslijed tektonskih pomicanja i stvaranja Panonskog bazena. Taloženje klastičnih sedimenata i lapora ukazuje na kopnene i jezerske okoliše.

**Pliocen**, s udjelom od 3,9 %, obilježava nastavak razvoja Panonskog bazena. Sedimenti pliocena uključuju glinovite i pješčane naslage koje svjedoče o uvjetima prevladavajućeg kopnenog okoliša s povremenim plitkim vodama.

**Kvartar**, iako zauzima samo 1,6 % površine, predstavlja najmlađe geološko razdoblje. Kvartarni sedimenti uključuju aluvijalne nanose koji su rezultat erozijskih i akumulacijskih procesa rijeka te su ključni za formiranje današnjeg reljefa.



*Slika 2 Prikaz geološke građe Papuka i rasjeda*

Izvor: Velić i Vlahović (2009.)

Geološka podloga Papuka svjedoči o složenim i raznolikim procesima koji su oblikovali ovaj prostor tijekom stotina milijuna godina. Dominacija paleozojskih naslaga ukazuje na



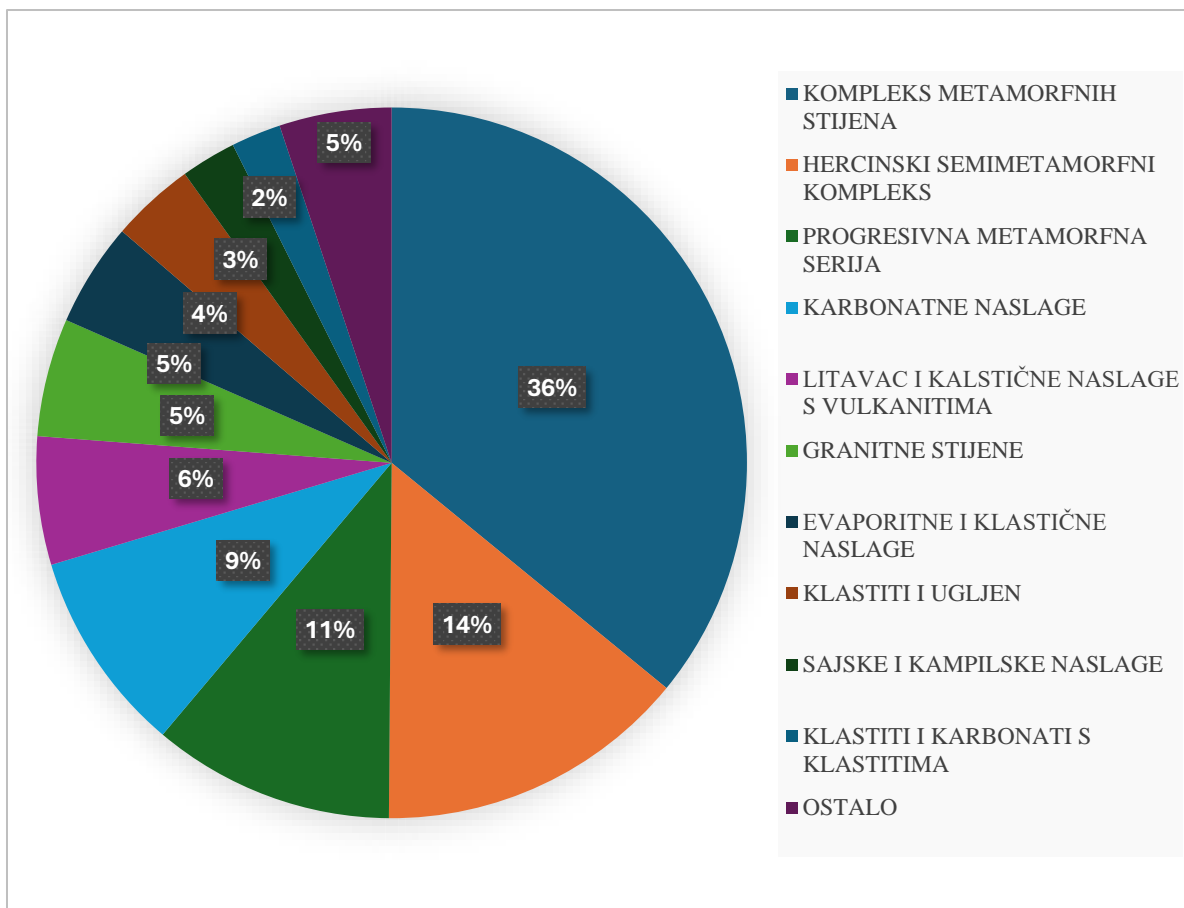
značaj morskih okoliša u njegovoj prošlosti, dok mlađe naslage tercijara i kvartara odražavaju transformaciju regije u uvjetima tektonskih pomicanja (Pamić i dr. 2003).

## 2.2. STRUKTURNO-TEKTONSKA OBILJEŽJA

Formiranje slavonskih planina obuhvaća razdoblja od prekambrija do kenozoika kroz pet orogenetskih faza: bajkalsku, kaledonsku, hercinsku, laramijsku i alpsku. Ovih pet faza rezultiralo je različitim metamornim i deformacijskim promjenama koje su oblikovale geološke formacije. Tijekom bajkalske orogeneze nastale su metamorfne promjene, dok su kaledonska i hercinska faza uključivale procese koji su doveli do stvaranja novih stijena. U permu i trijasu taloženje klastičnog i karbonatnog materijala odvijalo se bez orogenetskih zbivanja. Laramijska orogeneza dovela je do izdizanja slavonskih planina, koje su postale kopno do miocena (Plan upravljanja PP Papuk, 2010).

Miocenske naslage nastale su u Panonskom bazenu tijekom promjena razine mora, dok je preko razdoblja sarmata i panona bazen postao izoliran od morskih voda. Izdizanje slavonskih planina završilo je u neogenu kroz dvije kompresijske faze (Jamičić, 1995). U ovom području prisutni su mlađi rasjedi u smjeru SI-JZ, kao i stariji reversni rasjedi, koji ukazuju na kompleksnu geološku evoluciju i interakcije između euroazijske i afričke ploče (Pamić i dr. 2003).

Na području Papuka najveći udio litoloških jedinica zauzima kompleks metamornih stijena koji obuhvaća 36 % ukupne površine i ističe se kao ključna komponenta geološke građe (sl. 3). Slijede hercinski semimetamorfni kompleks (14 %) i karbonatne naslage (11 %) čiji sastav ukazuje na značajan utjecaj tektonskih procesa te moguće razvojne krške značajke. Progresivna metamorfna serija (9 %) i granitne stijene (6 %) dodatno oslikavaju složenost geološke povijesti, odražavajući procese intenzivnog metamorfizma i magmatizma. Ostale jedinice poput evaporitnih i klastičnih naslaga zastupljene su u manjim omjerima te dopunjuju sliku raznolikih geoloških procesa koji su oblikovali ovo područje.



Slika 3 Udio litoloških jedinica na području Papuka

### 3. METODE RADA

U ovom istraživanju korištene su različite morfometrijske metode kako bi se analizirale hidrološke i geomorfološke značajke Pauka. Temelj istraživanja činio je digitalni model reljefa (DMR) rezolucije 5 x 5 metara, preuzet iz baze podataka Geografskog odsjeka Prirodoslovno – matematičkog fakulteta u Zagrebu. Geološke značajke istraživane su uz pomoć Osnovne geološke karte (Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000, Hrvatski geološki institut (2009)). Granice istraživanog područja definirane su prema granicama Parka prirode Papuk.

Analize su provedene koristeći GIS softver ArcMap 10.8 s pripadajućim ekstenzijama *3D Analyst* i *Spatial Analyst*. Svaka analiza prilagođena je specifičnim istraživačkim ciljevima, a rezultati su omogućili detaljno kartiranje geomorfoloških obilježja.

Analiza nagiba reljefa provedena je s pomoću alata *Slope* koji izračunava promjenu visine između susjednih ćelija DMR-a. Rezultati su izraženi u postocima i stupnjevima te vizualizirani kao raster karta nagiba.

Ekspozicija padina analizirana je s pomoću *Aspect*. Ova metoda omogućila je klasifikaciju padina prema orijentaciji prema primarnim smjerovima. Podaci o ekspoziciji korišteni su za analizu utjecaja solarne radijacije i klimatskih čimbenika na reljef.

Vertikalna raščlanjenost se definira kao razlika između najviših i najnižih točaka unutar određenog područja, izračunata je alatom *Focal Statistics* koristeći radijus analize 564 kartografske jedinice. Pruža uvid u složenost reljefnih jedinica te prostornu raspodjelu visinskih razlika.

Zakrivljenost reljefa analizirana je s pomoću alata *Curvature*. Profilna zakrivljenost odražava usporavanje ili ubrzavanje protoka vode dok planarna zakrivljenost ukazuje na konvergentna ili divergentna strujanja. Zahvaljujući metodi zakrivljenosti padina identificirane su zone akumulacija i erozija.

Topographic Position Indeks je izračunat usporedbom visine svake ćelije DMR-a s prosječnom visinom 8 susjednih ćelija. Analiza omogućuje klasifikaciju reljefa na doline, ravnice i grebene.

Hrapavost reljefa određena je standardnom devijacijom nagiba unutar zadanog radijusa susjedstva. Korištena je za procjenu složenosti reljefnih jedinica i intenziteta erozijskih procesa.

$$R = H_{\max} - H_{\min}$$

Gdje je:

R – Hrapavost terena

$H_{\max}$  – maksimalna nadmorska visina

$H_{\min}$  – minimalna nadmorska visina

Topographic Wetness Indeks izračunat je kao funkcija nagiba i akumulacije protoka vode.

$$TWI = \ln \left( \frac{A}{\tan \beta} \right)$$

Gdje je:

A – Specifična površina sliva

$\beta$  – Nagib terena

Stream Power Indeks je izračunat pomoću nagiba i akumulacije protoka vode čime je procijenjen erozijski potencijal drenažnih tokova.

$$SPI = A \cdot \tan \beta$$

Gdje je:

A – Specifična površina sliva

$\beta$  – Nagib terena

Drenažni bazeni definirani su pomoću alata *Basin*, *Flow Accumulation* i *Flow Direction*. Granice bazena identificirane su na temelju toka vode, a rezultati su dodatno korigirani radi preciznosti. U provedenoj *Flow Accumulation* analizi korištena je granična vrijednost od 2500 ćelije, što znači da je svaka ćelija rastera klasificirana kao vodotok samo ako ima najmanje 2500 uzvodnih ćelija koje doprinose protoku vode. Analiza je omogućila identifikaciju glavnih hidroloških jedinica i raspodjelu vodnih resursa.

Klasifikacija toka prema Strahleru provedena je pomoću *Stream Order*. Ova metoda omogućila je hijerarhijsku kategorizaciju vodotoka prema veličini i broju spajanja. Rezultati su ukazali na složenost i razgranatost drenažnih sustava Papuka. Gustoća drenažne mreže izračunata je pomoću alata *Kernel Density* gdje je duljina vodotoka po jedinici površine iskorištena za procjenu intenziteta hidrološke aktivnosti.

Hipsografska krivulja generirana je analizom distribucije nadmorskih visina unutar drenažnih bazena, što omogućuje kvantifikaciju odnosa između površine terena i visinske rasprostranjenosti. Ova krivulja pokazuje udio površine sliva koji se nalazi iznad određene nadmorske visine, čime se dobiva uvid u vertikalnu strukturu reljefa. Hipsometrijski integral izračunat je na temelju prosječne, minimalne i maksimalne visine unutar svakog drenažnog bazena čime je procijenjen stupanj erozije i evolucije reljefa.

$$H_i = \frac{\bar{h} - h_{min}}{h_{max} - h_{min}}$$

Gdje je:

$H_i$ : hipsometrijski integral,

$\bar{h}$ : prosječna nadmorska visina unutar drenažnog bazena,

$h_{min}$ : minimalna nadmorska visina,

$h_{max}$ : maksimalna nadmorska visina.

Analiza grebena provedena je korištenjem alata iz skupine *Hidrology Tools* u ArcMap-u. Digitalni model reljefa (DMR) prvo je transformiran pomoću *Raster Calculator-a* kako bi se zamijenila vrijednost nizina i uzvisina. Nakon toga primijenjeni su alati *Fill*, *Flow Direction* i *Flow Accumulation* za generiranje preliminarnih grebena, koji su zatim ručno korigirani i spojeni kako bi se uklonile nepravilnosti i osigurala točnost konačnog vektorskog sloja.

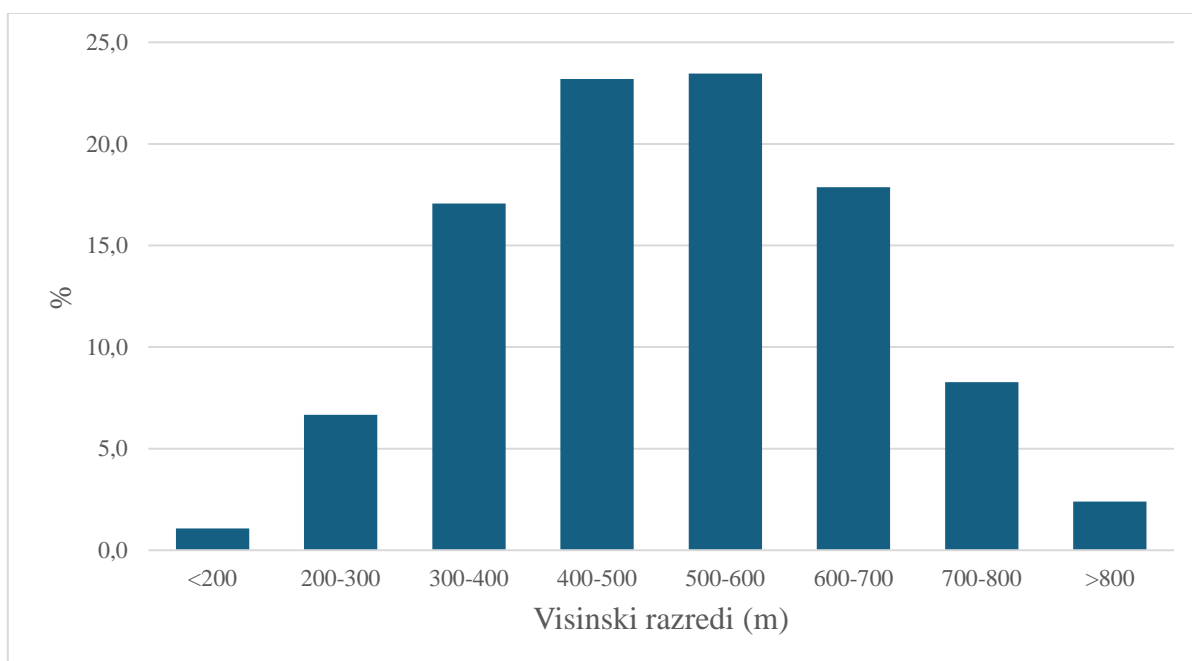
Analiza ponikava i njihove gustoće provedena je korištenjem *Spatial Analyst Tools* u ArcMap-u. Točkasti sloj ponikava dobiven je iz digitalnog modela terena. Gustoća ponikava izračunata je korištenjem *Kernel Density*, pri čemu su definirane zone različite koncentracije ponikava.

## 4. REZULATATI

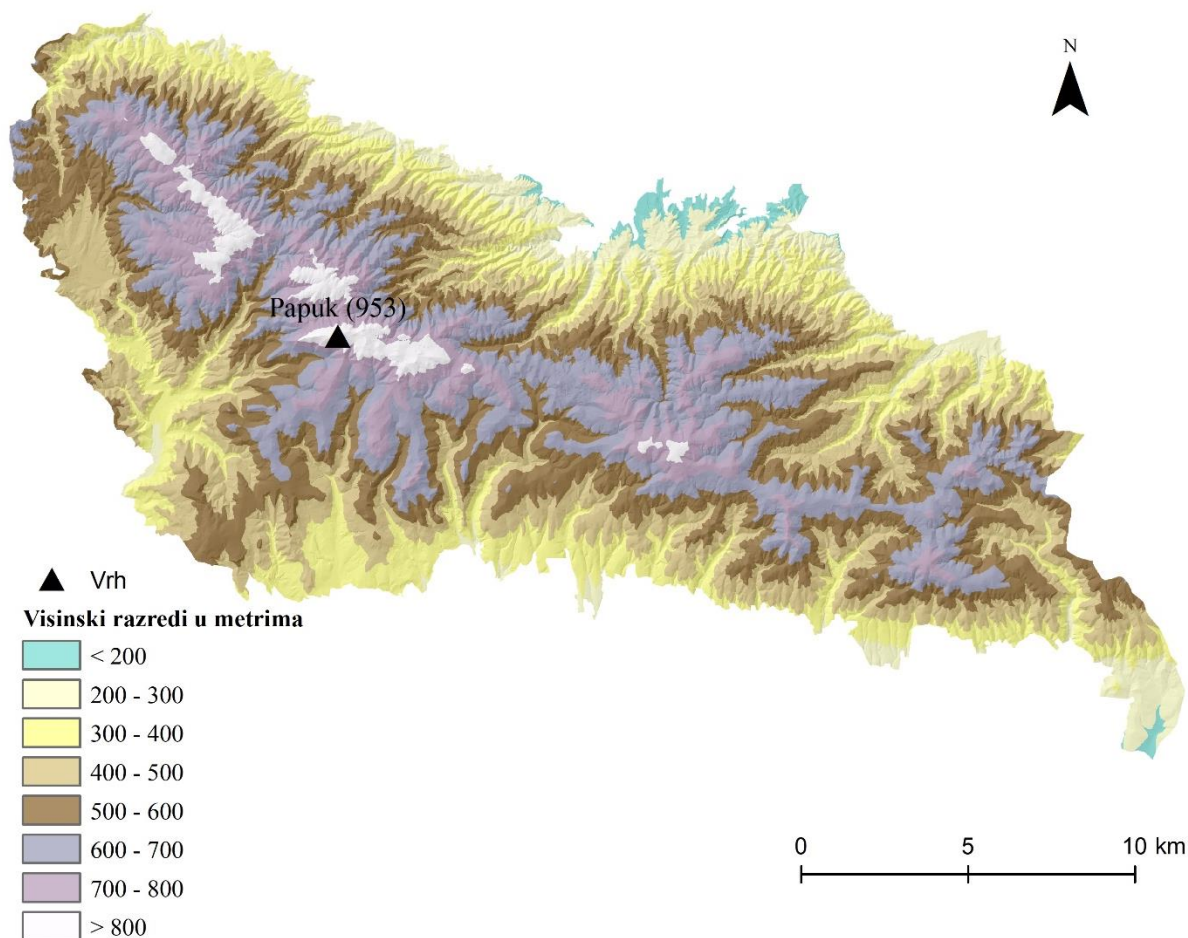
### 4.1. OPĆA MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA

#### 4.1.1. HIPSOMETRIJA

Područje Papuka karakteriziraju nadmorske visine između 138 i 953 metara (sl. 5). Prevladavaju srednje visinske kategorije, posebno one između 400 i 600 metara nadmorske visine (sl. 4). Visinski razred od 500 do 600 metara nadmorske visine zauzima najveći udio površine (23,5 %), zatim slijedi razred 400 od 500 m n.v. s udjelom od 23,2 %. Ovi podaci potvrđuju da je reljef Papuka pretežno brdski. Visinski razredi od 600 do 700 (17,9 %) i od 300 do 400 (17,1 %) također čine značajan dio reljefa, dok udio područja iznad 800 m n.v. iznosi tek 2,4 %. Razredi ispod 300 metara nadmorske visine zajedno čine samo 7,8 % što potvrđuje da niske ravničarske ili blago valovite zone nisu značajno zastupljene zbog granice koja je uzeta za analizirano područje koja se nalazi uz same obronke Papuka.



