

DIGITALNA ANALIZA DRENAŽNE MREŽE NA PRIMJERU PAPUKA

FLORIJAN KVETEK I NEVEN BOČIĆ

U radu se prikazuje istraživanje drenažne mreže prostora Papuka, uključujući i njegov zapadni dio – Ravnu Goru. Drenažna mreža derivirana je iz DEM-a rezolucije 30 x 30 m. Izračunata je i kartografski prikazana gustoća drenažne mreže. Zatim je izrađena klasifikacija tokova prema Strahleru te su izračunati indeksi bifurkacije i indeksi dužina za sve bazene porječja. Njihova analiza prema Hortonovim zakonima provedena je na primjerima bazena Bijele rijeke, Brzaje, Voćinke i Vojlovice.

Ključne riječi: drenažna mreža, digitalna analiza, geomorfologija, Hortonovi zakoni, Papuk

UVOD

Drenažna mreža je skup svih drenažnih sustava nekog područja. Drenažni sustav je skup prirodnih kanala kojima stalno ili povremeno teče voda, a koji se povezuju u jedinstveni vodotok i predstavlja najmanju neovisnu geomorfološku sastavnicu (Marković, 1983). Cilj ovog rada je prikaz morfometrijskih pokazatelja drenažne mreže dobivenih na temelju analize digitalnog modela reljefa, a u svrhu istraživanja geomorfoloških obilježja Papuka i Ravne Gore. Analizirana drenažna mreža Papuka podskup je drenažnog sustava šireg prostora porječja Save i Drave, tj. Crnomorskog sljeva.

Istraživani prostor karakterističan je po vrlo razvijenoj drenažnoj mreži koja se manifestira u izrazito rebrastom i diseciranom reljefu. Prostor je geološki iznimno raznolik, sastavljen od nekoliko tektonskih jedinica nastalih u raznim fazama razvoja od kojih zadnja faza ima najveći utjecaj na izgled današnje drenažne mreže. Zahvaljujući karbonatnim stijenama u središnjoj zoni, na Papuku nalazimo i prostorno malu kršku zonu.

Morfometrijskom istraživanju drenažne mreže među prvima su pristupili Horton (1945) i Strahler (1952, 1957) koji su definirali redove veličine tokova i time omogućili kategorizaciju i analizu drenažnog sustava neovisno o njego-

voj veličini (Strahlerova ili Strahler - Hortonova klasifikacija tekućica). Na području Hrvatske do sada je provedeno više geomorfoloških istraživanja na temelju analize drenažne mreže. Šaler (1990) je iskoristio metodu izodefa u morfostrukturnoj analizi drenažnih sustava Voćinke, Vojlovice i Čađavice. Orešić (1990) je metodu izodefa primijenio na prostoru sjeverozapadnog dijela porječja Lonje, a analizu morfoloških pokazatelja na prostoru drenažnog sustava Krapine (Orešić, 1995). Faivre (1994) se bavila strukturnom geomorfološkom analizom dolinske mreže na prostoru Sjevernog Velebita. Faktorsku analizu reljefnog sustava Istarskog pobrđa napravio je Mihljević (1995, 1995a) povezujući drenažnu mrežu sa morfografijom i nastankom reljefa prostora te denudacijom. Matoš i dr. (2014) su koristeći morfometrijske podatke drenažne mreže generirane iz DEM-a identificirali tektonski aktivne prostore na Medvednici dok su Bočić i dr. (2015) analizirali aktivnu i okršenu drenažnu mrežu Unsko-koranske krške zaravni. U ovom se radu po prvi puta analiziraju temeljni parametri drenažne mreže za područje cijelog Papuka i Ravne Gore i to metodama digitalne analize.

METODE RADA

Temeljni postupci u ovom istraživanju vežu se za računalnu analizu digitalnog modela reljefa (DEM). Korišten je DEM preuzet s internetske baze podataka Službe za geološka istraživanja SAD-a (United States Geological Survey – USGS, Earth Explorer, URL 1). Rezolucija DEM-a je 30 x 30 metara. Analiza je provedena upotrebom GIS alata u programu ArcGIS 10 pri čemu su korišteni su moduli Spatial Analyst te 3D Analyst.

Provjerom kakvoće DEM-a utvrđene su određene netočnosti koje su zatim uklonjene. Prvi nedostatak je utvrđen usporedbom realnih visina vrhova i kota istraživanog prostora s podacima koje prikazuje DEM. Utvrđeno je nepo-

dudaranje podataka u visini od približno 30 m. Korigiranje je izvršeno na način da je u digitalnom modelu podataka u raster kalkulatoru od visinske vrijednosti svake ćelije oduzeta vrijednost 30 metara. Drugi nedostatak je postojanje „uviraka“ u modelu (engl. sinks). Te nepravilnosti, nastale prilikom prikupljanja podataka i izrade digitalnog modela reljefa, mogu vidno utjecati na kompjuterski izračun smjera otjecanja i akumulacije tokova, funkcija koje prethode izračunu akumulacije otjecanja (engl. flow accumulation) koja je ključna u daljnjoj analizi. Prema Reuteru i dr. (2008) „*lažni uvirci su obično nepravilni oblici koji ne prikazuju stvarno stanje na terenu. Moraju biti uklonjeni kako bi precizno hidrološko modeliranje bilo moguće*“. Uz postojanje lažnih uviraka, na manjem dijelu istraživanog područja razvijen je krški reljef s ponikvama (Bočić, 2010). S obzirom da je cilj istraživanja analizirati drenažnu mrežu cijeloga prostora, popunjeni su svi „uvirci“ u modelu, uključujući i ponikve. U prvotnom modelu program je prepoznao 128 „uviraka“, a od toga ih se samo šest nalazi na području krša. Ovdje valja napomenuti da podaci o drenežnoj mreži na području krša ustvari predstavljaju okršenu tzv. paleodrenažnu mrežu koja recentno više nema svoju drenažnu funkciju (Bočić i dr., 2015). S ciljem postizanja što je moguće veće preciznosti modela podataka vektorizirani su svi tokovi zabilježeni na topografskim kartama, bilo stalni, bilo povremeni. Ukupno su vektorizirana 2033 kilometra tokova s trinaest karata mjerila 1 : 25 000 (URL 2). Na temelju tih podataka funkcijom konvergencije TopoToRaster dodatno je povećana točnost DEM-a.

