

UDK: 551.435.8(497.11)
DOI: 10.5937/KonGef24014M
Прегледни научни рад

VRTAČE SUVE PLANINE

Marko V. Milošević¹, Jelena Čalić², Milovan Milivojević³, Dragan Nešić⁴

Apstrakt: Suva planina je planina srednje visine (1810 m) u okviru Karpato-balkanida. Prostire se na površini od 427 km² u pravcu severozapad-jugoistok u dužini od 43 km. Od ukupne površine Suve planine krečnjaci prekrivaju 60% teritorije, i to pretežno u centralnom delu. Na krečnjačkim terenima prisutni su paleofluvijalni i recentni fluvijalni oblici, padinski, kao i kraški površinski i podzemni oblici reljefa. Vrtače predstavljaju najrasprostranjeniji kraški oblik reljefa na Suvoj planini, gde ih je registrovano ukupno 1228. Izvor za prikupljanje primarnih podataka o vrtačama, kao što su položaj i površina, je topografska karta 1:25.000. Morfometrijske karakteristike topografske površine na kojima su formirane vrtače određene su na osnovu DTM 90m (SRTM). Prema genetskoj klasifikaciji vrtače Suve planine su klasične vrtače, vrtače-provalije i sufozione vrtače, a u pogledu morfologije pretežno levkaste i karličaste. Pored ova dva standardna oblika registrovan je i treći nestandardni tip – otvorene vrtače amfiteatralnog izgleda. U pogledu prostorne distribucije vrtače su neravnomerno raspoređene. Hipsometrijski su rasprostranjene u pojasu između 480 i 1704 m n.v. Prema horizontalnoj rasprostranjenosti utvrđena je heterogena distribucija gde se gustine vrtača kreću od 1 do 21 vrtače/km² (oblast Valožja). Glavni faktori prostorne distribucije vrtača na Suvoj planini prepoznati su u litologiji, mehaničkim diskontinuitetima u stenama i morfologiji (nagibu) terena. Kako se vrtače nalaze u planinskom prostoru, nisu u zoni intenzivnih poljoprivrednih aktivnosti. Prema nameni prostora, vrtače na Suvoj planini su pod šumskim pokrivačem i planinskim pašnjacima.

Ključne reči: vrtača, gustina vrtača, kras, Suva planina

UVOD

Cilj ovog rada je regionalno-geomorfološki prikaz vrtača Suve planine. Poslednjih decenija ovakav pristup u geomorfološkim istraživanjima u Srbiji je skoro zapostavljen. Sa razvojem kvantitativnih metoda i GIS alata počinju da dominiraju radovi analitičkog karaktera sa ciljem utvrđivanja genetskih procesa u oblikovanju reljefa, kao i intenziteta procesa i njegovih modifikatora. Tradicionalni regionalno-geomorfološki pristup je podrazumevao primenu deskripcije kao osnovnog metoda. Primarna karakteristika ovog metoda je da je on bio fokusiran na inventarizaciji i morfogenetskoj sistematizaciji oblika reljefa a ne na to „zašto“ i „kako“ je došlo do njegovog formiranja. To je bio dovoljan uslov da se ovakav pristup u savremenim geomorfološkim istraživanjima delimično odbaci i proglasi „manje“ naučnim. Posledice ovakog pristupa su da danas postoje velike površine u Srbiji za koje nemamo bazične podatke o njihovim opštim geomorfološkim karakteristikama. Korisnici podataka o reljefu koji nisu iz geografske struke često su zbog toga prinuđeni da taj segment iz svojih studija o tim prostorima izostave ili daju kratak opis u najopštijim crtama (bez veće naučne vrednosti). Rezultati ovog rada primarno imaju značaj za geografiju i geomorfologiju, kojima se upotrebom podaci o morfogenetskim karakteristikama Suve planine. Distribucija i karakteristike vrtača imaju značaja za hidrogeološka istraživanja, s obzirom na to da one prate zone glavnih pravaca cirkulacije podzemnih voda u krasu (Milanović et al. 2010). Vrtače mogu da predstavljaju oaze pedološkog pokrivača na krasu. Time se stvaraju specifični mikroareali pogodni za razvoj određenih biljnih vrsta zbog čega vrtače postaju predmet istraživanja i biologa (Horvat 1953) i šumara.

¹ SANU, Geografski institut "Jovan Cvijić", Đure Jakšića 9, Beograd, Srbija, m.milosevic@gi.sanu.ac.rs, ORCID: 0000-0001-5188-7260

² SANU, Geografski institut "Jovan Cvijić", Đure Jakšića 9, Beograd, Srbija, j.calic@gi.sanu.ac.rs, ORCID: 0000-0002-7271-5561

³ SANU, Geografski institut "Jovan Cvijić", Đure Jakšića 9, Beograd, Srbija, m.milivojevic@gi.sanu.ac.rs, ORCID: 0000-0001-8008-2277

