

Original scientific paper

UDC 551.4:551.435.84 (497.11)
<https://doi.org/10.2298/GSGD1802029P>

Received: September 30, 2018.

Corrected: October 24, 2018.

Accepted: November 11, 2018.

Aleksandar Petrović^{1*}, Jelena Čalić^{}, Marko Pantić^{***}**

^{*} *University of Belgrade, Faculty of Geography, Serbia*

^{**} *Geographical Institute "Jovan Cvijić", SASA, Belgrade, Serbia*

^{***} *Vekom Geo, Belgrade, Serbia*

THROUGH CAVE ON THE ZAMNA RIVER IN EASTERN SERBIA: NEW MORPHOGENETIC INTERPRETATIONS

Abstract: The article deals with the morphogenesis of the through cave Pećina na Reci Zamni (meaning in Serbian: Cave on the Zamna River; in further text: the Zamna Cave). The Zamna Cave was the subject of several geomorphological studies, mostly aimed at explaining the cave genesis through the evolutionary concept from through caves to natural bridges. In order to get better insight into the morphogenesis of this cave, modern geomorphometrical methods were applied. The cave and the surface topography above it were scanned in high resolution using the instrument *Leica Nova MS50*, applying the method of terrestrial laser scanning (TLS). Data processing produced the model for the analysis of the relation between surface and underground forms of karst relief. The results point to the conclusion that the Zamna Cave is an example showing that in the process of natural bridges formation by cave roof collapse, it is not necessary that there is a dry valley above the cave, as previously thought.

Key words: Through cave, natural bridge, Terrestrial Laser Scanning (TLS), Zamna River, Carpatho-Balkanides

¹ apetrovic@gef.bg.ac.rs (corresponding author)

Introduction

Karst of the Carpatho-Balkanides of Serbia covers about 3,400 km² (Petrović, 2015). It is developed on the areas of various sizes and planar shapes. The largest karst areas are those of the mountains Beljanica, Kučaj, Ozren, Devica, Svrlijske Planine Mts, as well as Suva Planina Mt and Vidlič Mt. On the other hand, there are a large number of relatively small karst areas – patches of isolated karst, belts, and ridges (Fig. 1).

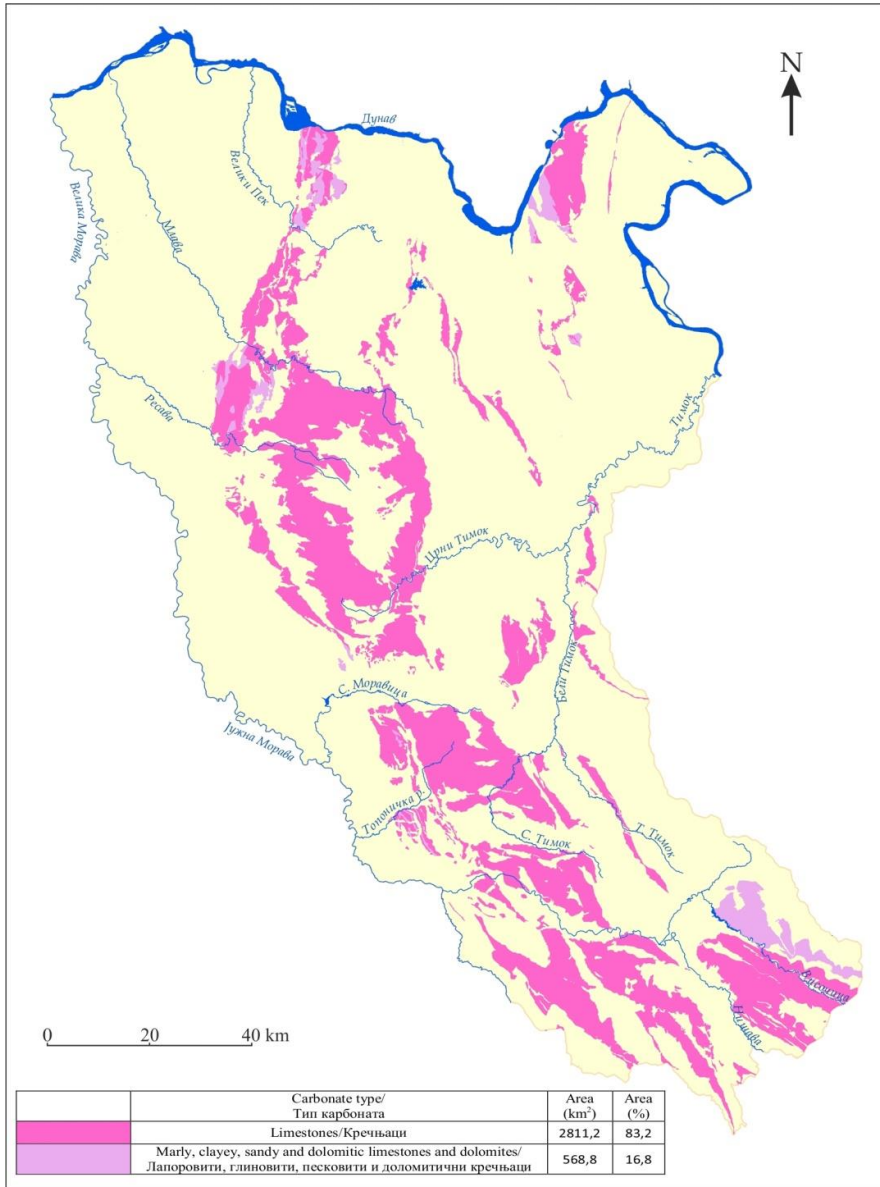


Fig. 1. Map of karst units within the Carpatho-Balkanides of Serbia (Areas according to the Basic Geological Maps 1:100,000 and 1:25,000 of the Federal Geological Survey; cartography: Petrović, 2015)

