

PEĆINA VJETRENICA U POPOVU POLJU – NOVO SHVATANJE SPELEOGENEZE

Muriz Spahić

Univerzitet u Sarajevu, Prirodno-matematički fakultet, Odsjek za geografiju,
Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosna i Hercegovina
murizspahic@gmail.com

Na rubu Popova polja, pored kojeg je nekada meandrirala u sopstvenom nanosu, do tada najduža ponornica u svijetu Trebišnjica, sada meliorisana u betonskom koritu, u Zavali nalazi se pećina Vjetrenica. Ona je po dužini krških kanala, od kojih je istraženo 6.300 m, morfometriji i morfografiji pećinskih formi najveća, a po speleodiverzitetu najpoznatija pećina u zoni vanjskih Dinarida. Zbog speleoukrasa sredinom prošlog stoljeća (1950. god.) stavljena je u poseban režim zaštite – spomenik prirode.

Spleogeneza je usmjerena duž glavnih krških kaverni u pravcu Jadranskog mora tj. južnog pravca na početku i prema završetku pećine, a u u njenom središnjem dijelu ima pravac jugoistoka. Krško korazioni procesi u krškim kavernama su veoma aktivni i pokazuju tendenciju speleoevolucije u smjeru produbljivanja donje krške eroziona baze, o čemu svjedoče stalne hidrološke aktivnosti, posebno nakon poplave središnjeg pećinskog sistema koji su se desili u vremenu od 12. do 16. oktobra 2015. god.

Kako je pećina na rubu Popova polja, koje je prije melioracije bilo periodično plavljeno krškim i nivalnim retencioznim vodama, nekada i gotovo cijelu godinu, a prema ranijim pretpostavkama speleogenetičara u ranokrškim fazama razvoja ovoga holokarsta, pretpostavljalo se da je ona bila otoka poplavnih voda iz Popova polja. Orijehtacija i padovi karbonatnih slojeva očito su bili temeljni za pretpostavku njene otočne uloge poplavnih voda iz Popova polja.

Novije speleološke prospekcije, posebno one koje se odnose na prirodne procese i pojave, osobito speleoklimatske, hidrogeološke i speleoevolucijske navode na zaključak da je ona hidrološka bifurkacija, posebno u povodnju, kada višak vode obrazuje povremeni tok Lukavac usmjeren u pravcu Popova polja, a drugi stalni dio voda dubokim krškim pukotinama odvodi u pravcu Jadranskog mora. Reverzibilna funkcija vrela Lukavca, po kojoj on odvodi vode iz Popova polja prema kanalima donje Vjetrenice nije dokazana i prema tome ona nema funkciju estavele. Ova pretpostavka koja je narativno propagirana, od strane autora ovoga rada, potvrđena je ove godine, kada su intenzivne kišne padavine u oktobru, generirane denovskom ciklonom, u vrlo kratkom vremenu premašile prosječnu dvomjesečnu visinu padavina. Njima je izazvano potapanje pećine Vjetrenice, reverzibilno i obsekventno padu karbonatnih slojeva prema njenom izlazu. Pored toga, iz pećinskih kanala poplavne vode su bifurkaciono oticale i prema vrelu Lukavca, koje se nalazi neposredno ispod pećinskog ulaza u dnu Popova polja.

Ključne riječi: pećina, spleogeneza, pad slojeva, estavela, bifurkacija, reverzibilnost voda

THE VJETRENICA CAVE IN POPOVO KARST FIELD – NEW UNDERSTANDING OF SPELEOGENESIS

Muriz Spahic

University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography
Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

On the edge of the Popovo karst field, through which once meandered in its own coat, the river of Trebisnjica, until then the longest underground river in the world, now ameliorated in a concrete riverbed, in Zavala, is the cave Vjetrenica. By the length of the karst channels, from which 6,300 m has been explored, and by the morphometry and morphology of the cave forms, Vjetrenica is the largest and by the speleodiversity the most famous cave in the outer Dinarides zone. Because of the speleothemes during the middle of the last century (1950.) it was placed in a special protection regime – a natural monument.

The speleogenesis is focused along the main karst caverns in the direction of the Adriatic Sea, i.e. a southerly direction at the beginning and the end of the cave, and in its central parts it has southeast direction. Karst corrosion processes in karst caverns are very active and have a tendency of speleoevolution in the direction of deepening the lower karst erosion base, as evidenced by the constant hydrological activities, especially after flooding of the central cave system that took place in the period from 12 to 16 October 2015.

Since the cave is located on the edge of Popovo karst field, which before the melioration process was periodically flooded by the karst and nival waters, and sometimes during the whole year, and according to the earlier assumptions of speleogenetic scientists in an early stages of development of this holokarst, it was assumed that it was the channel through which the flood waters were leaving Popovo karst field.

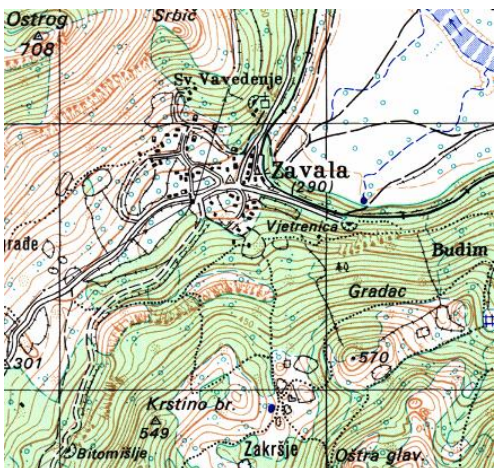
Newer caving prospection, especially those relating to the natural processes and phenomena, especially speleoclimatic, hydrogeological and speleovolcanic ones, suggest that the cave is actually hydrological bifurcation, especially in the flooded area, when the excess water forms a temporary flow Lukavac directed towards the Popovo karst field, while the other permanent part has been directed towards the Adriatic Sea through deep karst fissure sinks. Reversible function of the Lukavac flow, with which it drains water from the Popovo karst field to the lower channels of Vjetrenica hasn't been proven so far, and therefore it has no function of the estavelle. This assumption which was narratively propagated by the author of this work has been confirmed this year, when intense rainfall in October, generated from Genoa cyclone, in a very short time exceeded the average two-month amount of rainfall. It caused the flooding of the Vjetrenica cave, reversible and consequential to the decline of the carbonate layers towards the cave's exit. Moreover, from the cave channels, the flood waters were directed at the Lukavac spring, located directly below the cave entrance at the bottom of the Popovo karst field.