Na temelju korigiranog DEM-a prvo su analizirani opći (Evans, 2004) morfometrijski pokazatelji reljefa. U ovom slučaju primijenjene su analize hipsometrije, nagiba padina te vertikalna raščlanjenost reljefa kao osnovnih morfometrijske parametara cjelokupnog istraživanog prostora.

U okviru tzv. specifične morfometrije provedena je analiza same drenažne mreže. Prije izračuna morfometrijskih pokazatelja iz DEM-a je generirana drenažna mreža. Izrada započinje izračunom smjerova otjecanja pomoću funkcije *flow direction* koja koristi algoritam D8 (iz svake ćelije otjecanje je moguće u osam smjerova) i *flow accumulation* čiji je rezultat raster akumulacije u svakoj ćeliji. Vrijednost svake ćelije predstavlja broj uzvodnih ćelija koje se akumuliraju u njoj. Usporedbom dobivenog rastera sa stvarnim tokovima definirano je minimalno sljevno područje za svaki tok od 45 ćelija (0,004 km²). Funkcijom *set null* dobiven je raster koji predstavlja generiranu drenažnu mrežu. Prvi korak u analizi drenažne mreže je klasifikacija tokova Strahlerovom metodom. Dva toka prve kategorije daju tok druge kategorije. Dva toka druge kategorije daju tok treće i tako dalje. Velika pozornost pridavana je pregledu generirane drenažne mreže te je zaključeno da ista u vrlo velikoj mjeri odražava stvarno stanje na terenu. Greške paralelnih tokova prve kategorije (jaruga) su uklanjane. Svakom je toku prvo dodijeljena kategorija, potom su segmenti toka iste kategorije „ručno“ spajani funkcijom *Unsplit Line*. Klasifikacija omogućuje brojčanu kategorizaciju tokova i daljnju analizu i usporedbu drenažnih sustava neovisno o njihovoj veličini i razvijenosti. Rezultati Strahlerove klasifikacije tokova omogućuju detaljniju analizu drenažnih sustava. Potom je izračunata gustoća drenažne mreže uz pomoć funkcije *Kernel's density*. Za površinu susjedstva odabran je krug veličine 1km².

Nakon izračuna gustoće drenažne mreže pristupilo se izračunima indeksa bifurkacije i indeksa duljina takova (Marković, 1983).

Indeks bifurkacije predstavlja odnos broja susjednih kategorija po sustavima. Formula za izračunavanje indeksa bifurkacije (I_b) glasi:

$$I_b = N_n / N_{n+1} \quad [1]$$

gdje je: N - broj tokova; n - kategorija.

Indeks duljina (I_L) definiran je kao odnos prosječnih duljina tokova dvaju susjednih kategorija, a izračunava se kao:

$$I_L = L_{n+1} / L_n \quad [2]$$

gdje je: L - prosječna duljina toka određene kategorije (aritmetička sredina); n - kategorija.

Za daljnju analizu odabrani su bazeni Bijele rijeke, Brzaje, Voćinke i Vojlovice (sl. 5b). Na tom prostoru primijenjeni su Hortonovi zakoni koji definiraju pravilnosti razvoja drenažnih sustava kroz progresiju duljina i broja tokova (Marković, 1983).

Prvi Hortonov zakon definira pravilnu progresiju broja tokova po kategorijama i računa se po formuli:

$$N_n = I_b^{z-n} \quad [3]$$

gdje je: N - broj tokova; n - promatrana kategorija; I_b - srednji indeks bifurkacije; z - najviša kategorija u promatranom sustavu.

S obzirom da se danom formulom dobiva teorijski model idealnog stanja, on se mora usporediti sa stvarnim sustavom. Odstupanja ukazuju na nepravilnosti u razvoju promatranog drenažnog sustava. Kako bi se razlike lakše istaknule razlike, podaci o broju tokova se logaritmiraju prema formuli:

$$\log N_n = (z-n) \log I_b \quad [4]$$

Drugi Hortonov zakon definira duljine tokova pojedine kategorije nekog sustava. Krivulja geometrijske progresije dužina tokova može se izračunati prema formuli:

$$L_n = L_1 \times I_L^{n-1} \quad [5]$$

gdje je: L - prosječna dužina toka određene kategorije; n - promatrana kategorija; L_1 - prosječna dužina toka najniže kategorije; I_L - indeks dužina (srednja vrijednost za područje).

Da bi se olakšalo uspoređivanja realnog stanja s teorijskim, izvršeno je logaritmiranje prema formuli:

$$\log L_n = \log L_1 + (n-1) \log I_L \quad [6]$$

Navedeni parametri su uspoređeni i grafički prikazani (sl. 6, 7)

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Papuk je dio orografski izoliranog Slavenskog gorja (sl. 1). Slavonsko gorje (Bognar, 2001) čine dva paralelna niza pružanja zapad-istok. Sjeverni niz čine Papuk (954 m) i Krndija (790 m), a južni niz čine Psunj (984 m) te Požeška (618 m) i Dilj gora (461 m). Između ova dva niza nalazi se Požeška zavala.