Karstic units of small dimensions generally belong to the contact karst, because the impacts of the surrounding non-karstic areas overlap from almost all sides of karst outcrops. During the morphogenetical evolution in the mentioned circumstances, specific karst relief is formed (Gams, 2004). Some of these forms are through (tunnel) caves and natural bridges, the latter being a very characteristic trait of Carpatho-Balkan karst in Serbia (Ambert & Nicod, 1981). Formation of natural bridges by roof collapse of through caves (Cvijić, 1918; 1960) was described exactly on the case studies from this karstic area. After Cvijić, the genesis of through caves and natural bridges was the subject of many studies (Petrović & Gavrilović, 1969; Petrović, 1971; 1974; Gavrilović, 1981; 1998; 2005; Manojlović, 1985; Čalić-Ljubojević, 2000; 2001; Petrović & Carević, 2015). One of the most conspicuous landforms within this group is the cave Pećina na Reci Zamni (Cave on the Zamna River; in further text: the Zamna Cave). The aim of this paper is to re-consider its morphogenesis using the modern, technically advanced methods.

Previous studies

Within the 20th century studies, the Zamna Cave was treated as an example of a genetically identical landform as the natural bridges in the valley of the Vratna River, about 15 km to the north-east from Zamna, but in the different phase of morphological evolution (Petrović, 1971).

By explaining the morphological evolution of karst, Cvijić (1918) correctly claims that the surface and the underground karstic processes jointly lower the karst surface. Within a couple of phases, the cave passages open up towards the surface. Firstly, the cave ceilings are eroded on several spots, and the daylight holes appear. Later on, larger parts of ceilings collapse, and natural bridges are formed (e.g. the Vratna River Gorge). In the end, it is possible that the caves become completely opened (Cvijić, 1918). On Mt. Kučaj, Cvijić (1960) noticed that dry valleys with dolines extend above the cave passages.

In order to confirm the above-mentioned way of natural bridges formation, Petrović, (1971) supposed that a part of the dry riverbed of the Zamna River extends above the cave passage (Fig. 2).

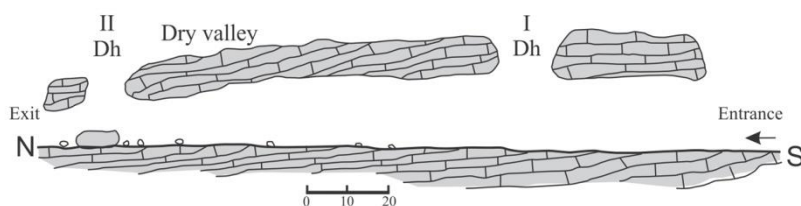


Fig. 2. Longitudinal section of the Zamna Cave (modified after Petrović, 1971)

Analysing the relation between passage height and width on the examples of through caves and natural bridges, Gavrilović (1982) concluded that this relation in case of natural bridges is between 1:0.5 and 1:2.5, exceptionally up to 1:10. Using this criterion

later on, the author concluded that the Zamna Cave falls within the category of natural bridges (Gavrilović, 2005).

Karst of the Zamna River drainage area was included in the wider research on valleys in karst of the Carpatho-Balkanides in Eastern Serbia (Petrović, 2015). The research indicates that the remnants of the bottom of the former Zamna valley are parallel with the cave, as a hanging (on both sides) dry valley, but further to the west with regards to the cave (Fig. 3).

In order to determine the dimensions and correct spatial relations (both more precise and more accurate), it was necessary to apply the modern morphometric techniques.

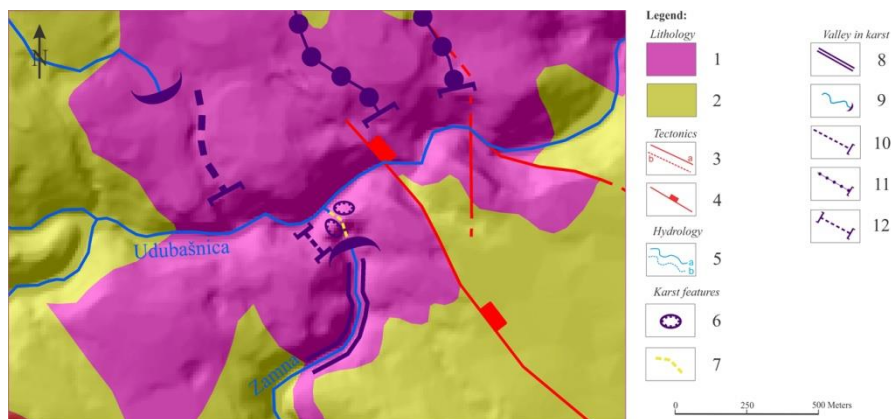


Fig. 3. Geomorphological map of the Zamna karst unit
 1 – carbonate rocks; 2 – clays, marls and sandstones; 3 – faults (a: observed; b: suspected); 4 – vertical fault, relative movement of blocks; 5 – rivers (a: with permanent flow; b: with seasonal flow); 6 – daylight holes; 7 – cave passage; 8 – gorge; 9 – blind valley; 10 – hanging valley; 11 – hanging valley with dolines at the bottom; 12 – hanging valley on both sides.