Keywords: *cave, speleogenesis, decline of the layers, estavelle, bifurcation, water reversibility.*

UVOD

INTRODUCTION

Speleogeneza pećine Vjetrenice usko je povezana sa karstifikacijom holokarsta neposrednog i posrednog sliva rijeke Trebišnjice, koja čini glavnu hidrološku okosnicu Popova polja. Značajnije i ozbiljnije radove o problemima karstifikacije, hidrogeoloških i hidroloških odnosa ovoga prostora u okviru vanjskih Dinarida datirana su od strane geologa i geografa, posebno iz vremena Austro-ugarskog upravljanja Bosnom i Hercegovinom kao i nakon toga. To su teorijske rasprave o podzemnim vodama, koje su ključ shvatanja načina i dubine karstifikacije. Svi se slažu da podzemna krška voda nastaje od površinske padavinske vode, koja se krškim sistemima pukotina različitog promjera i kapaciteta, nastalim krškim procesima, infiltrira u podzemlje do vodonosnog sloja. U definisanju vodonosnog sloja i međusobne veze podzemnih krških sistema postoje razlike u gledanjima; od zajedničkog nivoa podzemnih voda koji hipsometrijski raste od nivoa mora prema unutrašnjosti, A. Grund, (1910), neovisnih hidroloških sistema na različitim nadmorskim visinama, F. Katzer, (1909) i tri hidrološke zone u kršu J. Cvijić (1926).



Sl. 1. Topografski smještaj pećine Vjetrenice u Zavali Popova polja na segmentu topografske karte R=1:25 000

Fig.1. Topographic location of the Vjetrenica cave in Zavala of Popovo polje on a topographic map segment 1:25 000

Popovo polje, najniži krški karstifikovani nivo (248 m) u prostoru Zavale, prema Jadranskom moru, kojem podzemno drenira površinske vode, u odnosu na najviši (960 m) onaj u Gatačkom polju, obrazovano je u zoni vanjskih Dinarida, istih dinarskih direktrisa. U jugoistočnoj strani, Popovo polje predstavlja unutargorsku tektonsko krško dolinsko i zavalsko polje, najprije u krečnjačko-dolomitičnoj faciji obuhvatajući Trebinjsko-Dživarsko polje, a potom do naselja Trulje u slabo raščlanjenim karbonatima sa rudistima obrazujući sljedeću popovopoljsku cjelinu nazvanu Šumama i Lugom. Dosta uska uzdužna dolina Trebišnjice prelazi „pravo Popovo polje“ prema

K. Absolonu, (1916), horizontalnu raščlanjenu morfostrukturu, koja je najprije orijentisana u meridijanskom smjeru, obilazeći karbonatnu glavicu Bratogošac (871 m), a potom ponovo nasljeđuje dinarski smjer u pravcu sjeverozapada do njenog završetka,

kod Hutova. To je uravnjena popovopoljska udolina u kojoj je bilo adaptirano prirodno korito rijeke Trebišnjice sa brojnim ponorima po uzdužnom talvegu prema njezinom završetku kod Hutova. Danas je ono betonirano i usmjereno prema reverzibilnoj akumulaciji Hutovo.

U segmentu gdje popovopoljska krška udolina mijenja smjer iz dinarskog u meridijanski u najširem dijelu prozvano Zavalom, na njegovom jugozapadnom dijelu u pravcu Slanog popovopoljska udolina je otvorena niskom krškom valom prema Slanom koju je F. Katzer (1903) prozvaao erozijskom i koja je imala površinsku odvodnju. U Zavali, po njemu su se sastajale dvije rijeke: jedna veća sa jugoistoka i druga manja sa sjeverozapada. One su

tekle prema zapadu, i to dugo, što dokazuje veličina vale prema Slanom. Odvajanje vale od dna Popova polja F. Katzer tumači selektivnom tektonikom kojom je ona uzdignuta i usmjerena u pravcu Slanog, te izgubila kontakt sa popovopoljskom udolinom. Ovo je dovelo do nagle karstifikacije, čijim šupljinama su odvođene vode sa površine u podzemlje. To se prema prethodnom autoru desilo krajem pliocena simultano sa formiranjem sjevernog dijela jadranske zavale. Zbog toga F. Katzer Popovo polje smatra poprečnom zavalom.

Popovo polje morfografski podsjeća na slijepu dolinu, koju je tako i prozvao J. Cvijić (1918). Dno mu je zasuto aluvijalnim nanosima u kojima se, prije melioracije na nekoliko mjesta, sukcesivno i uzvodno od Hutova po talvegu, Trebišnjica gubila u podzemlje. Karstifikovani ponori u Popovu polju su serijski vezani po njegovoj podini. Serijskom vezom pukotina po dnu popovopoljske udoline uvjetovale su preobražaj fluvijalne evolucije površinskog toka Trebišnjice, na nekoliko mjesta u suhu karstifikovanu dolinu, a nakon toga njihovim povezivanjem u tipičnu ponornicu.

Pećina Vjetrenica se nalazi u dijelu Popova polja koje se naziva Zavala. Ona je nastala u karbonatima gornjojurskih pločastih naslaga ispod krečnjačke padine Gradac, koja završava kotom 570 m, na jugu. Karstifikacija kojim je generirao ovaj pećinski sistem ima sličnu morfogenezu sa krškim sistemima Popova polja.