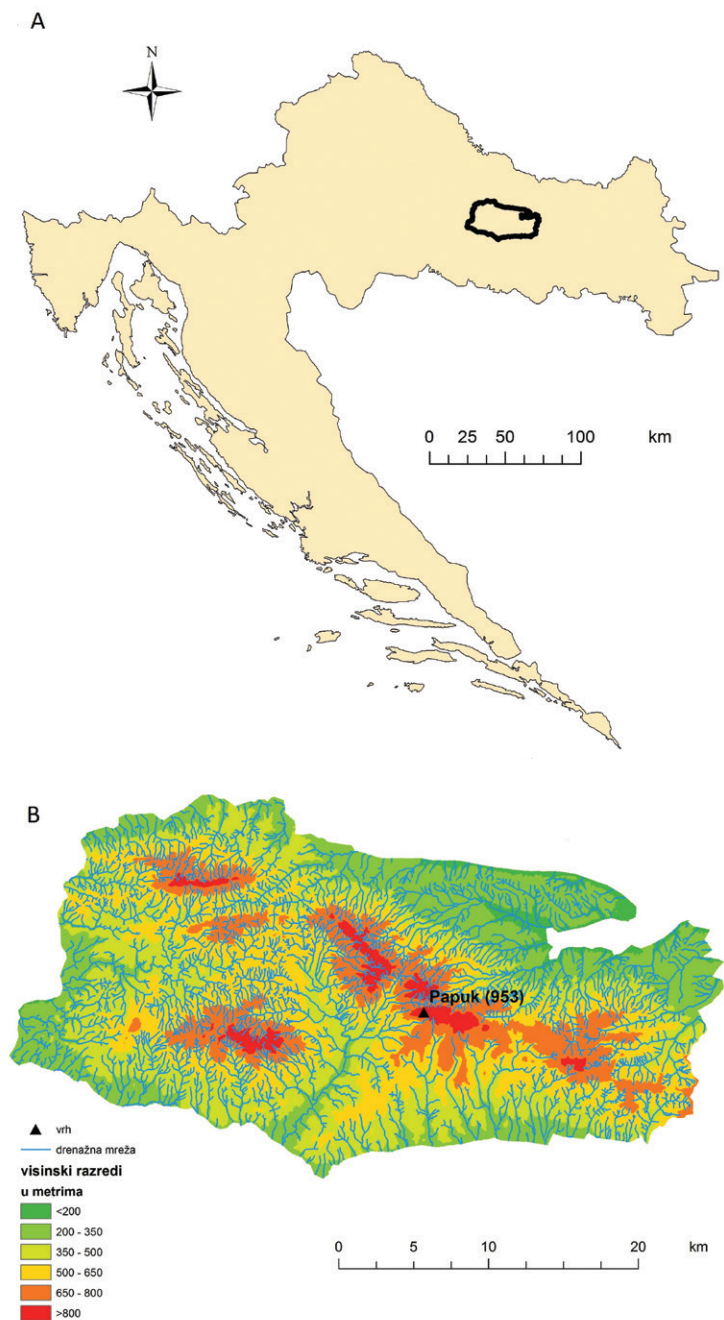
Samo područje analize drenažne mreže određeno je pomoću nekoliko parametara. Glavnu ulogu u određivanju granice prostora istraživanja u najvećem je dijelu imao nagib padina kao jedan od bitnih uvjeta geomorfoloških procesa. Korištene kategorije nagiba odgovaraju klasifikaciji prema kojoj su kategorije od 0° do 2° te 2° do 5° (subhorizontalne ravnine i blago nagnuti tereni; Bognar, 1992) procijenjene kao eliminišujuće te nisu ušle u prostorni obuhvat promatranog područja. Istočna granica, na dodiru s Krndijom s kojom Papuk čini morfološku i geološku cjelinu, određena je temeljem hipsometrije prema kojoj je određena granica sljevnog područja Velike rijeke na jugoistoku te Radlovačke rijeke na sjeveroistoku istraživanog područja. Sjeverna i sjeverozapadna granica područja određena je prema nagibu terena. Jugozapadnu granicu prema Psunju čine doline rijeka Pakre i Orljave dok je južna granica također određena na temelju nagiba. Ovako omeđeno područje ima površinu od 802 km^2 .

Istraživani prostor sastoji se od dvije orografske cjeline: hrpta Papuka na istoku i masiva Ravne Gore na zapadu. Ovo područje se proteže 40-ak kilometara pravcem ZSZ-IJI (sl. 1b). Najviša kota je vrh Papuk (953 m.n.v.). Najniža točka nalazi se na sjeveroistočnom rubu područja i ima visinu od 138 metara. Istočni dio istraživanog područja čini sam izdužen hrbat Papuka s najvišim vrhom dok zapadni dio predstavlja masiv Ravne Gore s tri paralelna grebena. Cijelo područje ima prosječnu visinu od 471 metra. Udio nizina do 200 metara je mali, ispod 3 %. Tri najzastuplje-

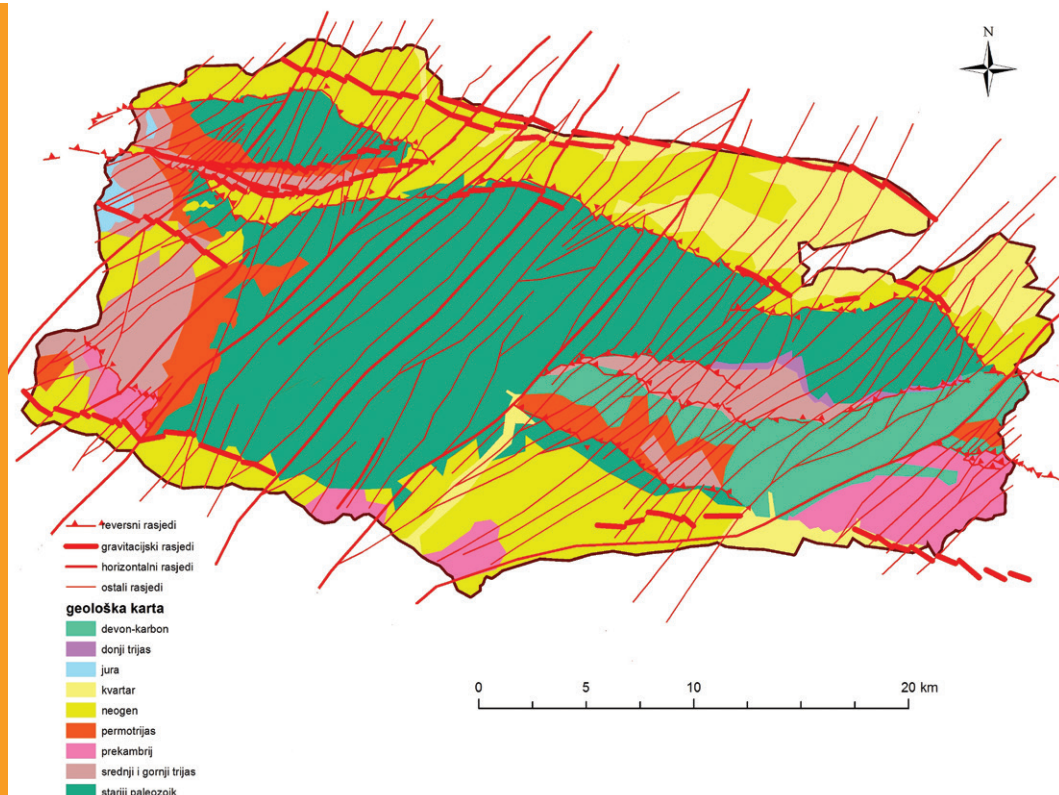
nija razreda imaju visinski raspon od 200 do 650 metara nad morem i ukupno zauzimaju otprilike 80 % površine. Područja iznad 800 metara su također slabo zastupljena te njihov udio ne prelazi 2,5 %. Područja od 650 do 800 metara zauzimaju glavninu grebena Papuka i Ravne Gore na jugu.

