

## О специфичном механизму истицања неких карстних врела у Карпато - Балканидима

### Specific Discharge Mechanism of Some Karstic Springs in Carpathian – Balkanides

Зоран Стевановић<sup>1</sup>, Саша Милановић<sup>1</sup> и Алексеј Бендерев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre for Karst Hydrogeology, Department of Hydrogeology, University of Belgrade - Faculty of Mining & Geology, Djusina 7, 11000 Belgrade, Serbia. e-mail: zstev\_2000@yahoo.co.uk

<sup>2</sup> Geological Institute of Bulgarian Academy of Sciences, Acad.G. Bonchev bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria

#### Арстракт

У карсту Карпато – Балканида бројни извори лоцирани су дуж контакта карстних издана са слабије пропусним некарбонатним стенама. Неке од извора карактеришу веома велике издашности и активно се користе за водоснабдевање или представљају значајан потенцијал за будуће регионално снабдевање водом за пиће. Међу овим изворима су и неки које карактерише веома специфични хидраулички механизам пражњења, са регистрованим периодичним пулсацијама, или чак ретким прекидима у истицању.

У раду су разматрани механизми и режим истицања Врела Млаве у Жагубици, Јеловичког врела на Старој Планини, као и врела Искрец код насеља Свође у Бугарској. Прва два су узлазна врела воклијског типа, док врело Искрец карактерише неколико нивоа истицања од којих само најниже има стални карактер. Сва врела карактеришу велике средње и максималне издашности. По томе се сврставају и међу најјача врела у целој области. Ретки прекиди истицања су регистровани и описани још крајем XIX века, а новији подаци показују да се периодично и у различитим условима ове појаве понављају. У раду се износе подаци о режиму издашности и разматрају главни фактори који утичу на интермитенцију врела.

**Кључне речи:** карстни извор, издашност, фактори интермитенције, Карпато-Балканиди

#### Увод

Врела Млаве и Јеловичко на Старој планини описао је још Јован Цвијић у својим првим радовима посвећеним феноменима карста источне Србије (1896). Уједно је регистровао и делимично објаснио њихов специфични неравномерни режим. Са временске дистанце од преко сто година може се рећи да је Цвијић у великој мери добро оценио главне узрочнике појаве.

Први публиковани подаци о карсту Бугарске, укључујући и извор Искрец, датирају такође са краја XIX и почетка XX века (Šorpič & Šorpič, 1898; Радев, 1915). Садрже и опис услова прихрањивања и дренарања овог извора.

Хидрогеологија карстних терена Карпато-Балканида и посебно сливови разматраних врела Млаве, Јеловичког и врела Искрец (сл.1), предмет су детаљнијих испитивања од 1980 године (Стевановић, 1982, 1986, 1991, 1992, 2007; Бендерев 1989, 2005; Ристић 1997-2007; Милановић 2005-2007), а аутори су у овом раду покушали да прикажу и нове чињенице и сазнања прикупљена током теренских истраживања и анализе хидролошких података.

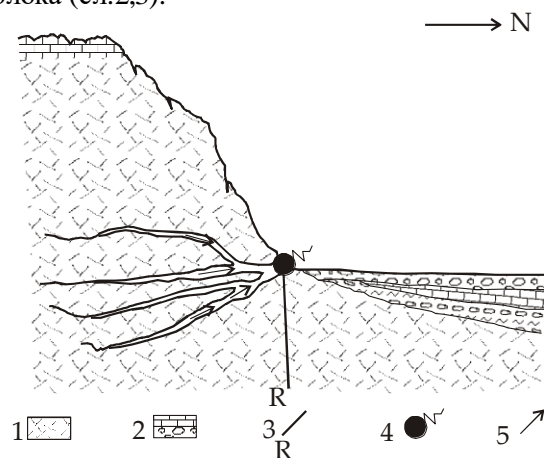


Сл.1 Положај разматраних карстних врела  
Fig. 1 Location map of studied karstic springs

### Опис врела и режим истицања

**Врело Млаве** је узлазног типа. У зони истицања формирано је језеро, левкастог облика, пречника 25 м, од кога вода отиче једним делом према оближњем рибњаку, а други део се спаја са водом Велике Тиснице (100 м испод врела). Ронилачким истраживањима изведеним током марта 1996. године од стране београдског ронилачког клуба УРС у сарадњи са спелеолошким одсеком Планинарског савеза Београда, утврђено је да се на дубини од 30 м налази један узан канал пречника 1,5 м. Новијим спелео ронилачким истраживањима достигнута је дубина од 73 м (Милановић 2005, 2007).

Узлазни тип врела и дубоко положени карстни канали и каверне указују на дубоку базу карстификације. Положај врела је предиспониран и раседом правца пружања И-З, дуж кога је дошло до тоњења северног блока (сл.2,3).



Сл. 2 Локални хидрогеолошки профил преко врела Млаве (Стевановић, 1991)

1. ургонски кречњаци (апт), 2. неогени седименти и алувијални нанос, 3. расед, 4. врело Млаве, 5. правац кретања изданског тока

Fig. 2 Local hydrogeological section crossing Vrelo Mlave Spring (Stevanović, 1991) 1. Aptian limestone of Urganian facies, 2. Neogene sediments and alluvium, 3. fault, 4. Vrelo Mlave Spring, 5. groundwater direction

На врелу Млаве осматрања и мерења водостаја отпочела су још током 1949 год. од стране Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ Србије). То је једно од првих наших врела

на коме су успостављена редовна осматрања. До 1966. вршила су се мерења само водостаја, а потом су отпочела и хидрометријска мерења. Током 1970. долази до ређих прекида у осматрањима, али се настављају све до 2001. када су нажалост прекинута. За потребе Пројекта мониторинга подземних вода Србије поново су успостављена од стране Рударско - геолошког факултета од августа 2009. У сваком случају врело Млаве је дуго било једино карстно врело у Србији које се систематски осматра и чији су подаци били више него драгоцени за анализу режима карстне издани у источној Србији.



Сл. 3 Врело Млаве у Жагубици воклијског типа  
Fig. 3 Vauclusian spring Vrelo Mlave in Zagubica

На хидрограмима врела Млаве запажају се 3 максимума издашности врела у току једне године (Стевановић, 1982, 1991). Први пик, уједно са најизраженијом максималном издашношћу јавља се крајем зимског периода, са почетком отапања снегова. У зависности од температуре ваздуха, сам почетак појаве првог максимума везује се за март-април, али у годинама ранијих топљења снега може почети још током јануара. Други по реду максимум везан је за период интензивних пролећних и летњих пљускова (мај-јули) и карактеришу га издашности које превазилазе и издашности првог периода али су пикови често кратког трајања. Трећи максимум везан је за крај рецесионог периода, тј. за период почетка интензивних зимских падавина (новембар-децембар), а карактеришу га нешто ниже издашности у односу на претходна два, с обзиром да је за попуњавање дела истеклих динамичких резерви током периода рецесије, потребан нешто дужи временски период (сл.4).

Током просечног хидролошког циклуса могу се издвојити и три минимума издашности (не увек јасно изражена). Први је везан за зимски период (јануар-фебруар) када долази до смањења издашности услед ниских температура ваздуха (нема отапања снежног покривача). Други, најмање изражен минимум везан је за опадање издашности врела по завршетку периода топљења снегова. Ово је само условни минимум, јер издашности врела током овог периода могу бити веће од издашности у трећем максимуму (Стевановић, 1991). Трећи, најбоље изражен минимум везан је за период рецесије, када су и минималне падавине, а карактерише га константно опадање издашности врела. Период рецесије траје максимално до око 60 дана а временски је везан најчешће за почетак августа.

Применом методе тарисмана за период рецесије током 1978 и 1979 године добијена је слична једначина сложеног, двофазног пражњења издани следећег облика:

$$Q_t = 1,36 \times e^{-0,0530 t} + 0,72 \times e^{-0,0145 t}$$

Са коефицијентима пражњења врела  $\alpha$  од 0.053 и 0.0145, при почетној издашности од 1,36 м<sup>3</sup>/с, било би теоријски потребно око једне године да без падавина у сливу дође до потпуног пресушивања врела (Стевановић, 1992).