Slika 4 Kategorije i prostorni obuhvat hipsometrijskih razreda

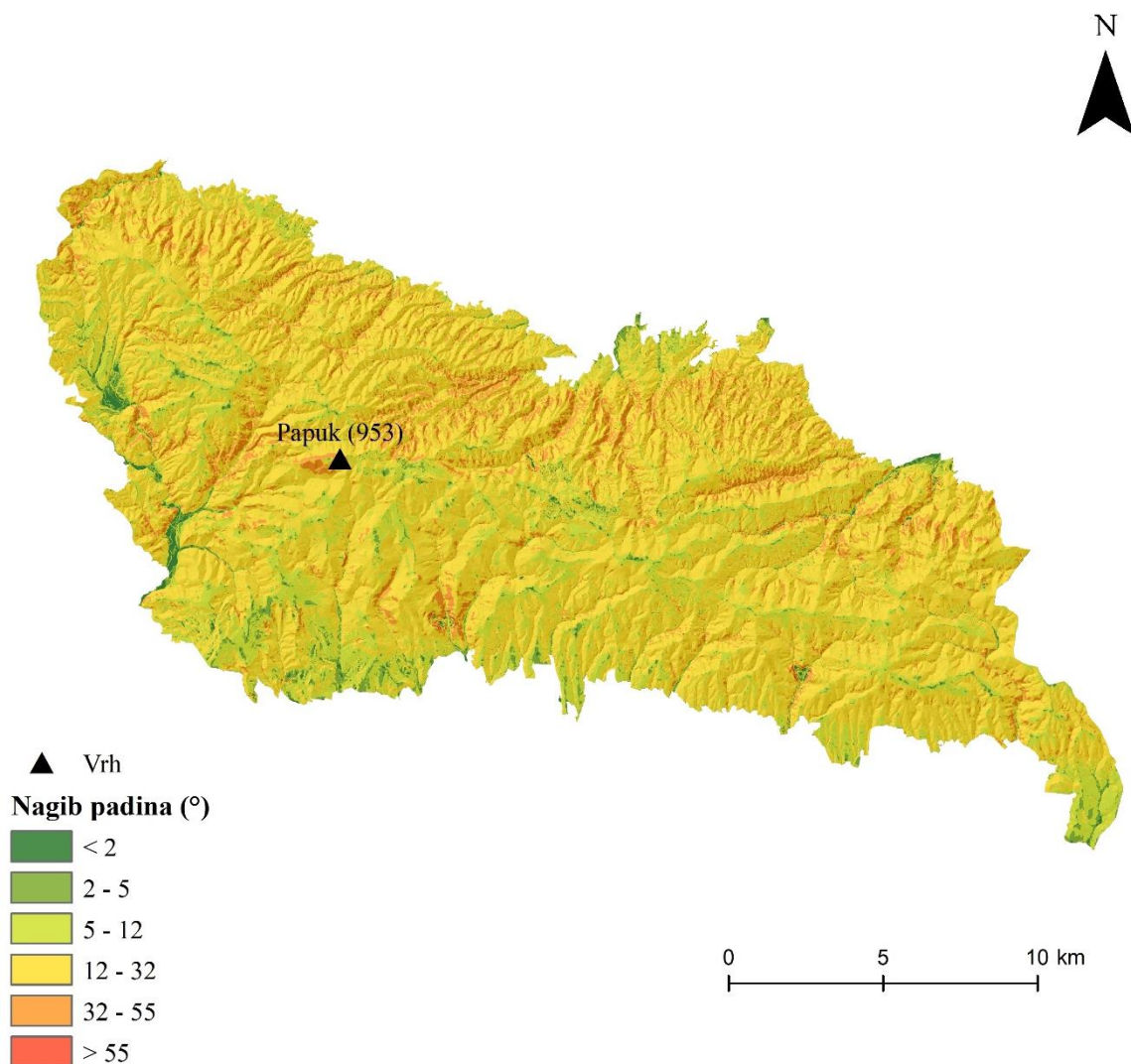


*Slika 5 Hipsometrijske karta Papuka*

#### 4.1.2. NAGIB PADINA

Ovaj pokazatelj odražava prostornu dinamiku terena te omogućuje analizu erozijskih procesa, akumulacije i kretanja mase na različitim reljefnim skalama. Razredi nagiba određeni su prema općeprihvaćenim kriterijima kategorija nagiba (Bognar, 1992).

Analizom karte nagiba na području Papuka uočava se dominacija blagih do umjerenih nagiba. Područja ravnica, do 2° nagiba, prevladavaju u području doline rijeke Brzaje te na području Novog Zvečeva, gdje se nadmorska visina penje iznad 430 metara. Manji nagibi (od 2° do 5°) pretežno se nalaze na nižim nadmorskim visinama, gdje su akumulacijski procesi izraženiji te dolazi do taloženja sedimenta (sl. 6).



*Slika 6 Karta nagiba padina Papuka*

Nagibi između  $5^\circ$  i  $12^\circ$  javljaju se na velikim površinama, uglavnom u glavnoj krškoj zoni od vrha Papuka do Jankovačkog jezera. Nagibi od  $12^\circ$  do  $32^\circ$  najzastupljeniji je na Papuku (Tablica 1). Obilježeni su izraženom erozijom i većom dinamikom pokreta mase. S druge strane, strmije padine (od  $32^\circ$  do  $55^\circ$ ) koncentrirane su uglavnom na rubovima najviših dijelova Papuka te uz pojedine strukturne linije koje odgovaraju zonama tektonske razlomljenosti, poput doline Radločkog potoka. Vrlo strme padine ( $> 55^\circ$ ) javljaju se rijetko i vezane su uz litološki otpornije stijene, posebice u zonama granitnih i metamorfni kompleksa.



Tablica 1 Kategorije i prostorni obuhvat nagiba padina

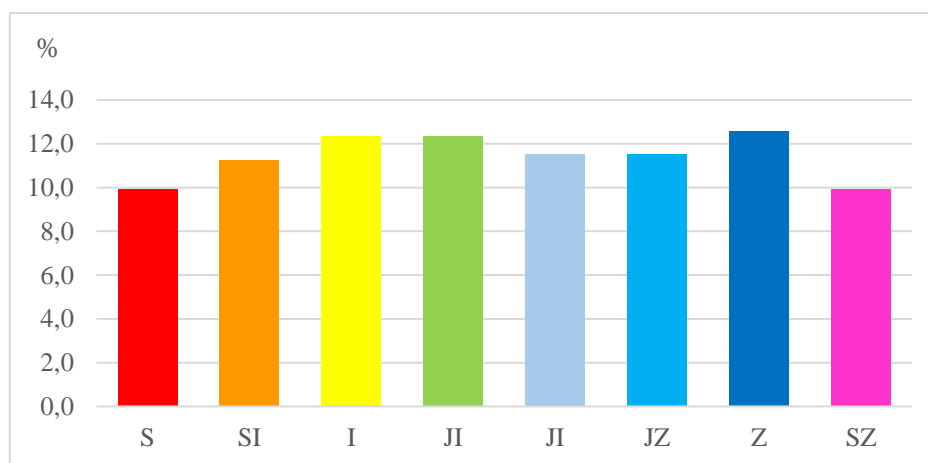
Nagib (°)	Površina km <sup>2</sup>	Udio (%)
0-2	3	0,8
2-5	11	2,9
5-12	64	17,2
12-32	263	70,5
32-55	32	8,6

#### 4.1.3. ORIJENTIRANOST PADINA

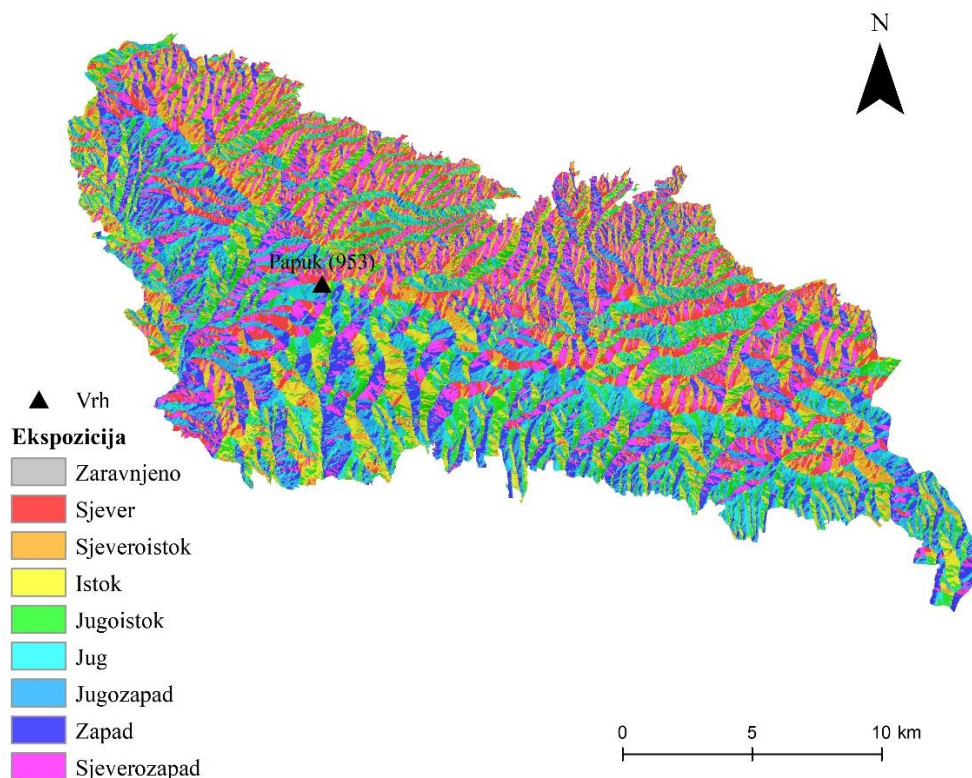
Ekspozicija padina određuje se kao njezina orijentacija prema stranama svijeta, pri čemu je smjer definiran u pravcu najvećeg nagiba. Kut ekspozicije obično se mjeri od smjera sjevera prema smjeru kazaljke na satu (Pahernik, 2007). Na sjevernoj hemisferi južne padine primaju najviše Sunčevog zračenja, dok sjeverne primaju najmanje. Istočno orijentirane padine najviše zračenja dobivaju ujutro, a zapadne u predvečernjim satima. Općenito, istočne i zapadne padine primaju više zračenja od sjevernih, ali manje od južnih (Šegota i Filipčić, 1996).

Ekspozicija značajno utječe na geomorfološke procese jer različito orijentirane padine primaju različite količine Sunčeva zračenja, što posljedično utječe na klimatske elemente kao egzogene geomorfološke agense (Radoš i dr., 2012).

Na karti ekspozicije padina vidljivo je da su smjerovi ekspozicija ravnomjerno raspoređeni, s udjelima od 10 do 13 %. Ipak, istočne (12,3 %), jugoistočne padine (12,3 %) i zapadne padine (12,6 %) imaju nešto veću zastupljenost, dok su sjeverne i sjeverozapadne padine najmanje zastupljene (sl. 7).



Slika 7 Kategorije i prostorni obuhvat ekspozicije padina



Slika 8 Karta ekspozicije padina Papuka

#### 4.1.4. VERTIKALNA RAŠČLANJENOST RELJEFA

Vertikalna raščlanjenost reljefa označava razliku u nadmorskoj visini između najviših i najnižih točaka unutar određene jedinice površine, pri čemu se izražava u metrima po kvadratnom kilometru ( $m/km^2$ ). Na temelju unaprijed definiranih kriterija (Bognar, 1992), utvrđene su sljedeće kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa:

Tablica 2 Kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa

0 – 5 $m/km^2$	Zaravnjen reljef
5 – 30 $m/km^2$	Slabo raščlanjene ravnice
30 – 100 $m/km^2$	Slabo raščlanjen reljef
100 – 300 $m/km^2$	Umjereno raščlanjen reljef
300 – 800 $m/km^2$	Izrazito raščlanjen reljef
> 800 $m/km^2$	Vrlo izrazito raščlanjen reljef

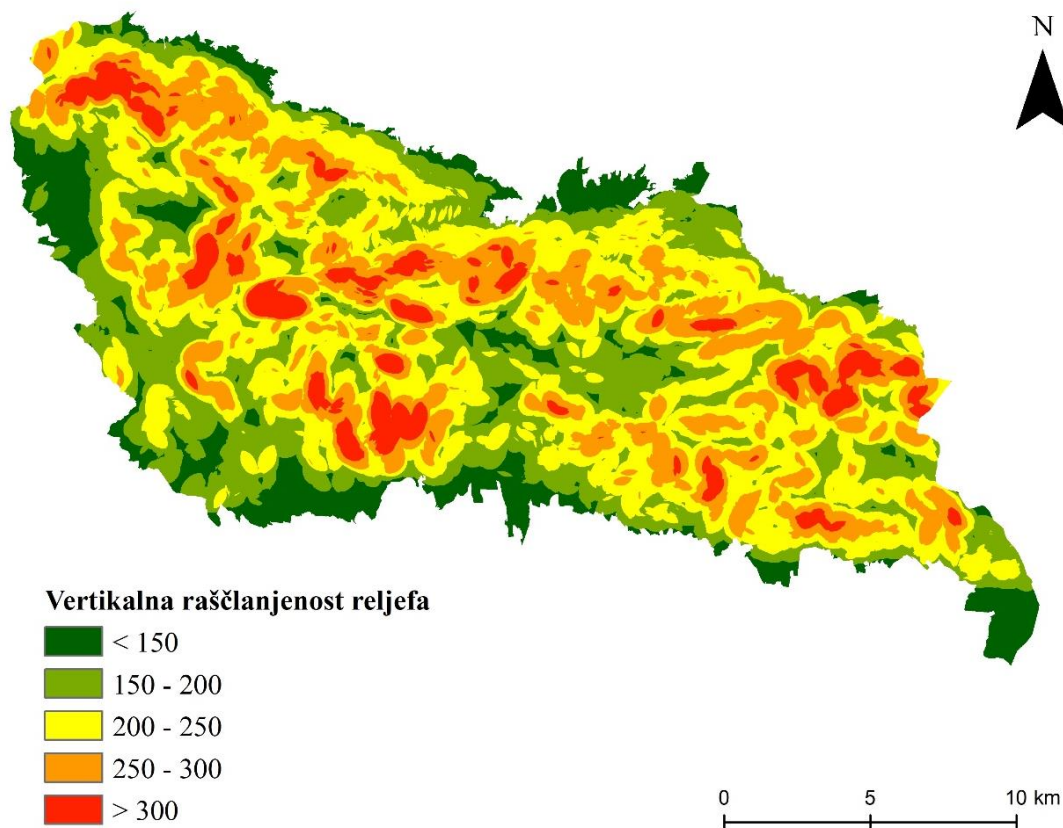
Izvor: Bognar, 1992

Na temelju razlika između najviše i najniže točke unutar jedinične površine od 1 km<sup>2</sup> izrađena je karta vertikalne raščlanjenosti reljefa. Reljef je razvrstan u šest kategorija, čiji su rasponi prilagođeni radi bolje kartografske vizualizacije, daljnja objašnjenja temelje se na ranije utvrđenim razredima vertikalne raščlanjenosti prema Bognaru (1992). Najveća vrijednost vertikalne raščlanjenosti na području Papuka iznosi 428 m/km<sup>2</sup> (sl. 9).

*Tablica 3 Kategorije i prostorni obuhvat vertikalne raščlanjenosti reljefa*

<b>Razred (m/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Površina (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Površina (%)</b>
<b>&lt; 100</b>	11	3
<b>100 - 150</b>	33	9
<b>150 - 200</b>	95	25
<b>200 - 250</b>	128	34
<b>250 - 300</b>	82	22
<b>&gt;300</b>	28	7

Prve dvije kategorije, zaravnjeni reljef (0-5 m/km<sup>2</sup>) i slabo raščlanjene ravnice (5-30 m/km<sup>2</sup>) nisu prisutni zbog granica istraživanog područja koja je direktno uz same obronke Papuka. Također, treća kategorija koja predstavlja slabo raščlanjen reljef, prisutna je u dolinama i rubnim krajevima istraživanog područja sa svega 3 % ukupne površine. Četvrta kategorija obuhvaća reljef od 100 do 300 m/km<sup>2</sup> (umjereno raščlanjen reljef) te ona dominira cjelokupnim prostorom u dijelovima višim od 200 metara nadmorske visine te zauzima ukupno 90 % ukupne površine istraživanog područja. Izrazito raščlanjen reljef (300-800 m/km<sup>2</sup>) koji prati pružanje grebena nalazi se na nadmorskim visinama višim od 700 metara te zauzima ukupnu površinu od svega 7 %.



*Slika 9 Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa Papuka (m/km<sup>2</sup>)*

#### 4.1.5. ZAKRIVLJENOST PADINA

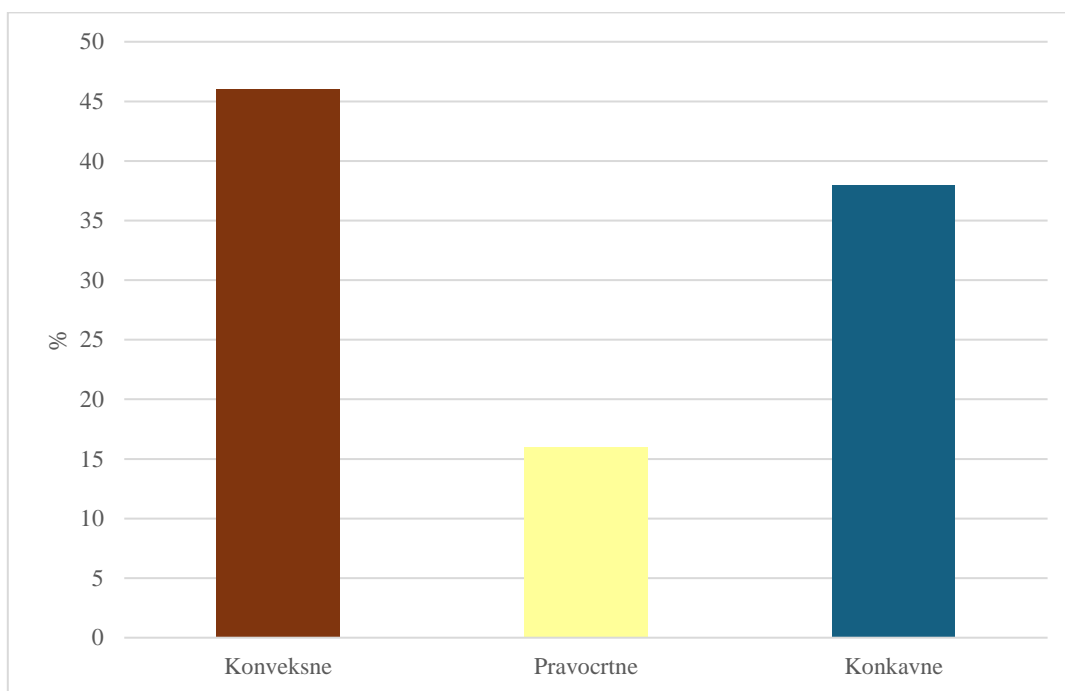
Zakrivljenost padina odnosi se na njihov geometrijski oblik, koji zajedno sa sedimentima u površinskom sastavu pruža uvid u dominantne procese koji su oblikovali padinu, ali i omogućuje predviđanje njenog daljnjeg razvoja. Oblik padine rezultat je interakcije denudacijskih i akumulacijskih procesa uzrokovanih djelovanjem endogenih i egzogenih geomorfoloških čimbenika (Radoš i dr., 2012).

Konveksne padine ili njihovi dijelovi upućuju na pozitivan tektonski utjecaj (izdizanje) uz dominaciju denudacijskih procesa. Pravocrtne padine ukazuju ravnotežu između tektonskih i denudacijskih procesa, dok konkavne padine ili njihovi dijelovi ukazuju na negativne tektonske pomake povezane s intenzivnijom akumulacijom materijala (Radoš i dr., 2012).

U geomorfološkim istraživanjima, analiza zakrivljenosti padina može se koristiti za procjenu i kvantifikaciju trendova endogenih procesa, poput izdizanja ili spuštanja struktura, te egzogenih procesa, poput otjecanja, sedimentacije ili intenzivnije denudacije (Radoš i dr., 2012).

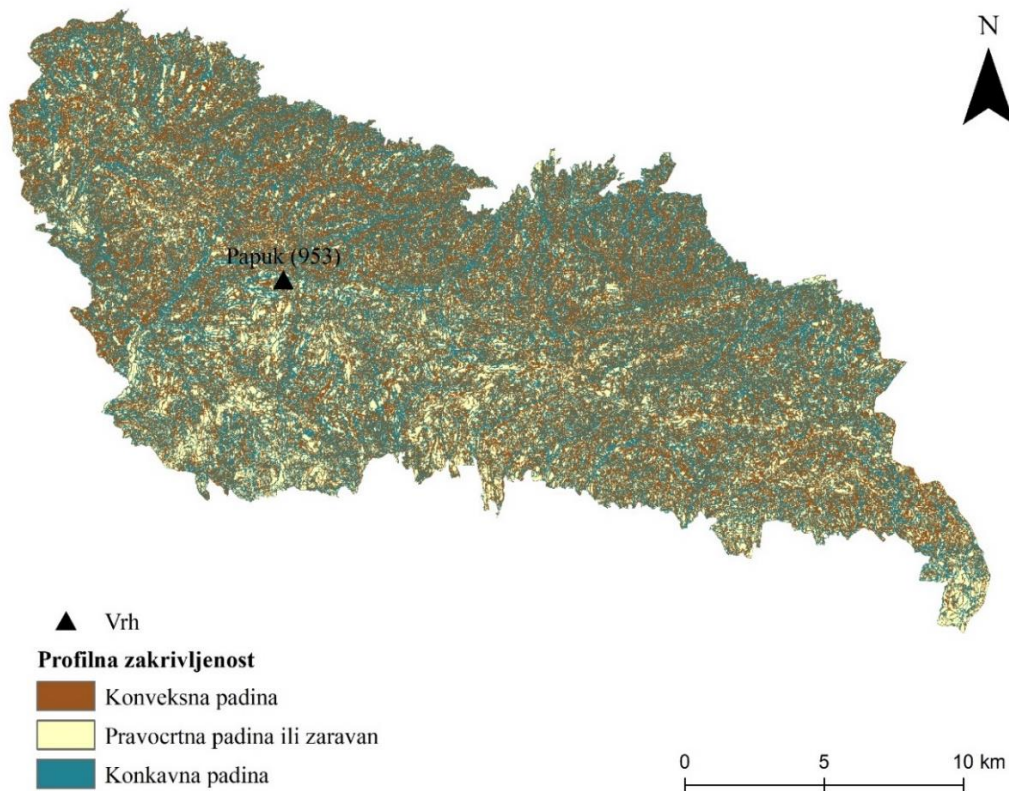
#### 4.1.5.1. Profilna zakrivljenost

Profilna zakrivljenost je morfometrijski parametar koji opisuje zakrivljenost padine duž linija okomitih na izohipse. Ovaj parametar ukazuje na geometrijski oblik uzdužnog profila padine: negativne vrijednosti označavaju konveksne, pozitivne konkavne, a vrijednosti blizu nule pravocrtne ili linearne padine. Profilna zakrivljenost ima važnu ulogu u hidrauličkim i geomorfološkim procesima jer određuje brzinu protoka vode i transport erodiranog materijala niz padinu (Pahernik, 2007).