MORFOLOGIJA KRŠKOG SISTEMA POPOVA POLJA I VJETRENICE MORPHOLOGY OF THE KARST SYSTEM OF POPOVO FIELD AND VJETRENICA CAVE

Morfogeneza Popova polja Popovo karst field morphogenesis



Sl. 2. Završetak Popovopoljske udoline kod Hutova sa vidljivim ostacima nekadašnjih ponora. Sada su krške pukotine injektirane betonskom ktlinom, u kojoj se vrši akumulacija voda Trebišnjice, a i reverzibilnim vodama iz Svitavskog jezera radom HE „Čapljina“

Fig. 2. End of Popovo field valley in Hutovo with visible remains of former abyss. Now karst cracks are injected with concrete basin, which present Trebišnjica's water reservoir, as well as reservoir for reversible water from Svitavsko lake created from HPP "Čapljina"

Karbonatne naslage sa preovlađujućim krečnjacima, koje sa južne strane uokviruju Popovo polje uticale su na sjeverozapadnu hidrološku orijentaciju krških recipijenata, što je skupno djelovalo na stvaranje slijepa krške popovopoljske udoline sa ponornicom Trebišnjicom. Popovopoljska udolina je tektonski predponirana i izdijeljena u manje zasebne karbonatne cjeline, najmanje tri, oblika krških vala sa vrtačama i ponikvama različitih dimenzija i orijentacija, koje su za vrijeme neogenog geološkog razdoblja, kada su simultano, u ostalim dijelovima Dinarida, nastale izolirane i linearne doline i kotline, bila morfološki najniža u ovom krškom karbonatnom habitusu, prema kojem su niz padinske vale, od kraja pliocena, bili usmjereni gravitacioni i fluvijalni procesi. Njima su produkovani kolvijalni, deluvijalni, proluvijalni, deflukcioni i dr. padinski detri-

tus, kojim su zatrpani ponorski recipijenti po dnu nekadašnjih vrtača, koje su obrazovane u serijama duž popovopoljske udoline. Plavinski detritus je uravnavao dno polja pa tako i spajao krške vale i vrtače u njima u jedinstvenu uravnjenu cjelinu – polje akumulacionog tipa. Popovo polje se razlikuje od drugih krških polja jer prema zapažanjima K. Absolon (1916) „zavija mnogobrojnim okukama“, kao dolina „svake druge obične rijeke“, i prihvata iskaze J. Cvijića (1918) da je ono „čisti plod riječnog toka“. Fluvijalna geneza Popova polja, koju je zastupao K. Absolon, se može prihvatiti samo kao nasljedna genitivna forma u tektonskoj osnovi, kojom je predisponiran generalni izgled sličan uklještenoj meandarskoj dolini. Fluvijalni procesi su korektivna morfoforma od predisponirane tektonske udolinske prema akumulaciono-uravnjenom obliku reljefa tipa polja.

Padinski procesi su bili pospješeni toplom humidnom klimom, posebno u vrijeme pleistocena i interglacijala, kada su nivalni uticaji sa visokih dinarskih morfostrukture iz zaleđa povećavali subaerske procese, koje je konstatovao O. Zubčević (1976), oslonivši se na teorijska shvatanja nastanka krških polja Slovenije u radovima A. Melika (1955). Popovopoljska udolina sa obodnim morfostrukturama prošla je kroz geološko razdoblje pleistocena i, zbog zonalnih odlika; izraženih blizinom Mediterana i azonalnih; definisanih niskom visinsko-pojasnom strukturom, nisu bili obuhvaćeni ledenom-firnskom fazom kao posredni sliv iz karstifikovanog zaleđa prema jugoistočnom dinarskom visočju Bosne i Hercegovine. Glacijalne hladne faze pleistocena geološko razdoblje smanjile su hidrološku funkciju u popovopoljskoj udolini, a interglacijalna topla razdoblja povećala su fluvijalno doticanje. Glacijalne faze su ograničile površinsko doticanje, pa su time krški procesi proširivali i produbljivali krške pukotine, bilo da je riječ o lateralnim ili dubinskim karstifikacijama. Insterstadijalna topla razdoblja povećala su doticanje pa time i povećanu produkciju unosa vučenog detritusa u krške ponore što je uslovlilo pretvaranja popovopoljske udoline u lakustrijsku fazu, kada su izlučeni fini muljevi i glinoviti pelitski nanosi po površini polja.

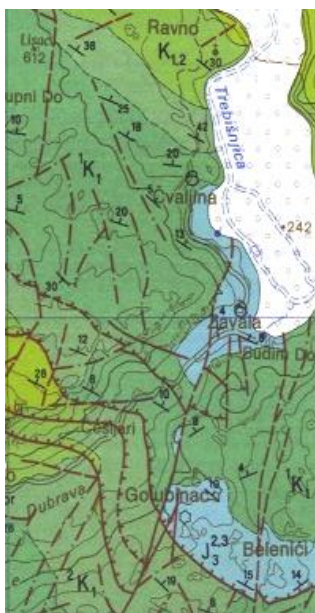
I recentna klima ovog područja ima slične karakteristike i razlikuje se od klime unutrašnjih Dinarida i odlikuje se vrućim suhim ljetima i umjereno toplim i veoma humidnim zimama. Ovakvi klimatski uvjeti pogoduju ubrzanom raspadanju, koja završava u popovopoljskoj udolini. Otvorene padinske vale nesumnjiv su dokaz da je njihov deficit obronačne mase gravitacionim i fluvijalnim procesima prenešen u neposrednu podinu. Podinski detritus različitih formi i granulacija po stranama popovopoljske udoline zahvaćan je i raznošen, manjim periodičnim pritokama, prema centralnim dijelovima polja. U njemu je Trebišnjica adaptirala svoje korito kako po poprečnim tako i uzdužnim profilima, o čemu svjedoče fragmenti paleofluvijalnih korita po dnu Popovog polja. S obzirom na promjenljiv riječni režim, uvjetovan pluvijalnim uticajima iz neposrednog i nivalnim, iz posrednog zaleđa Popova polja koje seže do Dinarskog visočja na sjeveroistoku rudina, Trebišnjica plavi Popovo polje dubokim vodama. U pleistocenu i recentnim periodičnim limničkim fazama Popovo polje je uravnavano moćnim fluvijalnim i obronačnim nanosom, pri čemu su na površini istaloženi sitni sedimenti, pelitske strukture, iz zamućenih voda, koje su doticale površinski iz neposrednog sliva. Od njih nastajale su glinovite naslage, kojima je cementiran akumulacioni detritus tretiran brečama, istaložen u tankim serijama dubljih horizonata popovopoljske udoline, koji se primjećuju na otvorenim ponorskim profilima.

