

Оригиналан научни рад

UDC 911.2:007(497.11)

TAMÁS TELBISZ  
LÁSZLÓ MARI  
ЈЕЛЕНА ЋАЛИЋ\*

### МОРФОМЕТРИЈСКА АНАЛИЗА ВРТАЧА НА МИРОЧУ УПОТРЕБОМ GIS-A

**Извод:** У раду је анализирана еволуција вртача и њени фактори, као што су геолошки састав, рељеф и тектонски склоп, користећи GIS методе. На простору од 123 km<sup>2</sup> евидентирани су 3064 вртаче, што је бројка која дозвољава и статистичку обраду. Густина вртача (24.9 km<sup>-2</sup>) је релативно велика, а површина под вртачама (1697 m<sup>2</sup>) релативно мала. И анализа густине и теренски подаци указују на то да је еволуција површинског карста у релативно раној фази. Просторни распоред вртача је углавном одређен распрострањем горњејурских кречњака и нагибима терена до 12°. Осим тога, крила и оса антиклинале, као и раседне пукотине које углавном имају тренд југозапад-североисток, такође су у вези са густином вртача. Ипак, оријентација дуље осе вртача је претежно северозапад-југоисток, што није у складу са осматраним тектонским склопом терена, па ова проблематика изискује додатна истраживања.

**Кључне речи:** вртаче, карст, структурне карактеристике, GIS, Мироч, Јужни Карпати

**Abstract:** Mt. Miroč doline karst evolution and its determining factors such as geology, relief and structure are analysed using GIS tools. The 3064 dolines found in a 123 km<sup>2</sup> area support the use of different statistical methods. Doline density (24.9 km<sup>-2</sup>) is relatively high and mean doline area (1697 m<sup>2</sup>) is relatively small. Both frequency analysis and field evidence suggest that doline karst evolution of the area is at a relatively young stage. Spatial distribution of the dolines is mainly determined by the Upper Jurassic limestone, and slope angle less than 12°. Furthermore, the anticline limbs and axis as well as the SW-NE trend fault lines are also in connection with doline density. However, doline long axis orientation is typically NW-SE, which is not in accordance with the observed rupture systems. Therefore, this issue requires further research.

**Key words:** dolines, karst, structural characteristics, GIS, Mt. Miroč, Southern Carpathians

#### Увод

Планина Мироч налази се у североисточној Србији. Орографски припада Јужним Карпатима, односно Карпато-балканидима. У Ђердапској клисури, у сектору Казана, представља десну долинску страну клисуре Дунава. По геолошком саставу на Мирочу доминирају горњејурски кречњаци. Преко њих леже седименти доње и горње креде, који су на већем делу терена еродовани, и заостали су једино на најнижим деловима оба крила мирочке антиклинале. Површински карстни рељеф Мироча детаљније су обрађивали Ч. Милић (1965) и М. Зеремски (1988).

Циљ ове студије је утврђивање везе између рељефа, геолошких карактеристика (литологије и структуре) и карактеристика вртача, уз помоћ GIS-а и

---

\* **Dr Tamás Telbisz**, ELTE Department of Physical Geography, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, Hungary

**Dr László Mari**, ELTE Department of Physical Geography, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, Hungary;  
**мр Јелена Ћалић**, истраживач-сарадник; Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд.

Рад представља резултате истраживања пројекта 146011 кога финансира Министарство науке Републике Србије.

статистичких метода. Резултати морфометријских анализа вртача могу да помогну у расветљавању неких дискутабилних детаља у геолошкој историји овог простора.

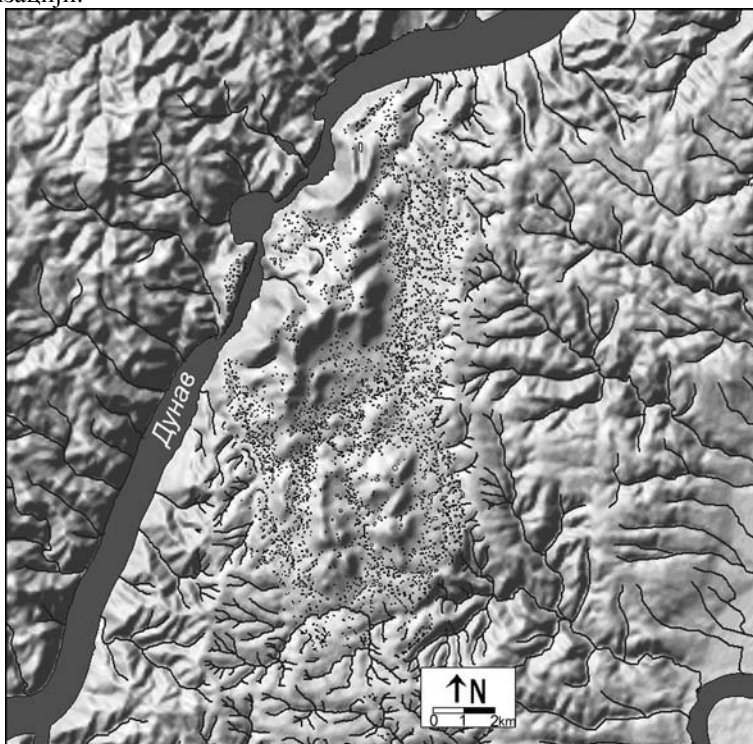
Иако Дунав одваја Мироч од карстних платоа Чукар са леве долинске стране Дунава у Казану, њихове геолошке одлике и површински карстни облици су веома слични. Зато је простор Чукара у Румунији укључен у ову анализу и резултате.