Slika 10 Distribucija profilne zakrivljenosti padina

Analiza podataka o strukturi profilne zakrivljenosti pokazuje prevlast konveksnih i konkavnih padina na području Papuka (sl. 11). Konveksne padine čine 46 % ukupne površine i imaju najveću zastupljenost, dok konkavne padine zauzimaju 38 %. Pravocrtne padine i zaravnjeni dijelovi objedinjeni u jednoj kategoriji obuhvaćaju 16 % područja (sl. 10).



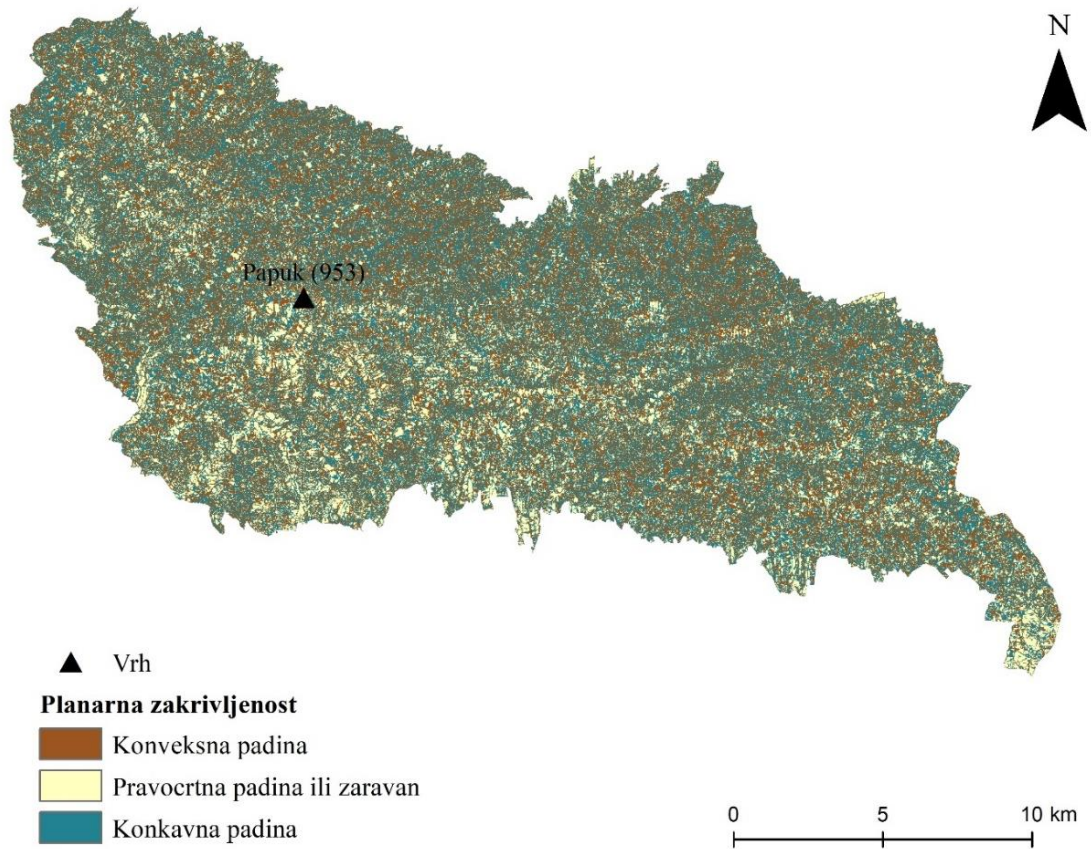
Slika 11 Karta profilne zakrivljenosti padina Papuka

#### 4.1.5.2. Planarna zakrivljenost

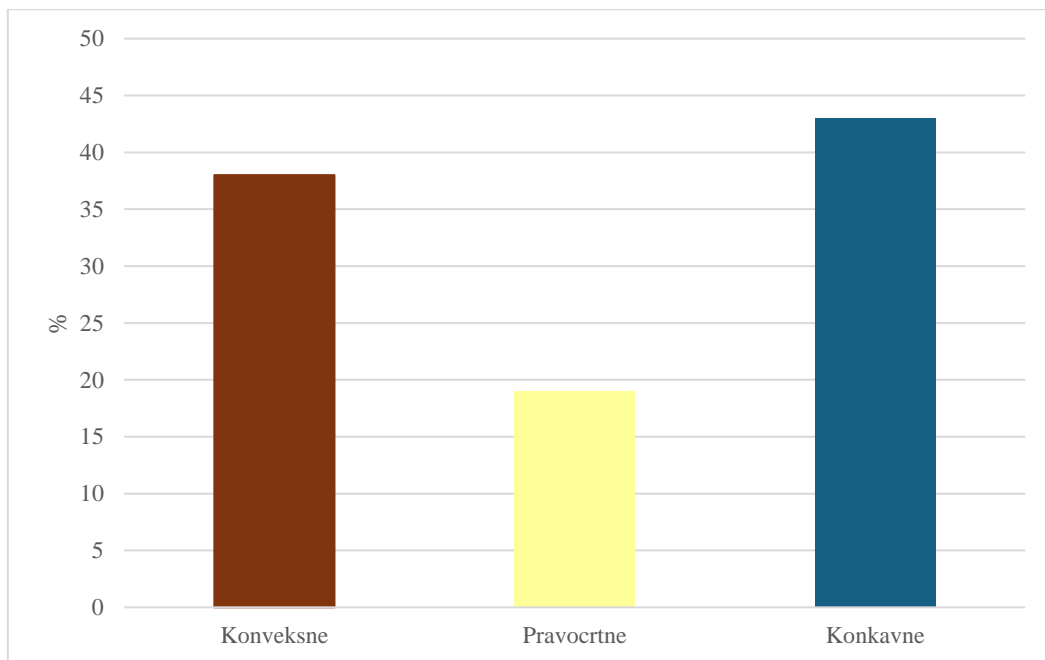
Planarna zakrivljenost je morfometrijska karakteristika padine koja opisuje zakrivljenost terena u horizontalnoj ravnini, odnosno u smjeru okomitom na izohipse. Ovaj parametar mjeri zakrivljenost terena u pravcu paralelnom s površinom (Pahernik, 2007). Planarna zakrivljenost može biti pozitivna (konveksna padina), negativna (konkavna padina) ili nulta (linearni oblik padine), a igra ključnu ulogu u određivanju smjera i brzine otjecanja vode te u procjeni erozijskih i akumulacijskih procesa na padinama (Pahernik, 2007).

Prema podacima o strukturi planarne zakrivljenosti, na području Papuka prevladavaju konveksne i konkavne padine u odnosu na pravocrtne. Konveksne padine čine 38 % površine, dok konkavne padine zauzimaju 43 %. Pravocrtne padine čine 19 % površine (sl. 13).





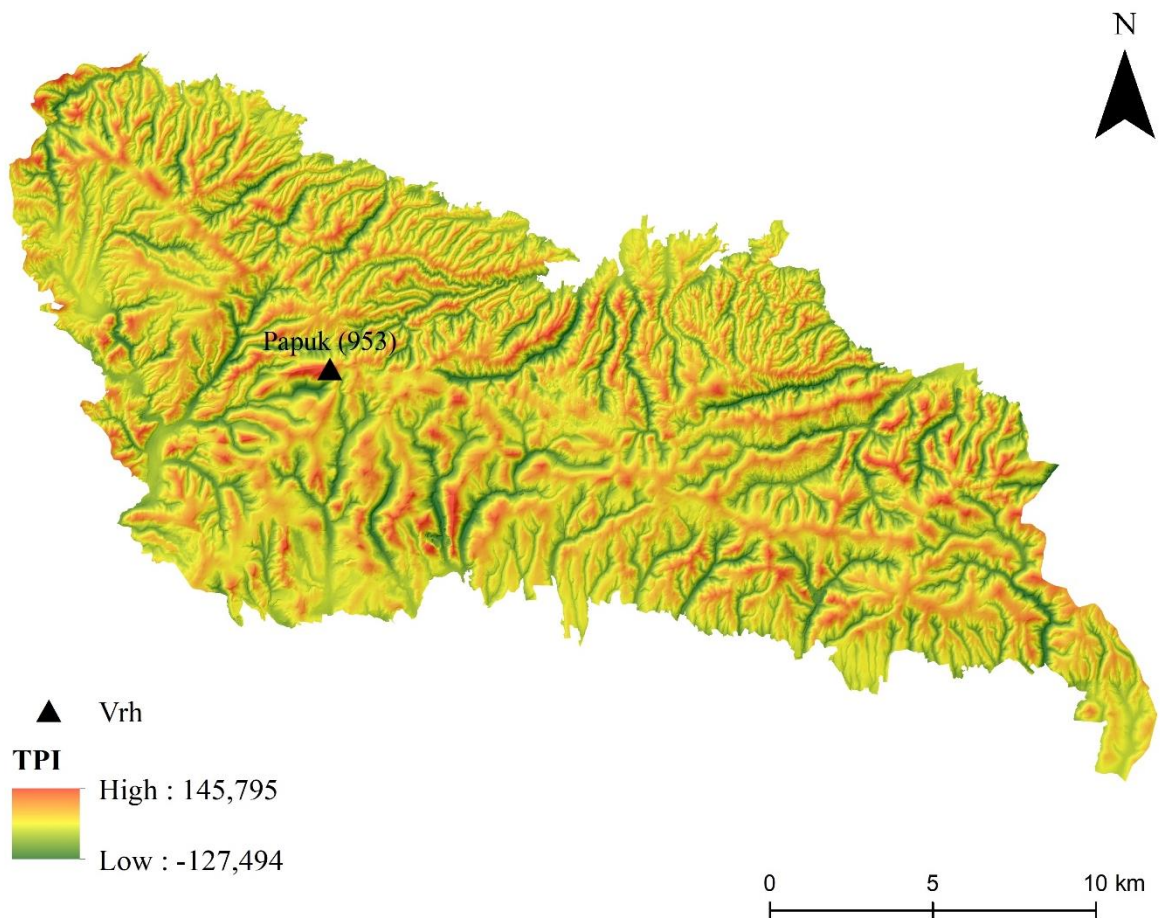
Slika 12 Karta planarne zakrivljenosti padina Papuka



Slika 13 Distribucija planarne zakrivljenosti padina

#### 4.1.6. TOPOGRAPHIC POSITION INDEX

Topographic Position Indeks (TPI) definira se kao razlika između nadmorske visine na određenoj ćeliji i prosječne nadmorske visine okolnih ćelija unutar unaprijed određenog radijusa (Weiss, 2001). TPI vrijednosti veće od nule označavaju lokacije koje su više od prosjeka u lokalnom području, poput grebena. S druge strane, negativne TPI vrijednosti označavaju lokacije koje su niže, poput dolina. Na kraju, TPI vrijednosti blizu nule označavaju područja s konstantnim nagibom (Weiss, 2001).



*Slika 14 Karta Topographic Position Index-a Papuka*

Analiza Topographic Position Indexa (sl. 14) pokazuje da su najviše vrijednosti smještene na grebenima, gdje visinske razlike u odnosu na okolni teren stvaraju uzdignute točke. Grebeni imaju pozitivne TPI vrijednosti, označujući uzvisine. Suprotno tome, doline rijeka imaju najniže TPI vrijednosti zbog manjih visinskih razlika u odnosu na okolna područja. Negativne ili niske vrijednosti označavaju nizine ili depresije.

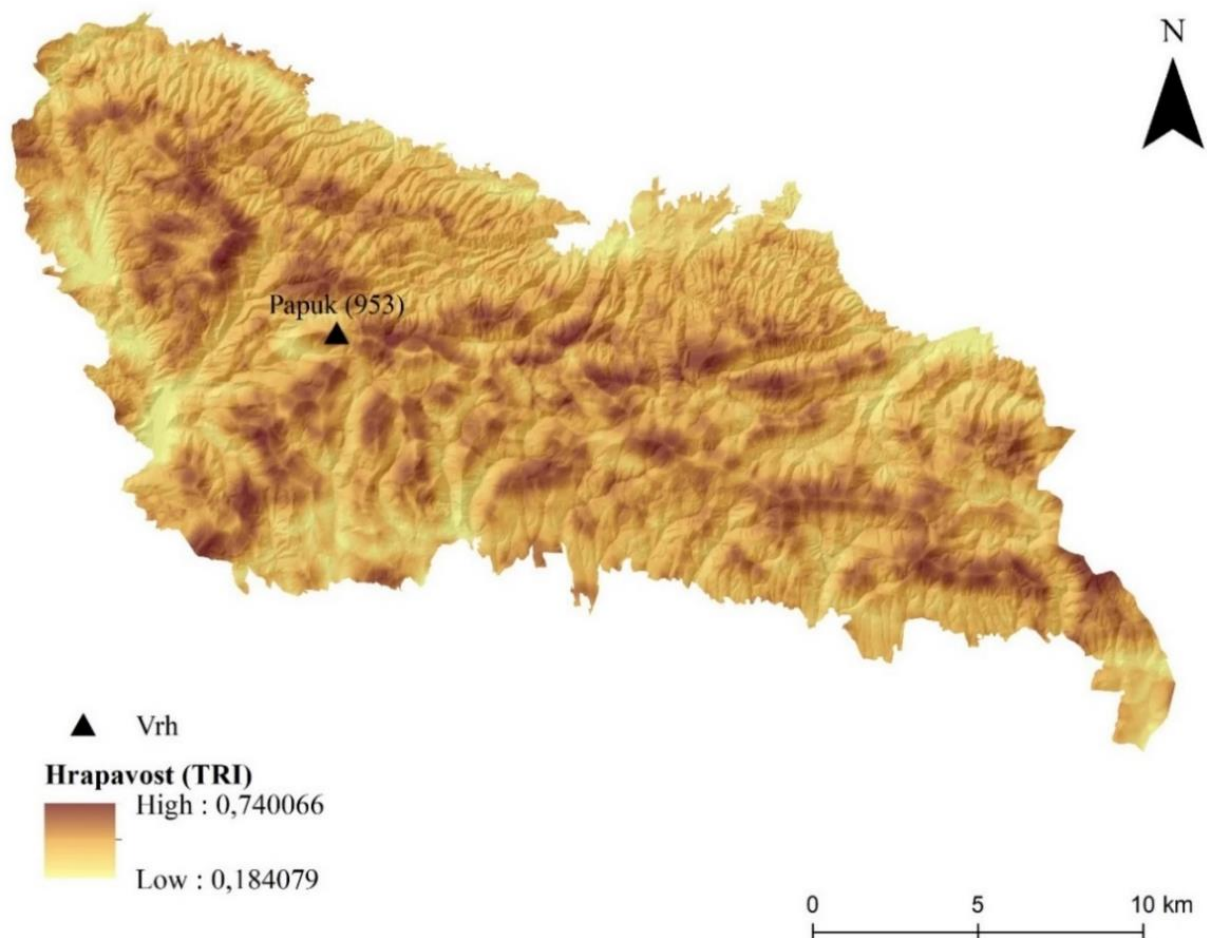


#### 4.1.7. HRAPAVOST (Topographic Roughness Indeks)

Hrapavost ili Topographic Roughness Index (TRI) je pokazatelj koji kvantificira varijacije u nadmorskoj visini unutar zadanog područja, čime mjeri hrapavost ili nepravilnost terena. Izračunava se kao razlika između nadmorske visine središnje ćelije i susjednih ćelija unutar definiranog prostornog okvira. Više vrijednosti hrapavosti ukazuju na neravniji i složeniji teren, dok niže vrijednosti označavaju ravnija područja (Wilson i Gallant, 2000).

Analiza hrapavosti za područje Papuka (sl. 15) pokazuje da su najviše vrijednosti hrapavosti prisutne u područjima grebena, dok najniže vrijednosti karakteriziraju doline rijeka. Grebeni, zbog svoje strme topografije i naglih promjena u visinskim razlikama, imaju visoke vrijednosti hrapavosti. To znači da su ovi dijelovi terena izrazito neravni, s velikim varijacijama u visini koje stvaraju visoku hrapavost. Ovakva konfiguracija terena omogućuje veće razlike u visinama unutar malih udaljenosti, što je tipično za grebene koji se uzdižu iznad okolnog krajobraza.

S druge strane, doline rijeka pokazuju najniže vrijednosti hrapavosti. U ovim područjima, nagibi terena su mnogo blaži, a visinske razlike manje, što smanjuje hrapavost površine. Doline rijeka obično imaju ravniji i ujednačeniji oblik zbog erozijskih procesa koji su oblikovali terene i smanjili razlike u visini. Također, tekući vodeni tokovi doprinose ravnanju terena, stvarajući područja s malim varijacijama u visinskim vrijednostima.

