

# Razvoj fluviokrša na području Kamanja

---

**Bregni, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:974486>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-06**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Luka Bregni**

**Razvoj fluviokrša na području Kamanja**

**Diplomski rad**

**Zagreb**

**2020.**



**Luka Bregni**

# **Razvoj fluviokrša na području Kamanja**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog zvanja

magistra geografije

**Zagreb**

**2020.**

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

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geografski odsjek

## Razvoj fluviokrša na području Kamanja

Luka Bregni

**Izvadak:** Područje općine Kamanje i okolice je geomorfološki raznoliko područje gdje pronalazimo različite morfogenetske tipove reljefa. Geološka dihotomija među topivim i netopivim stijenama je uvjetovala specifična hidrogeografska obilježja, te time formirala mozaik geomorfoloških oblika različite geneze. Cilj ovog rada je analizirati dominantne geomorfološke procese i oblike te dovesti ih u vezu s razvojem fluviokrša na promatranom prostoru. U radu je izvršena analiza digitalnog modela reljefa i drugih digitaliziranih kartografskih podataka što je prikazano odgovarajućim kartografskim priložima. U izradi analiza i kartografskih priloga je korišten ESRI ArcGIS software. Kao produkt sinteze obrađenih podataka je izrađena geomorfološka karta promatranog prostora.

36 stranica, 25 grafički prilog, 27 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: geomorfologija, fluviokrš, krš, Kamanje, suhe doline, okršene doline

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

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

izv. prof. dr. sc. Nenad Buzjak

doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Tema prihvaćena: 8. 2. 2018.

Rad prihvaćen: 14.2.2020.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Master Thesis

Faculty of Science

Department of Geography

**Development of fluviokarst in the area of Kamanje**

Luka Bregni

**Abstract:** The area of Kamanje municipality and its surroundings is a geomorphologically diverse area where we find different morphogenetic types of relief. The geological dichotomy between soluble and insoluble rocks conditioned specific hydrogeographic features, and thus formed a mosaic of geomorphological forms of different genesis. The aim of this paper is to analyze the dominant geomorphological processes and forms and to correlate them with the development of fluviokarst in the observed area. The paper analyzes the digital model of reliefs and other digitized cartographic data, which is shown in the corresponding cartographic annexes. ESRI ArcGIS software was used in the analysis and mapping. As a product of the synthesis of the processed data, a geomorphological map of the observed space was made.

36 pages, 25 figures, 27 references; original in Croatian

**Keywords:** geomorphology, fluviokarst, karst, Kamanje, dry valley, karst valley

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

**Reviewers:** Neven Bočić, PhD, Associate Professor  
Nenad Buzjak, PhD, Associate Professor  
Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor

**Thesis title accepted:** 08/02/2018

**Thesis accepted:** 14/02/2020

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 i dosadašnja istraživanja .....	1
2. Obilježja promatranog prostora .....	4
2.1. Smještaj promatranog prostora .....	4
2.2. Geomorfološki položaj .....	5
2.3. Geološka građa .....	6
3. Metode i izvori podataka.....	8
4. Morfometrija .....	9
4.1. Hipsometrija .....	9
4.2. Nagib padina.....	11
4.3. Vertikalna raščlanjenost reljefa .....	12
4.4. Ekspozicija padina .....	15
4.5. Prostorni raspored i gustoća ponikava .....	16
5. Morfografija.....	19
6. Morfogeneza .....	24
7. Rasprava .....	26
8. Zaključak.....	33
Literatura i izvori.....	35
Popis slika .....	VI
Popis grafičkih priloga.....	VII



# 1. Uvod

Ozaljsko pobrđe je krajnji sjeverni dio Unsko-koranske zaravni. Izgrađeno je dominantno od karbonata, no nekarbonatne sastavnice dovode do razvoja fluvijalnih i derazijskih procesa, koji uz krške procese na karbonatima čine kompleks fluviokrškog reljefa. Stoga ovdje pronalazimo četiri morfogenetska tipa reljefa: krški, fluviokrški, fluviodenudacijski i fluvijalni.

Cilj rada je istražiti dominantne čimbenike i modifikatore razvoja reljefa istraživanog prostora s posebnim naglaskom na fluviokrške reljefne oblike. Također je potrebno odrediti glavne karakteristike reljefa i dominantnih fluviokrških reljefnih oblika.

## 1.1. Teorijski okvir i dosadašnja istraživanja

Razvoj krškog morfogenetskog tipa reljefa, jedan od temeljnih dijelova geomorfologije, su proučavali mnogi velikani prirodoslovnih znanosti. Od samih početaka i početnih opažanja Dragutina Gorjanovića Krambergera, do detaljnijih opisa procesa morfogeneze kod Cvijića, što je iniciralo mnoga istraživanja i analize akademika Roglića. Roglić je u svojim mnogim djelima (Roglić, 1957, 1981; Roglić i Baučić, 1958.) iznio mnoge značajne analize geomorfologije krša te je stvorio pojam fluviokrša kao prijelaznog oblika između fluvijalnog i krškog reljefa (Roglić, 1981). Roglić je također raspravljao o mogućim teorijama postanka zaravni na kršu (Roglić, 1951, 1957). Gams u djelu *Kras* (1974) iznosi široku analizu krša u Sloveniji, ali i opisuje fluviokrške morfološke oblike i bavi se njihovom kategorizacijom. O morfogenetskim procesima na kršu, ali i interakciji s flišom te o fluviokrškim elementima govori Gams (1998).

O geomorfologiji okolnog prostora pišu Buzjak (2006) u disertaciji *Geomorfološke i speleomorfološke značajke Žumberačke gore i geokološko vrednovanje endokrškog reljefa* i Bočić (2009) u disertaciji *Geomorfološke značajke prostora Slunjske zaravni*.

O odnosima krša i fluviokrša te razvoja slijepih i suhih dolina i ponornica piše Bočić (2003). Radovi vezani za geomorfologiju Slunjske zaravni (Bočić, 2009, Bočić i dr., 2010), iako ne obuhvaćaju točan prostor analiziran u ovom radu, vrlo su važni zbog geološki i geomorfološki sličnih elemenata i procesa. Istraživani prostor i tema rada *Geomorphological significance of the paleodrainage network on a karst plateau: The Una-Korana plateau, Dinaric karst, Croatia* (Bočić i dr., 2015) se uvelike preklapa s temom i prostorom ovog rada. Stoga je taj rad poslužio kao okosnica razvoja ideja i zaključaka u ovom radu.

Košpić (2010) u radu *GIS analiza prostornog razmještaja i morfoloških obilježja ponikava ozaljskog kraja* detaljno obrađuje karakteristike ponikava ovog i okolnog područja.

Krš je pojam koji označava morfofenetski oblik reljefa sa specifičnim geomorfološkim i hidrološkim obilježjima oblikovanim na topivoj litološkoj podlozi (najčešće karbonatnoj) s razvijenom sekundarnom poroznosti. Najznačajnije obilježje je bogatstvo podzemnih reljefnih oblika i razvijen podzemni hidrološki sistem (Ford i Williams, 2007).

Fluviokrški morfofenetski tip reljefa je specifičan po obuhvatu dominantnih geomorfoloških procesa. Reljefni oblici su oblikovani fluvijalnom erozijom i derazijom, specifičnom za fluviodenudacijski reljef, i korozijom, specifičnom za krški reljef. Samim načinom oblikovanja reljefne oblike dijelimo na opće (krške ili fluvijalne) i specifične (fluviokrške). Fluviokrš se dijeli na arealni (kompletno područje je zahvaćeno fluvijalnim i krškim procesima) i kontaktni (područja s različitim procesima su odijeljena kontaktnom zonom) (Bočić, 2009).

Suhe (neaktivne) doline po svojoj morfologiji sadrže sve dolinske elemente (dolinsko dno i strane), no u njima izostaje vodotok (Bočić, 2009; Bočić i dr., 2015). Po svojoj genezi, prvenstveno su vezane za komplekse djelomično propusnih i djelomično nepropusni stijena, dok su na područjima u čijem sastavu prevladavaju propusne stijene znatno rjeđe. Njihovo oblikovanje veže se vjerojatno za humidnija razdoblja holocena i pleistocena kada su vladali uvjeti većih količina padalina i manjih vrijednosti evaporacije uslijed nižih temperatura (Perica, 1998). To je pogodovalo zasićenju karbonatne podloge djelomično propusnih i nepropusnih stijena vodom. Na taj način došlo je do postupnog podizanja nivoa vodnog lica i nastanka vrela i izvora, čija je voda procesima erozije i korozije oblikovala svoje doline. Preduvjeti za nastanak suhih dolina postojali su i u vlažnim razdobljima holocena, kad je koeficijent otjecanja vode (zbog većih količina atmosferlija), u kombinaciji s nagibima bio znatno veći od kapaciteta propusnosti pukotinskih sustava vapnenačke podloge, što je omogućivalo erozijsko djelovanje vode (Perica, 1998). Smanjenje količine padalina dovodi do izostajanja toka u dolinama gdje se na propusnoj stijenskoj podlozi više ne može stvoriti kritičan volumen vode.

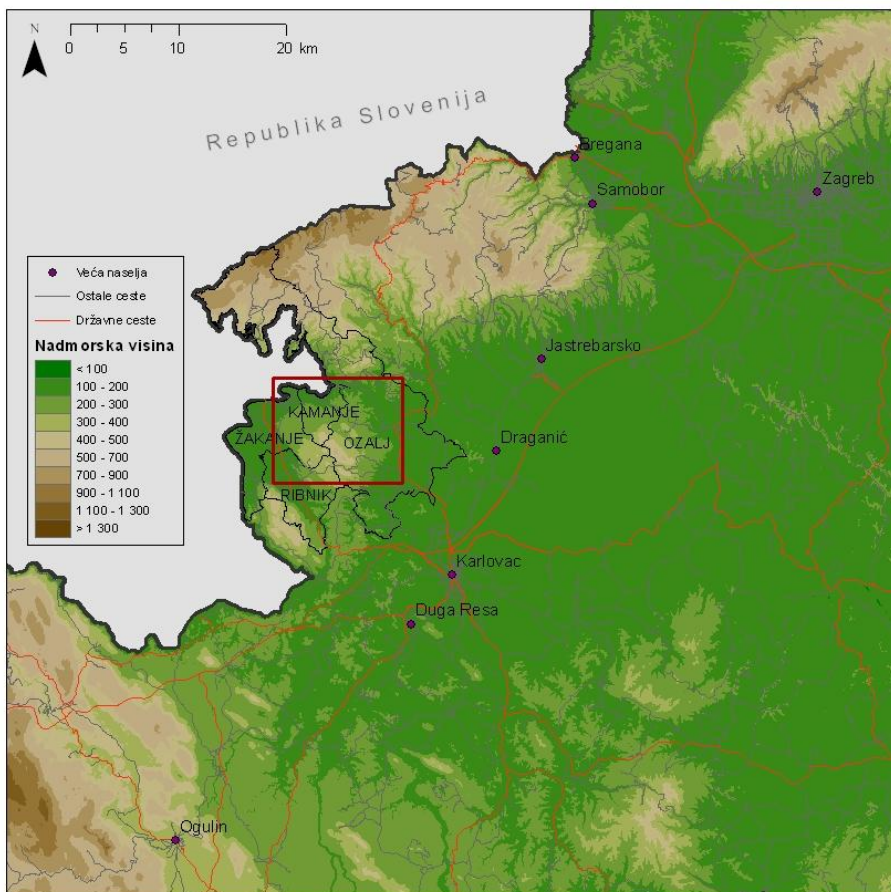
Reliktne doline su neaktivne doline čija je morfologija značajno izmjenjena denudacijom. Na karbonatnoj podlozi takve doline su zahvaćene okršavanjem i često nalazimo formaciju ponikvi duž talvega. O stupnju denudacije ovisi prepoznatljivost i mogućnost rekonstrukcije reliktnih dolina (Bočić, 2009; Bočić i dr., 2015).

Slijepe doline, tj. doline koje nemaju otvorenu nizvodnu poveznicu, prvenstveno nastaju na dodiru propusnih i nepropusnih stijena (kontakt se može također promatrati kao kontakt između krškog i fluviokrškog ili fluvidenudacijskog područja) (Gams, 1974, Perica, 1998). Tekućica svojim erozijskim djelovanjem formira dolinu erodirajući nepropusnu stijensku podlogu. Uslijed potpune denudacije nepropusne podloge, kada tekućica naiđe na propusnu karbonatnu podlogu, ona ponire, stoga dolina ostaje nizvodno zatvorena.

## 2. Obilježja promatranog prostora

### 2.1. Smještaj promatranog prostora

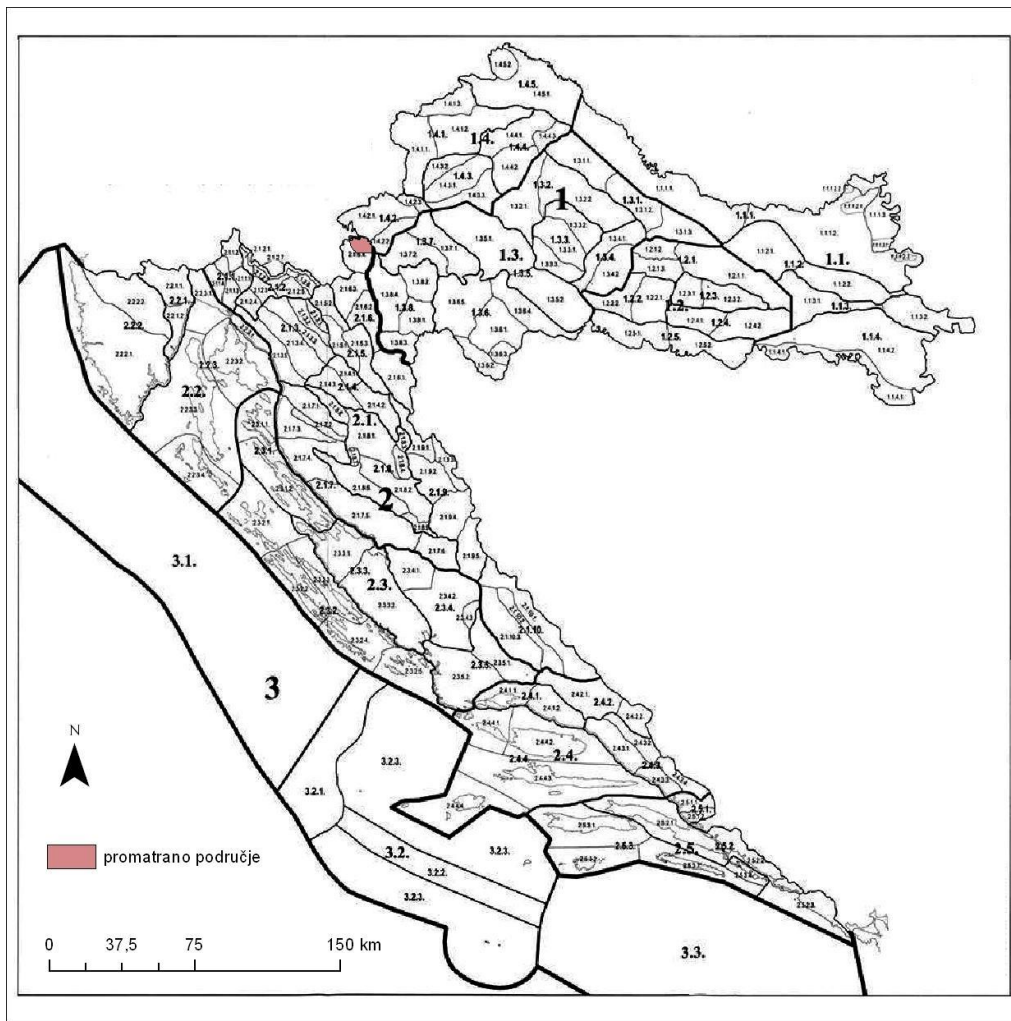
Istraživano područje se nalazi oko 15 do 20 km sjeverozapadno od Karlovca, na sjeveru Karlovačke županije. Istočnu granicu čine grad Ozalj i rub Ozaljskog pobrđa koji je ujedno i granica između geomorfoloških cjelina Panonskog bazena i Dinarskog gorskog sustava, sjeverna granica prati državnu granicu i rijeku Kupu uzvodno do Žakanja. Zapadna granica je određena rasjednim strmcem na kojeg se na južnom dijelu nadovezuje čelo navlake i završetak Ozaljskog pobrđa. Ovo područje obuhvaća općinu Kamanje te dijelove općina Ozalj, Žakanje i Ribnik (sl. 1).