Methods

Geomorphological mapping

Geomorphological mapping and production of basic and structural-geological profiles was carried out for the karst areas of the Carpatho-Balkanides of Serbia, with the aim of karst valleys research (Petrović, 2015). Geomorphological mapping was carried out using the previously prepared Geomorphological Information System (GmIS), for 19 karstic units of the Carpatho-Balkanides, using the software package Esri ArcGIS, according to the guidelines for geomorphological mapping (Gams et al., 1985), karstological mapping (Đurović, 1994) and for ArcGIS 10.x (Srbović & Gajović, 2015). GmIS consists of 10 layers: lithological composition of the area (with particular layer for the types of carbonates), tectonic pattern, hydrographic network, vegetation cover, karst forms (with particular layer for valleys in karst), precipitation zones, temperature zones, digital terrain model, 3D relief and the inclination map. Formation of GmIS extensively improved the further data analysis, reduced the time necessary for the analysis and

enabled easier overview of the spatial relations (Petrović et al., 2015). The obtained data pointed to the specific evolution of valleys in contact karst, especially in the conditions of small karstic units, turning the focus to that direction.

Data acquisition

Measurements of the relations between surface and underground karst landforms were carried out using the instrument Leica Nova MS50 (Fig. 4a), which is a combination of the surveying total station and a laser scanner. This instrument was used for a detailed terrestrial laser scanning (TLS) in high resolution. Characteristics of the instrument and the applied method of measurement (described in detail in Petrović et al., 2018) enable the processing of a large number of points, in a short time-span, with mm-scale precision.

Surface measurements started by locating two points using the GNSS RTK instrument for geo-positioning, which received the coordinates of the Reference network AGROS GNSS (VECOM, 2018). These coordinates were taken for the first setup of the instrument, one as a starting station, and the other as orientation. During the measurements, all subsequent points were defined in relation to the coordinates of the starting station. The working method and instruments enabled a relatively easy and precise measurement of the cave (Fig. 4b). However, application of the same method for the detailed surface measurement was almost impossible, due to dense vegetation (Fig. 4c), which is one of the limitations of this instrument. Therefore the method was slightly adjusted. A precise polygon line was made on the surface above the cave. The visibility between the instrument and the markers (geodetic prisms) was acquired thanks to manual cleanup of vegetation. The points (stations) were positioned almost exactly above the points in the cave, thanks to the performances of the instrument which enable the good insight to spatial relations between surface and underground forms.

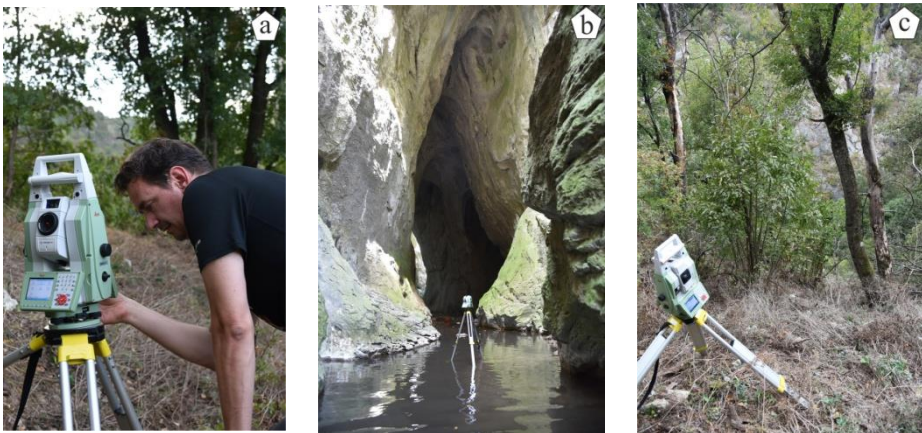


Fig. 4. Measuring with Leica Nova MS50 (a); conditions during underground (b) and surface scanning (c)

Data processing

Processing of the acquired data had two steps. While still in the field, it was checked in the instrument whether the data are complete, to ensure that the whole studied area is covered. Having in mind that the instrument viewer (screen) shows the data in reduced resolution (about 20,000 points), the real results of the measurements can be seen only after the upload to the Leica Cyclone software, which shows all measured points as a cloud of points (Fig. 5). By using of this software, it is possible to perform the data cleaning, i.e. deleting the points that are not of interest.



Fig. 5. Zamna Cave presented as a point cloud

Subsequent to the data cleaning, the points were exported to another software – 3DReshaper, which performed the triangulation process in order to create a three-dimensional model of the cave, with high level of precision (Fig. 6). After being processed in the 3DReshaper, the model was exported back to Cyclone, which enabled the detailed measurements (lengths, heights, widths, angles, etc), as well as automatic creation of oriented cross sections. This method of modeling offers a wide range of possibilities for further analysis and additional measurements, which were not possible in the field.

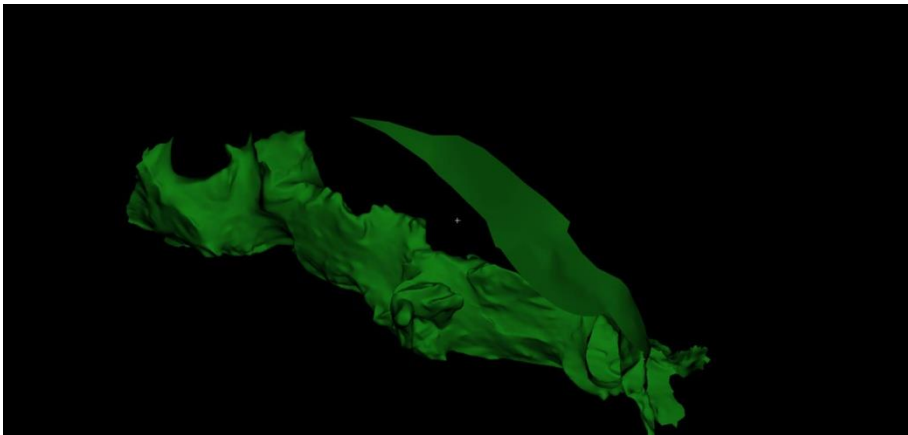


Fig. 6. 3D model of the Zamna Cave

Results and discussion

The results obtained by measurements on the model of the cave are considerably more precise and more accurate compared to the previous results. The length of this through cave is only 142 m. Maximum height reaches 31 m (Fig. 7; Fig. 8a) and the width is up to 12 m. General orientation of the main passage is 346° – 166° (Fig. 7), which is in accordance with the strike of the guiding fracture, dipping at the average angle of 80° .