Анализирајући податке из периода осматрања од 1966. закључно са 2000 год. Ристић (2007) је закључила да средња вишегодишња вредност истицања из врела Млаве износи 1,96 м<sup>3</sup>/с, а средњи годишњи протицаји се крећу у распону од 1.01 (1992) до 3.17 м<sup>3</sup>/с (1967). Максимални средње месечни протицај регистрован је током 1984. (април) и износио је 10.6 м<sup>3</sup>/с, док се минимални средње месечни протицај јавио у октобру 1992 год. и износио је 0.271 м<sup>3</sup>/с (Ристић *et al.*, 1997). Најводнији месец је април, када истицање у просеку износи 3.88 м<sup>3</sup>/с, док је септембар по водности најсиромашнији месец (просек се креће око 0.87 м<sup>3</sup>/с).

**Табела 1 / Table 1**

Средње месечне и годишње издашности врела Млаве Q (м<sup>3</sup>/с) за период 1966-2000. (Ристић, 2007)  
Average monthly and annual springflow of Mlava spring Q (m<sup>3</sup>/s), period 1966-2000. (Ristić, 2007)

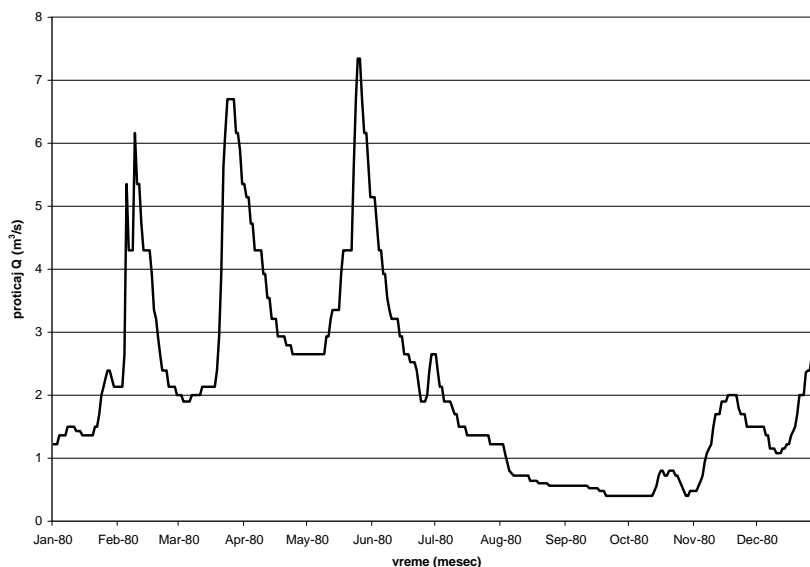
	Месечне вредности / Monthly values												Вишегодишње / Multi annual		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Q <sub>sr</sub>	Q <sub>min</sub>	Q <sub>max</sub>
Q <sub>sr</sub>	1.70	2.23	3.26	3.88	2.70	2.07	1.47	1.00	0.87	1.01	1.07	1.55	1.90	0.66	4.60
σ	0.77	0.88	1.35	1.98	1.12	1.13	1.20	0.60	0.44	1.04	0.63	0.74	0.39	0.28	1.94
C <sub>v</sub>	0.45	0.39	0.41	0.51	0.42	0.54	0.82	0.60	0.50	1.02	0.59	0.48	0.20	0.43	0.42
Q <sub>max</sub>	3.57	4.33	7.69	10.60	5.75	5.52	6.79	2.54	2.08	6.49	2.89	3.55	3.17	1.33	10.60
Q <sub>min</sub>	0.39	0.75	1.35	1.76	1.17	0.88	0.43	0.30	0.27	0.32	0.39	0.47	1.01	0.27	2.16

Q<sub>sr</sub> - вишегодишња просечна издашност / average springflow (in m<sup>3</sup>/s),

σ - стандардна девијација / standard deviation,

C<sub>v</sub> - коефицијент варијације / variation coefficient,

Q<sub>max</sub> / Q<sub>min</sub> - максималне и минималне средње месечне издашности / maximal and minimal monthly springflows (in m<sup>3</sup>/s).



Сл. 4 Хидрограм врела Млаве за 1980 год. (подаци РХМЗ Србије)

Fig. 4 Spring hydrograph of Vrelo Mlave for 1980. (Hydrometeorological Survey of Serbia)

На основу вредности просечних вишегодишњих апсолутно минималних и максималних протицаја може се закључити да просечна вишегодишња вредност регистрованих минималних средње месечних протицаја износи  $1.23 \text{ м}^3/\text{с}$ , док је апсолутни минимум регистрован током више дана у јулу и августу 1988. и износио је свега  $0.215 \text{ м}^3/\text{с}$ . Што се тиче просечне вишегодишње вредности максималних протицаја по месецима она износи  $3.14 \text{ м}^3/\text{с}$ , док је апсолутни максимум регистрован 24 марта 1986. и износио је  $19.0 \text{ м}^3/\text{с}$  (Ристић, 2007).

**Јеловичко врело** најјаче је врело у области Старе Планине које дренира карстни тип издани. Описано је још од стране Цвијића (1896). Вода овог узлазног врела, избија из вртачастиг амфитеатралног удубљења на контакту средњетријаских и доњотријаских седимената на левој обали Јеловичког потока. Карактеристична је велика амплитуда издашности. Априла 1986. регистровани смо једну од највећих регистрованих издашности од преко 2500 л/с, а са друге стране, понекад, најчешће током августа месеца, ово врело пресуши и током 2-3 дана из језера нема отоке. Поред овога, карстну издан дренирају и слабији извори у Јеловици и Дојкинцима.



*Сл. 5 Зајезерени басен узлазног Јеловичког врела на Старој Планини (типично врело воклијског типа)*

*Fig. 5 Lacustrian basin of ascending Jelovicko Vrelo Spring on Stara Planina Mountain (typical Vauclusian spring)*

Врело је било обухваћено праћењем издашности у периоду 2000-2002. У широј зони врела изведена је бушотина "Старо планинско око" дубине 73 м из које је црпено 2.5-5 л/с за остварена снижења нивоа од 4-19 м.

Спелео-ронилачка испитивања С. Милановића нису указала на знатну дубину залегања сифонског канала. Благо нагнут канал знатно се сужава на дубини од око 30 м.

**Извор Искрец** се налази у централном делу Западног Балкана, у близини града Свође на око 35 км удаљености од Софије (сл.6).

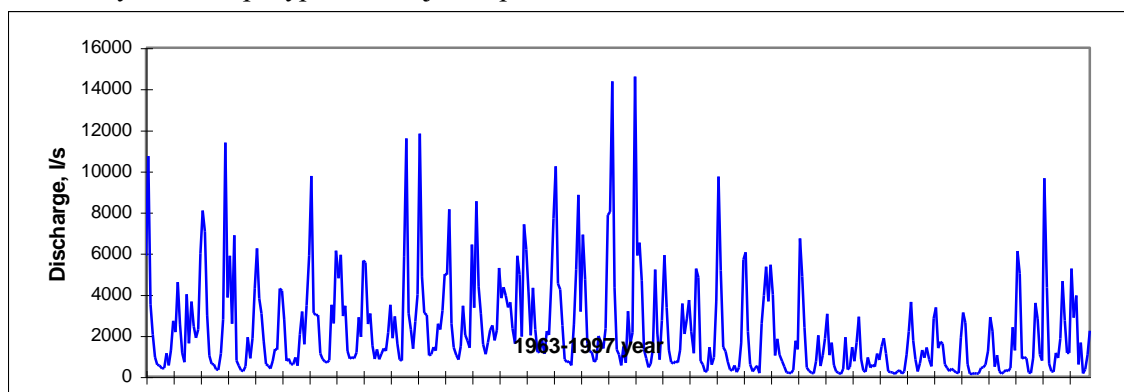
У сливу преовлађују две карстне структуре које припадају берковској антиклинали: 1. тријаски кречњаци и доломити дебљине око 600 м, и 2. горњејурски кречњаци дебљине око 150 м. Међусобно су изоловани доње и средњејурским кластитима.