Sl. 1 Pregledna geografska karta promatranog prostora

## 2.2. Geomorfološki položaj

Prema geomorfološkoj regionalizaciji (Bognar, 2001) promatrano područje pripada subgeomorfološkoj regiji Ozaljsko pobrđe, koja je krajnja sjeverna sastavnica mezogeomorfološke regije Unsko-koranska zaravan s pobrđima jugozapadnog Korduna. U makro planu ove regije pripadaju Gorskoj Hrvatskoj, tj megamakro cjelini Dinarski gorski sustav (Sl. 2). Važno je napomenuti da se promatrano područje nalazi na granici dvaju kopnenih megamakroregija: Dinarski gorski sustav (čemu i pripada) i Panonski bazen.



Sl. 2 Geomorfološki položaj promatranog područja

Izvor: Bognar, 2001

### 2.3. Geološka građa

Geološki najstarije jedinice koje pronalazimo na promatranom području su mikritni i oomikritni dijagenetski dolomiti s reliktima vapnene strukture donjojurske starosti ( $J_1^{1+2}$ ) koji prema gornjem dijelu sedimentacijskog stupa prelaze u dolomitizirane vapnence, kalcitične dolomite i vapnence s proslojcima dolomita, ovisno o stadiju dolomitizacije (Bukovac i dr. 1983).

Najzastupljeniji tip stijenske podloge (Sl. 3) su grebenski i subgrebenski vapnenci gornjojurske starosti (kimeridž i titon,  $J_3^{2,3}$ ). To su gromadasti biolilitni vapnenci s rijetko izraženom slojevitošću. Uslijed naknadne dolomitizacije vapnenaca mjestimično nalazimo uloške krupnozrnatih dolomita.

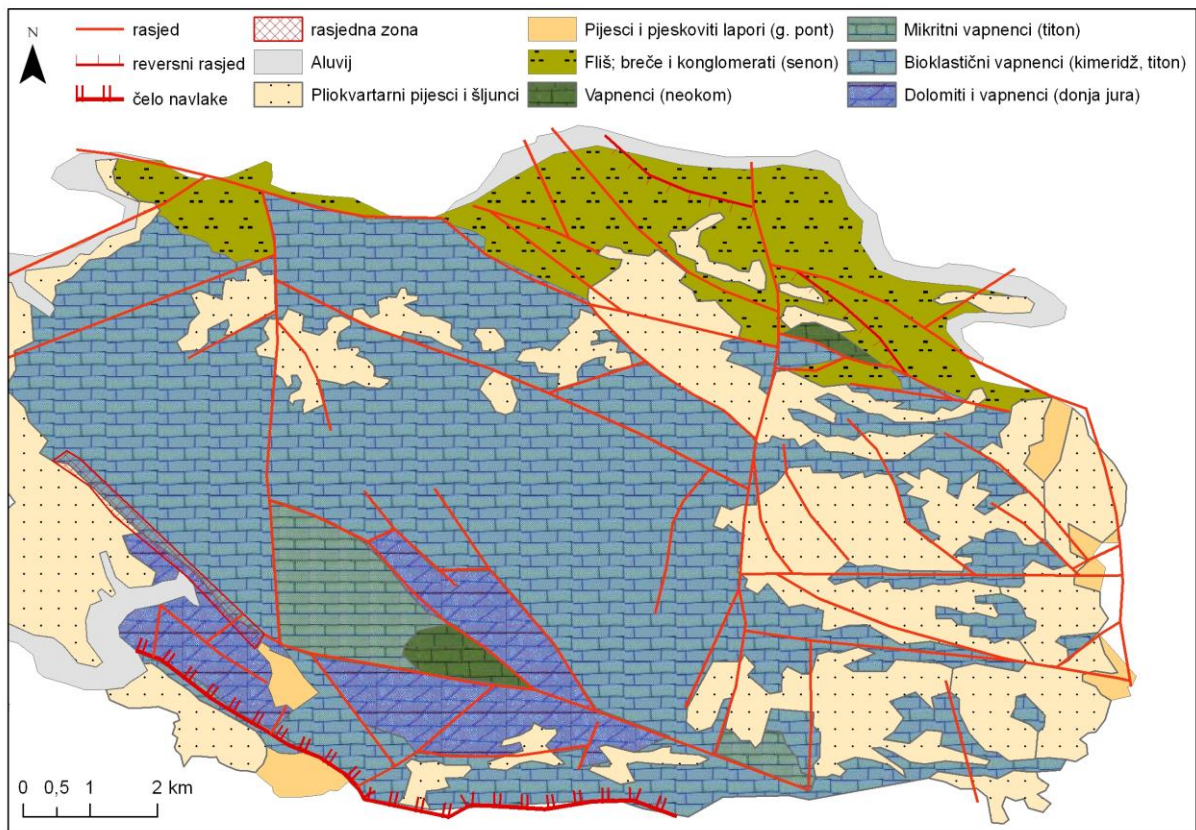
Na biolilitima se nalazi paket mikritnih vapnenaca titonske starosti ( $J_3^3$ ) koji ukazuju na promjene u sedimentacijskim uvjetima u prijelazu iz gornje jure u kredu.

Sedimentacija vapnenaca se nastavlja i kroz donju kredu. Manja područja vapnenaca neokomske starosti ( $K_1^{1+2}$ ) označavaju kraj sedimentacije karbonata ovog dijela kredne karbonatne platforme.

Flišne naslage ( $K_2^3$ ) na sjeveru promatranog prostora su gornjokredne (senonske) starosti. Gornja kreda je dinamično razdoblje u kojem orogenetski pokreti dolaze do većeg izražaja nego u juri (Herak, 1984). Ovu stratigrafsku jedinicu čine karbonatne breče i brečokonglomerati tubiditnih facijesa. Dakle, uslijed jačih orogenetskih pokreta dolazi do resedimentacije donjokrednih i jurskih stijena u flišno korito na rubu kredne karbonatne platforme. U brečama nalazimo krupne fragmente, povremeno i cijele blokove, poput jednog vapnenačkog bloka donje krede koji je uklizao u flišno korito (vidljiv na sjeveroistočnom dijelu karte sl. 3) (Bukovac i dr. 1983).

Jurske i kredne stijene su transgresivno pokrivena pliokvartarnim naslagama (Pl,Q). Dominantna komponenta su kvarcni pijesci, no nalazimo i proslojke šljunaka i glina. Debljina ovih naslaga varira do nekoliko desetaka metara. Zbog nedostatka fosila teško ih je točno kronološki stratificirati, no na manjim područjima nalazimo lapore i pijeske koji pripadaju gornjem pontu ( $Pl^2_1$ ) (Bukovac i dr. 1983).





Sl. 3 Pregledna geološka karta

Izvor: prema Bukovac i dr., 1983

Promatrano područje se nalazi u sklopu tektonske jedinice navlake Zvečaj – Metlika. Ova jedinica je navučena prema jugozapadu i prekriva dijelove strukturnih jedinica Gradac-Mračin i Mirna Gora – Črnomelj – Bosiljevo. Navlačni kompleks je intenzivno izmijenjen boranjem i ljuskanjem (Bukovac i dr. 1983).

Izdizanje Dinarida nastaje uslijed kompresijskog djelovanja stresa sa smjerom sjeveroistok-jugozapad, što uzrokuje orijentaciju morfostruktura okomito na smjer djelovanja glavnog vektora stresa. Time je nastalo „dinarsko“ pružanje struktura sa smjerom sjeverozapad-jugoistok (Bočić i dr., 2016). Krajem miocena dolazi do neotektonske faze gdje se glavni vektor stresa otklanja za 45° prema sjeveru što dovodi do promjena na morfostrukturama. Otklon kompresijskog vektora je potvrđen na temelju žarišnog mehanizma potresa koji je imao epicentar na hrvatsko-slovenskoj granici 1993. godine, gdje je određena kompresijska os u smjeru sjever sjeveroistok – jug jugozapad (Herak i dr. 2009).

### 3. Metode i izvori podataka

Za preglednu kartu korišten je digitalni model reljefa (DEM) rezolucije 50x50 m, rasterskog formata i veličine ćelije od 2500 m<sup>2</sup> te podatci o cestama, naseljima i općinama preuzeti iz Digitalnog atlasa Republike Hrvatske i Statističkog registra prostornih jedinica.

Za morfometrijske analize korišten je digitalni model reljefa rezolucije 10x10 m, rasterskog formata i veličine ćelije od 100 m<sup>2</sup>. Ukupna površina promatranog područja iznosi 76,4 km<sup>2</sup>. Vizualnom provjerom DEM-a utvrđene su sitne nepravilnosti, no zaključeno je da njihov utjecaj na rezultate ovog istraživanja nije značajan te su zanemarene. DEM je obrađen ESRI softverskim paketom ArcGIS 10.1. unutar kojeg su korištene ekstenzije za prostorne analize *Spatial Analyst* i *3D Analyst*. Analiza nagiba padina je izvršena funkcijom *Slope*. Vertikalna raščlanjenost je izvršena funkcijom *Focal Statistics*, no kako osnovna veličina jedinične površine od 1 km<sup>2</sup> nije omogućila zadovoljavajuće rezultate napravljene su analize s još dva reda veličine jedinične površine od 0,1 km<sup>2</sup> (10 Ha) i 0,01 km<sup>2</sup> (1 Ha). Ekspozicija padina je izvršena funkcijom *Aspect*.

Orohidrografska podloga je izvedena iz topografskih karata mjerila 1:25 000 Državne geodetske uprave listovi Metlika (319-4-1), Vivodina (319-4-2), Griblje (319-4-1) i Ozalj (319-4-4). Podatci o ponikvama, tekućicama i ostalim orohidrografskim elementima su kartirani navedenih topografskih karata. Kartirane ponikve su digitalizirane kao dno ponikve, bez obzira na oblik ili veličinu ponikve. Obradene ArcGIS alatom za analizu prostorne gustoće *Kernel density*.

Geološki podatci su preuzeti iz osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000 list Črnomelj (Bukovac, 1983) i pripadajućeg tumača (Bukovac, 1983). Važniji geološki elementi (litostratigrafske jedinice i rasjedi) kako bi jednostavnije bili korišteni u daljnjim analizama i kako bi se jednostavnije kartografski prikazali.

Na temelju DEM-a 10x10 m, pripadajućih analiza izrađenih na temelju DEM-a i orohidrografske podloge, topografske podloge i geoloških podataka izdvojeni su geomorfološki oblici i procesi. Iz oblika i procesa su određene zone pojedinih morfofenetskih tipova reljefa. Izrađena je baza prostornih podataka u ArcGIS-u kako bi se pojednostavila izrada geomorfološke karte. Kao podlogu geomorfološke karte su korišteni podatci o nagibu padina i morfofenetskim tipovima reljefa. Geomorfološki oblici su generalizirani i prikazani odgovarajućim kartografskim simbolima čime je dovršena digitalna geomorfološka karta.