### Методологија истраживања

Примењена методологија је елаборирана и коришћена за неколико карстних терена у последњих неколико година (Telbisz *et al.*, 2005, Telbisz *et al.*, 2006a, b), али ово је први пут да је таква анализа примењена на простору Мироча.

Као основне карте коришћене су ТК 1:25000 (еквидистанција 10 m). Геореференциране су у Гаус-Кригеровој мрежи, а касније пребачене у UTM систем употребом софтвера ERDAS IMAGINE 8.5. За GIS анализу коришћена је Основна геолошка карта (Богдановић и сар. 1973), с тим да су пажљиво размотрени и рукописни оригинали ОГК у размери 1:25000, као и румунска геолошка карта.

Као дигитални елевациони модел (DEM) користили смо SRTM податке (NASA) јер је истраживано подручје релативно велико. Хоризонтална резолуција DEM-а од 90 m дала је поуздане резултате у дигиталној анализи терена и визуелизацији.

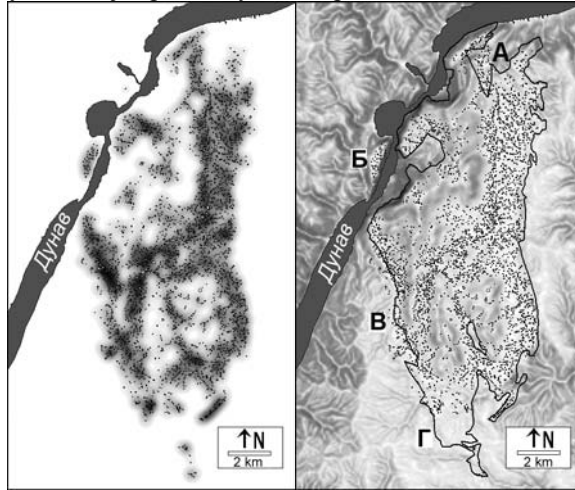


Скица 1: Просторни распоред вртача на Мирочу

Вртаче су дефинисане дигитализацијом одговарајућих изохипси на топографским картама. Овако добијени облици коришћени су за одређивање површина. Међутим, локација најдубље тачке у вртачи није могла да се одреди са топографских карата. Из тог разлога дубина недостаје у нашој статистичкој анализи, мада иначе представља један од важних параметара морфометрије вртача.

## Рељеф и литологија као фактори просторног распореда вртача

Са топографских карата могли смо да идентификујемо 3164 вртаче. Већина њих (3064) се налази на релативно концентрисаном простору (Сл.1) од 123 km<sup>2</sup>. Из ових података је израчунато да је средња густина вртача 24,9 km<sup>-2</sup>.



Скица 2: а) густина вртача добијена коришћењем радијуса од 500 m (ArcView/Calculate Density, Kernel-algoritmus); б) нагиби терена и површинска граница распрострањења горњејурских кречњака. А, Б, В, Г: терени са „неправилностима“ (детали у тексту)

На Ск.2а густина вртача је приказана да би се добио бољи преглед њиховог просторног распореда. На овој слици јасно је видљиво неколико појасева оријентисаних N-S (NNW-SSE), као и шира централна зона WSW-ENE са великом концентрацијом вртача. Ипак, постоје и неке „беле мрље“, тј. зоне без вртача, унутар ове велике карстификоване површине. Једно од основних питања је који су фактори утицали на овакав просторни распоред вртача. На ово питање одговор могу да дају GIS алати, много лакше него традиционални методи. Сл. 2б указује на одговор: терени са горњејурским кречњацима и нагибима мањим од 12° прецизно се поклапају са теренима са највећом заступљеношћу вртача. Уз ову тврдњу потребно је дати још два објашњења:

1) Нагиби терена су израчунати са дигиталног елевационног модела са хоризонталном резолуцијом од 90 m, који садржи просечну надморску висину сваког пиксела – зато су израчунате вредности нагиба донекле мање од стварних нагиба на терену. Ипак, не постоји тачна функција која би трансформисала ове вредности са датом DEM резолуцијом, иако је по овом питању објављено више радова (нпр: Ludwig & Schneider, 2006; Szabo, 2006).