Површина слива врела Искрец износи око 140 км<sup>2</sup> (Dinev, 1959) и дренира тријаски карбонатни комплекс. У горњем делу слива изграђеном од непропусних стена, формирана је нормална речна мрежа са мањим токовима. По преласку на карстни део терена, ови токови пресушују и инфилтрирана вода се усмерава ка Искрецу као главном ерозионом базису (Antonov, 1963; Benderev, 1989).



Сл. 6 Пећински отвор извора Искрец као средња, повремена дренажна зона  
Fig. 6 Cave entrance as middle drainage zone of Iskrets Spring

Средње годишње минималне издашности врела крећу се у распону од 90 до 280 л/с, док су средњи годишњи максимуми реда величине од 3,6 до 30 м<sup>3</sup>/с (сл. 7). Апсолутни максимум је регистрован 1966 год. када је измерено 56 м<sup>3</sup>/с. Режим истицања је веома променљив, најизраженији максимум је након отапања снегова. Интензивне кише у сливу одражавају се на повећање издашности врела након свега 1-2 дана у периодима великих вода, док је у периоду рецесије издани потребно 10-ак дана. Ово је потврђено и изведеним опитима бојења. О променљивом карактеру врела сведочи и знатна амплитуда температуре воде која се креће од 7.9°C до 13°C.

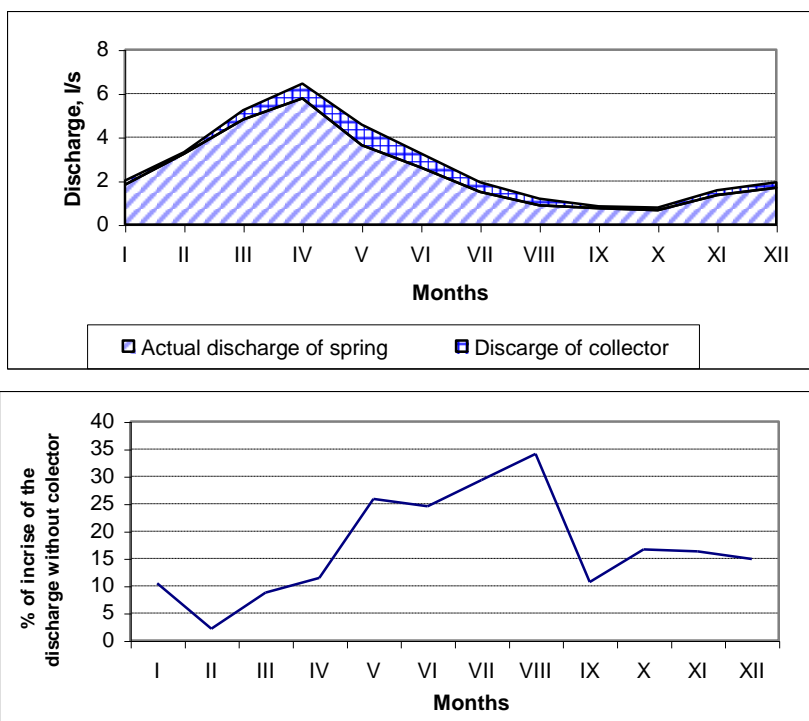


Сл.7 Промене издашности извора Искрец у периоду 1963-1997 (према подацима  
Хидрометеоролошког националног института Бугарске)  
Fig. 7 Variations of the Iskrets Spring discharge rate (according to Bulgarian Institute of Hydrology and  
Meteorology)

На режим вода врела значајно утиче и антропогени фактор (Benderev *et al.* 2005). Затворени каналски систем “Петрохан” изграђен у периоду 1955-1959 на северу слива прикупља део вода које би понирале и гравитирале ка Искрецу и преусмерава их ка енергетском постројењу “Барзиа” (сл. 8).

Поред тога, оближњи каменолом сталним мињањем изнад самог врела производи мирко сеизмичке ефекте које су посебно анализирали Paskalev *et al.* (1992) и Shanov & Benderev (2005).

Воде Искреца користе се за снабдевање града Свође удаљеног око 20 км. Просечно се захвата и гравитационим цевоводом транспортује око 150 л/с. Воде су доброг квалитета, ређе са нешто повишеним садржајем нитрата и амонијума, као и повишеним садржајем бактерија.



Сл. 8а,б Утицај колекторског канала “Петрохан” на издашност врела Искреца  
Fig. 8 a,b Impact of the collector of “Petrohan” on the discharge rate of Iskreca Spring

### Прекиди у истицању истраживаних извора

У раду “Извори, тресаве и водопади у источној Србији” (1896) Цвијић је Врело Млаве (“Жагубичко језеро”) и Јеловичко врело сврстао у вртачате водене басене са сталном отоком. Уједно је био и први који је описао необичне појаве у режиму истицања ових врела.

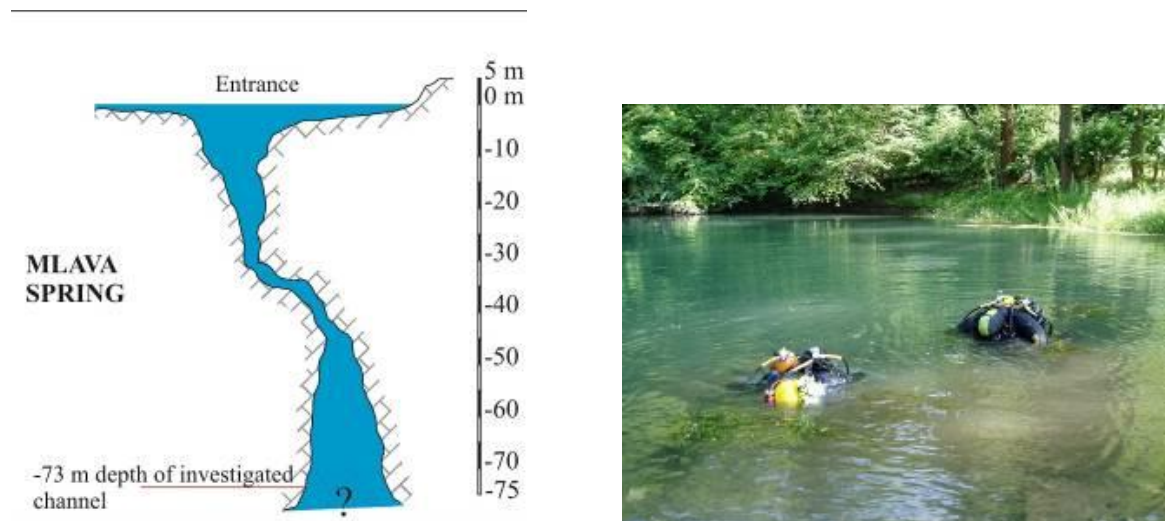
“У Жагубичком језеру се дешавају хидрографски поремећаји од две врсте: ниво воде његове спласне по некад до те мере, да вода из њега не истиче, нема Млаве, а само се задржи вода у басену као језеро без отоке, и осим тога, мењају се боја и провидност воде његове. Обе појаве не морају наступити у исто време, нити су периодичне.