Geološka građa područja Papuka (sl. 2) obilježena je velikom raznolikošću (Jamičić i Brkić, 1987; Jamičić i dr., 1987; Pamić i dr., 2003). Najveći dio Papuka izgrađuju paleozojske metamorfne i magmatske stijene. Detaljna geološka istraživanja izdvojila su tri grupe takvih stijena: regionalnometamorfne stijene, migmatite i granitoidne stijene. Mezozojske stijene su zastupljene donjotrijaskim klastitima, srednjotrijaskim karbonatima (vapencima i dolomitima) koji izgrađuju vršni dio Papuka te gornjokrednom vulkanogeno-sedimentnom formacijom vrlo malog rasprostiranja. U neogenu se talože brečokonglomerati i šljunci, kvartaru pjeskoviti šljunci, kvarcni pjesci, a za vrijeme glacijacija taložen je prapor. Neogenske naslage nalaze se rubno, sa sjeverne, južne i zapadne strane istraživanog područja. Cijeli prostor slavonskih gora Papuka, Psunja i Krndije predstavlja jedinstven orografski sustav koji je u današnjem obliku glavninom izdignut u pliocenu (prije 5-3 milijuna godina). Recentno Papuk, Psunj i Krndija nastavljaju svoje izdizanje, ali zamjetno sporije nego u mlađem neogenu (Pamić i dr., 2003). Strukturni sklop ovog područja stvaran kroz 5 faza deformacije (Jamičić i dr., 1987, Jamičić i Brkić, 1987).

Relativno velik visinski raspon, izraženi nagibi te dominirajuće nepropusne stijene u podlozi dovele su do stvaranja drenažne mreže te intenzivne fluvijalne denudacije na najvećem dijelu ovog područja. To ima za posljedicu izraženu diseciranosti reljefa te njegov rebrasti izgled. Ovakav reljef veće vertikalne raščlanjenosti (prosječna vertikalna raščlanjenost reljefa iznosi 161.7 m/km^2 , a maksimalna 402 m/km^2), u kojem su kao posljedica fluvijalne denudacije glavni oblici



Sl. 1. Položaj i obuhvat istraživanog područja (A-položaj istraživanog područja, B-obuhvat i hipsometrija istraživanog područja s generiranom drenažnom mrežom)



Sl. 2. Pregledna geološka karta istraživanog područja.

Izvori: Jamičić, 1989, 1995; Jamičić i Brkić, 1987; Jamičić i dr., 1987, 1989.

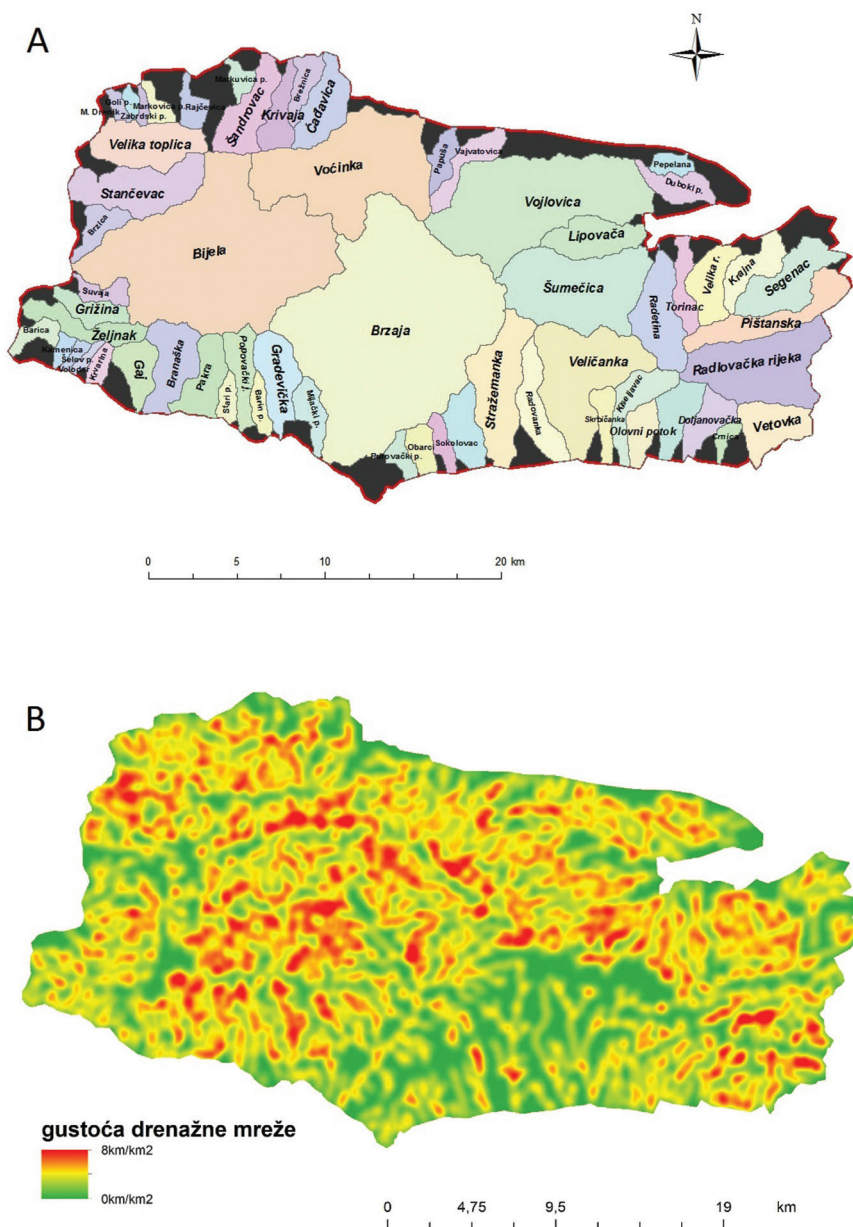
strme doline V ureza te jaruge, pripada fluviodendracijskom morfogenetskom tipu reljefa.