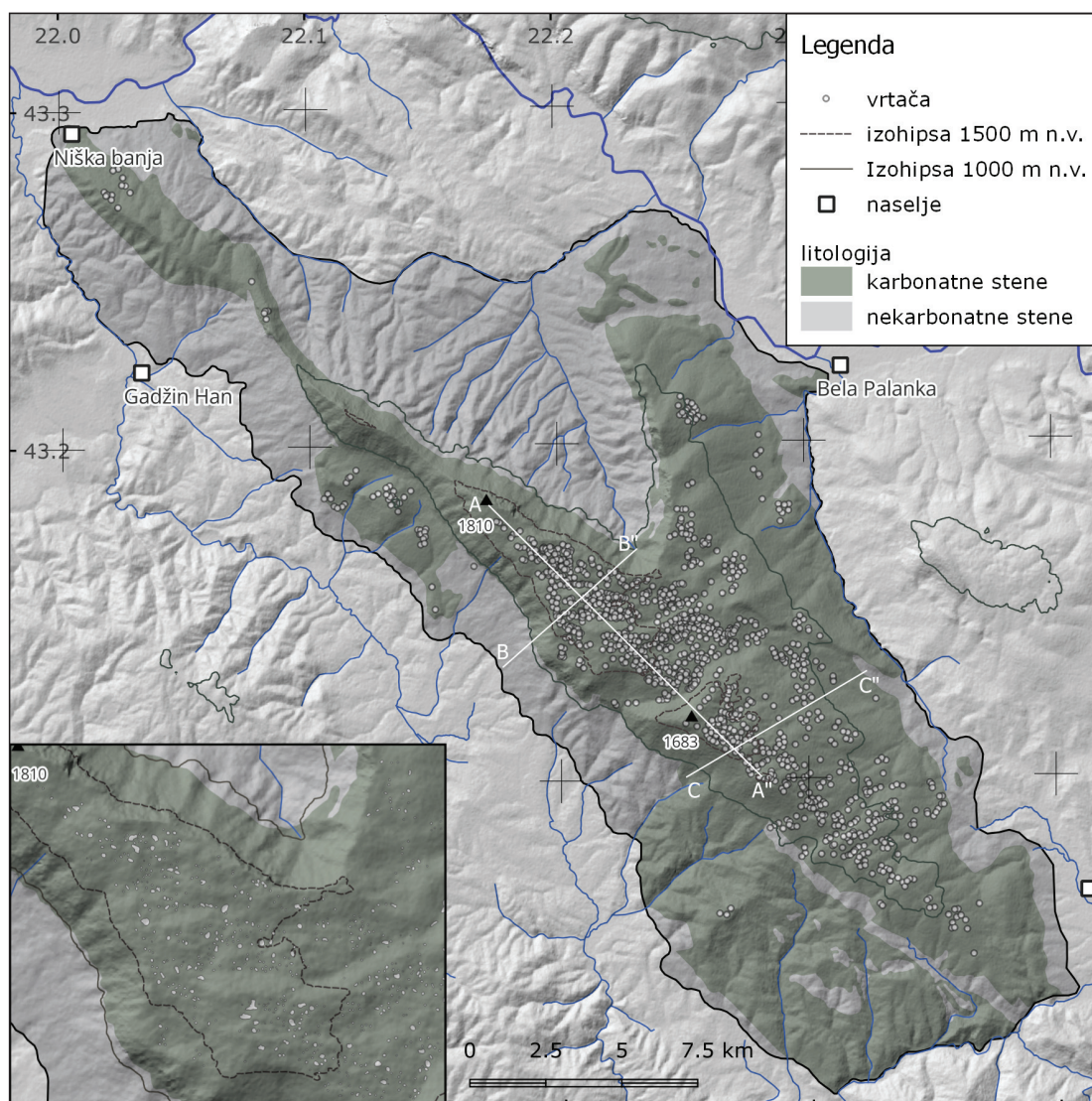
⁴ Zavod za zaštitu prirode Srbije, Kancelarija u Nišu, Vožda Karađorđa 14/2, Niš, dragan.nesic@zzps.rs

Cvijić (1889, 1912) prvi piše o morfogenetskim karakteristikama vrtača na Suvoj planini u zavisnosti od lokacije gde se nalaze. Iznosi i prve podatke o njihovim morfometrijskim karakteristikama navodeći da njihov prečnik retko prelazi 50 m (Cvijić 1912). Pavićević (1953) navodi da se vrtače „javljaju, ustvari, tek iznad 1300 m n.v., a njihov broj sa visinom sve više raste, što se može objasniti jačim rastvaranjem krečnjaka pod uticajem povećanja taloga sa visinom”. O vrtačama piše i Milić (1960, 1961) ukazujući na neravnomeran i zonalan raspored vrtača po broju i površini na Suvoj planini. Petrović (1974) daje detaljnije morfometrijske podatke o vrtačama Suve planine ističući da su najčešće prečnika 20-100 m i dubine od 5 do 15 m. Gavrilović (1975) daje procenu maksimalne gustine od preko 50 vrtača/km². Nešić (2015) proučavajući reljef Litice (centralnog dela Suve planine) ukazuje na atipičan morfološki tip otvorenih vrtača. Ovaj tip bi možda odgovarao takozvanim vrtačama „konjarama” kako ih Cvijić opisuje (1912).