Први појав су чешће видели старији Жагубичани, а прибележила га је г. Мишковић (Ј. Мишковић у “Путовању по Србији”, 1874, стр. 188, прим Ј.Ц.). И 14 јуна 1893. год. била је вода у Језеру толико одсекла, да се пречник његов смањило, Млава није из језера истицала и корито њено дужином од 180

м, до састава са Тисницом, било је суво. У овом случају је узрок појави земљотрес и провалија, која се том приликом више језера отворила; иначе тај хидрографски појав није увек у вези са трусом, нити наступа у извесно годишње време. Он је последица тога, што, услед разних узрока (трусова, нагомилавања глине и других седимената у уским подземним каналима) могу бити зачепљене подземне пећине, које доводе воду Жагубичком језеру”<sup>1</sup>

За повремене и веома ретке прекиде у истицању који су се догађали од Цвијићевих испитивања до данас, немамо егзактних података. Дугогодишњи период праћења издашности врела ниједном није резултирао са податком о потпуном пресушивању. Разлог може бити и у чињеници да се издашност прати преко водостаја односно постављене водомерне летве, чији део остаје потошњен ујезереном водом врела и када дође до застоја у истицању.

Подаци о повременим прекидима базирани су само на запажањима локалног становништва. Један такав случај пријављен је средином осамдесетих година, а најсвежији се збио у јесен 2006 год. По опису вода је престала да се креће коритом испод врела негде у касним поподневним часовима, и протекла је тек у току ноћи (протицај је постојао од раног јутра наредног дана). Процена је да средњи прекид истицања не траје дуже од 6 – 10ч. Дужи интервал угрозио би рибљи фонд у оближњем рибњаку, што до сада није био случај. Оваквих појава интермитенције је свакако било далеко више, али једноставно нису забележени.



Сл. 9 а,б Профил сифонског канала и роњење у сифонским каналима врела Млаве (Милановић, 2007)  
Fig. 9 a,b Section of main siphon of Mlava spring and diving in siphonal channels (Milanovic, 2007)

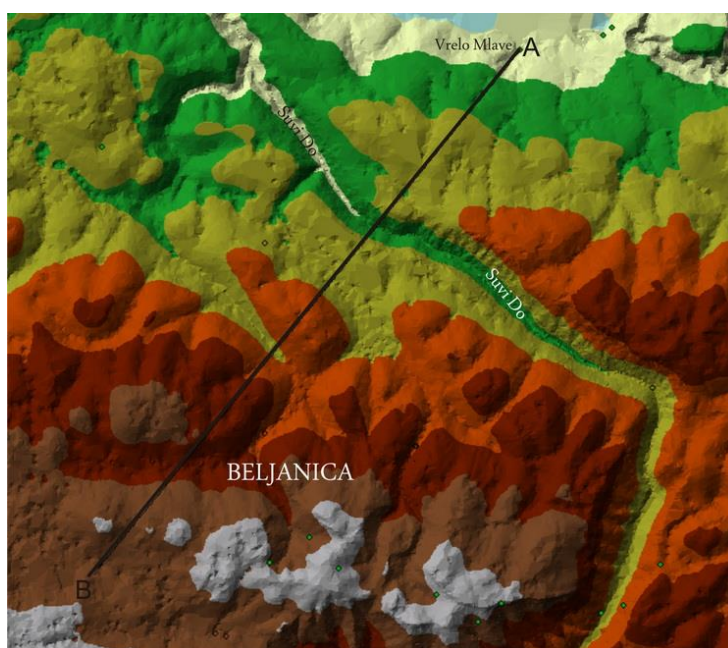
Приликом теренских истраживања на Бељаници 20 јула 2007 год. прва два аутора овог рада имали су прилике да региструју и непосредно прате један други необичан хидраулички феномен који је у индиректној вези за Врелом Млаве. Са намером да се нађе најповољније место и изврши обележавање понорнице Суви До на Бељаници у залеђу врела Млаве и Белосавац, вршена је проспекција корита реке на дужини од око десетак километара. Након преласка са вододрживе подлоге палеозојског језгра Бељанице на кречњачки део терена у који је река усечена (сл. 10), водени ток се постепено смањивао у низводном правцу, уз губитак дела воде у кориту. Ипак, током ове проспекције ниједна локација није оцењена као повољна за упуштање припремљене боје -

<sup>1</sup> Цвијић: Извори, тресаве и водопади у источној Србији, стр. 127

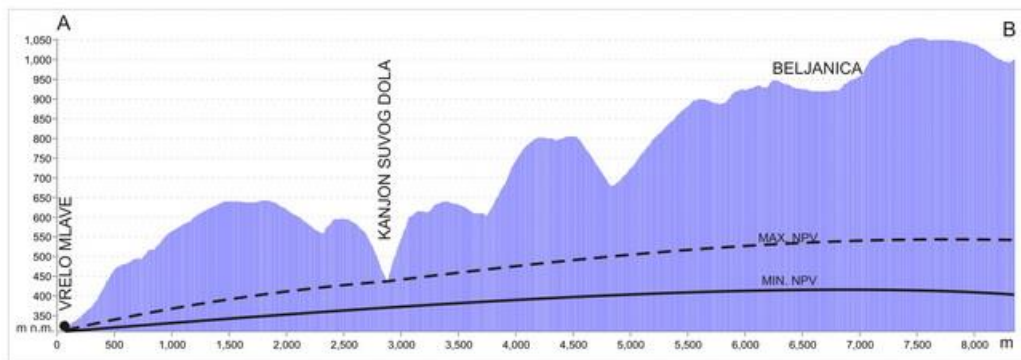


натријум флуоресцеина. Разлог је у чињеници да би с обзиром на недостатак концентричног увирања, дисперзија обележивача била знатна, и његова детекција веома отежана.

На делу Сувог дола означеном на сл.10 корито је било са све мање воде, а затим и потпуно суво на дужини од око 200 метара до једне уске зоне у којој је постало уочљиво да се корито све више асцедентно провлажује и да се поново формира ток. Идући даље низводно постало је јасно да се од ове зоне протицај поново активира и да ће вода потећи низводно. При том, пажљивом анализом и прегледом корита искључили смо могућност да је на узводнијем делу евентуално отворена нека устава или вештачки пуштена вода у корито реке. Такође, претходних дана није било никаквих падавина које би резултирале закаснелим дренарањем. Дакле, порекло вода је или из узводног дела Сувог дола у ком случају се јавља понирање и поновно брзо истицање, или се ради о механизму у коме се након потпуног сатурисања канала који спроводе воду ка врелима Млаве и суседном врелу Белосавац, ова вода јавља као прелив (горњи “одушак” издани). Разлика кота корита Сувог дола и врела Млаве је преко 130м и градијент нагиба у овом случају износи око 0.045 (сл. 11).



Сл. 10 Положај корита понорнице Суви до на Бељаници и врела Млаве  
Fig. 10 Location of Suvi Do sinking stream on Beljanica Mt. and Mlava Spring



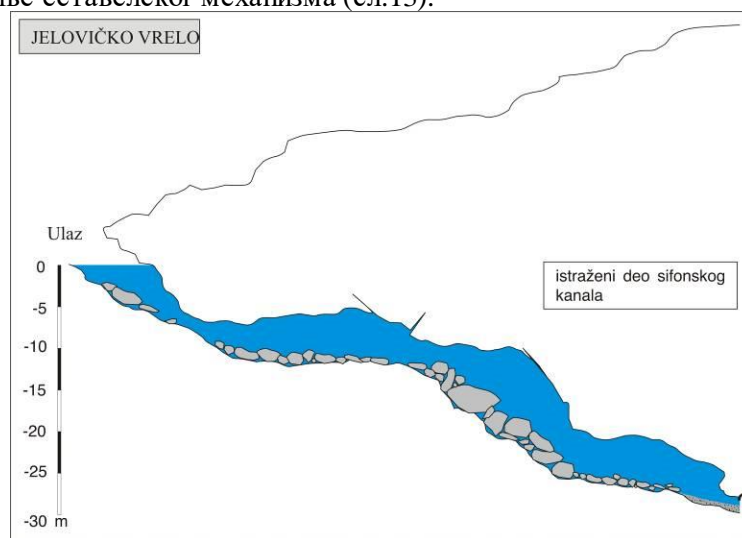
Сл. 11 Попречни пресек површине терена: Суви до на Бељаници и врело Млаве  
Fig. 11 Cross section: Suvi Do sinking stream on Beljanica Mt. and Mlava Spring



Сл. 12 Узлазни доток и провлаживање у кориту Сувог дола  
Fig. 12 Ascending flow and wet riverbed of Suvi Do

За Јеловичко врело Цвијић (1896) наводи да “као код већине врела овог облика и овде се дешава да вода на краће време, дан, два, престане извирати; окно је пуно воде, али она из њега не отиче. Тада Височница јако ослаби све до Ресаваца, лети и до Неклешице”<sup>2</sup>.