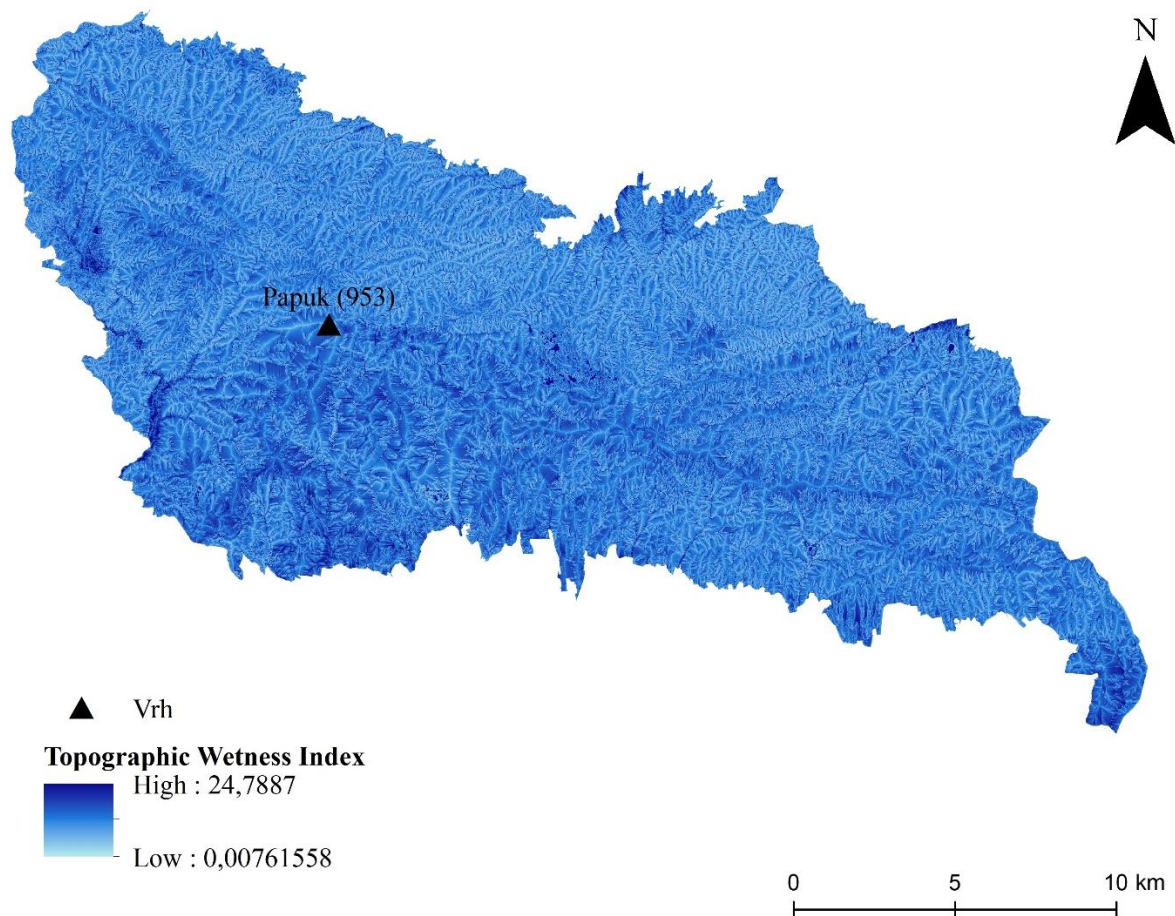


*Slika 15 Karta hrapavosti Pauka*

#### 4.1.8. TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX

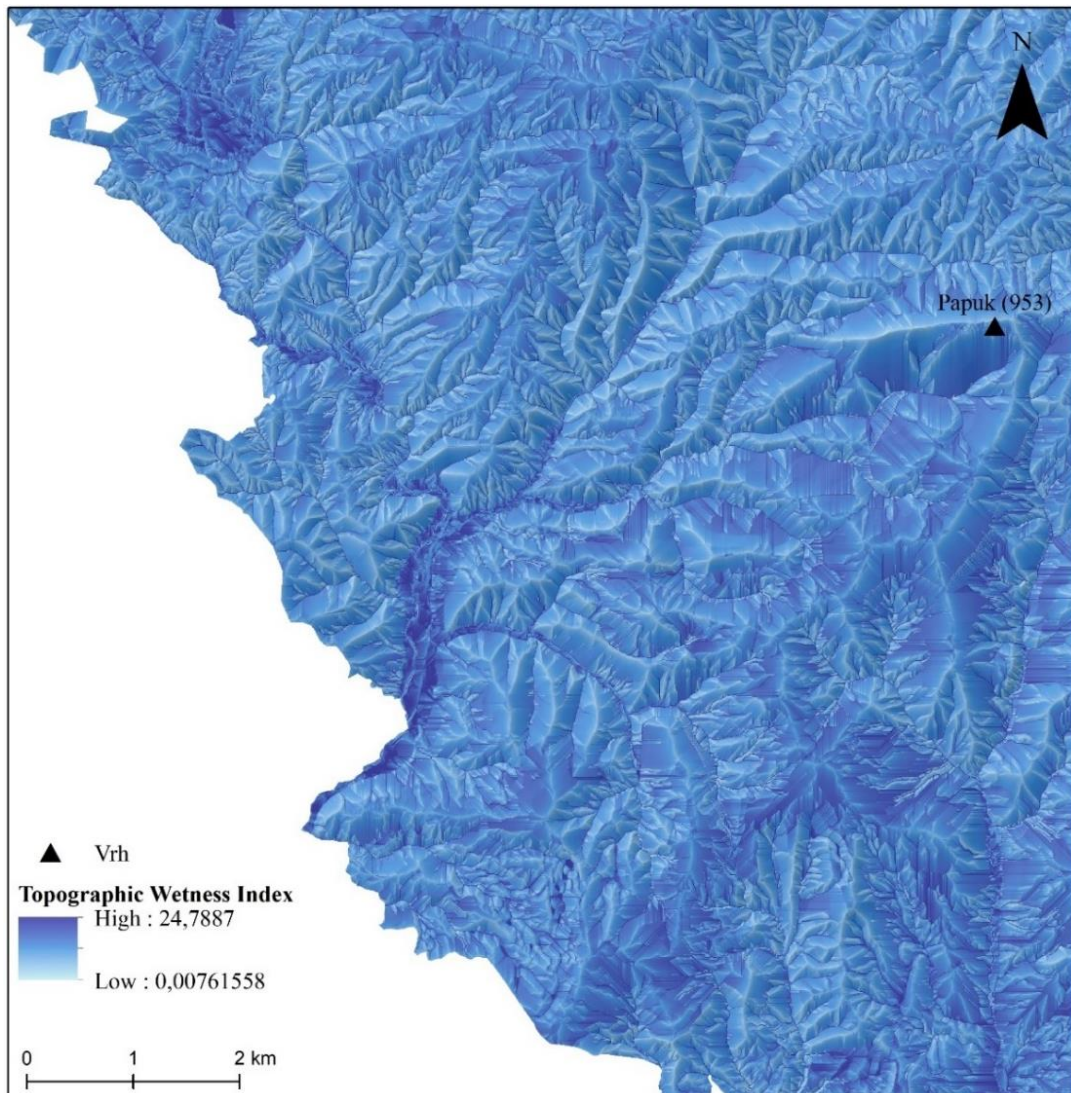
Topographic Wetness Index (TWI) je pokazatelj koji kvantificira potencijal akumulacije vode u krajobrazu, temeljen na kombinaciji lokalnog nagiba i područja drenaže (Sörensen i dr., 2006).

Visoke vrijednosti TWI-ja ukazuju na područja s većim potencijalom zadržavanja vode, poput dolina i ravnica, dok niske vrijednosti označavaju područja s manjim kapacitetom za akumulaciju vode, poput strmih padina. TWI se često koristi u hidrologiji, analizi erozije tla i ekološkim istraživanjima za procjenu vlažnosti tla i distribucije vode u krajoliku (Sörensen i dr., 2006).



*Slika 16 Karta Topographic wetness Index-a Papuka*

Slika 17 prikazuje rijeku Brzaju kod koje TWI pokazuje izrazitu prostornu distribuciju koja jasno oslikava hidrološke procese i geomorfološke karakteristike terena. Upravo na ovom dijelu istraživanog područja TWI vrijednosti dostižu svoj maksimum, što ukazuje na snažnu akumulaciju vode iz okolnih uzvišenja i intenzivnu zasićenost tla. Ove visoke vrijednosti TWI-a posebno su izražene uz korito rijeke i u njenim neposrednim pritocima gdje konfiguracija terena omogućuje usmjeravanje vode prema najnižim točkama (Sörensen i dr., 2006). Rezultati analize na ovom području najjasnije demonstriraju TWI da identificira zone visokog potencijala za zasićenost tla.



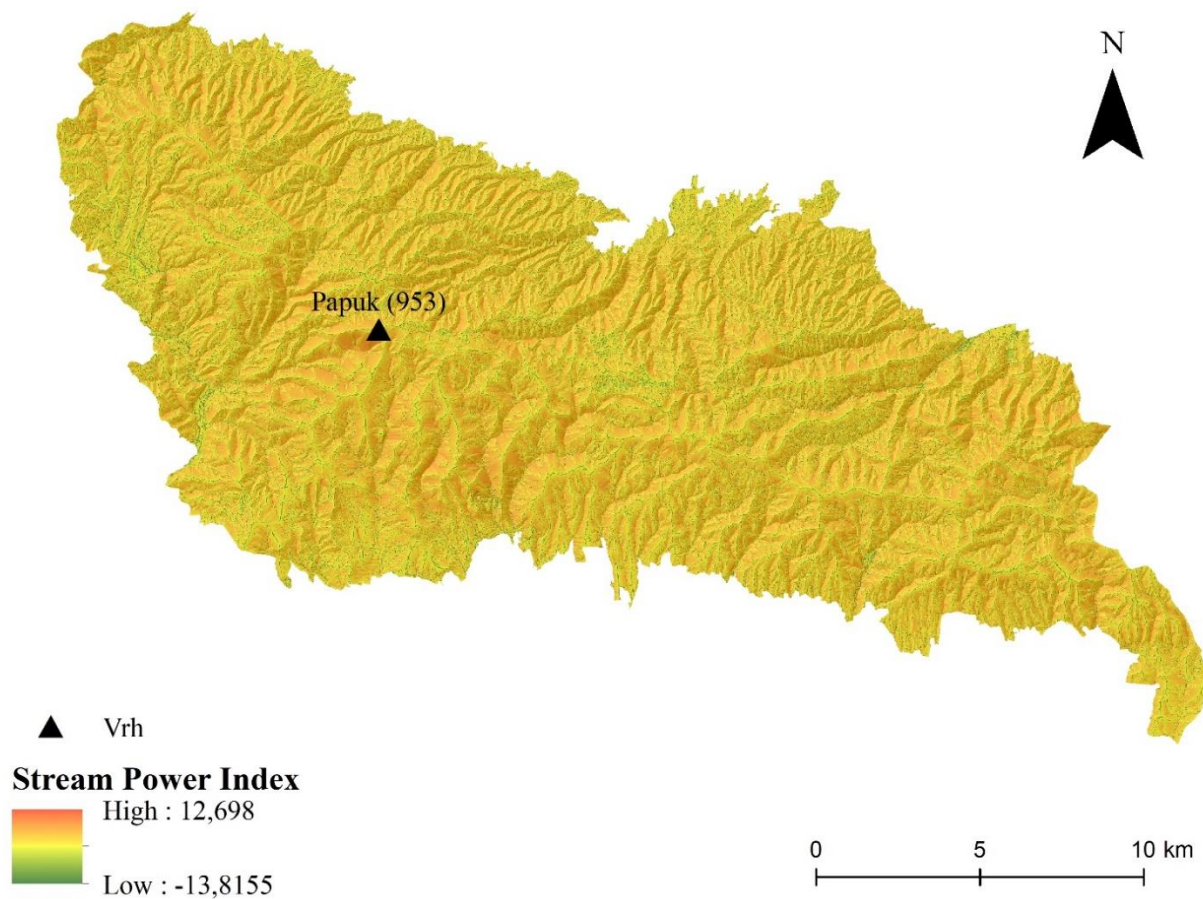
*Slika 17 Karta TWI-a rijeke Brzaje*

#### 4.1.9. STREAM POWER INDEX

Stream Power Index (SPI) je geomorfološki pokazatelj koji mjeri erozivnu moć vodenog toka na površini terena. SPI se temelji na konceptu potencijalne energije vode koja teče niz padinu, pri čemu je energija proporcionalna količini protoka i nagibu terena (Thalacker, 2014).

Slika 18 prikazuje rezultate Stream Power Indexa (SPI), najniže vrijednosti SPI-a uočavaju se na nekoliko ključnih područja. Prvo, najniže SPI vrijednosti prisutne su u središnjem dijelu gdje se nalaze ponikve. Zbog ravnijeg nagiba terena protok je sporiji, a vodeni tokovi se usmjeravaju prema depresijama smanjujući erozivnu moć. Ponikve djeluju kao akumulacijska područja za vodu, gdje erozija nije izražena, što se očituje kroz niže SPI vrijednosti.





*Slika 18 Karta Stream power index-a Papuka*

Drugi dio s niskim SPI vrijednostima su tokovi većih rijeka koji nisu tako strmi. Na tim područjima, protok je širi i manje koncentriran, a nagib terena je manji što dodatno smanjuje erozivnu snagu vode. Iako su ovi tokovi veći, njihov erozivni potencijal je manji jer voda teče sporije, a površinsko otjecanje nije tako snažno.

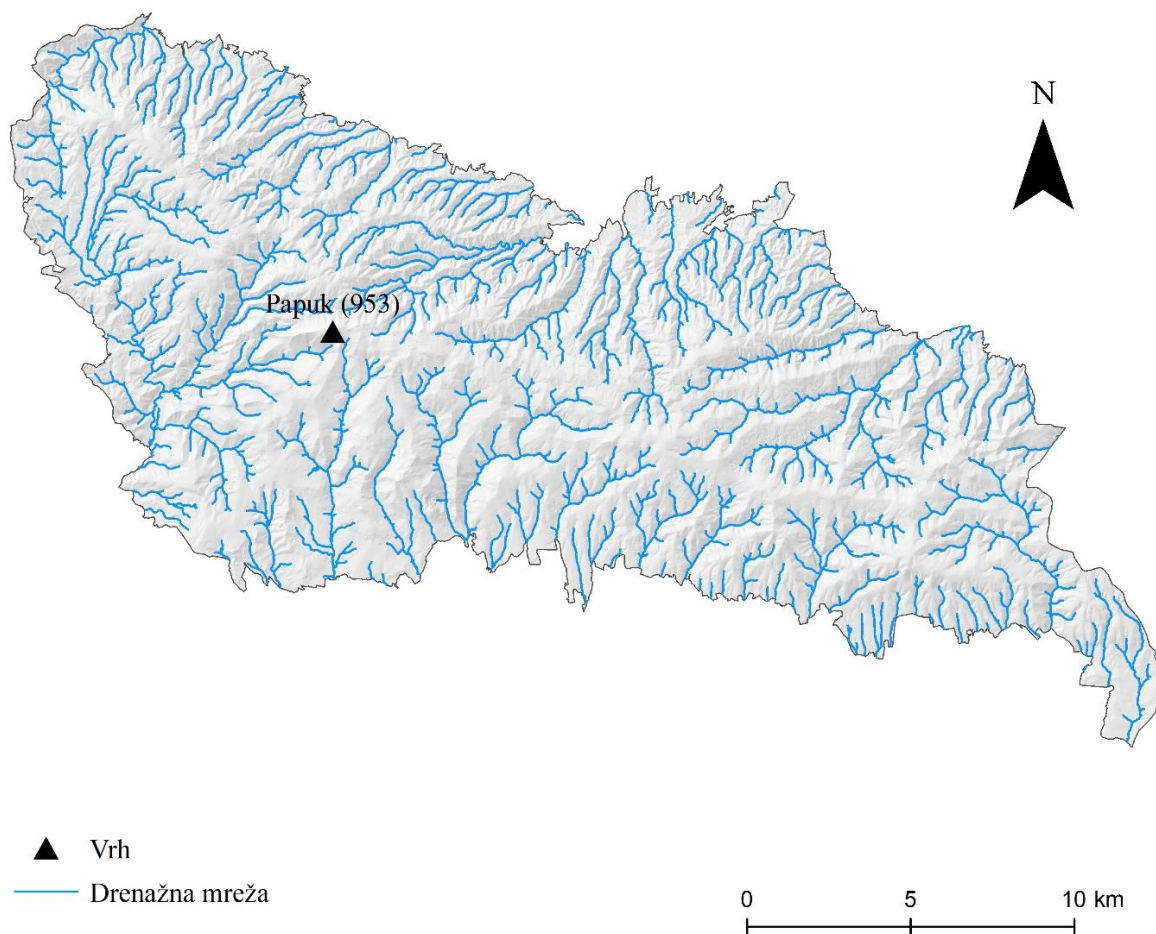
## 4.2. SPECIFIČNA MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA

### 4.2.1. DRENEŽNI BAZENI I DRENAŽNE MREŽE

Drenažni sustav predstavlja skup svih prirodnih kanala kojima stalno ili povremeno otječe voda. Drenažna mreža može pokazivati različite geometrijske karakteristike koje ovise o prostornom rasporedu, orijentaciji i duljini tokova. Raznolikost je prvenstveno uvjetovana geološkom strukturom, ali također ovisi o veličini i nagibu bazena te tektonskim procesima. Svako drenažno područje odvojeno je vododijelnicom koja može biti definirana kao topografska ili hidrogeološka granica (Huggett i Shuttleworth, 2022). Vododijelnica je zamišljena linija koja razdvaja susjedne drenažne bazene ili porječja, označavajući područja s kojih oborinske vode otječu prema različitim rijekama, tokovima ili jezerima. Kroz vršno područje Papuka prolazi vododijelnica koja razdvaja slijev Save i Drave. S gledišta šire perspektive, analiza drenažnog sustava Papuka predstavlja istraživanje segmenata drenažnih mreža ovih dviju rijeka.

Drenažna mreža podijeljena je na 53 drenažna bazena (sl. 19) čija je ukupna površina 324 km<sup>2</sup>, tj. 86,9 % ukupne (373 km<sup>2</sup>) površine istraživanog područja. Preostali dio područja, koji zauzima 48,7 km<sup>2</sup> je rubni prostor manjih drenažnih bazena koji nisu značajni za ovu analizu. Najveći drenažni bazeni na prostoru Papuka, čija je površina veća od 8 km<sup>2</sup>, od najvećeg prema najmanjem, su Brzaja, Radlovačka rijeka, Ratkovac, Stražemanka, Kutjevačka rijeka, Đedovica, Radetina, Dubočanka, Vojlovica, Veličanka, Vetovka i Jakovački potok (Tablica 4). Prosječna veličina svih drenažnih bazena je 6,12 km<sup>2</sup> pa je od prosjeka veće 16 drenažnih bazena, a manje 37. Površinom najmanji drenažni bazeni su: Ladinac (0,93 km<sup>2</sup>), Iliđanski potok (0,74 km<sup>2</sup>) i površinom najmanji bazen je Draga sa svega 0,45 km<sup>2</sup>.



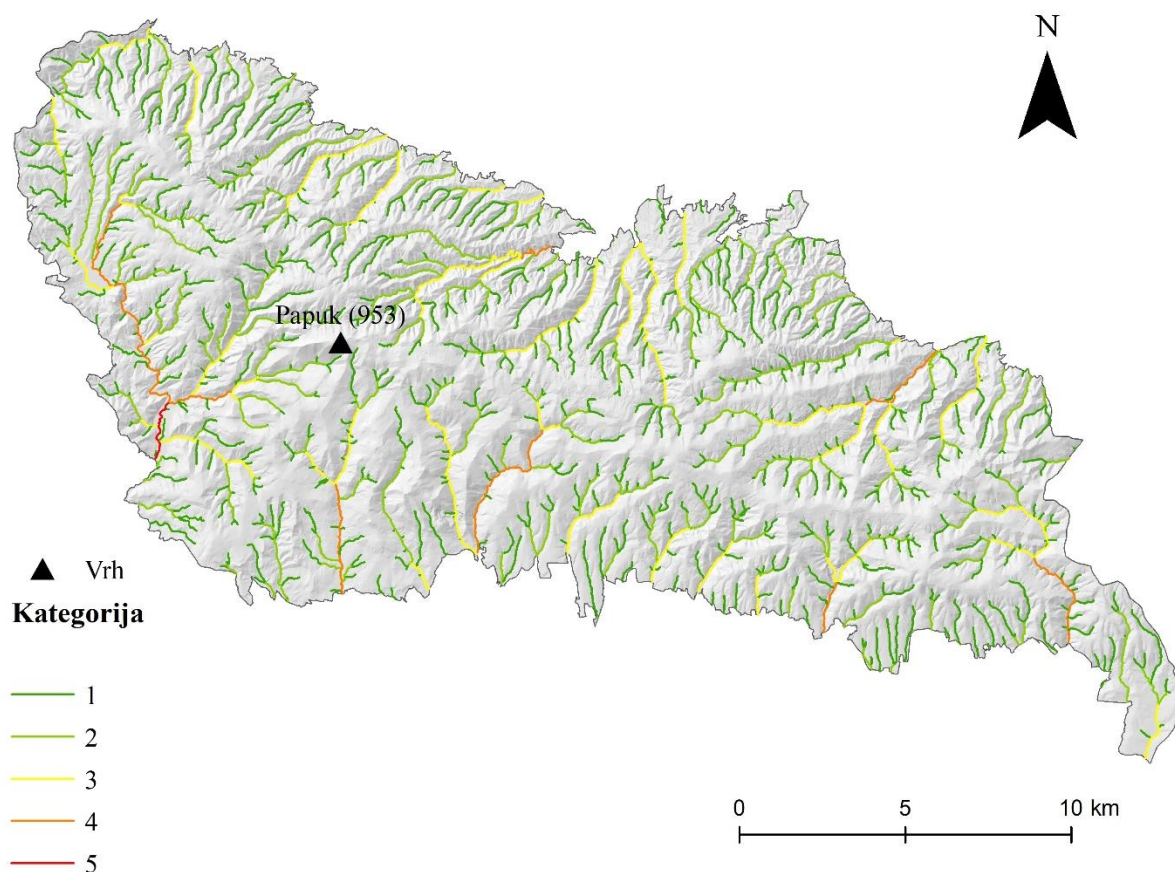


*Slika 20 Drenažna mreža Papuka*

Strahlerova klasifikacija (sl. 21) je metoda za određivanje reda vodotoka u hijerarhijskom sustavu drenažnih mreža, koja se koristi u hidrologiji i geomorfologiji za analizu složenosti riječnih sustava. Prema ovoj klasifikaciji, vodotok prvog reda nema pritoke i čini početnu točku drenažne mreže. Kada se dva vodotoka istog reda spoje, formiraju vodotok sljedećeg reda (npr. dva vodotoka prvog reda čine vodotok drugog reda). Ako se spoje vodotoci različitih redova, rezultat zadržava viši red. Strahlerova klasifikacija omogućuje kvantificiranje složenosti drenažnih sustava i služi za analize poput procjene vodnog toka, erozijskih procesa te geomorfoloških i ekoloških karakteristika riječnih bazena.

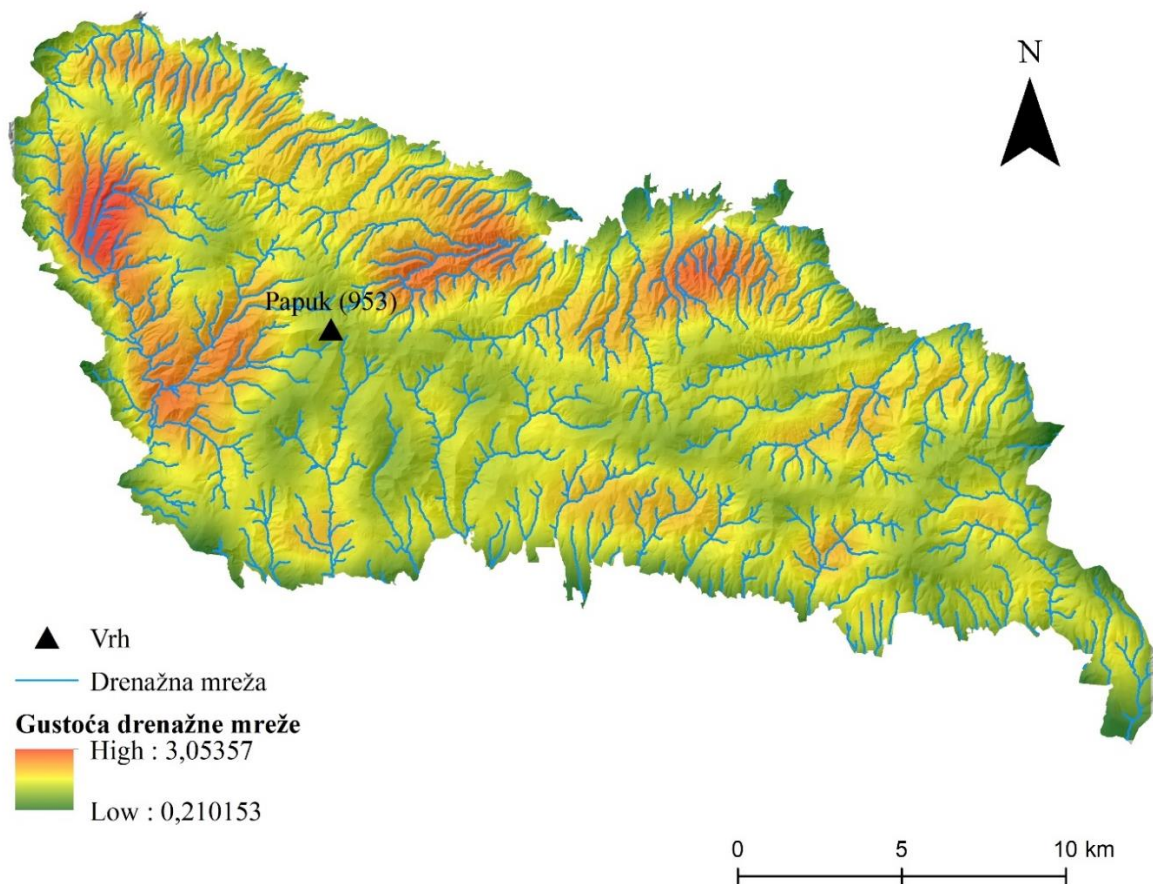
Metodom Straherove klasifikacije reda tokova utvrđeno je 5 redova tokova. Maksimalna kategorija po Strahleru je tok pete kategorije u koju spada tok u drenažnom bazenu Brzaja, u četvrtu kategoriju spada ukupno 6 tokova. Svega 15 porječja spada u treću kategoriju, a 32 porječja spadaju u drugu ili prvu kategoriju prema Strahleru.