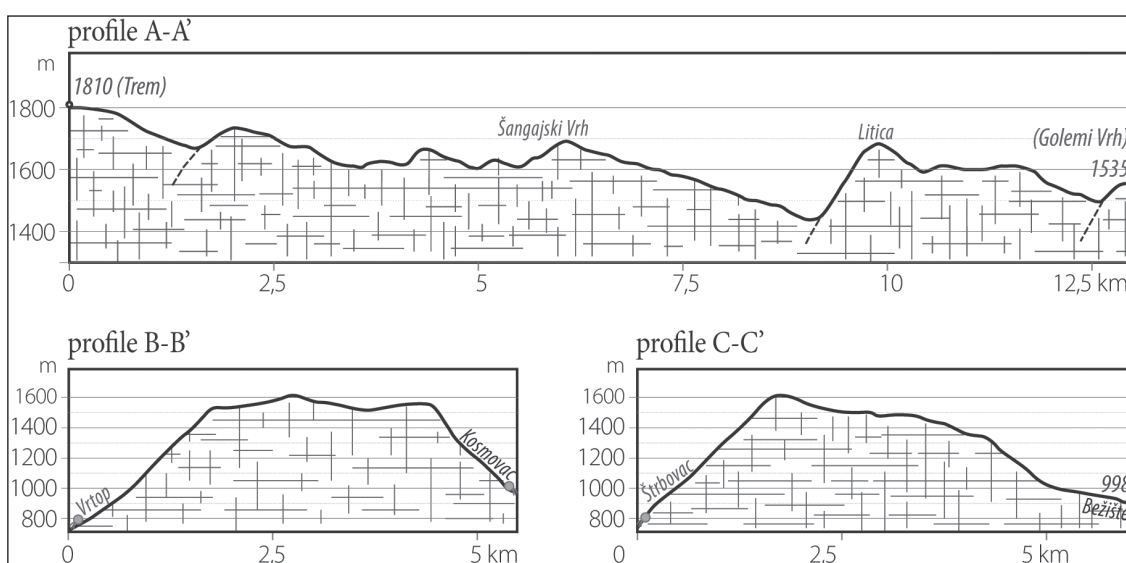
Položaj i karakteristike Suve planine

Suva planinama, u grupi Balkanskih planina, pripada srednje visokim planinama sa najvišim vrhom Trem (1810 m). Osnovni pravac pružanja je severozapad-jugoistok u dužini od 43 km, dok najveću širinu ima na profilu Jagličje-Bela Palanka 19 km. Sliv Crvene reke (leva pritoka Nišave) u zoni lokaliteta Pasarelo razdvaja centralni planinski greben na dva dela. Zapadni, viši, koji dopire sve do Niške Banje i istočni niži koji se završava kod naselja Crvena reka. Površina Suve planine je 427 km², u visionskom pojasu između 220 m i 1810 m, sa prosečnom nadmorskom visinom od 804 m. Severni deo Suve planine ograničen je niskom planinom Kunovicom, a krajnji severozapadni deo Niškom kotlinom. Na zapadu se graniči sa planinama Seličevica (903 m) i Babička gora (1059 m) na jugu planinom Ostrožub (1546 m) i istoku Šljivovičkim vrhom (1258 m) i Belopalanačkom kotlinom. Oko 60% (254 km²) Suve planine čine karbonatne stene (jurski i kredni krečnjaci) koje su pretežno rasprostranjene u njenom centralnom delu. U južnom delu ima proboja (enklava) neogenog magmatizma predstavljenog amfibolskim andezitima. Na severu dominiraju paleozojski peščari, alevroliti i konglomerati. Na istočnom i sveroiistočnom obodu Suve planine istaloženi su mioceni peskovi, gline i šljunkovi (Vujisić i sar. 1971).

Na prostoru Suve planine prisutni su oblici reljefa nastali padinskim procesom, fluvijalnim i kraškim procesom. Prema dinamici mogu se podeliti na recentne i paleooblike reljefa. Na nekarbonatnim stenama prisutni su padinski i fluvijalni oblici reljefa. Među najmarkantnije fluvijokraške oblike spada Jelašnička klisura duboka 80 m. Od padinskih oblika dominiraju sipari i deluvijalni zastori koji se javljaju u podini visokih planinskih odseka. Na karbonatnim stenama, pored već navedenih procesa i oblika prisutni su paleofluvijalni, fluviokraški (suve, slepe i viseće doline) kao i kraški oblici reljefa. Od kraških oblika reljefa, dominiraju vrtače, a prisutni su i podzemni kraški oblici kao što su pećine i jame (Mihailović 2014; Nešić 2018). Prema Kepenovoj klasifikaciji klimata, prostori Suve planine iznad 1400 m n.v. pripadaju umereno hladnom i vlažnom klimatu sa toplim letom (Dfb) (Milovanović et al. 2017a). Prostori koji su ispod 1400 m n.v. pripadaju toplom i vlažnom klimatu sa toplim letom (Cfb). Zbog velike visinske amplitude (220-1810 m n.v.) prosečna količina padavina se kreće od 600 mm u podnožju do 900 mm godišnje u zoni najviših vrhova (Миловановић и сар. 2017b). Srednja godišnja temperatura vazduha u zavisnosti od visine kreće se od 10°C do 4°C.



Slika 1. Položaj Suve planine i distribucija vrtača



Slika 2. Profili Suve planine u zoni sa najgušće raspoređenim vrtačama

Na prostorima iznad 1000 m n.v. ne postoje površinski rečni tokovi. Najveća reka Suve planine je Crvena reka, koja izvire na 1000 m n.v. ispod lokaliteta Pasarelo. Vode Suve planine otiču u slivove Koritničke reke (na istoku), Crvene i Jelašničke reke (na severu), Kutinske reke (na zapadu) i Lužnice (na jugu i jugoistoku). U zoni kontakta karbonatnih i nekarbonatnih stena formirana su vrela velike izdašnosti kao što su Mokranjsko, Divljansko, Koritničko, Sopotničko, Dušničko, Izvorsko i Rakoš česma vrelo (Petrović, 1954). Oko 80% površina Suve planine prekrivaju šume i to dominantno listopadne (hrastove i bukove) sa 98.5% (Copernikus - Forest Type 2018, raster 10 m).

IZVORI PODATAKA I METODOLOGIJA

Primarni izvori za prikupljanje podataka o lokacijama i karakteristikama vrtača (morfološkim, litološkim, morfometrijskim) bile su karte, digitalni modeli terena (DMT) i terenska istraživanja. Kao relevantni kartografski izvori uzete su topografske karte (TK) 1:25.000 u izdanju Vojnogeografskog instituta iz Beograda i osnovna geološka karta (OGK) 1:100.000. TK su bile referentan izvor o lokaciji i površini vrtača. U procesu digitalizacije vrtače su određene kao poligoni. Obod vrtače je definisan najvišom zatvorenim izohipsom. Ovaj izvor je poslužio i za određivanje orijentacije vrtača u slučaju kada nisu okruglog oblika. Osnovna geološka karta, list Bela Palanka, bila je izvor za prikupljanje podataka o rasprostranjenosti karbonatnih stena kao i o distribuciji raseda. Za analizu topografskih uslova (nagiba) i nadmorske visine korišćen je DMT srednje rezolucije 90 m (izvor SRTM 90m). Opravdanje korišćenja DMT srednje rezolucije leži u činjenici da „ne sadrži“ morfološke otiske vrtača (Telbiz et al. 2007; Milošević et al. 2022). Tokom terenskih istraživanja prikupljeni su podaci o morfološkim i genetskim svojstvima vrtača na Suvoj planini, na osnovu topografije i litoloških odnosa.

Indeks zaobljenosti vrtače predstavlja vrednost koja ukazuje u kojoj meri obod vrtače odstupa od idealnog kruga. Minimalna vrednost indeksa je 1, što znači da je ona idealnog kružnog oblika (Bauer, 2015). Što se vrednost indeksa povećava, oblik vrtače je sve izduženiji. Prema Basso et al. (2013) vrtače se prema vrednostima indeksa zaobljenosti mogu podeliti na okrugle (od 1 do 1.20), elipsoidne (1.20-1.65) i izdužene (>1.65). Indeks zaobljenosti vrtače izračunava se prema formuli:

$$Ci = Ad / \pi (2*Ad/Pd)^2 \quad (1)$$

Gde Ad predstavlja površinu vrtače (m^2) a Pd obim vrtače (m).