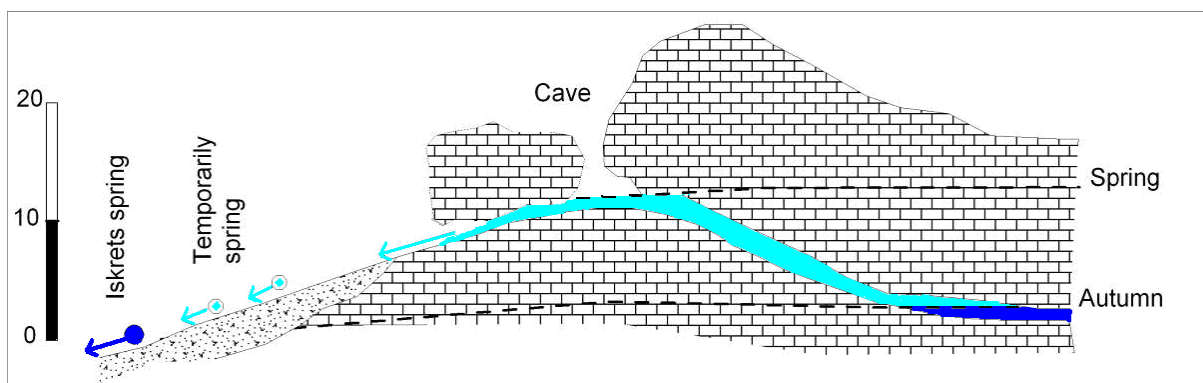
Као и у случају Млаве егзактни савремени подаци о прекидима истицања Јеловичког врела такође не постоје. Познато је да при ретким и краткотрајним интермитенцијама ујезерени сифонски канал као и Млавски задржава воду, отоке нема, али нема ни ефекта снижавања нивоа језера који би имплицирао постојање еставелског механизма (сл.13).



Сл. 13 Сифон Јеловичког врела на Старој планини испитан спелео рођењем (Милановић 2005)  
Fig. 13 Siphon of Jelovicko Spring on Stara Planina Mt. explored by diving (Milanović 2005)

<sup>2</sup> Цвијић: Извори, тресаве и водопади у источној Србији, стр. 126

Код врела Искрец (сл.14) такође је забележено неколико прекида истицања још крајем XIX века. После букурештанског земљотреса (регион Вранча) 1977 год. издашност врела је нагло опала са 5.5 на 0.5 м<sup>3</sup>/с током свега 7.5 часова (Петров, 1983). Након тога дошло је до наглог повећања на 13.5 м<sup>3</sup>/с, а затим је издашност лагано опадала. Сличан је ефекат био и приликом земљотреса у оближњем Свођу 1979 год. али такође и 11 априла 1982. када није забележена никаква сеизмичка активност.



Сл. 14 Попречни пресек преко врела Искрец. Највиши пећински отвор је редовно сув, док средњи функционише повремено. Само је најнижа зона истицања кроз речни нанос стална  
 Fig. 14 Cross section of Iskreț Spring. The highest cave opening is permanently dry, the middle is temporarily active, while only seepage through alluvial deposits at lower level is permanent

Paskalev *et al.* (1992) констатују да се разлози за промене издашности или прекиде у истицању услед јаких земљотреса не налазе у ужој зони истицања, већ у удаљенијим, северним деловима слива, везаним за Черноводски или Ежданско - Брезнањски расед. Аутори претпостављају постојање унутрашње баријере у стенској маси која би имала функцију сличну подземној брани. Резервоарски простор у издани је веома велики, може да акумулира знатне количине воде, али у критичном моменту долази до препуњавања, акумулирања хидродинамичке енергије и наглог пробоја кроз баријеру.

Paskalev *et al.* (1992) наводе и утицај који блиско минирање у каменолому производи на истицање вода карстне издани. Они сматрају да је већи утицај који минирање производи на акумулирање енергије и деструкцију стенске масе (што за последицу има разбијање поменутих баријера), него што би био утицај урушавања глиновите испуне каверни, која би се такође могла сматрати могућим узроком интермитенције. У конкретном случају, услова за дејство глиновитих чепова нема, јер се ради о веома крупним, заправо пећинским каналима којима се издански ток креће према изворишту.

### Дискусија - хидраулички услови интермитенције

Хидраулички механизам анализираних карстних врела је сложен и њихов режим истицања је подложен специфичним факторима. У случају два врела у источној Србији, ради се о сличним, узлазним врелима која истичу из ујезерених басена и која заправо функционишу као преливна. Потребан је дакле одређени хидродинамички притисак да изданска вода прелије преко природно формираног прага и крене даље коритом. Код врела Искрец у Бугарској нема језера и узлазног сифона, али је сличан механизам прага, или баријере, како је Paskalev *et al.* (1992) називају, а која је вероватно присутна у унутрашњости стенске масе.

У теоријском смислу фактори који утичу на неравномерни режим истицања и интермитенцију могли би се груписати на следећи начин:

1. **Облик карстних канала:** специфичне коленасте структуре у унутрашњости карста, посебно у непосредној зони истицања;
2. **Варијација ваздушног притиска:** стварање ваздушних чепова при течењу услед наглих прилива и пратећи хидраулички удари;
3. **Механичка зачепљења:** обрушавање зидова и таваница карстних канала, испирање глиновите испуне каверни и стварање баријера кретању изданских вода.

1. Дренажни механизам функционисања коленастих структура јаких карстних врела у суштини је сличан механизму потајница. Цвијић (1896) и Радовановић (1897) су се веома детаљно бавили условима истицања Хомолске и Звишке потајнице и систематски пратили њихове механизме, што је била и основа за успешно тумачење појаве. Цвијић наводи да “потајнице постају онде где се вода скупља у подземним шупљинама, које са спољашношћу комуницирају каналима облика натеге. Вода ће из шупљине почети онда истицати када њен ниво у шупљини досегне висину натегине окуке и отицаће све дотле док се шупљина потпуно не испразни...наступних извора може бити само онда ако кроз натегу више воде отече но што резервоару притиче, јер би се иначе ниво воде задржавао увек у висини натегине окуке (или би је прешао) и не би било прекида у истицању.”<sup>3</sup>

Уколико претпоставимо да су код анализираних врела створени услови које Цвијић наводи, да је истицање слободно и да по правилу сва дотекла вода може слободно и отећи, онда не би могло бити речи о интермитенцији. Ипак, изузетно ретки прекиди и посебно забележени примери наглог опадања издашности, па убрзо затим и еруптирања, указују на постојање система “натеге” у подземљу. Уосталом у случају врела Млаве такво колено је и уочено на дубини од око 33 м при спелео ронилачком истраживању (Милановић 2007, 2010), а врло је вероватно да то није једина појава те врсте у унутрашњости каналског дренажног система (сл.9а).

2. Варијације притиска у цевима и промене брзине воде чест су узрочник хаварија у водоводним мрежама. Слични ефекти и појаве хидрауличких удара могле би такође настати у унутрашњости стенске масе услед наглих прилива, и релативно лимитираног пропусног капацитета карстних канала у појединим деловима издани. Створени ваздушни чепови резултирају и са прекидом истицања све до уједначавања притиска у каналима и стварања критичне водене масе која ће чеп истиснути.