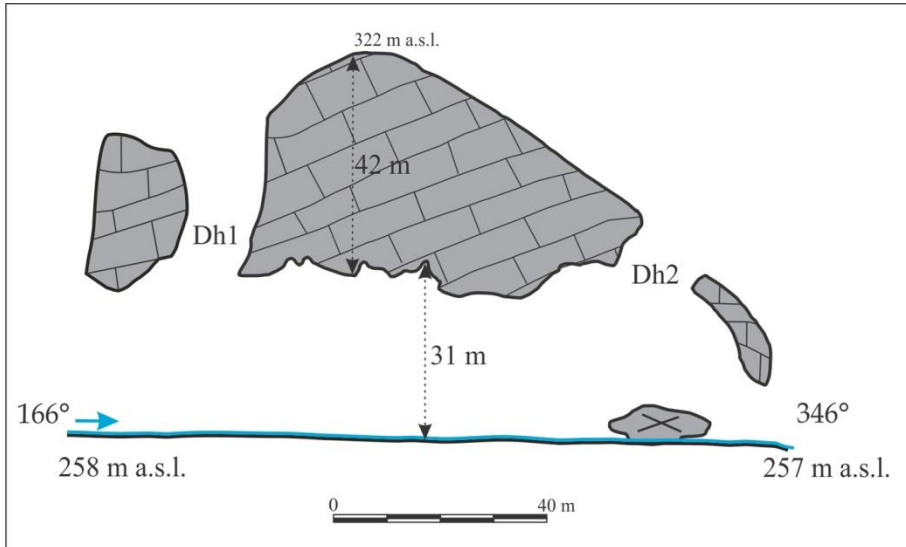


Fig. 7. Longitudinal section of the Zamna Cave (based on the TLS measurements)

Among the specific traits of the cave are two daylight holes situated near the entrance and the exit of the cave (downstream direction) (Fig. 8b, 8c). Daylight holes are situated on the places where the bottoms of the former dolines reached the ceiling of the cave, causing the collapses. A remnant of the ceiling (huge block) is still present close to the downstream exit from the cave (Fig. 8c).

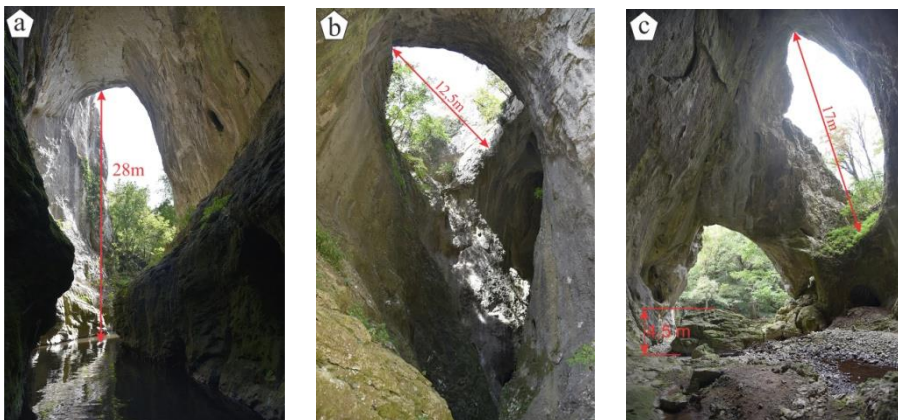


Fig. 8. Zamna Cave (a); upstream daylight hole (b); downstream daylight hole (c)

Zamna Cave is a through cave formed by the breakthrough of the permanent Zamna River through the narrow limestone ridge situated at the mouth of the Udubašnica River to the Zamna River. The analysis of the Geomorphological Information System and field observation led to the conclusion that a part of the bottom of the paleo-valley of the Zamna River is situated on the ridge west of the strike of the through cave (Fig. 3). The bottom of this 120 m long, double hanging valley, is situated at the 292 m a.s.l, which is 35 m higher than the bottom of the present Zamna valley (Fig. 9a, point 1) and 30 m lower than the highest point of topographical surface above the cave (Fig. 9a, point 2). These points to the considerable incision of the Zamna River below 300 m a.s.l. The incision had the impact both on the dimensions of the cave and on the formation of 1200 m long and 30-40 m deep gorge upstream from the cave entrance (Fig. 3; Fig. 9b).

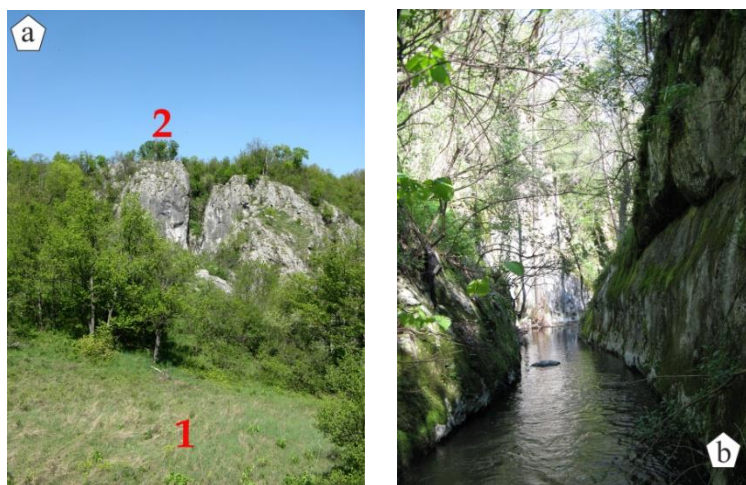


Fig. 9. Bottom of the dry valley and the highest point above the cave (a); Zamna River gorge upstream from the cave (b)

In cases of small karstic units of contact karst, the "reaction" of an allogenic stream depends on the strength of the stream. Stronger streams manage to overcome the karst process and continue the surface flow, forming gorges (Milić, 1963; Gams, 1974). On the other hand, weaker watercourses sink and resurge after a certain segment of an underground flow. This is a frequent case with narrow limestone belts (Lauritzen, 2001). In the Carpatho-Balkanides of Serbia, karst belts were studied on the ridge of Dževrinska Greda (Čalić, 2008).