2) Постоји неколико изузетака од претходно изреченог правила, као што се види на Ск.2б:

А, Б, В: ови делови терена су на геолошкој карти означени као доњекредне некарстне стене. Ипак, у овим деловима су доњекредни слојеви релативно танки и налазе се у повлати горњејурским кречњацима на крилима мирочке антиклинале. Осим тога, у појединим деловима ових формација знатан је удео карбоната, што доприноси формирању вртача. На овим теренима, гребени су покривени некарстним седиментним стенама, али дна и стране карстних депресија (вртаче и најнизводнији делови слепих долина) су у кречњацима.

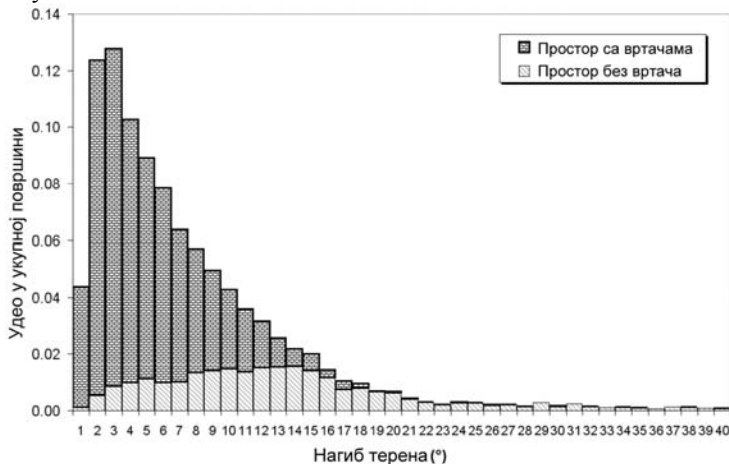
Г: За разлику од претходно поменуте три локације, овде се „неправилност“ састоји у томе што су на геолошкој карти картирани горњејурски кречњаци, нагиби

терена су такође повољни (мање од  $12^\circ$ ), али вртаче изостају. Можемо да претпоставимо да су овде ипак присутни повлатни слојеви преко кречњака, те да је потребна извесна корекција геолошке карте.

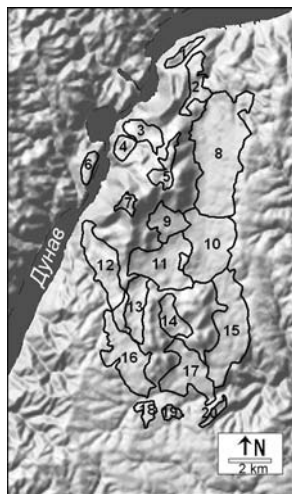
Уколико простор са горњејурским кречњацима поделимо на две целине – једну на којој се јављају вртаче и једну без вртача – за обе целине можемо да израчунамо распоред заступљености вртача на појединим нагибима терена (Ск.3). Овај хистограм показује следеће:

- 1) простор који је релативно раван заузима велик удео у укупном истраживаном простору;
- 2) За углове нагиба до  $12^\circ$ , већи део простора је под вртачама;
- 3) Код већих углова, тј. стрмијих нагиба, вртаче су ретке, али се местимично јављају.

Треба још једном поменути да су вредности углова нагиба одређене уз помоћ SRTM. Штавише, у овој анализи боље је користити SRTM слабије резолуције него DEM јаче резолуције. Разлог томе је што се у случају јаче резолуције стране вртача појављују као терени са већим нагибом, што би резултирало већим просечним нагибом издвојене просторне јединице. Тако би издвајање појединих категорија на хистограму имало много мање смисла.



Скица 3: Заступљеност простора са и без вртача у оквиру појединих категорија нагиба терена, у односу на површину укупног истраживаног простора



У циљу детаљније анализе, истраживани простор је подељен у 20 целина (Ск. 4). Приликом одређивања целина, трудили смо се да заокружимо релативно хомогене области по различитим параметрима, у којима су вртаче у већој мери груписане. Наравно, ово не треба узети као дефинитивну поделу, те је она у том смислу подложна променама у будућим анализама. У обзир су узети и морфолошки и структурни аспекти. Није био циљ да свака вртача нужно буде у некој од просторних целина, тако да неки делови терена са малим бројем вртача нису укључени ни у једну целину. Основни морфометријски подаци дати су у Табели 1 (под „Укупно“ су урачунате и оне вртаче које не припадају ни једној целини).