Познати су случајеви и да нагла промена спољашњег, атмосферског притиска утиче на промену нивоа издани. Први аутор овог рада имао је прилику да прати овакве појаве при стационарним осматрањима нивоа издани у Бакхтиари формацији (миоцен) у Ираку, када је на пример долазило до “безразложног” регионалног повишења нивоа збијене издани и до 2м у кратком временском интервалу, а у периоду дуготрајних суша које су владале на том простору. Једино логично објашњење било је опадање ваздушног притиска и остварено релаксирање издани. Наравно, радило се о изданима велике акумулације, на већим дубинама и са слободним нивоом. Чињеница да кад је у питању карстна издан и када се ради о великим протицајима, овај фактор вероватно не може имати такав интензитет да би условио потпуни прекид (пр. повећање притиска и последично снижење нивоа слободне издани, уз истовремени мали доток из залеђа), али може донекле утицати на фино “подешавање” издашности.

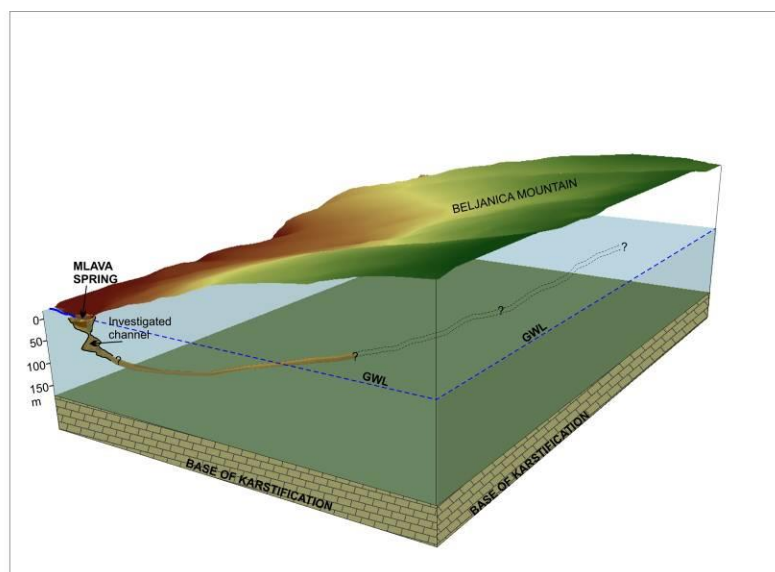
---

<sup>3</sup> Цвијић: Извори, тресаве и водопади у источној Србији, стр. 137

3. Цвијић је био склон тумачењу да се у подземљу стварају глинени чепови и да су они главни разлог интермитенције. Чињеница је да су појаве стварања и испирања глинених чепова код анализираних врела веома честе. Огледају се и у повећању турбидитета воде које може бити далеко изнад 1 NTU као дозвољене вредности код вода за пиће. Воде врела Млаве посебно су мутне и изузев дужих интервала без падавина крајем лета, не омогућају видљивост у језеру већу од 1м дубине. То је наравно и отежавајући фактор за рођење и снимање излазног сифона врела.

Тектоника и/или нагли приливи у издан главни су агенси који условљавају откидање већ дефрагментираних делова стенске масе, испирање наслага глине из канала и пукотинских испуна и покретање суспензије према дренажној зони. Ипак, димензије и пропусна моћ главних канала су такви да би тешко условили потпуну блокаду и заустављање истицања. Посебно, јер и највећи број регистрованих прекида није остварен у периодима било какве сеизмичке активности.

Према томе, објаснити поуздано и дефинитивно узроке настанка ретких прекида истицања врела Млаве, Јеловичког и врела Искрец, веома је тешко. Претпоставка је да се ради о комбинацији агенаса који су претходно поменути. И да је ефекат њиховог дејства у складу са наведеним редоследом. Дакле, инверсно коленаст или сличан облик сифона уз могућа сужења, у највећој мери ће предиспонирати интермитентни карактер врела. Развијена дренажна мрежа канала у сливу, удаљенијих од саме дренажне зоне такође може представљати регулациони фактор истицања. Претпостављени (делимично реконструисани) главни дренажни канал (сл. 15) од кога се бочно и вертикално вероватно рачва мрежа секундарних канала и пукотина, може имати низ сужења и уских грла који ће стварати неједнаке хидродинамичке притиске у систему и резултирати израженијим флукуацијама истицања.



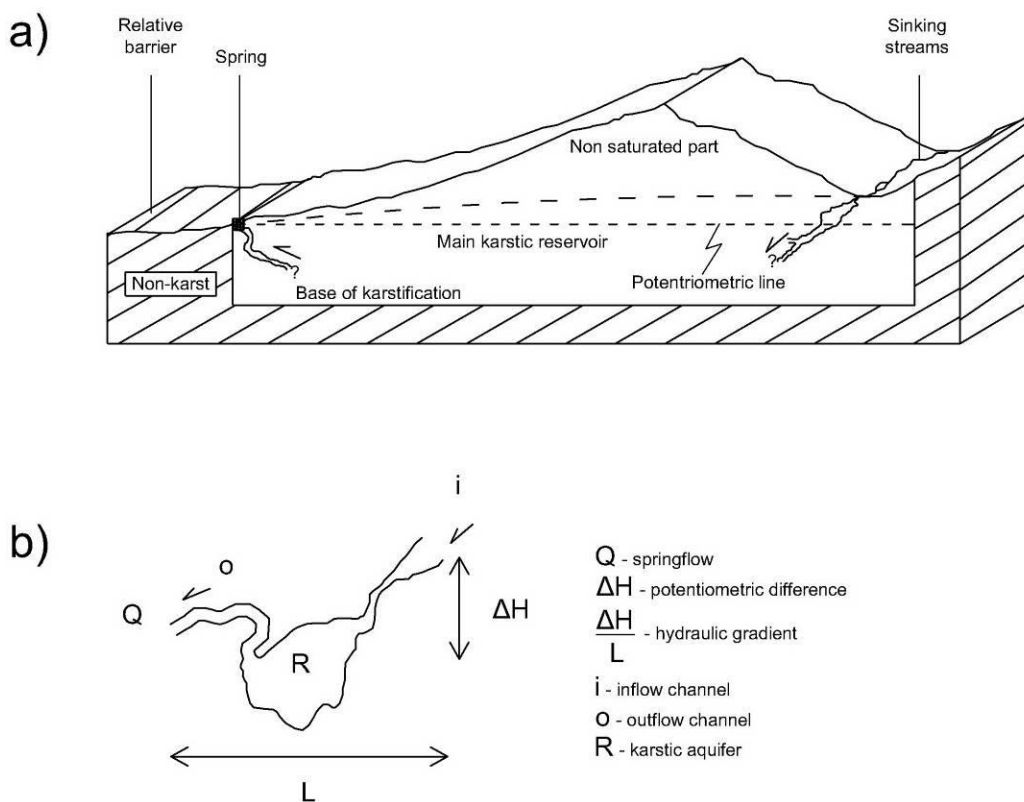
Сл. 15 3-Д модел претпостављеног положаја главног карстног дренажног канала од врела Млаве ка унутрашњости масива Бељанице (Милановић, 2010)

Fig. 15 3-D model of approximated main karstic drainage channel from Vrelo Mlave Spring towards Beljanica Mt. catchment (Milanović 2010)

Вероватно је да се комбинацијом потпуног сатурисања главне дренажне “артерије” и ваздушним чепом може објаснити и описани феномен у кориту понорнице Суви до регистрован јула 2007. Немогућност издани да апсорбује понире воде и спроведе их у правцу дренажне зоне, доводи до

њиховог повраћаја на површину терена. Ово има само привремени карактер и траје до тренутка ослобађања простора и могућности за нову инфилтрацију на истој, или пак наредној секвенци корига. С друге стране, код потпуне сатурације, понорница Суви до продужава свој ток све до села истог имена на ободу Жагубичке котлине. То је релативно ретко и трајање протицаја је краткотрајно, обично након отапања снегова у пролећним месецима или након веома интензивних киша<sup>4</sup>.