Strength of a watercourse depends both on the actual climatic conditions and the development of the karstic process in a studied area. During the morphological evolution of the Zamna River drainage area, karstic process started to develop only after eroding of marine sediments which covered the Jurassic (Tithonian) limestones (Petrović, 1974). Fluvial process in the Zamna valley (area of the Plavna village) was for a certain time dominant even in limestones, until the downstream contact with marine sediments was considerably lowered to enable the hydraulic gradient. Up to that moment, the small gorges were incising simultaneously in limestone segments of Zamna and Udubašnica (to the terrace of 30-35 m). With intensification of the karst process, the Zamna started to sink to a fracture on the right bank. The fracture stretches through the whole ridge, which

enabled the resurgence of water exactly after the confluence with Udubašnica. Intensified formation of the through cave started from the moment when the whole course of the Zamna started to sink into the fracture. Downstream from the ponor, part of the valley floor situated between the ponor and the confluence with Udubašnica, remained as a hanging segment of the valley. Adjustments of the longitudinal profile of the Zamna to its mouth to the Danube enabled the considerable incision of the Zamna below 300 m a.s.l. This influenced the dimensions of the cave, as well as the incision of 1,200 m long and 30-40 m deep gorge upstream from the cave (Fig. 3; 9b). Progress of the karstic process resulted in formation of two deep dolines, which led to the cave roof collapse and formation of two daylight holes.

Conclusion

The results of the previous studies claimed that the Zamna Cave is one of the phases within the formation of natural bridges. It was suggested that the existence of the dry valley above the through cave was a condition for the development of the natural bridge after the ceiling collapse due to the deepening of the dolines at the bottom of the dry valley. However, considering the new research, it may be concluded that the Zamna Cave is an example showing that it is not necessary in such cases that a dry valley is present directly above. This stands regardless of whether the Zamna Cave is treated as a natural bridge (Gavrilović, 2005) or a through cave which precedes the formation of a natural bridge.

© 2018 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

References

- Ambert, P. & Nicod, J. (1981). Sur quelques karsts de Serbie, au voisinage du Danube. Leurs rapports avec l'évolution du bassin pannonien. In: *Revue Géographique de l'Est*, tome 21, n°4, Etudes géomorphologiques, 235-249.
- Gams, I. (2004). *Kras v Sloveniji v prostoru in času*. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU.
- Gams, I., Zeremski, M., Marković, M., Lisenko, S. & Bognar, A. (1985). *Uputstvo za izradu detaljne geomorfološke karte SFRJ u razmeru 1:100.000*. Beograd: Odbor za geodinamiku Srpske akademije nauka i umetnosti.
- Gavrilović, D. (1981). Geneza prerasti u krasu Jugoslavije. *Osmi jugoslovenski speleološki kongres*, 35-38.
- Gavrilović, D. (1998). Prirodni kameni mostovi – fenomen fluviokrasa Istočne Srbije. *Zaštita prirode*, 48-49, 25-32.
- Gavrilović, D. (2005). Prirodni kameni most Šuplja stena. *Zbornik radova Geografskog fakulteta*, 53, 5-12.
- Đurović, P. (1994). Karstološko kartiranje – kompleksan pristup proučavanju krasa. *Zbornik radova Geografskog fakulteta*, 46, 27-32.
- Manojlović, P. (1985). Kras sliva Zamne. (*Neobjavljena magistarska teza*). Beograd: Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet.
- Petrović, A. (2015). Uticaj modifikatora na polimorfiju dolina u krasu Karpato-balkanida Srbije. (*doktorska disertacija*) Retrieved from: https://phaidrabbg.bg.ac.rs/detail_object/o:11431?t=ab=0#mda

- Petrović, S. A. & Carević, I. (2015). Geological influence on the formation of Samar natural bridge and collapse valley of Ravna river from the NE Kučaj mountains (Carpatho-Balkanides, Eastern Serbia). *Acta Carsologica*, 44/1, 37-46.
- Petrović, S.A., Gajović, V. & Veselinović, R. (2015). Upotreba geomorfološkog informacionog sistema na primeru kraških celina Karpato-balkanida Srbije. *4. srpski kongres geografa*, 59-63.
- Petrović, A., Čalić, J., Spalević, A. & Pantić, M. (2018). Relations between surface and underground karst forms inferred from terrestrial laser scanning. Geological Society, London, *Special Publications*, 466, 107-120.
- Petrović, D. & Gavrilović, D. (1969). Reljef u slivu Vratne. *Zbornih radova Geografskog zavoda PMF*, 16, 7-25.
- Petrović, D. (1971). Pećina na reci Zamni. *Zbornik radova Geografskog zavoda PMF*, 18, 15-25.
- Petrović, D. (1974). Morfogeneza doline Zamne. *Zbornik radova Geografskog zavoda PMF*, 21,5-18.
- Srbović, D. & Gajović, V. (2015). *ArcGIS for Desktop 10.x - Korisničko uputstvo*. Beograd: GD GISDATA
- Čalić-Ljubojević, J. (2000). Natural bridges on the Vratna River (Eastern Serbia) as the last remnants of a former cave. *Acta Carsologica*, 29/2, 241-248.
- Čalić-Ljubojević, J. (2001). Karst features of narrow limestone belts - case study of the ridge Dževrinska greda, Eastern Serbia. *Acta Carsologica*, 30/2, 81-87.
- Čalić, J. (2008): Kontaktne i strukturne odlike karsta Dževrinske grede. Beograd: *Posebna izdanja Geografskog instituta "Jovan Cvijić" SANU*, 72, 1-163.
- Cvijić, J. (1918). Podzemna hidrografija i morfološka evolucija karsta (Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst). *Posebna izdanja SGD*, 34, 5-40, 1957 (reprint)
- Cvijić, J. (1960). La géographie des terrains calcaires. *Monographie, tome CCCXLI*, Classe des sciences mathématiques et naturelles, 26, 1-212.
- VECOM (2018). http://vekom.com/page-agros.php?pro_id=41