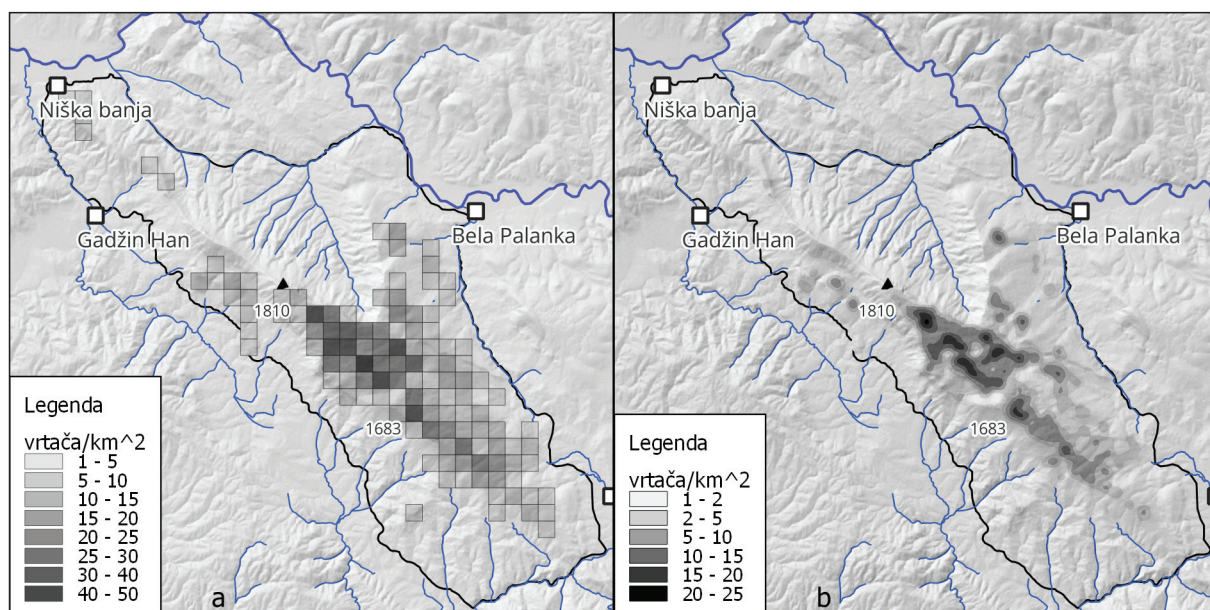
Za meru prostorne distribucije vrtača uzeta je *gustina*. Ova vrednost određena je na tri načina. Prva je *prosta gustina* koja se dobija odnosom ukupnog broja vrtača i površine na kojoj se one nalaze. Drugi način je *jedinična gustina* koja ukazuje koliki je broj vrtača na kvadratnoj površini od 1 km^2 . Treći način je *gustina jezgra* gde je računat odnos (udaljenost) između samih vrtača uz pomoću metoda „najbližeg suseda“ – Kernel Nearest-Neighbor Algorithm. U ovom slučaju računata je gustina vrtača unutar kružne površine od 1 km^2 (prečnik 564 m). Podaci o nagibu topografske površine, nadmorskoj visini, indeksu zaobljenosti vrtače i gustine generisani su u programskim paketima Quantum GIS (Geoprostorna fondacija otvorenog kôda; Q-GIS Open Source Geospatial Foundation – OSGeo) i Global Mapper (Blue Marble Geographics). Matematičko-statistički metod korišćen je za analizu kvantitativnih podataka i to kroz primenu metoda deskriptivne statistike kao što su mere centralne tendencije i disperzije. Za grafičko predstavljanje rezultata korišćene su tematske karte, tabele i grafikoni.

BROJ I PROSTORNA DISTRIBUCIJA VRTAČA

Vrtače su najzastupljeniji oblik reljefa na Suvoj planini. Rasprostranjene su na 22% ukupne površine planine i 36% od ukupnog krečnjačkog terena. Tokom procesa kartiranja registrovano je ukupno 1228 vrtača. One nisu ravnomerno raspoređene, niti se javljaju u svim zonama gde ima krečnjaka. Prosta gustina iznosi 5 vrtača/ km^2 . Prema metodu jediničnog polja maksimalna gustina je 44 vrtača/ km^2 . Prema metodu gustine jezgra najveća gustina iznosi 21 vrtača/ km^2 . Maksimalne vrednosti gustine prema jediničnom polju i prema gustini jezgra utvrđene su na površi Valožja na lokalitetima Ajdučka valoga (44 odnosno 21 vrtača/ km^2), Velika Škrbina (38 odnosno 18 vrtača/ km^2) i Gavranov rid (35 odnosno 17 vrtača/ km^2). Izvan zone površi Valožja znatna gustina vrtača utvrđena je na prostoru južno od Litice gde su maksimalne vrednosti 38 odnosno 16 vrtača/ km^2 . Lokalitet gde je takođe utvrđen značajniji broj vrtača su lokaliteti Kulica i Rudina u južnom kao i lokaliteti Duga lokva i Šarenkova livada u istočnom delu Suve planine (slika 1). Gledano prema metodu gustine jezgra najviše ima površina sa gustinom 1-2 vrtača/ km^2 (43%) zatim slede 2-5 vrtača/ km^2 (28%), 5-10 vrtača/ km^2 (21%) 10-15 vrtača/ km^2 (6%) i 15-20 vrtača/ km^2 (2%). Najmanju površinu zahvataju prostori sa gustinom većom ili jednakom 20 vrtača/ km^2 ispod 1% od teritorije gde su prisutne vrtače.



Slika 3. Zone sa velikom gustinom vrtača: a) Površ Valožja, b) Južno od Litice



Slika 4. Gustine vrtača na Suvoj planini: a) metod jediničnog polja, b) metod gustine jezgra