Karstifikacija po dnu Popova polja i u akumulacionoj fazi izdizanja i zaravnjivanja njegovog dna imala je funkciju podzemnog odvodnjavanja sa površine endoreičnog sistema Trebišnjice. Serijama ponora, različitog kapaciteta apsorbovane su vode Trebišnjice u sukcesiji uzvodno po talvegu od završetka slijepe doline. U vrijeme visokih vodostaja

krajnji ponori bili su potpuno aktivni, a pri smanjenju vodostaja ostajali bi bez hidrološke funkcije, a njihova uloga kompenzirana je uzvodnim i manjim ponorima po dnu korita Trebišnjice. Trebišnjica je imala površinsku funkciju u vrijeme visokog krškog izdanskog nivoa u ponorskoj zoni, koju je J. Daneš (1906) nazvao stagnantnom izdanskom vodom. S obzirom da su neki ponori, u vrijeme intenzivnog zasipavanja dna popovopoljske udoline, vrlo vjerovatno, intrudirani transportovanim detritusom kojim je izdignuto dno polja, to su onda njihove funkcije preuzimali viseći krški otvori, sada u nivou dna polja, na padinskim padinama, a preobraženi iz nekadašnjih suhih ili povremeno vlažnih u stalno vlažne krške zone. S obzirom da su neki ponori u krškoj unutrašnjosti imali sužene krške kanale, prema pritočnoj krškoj mreži iz pravca Popova polja, onda su oni imali estavelsku funkciju; u periodu povodnja kao izvori, a u vrijeme suše kao ponori.

Procesi karstifikacije proširivanja ponora i njihovog intrudiranja nonosom pokazuje zakonomjeran trend. Periodima humizacije odgovara zatrpanje ponora, a periodima aridizacije njihovo otvaranje. Ova zakonomjernost je prisutna i u unutrašnjosti karbonatnih stijena, istina u daleko manjem obimu.

Morfogeneza pećinskog sistema Vjetrenice Morphogenesis of the Vjetrenica cave system



Sl. 3. Geološka podloga Vjeternice u Zavali

Izvor: OGK list Ston R=1:100000

Fig. 3. Geological base of Vjetrenica in Zavala

Source: BGM Ston 1: 100000

Vjetrenica je karstifikovani sistem u Zavali koja se nalazi na završetku karbonatnog odsjeka pločastih do bankovitih klipseinskih krečnjaka kimeridžsko-portlandskog kata jurske ere, dinarske orijentacije i sjeveroistočnim padom slojeva u pravcu Popova polja. Unutrašnji karbonatni slojevi generalno mijenjaju smjerove pada prema jugoistoku. Ove naslage, prema donjokrednim karbonatima, imaju odlike kraljušti koja je definisana, prema geološkoj karti 1:100 000 list Ston, čelom navlake neposredno iznad ulaznog pećinskog kanala na 570 m relativne visine. Karstifikacija je obuhvatila pretežno jurske bankovite i slojevite karbonate, kao i donjokredne krečnjake po kontaktnom sloju čela navlake.

U krškoj evoluciji Popova polja treba tražiti morfogenezu pećine Vjetrenice, čiji je glavni ulaz na 268 m nadmorske visine i viši je za oko 20 m u odnosu na dno Popova polja. Konceptija tektogeneze, kojom je predisponirana krška udolina, i simultani proces karstifikacije karbonatnih naslaga po njenom dnu, obodu i padinama kojim su površinske vode iz endoreičnog slijepog završetka prenešene u unutrašnjost i naknadna akumulacija obronačnog detritusa u Popovu polju ostala na recentnim visinama, isključuje njenu neposrednu genetsku vezu sa pećinskim sistemom Vjetrenice. Iz pregleda poplava Popova polja, maksimalne zabilježene 1915. godine kada je visina voda iznosila 259,8 m nadmorske visine, pouzdano govori da razina poplavlanih voda nikada nije dopirala do glavnog

ulaza u pećinu Vjetrenicu zbog čega njen ulaz nikada nije mogao biti otoka poplavnih voda iz polja.

Pećinski sistem Vjetrenice, posebno u njenim nižim horizontima u odnosu na otvoreni pećinski sistem, ostvaruje vezu sa Popovim poljem, odnosno Trebišnjicom povremenim tokom Lukavcem, koji izvire na samom obodu polja iz krške pukotine u kojoj voda ascendentno balansira na nadmorskoj visini 248 m, kolika je visina donje krške izdani u kanalima donje Vjetrenice. Donja Vjetrenica je krški sistem prslina, pukotina i kanala ispod današnje razine otvorenog pećinskog sistema. Na osnovu istih nadmorskih visina bunarasatog vrela Lukavca i nivoa krške izdani u sistemu krških kaverni donje Vjetrenice potvrđuje njihovu neposrednu hidrološku povezanost.



Sl. 4. Vrelo Lukavac, koje se u krškoj terminologiji naziva „oko“. Ono ostvaruje pukotinsku vezu sa donjom Vjeternicom i jezerima njemu. Jezerski vodostaji korespondiraju sa visinom vode u vrelu. Kroz ovo vrelo izlivena je velika masa poplavnih voda iz pećinskog sistema putem ponora koji spaja gornju sa donjom Vjeternicom. Ono obrazuje povremeni tok Lukavca. U vrijeme niskih vodostaja voda iz vrela koristi se za vodosnabdijevanje lokalnog stanovništva.