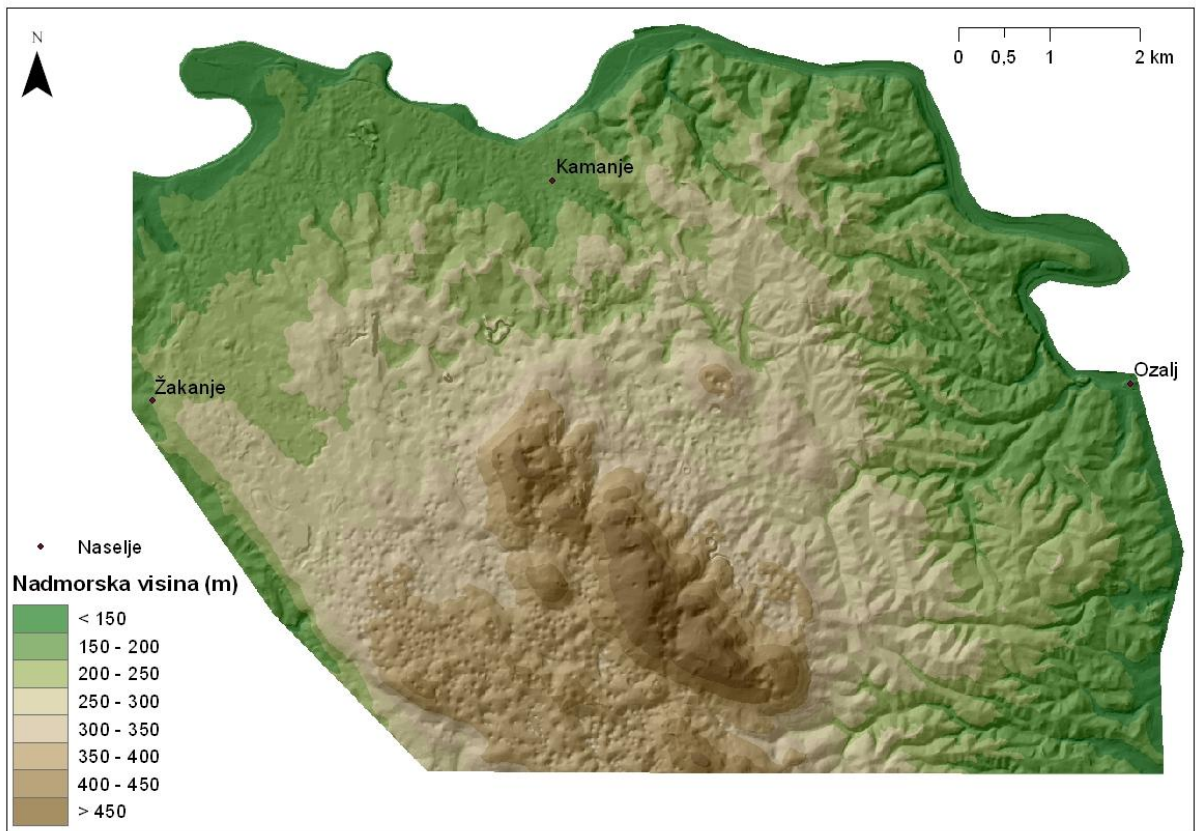


## 4. Morfometrija

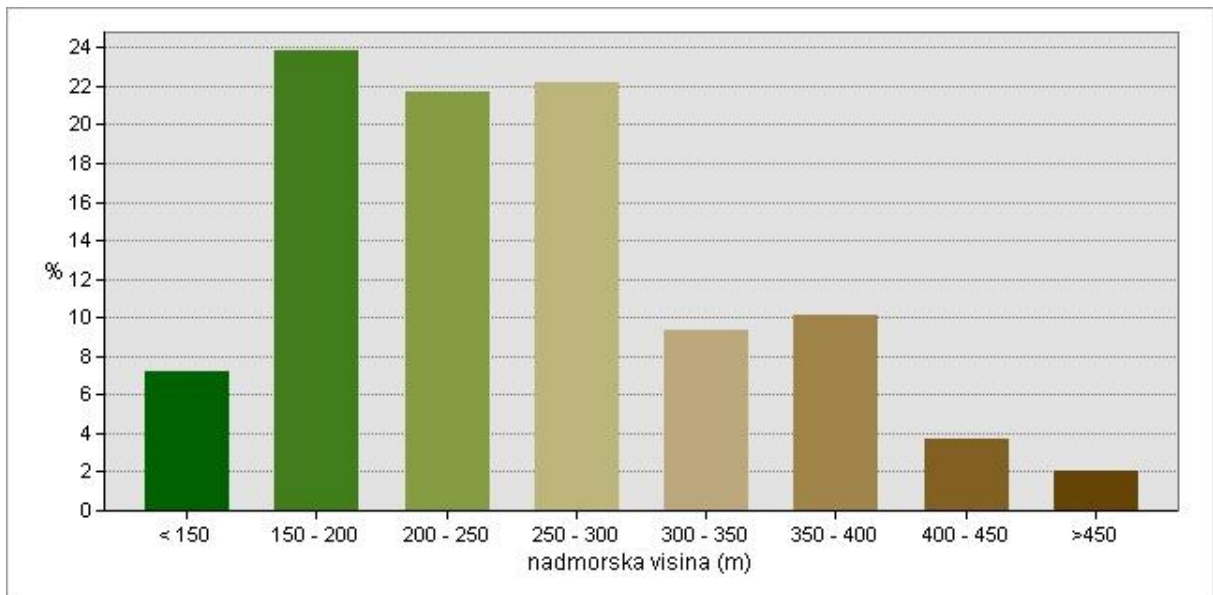
### 4.1. Hipsometrija

Na hipsometrijskoj karti (Sl. 4) uočavamo nekoliko različitih uzoraka promjene nadmorske visine. Na zapadnom dijelu, uz rub promatranog prostora, nalazimo naglu promjenu nadmorske visine duž pravca što ukazuje na postojanje eskarpmana koji je u interpretaciji geološke karte definiran kao rasjedna zona. Paralelno uz eskarpman na sjeveru i istoku se pruža područje blažih oscilacija u nadmorskoj visini – zaravan. Područje najvećih vrijednosti nadmorske visine, s maksimumom na vrhu Vodenica (537 m), se veže za središnji hrbat koji također prati dinarsko pružanje struktura sjeverozapad – jugoistok. Sjeveroistočno od hrpta se nalazi sekundarno niže uzvišenje jednakog pružanja. Između tih dvaju hrptova nalazi se manja zaravan. Na hipsometrijskoj karti je lako uočljiva razvijena dolinska drenažna mreža na istočnom i sjeveroistočnom dijelu, dok na zapadnom dijelu ona izostaje. Pregledom geoloških podataka utvrđeno je da je to izravna posljedica razlike u litološkoj podlozi. Najniže vrijednosti nalazimo uz talveg doline rijeke Kupe s najnižom točkom od 111 m na krajnjoj nizvodnoj točki korita uz grad Ozalj. Rijeka Kupa tvori kompozitnu dolinu koja mjestimično teče kroz kanjonski oblik doline, a istočno od grada Ozlja, izvan promatranog prostora, se širi u prostranu zavalu.

Hipsometrijski razredi od 150 do 300 metara čine većinski udio promatranog prostora (Sl. 5). Valja uočiti da je viši razred, 350 do 400 metara, ima veći udio površine od nižeg, 300 do 350 metara. Uzrok najvjerojatnije leži u višem dijelu zaravni na jugozapadu čija je većinska površina u razredu od 350 do 400 metara, dok niži razred nalazimo samo kao prijelazno područje između različitih orografskih struktura.



Sl. 4 Hispometrijska karta

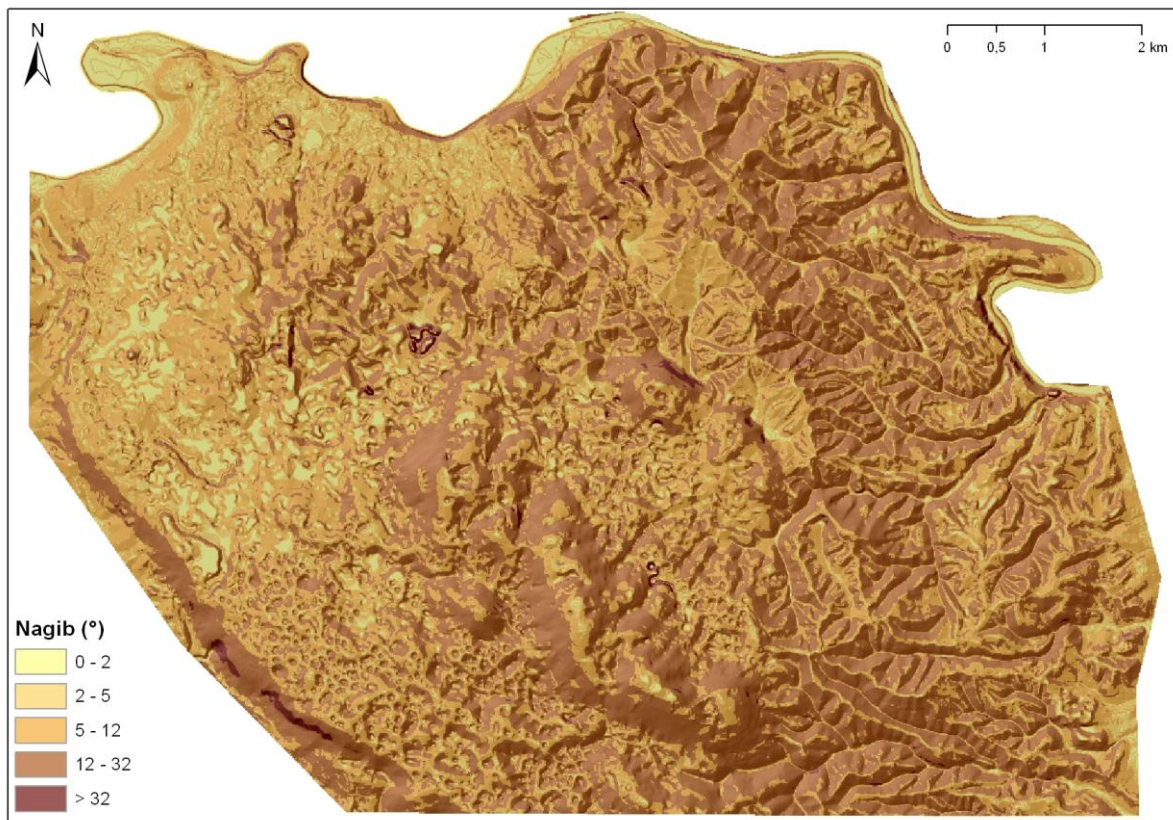


Sl. 5 Histogram distribucije udjela površina razreda nadmorske visine

## 4.2. Nagib padina

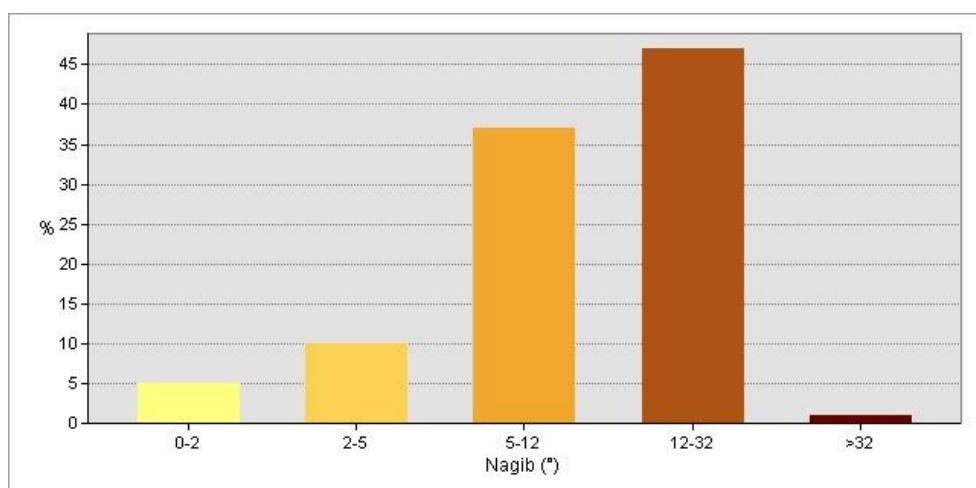
Nagib padine je definiran kao najmanji kut koji padina zatvara s horizontalnom ravninom. Nagib nam može pomoći u detektiranju egzogeomorfoloških procesa akumulacije i denudacije, ali i na određene (neo)tektonske pokrete.

Na karti nagiba padina (Sl. 6) jasno se uočava nekoliko područja koncentracije većih nagiba. Najznačajniji je eskarpman na jugozapadu koji odvaja zaravni od doline rijeke Kupe te tu ujedno nalazimo nagibe veće od  $55^\circ$  (strmce), koji nisu posebno kategorizirani na samoj karti zbog vrlo malog udjela površina. Grebensko-dolinski prostor malih pritoka Kupe na sjeveroistoku je heterogen zbog mozaika riječnih dolina te na njemu jasno uočavamo dna dolina, dolinske strane i grebene koji ih razdvajaju. Također je uočljiv usjek rijeke Kupe kod Ozlja s vrlo izraženim nagibom dolinskih strana. Na zaravnima s blažim nagibima jasno se uočava ponikvasti krš, odnosno gusto razvijena mreža ponikava.



Sl. 6 Karta nagiba padina

Analizom histograma udjela površina razreda nagiba padina (Sl. 7) uočavamo dominaciju većih razreda nagiba, kategorija od 12° do 32° čini 47 % ukupne površine, a kategorija od 5° do 12° zauzima 36 % ukupne površine, dok su niži nagibi slabije zastupljeni i uglavnom vezani za dna dolina, vapnenačke zaravni i vrhove grebena (vrhovi grebena uglavnom nisu potpuno ravni, već samo blaže nagnuti nego njihove strmije strane). Čak i prostor zaravni mjestimično bilježi treću i četvrtu kategoriju nagiba uglavnom zbog guste mreže ponikvi koje značajno raščlanjuju taj prostor. Valja uočiti da, unatoč dominaciji većih kategorija nagiba, nagib veći od 32° čini samo 1 % ukupne promatrane površine (sl.7). Na temelju opažanja nagiba padina generalno se može zaključiti da je ovo dominantno denudacijski prostor, posebno ako znamo da na dijelu površine prve i druge kategorije također izostaje akumulacija materijala zbog odlika litološke podloge.

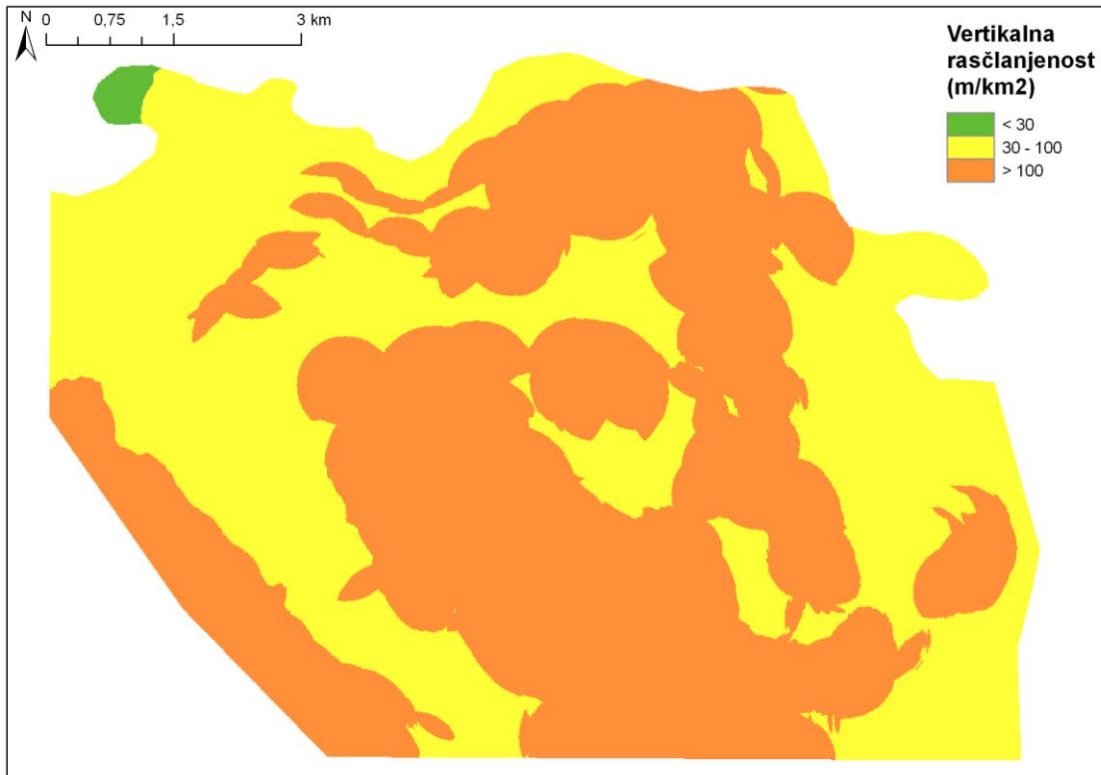


Sl. 7 Histogram udjela površina razreda nagiba padina

### 4.3. Vertikalna raščlanjenost reljefa

Vertikalna raščlanjenost reljefa ili energija reljefa se definira kao visinska razlika između najviše i najniže točke nadmorske visine po jedinici površine (uglavnom se uzima  $\text{km}^2$ ). Vrijednosti se kategoriziraju u sljedeće razrede: zaravnjen reljef ( $0 - 5 \text{ m/km}^2$ ), slabo raščlanjene ravnice ( $5 - 30 \text{ m/km}^2$ ), slabo raščlanjen reljef ( $30 - 100 \text{ m/km}^2$ ), umjereno raščlanjen reljef ( $100 - 300 \text{ m/km}^2$ ), izrazito raščlanjen reljef ( $300 - 800 \text{ m/km}^2$ ) i vrlo izrazito raščlanjen reljef ( $> 800 \text{ m/km}^2$ ) (Lozić, 1995). Vertikalna raščlanjenost, iako može biti indikator intenziteta akumulacije i denudacije, je važan indikator i endogenih procesa tj. neotektonske aktivnosti (Bočić i dr., 2016).

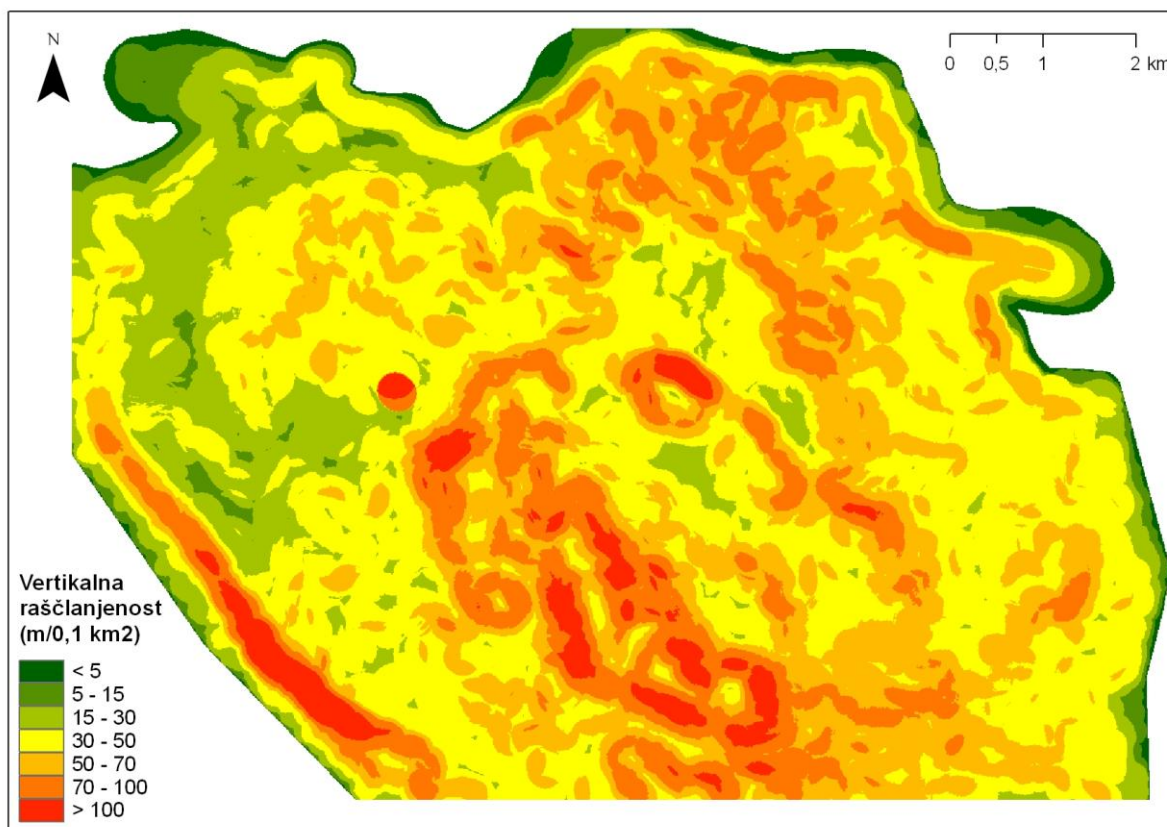
Promatrani prostor pripada kategorijama slabo ( $30 - 100 \text{ m/km}^2$ ) i umjereno ( $100 - 300 \text{ m/km}^2$ ) raščlanjenog reljefa, dok je niža kategorija ( $5 - 30 \text{ m/km}^2$ ) zastupljena na malom području doline rijeke Kupe na sjeveroistoku (Sl. 8). Unatoč pripadnosti vrijednosti u uglavnom samo dvije kategorije, i dalje se mogu razlikovati određene specifičnosti. Područja zaravni nalazimo u nižoj kategoriji, dok je područje hrptova i eskarpmana u višoj kategoriji.