REZULTATI I RASPARAVA

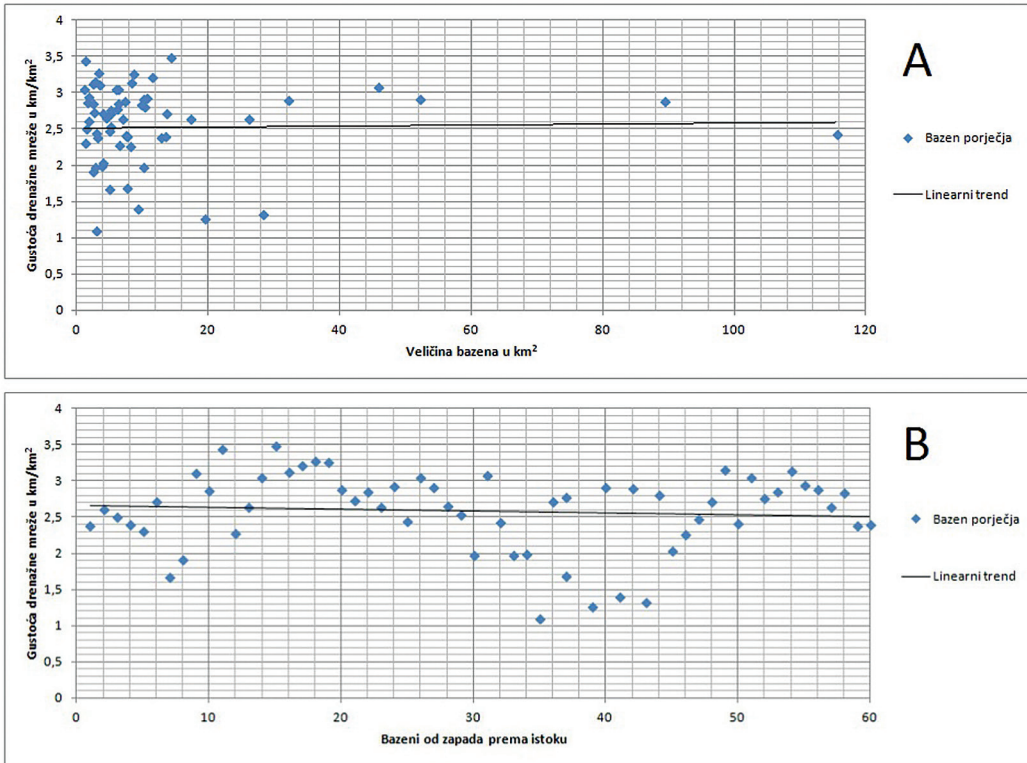
Računalnom analizom utvrđeno je 60 drenažnih bazena ukupne površine 725 km², tj. 90,4 % ukupne (802 km²) površine područja (sl. 3a). Ostatak područja ne pokazuje značajnu hidrološku razvijenost, tj. radi se o rubnim područjima koja se dreniraju izravno u podnožje Papuka. Ukupna prosječna dužina tokova svih porječja je 497,81 metara po drenažnom bazenu. Prosječan broj kategorija po Strahleru za sva porječja iznosi 3,61 a prosječna površina porječja 12,08 km². Ispodprosječnu duljinu

toka ima ukupno 33 od 60 drenažnih bazena. Ukupno 30 porječja ima 3 ili manje kategorija tokova. Iz ovoga je vidljivo kako drenažna mreža istraživanog prostora ima pravilnu distribuciju bazena prema veličini.

Gustoća drenažne mreže koristan je pokazatelj prostornog rasporeda i intenziteta erozije nekog prostora. Prosječna gustoća drenažne mreže iznosi 2,52 km/km². Što je drenažna mreža razgranatija tj., što je veća duljina tokova po jedinici površine to je snažnija erozija. Karta gustoće drenažne mreže (sl. 3b) ukazuje na njen prostorni raspored i prostorne razlike. Bazeni Bijele rijeke, Voćinke i Šumećice imaju veću drenažnu gustoću od prosjeka.



Sl. 3. Drenažni bazeni (A), gustoća drenažne mreže (B) istraživanog područja



Sl. 4. Odnos gustoće drenažne mreže prema veličini drenažnog bazena (A) odnosno prema geografskoj duljini (B)