Оригинални научни рад

UDC 551.4:551.435.84 (497.11)
<https://doi.org/10.2298/GSGD1802029P>

Примљено: 30. септембра 2018.

Исправљено: 24. октобра 2018.

Прихваћено: 11. новембра 2018.

Александар Петровић^{1*}, Јелена Ђалић^{}, Марко Пантић^{***}**

^{*} *Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија*

^{**} *Географски институт "Јован Цвијић", САНУ, Београд, Србија*

^{***} *Vesot Geo, Београд, Србија*

ПЕЋИНА НА РЕЦИ ЗАМНИ У СВЕТЛУ НОВИХ МОРФОГЕНЕТСКИХ ИСТРАЖИВАЊА

Апстракт: Пећина на реци Замни била је до сада предмет више истраживања. Нека од њих имала су за циљ објашњење генезе пећине у светлу еволуције тунелских пећина ка прерастима. У циљу бољег разумевања генезе ове пећине примењене су савремене морфометријске технике. Пећина и површина изнад ње снимљени су у високој резолуцији уређајем *Leica Nova MS50*, поступком терестричког ласерског скенирања (ТЛС). Обрадом прикупљених података добијен је модел на коме је могуће анализирати однос површинских и подземних крашких облика рељефа. Резултати анализе наводе на закључак да је пећина на реци Замни пример који указује на то да приликом формирања прераста урушавањем таваница пећина није правило да се непосредно изнад пружа сува долина.

Кључне речи: Тунелска пећина, прераст, ТЛС снимање, река Замна, Карпато-Балканиди

¹ apetrovic@gef.bg.ac.rs (аутор за кореспонденцију)

Увод

Крашки рељеф Карпато-балканида Србије простире се на око 3.400 km² (Петровић, 2015). Развијен је на површинама различитих величина и облика. Највеће површине заузима крас Бељанице, Кучаја, Озрена и Девнице, Сврљишких планина, као и Суве планине и Видлича. Међутим, значајну површину у овој крашкој регији заузимају и крашке целине малих димензија, у виду крашких острва, појасева и греда (Сл. 1).

Крашке целине малих димензија по правилу у целости припадају контактном красу, јер се простори утицаја не-крашког окружења преклапају са свих страна кречњачких изданака. Током морфогенетске еволуције у наведеним околностима могу настати специфични облици крашког рељефа (Gams, 2004). У те облике, између осталих, спадају тунелске пећине и прерасти. Посебно прерасти представљају јединствени аспект краса овог дела Србије (Ambert & Nicod, 1981).

Настанак прерасти урушавањем таваница тунелских пећина (Цвијић, 1918; 1960) објашњен је баш на примеру прерасти из ове крашке регије. Након тога је генеза тунелских пећина и прерасти у Карпато-балканидима Србије била тема већег броја истраживања (Петровић & Гавриловић, 1969; Петровић, 1971; 1974; Гавриловић, 1981; 1998; 2005; Манојловић, 1985; Čalić-Ljubojević, 2000; 2001; Petrović & Carević, 2015). Циљ овог рада је да се генеза једног од проучаваних локалитета, Пећине на реци Замни, проучи у светлу нових истраживања.

Сл. 1. Карта крашких целина Карпато-балканида Србије (стр. 30)

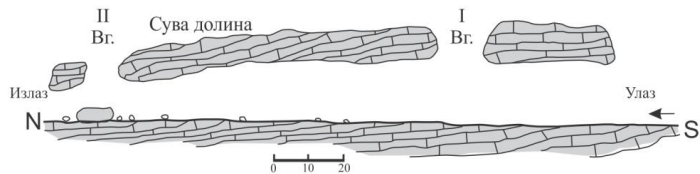
(Ареали према подацима Основне геолошке карте 1:100.000 и 1:25.000 Савезног геолошког завода; обрада: Петровић, 2015)

Претходна истраживања

У ранијим разматрањима Пећина на реци Замни навођена је као пример генетски истородног облика прерастима у долини реке Вратне, али у различитом стадијуму морфолошке еволуције (Петровић, 1971). Објашњавајући морфолошку еволуцију карста, Цвијић (1918) исправно тврди да површинска и подземна крашка ерозија заједничким деловањем снижавају површину карста. У неколико фаза ће доћи до отварања пећинских канала. Прво ће бити пробацијене пећинске таванице и настаће вигледи. Касније ће се обурвати већи део пећинске таванице, и настаће прерасти (нпр. код реке Вратне). На крају је могуће да пећине остану потпуно отворене (Цвијић, 1918). На Кучају је запажено да се изнад пећинских канала пружају суве долине са вртачама (Цвијић, 1960).

Како би се потврдио раније презентовани еволутивни пут настанка прерасти, установљено је да се над пећинским каналом налази део сувог корита реке Замне (Сл. 2) (Петровић, 1971).