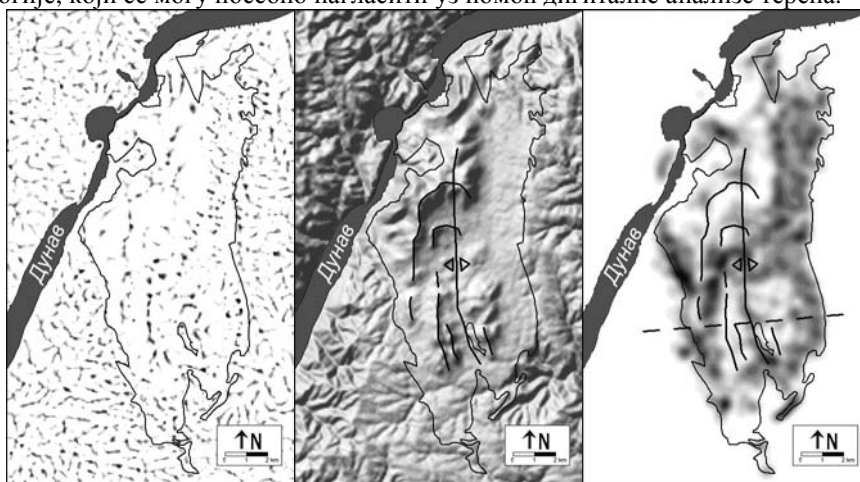
Скица 4: Терен са вртачама подељен у 20 целина

Табела 1: Морфометријски подаци за 20 целина са вртачама

Бр.	Назив	Површина (km <sup>2</sup> )	Бр. вртача	Густина	Надм. висина		Површине вртача (m <sup>2</sup> )	
					Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub>	просек	медијана
1	Голо брдо	0.86	36	42.0	240	255	1795	1097
2	Турска ливада	2.04	95	46.6	375	400	1740	890
3	Длбока	1.71	89	52.2	370	430	1235	795
4	Плоча	0.92	31	33.6	340	370	1655	1156
5	Лева глава	1.58	57	36.0	590	650	1723	1035
6	Чукар (Румунија)	0.81	32	39.7	285	295	1782	1368
7	Велики Штрбац	0.62	27	43.7	705	735	1619	933
8	Анђина пољана	12.87	574	44.6	400	420	1885	1193
9	Незгодни чукар	2.24	65	29.0	445	490	1101	820
10	Кремењар	6.91	287	41.5	410	430	1967	1304
11	Велика Спартура	5.52	249	45.1	425	460	2015	1253
12	Крак	4.32	238	55.2	350	390	1497	872
13	Малашко корито	2.69	154	57.1	450	470	1788	1086
14	Михајлов повор	1.97	61	31.0	435	450	2780	1751
15	Корњет – Вакарија	7.65	308	40.3	375	390	1966	1349
16	Повор (Суви – Ракин)	5.08	215	42.3	395	420	1487	900
17	Цветановац	4.44	181	40.8	385	405	1345	952
18	Балта лунга запад	0.78	49	62.7	385	400	775	660
19	Балта лунга исток	0.51	21	41.5	365	390	1009	846
20	Расад	0.56	52	92.7	350	370	630	571
	<b>Укупно</b>	<b>123</b>	<b>3064</b>	<b>24.9</b>	<b>385</b>	<b>435</b>	<b>1697</b>	<b>1032</b>

### Веза између структурних фактора и формирања вртача

Главна структурна одлика Мироча је антиклинала чија оса има пружање правца север-југ. Ова антиклинала је детерминанта неких облика структурне морфологије, који се могу посебно нагласити уз помоћ дигиталне анализе терена.