Fig. 4. Spring Lukavac, which is in the karst terminology called "eye". It has a connection with the lower Vjeternica and its lakes. Lake water levels correspond with the amount of water in the well. Through this spring a large mass of flood water from the cave system poured through the chasm that connects the upper to the lower Vjetrenica. It forms the occasional river flow Lukavac. In times of low water levels, water from the springs is used for the water supply of local residents.

„pećinski makaroni“ postali suhi i podložni su krunjenju, od kojih nastaje sigasti prapor. Oticajne pukotine iz pećinskog sistema prenešene su u unutrašnjost i imaju istu hidrološku orijentaciju prema Jadranskom moru, kao uostalom i vode iz Popova polja. Unutrašnji sistemi donje Vjetrenice je hidrološki veoma aktivan kako dovodnim, tako i u odvodnim krškim kanalima. Dovodni krški kanali imaju mogućnost krškog otvaranja zbog intenzivnog korazionog otapanja karbonata, erozionog proširivanja pukotina i smanjenog transporta raspadnutog detritusa sa površine.

Vrelo Lukavca povećava svoj nivo i izliva vode na površinu samo u vrijeme i neposredno nakon izuzetno velike količine padavina, kada se pećinski sistemi popune nadošlim vodama iz gornjih pećinskih horizonata. Tada se vrši bifurkacija voda u donjim krškim pukotina, osim prema Jadranskom moru, još i ascendentno u pećinske dvorane odakle se voda ponorom usmjerava prema donjoj Vjetrnici, a potom prema vrelu Lukavac, koji obrazuje periodičnu priroku Trebišnjice. Vrelo Lukavca nema reverzibilnu funkciju i ne „guta“ poplavne vode iz Popova polja, zbog toga što vode u pećinskom sistemu donje Vjetrenice ne korespondiraju sa poplavnim vodama Popova polja.

Karstifikacija pećinskog sistema Vjetrenice održana je na postojećoj relativnoj visini i funkcioniraju unutar zasebnog pećinskog sistema sa krškim sistemom prslina pukotina i kanala u pećinskoj tavanici. Procjeđivanje padavinskih voda sa topografske površine odvija se intenzivno samo na nekoliko mjesta, dok je prokapavanje sporadično, posebno na njenom ulaznom dijelu, do te mjere da su sitni stalaktiti, poznati kao

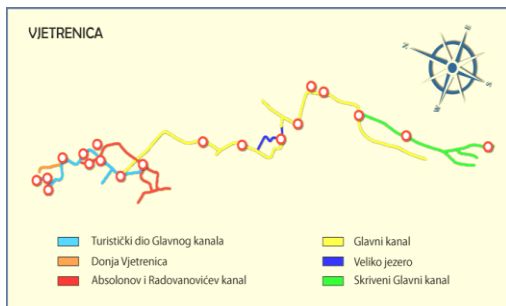
Kroz karstifikovane i proširene pukotine sa površine, osim procjeđivanja padavinskih voda, obilato se vrši areacija, razmjena vanjskog sa unutrašnjim pećinskim zrakom kroz krške pukotine. U vrijeme kada je atmosferski zrak izvan pećinskog sistema ugrijan, pa time lakši i vertikalno ekspanzivniji, dotle je on u unutrašnjosti pećine hladan, gust pa time i težak, formira se barička nejednakost koja se izravnavlja strujanjem zraka iz pećine kroz pećinske pukotine vani. Što su veće termičke razlike zraka vani i u unutrašnjosti pećine povećava se barička nejednakost pa je vjetar prema vani, posebno kroz ulaz, jači. Barička stanja u pećini i izvan nje mogu biti jednaka, pa u to vrijeme nema strujanja zraka. U vrijeme zime, posebno kada su temperature iznad Popova polja niske i niže od temperature zraka u pećini uspostavlja se obrnuto baričko stanje pa je i obrnut smjer strujanja zraka – vjetar puše kroz ulaz u pećinu. Ovakva strujanja zraka su prisutna u svim pećinama, a snažnija su kod onih pećinskih sistema koja imaju uzak ulaz kao što je to slučaj sa Vjetrenicom. Speleonim Vjetrenica upavo i nosi ime po vjetru koji dvosmjerno puše.

Ovodni krški kanali u pećinskom sistemu donje Vjetrenice pripadaju mlađoj fazi speleogeneze pa su uži i imaju ograničenu propusnu moć odvođenja vode iz pećine. Njena hidrološka aktivnost je evidentnija u najnižim etažama, onim ispod današnjih pećinskih kanala i dvorana u kojima su prisutna pećinska jezera, jezercica i potopljeni kanali, dok je središnji dio Vjetrenice prijelazna hidrološka zona koja prima vode u vrijeme povodnja, a u vrijeme smanjenog prokapavanja i procjeđivanja sa topografske površine smanjuje prisustvo voda u pećinskim kadama i pećinskim tanjurima (pjatima).

U vrijeme povodnja kada pećinski odvodni kanali svojim kapacitetom ne mogu prihvatiti i odvesti nadošlu vodu, tada se oni pune i potapaju. Voda u njima vertikalno pulzira; u vrijeme povodnja ascedentno, kada se vodom pune pećinski kanali i descendentno u vrijeme suše kada se voda u kanalima spušta ponorima u niže etaže. Pulziranja vodostaja u pećinskim kanalima su izraženija u vrijeme humidnih vremenskih stanja.

DISKUSIJA DISCUSSION

Na osnovu recentnog prokapavanja i procjeđivanja krških voda sa pećinskih tavanica i njeno gubljenje ponorima u donji sistem krških pukotina suditi je da pećina Vjetrenica je hidrološki veoma aktivan podzemni krški sistem. Evolutivni razvoj je usmjeren prema donjoj krškoj erozionoj bazi koja ima generalnu jugoistočnu orijentaciju u pravcu Jadranskog mora.