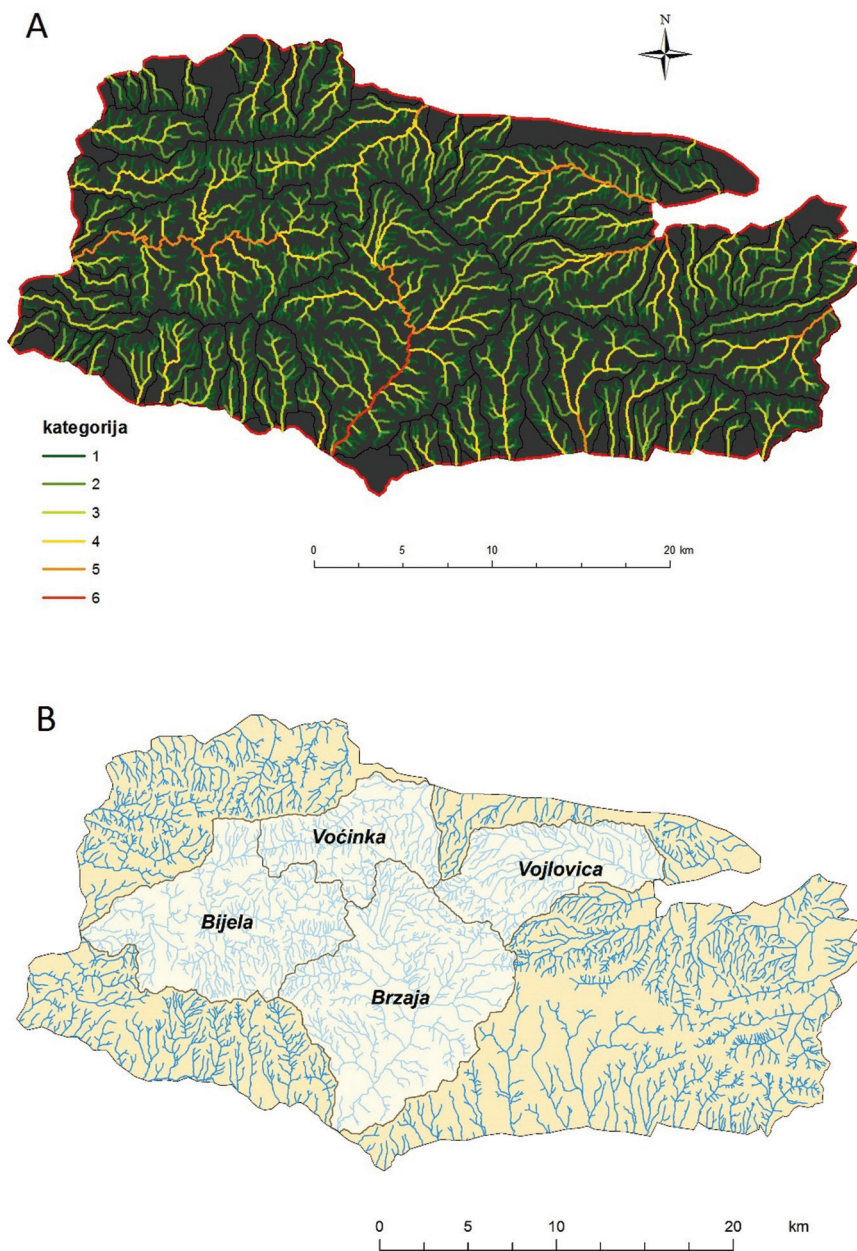
Karakteristično za veće drenažne sustave je to da imaju veću drenažnu gustoću. U slučaju manjih drenažnih bazena ne postoji pravilnost pa se čini se da u ovom slučaju gustoća drenažne mreže nije povezana sa opadanjem veličine bazena (sl. 4a). Primijećeno je da gustoća drenažne mreže lagano opada od zapada prema istoku (sl. 4b). Gustoća drenažne mreže naglašeno je manja u područjima izgrađenim od karbonatnih stijena - prosječna vrijednost za ta područja iznosi 1,09 km/km²

S obzirom na pokazatelje razvijenosti drenažnog sustava (sl. 5a) za daljnju analizu odabrani su bazeni Bijeke rijeke, Brzaje, Voćinke i Vojlovice (sl. 5b). Bazeni imaju dovoljan broj tokova više kategorije i zauzimaju gotovo polovinu istraživanog prostora. Nadalje, sve bazene karakterizira

ispodprosječna duljina tokova. Za navedena četiri bazena izračunati su indeksi bifurkacije, duljina tokova te su analizirani u odnosu na prvi i drugi Hortonov zakon.

Teorijski indeks bifurkacije bio bi dva i težio bi konstanti pod uvjetom da se sustav razvija u idealnim uvjetima (Marković, 1983). No utjecaj litologije, strukture i intervencija u prostoru dovodi do odstupanja. Iz dobivenih podataka je vidljivo da indeks nije konstantan i odstupa od idealnog (tab. 1)

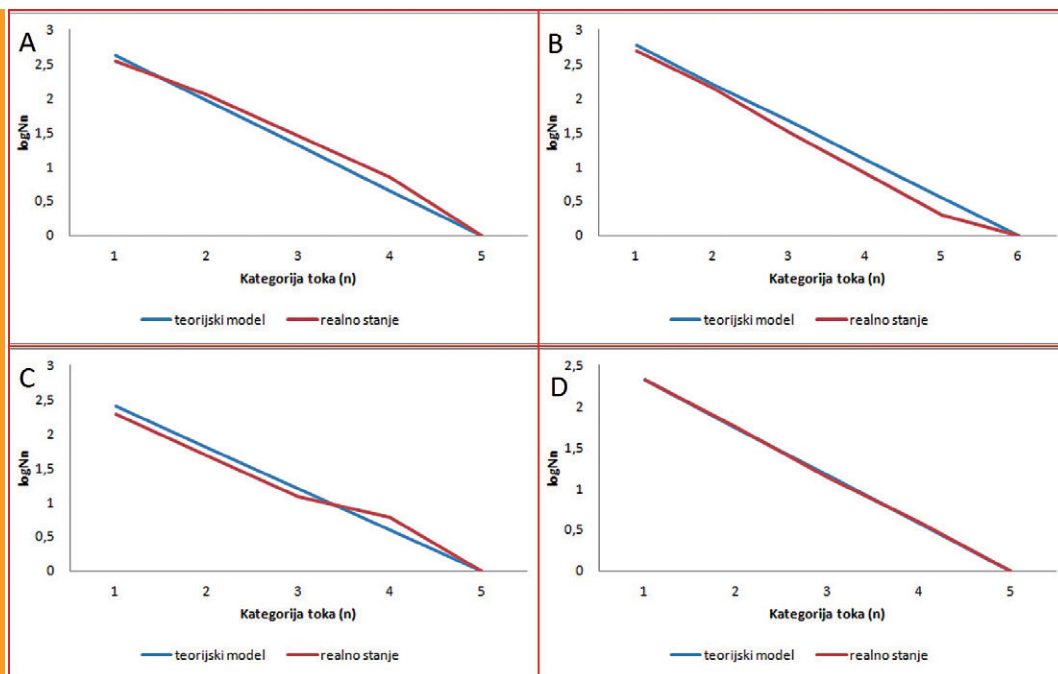
Izračunati indeks bifurkacije za drenažne bazene odabranih tokova primijenjen je u izračunu prvog Hortonovih zakona, tj. zakon broja tokova (sl. 6). Potrebno je upozoriti da se zadnja kategorija ne može uzimati u obzir jer završava niz i nemoguće ju je izračunati (zato i iznosi 0). Ne-