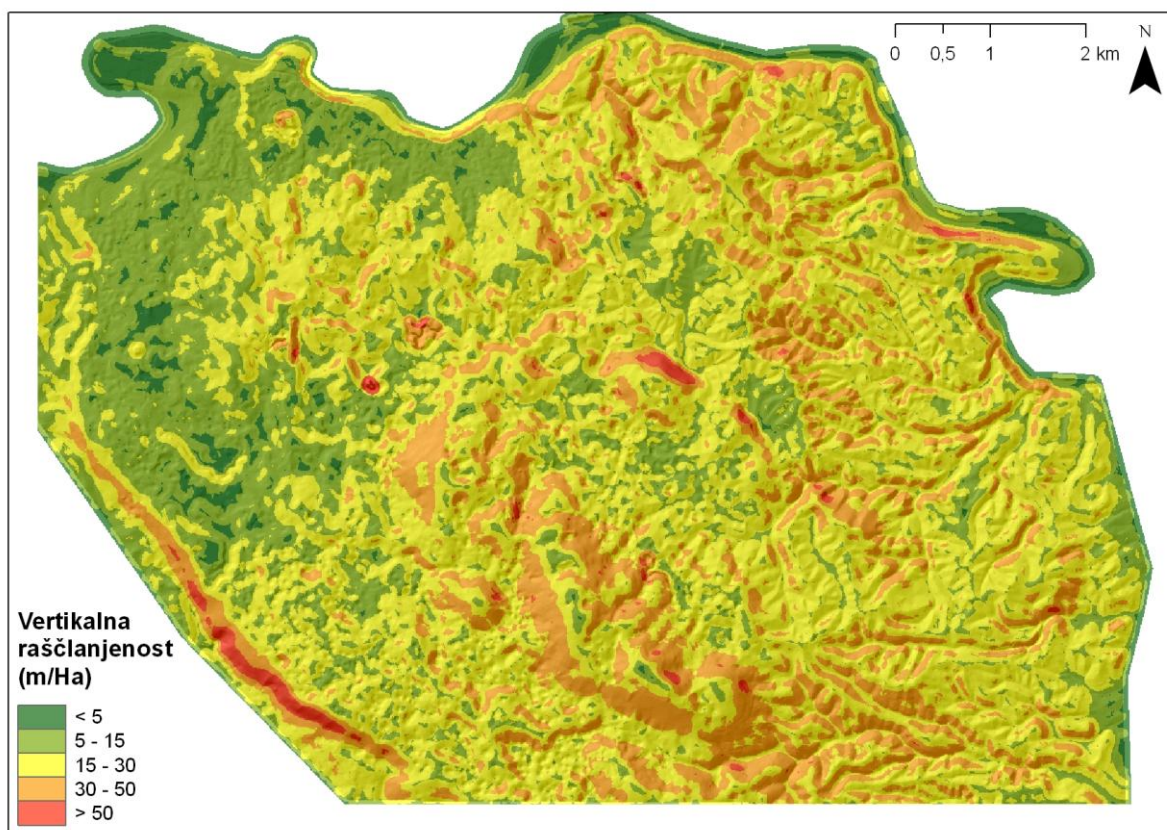
Sl. 8 Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa po kilometru kvadratnom

S obzirom na manju površinu promatranog prostora, analiza vertikalne raščlanjenosti po jedinici površine od  $1 \text{ km}^2$ , ne donosi zadovoljavajuće rezultate. Stoga je smanjen obuhvat jedinice površine na  $0,1 \text{ km}^2$  ( $0,1 \text{ km}^2 = 10 \text{ Ha} = 100\,000 \text{ m}^2$ ) (sl. 9). Za bolju vizualnu interpretaciju napravljena je i karta s još manjom jedinicom površine od  $1 \text{ Ha}$  ( $10\,000 \text{ m}^2$ ) (sl. 10). Na obje slike jasno uočavamo zaravnjena područja manje energije reljefa te raščlanjena područja grebena. Za razliku od slike 8, zbog manjih jedinica površine, ovdje uočavamo dno doline rijeke Kupe kao područje manje raščlanjenosti. Također se mogu diferencirati vršni dijelovi središnjih uzvišenja kao zaravnjenija područja.





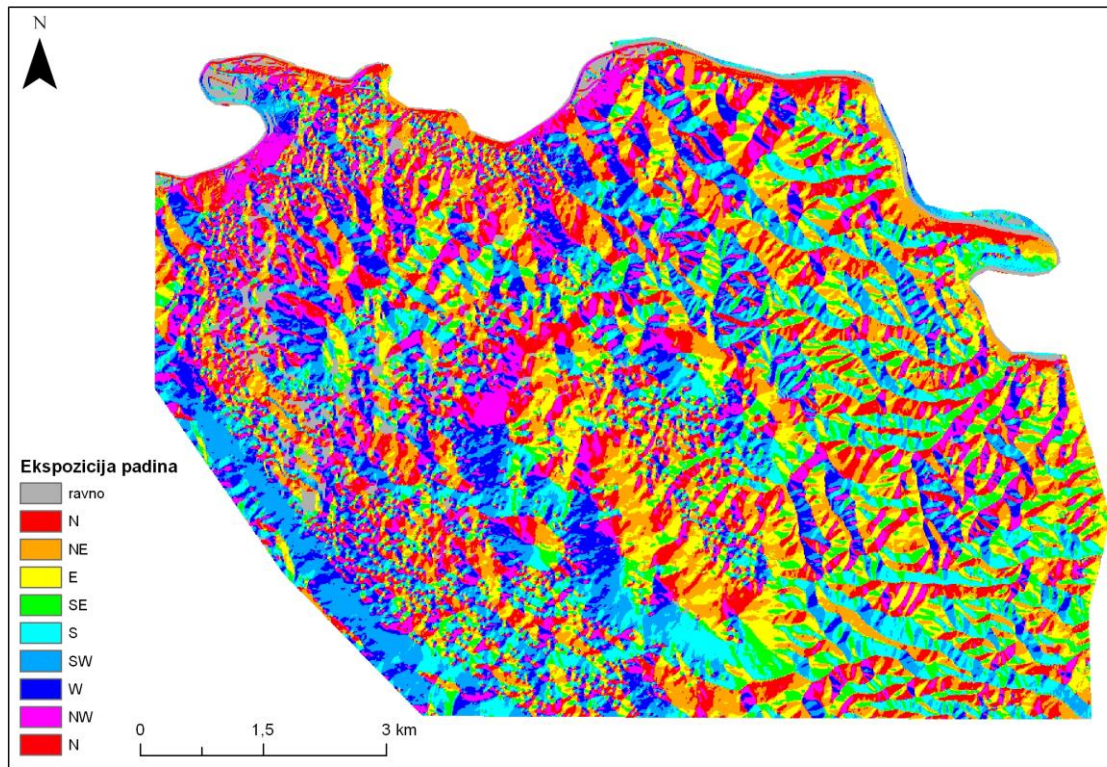
Sl. 9 Karta vetikalne raščlanjenosti reljefa po 0,1km<sup>2</sup>



Sl. 10 Karta vetikalne raščlanjenosti reljefa po hektaru

#### 4.4. Ekspozicija padina

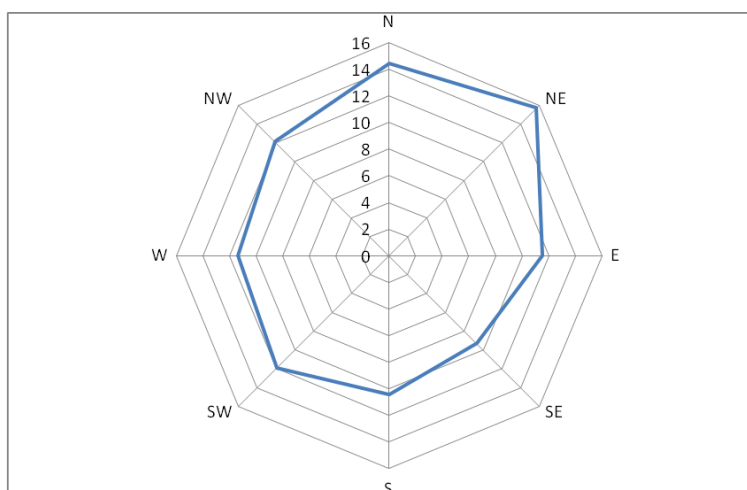
Ekspozicija padina je orijentacija padine s obzirom na strane svijeta. Padine se klasificiraju prema azimutu koji os nagiba padine zatvara sa sjeverom. Svaka kategorija zauzima 45° kruga. Razredi su slijedeći: Sjever (337,5° – 22,5°), sjeveroistok (22,5° – 67,5°), istok (67,5° – 112,5°), jugoistok (112,5° – 157,5°), jug (157,5° – 202,5°), jugozapad (202,5° – 247,5°), zapad (247,5° – 292,5°), sjeverozapad (292,5° – 337,5°).



Sl. 11 Karta ekspozicija padina

Distribucija udjela površina razreda ekspozicije padina na polarnom grafu (Sl. 92), unatoč relativno ravnomjernoj distribuciji (raspon je od 9,3% za jugoistok do 15,7 za sjeveroistok), ukazuje na malo veću koncentraciju padina sjeverne i sjeveroistočne ekspozicije. Razlog je pružanje struktura u smjeru sjeverozapad – jugoistok, stoga je najveća koncentracija padina okomita na pružanje, a između ostalog rijeka Kupa je usjekla svoju dolinu na sjevernoj strani stoga je određen udio padina orijentiran prema sjeveru. Veća koncentracija zapadne i sjeverozapadne orijentacije od južne i jugoistočne orijentacije je rezultat zaravni koja blago pada prema sjeverozapadu (sl. 11) i time generira veće površine padina takve orijentacije, dok je na jugoistočnoj strani reljef raščlanjen dolinskim sustavom u kojem padine nemaju dominantnu azimutalnu orijentaciju.





Sl. 92 Distribucija udjela površina razreda ekspozicije padina

#### 4.5. Prostorni raspored i gustoća ponikava

Ponikve se često karakterizira kao „dijagnostički krški oblik“ (Ford i Williams, 2007) jer su svojim dominantno korozivskom genezom vezane za topive (karbonatne) stijene. Na području Republike Hrvatske 98,8 % ponikava se nalazi na prostoru dinarskog krša (Pahernik, 2012). Nadalje, gustoća ponikvi na fluviokrškim područjima, koja se uglavnom razvijaju na slabije topivim dolomitima, iznosi 12 pon/km<sup>2</sup> dok je na krškom (dominantno vapnenačkom) reljefu 15,2 pon/km<sup>2</sup> (Pahernik, 2012). Također valja naglasiti da je, osim uz litologiju, geneza i prostorna gustoća ponikava usko vezana uz morfometrijske karakteristike reljefa. Na područjima manjih kategorija nagiba (do 12°) nalazimo najveću gustoću ponikvi dok je već u narednim kategorijama (12° do 32°) gustoća vrlo niska do neznatna (>32°) (Pahernik, 2012).

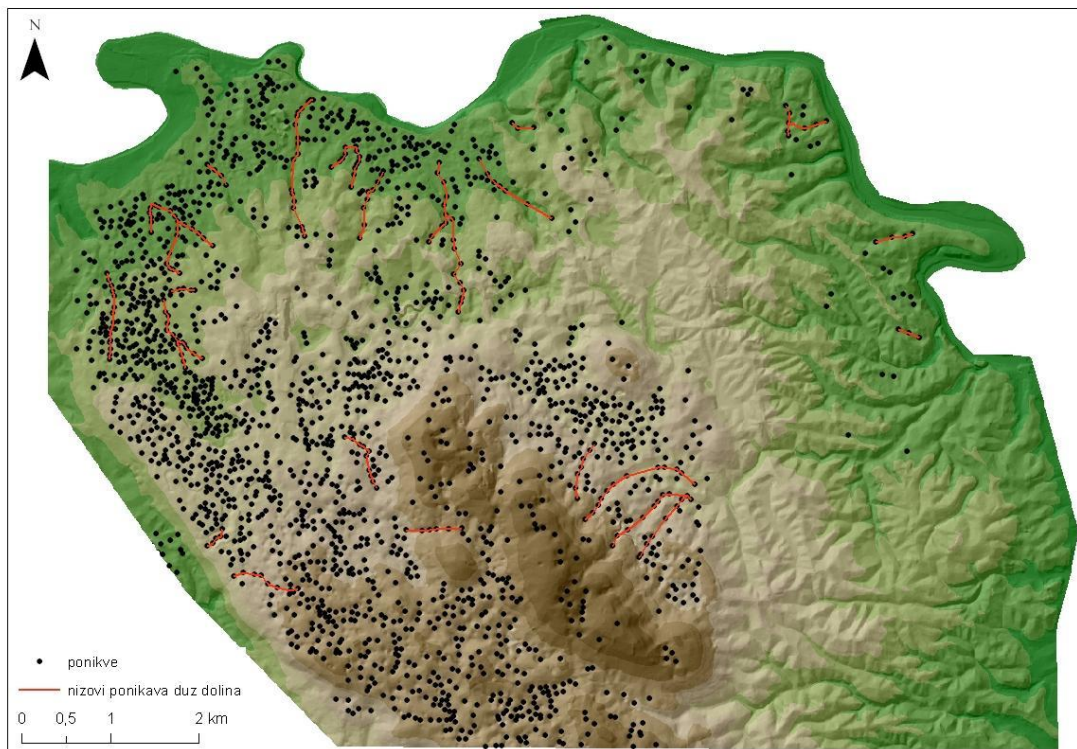
Kategorizacija prostorne gustoće ponikava je izvršena prema slijedećim razredima: neznatna gustoća (< 10 pon/km<sup>2</sup>), mala (10 – 40 pon/km<sup>2</sup>), srednja (40 – 70 pon/km<sup>2</sup>), velika (70 – 100 pon/km<sup>2</sup>) i vrlo velika gustoća (> 100 pon/km<sup>2</sup>) (Pahernik, 2000). Ukupno je kartirano 1991 ponikva (sl. 13) u obuhvatu promatranog prostora s prosječnom gustoćom od 26,9 pon/km<sup>2</sup>. Najveća gustoća je zabilježena istočno od Sela Žakanjskih i iznosi 196 pon/km<sup>2</sup> (sl. 14).