Sl. 5. Pećinski sistem Vjetrenice
Fig. 5. Vjetrenica cave system

Izvor: www.vjetrenica.ba/index.php/hr/mapa

Pećinski sistem je potpuno razvijen i odlikuje se sistemom kanala koji zadržavaju generalnu orijentaciju glavnog kanala u horizontalnom smjeru. Prvih 150 m, nakon ulaza glavni kanal ima istočni potom južni pravac, kroz koje se obavlja advektivno stujanje zraka. Nakon toga, pećina se proširuje u pećinsku dvoranu, a potom na oko 600 m slijedi generalni smjer i nastavlja skrivenim glavnim kanalom.

Prošireni dijelovi pećine definisani dvoranama predstavljaju tektonsko-krška proširenja u odnosu na pećinske kanale i

imenovani su najčešće prema poznatim speleolozima koji su dali dopinos u njenom proučavanju. Pećinske dvorane su unutrašnji tektonsko predisponirani i naknadno karstifikovani prošireni pećinski otvori čija je glavna odlika prisustvo sigastih pećinskih morfoskulptura. Unutar pećinskih dvorana nalaze se nakupine vode u kalcitnim kadama i tanjurima ili pjatima, kako ih ovdašnje stanovništvo i naziva. Količina vode u njima varira; tokom hladnijeg perioda godine oni se pune vodama, a u toku toplijeg vode, gotovo presušuju. Pećinske dvorane su međusobno vezane pećinskim kanalima, od kojih su neki u odmakloj fazi speleoevolucije.

Splet pećinskih kanala u donjoj Vjetrenici je u mlađoj fazi speleoevolucije, što se zaključuje na osnovu njihovog smanjenog kapaciteta za procjeđivanje pećinskih voda. Hidrološki su bogatiji niži pećinski kanali i u njima egzistiraju pećinski potoci i pećinska jezera. Ovo nesumnjivo dokazuje da je ulaz u pećinu i pećinski sistem evolucijski stariji od donjih pećinskih kanala, o čemu je već bilo govora.

Ako se prati speleohronologija, onda je nesumnjivo da su pećinski ulazni sistemi sa vrha topografske površine, kroz koje se neprekidno odvija procjeđivanje i prokapavanje padavinske vode, stariji i pripadaju odmakloj fazi speleoevolucije pukotinske poroznosti unutar povremeno vlažne zone. Iznad pećinske tavanice postoji gusta mreža u karstifikovanim karbonatima, od kojih je većina suha i povremeno vlažna tokom povodnja. Glavna prokapavanja su povezana sistemima krških kaverni iz visokih gornjih horizonata i, vrlo izvjesno, sa pećinskim sistemima Bitomišlje u južnom zaleđu Vjetrenice.

Niže etaže pećinskog sistema Vjetrenice su hidrološki potpuno aktivne i odlikuju se vidljivim hidrološkim funkcijama unutar prohodnog sistema kanala. S obzirom da se pećinske vode, u normalnim hidrološkim okolnostima, kraće vrijeme zadržavaju u speleološkim morfoformama, to nedvojbeno upućuje na zaključak o odmaklom krškom procesu pećinskih ponora prema njenim nižim etažama. Za pećinu Vjetrenicu S. Milojević (1928) konstatuje da je ona korito nekadašnje pritoke Popova polja.



Sl. 6. Vertikalni kanal kojim je ostvarena veza srednje etaže pećine da donjim sistemima krških pukotina koje obrazuju donju Vjetrenicu

Fig. 6. Vertical tunnel which links middle levels of the cave to the lower systems of karst cracks which form the lower Vjetrenica

stanja, što se desilo početkom druge dekade oktobra ove godine, kada je na sliv pećinskog sistema Vjetrenice izlučena ogromna količina padavina; samo za tri dana 270 mm/m² kiše.

Slaba propusna moć donjih krških horizonata odražava se na zadržavanje vode u vrijeme povodnja u pećinskim kanalima definisani pećinskim sistemom, o čemu svjedoči formiranje pećinskih jezera i povremenih tokova. U vrijeme povišenog priliva pećinskih voda krške pukotine, zbog ograničenog propusnog kapaciteta, izdižu vodu, a u vrijeme smanjenog doticaja snižavaju krški nivo. Na taj način u pećinskim kanalima nivo krških voda vertikalno pulzira. Ona je izazvana nesrazmjerom pritanja i oticanja procijeđenih voda kroz dovodne i odvodne međusobno povezane pećinske pukotinske sisteme.

Ekstremne pulzacije nivoa krških izdanskih voda odgovaraju izuzetno povećanoj količini pavina nevremenskog

Nevremensko stanje generisano Đenovskom ciklonom i potaknuto južnim strujanjem u periodu od samo tri dana, na sliv koji gravitira Vjetrenici, izlučilo je količinu padavina, gotovo istovjetnu prosječnoj najvećoj količini padavina za mjesec oktobar. Padavinske vode su sa topografske površine provedene krškim pukotinama u unutrašnjost otvorenog pećinskog sistema prema donjoj krškoj bazi. Kako je donja etaža pećinskog sistema slabije karstifikovana u odnosu na srednji i gornji sistem, to im je propusni kapacitet ograničen pa je započeta ascendentna, uzlazna, pulzacija vode kojom je potopljen centralni pećinski sistem, čak i njen ulaz. Višak vode iz donjih pećinskih kanala accedentno je izliven u glavni pećinski kanal, pa je na taj način nastupila poplava koja je trajala od 12. do 16. oktobra 2015. godine. Poplavne vode su otekle vertikalnim kanalom, koji vodi prema donjoj Vjetrenici. Vertikalni kanal je preuzeo ulogu ponora kroz koji je otekla ogromna količina vode, pomjerivši kamene blokove teške nekoliko stotina kilograma. Ove vode su otekle podzemnim pukotinama prema vrelu Lukavca, povremene pritoke Trebišnjice. Kroz glavno vrelo Lukavca izbačena je ogromna količina vode, koja se procjenjuje na oko 8m³/s. Istanjivanje voda trajalo je koliko i poplava glavnog pećinskog kanala.