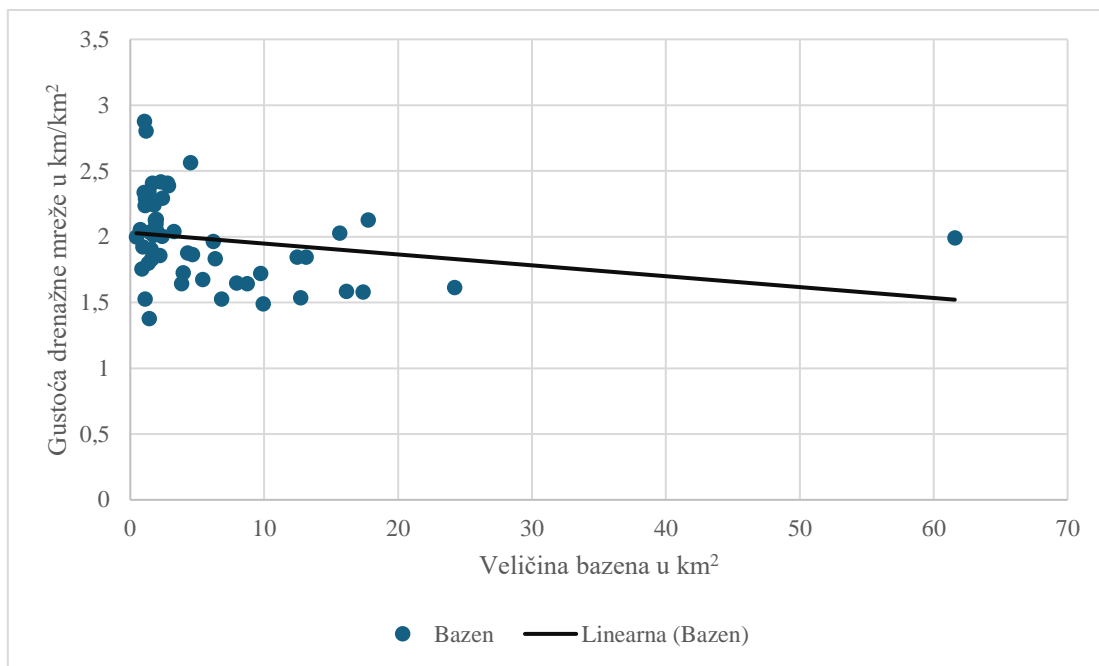
*Slika 21 Klasifikacije tokova prema Strahleru na prostoru Papuka*

Najveću gustoću imaju drenažni bazeni većih površina: Brzaja i Ratkovec (sl. 22). Međutim, veliku gustoću imaju i dva manja bazena a to su drenažni bazeni Male i Velike rijeke. Gustoća se postepeno smanjuje od sjeverozapada prema jugoistoku Papuka. Najveća zabilježena gustoća drenažne mreže iznosi  $3,01 \text{ km/km}^2$ . Prosječna gustoća drenažne mreže određuje se dijeljenjem ukupne duljine vodotoka s ukupnom površinom područja. Na ovom području prosječna gustoća iznosi  $1,9 \text{ km/km}^2$ .



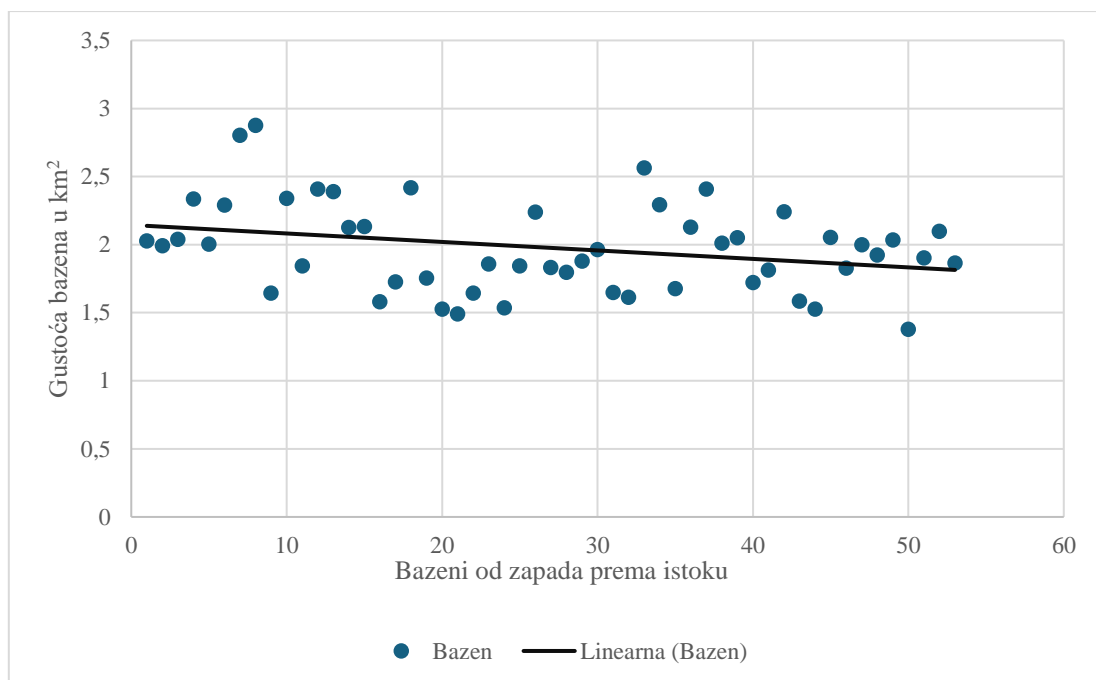
Slika 22 Gustoća drenažne mreže na prostoru Papuka

Slika 23 prikazuje odnos između veličine bazena (izražene u  $\text{km}^2$ ) i gustoće drenažne mreže (izražene u  $\text{km}/\text{km}^2$ ) uz dodani linearni trend koji naglašava opći trend povezanosti između promatranih varijabli. Vidljivo je da manji bazeni, osobito oni ispod  $10 \text{ km}^2$  pokazuju značajnu varijabilnost gustoće drenažne mreže, pri čemu maksimalna gustoća dosiže  $3,1 \text{ km}/\text{km}^2$ . Ova visoka gustoća posljedica je izraženijih nagiba, veće razgranatosti drenažne mreže i intenzivnijih erozijskih procesa u manjim hidrološkim jedinicama. S druge strane veći bazeni, iznad  $10 \text{ km}^2$ , imaju značajno manju gustoću drenažne mreže, koja se kreće oko  $1,9 \text{ km}/\text{km}^2$ . Niža gustoća kod većih bazena rezultat je smanjenja ukupnog nagiba i šire površine akumulacije.



Slika 23 Odnos gustoće drenažne mreže prema veličini drenažnog bazena

Linearni trend prikazuje negativnu korelaciju između veličine bazena i gustoće drenažne mreže. Kako se veličina bazena povećava, gustoća opada što je očekivano jer veći bazeni imaju stabilnije hidrološke procese. Prosječna gustoća drenažne mreže je  $1,9 \text{ km/km}^2$ , dok većina bazena ima gustoću između  $1,5 \text{ km/km}^2$  i  $2,5 \text{ km/km}^2$ .



Slika 24 Odnos gustoće drenažne mreže prema smjeru pružanja bazena (Z-I)

Slika 24 prikazuje gustoću bazena u  $\text{km}^2$  u odnosu na njihov prostorni raspored bazena od zapada prema istoku, uz dodani linearnu regresijsku liniju koja ukazuje na opći trend. Maksimalne gustoće zabilježene su u bazenima Jelovac i Bogdanovac koji su smješteni u zapadnom djelu Papuka. S druge strane, minimalne gustoće su ispod  $1,5 \text{ km}/\text{km}^2$  i prisutnije su u istočnim dijelovima. Najmanju gustoću imaju bazeni Iskrice ( $1,39 \text{ km}/\text{km}^2$ ) i Veličanke ( $1,49 \text{ km}/\text{km}^2$ ). Ovi podaci nam ukazuju na smanjenje razgranatosti drenažnih mreža u bazenima s blažim reljefom i stabilnijim hidrološkim procesima.

Linearni trend prikazuje blagi pad gustoće drenažnih mreža od zapada prema istoku. Iako je pad relativno blag zapadni bazeni pokazuju veću varijabilnost i veće gustoće zbog lokalnih geomorfoloških razlika. Ovaj prostorni obrazac potvrđuje da reljef ima ključnu ulogu u definiranju gustoće drenažnih mreža. Zapadni dio Papuka s izraženijim geomorfološkim procesima, pokazuje veću složenost drenažnog sustava, dok istočni dijelovi odražavaju ujednačenije hidrološke uvjete i smanjenu razgranatost drenažne mreže.

Analizom visinskih raspona drenažnih bazena (Tablica 4) uočava se značajna varijabilnost u geomorfološkim obilježjima. Najveću visinsku razliku bilježi drenažni bazen Ratkovac s razlikom od 707 metara, što ukazuje na izražen reljef s dominantnim strmim padinama i potencijalno snažnim erozijskim procesima. Nasuprot tome, bazen Seinovačka rijeka ima najmanju visinsku razliku od samo 240 metara, što upućuje na ravniji teren s manjom reljefnom energijom i slabijom erozijskom dinamikom. Kada se visinska razlika usporedi s veličinom bazena, uočava se da bazen Brzaja, najveći u površini ( $61,58 \text{ km}^2$ ), ima visinsku razliku od 663 metra, što ukazuje na dobro razvijen reljef s izraženim visinskim gradijentima. S druge strane, manji bazeni poput Ladinca ( $0,93 \text{ km}^2$ ) i Seinovačke rijeke ( $0,86 \text{ km}^2$ ) pokazuju manje izražene visinske razlike, čime reflektiraju ograničeniju geomorfološku dinamiku.

#### 4.2.2. HIPSOMETRIJSKI INTEGRAL

Hipsometrijski integral (HI), prikazan u zadnjem stupcu tablice, kvantificira ravnotežu između viših i nižih visinskih zona unutar drenažnog bazena. Vrijednosti indeksa omogućuju uvid u stupanj erozije, fazu razvoja reljefa i dominantne procese u svakom bazenu.

Rezultati iz tablice pokazuju da HI vrijednosti variraju između 0,39 i 0,57, što sugerira različite faze geomorfološkog razvoja među analiziranim drenažnim bazenima. Bazeni s nižim vrijednostima HI, poput Stražemanke (0,39), upućuju na stariji reljef gdje su erozijski procesi

dugotrajniji s prevladavanjem niskih nadmorskih visina. S druge strane, bazeni s višim HI vrijednostima, poput Dubočanke i Jakovačkog potoka (0,57 i 0,53), odražavaju mlađi reljef u kojem su više visinske zone još uvijek značajno prisutne. Većina bazena ima HI vrijednosti između 0,45 i 0,55, što ukazuje na relativno uravnotežen reljef u kojem su erozija i akumulacija u dinamičnoj ravnoteži.

Tablica 4 Parametri drenažnih bazena

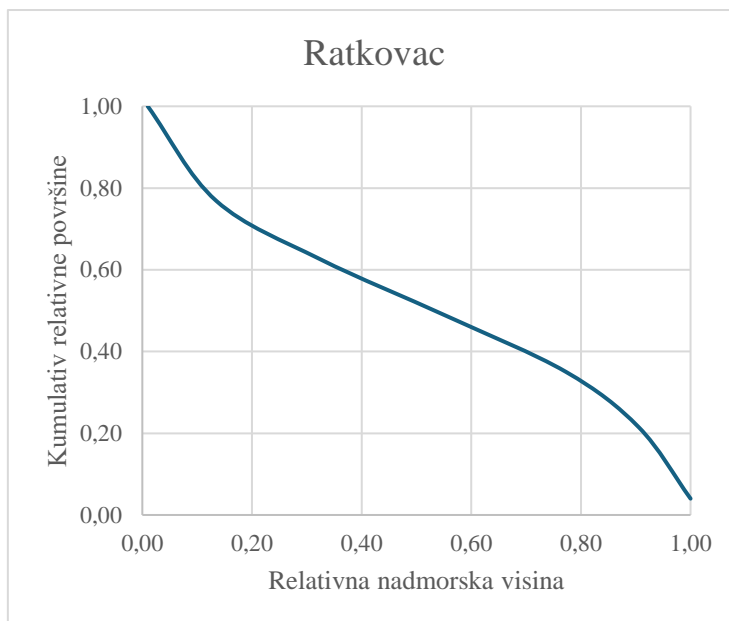
Drenažni bazen	Površina u km <sup>2</sup>	Opseg	L (km)	Nadmorska visina (m)			HI
				Minimalna	Maksimalna	Srednja	
Babina rijeka	1,94	6,77	3,98	241	625	385	0,49
Bistra	6,2	11,2	12,18	309	816	507	0,43
Bogdanovac	1,17	6,84	3,28	265	707	442	0,42
Brzaja	61,58	44,56	122,7	289	952	662	0,43
Budanica	3,83	10,73	6,3	301	850	549	0,56
Crnica	5,41	11,45	9,07	304	772	468	0,46
Debela rijeka	2,27	6,97	5,49	178	528	350	0,42
Doljanovačka rijeka	1,86	6,21	3,96	339	734	395	0,50
Draga	0,45	3,33	0,9	278	558	281	0,44
Dubočanka	12,73	19,35	19,57	275	786	511	0,57
Duboki potok	1,92	9,16	4,03	228	603	375	0,49
Duzlučli potok	1,43	5,25	2,91	285	688	403	0,49
Đedovica	15,63	21,41	31,69	241	858	617	0,41
Hajderovac	4,63	12,58	8,64	178	603	425	0,26
Hercegovac	1,78	7,44	3,99	239	677	438	0,37
Ilidanski potok	0,74	4,75	1,52	307	673	366	0,49
Iskrica	1,4	5,21	1,93	331	698	367	0,54
Jakovački potok	8,72	18,5	14,34	191	879	687	0,53
Jelovac	1,05	5,31	3,02	276	691	416	0,40
Kišeljevac	6,33	12,76	11,6	317	836	518	0,46
Krajna	2,77	8,92	6,67	215	647	432	0,40
Kuruzovac	1,64	7,38	3,95	216	658	442	0,49
Kutjevačka rijeka	16,13	20,64	25,58	251	790	539	0,52
Ladinac	0,93	5,21	1,79	297	655	358	0,53
Lipovača	2,85	8,39	6,81	203	608	405	0,44
Mačkovac	1,13	5,38	2,59	252	633	381	0,38
Mala rijeka	2,39	9,44	5,48	175	690	515	0,50
Mihaljeva	1,71	7,53	3,44	236	635	400	0,41
Milovodnica	1,38	7,36	3,23	237	675	438	0,45
Nasipovac	2,37	8,18	4,75	293	799	506	0,49
Ogreševica	3,26	8,68	6,65	318	888	569	0,49
Olovni potok	1,34	5,43	2,41	294	595	301	0,46
Papuša	1,04	6,48	2,43	249	705	456	0,33

Penjski potok	1,1	4,98	1,68	358	759	401	0,51
Pištanska rijeka	7,93	17,36	13,08	252	772	520	0,55
Radetina	13,13	18,59	24,23	182	835	654	0,55
Radlovačka rijeka	24,21	25,65	39,06	243	836	593	0,50
Radovanka	6,81	15,32	10,4	286	805	518	0,47
Ratkovac	17,77	21,47	37,81	205	912	707	0,53
Seinovačka rijeka	0,86	4,38	1,51	188	428	240	0,46
Skrbičanka	1,09	5,63	2,44	316	601	285	0,53
Stražemanka	17,39	22,43	27,49	299	917	617	0,39
Studenci	3,95	10,64	6,82	308	627	319	0,45
Šušnjarački potok	1,94	6,87	4,14	293	600	306	0,52
Tisovac	1,58	7,44	2,89	291	705	414	0,54
Torinac	4,28	12,97	8,04	163	765	602	0,45
Veličanka	9,93	16,6	14,81	273	912	639	0,51
Velika rijeka	4,5	10,66	11,54	165	772	607	0,47
Veliki Grabovac	2,19	7,38	4,07	221	707	486	0,50
Veliki potok	1,55	6,2	2,95	299	649	350	0,56
Vetovka	9,74	15,15	16,77	281	760	478	0,53
Vojlovica	12,45	17,56	22,97	242	887	645	0,49
Vrbova	1,88	7,44	3,41	329	754	424	0,48

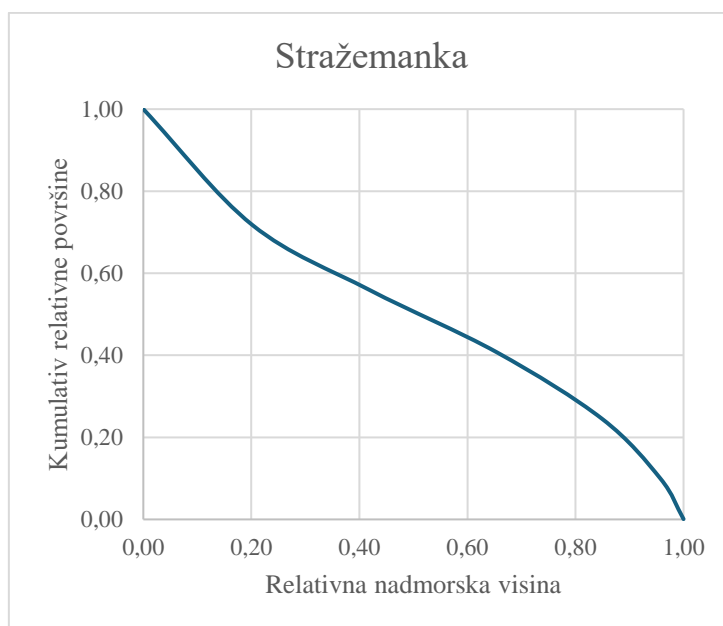
#### 4.2.3. HIPSOGRAFSKA KRIVULJA

Hipsografska krivulja predstavlja grafički prikaz koji opisuje raspodjelu površine terena u odnosu na nadmorsku visinu, čime se analizira geomorfološka struktura drenažnih bazena. Hipsografska krivulja generirana je analizom distribucije nadmorskih visina unutar drenažnih bazena. Hipsografske krivulje izrađene su za četiri najveća slivna bazena na području Papuka: Brzaja, Radlovačka rijeka, Ratkovac i Stražemanka.

Krivulja za Ratkovac (sl. 25) pokazuje umjereno konkavan oblik što sugerira na uravnotežen reljef s postupnom redistribucijom površine u odnosu na nadmorsku visinu. Ovaj oblik ukazuje na relativno stabilan teren s umjerenim procesima denudacije i erozije. Slične karakteristike uočavaju se i kod Stražemanke (sl. 26), čija krivulja ima nešto izraženiju konkavnost, što može ukazivati na veći stupanj erozije no i dalje dominira postupni prijelaz između visinskih zona.