Sl. 5. Klasifikacija tokova prema Strahleru (A) i odabrani drenažni bazeni za analizu indeksa bifurkacije i duljine tokova (B)

Tab. 1. Indeksi bifurkacije (I_b) i indeksi duljine tokova (I_L) prema Strahlerovim kategorijama tokova za odabrane bazene porječja

INDEKS	I_b	I_b	I_b	I_b	I_b	I_L	I_L	I_L	I_L	I_L
KATEGORIJA	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	2/1	3/2	4/3	4/5	6/5
Bijela	3,05	4,03	4	7		0,80	2,60	1,70	7,70	
Brzaja	3,32	4,56	4,00	4,00	2,00	1,50	3,60	1,40	1,60	2,60
Voćnika	3,91	4,08	2	6		1,90	2,10	2,56	0,30	
Vojlovica	3,71	4,07	3,5	4		2,10	1,80	2,20	2,80	



Sl. 6. Odstupanje stvarnih broja tokova od teorijskog modela (A – za bazen Bijele rijeke, B – za bazen Brzaje, C – za bazen Voćinke, D – za bazen Vojlovice)

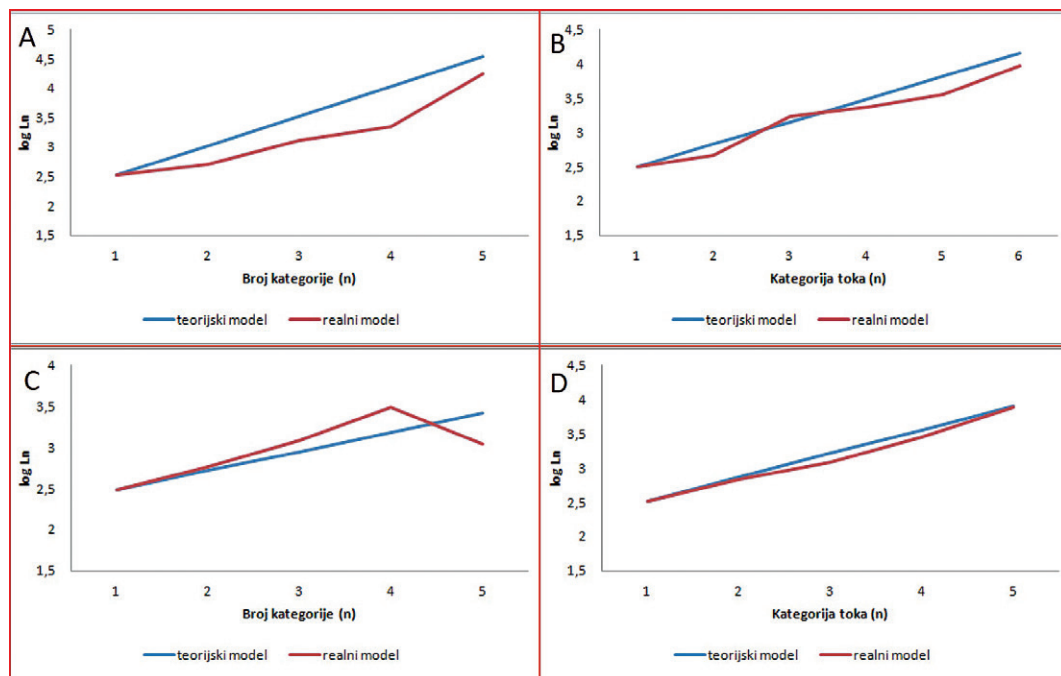
gativno odstupanja od teorijskog modela može ukazivati na povećanu akumulaciju što se može povezati s relativnim tektonskim spuštanjem ili mirovanjem određenog bloka. S druge strane pak, pozitivna odstupanja mogu ukazivati na relativno tektonsko izdizanje s obzirom na okolni prostor prilikom čega dolazi do jačanja erozije te intenzivnijeg grananja tokova i skraćivanja njihove dužine.

Indeks duljina povezan je sa indeksom bifurkacije tako da ako se broj tokova u određenom prostoru povećava njihova dužina se treba smanjivati i obratno. Kod teorijskog drenažnog sustava, razvijenog u idealnim uvjetima, dužine svih tokova pojedine kategorije bile bi međusobno jednake i rasle bi od najniže do najviše kao funkcija indeksa dužina. Ako bi dužina toka prve kategorije bila 100 metara, a I_L 4 tada bi teorijski geometrijski niz za sustav od 5 kategorija

bio 100-400-1600-6400-25600 metara. Negativno odstupanje od teorijskog modela može označavati prostor pojačane erozije te samim time recentnih kretanja u prostoru, pozitivna odstupanja označavaju mjesta relativnog tonjenja i akumulacije (Marković, 1983).

Dobiveni rezultati (tab. 1, sl. 7) pokazuju da na području bazena Vojlovice gotovo i nema odstupanja stvarnog stanja od teorijskog modela. To ukazuje na mogućnost relativnog mirovanja bazena Vojlovice pa i Voćinke. S druge strane, ukazuju na mogućnost da su strukture na prostoru bazena Bijele rijeke i Brzaje tektonski aktivne na što upućuje skraćivanje tokova i povećanje njihovog broja.

Rezultati analize u smislu Hortonovih zakona upućuju na razmjerno neravnomjeran razvoj drenažnog sustava odabranih bazena.



Sl. 7. Odstupanje stvarnih duljina tokova od teorijskog modela (A – za bazen Bijele rijeke, B – za bazen Brzaje, C – za bazen Voćinke, D – za bazen Vojlovice)

ZAKLJUČAK

Analiza drenažne mreže neizostavna je prilikom geomorfoloških istraživanja područja s prevladavajućim fluviodenudacijskim morfogenetskim tipom reljefa. Ona može dati važne podatke o morfostrukturnom i egzogenom razvoju reljefa. Također može pomoći prilikom istraživanja geološke građe i tektonike te njihovog utjecaja na nastanak i razvoj reljefa. Digitalna analiza drenažne mreže ima brojne prednosti. Među njima se ističu: (i) brzina rada u odnosu na manualni postupak mjerenja s kartografskih podloga, (ii) točnost i ujednačenost mjerenja i izračuna te (iii) brojne mogućnosti analize i usporedbe dobivenih podataka. Kao glavni nedostatak ističe se problem pouzdanosti digitalnog modela reljefa kojeg je potrebno provjeriti i po potrebi korigirati.