Posljedice potapanja pećine su evidentne. Osim što su privremeno onesposobljeni infrastrukturni uređaji i objekti, u srednjoj turističkoj etaži pećinski kanali su intrudirani pećinskim glibom koji je usporavao oticanje procijedenih voda. Poplave pećine Vjetrenice potvrđuju osnovnu pretpostavku, da je ona zaseban krški sistem, te da se u njoj vrši bifurkacija krških voda u pravcu Jadranskog mora u kojem završavaju u obliku vrulja i prema Popovu polja kroz seriju vrela, od kojih je najvažniji bunar Lukavca u kojem se vrši pulzacija krških voda.

ZAKLJUČAK CONCLUSION

Pećina Vjetrenica je najpoznatiji i najveći speleološki objekat u Dinaridima, koji pripadaju Bosni i Hercegovini. Ima zasebni krški sistem i nije ovisan o karstifikaciji Popova polja. Vjetrenica je dobila speleonim po puhanju vjetra sa periodom iz pećine vani i obrnuto. Nastaje zbog razlika u baričkim stanjima, koja su posljedica temičkih razlika između pećinskog i vanjskog zraka. U vrijeme kada je temperatura u pećini niža od vanjske, uspostavlja se advekcija zraka iz pećine vani i obrnuto. Advekcija je intenzivnija ukoliko su izraženije baričke razlike između pećinske unutrašnjosti i njene spoljašnjosti.

Vjetrenica je početkom druge dekade u oktobru bila poplavljena vodama, procijedenim sa površine, koje slivno pripadaju sistemu Vjetrenice. Ogromna količina padavina izlučena na karstifikovani sliv Vjetrenice potaknuta južnim mediteranskim strujanjem i, posebno, Đenovskom ciklonom uvjetovala je poplavu srednjeg pećinskog sistema, koji je uređen za turistite.

Padavinske vode su sa topografske površine provedene krškim pukotinama u unutrašnjost otvorenog pećinskog sistema. Kako je donja etaža pećinskog sistema manje karstifikovana od srednje i gornje, to im je propusni kapacitet ograničen pa je započeta ascendentna, uzlazna, pulzacija vode kojom je potopljen centralni pećinski sistem, čak i njen ulaz. Ascendentna pulzacija vode je napunila donje recipijente, koji su kroz vrelo u podnožju Popova polja, pod visokim pritiskom, izbacili vodu i njom obrazovali povremeni tok Lukavac, pritoku Trebišnjice.

Posljedice potapanja pećine su evidentne. Osim što su privremeno onesposobljeni infrastrukturni uređaji i objekti, u srednjoj turističkoj etaži pećinski kanali su intrudirani

pećinskim glibom koji je usporio oticanje poplavnih voda iz središnjih u donje pećinske kanale. Poplavne vode pećinskog sistema Vjetrenice i njeno isticanje iz donjih hidroloških recipijenata u pravcu sjevera, potvrdila je pretpostavke njene unutrašnje hidrološke bifurkacije koja, jednim dijelom daje vode, osim u pravcu Jadranskog mora, još i u pravcu Popova polja. Pored toga, pokazana je međusobna unutrašnja hidrološka veza pećinskih sistema, čiji kapaciteti se smanjuju od gornjeg prema donjim etažama prateći procese karstifikacije prema donjoj krškoj bazi. Pećinski sistem Vjetrenice pokazuje veliku korespondentnost popunjenosti vodama u istim hipsometrijskim nivoima. Tako nivo vode u bunarastom vrelu u dnu oboda Popova polja odgovara vodostaju jezera u kanalima donje Vjetrenice. Oticanje nedavnih poplavnih voda iz pećine Vjetrenice pokazale su potpunu odvojenost krških procesa Vjetrenice i Popova polja.

Literatura

Literature

- Absolon, K. 1916. Z výzkumných cest po krasech Balkánu. Zlatá Praha, Roč. XXXIII, 51. Praha (609-611)
- Grund, A. 1910. Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges. Geographische Abhandlungen, Band IX, Heft 3 Leipzig und Berlin 214-216
- Katzer, F. 1903. Das Popovo polje in der Hercegovina. Globus LXXXIII Band Braunschweig
- Cvijić, J. 1918. Podzemna hidrologija i morfološka evolucija karsta. Posebna izdanja SGD, sveska 35, Beograd
- Cvijić, J. 1895. Karst, geografska monografija. Beograd, 1895, str. 176
- Cvijić, J. 1922. Balkansko poluostrvo i južnoslovenske zemlje. Osnove antropogeografije. Knjiga prva. Zagreb, str. 399.
- Cvijić, J. 1924. Geomorfologija I, Beograd, str. 588
- Cvijić, J. 1925a. Karst i čovek. Glasnik Geografskog društva 11, Beograd, 1925, 1-11, 435
- Cvijić, J. 1925b. Istorijski pregled o ispitivanju karsta. Glasnik Geografskog društva 11, Beograd, 1925, 17-29
- Cvijić, J. 1926a. Cirkulacija vode i erozija u karstu. Glasnik Geografskog društva 12, Beograd, 1926, str. 1-16
- Cvijić, J. 1950. Stare otoke Popova polja i hidrografske zone u karstu. Glasnik srpskog geografskog društva, XXX, 1, Beograd, str. 3-10
- Daneš, V. 1906. La region de la Narenta inferieure. La geographie, Tome XIII, 91-102
- Gašparović, R. 1969. Morfološke i hidrografske karakteristike podzemnih kanalnih sistema u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Popova polja (Zapadni dio Donjeg polja), I dio. Geografski pregled, XIII, Sarajevo, str. 139-164
- Gašparović, R. 1973. Morfološke i hidrografske karakteristike podzemnih kanalnih sistema u krajnjem sjeverozapadnom dijelu Popova polja (Zapadni dio Donjeg polja) II dio. Geografski pregled, XIV-XV, (1970-1971), Sarajevo, str. 157-214
- Gašparović, R. 1979. Doprinos bosanskohercegovačkih speleologa nekim hidrostatičkim istraživačkim radovima na kršu. Naš krš, V, 7, Sarajevo str. 45-69
- Grund, Alfred 1910. Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges. Mit Abbildungen im Text, einer Tafel und 3 Karten. – Leipzig
- Katzer Friedrich 1903a: Geologischer Fuierer durch Bosnien und die Herzegovina, Sarajevo
- Katzer, F. 1903b: Das Popovo polje in der Hercegovina, Globus 834. 1903. 191-194
- Lazić, A. 1926. Podzemna hidrografska veza Trebišnjice i Dubrovačke Rijeke. Glasnik Geografskog društva, Beograd, 12, 1926, 136-138
- Lazić, Antonije 1927. Ponori i estavele u Popovom polju. Glasnik srpskog geografskog društva, 13, Beograd, str. 52-84
- Lazić, A. 1930. Nekoliko suvih pećina hercegovačkog karsta. Glasnik Geografskog društva