U analizi prostorne gustoće ponikava (sl. 13 i 14) također se uočavaju prethodno navedene odrednice geneze i distribucije ponikava u prostoru. Najveća gustoća se bilježi na zapadnom, karbonatnom, dijelu terena, dok je na istočnom, nekarbonatnom, vrlo mala ili neznatna. Na području središnjeg hrpta, koji je uglavnom karbonatnog litološkog sastava,



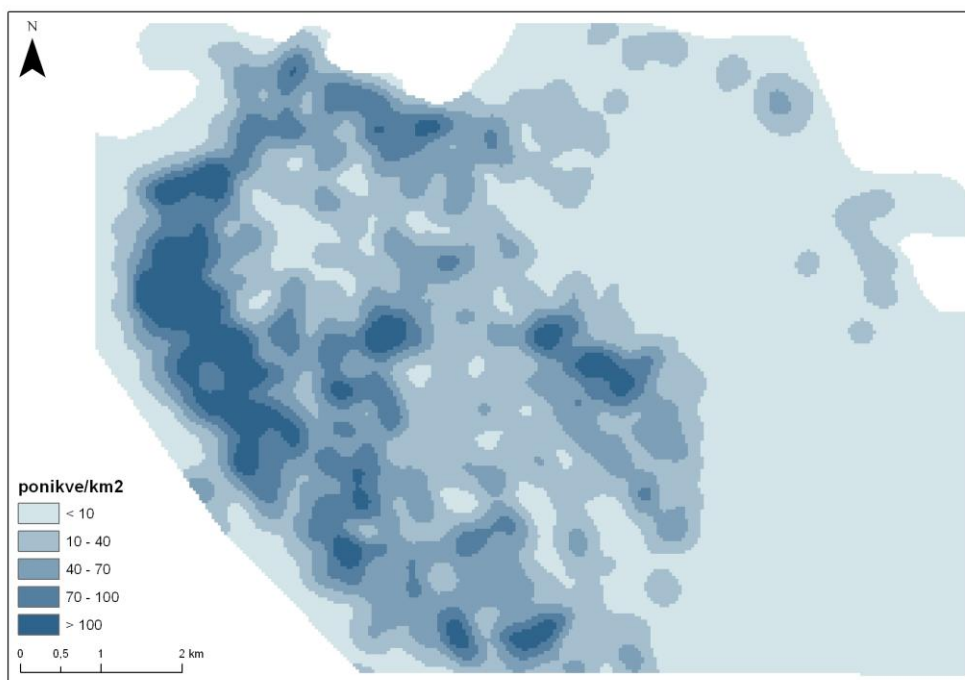
gustoća ponikava je smanjena zbog povećanih vrijednosti nagiba odnosno vertikalne raščlanjenosti reljefa. Područje manje gustoće ponikava na sjeverozapadu proizlazi iz karakteristika litološke podloge i morfometrije. Na tom području bilježimo i malo veće vrijednosti nagiba i energije reljefa od okolnog prostora, ali i sačuvani pliokvartarni pokrov. Na sjeveroistoku je rjeđa mreža ponikvi jer se razvijaju na karbonatnom flišu. Iako je fliš, zbog karbonatnog sastava, podložan koroziji, ponikve se slabije razvijaju nego u debelo uslojenim i gromadnim vapnencima. Nadalje, na sjeveroistoku je pliokvartarni pokrivač znatno manje denudiran, stoga na tim područjima ne nalazimo ponikve.

Korelacijom prostornog rasporeda ponikvi s prostornim rasporedom rasjeda nisu dobivene nikakve odrednice koje bi ukazivale da je međuovisnost spomenutih elemenata dominantan čimbenik razvoja reljefa. Međutim, korelacija prostornog rasporeda ponikvi s okršanim dolinama jest jedan od ključnih elemenata u interpretaciji razvoja reljefa. U suhim dolinama koje prolaze kroz okršavanje uglavnom se formira niz ponikava duž talvega. Talveg je nazaravnjeniji dio doline, prihvaća značajne količine površinskog otjecanja s dolinskih strana i omogućuje barem djelomično zadržavanje vode. Stoga je korozija najdjelotvornija duž talvega i zbog toga se formiraju ponikve u nizu. Na sl. 13 su istaknute okršene doline duž kojih nalazimo ponikve u nizu.



Sl. 13 Piktogram kartiranih ponikava s naznačenim nizovima ponikava duž dolina

Košpić (2010) u radu „GIS analiza prostornog razmještaja i morfoloških obilježja ponikava ozaljskog kraja“ detaljno analizira obilježja ponikvi ovog područja. Analizirajući oblike ponikvi izdvaja linearno izdužene ponikve te njihovu orijentaciju pružanja dovodi u vezu s pružanjem rasjeda. Za područje Vodenice se navode dva dominantna smjera pružanja linijski razvijenih ponikava: S – J i I – Z. Glavni rasjedi se također pružaju kroz dva smjeru, a to su također S – J i I – Z, što nam jasno ukazuje na poveznicu tektonike i deformacije ponikava (Košpić, 2010).



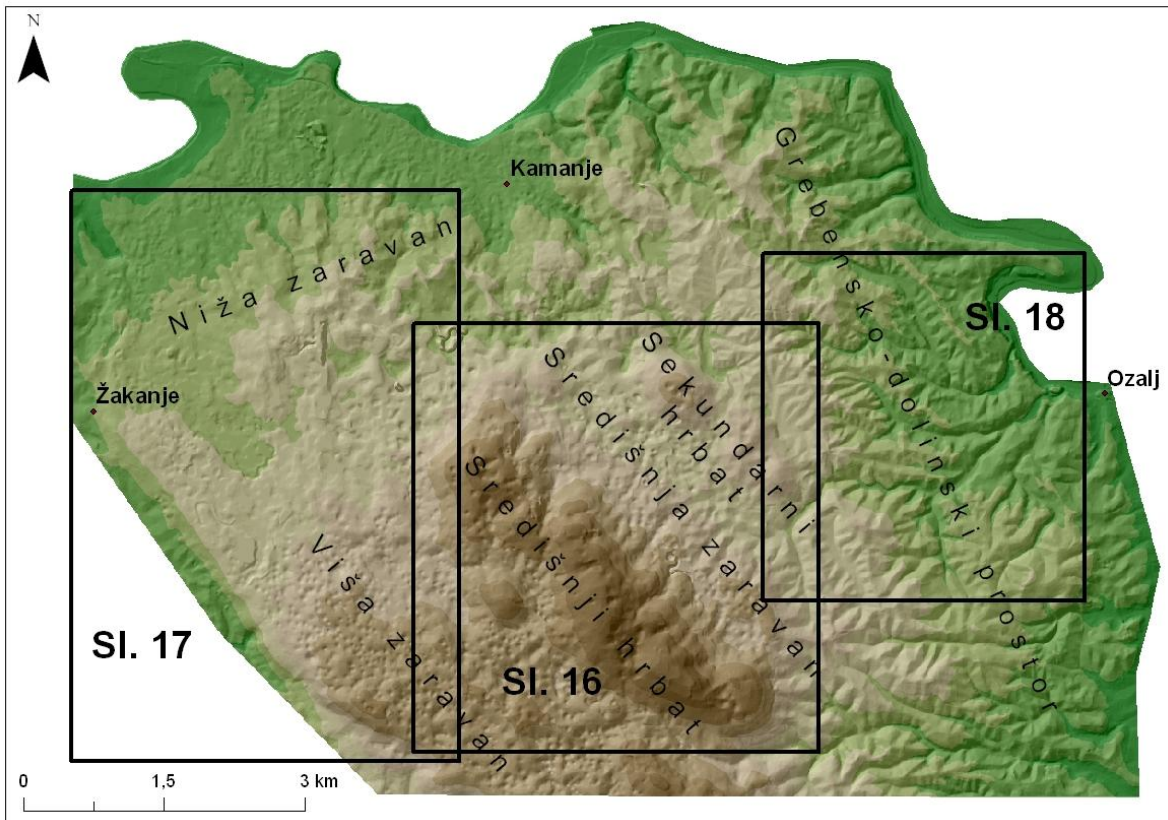
Sl. 104 Karta gustoće ponikava

## 5. Morfografija

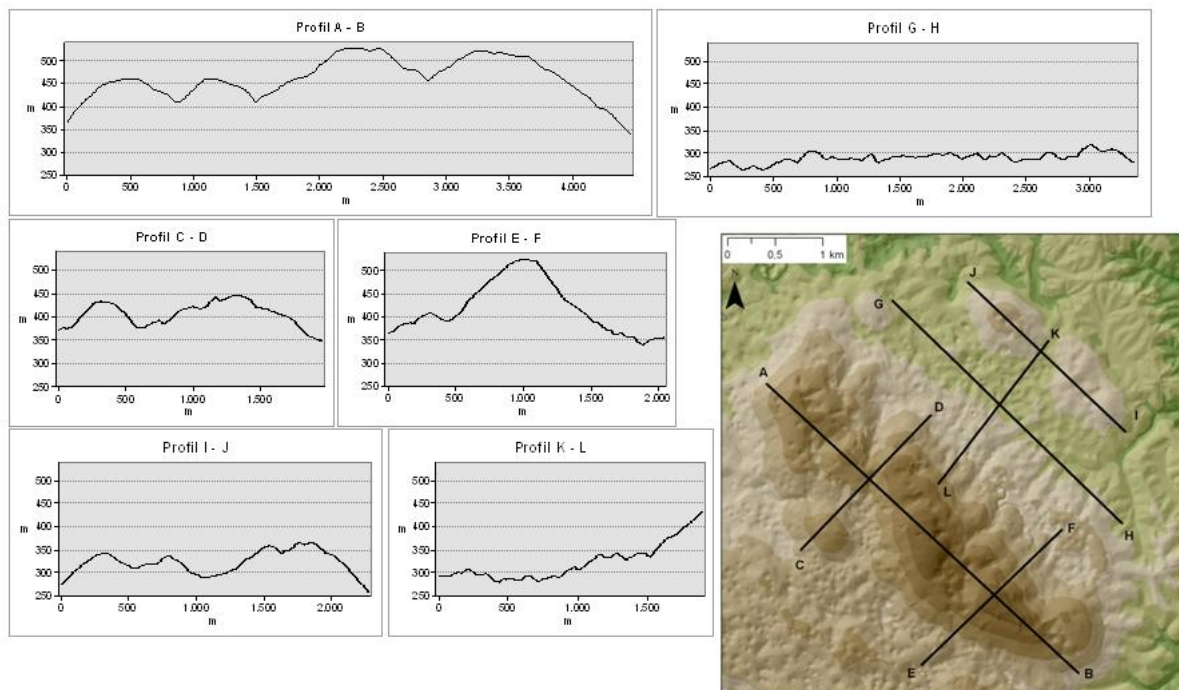
Najveći odraz u reljefu ima rijeka Kupa čije duboko usječeno korito polukružno omeđuje istraživano područje sa sjeverozapadne, sjeverne i sjeveroistočne strane. Najznačajnije uzvišenje je centralno pozicionirano pa se reljef, generalno gledajući, radijalno spušta od vrha Vodenica (537 m) u svim smjerovima. Pobrđe je uglavnom kompaktno i blago raščlanjeno, no ipak možemo izdvojiti nekoliko cjelina:

1. središnji hrbat- hipsometrijski najviši segment je hrbat izdužen u smjeru SZ-JI (sl. 15 i 16);
2. središnja zaravan sa sekundarnim hrbtom – zaravnjen prostor sjeveroistočno od središnjeg hrbta s manjim uzvišenjem izduženim u smjeru sjeverozapad – jugoistok (sl. 15 i 16);
3. sjeverozapadna (niža) krška zaravan – zaravan koja se blago spušta od sjeverozapadnog dijela hrpta prema dolini rijeke Kupe (sl. 15 i 17);
4. jugozapadna (viša) krška zaravan – nadmorski viša zaravan koja se nalazi jugozapadno od središnjeg hrpta, a od doline Kupe na zapadu je odvojena strukturnim strmcem čije pružanje prati smjer hrpta (SZ-JI) (sl. 15 i 17);
5. istočni i sjeveroistočni grebensko-dolinski prostor – raščlanjen grebensko-dolinski sustav koji se spušta od središnjeg uzvišenja prema dolini rijeke Kupe (sl. 15 i 18);

Središnji hrbat se sastoji od nekoliko segmenata, odvojenih ponikvastim sedlima ili uvalama, koji se jasno vide u uzdužnom profilu A - B (Sl. 6). Centralni najviši dio čine vrhovi Vodenica (537 m) i Stražnji vrh (525 m). Na jugoistoku se, odvojen manjim ponikvastim sedlom, nastavlja Vrh (453 m) koji se više otklanja prema istoku. Jugozapadno, južno i jugoistočno od Vrh se nadmorska visina značajno smanjuje (također vidljivo na profilu A – B uz točku B) stoga se južni kraj hrpta nalazi uz selo Veliki Erjavec. Sjeverozapadno od Vodenice hrbat je raščlanjeniji i niži. Sljedeći segment je Šuti vrh (460 m) nakon kojeg se nastavlja šira i prostranija Ribareva ravan (460 m). Zapadno od Vodenice tj. jugozapadno od pružanja hrpta nalazi se Jelen-vrh (447 m) koji je odvojen od ostatka hrpta krškom uvalom (vidljivo na profilu C – D, sl. 14). Profil E – F (sl. 16) pokazuje izraženost južnog višeg dijela hrpta u odnosu na okolni reljef, dok se na profilu C – D vidi raščlanjenost njegovog sjevernijeg dijela. Orijehtacija hrbta prati dinarsko pružanje.



Sl. 15 Pregledna karta morfoloških cjelina



Sl. 16 Presjeci središnjeg hrbta, središnje zaravni i sekundarnog hrbta

Središnja zaravan (duž profila G – H, sl. 16) dijeli središnji hrbat od sekundarnog hrbta. Visina joj varira od 250 do 350 m. Poprečni profilni presjeci (profil K – L, sl. 16) imaju konkavan oblik zbog omeđenosti uzvišenjima. Sekundarni hrbat (profil I – J, sl. 16) jest manje uzvišenje raspona visine 300 do 350 m s vrhovima Mosinje (370 m), Zdihovlje (338 m) i Ravan (344 m). Sjeveroistočna rasjedna padina je znatno strmija i označava prijelaz iz karbonatne u nekarbonatnu podlogu. I zaravan i hrbat svojim pružanjem prate preferirani dinarski smjer.