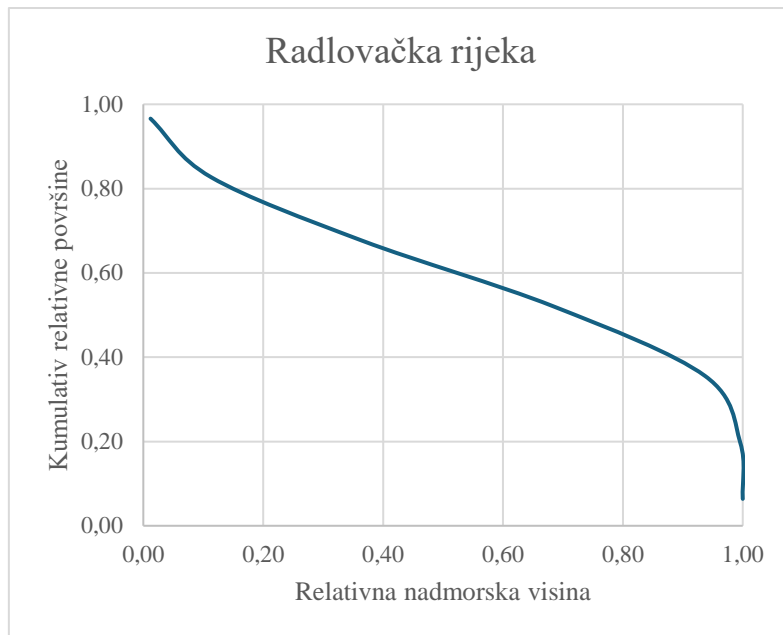


*Slika 25 Hipsografska krivulja Ratkovca*



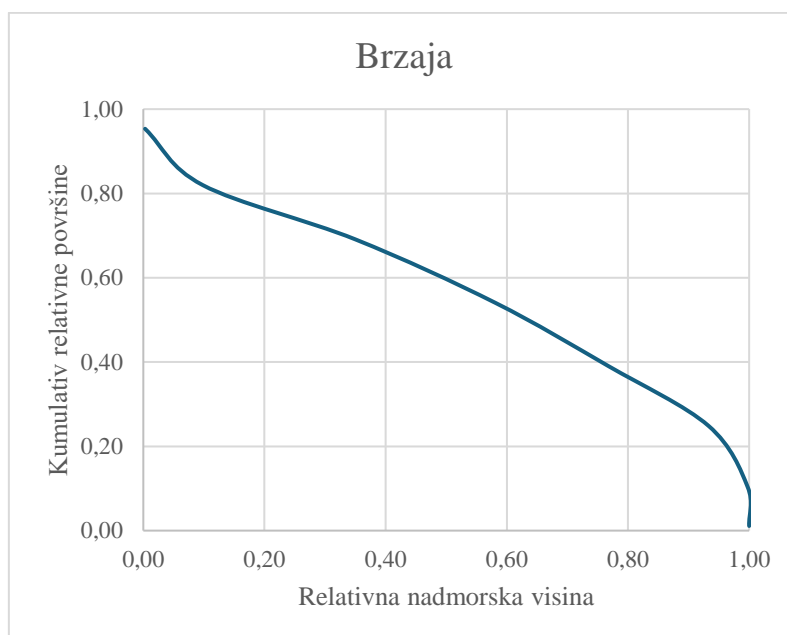
*Slika 26 Hipsografska krivulja Stražemanke*

S druge strane, krivulja za Radlovačku (sl. 27) rijeku izrazito je konkavna pri završnom dijelu što ukazuje na dominantnu riječnu eroziju i prisutnost dubljih dolinskih formi. Ovakav oblik hipsografske krivulje tipičan je za starije, erodiranije površine gdje je značajan udio ukupne površine koncentriran na nižim visinskim intervalima. To sugerira da se veći dio terena nalazi u fazi zrele geomorfološke evolucije gdje su procesi denudacije i fluvijalne erozije značajno modelirali reljef.



Slika 27 Hipsografska krivulja Radlovačke rijeke

Najveće varijacije u obliku krivulje uočavaju se kod Brzaje (sl. 28), čija hipsografska krivulja pokazuje S-oblik, kombinirajući konveksne i konkavne segmente. Početni, blaži pad upućuje na prisutnost viših površina koje su manje erodirane, dok završni nagli pad sugerira intenzivnu eroziju nižih dijelova terena. Ovakva distribucija ukazuje na složene geomorfološke procese koji uključuju i denudacijske i fluvijalne procese.

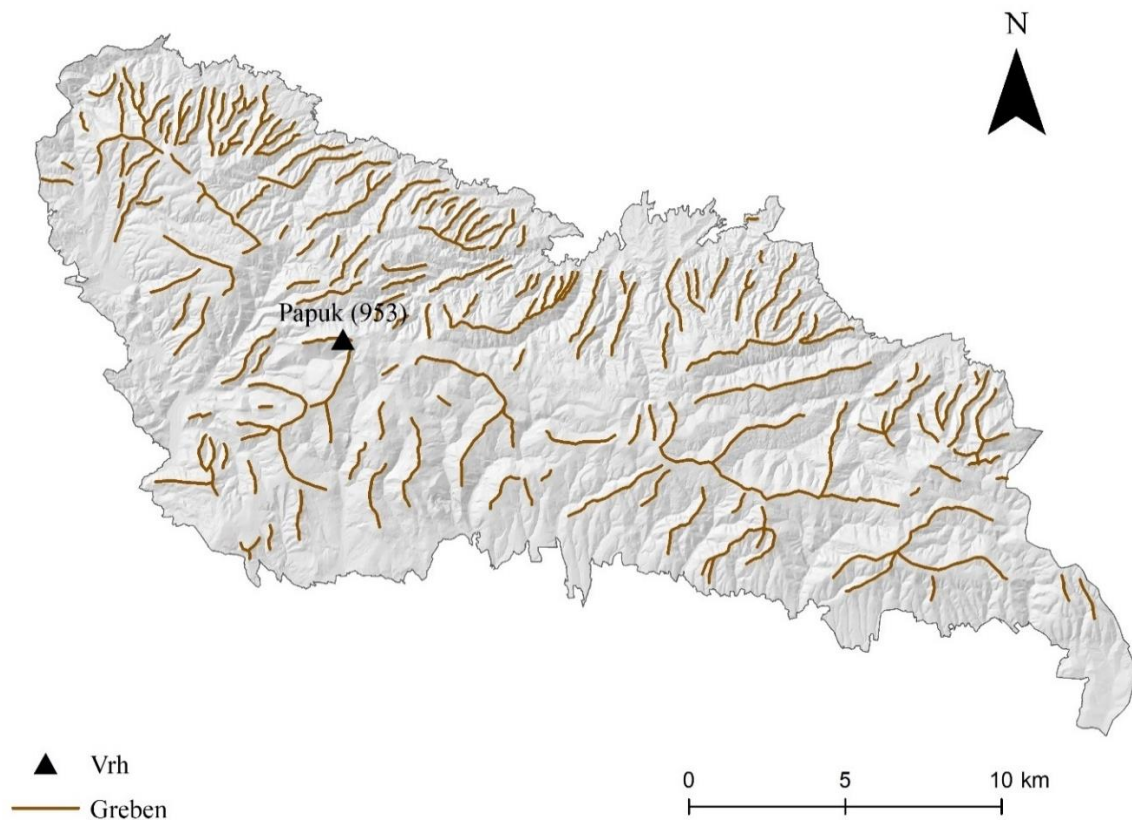


Slika 28 Hipsografska krivulja Brzaje



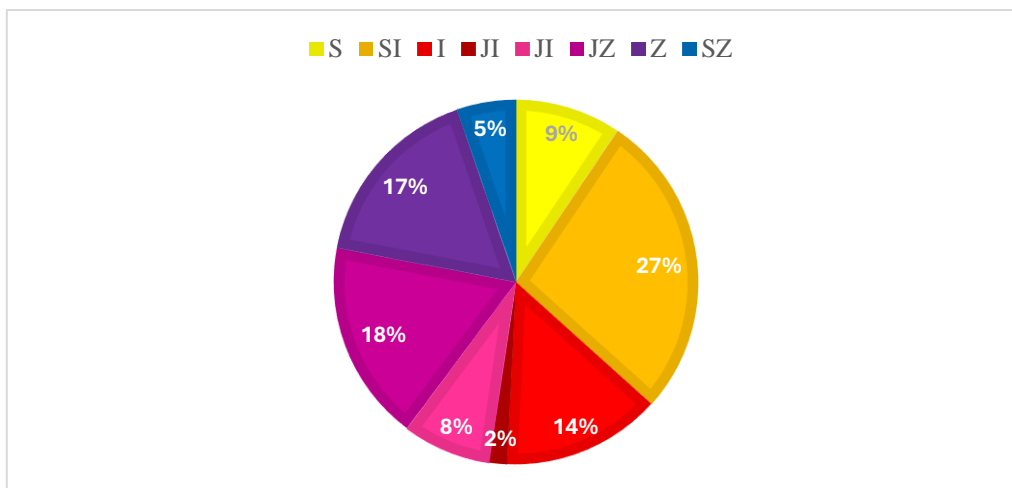
#### 4.2.4. GREBENI

Grebeni predstavljaju izdužene geomorfološke oblike reljefa koji se pružaju uzvisinama i odražavaju tektonske procese i erozijske procese u prostoru. Na području Papuka identificirano je ukupno 191 greben (sl. 29). Najduži greben iznosi 8557,5 m, dok najkraći greben mjeri svega 262 m. Prosječna duljina grebena iznosi 1394,9 m, a ukupna duljina svih grebena iznosi 266,3 km, što ukazuje na visok stupanj segmentacije i kompleksnost reljefa ovog područja. Rasprostranjenost grebena na Papuku pokazuje relativno ujednačenu gustoću s naglašenom prisutnošću u središnjem dijelu planine. Ovakva raspodjela rezultat je kombinacije geoloških i geomorfoloških procesa, uključujući intenzivnu tektonsku aktivnost i erozijske procese koji su oblikovali reljef.



Slika 29 Karta grebena Papuka

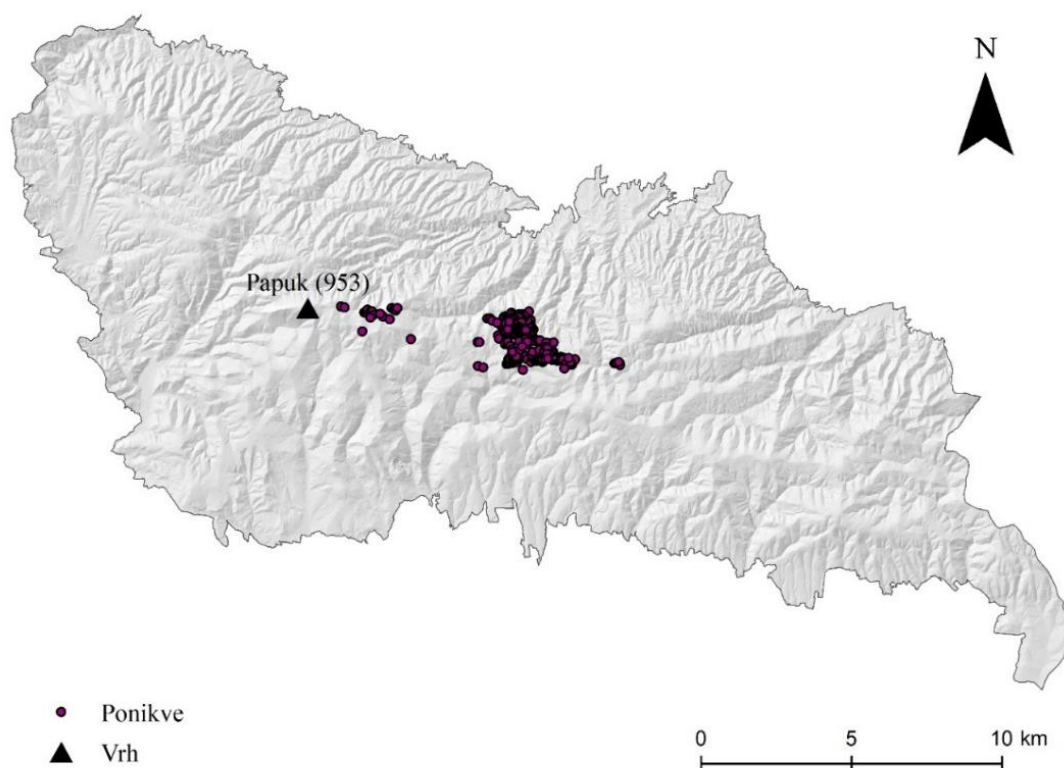
Smjerovi pružanja grebena ukazuju na dominaciju sjevernih (N) i sjeveroistočnih (NE) pravaca, što odražava glavne smjerove tektonskih naprezanja i izdizanja tijekom geološke povijesti. Manje zastupljeni smjerovi poput jugoistočnih (SE), jugozapadnih (SW) i sjeverozapadnih (NW) grebena vjerojatno su povezani s lokalnim geološkim anomalijama i erozijskim procesima (sl. 30).



Slika 30 Orijentiranost grebena na Papuku

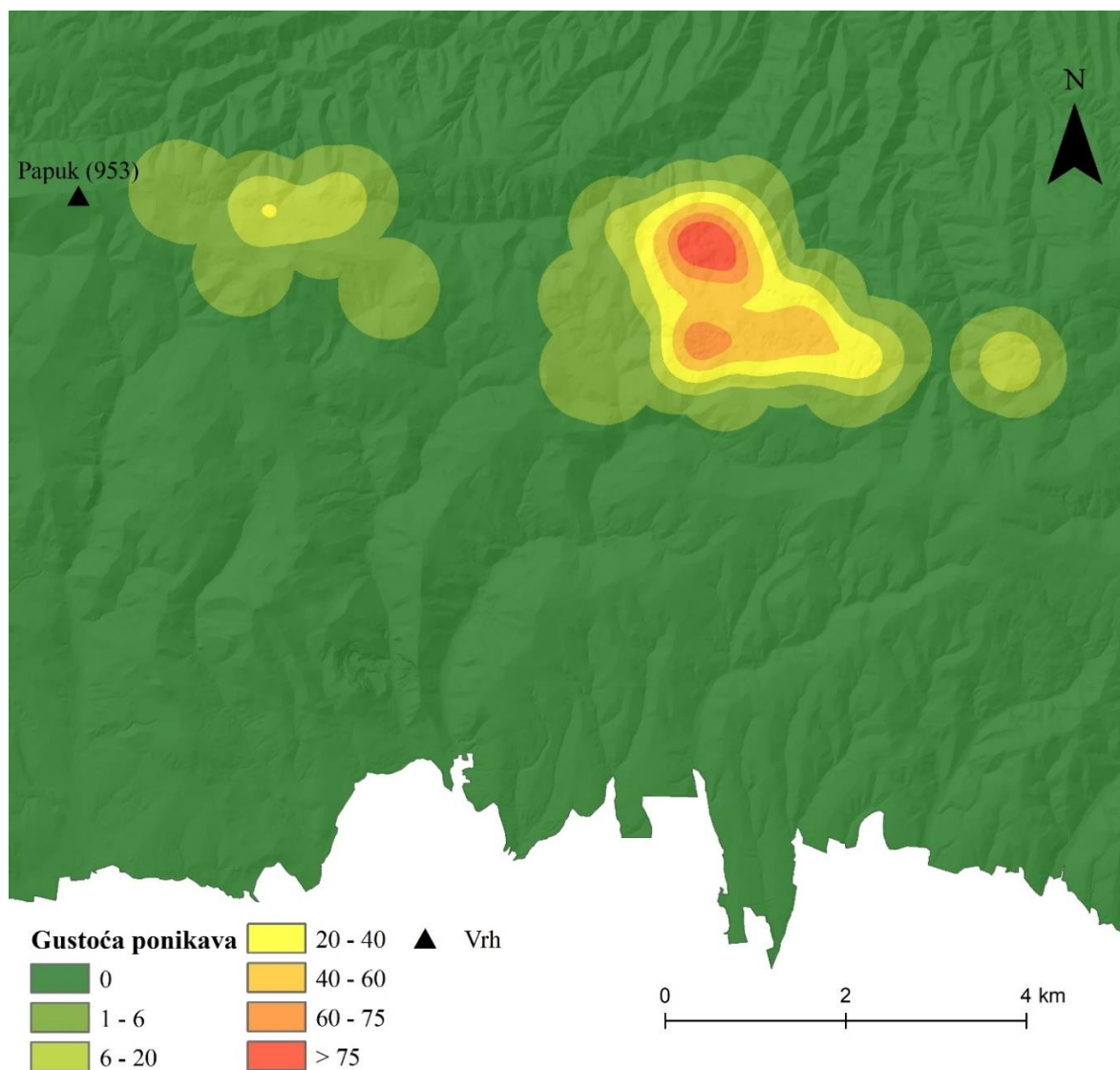
#### 4.2.5. PONIKVE

Ponikve predstavljaju jedan od osnovnih oblika reljefa karakterističnih za krška područja. Njihova raznolika morfometrijska obilježja, uključujući oblik i dimenzije, rezultat su različitih procesa nastanka i razvoja. Primarni proces odgovoran za njihovu genezu je korozija.



Slika 31 Karta ponikvi na Papuku

Na prostoru Papuka evidentirano je ukupno 213 ponikava. Njihova prostorna rasprostranjenost prikazuje Slika 31 gdje se jasno vidi da su ponikve koncentrirane u središnjem dijelu Papuka. Takva raspodjela ukazuje na utjecaj geomorfoloških i litoloških čimbenika, poput vrste podloge i nagiba terena, koji pogoduju nastanku i očuvanju ponikava. Ova koncentracija može biti povezana i s intenzitetom karstifikacije u pojedinim zonama te dostupnošću vode koja uzrokuje otapanje stijena.



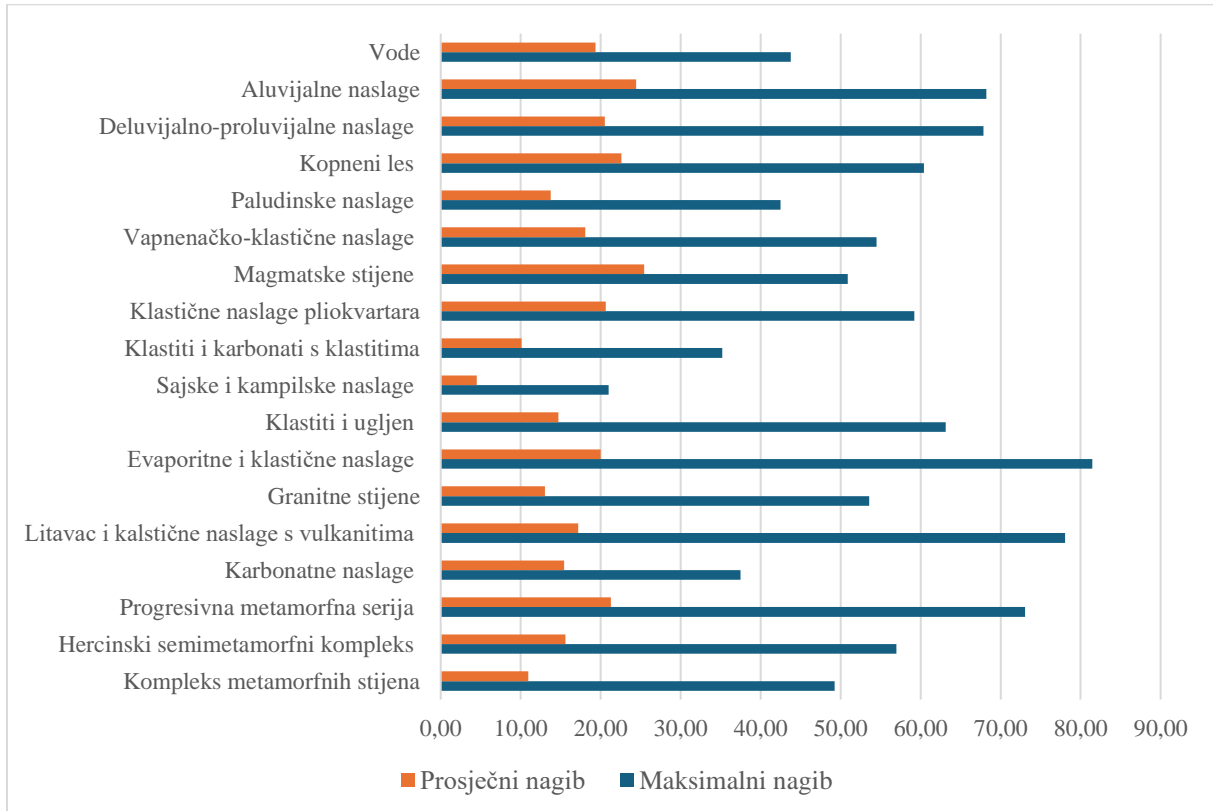
Slika 32 Gustoća ponikvi na Papuku

Gustoću ponikvi na prostoru Papuka prikazuje Slika 32. Najveće vrijednosti gustoće zabilježene su u centralnim dijelovima s više od 75 ponikvi po kvadratnom kilometru. Područja s umjerenom gustoćom (40–60 ponikva/km<sup>2</sup>) okružuju najgušće zone, dok su periferna područja karakterizirana niskom gustoćom (manje od 6 ponikva/km<sup>2</sup>). Ova prostorna varijacija gustoće odražava heterogenost podloge i razlike u geomorfološkim procesima. Zone visoke gustoće ponikvi obično su vezane za plošne dolomitne i vapnenačke stijene, gdje je proces otapanja intenzivniji, dok su rubna područja Papuka s manjom gustoćom ponikvi vjerojatno pod utjecajem drugih litoloških sastava ili slabije izraženog okršavanja.