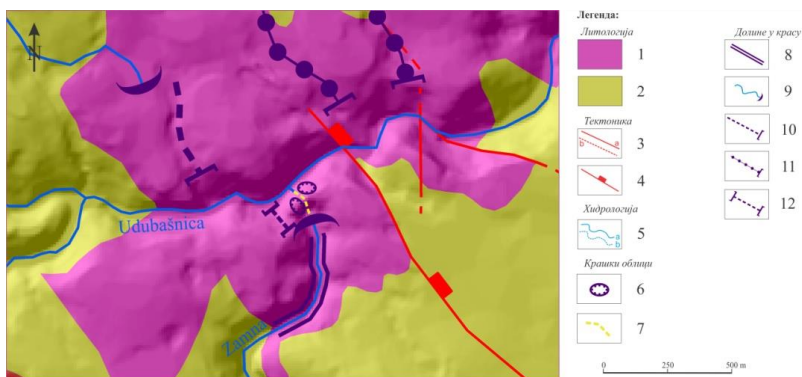
Разматрајући однос висине и дужине канала код тунелских пећина и прерасти, Гавриловић (1982) је дошао до закључка да је тај однос код прерасти између 1:0,5 до 1:2,5, а изузетно може ићи и до 1:10. Поредићи на овој основи прерасти и тунелске пећине у источној Србији, закључено је да пећина на реци Замни спада у прерасти (Гавриловић, 2005).



Сл. 2. Профил Пећине на реци Замни (модификовано према: Петровић, 1971)

Крас слива Замне и Пећина на реци Замни биле су обухваћене ширим истраживањем долина у красу Карпато-балканида Србије (Петровић, 2015). Том приликом је утврђено да се остаци дна некадашње долине реке Замне пружају паралелно са пећином у виду обострано висеће суве долине, али нешто западније од пећине (Сл. 3).

У циљу прецизнијег и тачнијег утврђивања просторних односа и димензија истраживаних облика рељефа, било је неопходно применити савремене морфометријске технике.



Сл. 3. Геоморфолошка карта крашке целине Замне

1 - карбонатне стене; 2 - глине, лапорци и пешчари; 3 - раседи (а, осмотрени; б, претпостављени); 4 - вертикални расед, релативно померање блокова; 5 - реке (а, са сталним током, б, са периодичним током); 6 - вигледи; 7 - пећински канал; 8 - клисура; 9 - слепа долина; 10 - висећа долина; 11 - висећа долина са вртачама по долиномском дну; 12 - обострано висећа долина.

Методологија

Геоморфолошко картирање

Геоморфолошко картирање и израда основних структурно-геолошких профила извршено је за крашке терене Карпато-балканида Србије у циљу истраживања долина у красу (Петровић, 2015). Геоморфолошко картирање извршено је помоћу претходно израђеног геоморфолошког информационог система (ГМИС). ГМИС је урађен за 19 крашких целина Карпато-балканида Србије софтверским алатима Esri

ArcGIS-a, сходно упутствима за израду геоморфолошке карте (Gams et al., 1985), карстолошко картирање (Ђуровић, 1994) и за ArcGIS 10.x (Србовић & Гајовић, 2015). ГМИС се састоји из десет слојева, и то: литолошка грађа терена (са посебним слојем за литолошке типове карбоната), склоп терена, хидрографска мрежа, вегетацијски покривач, крашки облици (са издвојеним слојем долина у красу), падавинске зоне, температурне зоне, дигитални модел терена, тродимензијални приказ рељефа и карта нагиба рељефа. Његова израда је у многоме олакшала даљу анализу података, смањила време потребно за анализу и омогућила лакше сагледавање просторних односа (Petrović et al., 2015). Добијени подаци су указали на специфичност развоја долина у контактном красу малих површина, па су оне постале тема даљих истраживања.

Прикупљање података

Мерења односа површинских и подземних крашких облика вршена су уређајем Leica Nova MS50 (Сл. 4а). Овај уређај је комбинација тоталне станице и ласерског скенера, што омогућава детаљно терестричко ласерско скенирање (ТЛС) у високој резолуцији. Перформансе уређаја и метод мерења (Петровић et al., 2018) омогућавају мерење великог броја тачака у кратком временском размаку са милиметарском прецизношћу.

Површинска мерења су отпочела лоцирањем две тачке на терену помоћу GNSS RTK уређаја за геопозиционирање, који је примио координате референтне AGROS GNSS мреже (VECOM, 2018). Ове две тачке су узете за почетна подешавања уређаја, једна као тачка почетка мерења а друга као оријентација. Све остале тачке током мерења смештене су у простор у односу на координате почетне тачке. Овакве перформансе мерења и уређаја омогућиле су знатно лакше и прецизније мерење саме пећине (Сл. 4б). Међутим, детаљно површинско скенирање било је онемогућено услед бујне вегетације (Сл. 4ц), што представља једну од ограничавајућих фактора за примену овог уређаја. Због тога је уређајем извучен прецизан влак по површини на основу одабраних тачака. Међусобна видљивост мерног уређаја и маркера (геодетских призми) омогућена је ручним рашчишћавањем терена. Тачке су изабране тако да буду тачно изнад влака дуж ког је скенирана пећина. То је још једна од перформанси уређаја која омогућава добро сагледавање просторних односа поземних и површинских облика.

*Сл. 4. Мерење уређајем Leica Nova MS50 (а);
услови приликом подземног (б) и површинског скенирања (ц) (стр. 33)*

Обрада података

Обрада добијених података подразумевала је више корака. Још на терену, у мерном уређају, проверавано је да ли су мерени подаци комплетни, односно, да неки део простора није остао без мерења. Имајући у виду да се на инструменту подаци приказују у много мањој резолуцији (око 20.000 тачака), прави резултати мерења се виде тек приликом увођења података у Leica Cyclone програм, где су они приказани као вишемилионски облак тачака (Сл. 5). Коришћењем овог програма омогућено је чишћење непотребних података (тачака) за потребе истраживања.