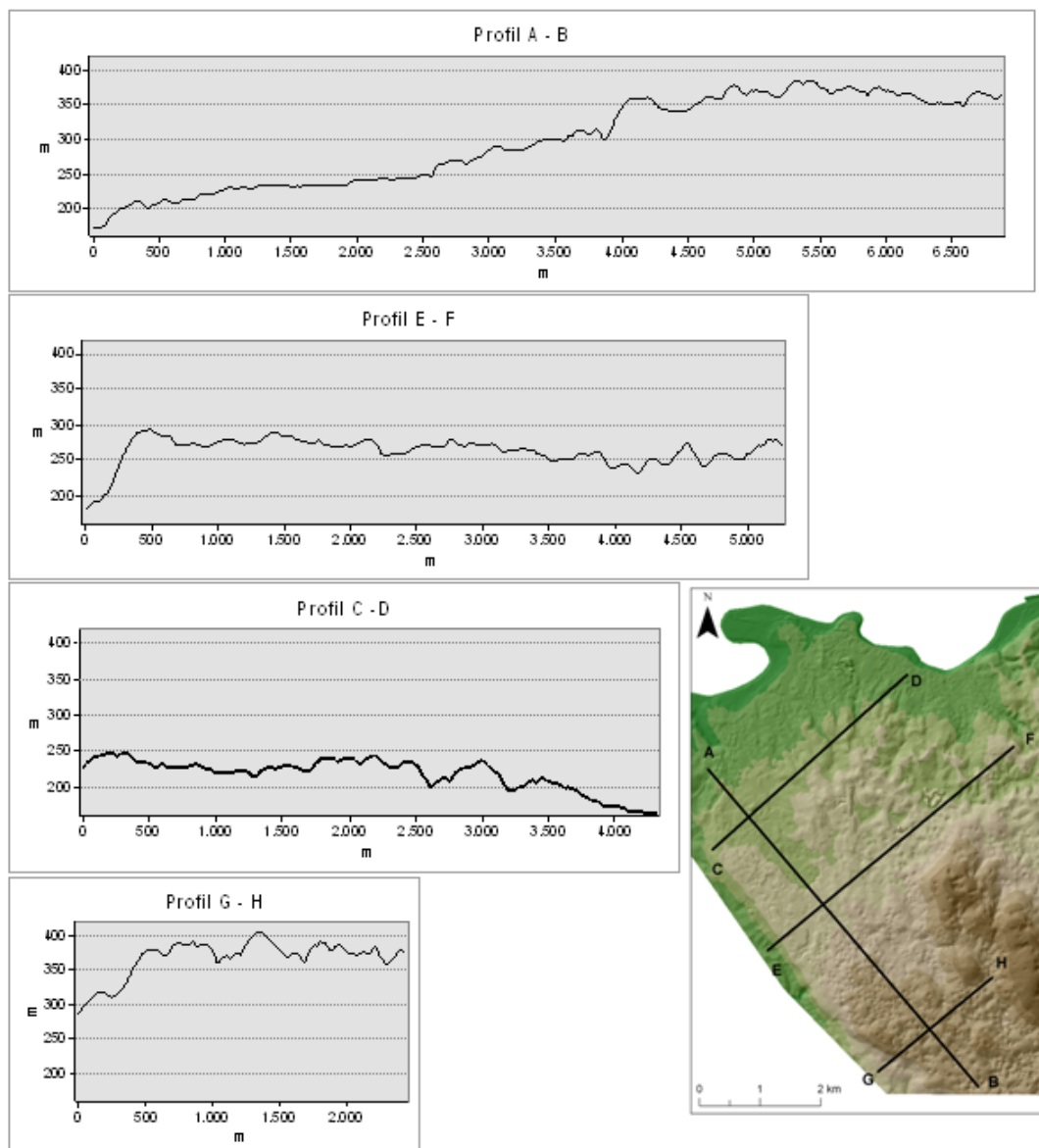
Sjeverozapadno i sjeverno od središnjeg hrpta se nalazi zaravan koja se spušta prema Kupi na krajnjem sjeverozapadu, a na zapadnoj strani je omeđena rasjednim strmcom. Zaravan karakterizira manja vertikalna raščlanjenost tj. male oscilacije u nadmorskoj visini na promatranom prostoru u rasponu od 200 do 300 m. Poprečni profili C – D i E – F (Sl. 7) ukazuju na male promjene nadmorske visine dekametarskih vrijednosti, dok se duž profila A – B (Sl. 7) vidi blagi konstantni pad prema dolini rijeke Kupe.

Jugoistočno na nižu zaravan se nastavlja viša zaravan s rasponom visina od 300 do 400 m. Sa sjeveroistočne strane se na nju nastavlja središnji hrbat, a na jugozapadu je omeđena strukturnim strmcom koji čini granicu prema široj dolini rijeke Kupe. Sjeverozapadni dio visoravni se spušta prema nižoj zaravni dok je jugoistočni dio raščlanjeniji i nema preferiranu orijentaciju pada reljefa (profil A – B, sl. 17). Unutar visoravni se ističu nizovi manjih uzvišenja i manjih depresija paralelnih s preferiranim pružanjem struktura (profil G – H, sl. 17). Uz strmi odsjek na jugozapadu se izdižu uzvišenja, najistaknutiji su Jugovski vrh (415 m) i Martinski vrh (383 m), nakon kojeg se paralelno u unutrašnjosti pruža izdužena depresija. U središtu visoravni prolazi uzvišenje koje depresiju između strmca i hrbta dijeli na dva dijela, a ističu se vrhovi Menik (420 m) i Munjačka Sambolka (407 m). Ipak, u cjelini ova zaravan nije znatno vertikalno raščlanjena.

Strukturni strmec koji ih omeđuje na jugozapadu također prati dinarski smjer pružanja i označava granicu tektonske jedinice navlaka Zvečaj- Metlika (vidljiv je na počecima profila E – F i G – H, sl. 17). Na jugu se čelo navlake otklanja prema istoku i poprima generalni smjer istok – zapad.

Sve tri zaravni su uglavnom karbonatnog sastava i imaju razvijenu vrlo gustu mrežu ponikava što ukazuje na dobro razvijen krški reljef.

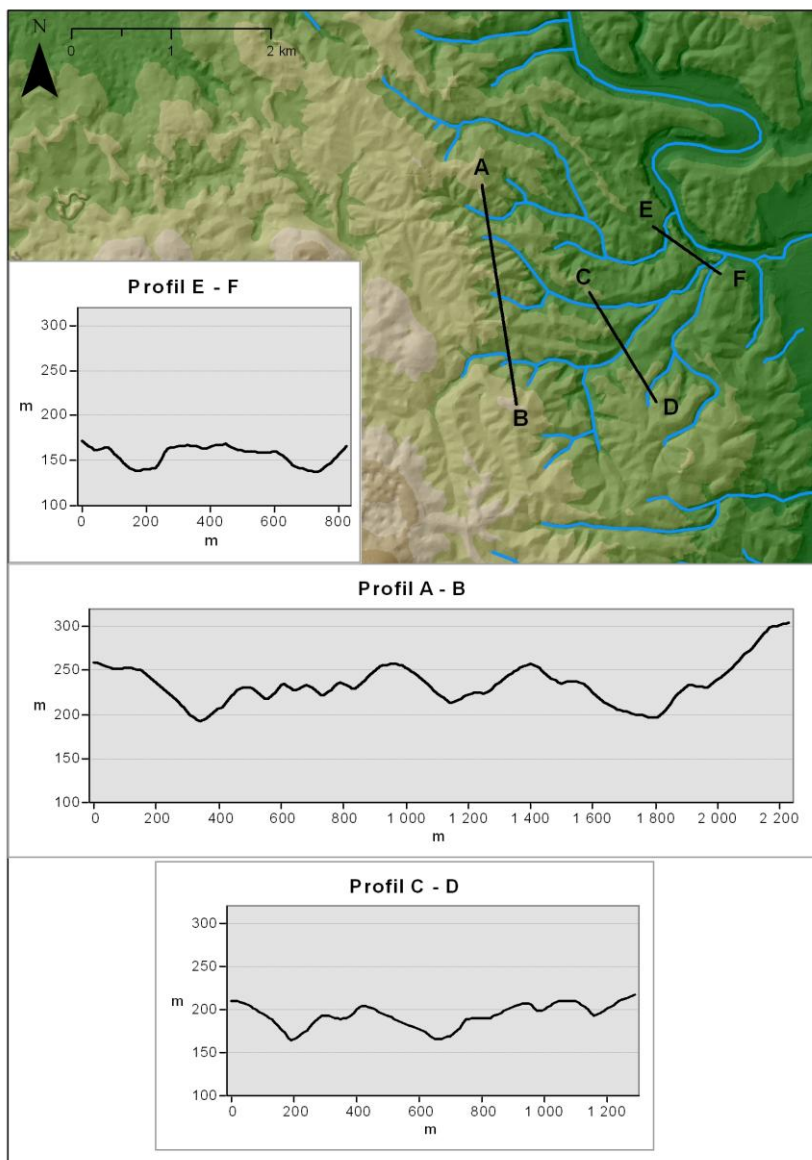




Sl. 17 Profilni presjeci krških zaravni

Mreža tekućica se dobro razvila od središnjih uzvišenih područja prema usječenom kanjonu rijeke Kupe na sjeveroistoku te prema širokoj dolini rijeke Kupe na istoku. Na ovom području, zbog gušće drenažne mreže od ostatka prostora, većina depresija predstavlja talvege povremenih i stalnih tokova dok uzvišenja predstavljaju grebene koji dijele doline tokova. Na profilu A – B (Sl. 8) uočavamo rebrasti reljef koji tvore doline triju glavnih tekućica i nekolicina sporednih dolina njihovih pritoka te grebeni koji ih razdvajaju. Prema sjeveroistoku se teren snižava, a tokovi se spajaju u dvije glavne tekućice, čije su doline vidljive na profilu E – F (sl. 18) prije njihovog ušća u rijeku Kupu. Slijepe doline iz

unutrašnjosti promatranog područja se kroz podzemni ponorski drenažni sustav nadovezuju na ovu površinsku drenažnu mrežu. Dio središnjeg područja se podzemnim sustavom odvodnjava prema sjevernom dijelu Kupe, no samu podzemnu razvodnicu ne možemo odrediti bez detaljnijih istraživanja.

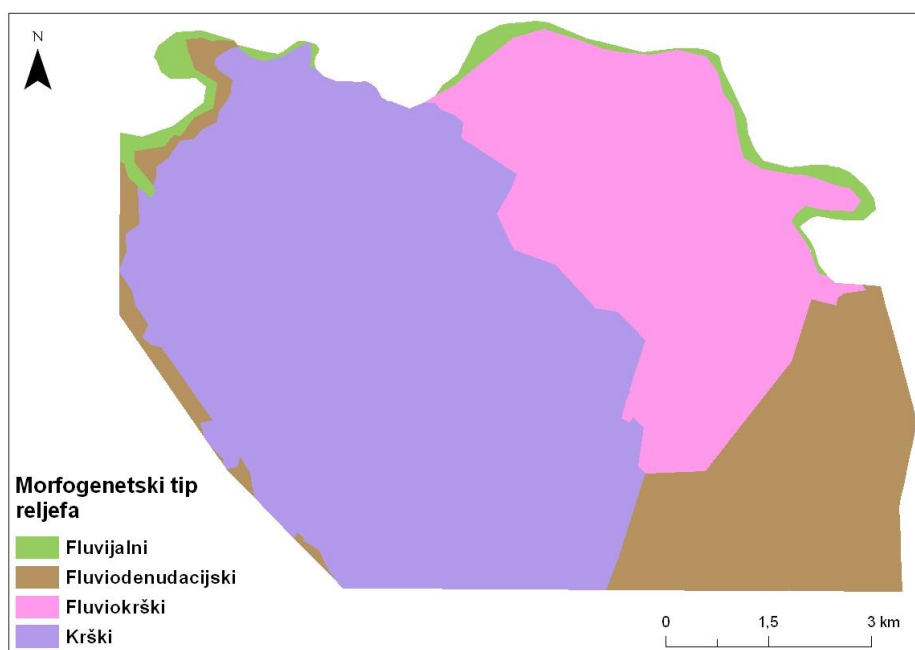


Sl. 18 Poprečni profili riječnih dolina

## 6. Morfogeneza

Morfogenetske tipove reljefa razlikujemo prema dominantnim geomorfološkim oblicima i procesima koji ih oblikuju. Za krški tip reljefa specifični su oblici ponikava, već navedene kao „dijagnostički krški oblik“ (Ford i Williams, 2007), i procesi korozije i podzemnog otjecanja koji ih oblikuju. Za fluvijalni i fluviudenudacijski tip reljefa su specifični oblici grebensko-dolinski sustavi oblikovani padinskim i procesima fluvijalne erozije. Fluviokrški tip reljefa sadrži elemente oba navedena tipa. Međutim, kod fluviokrškog reljefa gustoća ponikvi je manja zbog manje topivosti stijena i većeg značenja erozije nad korozijom što dovodi barem do djelomičnog razvoja površinske drenažne mreže. Dolinski sustavi u fluviokršu često prelaze u suhe ili slijepe doline s ponorima.

Prostor smanjen propusne moći karbonata (dolomiti, karbonatni fliš ili područja većih nagiba padina) podliježe fluvijalnim i derazijskim procesima koji oblikuju karakteristične morfološke oblike – doline. U propusnijim dijelovima pronalazimo relikte nekadašnjih fluvijalnih procesa, doline, koje se u novim geomorfološkim uvjetima modificiraju u suhe, slijepe i okršene doline. Na trenutno nepropusnim područjima nalazimo aktivne doline koje još ne podliježu okršavanju (Matas, 2009; Bočić, 2009; Bočić i dr., 2015).



Sl. 19 Karta morfogenetičkih tipova reljefa

Fluvijalni reljef (sl. 19) je vezan za dno doline rijeke Kupe. Rijeka Kupa teče kompozitnom dolinom koja se sastoji od proširenja i suženih kanjonskih dijelova. Stijenska



podloga u ovom morfofenetskom tipu reljefa je aluvij, stoga se procesi erozije i akumulacije zbivaju u vlastitom sedimentu tekućice.

Fluviudenudacijski reljef je dominantna komponenta na istočnom dijelu promatranog prostora (sl. 19) gdje nekarbonatna litološka podloga nije u potpunosti erodirana. Na nepropusnoj pliokvartarnoj litološkoj podlozi voda kao dominantni agens procesom erozije stvara drenažnu mrežu. Nepropusna podloga je mjestimično erodirana do stratigrafske podine koju čine propusni vapnenci i dolomiti, no drenažna mreža se ne prekida i ne ponire što bi moglo ukazivati na visoko vodno lice. Na područjima većih nagiba padina aktivni su i padinski procesi. Dominantni oblici koje prepoznajemo su: riječne doline, grebeni, jaruge, derazijske doline (prilog 1).

Fluviokrški reljef (sl. 19) nalazimo na sjeveru i sjeveroistoku istraživanog prostora. Dihotomija između propusnih i nepropusnih stijena koje se mozaično izmjenjuju dovodi do pojavi krških i fluviudenudacijskih oblika. Stoga na ovom području pronalazimo ponikve, međutim u manjoj gustoći nego na krškom području. Također nalazimo različite vrste dolina: aktivne, neaktivne i slijepe (prilog 1). Doline često započinju tipičnim fluviokrškim oblikom – izvorišnim oblukom, te često završavaju svoj nadzemni tok ponorima (prilog 1).