## 5. USPOREDBA MORFOMETRIJSKIH PARAMETRA S GEOLOŠKOM GRAĐOM

### 5.1. USPOREDBA MORFOMETRIJSKIH PARAMETRA S LITOLOGIJOM

Analiza nagiba u različitim litološkim jedinicama važna je za razumijevanje odnosa između geološke podloge i morfoloških karakteristika terena. Nagib utječe na procese erozije, stabilnost padina i hidrološke procese, čineći ga važnim parametrom u geomorfološkim istraživanjima. Slika 33 prikazuje odnos između prosječnog i maksimalnog nagiba unutar različitih litoloških jedinica. Metamorfne stijene, uključujući kompleks metamornih stijena, hercinski semimetamorfni kompleks i progresivnu metamorfnu seriju, imaju najviše maksimalne nagibe, dok im prosječni nagibi ostaju umjereni. Karbonatne naslage i litavac s vulkanitima također pokazuju visoke maksimalne nagibe, ali s nižim prosječnim vrijednostima, što upućuje na prisutnost lokaliziranih strmih područja. Sedimentne litološke jedinice, poput klastičnih naslaga, evaporitnih naslaga i kampilskih sedimenata, imaju niže prosječne nagibe, dok maksimalne vrijednosti variraju ovisno o geološkoj podlozi.



Slika 33 Odnosi prosječnog i maksimalnog nagiba unutar različitih litoloških jedinica

Prostorna raspodjela vodotoka jasno ukazuje na povezanost između duljine drenažnih mreža i litoloških značajki podloge. Najveći udio vodotoka (34,63 %) nalazi se unutar kompleksa metamornih stijena koji također zauzima najveću površinu od 137,45 km<sup>2</sup>. To nam ukazuje na snažnu povezanost između velike površine i slabe otpornosti ovih stijena na eroziju, što omogućuje intenzivan razvoj drenažne mreže. Metamorfne stijene karakteriziraju pukotinske strukture koje olakšavaju otjecanje i razgranatost tokova. Hercinski semimetamorfni kompleks zauzima 11,20 % ukupne duljine vodotoka na 54,33 km<sup>2</sup> što potvrđuje umjerenu otpornost tih stijena na erozijske procese.

Granitne stijene s površinom od 20,58 km<sup>2</sup> i udjelom duljine tokova od 7,30 % pokazuju značajan doprinos razvoju drenažne mreže. To je rezultat strukturnih svojstva granitnih masiva i izraženih nagiba terena koji potiču intenzivnu površinsku eroziju. Karbonatne naslage (7,68 % udjela duljine i 35,29 km<sup>2</sup> površine) pokazuju razvijenu drenažnu mrežu iako je kod njih značajan dio otjecanja preusmjeren u podzemne tokove zbog intenzivnih krških procesa, što donekle smanjuje vidljivu razgranatost na površini.

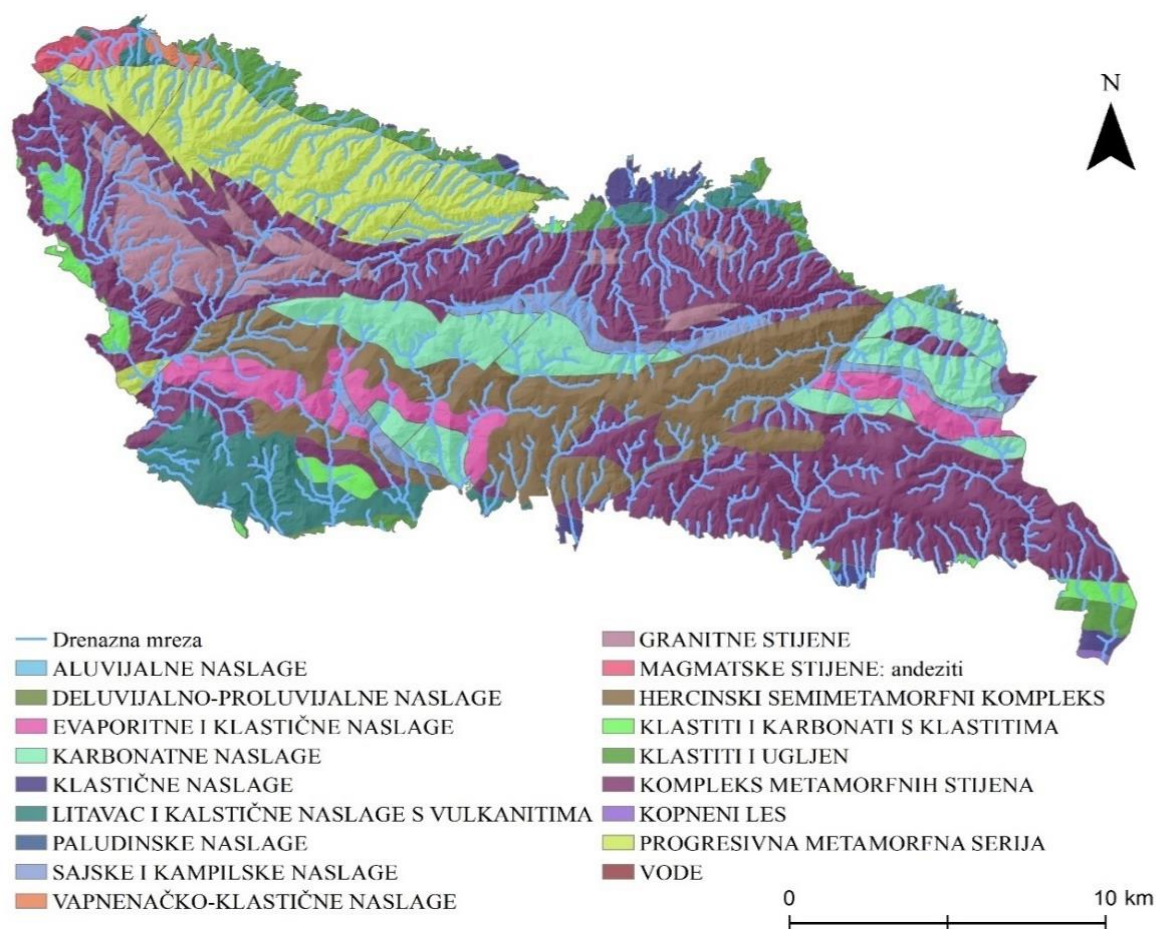
S druge strane, najmanji udio duljine vodotoka zabilježen je u deluvijalno-proluvijalnim naslagama koje pokrivaju svega 0,08 % ukupne površine. Te su naslage vezane za ravničarske dijelove s dominantnim procesima akumulacije koji ograničavaju razvoj drenažnih mreža.

Litavac s klastičnim naslagama i vulkanitima te magmatske stijene također pokazuju značajnu razgranatost drenažne mreže s udjelima duljine tokova od 6,43 % i 1,17 %. To je rezultat otpornijih stijena koje usmjeravaju otjecanje u jasno definirane tokove. Nasuprot tome evaporitne naslage imaju 4,56 % duljine vodotoka na 18,05 km<sup>2</sup> što ukazuje na prosječnu razgranatost uzrokovanu umjerenom otpornosti tih stijena na eroziju.



Tablica 5 Odnos duljine vodotokova i površine litoloških jedinica

Litološka podloga	Udio duljina tokova (%)	Udio površine (%)
Kompleks metamornih stijena	52,97	36,76
Hercinski semimetamorfni kompleks	17,14	14,53
Progresivna metamorfna serija	16,47	11,28
Karbonatne naslage	11,74	9,44
Litavac i kalstične naslage s vulkanitima	9,84	5,97
Granitne stijene	11,17	5,50
Evaporitne i klastične naslage	6,97	4,83
Klastiti i ugljen	8,40	3,90
Sajske i kampilske naslage	6,23	2,58
Klastiti i karbonati s klastitima	5,24	2,32
Klastične naslage pliokvartara	2,87	1,53
Magmatske stijene	1,79	0,86
Vapnenačko-klastične naslage	1,34	0,33
Paludinske naslage	0,45	0,07
Kopneni les	0,10	0,06
Deluvijalno-proluvijalne naslage	0,12	0,02
Aluvijalne naslage	0,00	0,02
Vode	0,13	0,01



Slika 34 Karta litoloških jedinica i drenažne mreže na području Papuka

## 5.2. USPOREDBA MORFOMETRIJSKIH PARAMETRA S RASJEDIMA

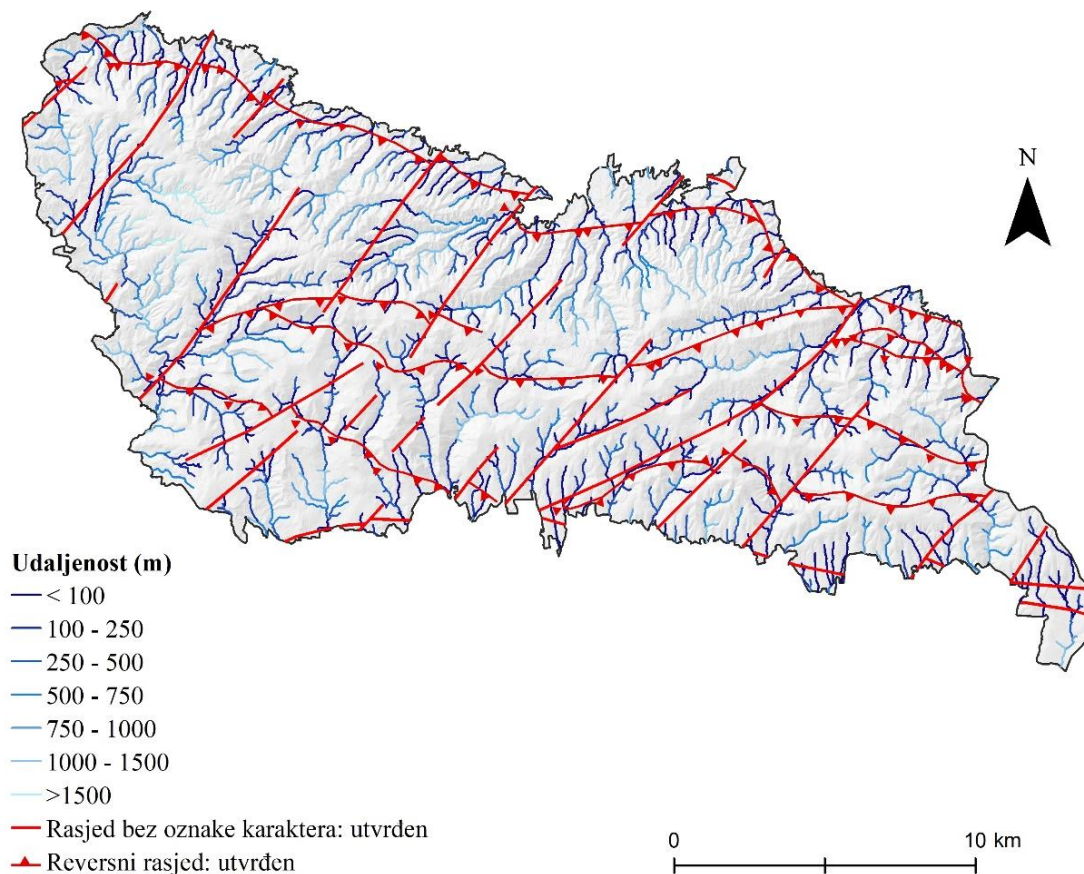
Rasjedi su važni geološki elementi koji značajno utječu na oblikovanje reljefa i hidroloških sustava. Njihova prisutnost često dovodi do promjena u topografiji, stvaranju strmih padina, erozijskih dolina i razgraničenja različitih litoloških jedinica. Analiza povezanosti rasjeda i morfoloških parametara poput nagiba terena pruža ključne uvide u interakciju između tektonskih procesa i geomorfoloških značajki. U ovom poglavlju razmatra se utjecaj rasjeda na nagib terena i drenažnu mrežu kroz usporedbu podataka unutar i izvan zona utjecaja rasjeda s ciljem procijene njihove uloge u oblikovanju reljefa.

*Tablica 6 Usporedba nagiba terena unutar i izvan zona rasjeda*

Zona	Prosječan nagib (°)	Maksimalan nagib (°)	Minimalan nagib (°)
Unutar zona	19,83	75,3	0
Izvan zona	20,05	81,47	0

Povezanost rasjeda i nagiba terena prikazana je usporedbom podataka unutar zona utjecaja rasjeda (*buffer* 500 metara) i izvan tih zona (Tablica 6). Prosječan nagib unutar zona iznosi 19,83°, dok je izvan zona 20,05° što ukazuje na minimalnu razliku. Maksimalan nagib unutar zona je 75,3° dok izvan zona doseže maksimalnu vrijednost od 81,47°. Rezultati sugeriraju da rasjedi nemaju značajan utjecaj na prosječne nagibe terena u ovom području.

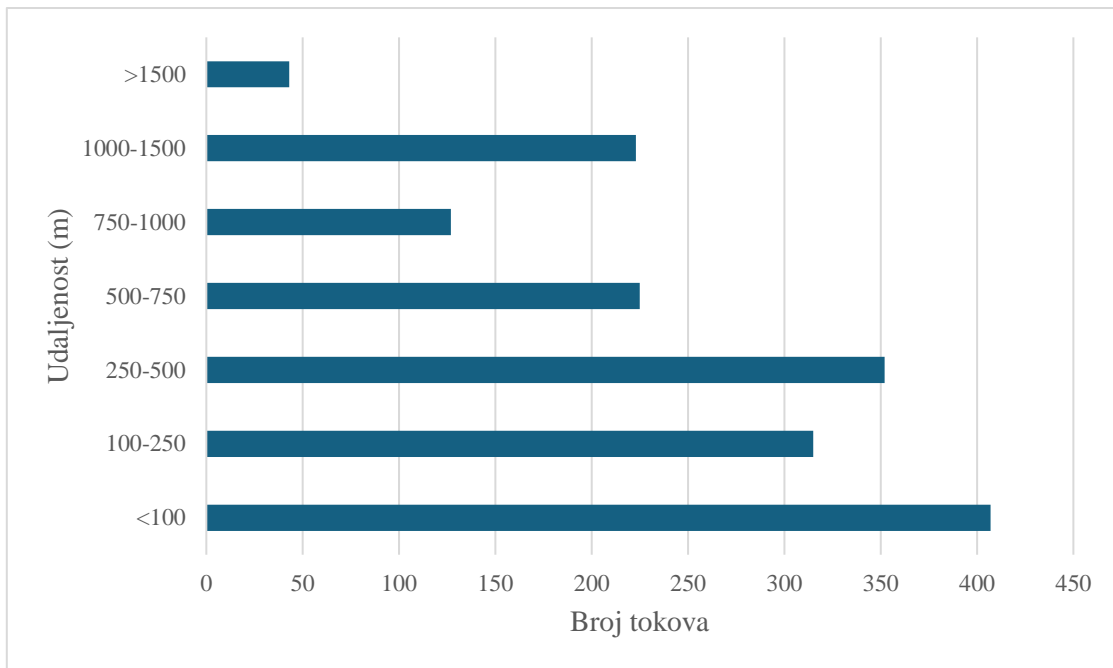




Slika 35 Karta distribucije udaljenosti drenažnih tokova od rasjeda na području Papuka

Statistička analiza udaljenosti drenažnih tokova od rasjeda prikazuje izraženu prostornu povezanost između rasjeda i razvoja drenažne mreže. Najveći broj drenažnih tokova nalazi se unutar udaljenosti manjih od 100 metara što sugerira snažan strukturni utjecaj rasjeda na razvoj vodotoka. Ovakva koncentracija vodotoka u neposrednoj blizini rasjeda često je rezultat slabijih zona unutar geološke podloge koje omogućuju lakši razvoj erozijskih procesa.

Kako se udaljenost od rasjeda povećava, broj drenažnih tokova se postepeno smanjuje, pri čemu je najveći pad u kategoriji iznad 500 metara (sl. 36). To nam ukazuje da utjecaj rasjeda slabi s udaljenošću, a reljefni procesi poput erozije i sedimentacije postaju dominantni u oblikovanju drenažnog sustava. U zoni između 100 i 500 metara i dalje postoji značajan broj tokova što može ukazivati na difuzni utjecaj rasjeda na regionalnu tektoniku i raspored litoloških jedinica. Udaljenost veće od 1000 metara pokazuju vrlo mali broj vodotoka što upućuje na to da ti tokovi nisu pod izravnim utjecajem rasjeda i da su njihovi smjerovi i obrasci razvoja uvjetovani drugim geomorfološkim procesima.



*Slika 36 Distribucija broja tokova prema udaljenosti od rasjeda*

## 6. RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja uspoređeni su s ranijim radom Kveteka (2014), pri čemu su uočene određene sličnosti i razlike. Oba rada analiziraju morfometrijske karakteristike drenažne mreže i njihov odnos s geološkom podlogom, ali koriste različite metodološke pristupe. Dok je Kvetek (2014) primarno koristio tradicionalne metode hidrološke analize i osnovne statističke pokazatelje u interpretaciji drenažne mreže, u ovom radu implementirane su napredne GIS metode, uključujući prostornu analizu digitalnog modela reljefa (DMR), Strahlerovu klasifikaciju i hidrološke indekse poput Stream Power Indexa i Topographic Wetness Indexa. Jedna od ključnih razlika je u interpretaciji gustoće drenažne mreže. Kvetek (2014) je koristio klasične metode izračuna gustoće mreže i njezinu povezanost s litološkom strukturom, dok je u ovom radu provedena detaljnija analiza distribucije drenažnih tokova u odnosu na hipsometrijske i topografske pokazatelje. Rezultati pokazuju da se područja visoke gustoće drenaže podudaraju s litološki otpornijim jedinicama, ali je dodatno identificiran prostorni trend smanjenja gustoće drenaže prema jugoistoku, što u ranijim istraživanjima nije bilo detaljno prikazano.

Rezultati istraživanja digitalne analize reljefa Papuka dosljedno potvrđuju i nadopunjuju dosadašnja istraživanja o geomorfološkim procesima i obilježjima ovog masiva. Kvetek i Bočić (2015) analizirali su drenažnu mrežu Papuka koristeći Hortonove zakone i Strahlerovu klasifikaciju naglašavajući povezanost gustoće drenažne mreže s litološkim jedinicama i tektonskim strukturama. Njihov rad identificirao je najveću gustoću drenažne mreže u zonama magmatskih stijena. U ovom istraživanju ta su područja detaljnije razrađena kvantitativnom analizom pri čemu je prosječna gustoća drenažne mreže 1,9 km/km<sup>2</sup> dok su najviše vrijednosti zabilježene u bazenima Brzaje i Ratkovca. Dobiveni rezultati potvrđuju ranija istraživanja Kveteka i Bočića (2015), dodatno ih nadopunjujući kvantitativnim analizama gustoće drenažne mreže.

Tandarić (2014) je u Park–šumi Jankovac analizirao vertikalnu raščlanjenost reljefa identificirajući intenzivne denudacijske procese na strmim padinama i naglašava ulogu otpornosti stijena u očuvanju izraženih morfoloških elemenata. Ovaj rad potvrđuje njegovu analizu, ali dodaje novu dimenziju prepoznavanjem specifičnih prostornih zona s najvećim intenzitetom denudacije.

Pahernik (2012) u svom radu ističe litologiju kao ključan čimbenik u razvoju ponikvi, a na području Papuka najveći razvoj ovih krških oblika zabilježen je na karbonatnim naslagama

različite starosti. Posebno ističe: „... *karbonatne naslage srednjega, sporadično i donjeg trijasa (Medvednica, Ravna gora, središnji dio Papuka)*“ (Pahernik, 2012) koji čine značajan dio litološke podloge središnjeg dijela Papuka. Ove naslage pružaju povoljne uvjete za oblikovanje ponikvi zahvaljujući svojoj topivosti i sposobnosti akumulaciji vode, što potiče intenzivne krške procese.

Milesunić (2022) provela je strukturnu analizu zapadnih obronaka Papuka s ciljem interpretacije tektonskih odnosa i geoloških struktura koristeći 3D modeliranje temeljeno na geološkim i seizmičkim podacima. Njezino istraživanje pruža detaljan uvid u tektonske procese i deformacijske obrasce, dok ovaj rad proširuje razumijevanje geomorfoloških posljedica tih strukturnih elemenata. Rezultati digitalne analize reljefa jasno pokazuju kako se vertikalna raščlanjenost i gustoća drenažne mreže prilagođavaju strukturnim linijama i rasjedima identificiranim u 3D modelima.

Usporedba s rezultatima istraživanog područja potvrđuje da Papuk pokazuje izraženiju morfološku raznolikost što je posljedica veće heterogenosti geološke podloge i složenije tektonske aktivnosti (Horvat i dr., 2018). Analiza drenažne mreže pokazala je da rijeke i potoci na Papuku slijede smjerove glavnih rasjednih zona, što je slučaj i na Psunju dok je na Krndiji manje izraženo zbog drugačije litološke podloge. Krndija pokazuje tipične karakteristike krške hidrologije s izraženim podzemnim tokovima i gubitkom površinske drenaže (Plan upravljanja PP Papuk, 2010).

Slično istraživanje provedeno je za područje Moslavačke gore koje pokazuje sličnu geološku građu kao Papuk s izraženim horstnim strukturama i rasjednim sustavima koji su oblikovali reljef (Mesić, 2018). Digitalna analiza reljefa Moslavačke gore otkrila je značajnu tektonsku izlomljenost što ukazuje na intenzivne tektonske aktivnosti koje su imale ključnu ulogu u formiranju trenutne morfologije terena. Ova analiza potvrđuje da unatoč razlikama u hipsometriji između Moslavačke gore i Papuka, strukturni procesi imaju značajnu ulogu u oblikovanju reljefa oba područja.