Нагли приливи вода у унутрашњост издани за чију је пропацију код свих анализираних врела довољан период од око 2-3 дана, а у одређеним случајевима и краћи (мање од 24 часа), су турбулентног карактера и условљавају промене притиска у каналском систему (транспортни део) и сатурисаном делу издани (резервоарски део) које се даље рефлектују на неравномерни режим истицања (сл. 16).



Сл. 16 а) Хипотетички концептуални модел Суви до – Врело Млаве, б) Карстни сифон - Симплификовани принцип “натеге” (Легенда: *Q* – издашност врела,  $\Delta H$  – разлика пијезометерских притисака у каналима,  $\Delta H / L$  – хидраулички градијент, *i* – дотицајни канал, *o* – отицајни канал, *R* – главни карстни резервоар)

Fig. 16 a) Hypothetic conceptual model Suvi Do – Vrelo Mlave Spring, b) Karstic siphon - Simplified principle of “overflow curved pipe”

<sup>4</sup> Протицај Сувог дола на контакту карста и неогених седимената у Сувом долу износио је око 200 л/с марта 2009, у време када је измерена велика издашност Врела Млаве од 7.5 м<sup>3</sup>/с, врела Белосавац 1.5 м<sup>3</sup>/с а повременог врела Живкове рупе, које се налази између ова два врела такође на контакту карста и неогена, чак 3.0 м<sup>3</sup>/с

## Закључак

Разматрани проблем режима пражњења и повремених прекида у истицању јаких карстних врела у карсту Карпата и Западног Балкана, захтева додатне анализе и систематско праћење.

Као главни потенцијални агенси интермитенције означени су: 1. Облици карстних канала у зони истицања, али и у унутрашњости карстне издани; 2. Варијације ваздушног притиска у дренажном систему; 3. Механичка зачепљења услед обрушавања зидова и таваница карстних канала, као и испирања глиновите испуне каверни. Највероватније, у њиховој комбинацији треба тражити узроке ретким појавама пресушивања разматраних извора која могу трајати неколико часова.

Проблем интермитенције има и своју практичну страну. Врело Млаве је једно од потенцијалних за регионално водоснабдевање, укључујући и долину Велике Мораве и приградске делове Београда. Јеловичко врело и оближња бушотина "Старо планинско око" анализирани су као потенцијална изворишта за флаширану воду. Врело Искрец снабдева водом бугарски град Свође. Свака несигурност испоруке воде са каптираних изворишта имала би озбиљне негативне последице и требало би ове могућности свести на најмању могућу меру. Најпогодније би било решење са адекватним захватом и вештачком регулацијом режима истицања. Могућност инсталирања пумпи и повремено прецрпљивање сифона врела Млаве и Јеловичког, наравно уз поштовање свих еколошких и водопривредних ограничења, једна је од таквих могућности. Код извора Искрец инсталирање пумпи могуће је у горњем сифону повезаним са најнижим извором.

## Захвалница

*Овај рад један је од резултата међународног пројекта "Карст и карстне подземне воде у међуграничном региону Бугарске и Србије на западном Балкану" реализованог у склопу билатералне научне сарадње Бугарске академије наука и Српске академије наука и уметности.*

## Specific Discharge Mechanism of Some Karstic Springs in Carpathian – Balkanides

**Key words:** karstic spring, springflow, factors of intermittency, Carpathian-Balkanides

This paper describes the specific discharge regime of three large springs in the Carpathian – Balkanides geological structure. Two of them, Vrelo Mlave and Jelovicko are located in the Carpathian mountain chain of Eastern Serbia, and one named Iskrets is in the Bulgarian Western Balkans (Fig. 1). The paper is focused on rare registered discharge interruptions and spring drying for short periods of time (up to several hours). The first evidence of those episodes was collected at the end of the XIX Ct. and described by the famous karst explorer and founder of karstology Jovan Cvijić (1896). In Bulgaria, Šorpil & Šcorpil (1898) and Radev (1915) were the first to described karstic occurrences including Iskrets spring recharge and drainage. Most of those explanations are still valid and contribute to the general knowledge of the mechanism of intermittent springs.

**Vrelo Mlave** is the largest spring in the Carpathian karst of Serbia and currently is not used for water supply (Figs. 2,3). It is one of very few karstic springs in Serbia where springflow has continuously been observed for a long period of time (since 1966). Its hydrograph during an average hydrological cycle shows 3 maximal and 3 minimal micro regimes (Stevanović 1991, 1992, Fig. 4). An average springflow is 2 m<sup>3</sup>/s, the extreme maximum is 19 m<sup>3</sup>/s, while the recorded extreme minimum is equal to 0.215 m<sup>3</sup>/s (Ristic *et al.* 1997; Ristic 2007).

The spring is situated on the tectonical contact of Aptian limestones and Neogene sediments. It is typically a vauclosian spring, with very deep karstic channels. The discharge outlet represents a lake. The first bathimetric measurements were done by Jovan Cvijić (1895). Recently, diving and examination of the main siphon were undertaken by Milanović (2005, 2007). From the lake the channel continues almost vertically. At a depth of about 33 m one narrow knee is registered; the channel then expands into a vertical funnel-shape and then continues even deeper (Fig. 9). It was explored to a depth of 73 m; because with the available equipment (Milanović 2005, 2007) further diving was not possible, its bottom has not yet been reached.

The spring's potential for regional water supply, including possibly for the suburban area of the Serbian capital of Belgrade, has been assessed (Stevanović *et al.* 1986).

**Jelovičko vrelo** spring is the largest one in the Stara Planina Mt. near the border with Bulgaria. It has been studied for possible commercial bottling of water. The spring flow varied from 0.07 - 0.33 m<sup>3</sup>/s within the period 2000-2002. The extreme maximal discharge can be almost ten times bigger (April 1986). The spring is also a vauclosian type (Fig. 5), but its outflow siphon is much smaller compared with Vrelo Mlave. The siphon is slightly inclined and passable by divers to a depth of 30m (Fig. 13, Milanović 2005).

This spring was first described by Cvijić (1896) who classified it together with Vrelo Mlave in the group of springs with a "permanent flow from water basins of doline type". However, despite their "permanency", he stated and described rare discharge stoppages: "There are specific hydrographic irregularities: water levels in the lakes decrease to such an extent and become [so] stagnant that no water flows out from the basins. In addition, water color and turbidity also change...Both irregularities are the consequence of numerous factors (seismicity, accumulation of clay and other sediments in narrow underground channels). The result is closing of ground caves which transfer water towards the springs".

**Iskrets karst spring** is located in the central part of the Western Balkans near city of Svoje and about 35 km away from Sofia, the capital of Bulgaria.

The catchment consists mainly of karstic Mesozoic sediments. Two carbonate complexes exist: 1. Triassic, which consists of limestone and dolomite and has a total thickness of 600 m, and 2. Upper Jurassic with a thickness of about 100-150 m. They are divided by Lower-Middle Jurassic terrigenous sediments.

The Iskrets karst spring drains the Triassic carbonate complex (Fig.6). Its catchment area is about 140 km<sup>2</sup> (Antonov 1963; Benderev 1989). The relief is mountainous with small streams formed in non-karstic rocks which completely sink when they reach the karstified rocks. These waters are collected in part by the "Petrohan" artificial structure built from 1955-1959 to supply water to EPP "Barzia". The "Petrohan" concrete channel picks up a considerable part of the surface water and diverts it into another catchment (Fig.8 a,b). Therefore, this intervention reduces the discharge of the Iskrets. Another anthropogenic factor omitting normal spring function is the limestone quarry located nearby which regularly uses grouped blasting. Seismic impact has been studied by Shanov and Benderev (2005) and Benderev *et al.* (2005).