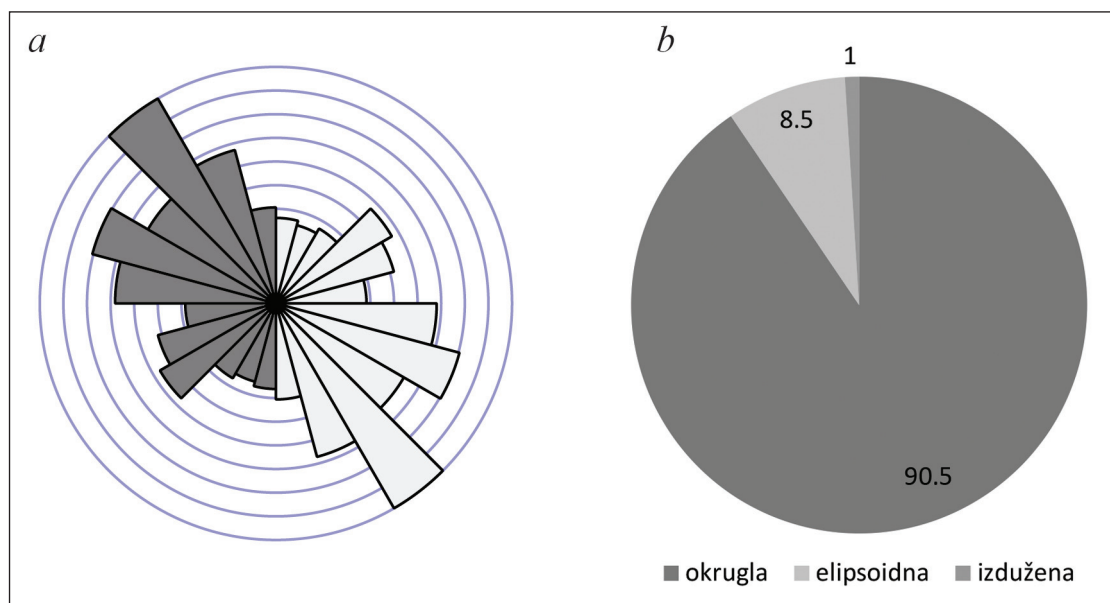
KARAKTERISTIKE VRTAČA

Karakteristike vrtača čine njihova unutrašnja i spoljašnja svojstva. Unutrašnja svojstva opisuju karakteristike same vrtače. Njeni pokazatelji su površina, indeks zaobljenosti i orijentacija. Spoljašnja svojstva se odnose na topografske uslove na kojima je pozicionirana vrtača. U njih spadaju morfometrija (nagib, nadmorska visina, ekspozicija), morfologija, litologija, strukturni sklop, itd.

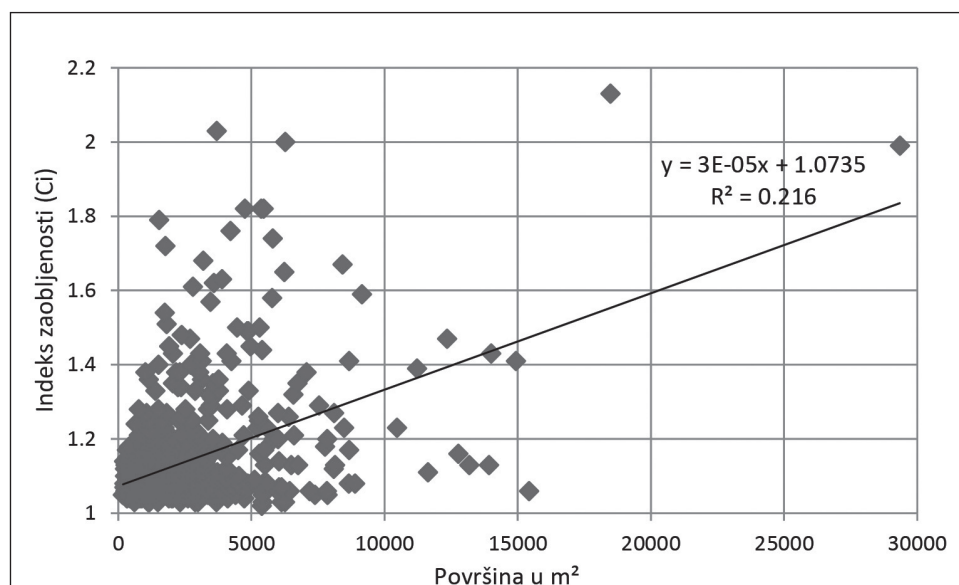
Površina vrtača Suve planine kreće su intervalu od 174 m² do 29347 m². Kako je utvrđen veliki broj autlajera, a da bi se izbegao "uticaj" ekstremnih vrednosti, za meru lokacije uzeta je medijana. Vrednost medijane za površinu vrtača je 1084 m² dok je aritmetička sredina 1718 m². Vrtače sa površinama preko 2000 m² pretežno su pozicionirane na prostoru Valožja i Litice. Najveća vrtača, izduženog tipa, sa površinom od 29347 m² nalazi se duž talvega u slepoj dolini Veliko Konjsko u istočnom delu Valožja.

Vrednosti indeksa zaobljenosti vrtača (C_i) kreću se u intervalu od 1.02 (kružne) do 2.13 (izdužene). Medijana C_i je 1.09, što govori o apsolutnoj dominaciji okruglih vrtača od ukupno 1116 (91%). Preostale vrtače su elipsoidne 104 (8.5%) i izdužene 8 (0.5%). Na prostoru Suve planine nije utvrđena pravilnost u rasprostranjenosti vrtača u zavisnosti od indeksa zaobljenosti. Najveće indekse zaobljenosti imaju vrtače sa najvećim površinama. Generalno gledano, to nije pravilo za vrtače Suve planine, s obzirom na to da je koeficijent determinacije $R^2=0.216$. Ova vrednost ukazuje da ne postoji statistički značajna korelacija između ova dva pokazatelja.

Najduža osa vrtače, odnosno njen azimut, uzeti su kao mera orijentacije vrtača (Verbovšek & Gabor 2019). To znači da je ona izračunata za elipsoidne i izdužene vrtače, njih ukupno 107 (9%). Rezultat je predstavljen kao kružni histogram koji je podeljen na odeljke po 15°. Dominantan azimut orijentacije vrtača je severozapad-jugoistok (317.5°-147.5°), što je u korelaciji sa osom antiklinale Suve panine.

