

PROSTORNI RASPORED I GUSTOĆA PONIKAVA SZ DIJELA VELIKE KAPELE – REZULTATI RAČUNALNE ANALIZE SUSJEDSTVA

MLADEN PAHERNIK
Hrvatsko vojno učilište
UHKOV, Zagreb
Croatian Military Academy
UHKOV, Zagreb

UDK: 911.2:551 (497.5)
Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Primljeno: 2000-07-19
Received:

Primjenom metoda GIS-a temeljenih na analizi susjedstva promatran je prostorni raspored i gustoća ponikava u SZ dijelu Velike Kapele. Rezultati dobiveni analizom formiranih prostornih baza podataka ukazuju na prostorni raspored pukotina odnosno rasjeda, ali i intenzitet veze između pružanja i gustoće ponikava, te utvrđenih lineamenta. Usporedbom rasjeda određenih temeljem analize ponikava, sa rasjedima vidljivih na digitalnom modelu reljefa (DEM), te rasjedima uočenim terenskim kartiranjem određene su temeljne tektonske cjeline, odnosno tektonski blokovi unutar istraživanog područja. Veći regionalni i lokalni rasjedi determinirani na digitalnom modelu reljefa odvajaju pojedine tektonske cjeline, dok manji lokalni rasjedi izvedeni na temelju linearno razvijenih ponikava, uglavnom razdvajaju manje tektonske blokove, te ukazuju na deformacije i ispucanost pojedinog bloka.

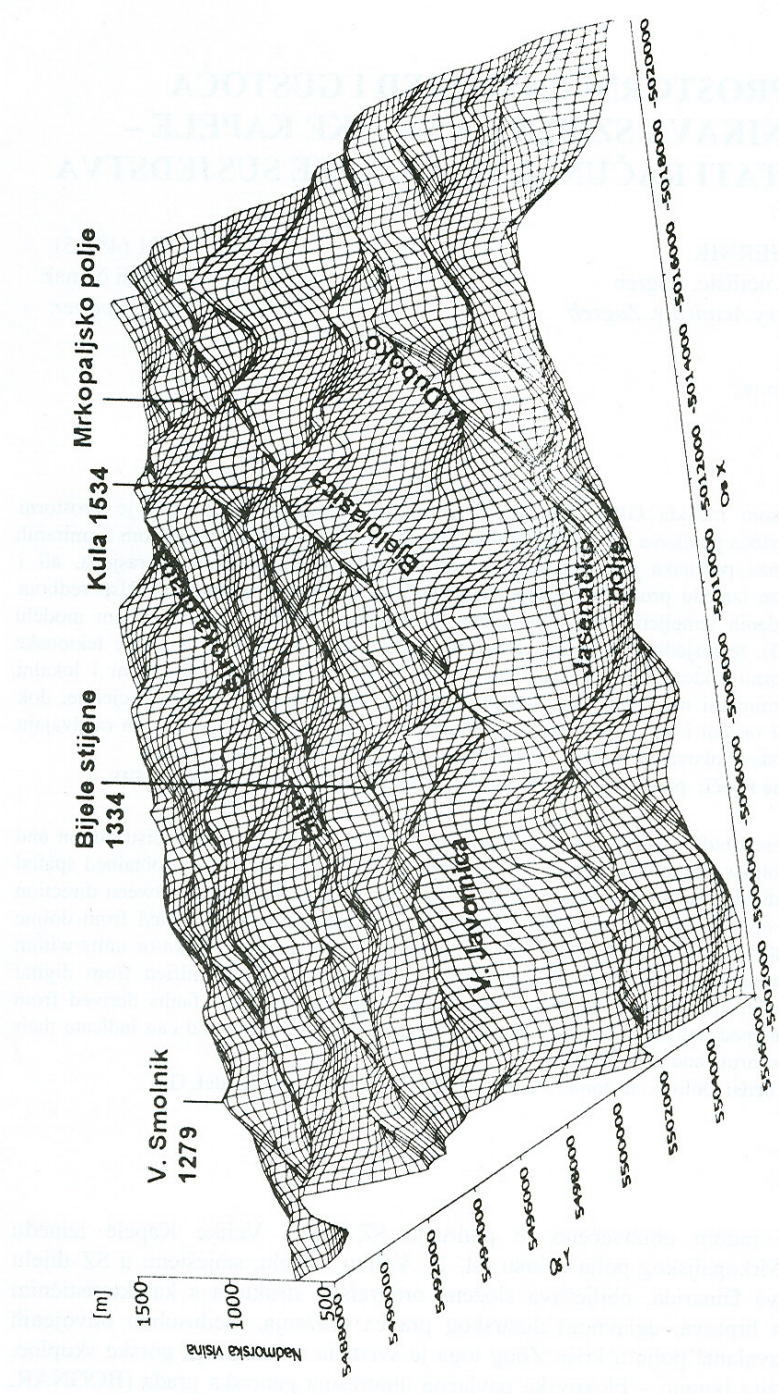
Ključne riječi: ponikve, tektonika, Velika Kapela, digitalni model reljefa, GIS

GIS based buffer analysis methods were applied for analysing spatial distribution and density of dolinas in the NW part of Velika Kapela. Results extracted from existing spatial databases indicated spatial distribution of faults, as well as a degree of relationship between direction and density of dolinas with identified lineaments. By comparing faults identified from dolina analysis, with faults identified during on-situ mapping, major tectonic blocks or units within researched area were identified. Bigger regional and local faults identified from digital elevation model are dividing larger tectonic units, while smaller local faults derived from linearly developed dolina are mostly dividing smaller tectonic blocks and can indicate their degree of faultness and deformities.

Key words: Dolines, tectonic, Velika Kapela, digital elevation model, GIS

Uvod

Ovim radom obuhvaćeno je područje SZ dijela Velike Kapele između Jasenačkog i Mrkopaljskog polja u kršu (sl. 1). V. Kapelu, smještenu u SZ dijelu gorskog sustava Dinarida, obilježava složena orografska struktura s karakterističnim nizom gorskih hrptova, uglavnom dinarskog pravca pružanja, međusobno odvojenih udolinama i zavalama polja u kršu. Zbog toga je svrstana u kategoriju gorske skupine, koju karakterizira borano – blokovska navlačna unutrašnja genetska građa (BOGNAR, 1987.).