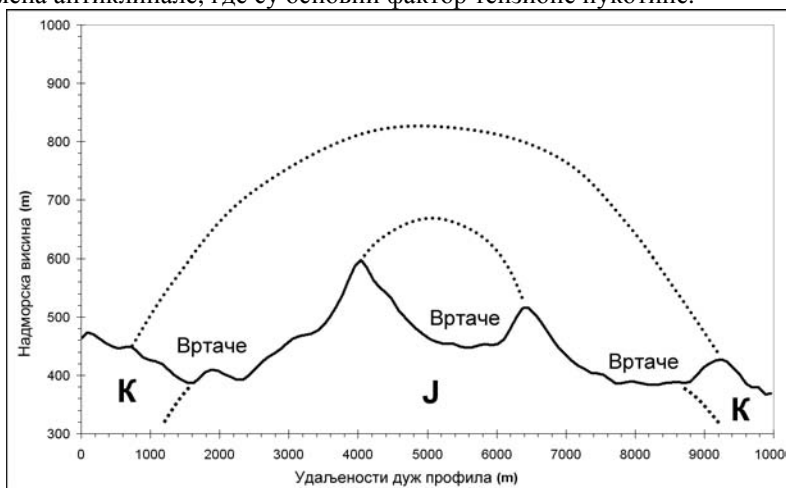


Скица 5: а) коришћење филтра за детекцију гребена (детаљније у: *Telbisz & Karátson 2006*); б) гребени типа квесте, и оса антиклинале; в) густина вртача и антиклинална структура (испрекидана линија: локација профила на Скици б).

Прво, могуће је издвојити гребене (Ск. 5а, метод према: Telbisz & Karátson 2006), што помаже у идентификацији стрмих квести дуж крила антиклинале. Осим тога, карта са сенкама (Ск. 5б), као и друге изведене карте (карта нагиба терена, карта густине вртача, Ск. 5в) коришћене су за анализу антиклиналне структуре. Попречни профил (Ск. 6) је такође послужио у ту сврху.

Као што се види на Ск. 5б, гребени правца север-југ (местимично попречно дисецирани) су квесте настале на отпорнијим слојевима горњејурских кречњака дуж крила антиклинале. Стрме падине ових квести спречавају формирање вртача. Северни гребени који благо повијају ка истоку указују на то да антиклинала тоне ка северу, па је у том правцу мање еродована. Оса антиклинале је, према овим резултатима, донекле померена на запад у односу на позицију картирану на Основној геолошкој карти. И друга опажања иду у прилог западнијем положају осе: густина вртача је већа дуж ове измењене позиције, и вероватно је да су тензионе пукотине на темену антиклинале интензивирале карстификацију и формирање вртача.

О повезаности између антиклиналне структуре и формирања вртача можемо да закључимо следеће: простори са највише вртача налазе се дуж еродованог западног и источног крила, где контакт са некарстним стенама погодује развоју вртача, те у зони темена антиклинале, где су основни фактор тензионе пукотине.

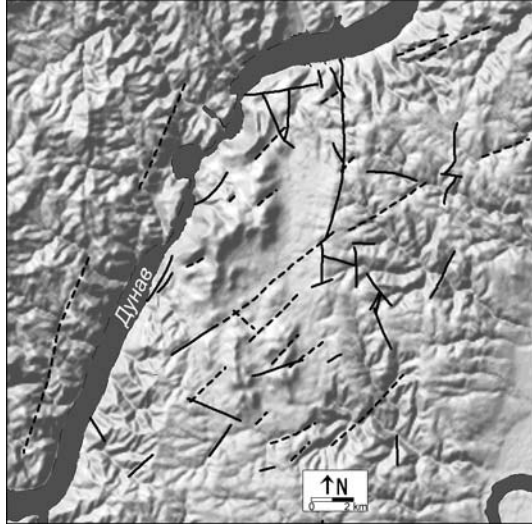


Скица 6: Профил по правцу запад-исток, и положај терена са вртачама (тачкаста линија: реконструисана антиклинала)

Осим бора, на терену постоји још структурних елемената, пре свега раседа. Уз помоћ дигиталне анализе терена, до изражаја долазе линеарне форме које повезују суседне облике рељефа (нпр. суседне долине), и могу се сматрати за вероватне раседне линије (нпр. долине, седла, линеарни низови вртача; Ск. 7). За ову анализу коришћена је карта сенчења рељефа, 3D визуелизација, карта нагиба терена, филтри који наглашавају долине, и местимично карте густине вртача.

Раседи означени на левој долинској страни Дунава манифестују се у типичним лактастим скретањима мањих долина. Ова скретања указују на десно транскурентно кретање дуж раседа, што је у складу са кретањем већег броја маркантних дислокација Јужних Карпата, нпр. раседом Черне (Krätner, 1996; Fügenschuh & Schmid, 2005), или Џевринским раседом (Grubić, 1967; Marović *et al.* 1997), који имају истоветно кретање. Ови подаци су у супротности са правцем кретања који је предложио М. Зеремски (1988), где се положај Чукара у Румунији објашњава левим транскурентним кретањем.