Preliminarnom analizom drenažne mreže reljefa Papuka utvrđena je njena prostorna heterogenost. Drenažni sustav Papuka sastoji se od 60 drenažnih bazena od kojih je nešto više od polovice s ispodprosječnom duljinom tokova za cijelo područje. Također, što se tiče Strahlerovih kategorija tokova, polovica bazena ima više, a polovica manje prosječnog broja tokova od prosjeka za istraživano područje. Gustoća drenažne mreže veća je u većim bazenima, ali ne pokazuje pravilnu distribuciju u manjim bazenima. Također, drenažna gustoća lagano opada od zapada prema istoku. Manja gustoća drenažne mreže uvjetovana je karbonatnim stijenama u podlozi.

Indeksi bifurkacije i duljine tokova ponešto odstupaju od teorijskih modela utvrđenih Hortonovim zakonima. Odstupanja su najvjerojatnije uvjetovana općim morfometrijskim značajkama, tektonskim pokretima različitog karaktera i predznaka te razlikama u litološkim značajkama podloge.

Na primjeru Papuka utvrđeno je da geomorfološka istraživanja na temelju digitalne analize drenažne mreže imaju izrazito velike mogućnosti te će biti nastavljena i to prvenstveno uključivanjem drugih parametara u analizu.

LITERATURA

- Bočić, N., 2010: Geomorfologija krša Papuka-kap krša u srcu Slavonije, <http://www.geografija.hr/clanci/1501/geomorfologija-krsa-papuka-kap-krsa-u-srcu-slavonije> (20.05.2015.).
- BOČIĆ, N., PAHERNIK, M., MIHEVC, A., 2015: Geomorphological significance of the palaeodrainage network on a karst plateau: The Una–Korana plateau, Dinaric karst, Croatia, *Geomorphology* 247, 55-65
- BOGNAR, A., 1992: Geomorfološke osobine Republike Hrvatske, *Geografski horizont* 38 (2), 15-25.
- BOGNAR, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica* 34, 7-29.
- EVANS, I. S., 2004: Geomorphometry, u: *Encyclopedia of geomorphology vol. 1* (ur. GOUDIE A. S.), Routledge, London-NewYork, 435-439.
- FAIVRE, S., 1994: Strukturno-geomorfološka analiza tipova dolinske mreže sjevernog Velebita i Senjskog bila, *Senjski zbornik* 21,9-24.
- REUTER, H.J., HENGL, T., GESSLER, P., SOILLE, P., 2008: Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis, u: *Geomorphometry, Concepts, Software, Applications* (ur.: HENGL, T., REUTER, H. I.), Development in Soil Science vol. 33, Elsevier.
- HORTON, R., 1945: Erosional development of streams and and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 275-370.
- JAMIĆIĆ, D., 1989: *Osnovna geološka karta 100 000, list Daruvar L 33-95*, Savezni geološki zavod, Beograd.
- JAMIĆIĆ, D., 1995: The Role of Rinistral Strice-Slip Faults in the Formation of the Structural Fabric of the Slavonian Mts. (Eastern Croatia), *Geologia Croatica* 48 (2), 155-160.
- JAMIĆIĆ, D., BRKIĆ, M., 1987: *Osnovna geološka karta 100 000, list Orahovica L 33-9*, Savezni geološki zavod, Beograd.

JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J., 1987: *Tumač za list Orahovica L 33-96, Osnovna geološka karta 1:100 000, Savezni geološki zavod, Beograd.*

JAMIČIĆ, D., VRAGOVIĆ, M., MATIČEĆ, D., 1989: *Tumač za list Daruvar L 33-95. Osnovna geološka karta 1:100 000, Savezni geološki zavod, Beograd.*

MARKOVIĆ, M., 1983: *Osnovi primjenjene geomorfologije, Posebna izdanja, knjiga 8, Geoinstitut, Beograd.*

MATOŠ, B., TOMLJENIĆ, B., TRENC, N., 2014: Identification of tectonically active areas using DEM: a quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica, NW Croatia, *Geological Quarterly* 58 (1), 51-70.

MIHLJEVIĆ, D., 1995: Characteristics of the relief System within the Istrian Hummocy Hills – Factor Approach, *Geografski glasnik* 57, 1-19.

MIHLJEVIĆ, D., 1995A: Procesi prekomjerne denudacije i njihove posljedice u Istarskom pobrđu. Zbornik 1. Hrvatskog geografskog kongresa, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 188-203.

OREŠIĆ, D., 1990: Primjena metode izodefa na primjeru sjeverozapadnog dijela porječja Lonje, u: *Zbornik referatov Geomorfologija in geokologija* (ur. NATEK, K.), Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Ljubljana, 197-202.

OREŠIĆ, D., 1995: Morfografski pokazatelji porječja Krapine, *Acta Geographica Croatica* 30, 29-38.

PAMIĆ, J., RADONIĆ, G., PAVIĆ, G. 2003: *Geološki vodič kroz Park prirode Papuk*, JU PP Papuk, Velika.

STRAHLER, A. N., 1952: Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography, *Bulletin of the Geological Society of America* 63 (11), 1117-1142.

STRAHLER, A., N., 1957: A Qantitative Analysis of Watershed Geomorphology, *Transactions of the American Geophysical Union* 38 (6), 913-920.

ŠALER, A., 1990: Primjena metode izodefa u morfostrukturnoj analizi porječja Voćinke, Vojlovice i Čađavice, u: *Zbornik referatov Geomorfologija in geokologija* (ur. NATEK, K.), Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Ljubljana, 187-196.

IZVORI

URL 1: *Earth Explorer*, <http://earthexplorer.usgs.gov/> (11.03.2015.)

URL 2: *Topografske karte 1:25000, Geoportal DGU*, <http://geoportal.dgu.hr/> (15.5.2015.)

FLORIJAN KVETEK, mag. geogr.,

Barčev trg 14, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: fkvetek@hotmail.com

doc. dr. sc. NEVEN BOČIĆ

Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, e-mail: nbocic@geog.pmf.hr