Sl. 1. Istraživano područje, 3D prikaz reljefa
Fig. 1. Discovered area, 3D relief presentation

Ponikve kao karakterističan reljefni oblik krškog prostora odavno su privlačile pozornost mnogobrojnih autora u rješavanju problema vezanih za različitosti u dinamici pojavljivanja, dimenzijama, te morfologiji. Početak morfografske klasifikacije ponikava vezan je za radove J. Cvijića (1895), te čitav niz istraživanja ponikava temeljem Cvijićevih metoda od strane različitih istraživača (WILLIAMS 1972., JENNINGS, 1975., DAY, 1983.), a čiji rezultati nisu dali pouzdanije odgovore o nastanku i evoluciji ponikava. Pregled razvoja teorije o postanku ponikava urušnim odnosno korozijskim porijeklom dao je S. Bahun (1968.) u svom radu "On the formation of karst dolinas". Spomenuti autor na temelju oblika i rasporeda ponikva, hidrogeoloških karakteristika stijena, te rekonstrukciji geoloških zbivanja u prostoru između Vrbovskog i Slunja iznosi mišljenje o kompleksnoj genezi ponikava unutar dviju razvojnih faza. U prvoj, snižavanjem površine dolazi do urušavanja i stvaranja inicijalnog udubljenja, koje se u drugoj fazi oblikuje korozijskim procesom. Novija istraživanja morfologije ponikava na temelju rezultata morfometrije (ŠUŠTERŠIĆ, 1985.), odbacuju klasičnu Cvijićevu (1895.) definiciju ponikve, i njegovu vizualnu morfološku podjelu ponikava na tanjuraste, ljevkaste i bunaraste. Nastanak ponikava autor pripisuje prvenstveno snižavanju reljefa, raspadom stijenske mase, odnosno odrazom litoloških osobina i sitnom ispucanošću podloge. Daljnja razgradnja i oblikovanje ponikava posljedica je pleistocenog, periglacialnog oblikovanja, a ne fluvijalnog. Autor to objašnjava izmjerenim položajem najdublje točke u ponikvi koja se nalazi bliže južnoj nego sjevernoj padini, zbog intenzivnijih periglacialnih procesa na prisojnim, sjevernim padinama ponikava (ŠUŠTERŠIĆ, 1994.).

Analiza gustoće i prostornog rasporeda ponikava koristi se kao jedna od metoda analize morfostrukturnih osobina pojedinih reljefnih cjelina krških područja. Tako novija istraživanja prostornog rasporeda i gustoće ponikava te recentnih deformacija unutar geoloških struktura, različitim metodama utvrđuju značajnu vezu između promatranih pojava (MIHLJEVIĆ, 1994.; FAIVRE & REIFFSTECK, 1999.). Rezultati istraživanja pokazuju da "opći" prostorni raspored ponikava ovisi o litološkim i klimatskim karakteristikama, dok je točan položaj definiran tektonskim osobinama područja (FAIVRE & REIFFSTECK, 1999.).

Metode istraživanja

Računalna obrada velikog broja podataka osigurava osim brzine i veće točnosti rada i čitav niz dodatnih kvalitativnih i kvantitativnih analiza čija bi ručna obrada bila vrlo teška odnosno gotovo nezamisliva. Primjenom GIS-a u analizi reljefa otvara se mogućnost lakše uporabe klasičnih geomorfoloških metoda u novom obliku, te razvoj novih, ali i brža korelacija podataka sa različitim istraživanjima drugih geoznanstvenih disciplina. Za potrebe ovog rada korišten je geografsko informacijski sustav ArcView 3.1. tvrtke ESRI.

Digitalizacijom ponikava sa topografskih podloga mjerila 1 : 25 000 stvorena je osnova prostorne baze podataka. Prikazom x i y koordinata dobiven je piktogram rasporeda i gustoće ponikava u istraživanom prostoru, kao temeljni sloj za potrebe daljnje analize. Metoda susjedstva, temeljna metoda korištena u ovom radu predstavlja klasifikaciju intenziteta promatrane pojave (temeljenu na kreiranim zonama određenog radijusa) oko svakog elementa. Vrednovanjem broja zona susjednih ponikava unutar

prostorno orijentiranih kvadrata, određena je gustoća i smjer pružanja linearno razvijenih ponikava. Tako će se primijenjenom metodom u prostoru velike gustoće ponikava dobiti najveća koncentracija ponikava (one koje imaju najveći broj susjeda), najčešće linearnog pravca pružanja zbog čvrste veze sa pružanjem rasjeda ili pukotina.

Postavljena veličina kvadrata iznosila je 10 metara, a zona oko pojedine ponikve određena je radijusom od 100 metara. Dani parametri pokazali su najbolji odnos prilikom prikaza prostorne distribucije pojave. Novostvoreni sloj gustoće ponikava, zbog rasterske strukture podataka, vrlo je jednostavno transformirati u GRID format i kao takvog analizirati sa drugim morfometrijskim parametrima morfostrukturne analize. Tu se prvenstveno misli na podatke dobivene iz digitalnog modela reljefa (DEM) vezane za hipsometrijske razrede te nagib i ekspoziciju padina. GRID format predstavlja rasterske modele podataka koje koristi informacijski sustav ArcInfo, a pogodni su međusobnu preklapanje slojeva i različite prostorne analize.