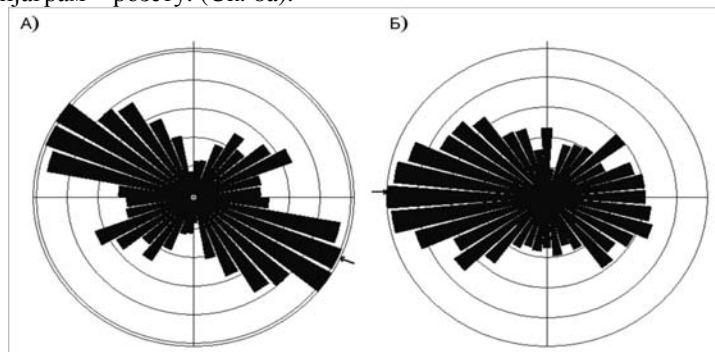
На простору Мироча раседи имају тренд SW-NE. Од највећег значаја је расед који дијагонално пресеца карстификовани простор, и може да се прати даље ка североистоку. Делови овог раседа означени су на Основној геолошкој карти. Врло је вероватно да је централна, интензивно карстификована зона на карти густине вртача (Ск. 2а) у великој мери предиспонирана овим раседом.



Скица 7: Раседне структуре (пуна линија: раседи означени на ОГК; испрекидана линија: раседи чије су позиције утврђене дигиталном анализом терена)

### Оријентација вртача

Оријентација дужих оса вртача је једна од најкориснијих карактеристика облика вртача, под условом да је реч о појединачној вртачи, а не о депресији формираној срастањем више вртача. Други услов је да су вртаче довољно великих димензија. Да бисмо задовољили ове критеријуме, у анализи оријентације смо користили само вртаче са површином већом од 1000 m<sup>2</sup> (укупно их има 1582) и конструисали дијаграм – розету. (Ск. 8а).

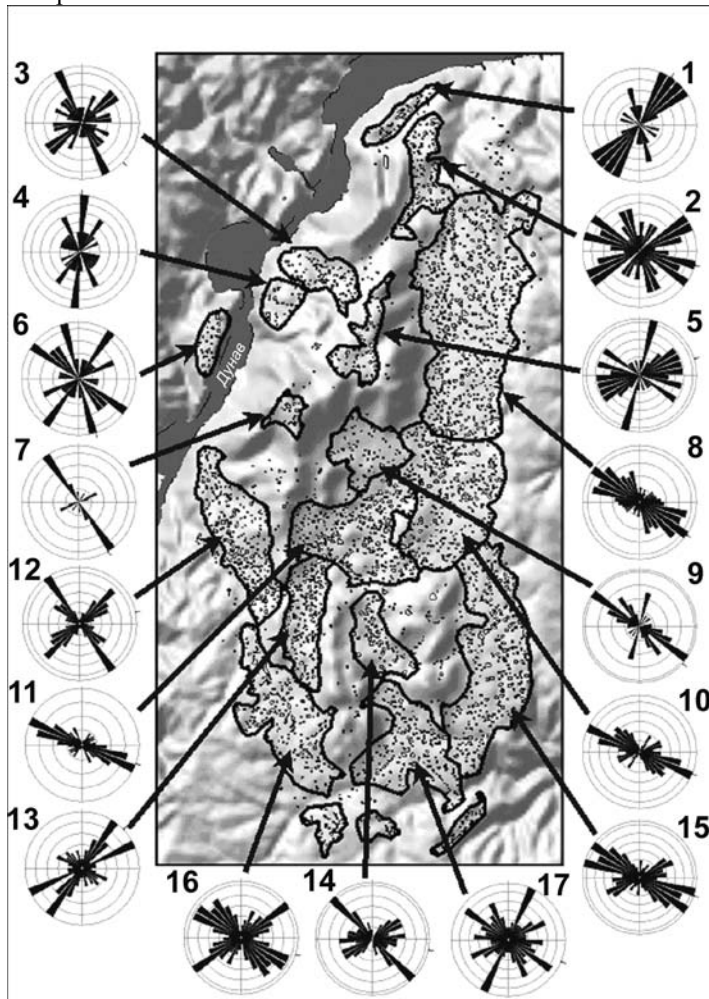


Скица 8: Оријентација вртача и терена: а) Оријентације дужих оса вртача; б) експозиције терена израчунате са DEM-а.

Изнанађујуће је да је код већине вртача доминантна оријентација дуже осе NW-SE. Секундарни максимум SW-NE такође је приметан на розети (Сл. 8а). Првопоменути максимум је неочекиван јер не може да буде објашњен претходно поменути факторима. Такође, ако узмемо у обзир доминантне експозиције терена (Ск. 8б), међу којима доминирају западне и источне, видимо да ни овај показатељ не

објашњава оријентацију дужих оса вртача, иако је добро усклађен са антиклиналном структуром и падом слојева.