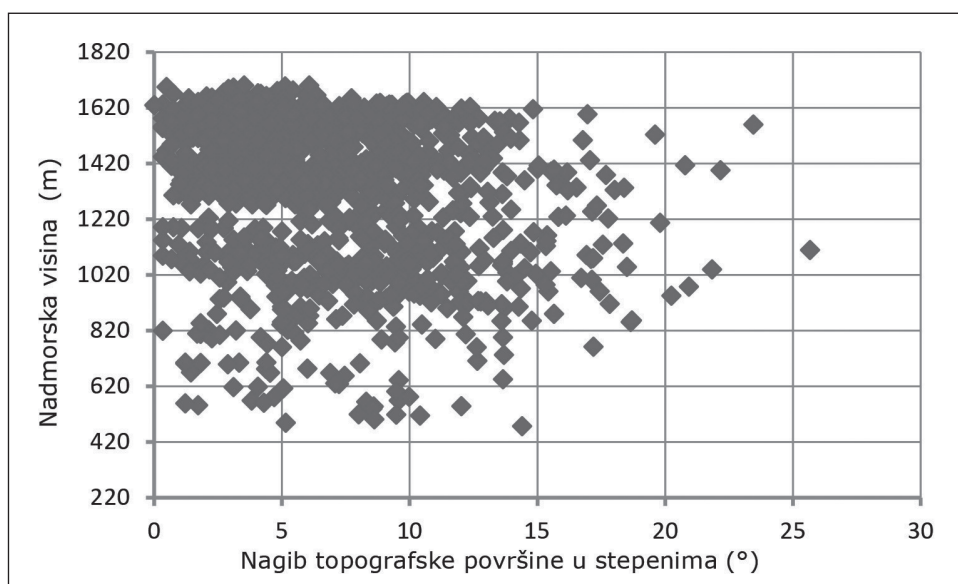


Slika 5. Orijentacija vrtača (a) i vrtače prema indeksu zaobljenosti na Suvoj planini



Slika 6. Odnos površine vrtača i njihovog indeksa zaobljenosti

Prostorna distribucija vrtača na Suvoj planini u velikoj meri limitirana je nagibom topografske površine. Vrtalice se javljaju na nagibima u intervalu od 0° do 26°. Od ukupnog broja 91% (1120) vrtača je locirano na nagibima do 12° a 9% (118) na nagibima od 12° do 26°. Po jedna vrtača je locirana na nagibima od 23° i 26°. Hipsometrijski vrtače Suve planine rasprostranjene su u visinskom pojasu između 476 m n.v. i 1700 m n.v. Iznad 1000 m n.v. locirano je 87% od ukupnog broja vrtača. Najveći broj, njih 493 (40%), lociran je u visinskom pojasu između 1400 i 1600 m n.v. Na visinama do 600 m n.v. nalazi se svega 1.5%, a na visinama iznad 1600 m n.v. 10% od ukupnog broja vrtača.



Slika 7. Nadmorska visina i nagib topografske površine na kojima su locirane vrtače Suve planine

Tokom terenskih istraživanja na prostoru Suve planine utvrđena su tri genetska tipa vrtača. To su klasične (*solution doline*), vrtače-provalije (*cover collapse doline*, *dropout doline*) i sufozione vrtače (*suffosion doline*). Tipologija je zasnovana na litološkim odnosima (De Waele & Gutierrez 2022, Waltham & Fookes 2005; Ford & Williams 2007). Klasične vrtače, koje su ujedno i najdominantniji genetski tip na prostoru Suve planine, pozicionirane su na terenima gde je podloga isključivo krečnjak (slika 8a). Vrtače-provalije i sufozione vrtače javljaju se na lokalitetima gde su krečnjaci prekriveni kohezivnim i nekohezivnim sedimentnim stenama različitog porekla. Iz tog razloga pojava ovih genetskih tipova vrtača karakteristična je za veća topografska udubljenja kao što su suve i slepe doline, gde je tokom evolucije terena došlo do taloženja sedimenata. Sam kraški proces je nastavio, samo sporije, da se razvija i ispod zapunjenog terena. Usled rastvaranja krečnjaka i stvaranja šupljina, sedimenti u povlati su gubili oslonac što je dovelo do refleksije na topografskoj površini i stvaranja ovih tipova vrtača. U slučajevima kao što je deo vrtača u suvoj visećoj dolini jugositočno od vrha Litica, gde je došlo do postepenog poniranja nekohezivnih sedimenata (zrna peska) formirane su plitke vrtače u obliku levka (slika 8b). U ovom procesu sinhronizovano se odvijalo rastvaranje krečnjaka, stvaranje šupljina i poniranje peska. Ovaj tip vrtača pripada sufozionim vrtačama.



Slika 8. Genetski tipovi vrtača na Suvoj planini: a) normalna vrtača, b) sufoziona vrtača

U suvoj dolini Malo Konjsko postoji isti litološki odnos (Petrović 1954), s tim što su u pitanju kohezivni sedimenti (sadrže preko 50 % gline). Razlika u odnosu na predašnji proces je u tome što se ne odvija sinhronizovano rastvaranje, stvaranje šupljina i poniranje sedimenata. Zbog kohezivnog faktora sedimenti na topografskoj površini ne reflektuju odmah promene nastale u krečnjaku, već se to dešava kasnije, i to u veoma kratkom periodu. Kako dolazi do naglog „otvaranja“ vrtače, ona zadobija strme strane i bunarastu formu. Ovaj genetski tip označava se kao vrtača-provalija.

Morfologija vrtača uslovljena je genetskim procesima. Prema Cvijićevoj (1895;1960/1989) morfološkoj podeli vrtača na Suvoj planini, utvrđeno je dominantno prisustvo karličastih vrtača i znatno manji broj levkastih i bunarastih vrtača. Pored ova tri tipa vrtača utvrđen je i četvrti, za sada nestandardizovan morfološki tip, otvorene vrtače. Na Suvoj planini dominiraju pokrivene i „polupokrivene“ vrtače, što je posledica značajnog prisustva kambičnog zemljišta i alogenih naslaga. Zato su vrtače Suve planine u većem ili manjem obimu zapunjene pedološkim slojem koji je doprineo formiranju karličastih i otvorenih vrtača.

Veći broj otvorenih vrtača utvrđen je na isturenim uzvišenjima kod vrha Litica (1683 m), između Šangajskog vrha (1508 m) i Golemog Stražišta (1714 m), u predelu Kušnog rida ili bliže velikom odseku kod Golemog lica (1663 m). Jugoistočno od Trema grupisane su poluotvorene i zapunjene kraške depresije sa sufozionim vrtačama, gde je u više otvorenih sondi pored kombičnog zemljišta izdvojen i horizont sa sitnom drobinom, što se može dovesti u vezu za starim mraznim raspadanjem i spiranjem na krečnjaku (paleopermafrost). U jednoj otvorenoj vrtači na Litici, otvorena je sonda dubine 1,4 m sa karakterističnim profilom A-B-C tipa kombičnih zemljišta (Heшић 2015). Na osnovu ovih i drugih sondiranja zapaženo je da se kombična zemljišta koncentrišu u najdubljim delovima vrtača/kraških depresija, dok u plićim, obodnim delovima ovih oblika dominiraju planinske crnice na krečnjacima čija debljina ne prelazi 0,5-0,6 m.