Daljnja analiza uključila je obilježavanje smjera pružanja linearno razvijenih ponikava na modelu prostornog rasporeda i gustoće, te određivanje jakosti veze temeljem vrijednosti gustoće po jediničnom kvadratu. Jačinu veze određivao je, osim spomenutog kriterija, i kontinuitet linijskog pružanja ponikava. Preklapanjem slojeva gustoće ponikava i pružanja pukotina dobivenih linijskim rasporedom ponikava, načinjeni su histogrami statističkog odnosa jačine veze pojedinog rasjeda sa vrijednostima razreda gustoće ponikava temeljem kojih su određeni. Valja napomenuti da dobiveni raspored i pružanje pukotina odnosno rasjeda na temelju prostorne analize ponikava predstavlja jedan segment u ukupnoj analizu tektonike, unutar krškog prostora. Nadopuna podataka o tektonskim karakteristikama izvršena je određivanjem većih rasjeda pomoću digitalnog modela reljefa, te su određene strukturne cjeline istraživanog područja. Kako je ono intenzivno maskirano vegetacijskim pokrovom, spomenuti trodimenzionalni prikaz reljefa olakšava uočavanje i isctavanje tektonskih elemenata u odnosu na detekciju pomoću aerofoto odnosno satelitskih snimaka. Trase rasjeda jasno se uočavaju kao brazde i usjeci između pojedinih strukturnih oblika.

Analiza podataka

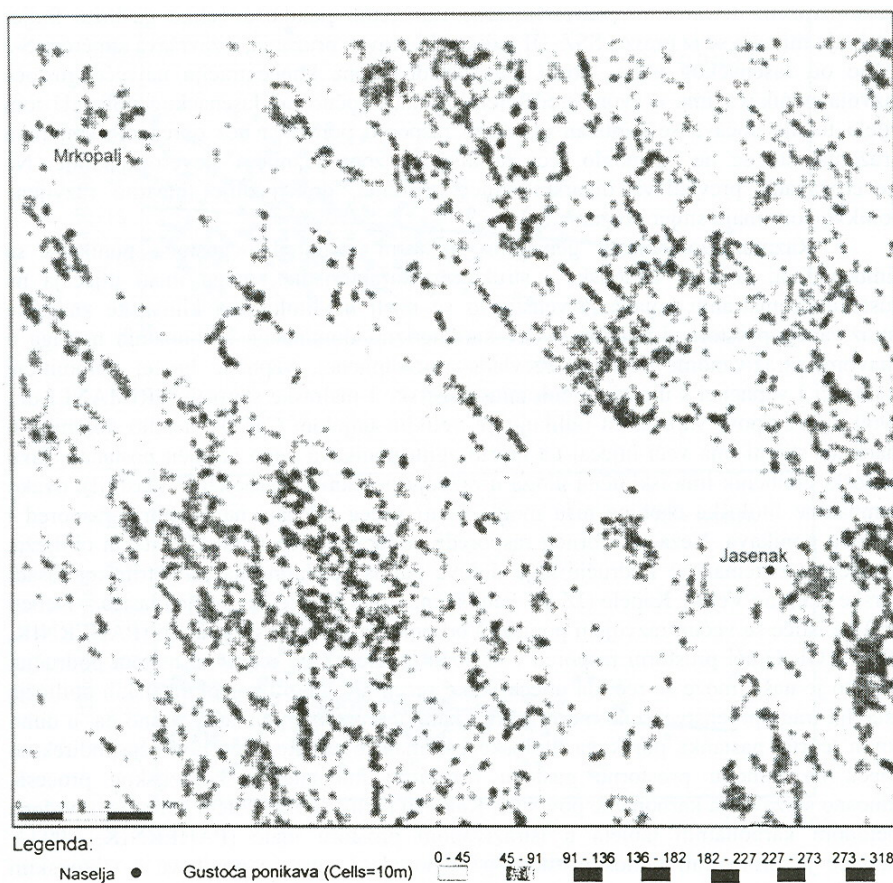
U istraživanom području registrirano je 9.409 ponikava, odnosno na površini od 342 km², dolazi prosječno 27.5 ponikava po jednom kilometru kvadratnom. Maksimalan broj ponikava od 88 jedinica na km², zabilježen je JI od Jasenačkog polja u području Dubokih draga. Prema podacima o gustoći ponikava u prostoru Učke i Čičarije (MIHLJEVIĆ, 1992.), Gorskog Kotara i Like (KLEIN 1976.), V. Kapele (PAHERNIK, 1996.), te Senjskog bila i Sjevernog Velebita (FAIVRE, 1992.) moguće je klasificirati pojedine frekvencije pojavljivanja ponikava po km² površine u sljedeće razrede: neznatna gustoća (< 10 pon/km²), mala (10 – 40 pon/km²), srednja (40 – 70 pon/km²), velika (70 – 100 pon/km²) i vrlo velika gustoća (> 100 pon/km²). Usporedbom osnovnih statističkih parametara, te distribucije udjela površina (km²) pojedinih kategorija gustoće ponikava (tablica 1) uočava se najveća grupacija pojave u donjoj polovici raspona vrijednosti. Tako se preko 50 % površine istraženog područja nalazi u kategoriji male gustoće, a vrijednosti mjerila disperzije ukazuju na koncentraciju pojave u središnjem dijelu te kategorije. Spomenute vrijednosti i izgled krivulje distribucije pojave mogu poslužiti kao okvir za statističku usporedbu vrijednosti gustoće ponikava u različitim

krškim područjima, odnosno pojedinim morfostrukturama pojedinih geomorfoloških cjelina.

Tab. 1. Statistički parametri gustoće ponikava

Tab. 1 Stastical parameters of the dolines density

Osnovne statističke veličine					Površina (km ²) pojedinih kategorija gustoće ponikava (%)				
max	prosjeak	st.dev	medijan	mod	neznatna	mala	srednja	velika	vrlo velika
88	27.5	17.3	26	28	17,5	57,9	22,8	1,75	0