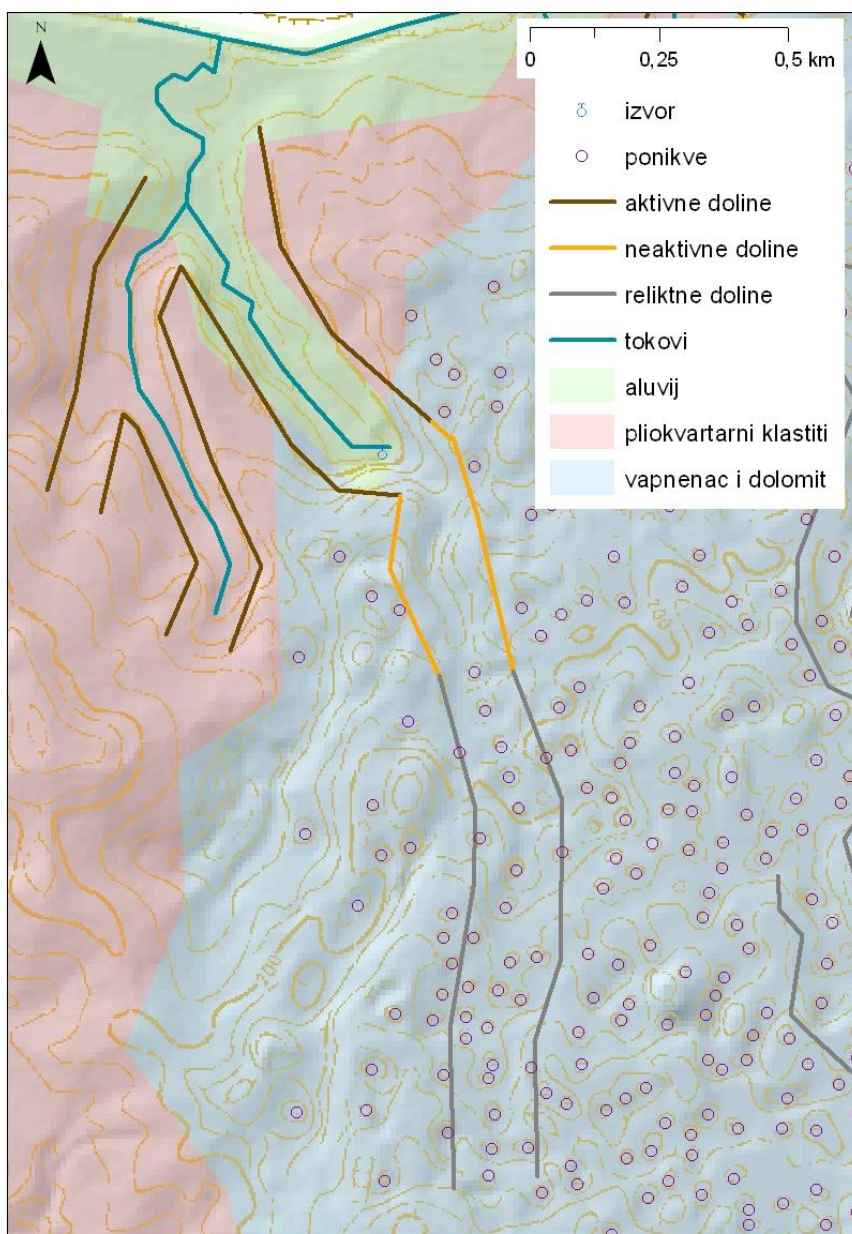
Na području fluviokrša se pojavljuje jedan specifičan geomorfološki oblik - krška zaravan pokrivena pliokvartarnim klastitima (prilog 1). Rubovi pokrivena zaravni su izbrazdani erozijom tekućica i derazijskim procesima, a klastitični pokrov omogućuje površinsko otjecanje i formiranje dolina. U smjerovima sjever, sjeveroistok i istok se formira površinska drenažna mreža prema rijeci Kupi, dok se prema jugu, jugozapadu i zapadu formiraju slijepe doline čiji povremeni tokovi poniru u rasjednom kontaktu s karbonatnom litološkom podlogom duž krških uzvišenja Mosinja i Zdihovlja.

Krš je razvijen na vapnencima i dolomitima koji su dominantna geološka komponenta promatranog prostora (sl. 19). Razvijen je u ponikvastom obliku s izrazito gustom mrežom ponikava. Glavne makromorfostrukture koje uočavamo su zaravni na kršu (veća na sjeverozapadu i zapadu i manja u središtu, prilog 1) i vapnenačko bilo. Zaravni su raščlanjene različitim mezomorfostrukturama poput nedefiniranih depresija, ponikvastih uvala i reliktnih okršenih dolina (prilog 1). Na područjima uzvišenja vapnenačkog i dolomitnog sastava gustoća ponikvi je znatno manja zbog morfometrijskih karakteristika, kako je to prethodno već opisano. Ovdje uglavnom pronalazimo pokriveni oblik krša (prilog 1).

## 7. Rasprava

Granice morfofenetskih tipova reljefa nisu statične u prostoru i vremenu te mogu varirati ovisno o promjenama na terenu. Najveće varijacije nastaju promjenama litološke podloge. Sedimentacija novog litološkog pokrova može promijeniti prethodne porozne uvjete te modificirati dominantne geomorfološke procese. Također, denudacijom stratigrafske krovine je moguće ekshimirati poroznu litološku podlogu što jednako tako izmjenjuje geomorfološke procese. U istraživanom prostoru promjene nastaju denudacijom pliokvartarnog klastičnog pokrivača što dovodi do ekshumacije karbonatne podine. Na pliokvartarnim klastitima se razvio fluviodenudacijski reljef čiji temelj površinsko otjecanje i erozija vodom. Uslijed otvaranja porozne karbonatne podloge dio površinskog otjecanja se počinje gubiti u podzemlju, te se pojavljuju specifični fluviokrški procesi i oblici. Uslijed potpune denudacije pliokvartarnih sedimenata i napretka okršavanja razvija se krški reljef čime isti prostor ponovno mijenja morfofenetski tip reljefa. Dinamika promjena u geomorfologiji reljefa se najviše očituje na razvoj i karakteristike fluviokrša, što možemo pratiti u fazama razvoja. Aktivne doline nastale fluviodenudacijskim procesima se u promjeni uvjeta modificiraju u suhe doline koje se u zadnjoj fazi razvoja okršavaju i gube klasične dolinske elemente. Okršavanje prvotne površinske drenažne mreže označava reorganizaciju drenažnog sustava u krško podzemlje. Faze razvoja reljefa i glavni elementi koji ih definiraju su dodatno opisani i objašnjeni kroz četiri primjera (primjeri A, B, C i D, slike 20, 21, 22, 23).

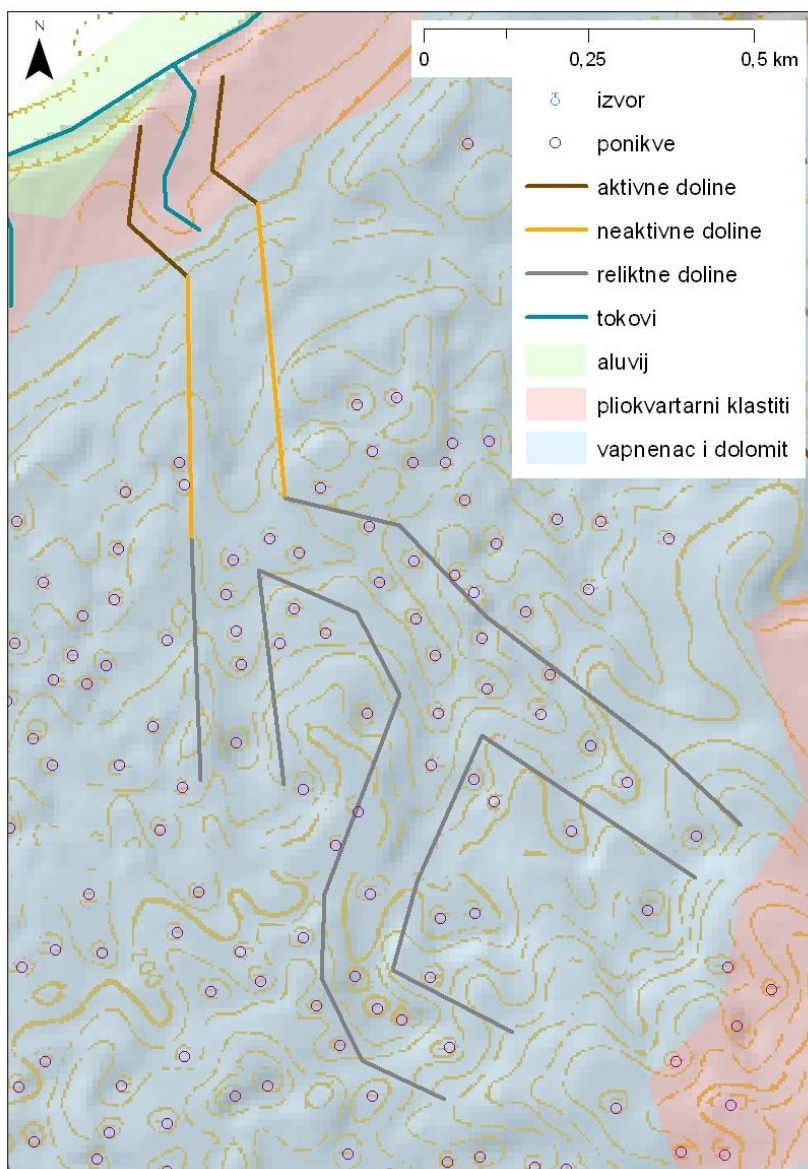
Na primjerima A i B (primjeri se nalazi uz rijeku Kupu, između Žakanja i Bubnjaraca, sl. 20 i sl. 21) vidljiva su sva tri tipa fluviokrških dolina (aktivna, neaktivna, reliktna; Bočić i dr., 2015) koje odgovaraju trima razvojnim fazama njihovog razvoja. Trenutno aktivna dolina se nalazi na nepropusnom pliokvartarnom pokrovu. Izvor toka je formiran na kontaktu nepropusnih stijena i propusnih karbonata, a na primjeru A (sl. 20) se jasno prepoznaje i izvorišni obluk. Uzvodno od izvora se nastavlja neaktivna (suha) dolina, koja još uvijek nije zahvaćena značajnijim procesima okršavanja za razliku od uzvodne reliktna doline koja je značajno okršena. Duž talvega reliktna doline nalazimo niz ponikava što ukazuje na dugu neaktivnost doline. Kad tekućica u danas aktivnom dijelu doline denudira svoju nepropusnu podlogu i dosegne propusne karbonatne stijene, proces deaktivacije doline će se nastaviti pomicati nizvodno.



Sl. 20 Primjer A - sustav doline s aktivnim, neaktivnim i reliktnim segmentima

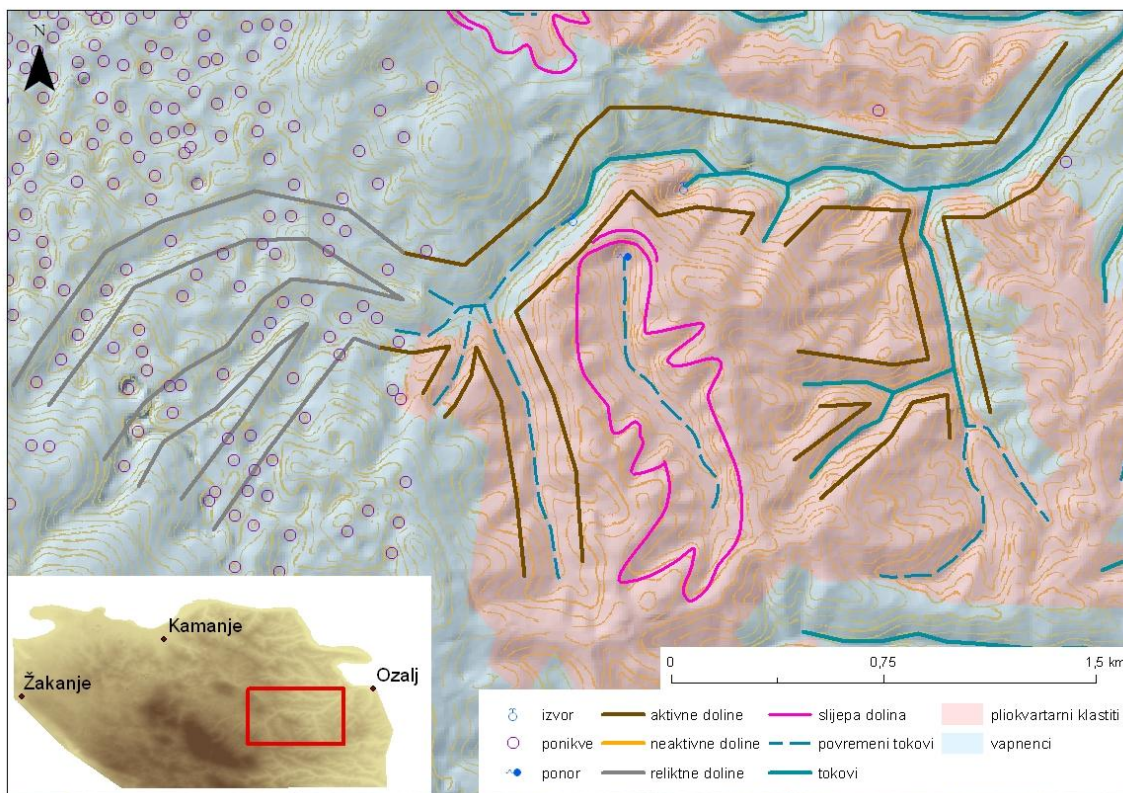
Na primjeru C (sl. 22) ne nalazimo neaktivan segment doline između reliktnog i aktivnog segmenta. S obzirom na dobro razvijenu mrežu ponikvi u reliktnim dolinama, može se zaključiti da tekućica već duže razdoblje nije skraćivala svoj tok kao u primjerima A i B (sl. 20 i sl. 21). Nadalje, ima aktivan segment usječen sve do karbonatne podloge pa bi bilo za očekivati pojavu prekida površinskog toka poniranjem. Razlozi tome mogu biti u većoj prihrani vodom s području preostalog nepropusnog pliokvartarnog pokrova, relativno visokoj razini vodnog lica ili većem udjelu dolomita u podlozi što bi trebalo dodatno istražiti.

Na primjeru C (sl. 22) uočavamo i slijepu dolinu formiranu na pliokvartarnim sedimentima. Ova dolina je nekada bila površinski spojena s glavnim dolinom, no denudacijom pliokvartarnog pokrova otvorila si je ponor u podzemlje. Ova dolina je i dalje u ponorskom kontaktu s glavnim dolinom, vjerojatno preko izvora Stari zdenac sjeveroistočno od ponora.



Sl. 21 Primjer B - sustav doline s aktivnim, neaktivnim i reliktnim segmentima



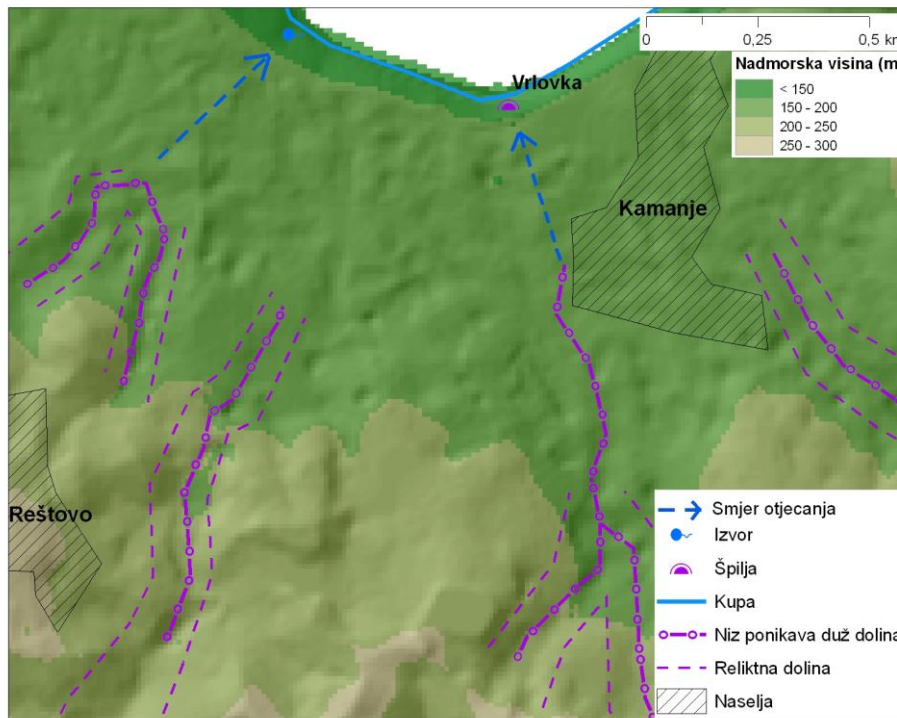


Sl. 22 Primjer C - sustav doline s aktivnim i reliktnim segmentima

Iz navedenih primjera može se zaključiti da se dolina uslijed okršavanja znatno lakše destruiru u nižim dijelovima. U višim dijelovima toka dolinske strane imaju veći nagib stoga se ponikve formiraju uglavnom niz talveg. U nižim djelovima toka su dolinske strane blažeg nagiba što omogućuje formiranje ponikvi i na dolinskim stranama. Nadalje formiranjem ponikvi na dolinskim stranama one se znatno izmjenjuju i postupno gube formu doline. Uslijed gubitka forme dolinskih strana i razvoja guste mreže ponikava teško je sa sigurnošću u potpunosti rekonstruirati mrežu reliktnih dolina kako su utvrdili i Bočić i dr. (2015).