Posebna specifičnost otvorenih vrtača Suve planine je pojava stepeničastog rasporeda ovih oblika, karakteristična u predelu vrha Litice (Heшић 2015), ali i između Šangajskog vrha i Golemog Stražišta.

Karličasti tip vrtača je takođe značajno zastupljen. Ovaj tip vrtača dominira na delu „Štrbačkog Valožja“ južno od Litice i centralnim delovima Valožja, gde se javljaju nizovi vrtača, verovatno po strukturnim diskontinuitetima. Karličasto svojstvo najčešće potiče od zemljišne/pedološke ispune vrtača, gde je kod većine ovih oblika zastupljeno svodasto dno sa obodnim stenovitim stranama, kao vidu poluzapunjenih vrtača. U okviru ovog tipa vrtača, ali i kod otvorenih ili „ravnih“ vrtača, javlja se svojstvo polifaznosti sa sekundarnim razvojem sufozionih vrtača, najčešće levkastog morfološkog tipa. Pojava sufozionih vrtača prisutna je i u alogenim naslagama, kao u suvoj dolini u blizini Litice (slika 8b).

U odnosu na opisane morfogenetske tipove vrtača, pojava levkastih i bunarastih vrtača je retka. Na pojedinim primerima javljaju se levkaste vrtače, kao pravac značajnijeg ispiranja ili sekundarnog razvoja sa salamanjem „manjeg obima“ i pojavama asimetrije sa vertikalnim odsecima na stranama vrtača gde se ove pojave beleže.



Slika 9. Morfološki tipovi vrtača na Suvoj planini:
a) karličasta vrtača (Valožje), b) otvorena vrtača (Litica)

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Na prostoru Suve planine vrtače predstavljaju najrasprostranjeniji kraški oblik reljefa. Njih ukupno 1228 raspoređeno je na površini od 92 km² u visinskim rasponu od 476 m do 1700 m n.v. Unutar ove površine rapored vrtača je neravnomeran, a za meru gustine vrtača korišćen je metod gustine jezgra. Vrednosti gustine jezgra na prostoru Stare planine kreću se u intervalu od 1 do 21 vrtače/km². Metod gustine jezgra, za razliku od druga dva (jediničnog polja i proste gustine), može da "oseti" promene gustine vrtača na površinama koje su manje od 1 km². Zato je ovaj metod uzet kao

relevantan pokazatelj gustine vrtača, ali i kao pokazatelj koji može doprineti preciznijem sagledavanju faktora njihove prostorne distribucije. Glavni faktori koji su doprineli nehomogenom rasporedu vrtača prepoznati su u nagibu topografske površine, strukturnim i litološkim karakteristikama, kao i mehaničkim diskontinuitetima unutar samih karbonatnih stena. Kako je do sada već istaknuto (Pahernik 2012; Lončar & Grcić 2022), vrtače se javljaju na blažim nagibima topografske površine, jer se na taj način usporava oticanje atmosferskih voda i obezbeđuje duži kontakt između vode i karbonatnih stena. To doprinosi intenzivnijem hemijskom rastvaranju, što sa vremenom konvergira ka formiranju vrtača. Na prostoru Suve planine vrtače su dominantno prisutne na nagibima do 12° (91%). Preostali broj vrtača pozicioniran je na nagibima do 26°. Za vrtače na ovako velikim nagibima morao bi se detaljno analizirati mikrotopografski položaj, kao i mehanički diskontinuiteti unutar stene koji su najverovatnije doprineli formiranju vrtača na ovako velikim nagibima. Uticaj strukturnih karakteristika na genezu i distribuciju vrtača zahteva detaljniju analizu. Rezultati ovog rada ukazuju da je dominantna orijentacija vrtača u korelaciji sa osom antiklinale. Sa druge strane, najmanju korelaciju orijentacije imaju vrtače pravca severoistok–jugozapad, što odgovara dominantnoj orijentaciji raseda Suve planine (Vujisić et al. 1971). U pogledu litološke podloge, vrtače se formiraju u karbonatnim stenama i mešovitim litološkim jedinicama gde karbonatne stene imaju većinsko učešće. Za genezu, a i morfologiju vrtača Suve planine, relevantnim se smatra litološki odnos karbonatnih stena i klastičnog sedimentnog sloja u njihovoj povlati. Ovakav litološki odnos omogućio je formiranje vrtača-provalija i sufozionih vrtača u zavisnosti od toga da li se radi o kohezivnim ili nekohezivnim sedimentima.

U pogledu evolucije, krečnjački tereni Suve planine odavno su prošli kroz fluvijalnu fazu. Na prostorima iznad 1000 m n.v. nema površinskih tokova. Ima suvih i slepih dolina i tu je koncentrisano preko 87% od ukupnog broja vrtača. Pored ovoga treba ukazati na to da su vrtače sa površinama preko 2000 m² dominantno raspoređene na visinama preko 1000 m n.v. Ovi morfo-hidrografske indikatori bi mogli da govore o odmakloj fazi karstifikacije prostora Suve planine ne samo u pojasu od 1400 do 1500 m n.v. (Cvijić 1912; Gavrilović 1975), već na prostorima od 1000 do 1810 m n.v.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je realizovano uz finansijsku podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-66/2024-03/200172).