Sl. 2. Gustoća ponikava određena temeljem analize susjedstva

Fig. 2 Density of sink-holes determined by analyse of neighborhood

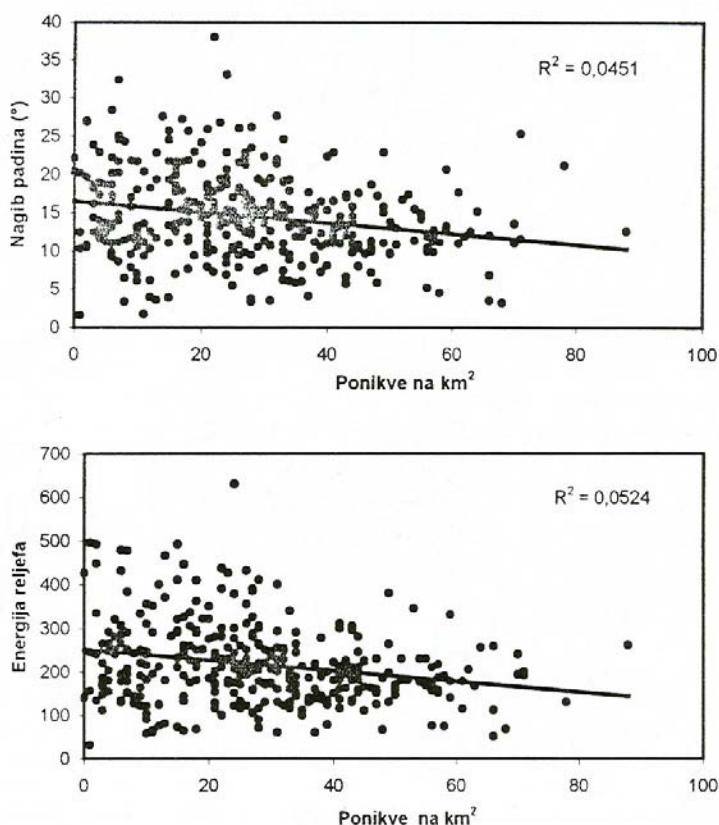
Digitalizacijom ponikava i prikazom rezultata prostorne analize susjedstva (sl. 2) uočavaju se temeljne zakonitosti gustoće i rasporeda ponikava u istraživanom prostoru. Izdvajaju se tri zone različitih osobina. Središnju zonu, koja se pruža širim pojasom između Mrkopaljskoj i Jasenačkog polja karakterizira mali broj ponikava, najčešće linearno grupiranih smjerom SZ-JI. Izuzetak čini pravac Begovo Razdolje - Matić poljana gdje se zamjećuje linearno pružanje ponikava gotovo pravcem S-J. Veću koncentracija ponikava, nepravilnog (gomilastog) razvoja nalazimo na dijelu gorskog hrpta Bjelolasice u području kote Gomirkovice. Južno od Jasenačkog polja dolazi do povijanja zone, te ona zauzima smjer pružanja S-J. Spomenuta zona razdvaja dva područja veće gustoće ponikava. Sjeveroistočna zona maksimum razvoja ponikava veže za područje istočno od Jasenačkog polja, na mjestu povijanja zone iz dinarskog pravca pružanja u pravac pružanja sjever - jug. U dijelu spomenute zone sjeveroistočno od gorskih hrptova Višnjevica i Bjelolasice zamjećuje se generalna konformnost između pružanja većih udolina i za njih vezane zone jačeg razvoja ponikava, tako da su ovdje jasno izraženi dominantni pravci linearno razvijenih ponikava velike gustoće. Smjer pružanja mijenja se iz pravca SSZ-JJI, u dinarski pravac pružanja, a završava smjerom S-J južno od Jasenačkog polja. Treća, jugozapadna zona koncentraciju najveće gustoće razvoja ponikava ima u svom središnjem dijelu, istočno od Jasenačkog polja. U tom dijelu terena uočava se kaotičan prostorni raspored ponikava bez određenih smjerova pružanja, što se ne bi moglo reći za dijelove zone južnije i sjeverozapadnije. Na sjeverozapadu prevladava dinarski smjer pružanja, dok južnije linearno razvijene ponikve poprimaju smjer pružanja S-J.

Razmotrimo opisani generalni prostorni raspored i gustoću ponikava sa čimbenicima, koji uz tektonske i strukturne osobine, mogu imati utjecaja na gustoću promatranih pojava. Prvenstveno se misli na litološke i klimatske osobine istraživanog prostora. Litološki sastav karakterizira dominacija karbonatnih naslaga u čitavom istraživanom prostoru. Prevladavaju vapnenci, vapnene breče, dolomitični vapnenci i vapnenci s ulošcima dolomita dogerske i malmske starosti (GRIMANI i dr., 1969.). Svi tipovi vapnenaca odlikuju se velikim udjelom CaCO_3 , a udio dolomita u matičnoj stijeni ima veći utjecaj na morfologiju ponikava nego na njen postanak. Iako litološki čimbenik ima isključnu ulogu u razvoju ponikava (karbonati – klastiti!), ovako kompaktne litološke osobine nisu mogle imati većeg utjecaja na prostorni raspored i gustoću ponikava. Veza prostornog rasporeda ponikava i recentnih klimatskih osobina također je zanemariva. Područje koje dobiva najviše padalina na privjetrinskoj fasadi gorske skupine Velike Kapele (JZ od zamišljene linije Višnjevica – Bjelolasica – Debeli vrh) ne ističe se većim razvojem ponikava od onih na privjetrinskoj fasadi (PAHERNIK, 1997.). Gledajući prostorni raspored i gustoću ponikava, na relativno malom području, kao što je naše, može se reći da utjecaj kako recentnih, tako i paleoklimatskih osobina ostavlja traga prvenstveno na morfološkim karakteristikama ponikava. Jasno da, u duhu novih teorija nastanka ponikava litološke i klimatske razlike šireg područja indirektno utječu na njihovu prostornu gustoću različitim intenzitetom korozijskog procesa, odnosno snižavanja karbonatne površine. Kako su razlike u intenzitetu korozije, utvrđene metodom karbonatnih tableta u istraživanom prostoru male (PAHERNIK, 1997.), moguće je promatrati odnos prostornog rasporeda i gustoće ponikava sa tektonskim osobinama bez većeg utjecaja spomenutih čimbenika na distribuciju pojave.