Nadmorska visina izraženija je u dijelovima gdje dominiraju granitne i metamorfne stijene, budući da je jača tektonska aktivnost izdigla ove stijene s veće dubine, što je omogućilo formiranje viših uzvisina.. S druge strane, područja s litološkim jedinicama poput deluvijalno-proluvijalnih naslaga i paludinskih naslaga karakteriziraju niže nadmorske visine zbog njihove manje otpornosti na erozijske procese.

Nagibi su najsnažnije izraženi u područjima gdje su prisutne stijene visoke otpornosti, poput hercinskog metamornog kompleksa, dok su blaži u regijama aluvijalnih naslaga ili lesnih pokrova, gdje prevladava sedimentacija i slaba kohezija materijala. Drenažna mreža, koja je uglavnom dendritskog ili paralelnog tipa, povezana je s litološkim značajkama. Gustoća drenažne mreže je jedan od pokazatelja intenziteta erozije. Što je drenažna mreža razgranatija, odnosno što je veća duljina tokova po jedinici površine, to je erozija snažnija (Kvetek i Bočić, 2015). Karbonatne stijene omogućuju razvoj podzemne drenaže i stvaranje ponikvi, dok klastične naslage potiču formiranje površinskih tokova s gušćom mrežom.

Prostorna raspodjela pojedinih razreda ekspozicije padina može se objasniti relativno pravilnim oblikom uzvišenja na području Papuka, odnosno različitim smjerovima pružanja grebena. Relativno veća zastupljenost istočnih i jugoistočnih padina može se objasniti blaže nagnutim i duljim padinama. Usporedimo li površine sjeveroistočnih, sjevernih i sjeverozapadnih padina, odnosno osojnih padina, s površinama prisojnih padina koje uključuju južne, jugoistočne i jugozapadne padine, uočava se da su prisojne padine zastupljenije za 4,3 % ukupne površine (sl. 8).

Vertikalna raščlanjenost ovisi o specifičnostima terena, kao što su litološki sastav, raspored stijena i količina vode, te služi kao pokazatelj intenziteta egzogenih procesa. Područja s izraženijom vertikalnom raščlanjenošću karakterizira veći intenzitet erozije, dok su područja s manjom raščlanjenošću sklonija povećanoj akumulaciji materijala. Na regionalnoj razini, vertikalna raščlanjenost reljefa odražava posljedice najmlađih tektonskih aktivnosti. Ovaj parametar koristi se za procjenu neotektonske aktivnosti terena, a regionalne analize omogućuju određivanje položaja neotektonskih struktura, kao i intenziteta i smjera njihovih pokreta (Marković, 1983).

Litološka građa područja Papuka uvelike utječe na oblikovanje njegovih morfometrijskih parametara, uključujući hipsometriju, vertikalnu raščlanjenost, nagibe, drenažnu mrežu, grebene i ponikve. Na temelju litološke karte (Tablica 5) vidljivo je da litološka raznolikost, uključujući karbonatne naslage, metamorfne stijene i magmatske andezite, ima ključnu ulogu u određivanju fizičkih karakteristika terena.

Rasjedi na području Papuka imaju značajan utjecaj na oblikovanje morfometrijskih parametara, posebice hipsometriju, vertikalnu raščlanjenost, nagibe, drenažnu mrežu, grebene i ponikve. Rasjedi omogućuju izdizanje terena i stvaranje strmih padina, što rezultira visokom

vertikalnom raščlanjenošću. Nagibi na ovim područjima često prelaze 30°, što je posljedica tektonskih pomicanja i diferencijalne erozije duž rasjednih linija.

Analiza nagiba terena unutar i izvan zona rasjeda (Tablica 6) pokazuje da rasjedi ne ostvaruju značajan utjecaj na prosječne nagibe terena u ovom području, što može biti posljedica homogeno raspoređene litologije i relativno ujednačenih erozijskih procesa. Veći maksimalan nagib izvan zona vjerojatno je povezan s lokalnim geomorfološkim značajkama, poput strmih padina ili dolina koje nisu pod izravnim utjecajem rasjeda.

Rasjedi također kontroliraju razvoj drenažne mreže. U blizini aktivnih rasjednih sustava drenažni tokovi često prate smjer pukotinskih sustava što rezultira pravocrtnim tokovima. U područjima gdje rasjedi presijecaju manje otporne stijene dolazi do povećane fragmentacije reljefa i razvoja gušće drenažne mreže, dok u krškim područjima, gdje su vapnenci i dolomiti dominantni, rasjedi omogućuju infiltraciju vode i stvaranje ponikvi.

Rezultati analize distribucije broja tokova (sl. 36) potvrđuju da su rasjedi ključni čimbenici u inicijalnom oblikovanju i orijentaciji drenažnih tokova u blizini njihovih zona utjecaja. Međutim, smanjenje broja tokova povećavanjem udaljenosti naglašava važnost lokalnih geomorfoloških procesa i otpornost litoloških jedinica u širem području. Takva prostorna distribucija ukazuje na sinergiju između strukturne kontrole rasjeda i prirodnih erozijskih procesa u oblikovanju drenažne mreže.

Grebenski oblici reljefa često su orijentirani paralelno s glavnim rasjednim linijama, a njihova orijentacija odražava smjer tektonskih sila koje su djelovale na ovom prostoru. Ovi grebeni predstavljaju uzvišene dijelove terena formirane izdizanjem uz rasjede, dok su udoline i depresije rezultat spuštanja susjednih blokova.

Digitalna analiza reljefa pokazala se kao ključni alat za kvantifikaciju geomorfoloških parametara istraživanih područja. Na primjeru Papuka, digitalna analiza reljefa je omogućila precizno kartiranje hipsometrije, nagiba, vertikalne raščlanjenosti, drenažne mreže i drugih parametara, što je rezultiralo detaljnom analizom njihovih uzročno-posljedičnih veza s litološkom podlogom i tektonskim strukturama.

Rezultati dobiveni digitalnom analizom reljefa Papuka predstavljaju značajan doprinos razumijevanju geomorfoloških procesa, litoloških značajki i tektonskih utjecaja koji su oblikovali ovaj prostor. Ova analiza omogućila je detaljno kartiranje reljefnih parametara i usporedbu s dosadašnjim istraživanjima Papuka te sličnim istraživanjima okolnih regija. Osim

znanstvenog značaja, digitalna analiza reljefa ima i praktične primjene u prostornom planiranju, zaštiti okoliša i upravljanju vodnim resursima.

## 7. ZAKLJUČAK

Istraživanje reljefa Papuka provedeno metodama digitalne analize reljefa omogućilo je detaljnu interpretaciju geomorfoloških obilježja ovog gorskog hrpta. Cilj rada bio je primjenom digitalne analize reljefa istražiti morfometrijske značajke Papuka te utvrditi njihovu povezanost s geološkom građom i tektonskim strukturama. Rezultati su obuhvatili prostornu raspodjelu nagiba, ekspozicije, vertikalne raščlanjenosti, drenažnih bazena, grebena i ponikvi.

Rasprostranjenost nagiba pokazuje dominaciju umjerenih padina između 12 i 32° dok najstrmiji nagibi prevladavaju u središnjim dijelovima masiva gdje su izražene tektonske linije i kontaktne zone stijena. Blaži nagibi (< 12°) nalaze se u dolinskim sustavima i zonama sedimentacije. Vertikalna raščlanjenost reljefa jasno odražava intenzivne denudacijske procese u područjima magmatskih i metamorfih stijena, dok niže vrijednosti karakteriziraju rubne dijelove masiva s blažim reljefom.

Drenažna mreža Papuka obuhvaća ukupno 53 bazena među kojima su najduži vodotoci pretežno dendritičnog tipa. Ovi tokovi pokazuju povezanost s tektonskim i litološkim obilježjima terena. Glavni vodotoci prate rasjedne zone i kontaktne linije između različitih litoloških jedinica. Najveća gustoća drenažne mreže zabilježena je u bazenima Brzaje i Ratkovca gdje intenzivni fluvijalni procesi slijede smjerove rasjeda.

Krški dio Papuka obuhvaća područja karbonatnih stijena gdje su razvijeni specifični oblici poput ponikvi. Najgušća koncentracija ponikvi nalazi se u zapadnom dijelu masiva gdje geološka podloga, koja uključuje dolomite i vapnence, omogućuje intenzivne procese kemijskog trošenja.

Zaključno, reljef Papuka oblikovan je složenom interakcijom između litološke raznolikosti, tektonskih aktivnosti i geomorfoloških procesa. Digitalna analiza reljefa omogućila je precizniju kvantifikaciju ovih odnosa te pružila podlogu za daljnja geomorfološka i hidrološka istraživanja, kao i praktične primjene u prostornom planiranju i zaštiti prirode.



## 8. LITERATURA

1. Bedek, J., Lukić, M. (2005). *Izveštaj projekta „Speleološka istraživanja Parka prirode Papuk“ za 2004. godinu*, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zagreb
2. Bedek, J., Lukić, M., Ozimec, R., Pavlek, M., Dražina, T. (2009). *Izveštaj projekta „Speleološka i biospeleološka istraživanja Parka prirode Papuk“ za 2008. godinu*, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zagreb
3. Bedek, J., Ozimec, R., Lukić, M. (2007). *Izveštaj projekta „Speleološka i biospeleološka istraživanja Parka prirode Papuk“ za 2006. godinu*, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zagreb
4. Bočić, N. (2010). *Geomorfologija krša Papuka - kap krša u srcu Slavonije*, <https://geografija.hr/geomorfologija-krsa-papuka-kap-krsa-u-srcu-slavonije/> (10.01.2025.)
5. Bognar, A. (1992). *Geomorfološke osobine Republike Hrvatske*. Geografski horizont, 38(2), 16-25.
6. Bognar, A. (1999). *Geomorfološka regionalizacija Hrvatske*. Acta Geographica Croatica, 34(1.), 7-26.
7. Brkić, M., Jamičić, D. (1976). *Izveštaj o geološkom kartiranju za Osnovnu geološku kartu SFRJ na listu Orahovica – 106 od 1971-1985. god.*, Geološki vjesnik 29, 417-427
8. Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press.
9. Eger, D., Matošević, M. (1975). *Vodič po okolici Jankovca, u: Planinarsko društvo "Jankovac" Osijek 1925-1975* (ur. Firinger, K.), PD Jankovac, Osijek
10. Faivre, S. (1994). *Strukturno-geomorfološka analiza tipova dolinske mreže sjevernog Velebita i Senjskog bila*, Senjski zbornik 21,9-24.
11. Guth, P. L., Van Niekerk, A., Grohmann, C. H., Muller, J. P., Hawker, L., Florinsky, I. V., ... & Strobl, P. (2021). Digital elevation models: Terminology and definitions. *Remote Sensing*, 13(18), 3581.
12. Halamić, J., Peh, Z., Miko, S., Galović, L., & Šorša, A. (2009). *Geokemijski atlas Republike Hrvatske* (pp. 161-170).
13. Horvat, M., Klötzli, U., Jamičić, D., Buda, G., Klötzli, E., & Hauzenberger, C. (2018). *Geochronology of granitoids from Psunj and Papuk Mts.*, Croatia.
14. Huggett, R., & Shuttleworth, E. (2022). *Fundamentals of geomorphology*, Routledge.

15. Jamičić, D. (1983a). *Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka*, Geološki vjesnik 36, 51-72
16. Jamičić, D. (1983b). *O tangencijalnim kretanjima u području Slavonskih planina*, Nafta 34 (12), 685-691
17. Jamičić, D., Brkić, M. (1987a). *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Orahovica L 33-96*, Savezni geološki zavod, Beograd
18. Jamičić, D., Brkić, M., Crnko, J., Vragović, M. (1987b). *Tumač za list Orahovica L 33-96*, Savezni geološki zavod, Beograd
19. Koch, G. A. (1906). *Das erwiderte Projekt der neue Hochquellenleitung für die Konigliche Freistadt Essek*, Geol, Erortert, 1-97, Wien
20. Krklec, K., & Lozić, S. (2012). *Geomorfološke značajke otoka Visa/Geomorphological Features of the Vis Island*, Nase more, 59(5/6), 290.
21. Krtalić, A., Gajski, D., Maltarski, M. (2019). *Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija*, Geodetski list, 73(2), 147-164.
22. Kvetek, F. (2014). *Morfometrijska analiza drenažne mreže Papuka* (Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb).
23. Kvetek, F., & Bočić, N. (2015). *Digitalna analiza drenažne mreže na primjeru Papuka*, Geografski horizont, 61(2.), 61-73.
24. Lozić, S. (1995). *Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske*, Acta Geographica Croatica, Vol. 30, 17-28
25. Magaš, D., Juračić, M., Halamić, J., Bočić, N., Faivre, S., Lončar, N., ... & Ternjej, I. (2023). *Velika geografija Hrvatske 2, fizička geografija Hrvatske-prirodno-geografska osnova razvoja*
26. Marković, M. (1983). *Osnovi primenjene geomorfologije*, Geoinstitut, Posebna izdanja, knjiga 8, Beograd.
27. Mesić, L. (2018). *Geomorfološka obilježja Moslavačke gore* (Graduation thesis, University of Zagreb, Faculty of Science. Department of Geography).
28. Pahernik, M. (2007). *Digitalna analiza padina otoka Raba*, Geoadria, 12(1), 3-22.
29. Pahernik, M. (2012). *Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske*, Hrvatski geografski glasnik, 74(2.), 5-26.
30. Pamić, J. (1999). *Kristalinska podloga južnih dijelova Panonskog bazena temeljena na površinskim i bušotinskim podacima*, Nafta 50 (9), 291-310
31. Pamić, J., Balen, D., Tibljaš, D. (2002.) *Petrology and geochemistry of orthoamphibolites from the Variscan metamorphic sequences of the South Tisia in*

- Croatia – an overview with geodynamic interpretation*, International Journal of Earth Sciences 91, 787-798
32. Pamić, J., Lanphere, M., Belak, M. (1996). *Hercynian I-type and S-type granitoids from the Slavonian mountains (southern Pannonian Basin, northern Croatia)*, Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen 171, 155-186
33. Pamić, J., Radonić, G., Pavić, G. (2003). *Geološki vodič kroz Park prirode Papuk*, Javna ustanova Park prirode Papuk, Velika
34. Pilar, Đ. (1875). *Podravina, Djakovština i Dilj-gora*, Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti 33, 38-57
35. Plan upravljanja Parka prirode Papuk, Javna ustanova Park prirode Papuk, Velika, (2010)
36. Planinić, K. (2010). *Primjena GIS-a u morfometrijskoj analizi gorskog hrpta Papuka*, diplomski rad, Geografski odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
37. Poljak, J. (1911). *Kratak Pregled Geotektonskih Odnosa Hrvatsko-Slavonskog Gorja*, Glasnik Hrv. prir. društva, 23/1-2, 108 – 127, Zagreb.
38. Poljak, J. (1923). *Prilog geološkom i morfološkom poznavanju Krndije*, Glasnik Hrv. prir. društva, 35 (1-2), 21-45, 3 sl., Zagreb
39. Poljak, J. (1934a). *Geološka karta Kraljevine Jugoslavije. List Orahovica-Beničanci 1:75.000*, Geološki institut Kraljevine Jugoslavije, Beograd
40. Poljak, J. (1934b). *Tumač za geološku kartu Orahovica-Beničanci 1:75.000*, Geološki institut Kraljevine Jugoslavije, povremeno izdanje, 3-15
41. Radoš, D., Lozić, S., & Šiljeg, A. (2012). *Morfometrijske značajke šireg područja Duvanjskog polja*, Bosna i Hercegovina. *Geoadria*, 17(2), 177-207.
42. Sörensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). *On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations*, Hydrology and Earth System Sciences, 10(1), 101-112.
43. Strilić, M. (2012). *Geomorfološka obilježja Parka prirode Papuk*, diplomski rad, Geografski odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
44. Stur, D. (1861). *Erste Mitteilung über die geologische Übersichts-Aufnahme von Westslawonien*, Jahrbuch der Geologischen Reichsanstalt 12 (1), 115-118
45. Šegota, T., Filipčić, A. (1996). *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb.

46. Šikić, K. & Brkić, M. (1975). *Donji trijas u Papuku i Krndiji*, Geol. vjesnik, 28, 133 – 141, Zagreb.
47. Špoljar, M., Dražina, T., Ostojić, A., Kralj Borojević, K., Šargač, J., Štafa, D., Meseljević, M. (2008). *Sedrotvorna biocenoza Jankovačkog slapa u Parku prirode Papuk*, neobjavljeni rad
48. Špoljar, M., Štafa, D., Ostojić, A., Dražina, T., Matoničkin Kepčija, R., Kralj Borojević, K., Primc, B. (2011). *Tufa deposition in a karst stream as an indicator of water quality (Papuk Nature Park, Croatia)*, Ribarstvo 69, 137-151
49. Špoljar, M., Dražina, T., Ostojić, A., Miliša, M., Gligora Udovič, M., Štafa, D. (2012). *Bryophyte communities and seston in karst stream (Jankovac Stream, Papuk Nature Park, Croatia)*, Annales de Limnologie - International Journal of Limnology 48, 125-138
50. Tandarić, N. (2014). *Inventarizacija i evaluacija geomorfoloških lokaliteta u Park-šumi Jankovac* (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Science. Department of Geography).
51. Thalacker, R. J. (2014). *Mapping techniques for soil erosion: Modeling stream power index in eastern North Dakota*, The University of North Dakota.
52. Velić, I., & Vlahović, I. (2009). *Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1: 300.000*, Hrvatski geološki institut, Zagreb.
53. Weiss, A. (2001.). *Topographic position and landforms analysis*, In Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200)
54. Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). *Terrain analysis: principles and applications*, John Wiley & Sons.
55. Wodiczka F. (1855). *Sitzungen der k. k. geologischen Reichsanstalt: Sitzung am 6. November 1855.*, Jahrbuch der Geologischen Reichsanstalt 6 (4), 857-908

## 9. PRILOZI

### 9.1. POPIS GRAFIČKIH PRILOGA

Slika 1 Položaj PP Papuka u okvirima RH.....	4
Slika 2 Prikaz geološke građe Papuka i rasjeda .....	7
Slika 3 Udio litoloških jedinica na području Papuka .....	9
Slika 4 Kategorije i prostorni obuhvat hipsometrijskih razreda .....	13
Slika 5 Hipsometrijske karta Papuka.....	14
Slika 6 Karta nagiba padina Papuka.....	15
Slika 7 Kategorije i prostorni obuhvat ekspozicije padina .....	16
Slika 8 Karta ekspozicije padina Papuka.....	17
Slika 9 Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa Papuka (m/km <sup>2</sup> ).....	19
Slika 10 Distribucija profilne zakrivljenosti padina .....	20
Slika 11 Karta profilne zakrivljenosti padina Papuka .....	21
Slika 12 Karta planarne zakrivljenosti padina Papuka .....	22
Slika 13 Distribucija planarne zakrivljenosti padina.....	22
Slika 14 Karta Topographic Position Index-a Papuka.....	23
Slika 15 Karta hrapavosti Pauka.....	25
Slika 16 Karta Topographic wetness Index-a Papuka .....	26
Slika 17 Karta TWI-a rijeke Brzaje.....	27
Slika 18 Karta Stream power index-a Papuka .....	28
Slika 19 Drenažni bazeni na prostoru Papuka .....	30
Slika 20 Drenažna mreža Papuka .....	31
Slika 21 Klasifikacije tokova prema Strahleru na prostoru Papuka .....	32
Slika 22 Gustoća drenažne mreže na prostoru Papuka.....	33
Slika 23 Odnos gustoće drenažne mreže prema veličini drenažnog bazena .....	34
Slika 24 Odnos gustoće drenažne mreže prema smjeru pružanja bazena (Z-I).....	34
Slika 25 Hipsografska krivulja Ratkovca .....	38
Slika 26 Hipsografska krivulja Stražemanke .....	38
Slika 27 Hipsografska krivulja Radlovačke rijeke .....	39
Slika 28 Hipsografska krivulja Brzaje.....	39
Slika 29 Karta grebena Papuka.....	40
Slika 30 Orijentiranost grebena na Papuku .....	41
Slika 31 Karta ponikvi na Papuku .....	41
Slika 32 Gustoća ponikvi na Papuku.....	42
Slika 33 Odnosi prosječnog i maksimalnog nagiba unutar različitih litoloških jedinica.....	44
Slika 34 Karta litoloških jedinica i drenažne mreže na području Papuka .....	46
Slika 35 Karta distribucije udaljenosti drenažnih tokova od rasjeda na području Papuka .....	48
Slika 36 Distribucija broja tokova prema udaljenosti od rasjeda .....	49

## 9.2. POPIS TABLICA

Tablica 1 Kategorije i prostorni obuhvat nagiba padina.....	16
Tablica 2 Kategorije vertikalne raščlanjenosti reljefa .....	17
Tablica 3 Kategorije i prostorni obuhvat vertikalne raščlanjenosti reljefa.....	18
Tablica 4 Parametri drenažnih bazena.....	36
Tablica 5 Odnos duljine vodotokova i površine litoloških jedinica.....	46
Tablica 6 Usporedba nagiba terena unutar i izvan zona rasjeda.....	47