Розете дужих оса вртача за сваку посебно издвојену целину приказане су на Ск. 9. Анализирајући ову скицу, можемо да одредимо целине у којима је знатан утицај оријентације доминантних раседа (1, 12, 13, 16, 17), док је у целинама 8, 9, 10, 11, 14, 15 присутна оријентација дуже осе NW-SE. Будући да је овај правац тешко уклопити са до сада осматраним структурним карактеристикама, овај проблем изискује додатна истраживања.



Скица 9: Розете оријентације дужих оса вртача за сваку од издвојених просторних целина

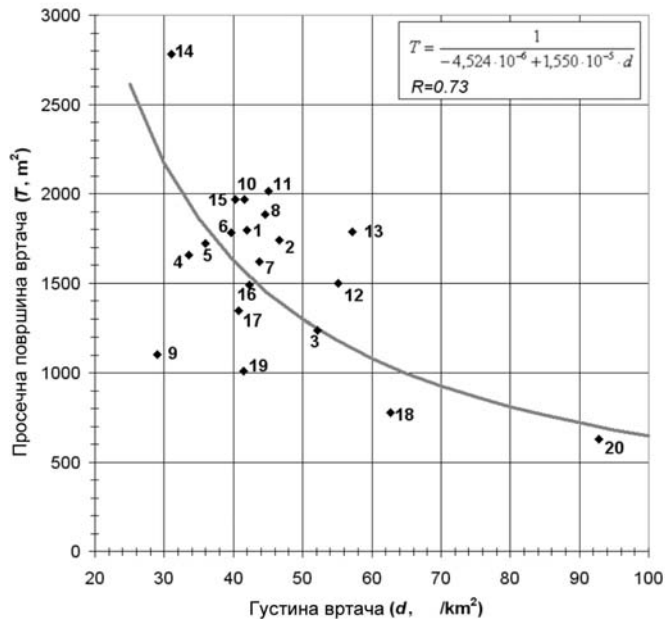
### Фактори који утичу на величину вртача

Од чега зависе димензије вртача на одређеном карстном терену? Ово питање је проучавано у великом броју истраживања. Према неким ранијим студијама, величина вртаче може да се изрази њеном површином (планиметрисаном, тј. мереном на карти), јер је утврђено да су други морфометријски параметри вртача (дужина, ширина, обим) у веома доброј корелацији са површином (више од 0.9). Дубина је делимично независна од хоризонталних димензија (иако је и ту корелација са површином најчешће знатна), али у овом истраживању нисмо имали податке о



дубинама вртача, јер еквидистанција од 10 m на топографским картама 1:25000 није довољна за ову анализу.

У ранијим студијама је утврђено да су у раним стадијумима еволуције површине вртача обично велике, захваљујући интензивној корозији, док је у каснијим стадијумима уобичајено срастање вртача. Последица тога је да је, протоком времена, повећање просечне површине вртача обично повезано са опадањем густине вртача (Telbisz, 2001). Ова појава је приказана на Ск. 10, на којој можемо да видимо да су просечна површина вртача и густина вртача обрнуто пропорционалне, ако ове вредности израчунамо за сваку од издвојених просторних целина. Ова особина може да се сматра „правилом“ (иако не увек у потпуности применљивим), и даје могућност да се одреди „релативна старост карстификације“, јер временска одредница има правац од доњег десног до горњег левог положаја дуж регресионе криве, у складу са описаним правилом.



Скица 10: Однос просечне површине вртача и густине вртача (бројеви се односе на дефинисане целине из Табеле 1). У горњем десном углу је функција обрнуте пропорције, као и коефицијент корелације (R).

### Закључци

Употребом GIS анализе можемо да донесемо следеће закључке о еволуцији површинског карстног рељефа на Мирочу:

- Вртаче су формиране готово искључиво на горњејурским кречњацима.
- Чак и ако је геолошка подлога повољна, ограничавајући фактор за развој вртача је нагиб терена. Уз помоћ SRTM дигиталног елевационог модела, утврђено је да се на нагибима већим од 12° вртаче јављају само спорадично.
- Антиклинална структура такође одређује распрострањење вртача: највећа густина вртача је на еродованом западном и источном крилу, као и на темену антиклинале.
- Од раседних структура, најтипичније су оне које се пружају правцем SW-NE. Линија која грубо дели цео истраживани простор на две половине веома је богата

вртачама. Код знатног броја вртача овај правац је видљив и на оријентацији њихових дужих оса.

– Ипак, доминантан правац дужих оса вртача је NW-SE, што није у складу са осматраним структурним карактеристикама, те овај проблем захтева додатна истраживања.