Jasna veza postoji između općih morfoloških obilježja terena i prostornog rasporeda odnosno gustoće ponikava. Prvenstveno se misli na neznatnu gustoću ponikava

vezanih za strme i vrlo strme padine ($32^\circ - 55^\circ$) te strmce ($< 55^\circ$). Postavimo li u matematički odnos metodom linearne korelacije (slika 3) odnos gustoće ponikava i nagiba padine unutar jedinične površine (km^2) uočava se sljedeće:

- Trend veze očekivano pokazuje negativan smjer rasta; s porastom nagiba padine opada gustoća ponikava po km^2 površine.
- Koeficijent regresije pokazuje vrlo slabu vezu, odnosno samo 4.5 % ukupne veze objašnjeno je ispitanom korelacijom.
- Za najstrmije padine nije vezana neznatna gustoća ponikava (0 - 10 pon/ km^2), već mala (10 - 40 pon/ km^2).
- U dijelu dijagrama ispod linije trenda, podjednak je udio različitih gustoća ponikava po kategorijama nagiba padina. tako kod padina koje obilježavaju zaravnjene do blago nagnute terena ($0 - 5^\circ$), odnosno nagnute terene ($5 - 12^\circ$) podjednak je udio površina s srednjom odnosno malom gustoćom ponikava po km^2 .



Sl. 3. Piktogrami odnosa gustoće ponikava (km^2) i pojedinih morfometrijskih parametara
 Fig. 3 Pictograms of the relation of the sink-holes density (km^2) and specific morphometric parameters

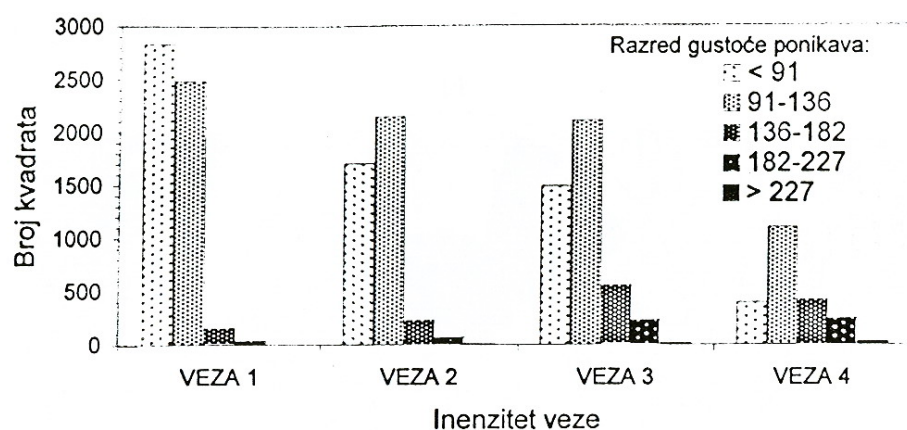
Može se reći da su navedeni odnosi posljedica utjecaja tektonske i strukturne komponente u razvoju, te prostornoj gustoći ponikava. Tako će u tektonski mirnijim strukturnim cjelinama i za male kategorije nagiba padina biti vezana neznatna i mala gustoća ponikava. Na intenzitet veze utječe i činjenica da zaravnjena dna polja u kršu, gdje je očekivati pojačanu gustoću ponikava, njih gotovo i nema (Jasenačko polje).

Temeljem modela prostornog rasporeda ponikava izvučeni su pravci linijski razvijenih ponikava, a pomoću intenziteta njihove gustoće unutar jedinične površine određena je jakost veze između promatranih pojava (sl. 4). Veza je definirana vrijednostima od 1 do 4, gdje jačina veze raste sa vrijednošću razreda veze. Kako za pojedini smjer linijskog razvoja ponikava nije vezan samo jedan razred gustoće pojave, nego se uzimaju dominantni, određeni su histogrami odnosa pojedinih razreda gustoće pojave i kategorija veza linearno razvijenih ponikava (sl. 5).



Sl. 4. Smjer pružanja i jačina veze linearno razvijenih ponikava

Fig. 4 Direction of extending and connection intensity of linearly developed sink-holes



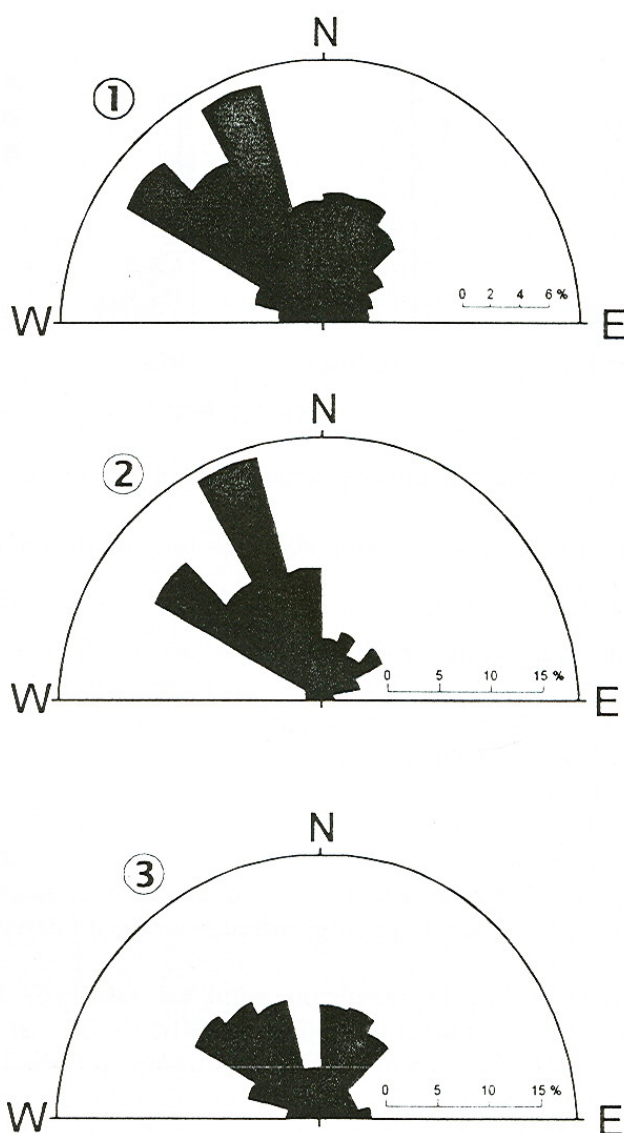
Sl. 5. Histogrami odnosa razreda gustoće ponikava i kategorija veza linearno razvijenih ponikava