LITERATURA

- Basso, A., Bruno, E., Parise, M., Pepe, M. (2013). Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy), *Environmental Earth Sciences*, DOI: DOI 10.1007/s12665-013-2297-z
- Bauer, C., (2015). Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data, *Geomorphology*, 250, 78–88.
- De Waele, J. & Gutiérrez, F.(2022). Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves. Chichester: John Wiley & Sons (First Edition)
- Ford, D. & Williams, P.(2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chichester: John Wiley & Sons.
- Gavrilović, D. (1975). Kras Karpatsko-balkanskih planina u Jugoslaviji. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 55(2), 28-43.
- Horvat, I. (1953). Vegetacija ponikava. Prilog biljnoj geografiji krša. *Geografski glasnik*, 14-15, 1-25
- Lončar, N. & Grcić, I. (2022). GIS-based analysis of doline density on Miljevci karst plateau (Croatia). *Acta Carsologica*. 51(1): 5-17. <https://doi.org/10.3986/ac.v51i1.10465>
- Mihailović, D. (2014). Paleolit na centralnom Balkanu. Kulturne promene i populaciona kretanja. Beograd: Srpsko arheološko društvo.
- Milanović, S., Stevanović, Z., & Vasić, Lj. (2010). Monitoring podzemnih voda Beljaničkog masiva u funkciji formiranja modela karstnog sistema. *Vodoprivreda*, 42, 199-212.
- Milošević, M.V., Čalić, J., Milivojević, M. (2022). Prostorna distribucija vrtača na Beljanici. U Đurović & Petrović (ur): Kras – vekovna naučna inspiracija. Univerzitet u Beogradu Geografski fakultet, 313-325.
- Milovanović B, Ducić V, Radovanović M, & Milivojević M (2017a). Climate regionalization of Serbia to Köppen climate classification. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA* 67(2), 103–114.
- Nešić, D. (2018). Jama Provalija na Suvoj planini (istočna Srbija) – primer podzemnog visokoplaninskog krasa. Zbornik 8. Simpozijuma o zaštiti karsta 129-138. Beograd: Akademski speleološko-alpinistički klub.
- Pahernik, M. (2012). Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske. *Hrvatski geografski glasnik*, 74(2): 5-26.

- Pavićević, N. (1953). Tipovi zemljišta na Suvoj planini. *Zemljište i biljka* II/1.
- Petrović, J. (1974). Krš Istočne Srbije. Beograd: Srpsko geografsko društvo (knj. 40)
- Telbisz, T., Mari, L. & Čalić, J. (2007). Morfometrijska analiza vrtača na Miroču upotrebom GIS-a. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 87(2), 21-30.
- Verbovšek, V. & Gabor, L. (2019). Morphometric properties of dolines in Matarsko podolje, SW Slovenia. *Environmental Earth Sciences*, 78(396), 1-16
- Vujisić, T., Navala, M., Kalenić M., Hadži-Vuković, M., Anđelković, J., Krstić, B., Rakić, B. (1971). Osnovna geološka karta SFRJ, list Bela Palanka. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Милић, Ч. (1960). Прилог проблему генезе црвенице на Сувој планини. *Зборник радова Географског института Јован Цвијић САНУ*, 16, 89-104
- Милић, Ч. (1961). Главне одлике краса Суве планине. *Зборник радова Географског института Јован Цвијић САНУ*, 18, 93-154
- Миловановић Б, Радовановић М, Станојевић Г, Пецељ М, Николић Ј. (2017b). Клима Србије. У Радовановић М (ур.): Географија Србије. Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд.
- Нешић, Д. (2015). Рељеф у пределу врха Литица (Сува планина, Источна Србија). *Зборник радова 4. Српски конгрес географа, Копаоник*
- Петровић, Ј. (1954). Ерозија тла на Сувој планини. *Зборник радова Географског факултета* 1, 28-52
- Цвијић, Ј.(1960/1989). Географија кречњачких терена. Сабрана дела Јована Цвијића, Географија краса, књ. 7, издање 1989, Београд, 171-193, превод: Cvijić, J. (1960): La géographie des terrains calcaires. Monographie, tome CCCXLI, Classe des sciences mathématiques et naturelles №. 26, Beograd, 1-212.
- Цвијић, Ј. (1889). Ка познавању крша Источне Србије. Просветни гласник; Јануар, 1-18, Фебруар, 62-73, Март, 131-139, Београд / Cvijić, J. (1889). Ка познавању крша Истоčne Србије. *Prosvetni glasnik*; Januar, p.1-18, Februar, p.62-73, Mart, p.131-139, Beograd
- Цвијић, Ј. (1912). Сува планина и карст Валожеја. *Гласник Српског географског друштва*, 1, 92-99
- Цвијић, Ј.(1895). Карст, географска монографија. Сабрана дела Јована Цвијића, Карст и Нови резултати о глацијалној епоси Балканског полуострва, књ. 1, поновљено издање 1991, Београд, 203-323.

DOLINES ON SUVA PLANINA MT.

Marko V. Milošević⁵, Jelena Čalić⁶, Milovan Milivojević⁷, Dragan Nešić⁸

Abstract: Suva Planina Mt. is a part of the Carpatho-Balkanides of eastern Serbia. It encompasses the area of 427 km², striking in NW–SE direction at the length of 43 km. Out of the total area of the mountain, limestones cover about 60%, mostly in the central part. The landform types include paleofluvial, fluvial, slope, as well as surface and underground karst forms. The largest number of landforms are karst dolines (1227 mapped), based on the official topographical map at the scale 1:25,000). Morphometric characteristics of doline-covered areas have been determined using the SRTM DEM (90 m resolution). According to the genetic classification, the dolines belong to the solution, collapse and suffosion types, while morphographically, they are funnel-like and bowl-like. Apart from these standard types, the „open” dolines, missing a part of their rims, are present as well. Regarding the spatial distribution, they are unevenly scattered. Hypsometrically, they are present from 480 and 1704 m a.s.l. The densities are in the span 1–21 per km² (Valožje area). The main factors of spatial distribution are lithological composition, rock fractures and slope inclinations. The land cover mainly consists of woods and pastures, without intensive agricultural activities. According to the land use, the dolines on Suva planina are under forest cover and mountain pastures.

Key words: dolines, doline density, karst, Suva Planina, Serbia

⁵ SANU, Geographical Institute "Jovan Cvijić", Đure Jakšića 9, Belgrade, Serbia, m.milosevic@gi.sanu.ac.rs, ORCID: 0000-0001-5188-7260

⁶ SANU, Geographical Institute "Jovan Cvijić", Đure Jakšića 9, Belgrade, Serbia, j.calic@gi.sanu.ac.rs, ORCID: 0000-0002-7271-5561

⁷ SANU, Geographical Institute "Jovan Cvijić", Đure Jakšića 9, Belgrade, Serbia, m.milivojevic@gi.sanu.ac.rs, ORCID: 0000-0001-8008-2277

⁸ Institute for Nature Conservation of Serbia, Institute's Unit in Niš, Vožda Karađorđa 14/2, Niš, Serbia, dragan.nesic@zps.rs