– На основу односа просечне површине и густине вртача, може да се закључи да је површинска карстна морфологија Мироча још увек у релативно раној фази развоја.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Bogdanović, P., Marković, V., Dragić, D., Rakić, M., Babović, M., Rajčević D., Popović, V., Milojević, Lj. (1973). *List Donji Milanovac*. Beograd: Savezni geološki zavod, OGK 1:100000.
- Fügenschuh B., Schmid S.M. (2005). Age and significance of core complex formation in a very curved orogen: Evidence from fission track studies in the South Carpathians (Romania). *Tectonophysics*, 404, 33– 53.
- Grubić, A. (1967). La faille de Dževrin dans les Carpatides de la Serbie du nord-est. *Association geologique Carpato-Balkanique. VIII-eme congres*, Rapports geotectoniques, Belgrade, 97-107.
- Kräutner H.G. (1996). Alpine and pre-Alpine terranes in the Romanian South Carpathians and equivalents south of the Danube. In: Knežević, V., Krstić, B. (Eds.), *Terranes of Serbia*, 53–58.
- Ludwig R., Schneider P. (2006): Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60, 339–358.
- Marović, M., Grubić, A., Đoković, I., Toljić, M., Vojvodić, V. (1997). The Nealpine tectonic pattern of Djerdap region. *International Symposium "Geology in the Danube Gorges"*; Geoinstitut special publication 25, Belgrade, 111-115.
- Милић, Ч. (1965). Морфологија крашке оазе Мироча. *Зборник радова ГИ „Јован Цвијић“*, књ.20, 15-56.
- Szabó G. (2006). Elterő alapú DEM-ekből származtatott kvantitatív geomorfológiai térképek pontosságának vizsgálata. In: *Lehetőségek a domborzatmodellezésében, a HUNDEM 2006 konferencia közleményei.*, Miskolc, 2006, ISBN 978-963-661-765-3, <http://www.uni-miskolc.hu/~fkt/HunDEM2006/start.htm>
- Telbisz T. (2001). Új megközelítések a töbör-morfológiában az Aggteleki-karszt példáján. *Földrajzi Közlemények*, 125 (49) / 1-2, 95-108.
- Telbisz T., Dragašice, H., Nagy B. (2005). A horvátországi Biokovo-hegység karsztmorfológiai jellemzése terepi megfigyelések és digitális domborzatelemzés alapján. *Karsztfejlődés X.*, Szombathely, 229-244.
- Telbisz T., Karátson D. (2006). A San Francisco vulkán morfometriai elemzése nagy felbontású (10 m) DDM alapján. In: *Lehetőségek a domborzatmodellezésében, a HUNDEM 2006 konferencia közleményei.*, Miskolc, 2006, ISBN 978-963-661-765-3, <http://www.uni-miskolc.hu/~fkt/HunDEM2006/start.htm>
- Telbisz T., Mari L., Kohán B. (2006a). A Karas-szurdok (Aninai-hegység) környékének digitális domborzatelemzése és a helyszínen végzett GPS-es töbör-felmérések tanulságai. *Karsztfejlődés XI.*, Szombathely, 117-131.
- Telbisz T., Móga J., Kósik Sz. (2006b). Töbör-morfometriai elemzések a Szilicei-fennsík délnyugati részén. In: *Karsztfejlődés XI.*, Szombathely, pp.133-152.
- Војногеографски институт / ВГИ *Топографска карта 1:25000 листови Велики Казан, Мали Казан, Мироч.* Београд.
- Зеремски, М. (1988). Геоморфолошка карта крашке оазе Мироча. Зборник радова Одбора за крас и спелеологију III; САНУ посебна издања, књ. DLXXXIX – Одељење природно-математичких наука, књ. 63, Београд, 7-21.

TAMÁS TELBISZ  
LÁSZLÓ MARI  
JELENA ČALIĆ

S u m m a r y

#### DOLINE MORPHOMETRY OF MT.MIROČ USING GIS METHODS

The aim of the present study is to find relationship between relief, geological settings (lithology and structure) and doline properties on Mt. Miroč in North-eastern Serbia, using GIS and statistical methods. Dolines are formed almost exclusively on Upper Jurassic limestone in the area. Even if the rock is suitable, the relief can be a limiting factor. Using SRTM digital elevation model, it is concluded that dolines are only occasional on areas of more than 12° slope. The anticline structure also determines doline distribution: the western and eastern denuded limbs and the axis are characterized by high doline density. Among fault structures, the SW-NE lines are the most typical and especially the diagonal line roughly halving the area is very rich in dolines. These typical fault directions can be also observed in the axis direction of a significant number of dolines. However, the main doline long axis direction is NW-SE, which is not in accordance with the observed structural pattern. Therefore, this issue needs further research. Based on the relation between doline areas and doline density, it is concluded that Miroč karst surface is still in a relatively early stage of karstification.