Fig. 5 Histograms of the relation of the sink-holes density grade and lineary developed sink-holes connection category

Histogram ukazuje na očekivanu zastupljenost udjela pojedine kategorije gustoće ponikava u tumačenju intenziteta veza. Pri tom se misli na obrnuto proporcionalan odnos smjera rasta vrijednosti intenziteta veze i nižih kategorija, te proporcionalan odnos smjera rasta s višim kategorijama gustoće ponikava. Opisani trend narušen je u raspodjeli središnjih kategorija gustoće ponikava, naročito u njihovoj zastupljenosti u linijski razvijenim ponikvama veze 2 i veze 3. Sljedeći element bitan za klasifikaciju linijski razvijenih ponikava u određene kategorije intenziteta veze je vrijednost najzastupljenijeg razreda gustoće ponikava unutar veze. Za prvu i drugu kategoriju veza to je drugi razred, a za treću i četvrtu kategoriju treći razred.

Smjer pružanja linijski razvijenih ponikava (slika 6) karakteriziraju tri dominantna pravca. Ističu se pravci pružanja SSZ – JJI, i ZSZ – IJI, te nešto slabije S – J točnije SSE – JJZ. Raščlanimo li smjer pružanja pojedinih pravaca linijski razvijenih ponikava slabijih (1 i 2), te jačih veza (3 i 4) uočavaju se dominantni smjerovi dinarskog pravca pružanja kod jačih veza, te podjednaki udio dinarskog smjera, te smjera SSE – JJZ kod slabijih veza.

Uočenu pojavu pokušat ćemo objasniti vezom između geneze ponikava i tektonskih struktura nastalih u pojedinim geološkim razdobljima. Veća gustoća ponikava veže se za "starije rasjede", najčešće dinarskog pravca pružanja, dok je kod slabijih veza podjednaki udio linearno razvijenih ponikava dinarskog pravca pružanja i pravca pružanja karakterističnog za neotektonski aktivne rasjede nastale promjenom smjera globalnog stresa podvlačenja Afričke pod Euroazijsku ploču (HERAK, 1991.). Iz navedenog slijedi da razvoj ponikava u zonama značajnih neotektonskih pomaka nije dostigao veću gustoću, kao kod "starijih" tektonskih struktura, u slučaju ako one nisu zahvaćene novim pokretima.



Sl. 6. Smjer pružanja linearno razvijenih ponikava. (1 - sve linijski razvijene ponikve; 2 - linijski razvijene ponikve prve i druge kategorije jačine veze; 3 - linijski razvijene ponikve treće i četvrte kategorije jačine veze).

Fig. 6 Direction of extending of lineary developed sink-holes (1 - all lineary developed sink-holes; 2 - lineary developed sink-hole of the first and second grade; 3 - lineary developed sink-holes of the third and fourth connection category).



Sl. 7. Digitalni model reljefa sa dominantnim rasjedima

Fig. 7 Digital model of the relief with dominant faults

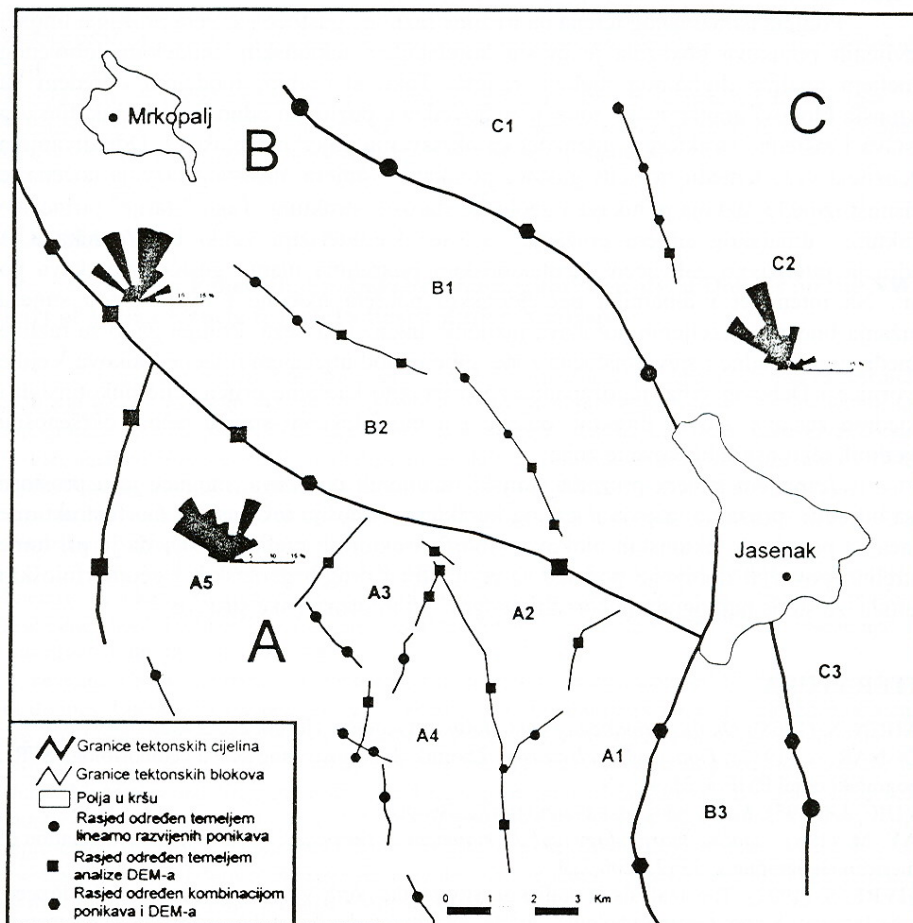
Trase regionalnih i lokalnih rasjeda određene su analizom digitalnog modela reljefa i uklopljene su u sloj linijski razvijenih ponikava. Uočava se značajna konformnost između jednih i drugih lineamenata. Tri su dominantna rasjeda, reversni Veliko Duboko – Jasenak – Drežnica (GRIMANI, 1969.), rasjed Široka draga - Mlečikov lug - Jasenak, te rasjed Begovo Razdolje - SI padine Bjelolasice - Jasenak. Ti