- 16, Beograd, 1930, 151-156
- Melik, A. 1955. Krška polja Slovenije v pleistocenu. Slovenska akademija znanosti in umetnosti. Razred prirodoslovne vode. Ljubljana
- Milojević, B. Ž. 1930: Speleološka proučavanja Popova polja. (Comptes-Rendus du II-me congrès des géographes et ethnographes slaves en Pologne, 1927, tome I, Cracovice I, 1929, c. 198-201) Glasnik Geografskog društva 16, 133.
- Milojević, M. S. 1938. Pitanje o hidrografskoj funkciji pećine Vjetrenice (Popovo polje). Pojavi i problemi krša, Posebna izdanja SANU, 123, Beograd, str. 160.
- Richter, E. 1905. Prilozi zemljopisu Bosne i Hercegovine. Glasnik Zemaljskog muzeja 17, Sarajevo 1905, str. 257- 414.
- Roglić, J. 1972. Novija geomorfološka saznanja u Popovu polju. Ljetopis JAZU, knjiga 76, Zagreb, str. 229–230. (Sabranadjela II, Zagreb 2005. 393-395
- Uzunović, O. 1957. Utvrđivanje podzemnih vodnih veza na području donjih horizonata sliva rijeke Trebišnjice. Geografski pregled I. Sarajevo
- Zubčević, O. 1976. Dolina Trebišnjice u pleistocenskom dobu. Geografski pregled, XVIII–XIX. (1974–1975), Sarajevo, str. 11–32
- www.vjetrenica.ba/index.php/hr/mapa

SUMMARY

THE VJETRENICA CAVE IN POPOVO KARST FIELD – NEW UNDERSTANDING OF SPELEOGENESIS

Muriz Spahic

University of Sarajevo, Faculty of Science, Department of Geography, Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
murizspahic@gmail.com

Speleogenesis of the Vjetrenica cave is closely associated with the karstification of the holokarst of the direct and indirect watershed of the Trebisnjica River, which forms the main hydrological backbone of the Popovo karst field. Significant and serious works on the problem of karstification, hydrogeological and hydrological relations of this area within the outer Dinarides, are dated by the geologists and geographers, especially from the time of the Austro-Hungarian reign over Bosnia and Herzegovina as well as afterwards.

Popovo karst field morphographically reminds of the blind valley, which is so named by the J. Cvijic (1918.) Its bottom is covered with loose alluvial deposits where, before the melioration, on several places, from the Hutovo, Trebisnjica was disappearing in the underground. Karstified sinkholes in the Popovo field are serially connected across its base. The serial connection of the cracks at the bottom of the Popovo valley caused the fluvial evolution of the surface flow of Trebisnjica, converting it in several places into the dry karstified valleys, and then their connectivity made a typical sinking river.

Vjetrenica cave is located in the part of Popovo field called Zavala. It was formed in the carbonates of the upper Jurassic disc deposits beneath the limestone slope of the Gradac, which ends at the peak at 570 m south. Karstification which generated this cave system has a similar morphogenesis with the karst systems of Popovo field.

Vjetrenica was in the beginning of the second decade in October flooded with waters, drained from the surface, which belong to the Vjetrenica catchment system. Huge amount of rainfall was extracted on the karstified basin of Vjetrenica, triggered by the southern

Mediterranean flow, and in particular, the Genoa cyclone which caused a flood of the middle cave system, which is arranged for the tourists.

Flood waters of Vjetrenica cave system and its leakage from the lower hydrological catchments in the north, confirm the assumptions of its internal hydrological bifurcation which partly gives water, not only towards the Adriatic Sea, but the Popovo field as well. In addition, a mutual internal hydrological connection of the cave system was shown, whose capacity was reduced from the upper levels towards the lower levels following the processes of karstification towards the lower karst base. The cave system of Vjetrenica shows the large correspondence of the amount of waters at the same hypsometrical levels. Thus, the water level in the well spring in the bottom of the rim of Popovo polje corresponds to the water level of the lake in the lower channels of Vjetrenica. Onflow of the recent flood waters from the Vjetrenica cave have shown the complete separation of karst processes of Vjetrenica and Popovo field.

Author

Muriz Spahić

Doctor of geographical sciences, full professor at the Faculty of Science, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Scientific area of research includes: physical geography and environmental protection, from which he published one monography and six university textbooks. Author of over 75 scientific articles, autor and co-author of several textbooks of geography in primary and secondary schools. Responsible researcher and participant in several scientific prestige projects.

President of the Association of Geographers of Bosnia and Herzegovina, editor of the scientific journal *Acta Geographica Bosniae et Herzegovinae*.