S obzirom na široko i duboko rasprostranjenu vapnenačku podlogu, znatno okršenu površinu i ponore koje pronalazimo na širem području, jasno je zaključiti da je podzemni sustav kanala odnosno podzemna drenažna mreža zasigurno dobro razvijena jer je preuzela veći dio otjecanja prema rijeci Kupi. Samo okršavanje i gubitak aktivne funkcije dolina temelji se na procesu poniranja toka u porozno vapnenačko podzemlje i razvoju podzemnih provodnika. Razvoj takvog podzemnog otjecanja vidljiv je na primjeru D (Kamanje; sl. 23). Podzemni tokovi se ulijevaju u rijeku Kupu kao stalni ili povremeni izvori. Primjer povremenog izvora je špilja Vrlovka iz koje za viših voda istječe vodeni tok (Božičević,

1977; Bočić, 2013). Špilju Vrlovku na temelju njenog položaja možemo povezati s reliktnom dolinom u zaleđu, a to potvrđuje i pružanje špilje vidljivo na nacrtu (sl. 24). Špilja Vrlovka tako predstavlja podzemni provodnik nastao okršavanjem danas reliktne drenažne mreže na površini. Na temelju morfoloških obilježje špilje, možemo donijeti zaključke o napretku denudacije i promjenama u vodnom licu (Bočić, 2013). Najvjerojatnije je slična situacija i sa ostalim okršanim dolinama u blizini (sl. 23).

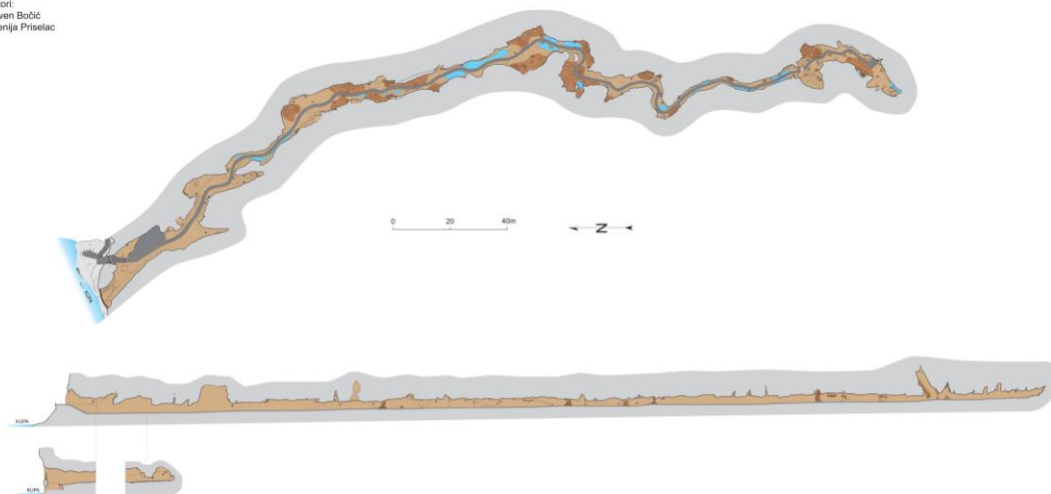


Sl. 23 Primjer D - skica sheme drenažnog sustava

## ŠPILJA VRLOVKA

KAMANJE, HRVATSKA

Autori:  
Neven Bočić  
Ksenija Prisilac



© Neven Bočić i Ksenija Prisilac  
Niti jedan dio ovog nacrtu se ne smije  
umnožavati, kopirati, reproducirati niti koristiti  
bez pisanog dopuštenja autora.  
KARLOVAC 2013

Izradu ovog nacrtu djelomično su financirali:  
Planinarsko društvo Vrlovka, Kamanje  
Javna ustanova za upravljanje zaštićenim prirodnim  
vrijednostima Karlovačke županije „Natura viva“

### Sl. 24 Nacrt špilje Vrlovke

Izvor: Bočić i Bočić, 2013

Ozaljsko pobrđe je u geomorfološkom smislu dio geomorfološke regije Unsko-koranske zaravni. Istraživano područje je najsjeverniji fragment Unsko-koranske zaravni koji je odvojen i izmijenjen uslijed tektonskih pokreta te kao takav ima slične morfološke karakteristike kao i ostatak zaravni. Usporedba distribucije nadmorskih visina ostatka Unsko-koranske zaravni (Bočić i dr., 2010 i Bočić i dr., 2015) s istraživanim prostorom ukazuje na podudaranje distribucije visina. Utvrđena je velika sličnost u geološkoj građi i geomorfološkim obilježjima ovog prostora s cijelom Unsko-koranskom zaravni. Denudacija nepropusne podloge te okršavanje nekad aktivnih dolina je specifičnost koja karakterizira cijelu Unsko-koransku zaravan (Bočić i dr., 2015).

Gustoća ponikvi pokazuje da je okršavanje duže vremena aktivno na zapadnom dijelu promatranog prostora. Zaravnjenost terena na tom području pogoduje razvoju guste mreže ponikvi. Središnji hrbat, za kojeg možemo na temelju strukturnih odnosa pretpostaviti da je duže vremena podvrgnut okršavanju od okolnog prostora, bilježi znatno manju gustoću ponikvi. Takve karakteristike prostornih elemenata proizlaze iz morfometrijskih parametara – ponikvi se teže ili nikako razvijaju na većim nagibima padina (Pahernik, 2012). Na temelju

okršenosti terena i rasporeda ostataka djelomično denudirane geološke krovine možemo pretpostaviti da je na zapadnom i jugozapadnom dijelu pliokvartarni pokrivač denudiran znatno ranije, moguće zbog neotektonske aktivnosti. Na temelju opažanja ranije denudiranog prostora možemo izvesti zaključke o razvoju prostora kojem tek slijedi ta faza denudacije. Sličnim principom možemo izvesti zaključke iz prošlosti razvoja reljefa na temelju pokrivena krške zaravni. Možemo pretpostaviti da je način denudacije, odnosno razvoj jaruga i derazijskih cirkusa na rubu pokrivena zaravni iz kojih se zatim razvijaju doline i tokovi, bio jednak na cijelom području prije denudacije pliokvartarnog pokrova.

Viseće doline uglavnom nastaju kao produkt promjene razine vodnog lica, a mogu nam ukazivati i na dužinu perioda okršavanja. Veća razlika između viseće i glavne doline ukazuje na raniji početak okršavanja, dok manja razlika ukazuje na veću snagu usjecanja tekućice (Bočić i dr., 2015). Dvije viseće doline koje se nalaze na jugozapadu promatranog područja bilježe veliku razliku (manja oko 80 m, a veća preko 100 m) u visini glavne i sporedne doline. Iako je ovo područje izrazito okršeno, što nam ukazuje velika gustoća ponikvi, velika visinske razlika najvjerojatnije proizlazi iz drugog čimbenika. Doline presjeca rasjed koji čini čelo tektonske navlake te se tektonskim navlačenjem ovdje stvorio strukturni strmac.



## 8. Zaključak

Morfometrijski parametri (vrijednosti nagiba padina i vertikalne raščlanjenosti reljefa) i dominantni geomorfološki oblici ukazuju da je ovo dominantno denudacijski prostor. Akumulaciju materijala pronalazimo na izrazito malim područjima, uglavnom vezanih uz tok rijeke Kupe, koja predstavlja erozijsku bazu promatranog područja. Dio denudiranog materijala se taloži u podzemnom krškom području, dok se dio prenosi nadzemnim i podzemnim tokovima van promatranog područja. Stoga su dominantni geomorfološki oblici također denudacijskog karaktera. Na krškim i fluviokrškim područjima su ponikve nastale djelovanjem korozije, a na fluviudenudacijskim su jaruge i doline nastale erozijskim djelovanjem. Na fluviokršu nalazimo slijepe i suhe doline oblikovane erozijom i korozijom.

Na promatranom prostoru se javljaju četiri morfogenetska tipa reljefa: krški i fluviokrški te fluviudenudacijski i fluvijalni. Fluvijalni reljef je razvijen samo uz korito rijeke Kupe, lokalne erozijske baze. Krški reljef vezan je za terene izgrađene od karbonatnih stijena dok je fluviudenudacijski reljef uglavnom vezen za mlađe slabo litificirane pliocenske klastite. Specifičnost fluviokrša istraživanog područja je vezan za denudiranje pliokvartarnih klastita i ekshumaciju karbonatne podine. Morfogenezu fluviokrša može se sagledati kroz ove tri faze:

- 1. faza Razvoj fluviudenudacijskog reljefa na nepropusnim pliocenskim pijescima i šljuncima.
- 2. faza: Denudacijom stratigrafski najmlađeg pokrova mezozojski karbonati dolaze na površinu i započinje sljedeći (prijelazni) stadij razvoja reljefa – fluviokrški stadij. Uz dosadašnje fluviudenudacijske procese javljaju se i (fluvio)krški procesi te tvore svojevrsni mozaik krških i fluvijalnih morfoloških oblika.
- 3. faza. Potpunom denudacijom pliocenskog pokrova i razvojem i jačanjem krških oblika dolazi do posljednjeg stadija – krškog reljefa.

Napredovanje u razvoju možemo pratiti kroz stadije deaktivacije fluviokrških dolina. U fluvijalnom stadiju su formirane aktivne doline sa svim tipičnim dolinskim obilježjima, u fluviokrškom stadiju one gube svoj tok i postaju neaktivne, dok u krškom stadiju bivaju preoblikovane krškom denudacijom tj. korozijom. U krškom stadiju se razvijaju ponikve duž talvega doline te dolina sve više gubi tipičnu dolinsku morfologiju. Ipak, na flišnoj podlozi se okršavanje razvija znatno sporije. U istraživanom prostoru na flišnoj podlozi pretežno

uočavamo fluviokršku fazu, dok se krška faza nalazi samo na manjim flišnim područjima koja su duže izložena okršavanju. Samom deaktivacijom dolina drenažni sustav prelazi u podzemlje gdje funkciju dolina preuzimaju speleološki objekti.

## Literatura i izvori

1. Bočić, N., 2003.: Reation between karst and fluviokarst relief on the Slunj plateau (Croatia), *Acta Carsologica*, 32.(2.), str. 137-146.
2. Bočić, N., 2009.: Geomorfološke značajke prostora Slunjske zaravni, doktorska disertacija, *Prirodoslovno - matematički fakultet*, Zagreb
3. Bočić, N., 2013: Geološka obilježja špilje Vrlovke. U: Mlačak, K.: Naših prvih 15, ljetopis Planinarskog društva Vrlovka 1998.-2013. PD Vrlovka, Kamanje, 26-28
4. Bočić, N, Bočić, K., 2013.: Nacrtna špilja Vrlovke, PD Vrlovka, *JU Natura Viva*, Karlovac
5. Bočić, N., Pahernik, M., Bognar, A., 2010.: Geomorfološka obilježja Slunjske zaravni, *Hrvatski geografski glasnik*, 72.(2.), 5-26
6. Bočić, N., Pahernik, M., Maradin, M., 2016.: Temeljna geomorfološka obilježja Karlovačke županije, *Prirodoslovlje*, 16 (1-2), 153-172.
7. Bočić, N., Pahernik, M., Mihevc, A., 2015.: Geomorphological significance of the paleodrainage network on a karst plateau: The Una-Korana plateau, Dinaric karst, Croatia, *Geomorphology*, 247, 55-65
8. Bognar, A., 2001.: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34.(1.), str. 7-26.
9. Božičević, S., 1977, Špilja Vrlovka u Kamanju. Kulturni i prirodni spomenici Hrvatske, *Zbirka vodiča „Kajkavskog spravišća“*, Zagreb, 16 str.
10. Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., Čakalo, M., 1983.: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 list Črnomelj L33-91
11. Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., Čakalo, M., 1983.: Tumač osnovne geološke karte za list Črnomelj L33-91
12. Buzjak, N., 2006: Geomorfološke i speleomorfološke značajke Žumberačke gore i geokološko vrednovanje endokrškog reljefa, doktorska disertacija, *Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet*, Zagreb.
13. Ford, D. C., Williams, P.W., 2007.: karst Hydrogeology and Geomorphology, *Wiley*, Chichester
14. Gams, I., 1974.: Kras, *Slovenska matica*, Ljubljana
15. Gams, I., 1998.: Morfogenetika klasičnega krasa, *Acta Carsologica*, 27.(2.), str. 181-198
16. Herak, M., 1984.: Geologija, *Školska knjiga*, treće izdanje, Zagreb

17. Herak, D., Herak, M., Tomljenović, B., 2009.: Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia, *Tectonophysics*, 465, 212-220
18. Košpić, N., 2010.: GIS analiza prostornog razmještaja i morfoloških obilježja ponikava ozaljskog kraja, diplomski rad, *Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet*, Zagreb
19. Lozić, S., 1995.: Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 30, 17-28
20. Matas, M., 2009.: Krš Hrvatske: geografski pregled i značenje, *Geografsko društvo – Split*, Zagreb
21. Pahernik, M., 2000.: Prostorni raspored i gustoća ponikava SZ dijela Velike Kapele – rezultati računalne analize susjedstva, *Geoadria*, 5., 105-120.
22. Pahernik, M., 2012.: Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, *Hrvatski geografski glasnik*, 74(2), 5-26.
23. Perica, D. 1998.: Geomorfologija krša Velebita, doktorska disertacija
24. Roglić, J., 1951.: Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera geomorfološka promatranja, *Geografski glasnik*, 13., 49-68
25. Roglić, J., 1957.: Zaravni na vapnencima, *Geografski glasnik*, 19., 103-134
26. Roglić, J., 1981.: Za objektivniji i usklađen koncept geomorfologije, *Hrvatski geografski glasnik*, 43 (1), 9-22.
27. Roglić, J., Baučić, I., 1958.: Krš u dolomitima između Konavoskog polja i morske obale, *Hrvatski geografski glasnik*, 20.(1.), 129-13

## Popis slika

Sl. 1 Pregledna geografska karta promatranog prostora.....	4
Sl. 2 Geomorfološki položaj promatranog područja.....	5
Sl. 3 Pregledna geološka karta.....	7
Sl. 4 Hispometrijska karta.....	9
Sl. 5 Histogram distribucije udjela površina razreda nadmorske visine.....	9
Sl. 6 Karta nagiba padina.....	10
Sl. 7 Histogram udjela površina razreda nagiba padina.....	11
Sl. 8 Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa po kilometru kvadratnom.....	12
Sl. 9 Karta vetikalne raščlanjenosti reljefa po 0,1km <sup>2</sup> .....	13
Sl. 10 Karta vetikalne raščlanjenosti reljefa po hektaru.....	13
Sl. 11 Karta ekspozicija padina.....	14
Sl. 12 Distribucija udjela površina razreda ekspozicije padina.....	15
Sl. 13 Piktogram kartiranih ponikava s naznačenim nizovima ponikava duž dolina.....	16
Sl. 14 Karta gustoće ponikava.....	17
Sl. 15 Pregledna karta morfografskih cjelina.....	19
Sl. 16 Profilni presjeci središnjeg hrbta.....	19
Sl. 17 Profilni presjeci krških zaravni.....	21
Sl. 18 Poprečni profili riječnih dolina.....	22
Sl. 19 Karta morfo-genetskih tipova reljefa.....	23
Sl. 20 Primjer A - Sustav doline s aktivnim, neaktivnim i reliktnim segmentima.....	27
Sl. 21 Primjer B - Sustav doline s aktivnim, neaktivnim i reliktnim segmentim.....	28
Sl. 22 Primjer C - Sustav doline s aktivnim i reliktnim segmentima.....	29
Sl. 23 Primjer D - Skica sheme drenažnog susta.....	30
Sl. 24 Nacrt špilje Vrlovke.....	31

## Popis grafičkih priloga

Prilog 1: Geomorfološka karta šireg područja Kamanja