rasjedi odvajaju već spomenute zone različite gustoće ponikava. Smjer pružanja reversnog rasjeda južno od Jasenačkog polja u smjeru sjever - jug ukazuje na rotaciju tektonskih blokova Velike Javornice i Debelog vrha, te sažimanje i lomljenje stijenske mase južno od linije Bristova draga – Jasenak. Prema kinematici neotektonskih deformacija stare strukture dinarskog pružanja iz pirinejske orogene faze, zahvaćene novim globalnim stresom rotiraju u lijevo (retrogradno) prema položaju pružanja istok – zapad. Pri tomu nastaju veći transkurentni rasjedi, po kojima dolazi do oslobađanje napetosti i stvaranja prostora rotacije. To je dovelo do povećane gustoće razvoja ponikava, slabije izraženog i promjenjivog smjera pružanja, te općenito veće okršnosti stijenske mase naročito uz transkurentni rasjed Široka draga - Mlečikov lug - Jasenak (Kruna, Bijele i Samarske stijene).

Jugozapadna zona najviše je zahvaćena opisanim promjenama. To je istaknuto uzdužnim orografskim pružanjem gorskog hrpta Velike Javornice, te složenim sustavom rasjeda i pukotina u središnjem dijelu zone. Prema intenzitetu pojavljivanja i smjeru pružanja lineamenta moguće je izdvojiti nekoliko manjih tektonskih blokova. Na JI je izražen tektonski blok Velike Javornice karakterističnog orografskog smjera pružanja S-J. Jugoistočno je manji blok Bijelih stijena jasno izražene ešalonske tektonske strukture. Na njega se nastavlja razlomljen blok Samarskih stijena, te južnije blok Trojbukve. Zapadno od spomenutih blokova pruža se pravcem SSI-JJZ relativno spušten blok Široka draga - Stalak, sa pojačanim razvojem ponikava linijskog pružanja, četvrte kategorije veze.

Sjeverno od opisane jugozapadne zone nalazi se središnja zona rijetke gustoće ponikava. Prevladavaju rasjedi uzdužnog pravca pružanja (SZ-JI), te manji lokalni poprečni rasjedi (S-J, SSZ-JJI) u području između Samara i Bjelolasice. Na temelju iznesenog središnja zona predstavljala bi relativno uzdignut tektonski blok u odnosu na ostale dvije zone. To potvrđuju i velike kategorije nagiba padina prema Mrkopaljskom i Jasenačkom polju. Tektonski blok izrazito je asimetričan sa jače izdignutim sjeveroistočnim dijelom uz rasjed Begovo Razdolje - SI padine Bjelolasice - Jasenak. Temeljem poprečnih rasjeda jasno se izdvajaju manji tektonski blokovi Samara i Bjelolasice. Jugozapadni dio središnjeg tektonskog bloka karakterizira manja reljefna energija gotovo brežuljkastog reljefa. Osim morfološki od sjeveroistočnog dijela bloka odvojen je rasjedom Matić poljana - Vrbovska poljana - Begova staza.

Sjeveroistočna tektonska zona odvojena je od središnje rasjedom Begovo Razdolje - SI padine Bjelolasice - Jasenak. U njoj dominira spomenuti regionalni reversni rasjed Veliko duboko – Jasenak uz kojeg se veže razvoj najvećih udolina i polja u kršu Velike Kapele. Uočava se poklapanje rasjeda određenih na temelju analize digitalnog modela reljefa i pružanja linijski razvijenih ponikava četvrte kategorije veze. Posljedica je to, za ovaj dio istraživanog područja karakteristične izmjene gorskih hrptova i udolina u kojima je velika gustoća ponikava odnosno iskazane su kao brazde u digitalnom modelu reljefa. Smjer pružanja struktura je SSZ-JJI sa prelaskom u smjer S-J u jugoistočnom dijelu zone, kao posljedica spomenute rotacije tektonskih blokova.



Sl. 8. Tektonske cjeline SZ dijela Velike Kapele A) Vukova kosa – V. Javornica; 1. V. Javornica, 2. Bijele stijene, 3. Samarske stijene, 4. Trojbukve, 5. Široka draga – Stalak. B) Čelimbaša – Bjelolasica; 1. Bjelolasica, 2. Bucala 3. Sušik. C) Mirkovica – Jasenačka kosa; 1. V. Duboko, 2. Mirkovica, 3. Debeli vrh

Fig. 8 Tectonic units of the NW part of Velika Kapela A) Vukova kosa – V. Javornica; 1. V. Javornica, 2. Bijele stijene, 3. Samarske stijene, 4. Trojbukve, 5. Široka draga – Stalak. B) Čelimbaša – Bjelolasica; 1. Bjelolasica, 2. Bucala 3. Sušik. C) Mirkovica – Jasenačka kosa; 1. V. Duboko, 2. Mirkovica, 3. Debeli vrh

Zaključak

Analizom prostornog rasporeda i gustoće ponikava dobiven je temeljni tektonski model istraživanog područja. Postavljanjem u odnos pojedinih čimbenika koji imaju utjecaj na razvoj i gustoću ponikava, pokazalo je da su primarni utjecaji vezani za tektonske i strukturne osobine terena. ostali čimbenici (litologija, klima, reljef) utječu prvenstveno na oblik i dimenzije pojedinih ponikava.

Podjela istraživanog terena na tri zone različite gustoće i smjera pružanja linijski razvijenih ponikava pokazala je čvrstu korelaciju sa tektonskim modelom dobivenog temeljem analize digitalnog modela reljefa. Tako stvorenim modelom određeni su tektonski blokovi unutar svake zone, te je doveden u pozitivan odnos razvoj pukotinskog sustava i rasjedne strukture s intenzitetom okršavanja pojedinih blokova. Određivanjem intenziteta veze između različite gustoće ponikava i smjera linearnog razvoja uočena je ovisnosti razvoja ponikava i geološke starosti struktura. Tako "starije" pirinejske strukture dinarskog smjera pružanja najčešće karakterizira veliki broj ponikava, a područja intenzivno zahvaćena neotektonskim pokretima manja gustoća ponikava po km². Na intenzitet i dinamiku neotektonskih pokreta ukazuje i različitost u smjeru pružanja linearno razvijenih ponikava različitih intenziteta veza. Primjer za to su razlike između jugozapadne i sjeveroistočne zone, gdje je pod utjecajem rotacije blokova Velike Javornice i Debelog vrha, jugozapadna zona izrazito kaotične orijentacije pukotinskih i rasjednih sustava, što se direktno očituje i u morfološkom smislu jačom okršenošću pojedinih tektonskih blokova te zone.