Сл. 5. Приказ Пећине на реци Замни путем облака тачака (стр. 34)

Након чишћења податка они су пребачени у програм 3DReshaper. Помоћу њега је урађена триангулација података и израђен је тродимензионални модела пећине, велике прецизности (Сл. 6). Модел је враћен назад у Cyclone програм, у коме је даље било могуће вршити сва детаљна мерења (дужине, висине, ширине, углови и др.) и аутоматски израђивати профиле по задатом правцу. Овакав начин моделовања објекта пружа широке могућности за даљу анализу и додатна мерења, која нису била могућа на самом терену.

Сл. 6. Изглед 3D модела пећине на реци Замни (стр. 34)

Резултати и дискусија

Резултати добијени мерењима на моделу пећине знатно су прецизнији и тачнији од оних добијених ранијим мерењима. Дужина ове тунелске пећине износи свега 142 m. Максимална висина јој достиже 31 m (Сл. 7 и Сл. 8а), а широка је до 12 m. Генерални правац пружања канала је 346/166° (Сл. 7), који прати пукотину истог правца и просечног нагиба 80°.

Сл. 7. Профил пећине на реци Замни (на основу ТЛС мерења) (стр. 35)

Једну од специфичности пећине представљају две велике вигледи смештене на улазу и на излазу из пећине (Сл. 8 б;ц). Вигледи се налазе на местима на којима су дна некадашњих вртача досезала до таванице пећине, што је проузроковало њено урушавање. Остаци таванице се још увек налазе на пећинском дну (Сл. 8ц).

Сл. 8. Пећина на реци Замни (а), прва виглед (б) и друга виглед (ц) (стр. 35)

Пећина на реци Замни је тунелског типа и изграђена је пробијањем сталног водотока кроз уски кречњачки гребен који се налази код ушћа Удубашнице у Замну. Анализом израђеног ГМИСа и теренским осматрањима закључено је да се део дна палеодолине Замне налази на гребену западно од правца пружања тунелске пећине (Сл. 3). Дно ове 120 m дуге, обострано висеће долине смештено је на 292 m н.в., односно, налази се 35 m изнад дна рецентне долине Замне (Сл. 9а, тачка 1) и 30m испод највише тачке топографске површине над пећином (сл. 9а, тачка 2). Ово упућује на значајно усецање реке Замне испод коте од 300 m н.в. То је утицало, како на димензије пећине тако и на изградњу 1.200 m дуге и 30-40 m дубоке клисуре узводно од улаза у пећину (Сл. 3 и Сл. 9б).

Сл. 9. Дно суве долине и највиша тачка над пећином (а); клисура реке Замне узводно од пећине (б) (стр. 36)

Код контактнoг краса малих површина реакција при наиласку водотока на крас може да буде двојака. Јачи водотоци успевају да савладају крашки процес и настављају као континуирани површински ток, при чему настају пробојничке клисуре (Милић, 1963; Гамс, 1974). Слабији водотоци у једном тренутку почињу да пониру и поново избијају на површину након одређеног сегмента подземног тока. Ово је веома чест случај код уских крашких појасева (Lauritzen, 2001), који су у Карпато-балканидима Србије проучавани на примеру краса Џевринске греде (Ђалић, 2008).

Јачина водотока зависи, како од тренутних климатских услова, тако и од развијености крашког процеса. Током морфолошке еволуције рељефа у сливу реке

Замне крашки процес почиње тек након еродовања моринских седимената који су лежали у повлати титонских кречњака (Петровић, 1974). Флувијални процес у долини Замне (околина села Плавна) наставља да буде доминантан и у кречњацима све док низводни контакт кречњака са моринским седиментима не бива значајније снижен. До тог тренутка усецани су клисурасти делови долине Замне и њене притоке Удубашнице симултано (до терасе од 30-35 m). Након интензивирања крашког процеса долази до понирања Замне у пукотину на десној долиноској страни. Пукотина се простира кроз цео гребен, што је омогућавало извирање воде непосредно након ушћа Удубашнице у Замну. Интензивирање изграђивања тунелске пећине креће од тренутка када читав водоток Замне почиње да понире у ову пукотину. Низводно од понора остаје да виси део долиноског дна, који се налазио између понора и ушћа Удубашнице у Замну. Усаглашавање речног профила реке Замне према ушћу у Дунав омогућава значајно усецање реке Замне испод коте од 300 m н.в. То је утицало, како на димензије пећине, тако и на изградњу 1.200 m дуге и 30-40 m дубоке клисуре узводно од пећине (сл. 3; 9б).

Напредовањем крашког процеса формиране су изнад тунелске пећине две дубоке вртаче, што доводи до сламања пећинске таванице и формирања две видлице.

Закључак

Резултати ранијих истраживања представљали су Пећину на реци Замни као пример једне од фаза у настанку прерасти. Тада је претпостављено да је постојање суве долине над тунелском пећином услов за настанак прерасти након урушавања таванице изазваног продубљавањем вртача насталих на дну суве долине. Међутим, у светлу нових истраживања, може се закључити да је Пећина на реци Замни добар пример да приликом формирања прерасти урушавањем таваница пећина није обавезно да се непосредно изнад пружа сува долина. Претходно речено важи независно од тога да ли пећину на реци Замни видимо као прераст (Гавриловић, 2005) или се она налази у фази тунелске пећине која претходи формирању прерасти.

© 2018 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

Литература (погледати у енглеској верзији текста)