The Iskrets discharge zone consists of several levels (Fig.14). The upper most is always dry. In the case of intensive flows, water runs out of the cave, which is located in the middle part (Fig. 6). In dry periods, water stops flowing from the cave and a lake at the cave bottom is then formed. The lake marks the water level inside the aquifer system. The seasonal variation of this level is 15 m. During the summer and autumn months only the lowest positioned drainage points are permanent.

The minimum values of spring water flows during different years are in the range of 0.09 to 0.28 m<sup>3</sup>/s (Fig. 7), while the maximum values vary from 3.6 to more than 30 m<sup>3</sup>/s. The absolute maximum flow rate of the spring was measured in 1966 when it reached 56 m<sup>3</sup>/s for a short period. Infiltrated river waters need about



1-2 days during intensive flows and 7-8 days during dry periods to travel about 10 km and reach the area near the spring (according to the test carried out with indicators). Spring water temperature is also unstable: it varies from 7.9° C to 13°C.

A particular spring feature is its rare flow breaks. During the 19th century the springs dried up several times. After the Vrancea Earthquake in 1977 the discharge rate dropped from 5.5 to 0.5 m<sup>3</sup>/s during 7.5 hours. After that the discharge rate raised abruptly to 13.5 m<sup>3</sup>/s, and began to decrease gradually. A similar event happened during the local Svoge Earthquake of 1979, as well as on the 11 of April 1982, when no significant earthquake was recorded at either locality, nor in the whole Balkan Region.

Iskrets spring is used for water supply of the Svoge. The average tapped flow is 0.15 m<sup>3</sup>/s.

The hydraulic mechanism of the examined sources is the result of various factors. Those factors most responsible for the intermittency are:

1. Shape of karstic conduits: specific knee-shape cavities, particularly important are those near the discharge zone;
2. Variation of air pressure: air bubbles and pulsation, including possible hydraulic fracturing within the system;
3. Mechanical plugs: collapse of ceilings and walls of karst canals, washing of defragmented blocks and clays from the filled fissures.

There are no clear definitions or certain explanations of the causes of the intermittency. It seems that a combination of the above-mentioned factors is most probable. However, the presented order also indicates significance and possible impact rates. It is thus estimated that the roles of specific shapes (Figs. 15, 16) and variable pressure within aquifer are more important than the role of mechanical plugging. The latter as a consequence of seismicity or flooding episodes, however, regularly follows the first two, but does not have the principle role, simply because interruptions happened several times during periods with no seismic activities or heavy rains.

In an attempt to make a tracing of the major sinking stream Suvi Do during field investigations in the Mlava catchment, one specific occurrence was observed on July 20, 2007. The upper river section is characterized by the gradual loss of water and its percolation downwards. Further downstream, in a completely dry section of the riverbed, water started to seep out again, and the downstream flow was reestablished (Figs 10,11,12). Given that there were no rains in the catchment, no active tributaries and no artificial wier open, it has been concluded that drainage appeared because the aquifer was unable to absorb any water. Either it was fully saturated or the aquifer's canals were blocked by air or sediments plugs. Such an event has no direct connection with the spring's intermittency, but does indicate the aquifer's scarcity and unstable flow regime.

Despite the rarity of the discharge breaks, this phenomenon requires further careful study and mitigation measures in case of more active planned utilization. The design and implementation of intakes aiming to regulate those important sources would be the best option. Temporary overpumping of easily accessible siphons and tapping the ascending flow, while respecting environmental conditions and limitations, could be one such intervention.

### ***Acknowledgments***

*This study is a part of the international project "Karst and karst groundwater in transboundary regions between Bulgaria and Serbia in West Balkan" which is the result of mutual cooperation between the Bulgarian Academy of Sciences and the Serbian Academy of Science and Arts.*

**Литература / References:**

- Antonov H. 1963: Karst waters in the western part of Sofia Stara Planina Mountain. *Annual Reports of High Institute of Mining and Geology*, v.VIII: 517-536
- Benderev A. 1989: Karst and karst waters of Ponor Mountain. Ph.D. Thesis, Scientific Institute for Mineral Researches, p.157
- Benderev A., Spassov V., Shanov S., Mihaylova B. 2005: Hydrogeological karst features of the Western Balkan (Bulgaria) and the anthropological impact. In: (eds. Stevanovic Z and Milanovic P.) *Water Resources and Environmental Problems in Karst. Proceedings of the Intern. conf. KARST 2005*, Spec. ed. FMG, Belgrade and Kotor, pp. 37-42
- Цвијић Ј. 1896: Извори, тресаве и водопади у источној Србији, *Глас СКА*, LI 18, Репринг у: Морфологија и хидрографија источне Србије, Саб. дела Ј. Цвијића, 13: 99-170, САНУ и Зав. за уџб. и наст. средс., Београд
- Dinev P. 1959: Attempt for determining of the water catchment of the Iskrets springs. In: "Karst underground waters in Bulgaria", *Tehnika*, Sofia, pp. 162-182
- Милановић С. 2005: Истраживање подземне морфологије карста за потребе примењене хидрогеологије, Магистарски рад, РГФ, Београд
- Milanović S. 2007: Hidrogeological characteristics of some deep siphonal springs in Serbia and Montenegro karst, *Environ. Geol.* 51(5): 755-760
- Милановић С. 2010: Формирање физичког модела карстне издани на примеру Бељанице. Докт. дисерт., Депт. за Хидрогеол. Руд. Геол. Фак, Универзитет у Београду, Београд
- Paskalev M., Benderev A., Shanov S. 1992: Tectonic conditions in the region of Iskrec karstic springs (in Bulgarian). *Review of the Bulgarian Geological Society*. Sofia, Vol. LIII, part 2: 69-81
- Petrov P. 1983: Hydrogeological effects caused by earthquake. In: "Earthquake Vranča – 1977", BAS, Sofia, pp. 96-111
- Radev J. 1915: Karst forms in Western Stara Planina. - *Ann. of Sofia University, Historical and Philological Fac.*, Sofia, Vol. 10-11, p. 149
- Радовановић С. 1897: Подземне воде. Издани, извори, бунари, терме и минералне воде. Српска књижевна задруга, књ. 42, Београд
- Ristić V., Stevanović Z., Prohaska S. 1997: Some examples of karst springflow regime simulation and prediction for water management balance analyses, *Theoretical and Applied Karstology*, 9: 141-149
- Ристић В. 2007: Развој симулационог модела за прорачун дневних истицања из карстних врела, Докт. дисерт., Депт. за Хидрогеол. Руд. Геол. Фак, Универзитет у Београду, Београд
- Shanov, S., Benderev A. 2005: Seismic impact from earthquakes and from grouped blasts in quarries on the discharge of karst springs. In: (eds. Stevanovic Z and Milanovic P.) *Water Resources and Environmental Problems in Karst. Proceedings of the Intern. conf. KARST 2005*, Spec. ed. FMG, Belgrade and Kotor, pp. 137-145
- Стевановић З. 1982: Хидрогеолошке карактеристике и биланс изданских вода слива врела Млаве. *Наш криш*, Сарајево, 6/12,13: 67-78
- Стевановић З., Филиповић Б., Стевановић И. 1986: Могућности захватања карстних изданских вода из горњег слива Млаве за водоснабдевање Београда или других потрошача. *Вода и санитарна техника*, Београд, vol. VI: 17-26
- Стевановић З. 1991: Хидрогеологија карста Карпато - Балканида источне Србије и могућности водоснабдевања. Пос. изд. Руд. Геол. фак., Београд, р. 245
- Стевановић З. 1992: Режим издашности карстних врела на подручју Карпато-балканида источне Србије, *Геолошки анали Балканског полуострва*, Београд, 56: 411-436
- Stevanović Z., Jemcov I., Milanovic S. 2007: Management of karst aquifers in Serbia for water supply. *Environ. Geol.* 51/5 : 743-748
- Šorpić, H., Šorpić, K. 1898; Sources et pertes des eaux en Bulgarie, *Mem. Soc. Speleol.* 15: 99-139