Temeljem smjera pružanja linijski razvijenih ponikava, moguće je u prostoru krša odrediti pružanje rasjeda lokalnog karaktera, odnosno tektonske i morfostrukturne osobine pojedinih tektonskih blokova i morfostrukturnih cjelina. Jasno da je pri tome potrebno povezati dobivene podatke sa rezultatima drugih geoloških i geomorfoloških metoda, za što je najpogodnije koristiti geografsko informacijske sustave.

LITERATURA

- BAHUN, S. (1968): *On the formation of karst dolinas*, Geološki vjesnik 22, 25-32
- BOGNAR, A. (1987): *Tipovi reljefa Hrvatske*, Zbornik II. Znanstvenog skupa geomorfologa SFRJ, Geografski odjel PMF-a, 21-44.
- CVIJIĆ J. (1895): *Karst*, geografska monografija. 1 – 173.
- DAY, M. (1983): *Doline morphology and development in Barbados*, Annals of the Association of American Geographers, 73 (2), 206-219.
- FAIVRE, S. (1992): The analysis of doline density on the north Velebit and senjsko bilo. *Proced. of the Internat. Symp. Geomorphology and sea*, Faculty on the Natural Science and Mathematics, department of Geography, 135-143.
- FAIVRE, S., REIFFSTECK, P. (1999): *Spatial distribution of dolines as an indicator of recent deformations on the Velebit mountain range – Croatia*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, No. 2, 129-142.
- HERAK, M. (1991): *Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu*, Acta Geologica vol. 21 (2)
- JENNINGS, J. N. (1975): *Doline morphometry as a morphogenetic tool: a New Zealand example* Geographer, 31 (1), 6-28.
- KLEIN, (1976): *Gustoća ponikava Ličko – Goranske regije*, Geografski glasnik, 38, 357-377.
- MIHLJEVIĆ, D., PRELOGOVIĆ, E. (1992): *Structural-geomorphological characteristic of the mountain range Učka and Čičarija*, *Proced. of the Internat. Symp. Geomorphology and sea*,

Faculty on the Natural Science and Mathematics, department of Geography, 13-24.

MIHLJEVIĆ, D. (1994): *Analysis of spatial characteristic in distribution of sink-holes, as an geomorphological indicator of recent deformations of geological structures*, Acta Geogr. Croatica, 29, 29-36.

PAHERNIK, M. (1997): *Recentni krški procesi i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa gorske skupine Velike Kapele*, Magistarski rad PMF, 1-164.

GRIMANI, I., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAČ I., ŠIKIĆ, D., BLAŠKOVIĆ, I. (1969): *Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Novi Vinodolski*, Izradio Geološki zavod Zagreb; Izdao Savezni geološki zavod Beograd.

ŠUŠTERŠIĆ, F. (1985): *Metoda morfometrijske in računalniške obdelave vrtač*, Acta carsologica XIII, 81-98.

ŠUŠTERŠIĆ, F. (1994): *Klasične vrtače klasičnega krasa*, Acta carsologica, XXIII, 123-154

WILLIAMS, P. W. (1972): *The analysis of spatial characteristic of karst terrains*, In Spatial analysis 133-163.

SUMMARY

Mladen Pahernik: Spatial Distribution and Density of Dolinas on the NW Part of Velika Kapela from GIS Based Buffer Analysis

Important conclusions about tectonics and morphostructural characteristics of researched area can be derived with the help of quantitative and qualitative analysis of dolinas within karst topography. In this article, GIS based method for buffer analysis was used. Base layer used for further analysis was created by digitalisation of dolinas from topographic maps in scale 1:25 000. Spatial classification of intensity of observed features was derived from 100m wide radial buffers surrounding each dolina. Density and direction of dolinas was quantified by evaluation of the number of overlapping buffers.

Regional tectonic model of NW part of Velika Kapela was then established, by correlating linearly developed dolina directions with faults identified from digital elevation model of researched area. From different density and direction of linearly developed dolina, researched area was divided into three major zones:

1. Tectonic Unit Celimbasa – Bjelolasica (or middle zone) is characterised by the smallest density of dolinas. Linearly developed dolina of dinaric direction and perpendicular NNE-SSW direction, are dominant in this zone. South of Jasenak Polje, this zone folds and starts running into N-S direction. This middle zone is relatively elevated tectonic block, with expressed asymmetrical shape. More elevated NE part close to fault Begovo Razdolje-NE slopes of Bjelolasica-Jasenak is more expressed compared to lower SW part of zone. Border between middle zone and NW zone is represented by larger transcurrent fault Siroka Draga-Mlecikov Lug-Jasenak. Along this fault, increased density of dolinas is expressed together with generally higher exposure of karst elements in rock formations (Kruna, Samarske Stijene, Bijeje Stijene).

2. Tectonic Unit Vukova Kosa-Velika Javornica (or SW zone) is represented by the highest degree of tectonic movement, caused by the change in the global stress direction. This is expressed morphologically through orographic direction of mountainous ridge of Velika Javornica, and through the complex system of faults and cracks in the middle part of this zone.

3. Tectonic Unit Mirkovica – Jasenacka kosa (or NE zone) is dominated by reversed fault Veliko Duboko-Jasenak. Overlapping of faults identified from DEM with the direction of linearly developed dolinas can be noticed. This is cause for alterations between ridges and valleys so characteristically for this region, associated with higher density of dolina, which are expressed as furrows in DEM. Structures are developed in NNW-SSE direction, but they are changing direction to N-S in the SE part of this zone, as a result of tectonic units rotation. This rotation is caused by the change in global stress direction.

