

Саша Милановић*, **Љиљана Васић**, Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет, Департман за хидрогеологију,
Београд

Sasa Milanovic, Ljiljana Vasic, Belgrade University, Mining and
Geology Faculty, Hydrology Department, Belgrade

ХИДРОГЕОЛОШКА ИСТРАЖИВАЊА КАРСТНИХ ВРЕЛА – ЈЕЛОВИЧКО ВРЕЛО

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF KARSTIC SPRINGS – JELOVICKO SPRING

***Сажетак:** Карстни извори (врела) су хидрогеолошки најинтересантније појаве, и њиховим истраживањима се поклања највише пажње када се ради о истраживањима карстних издани. Јеловичко врело спада у групу сифонских врела са дубоким залегањем карстних канала. Формирано је у кречњацима и доломитима средњег тријаса и представља једно од већих карстних врела на Видличевом делу Старе планине. Спелеоронилачка истраживања Јеловичког врела су започета 2003. године, када је и по први пут откривен сифонски канал до дубине од 30 м. До данас је изведен низ ронилачких истраживања овог врела, при чему су канали истражени до дубине од 48 м. У раду је дат осврт на геолошке, морфолошке и хидрогеолошке карактеристике овог врела, као и на резултате спелеоронилачких истраживања.*

***Abstract:** Karst springs are hydrogeological the most interesting phenomena and we pay the greatest attention to the research of karst aquifers. Jelovicko spring belongs to the group of siphonal springs with*

* sasamilanovic@rgf.bg.ac.rs

deep recesses of karst channels. It was formed in limestone and dolomites of middle Triassic and represents one of the bigger karst springs in Vidlic part of the Old Mountain. Cave-diving research of the Jelovicko spring started in 2003, when for the first time a 30 meter deep siphonal channel was discovered. A number of diving researches in this spring have been made so far when the channels were searched to the depth of 48 meters. This study relates to the geological, morphological and hydrogeological characteristics of the spring, as well as to the results of cave-diving researches.

Кључне речи: карст, сифонско врело, спелеороњење, хидрогеологија
Key words: karst, siphonal spring, cave-diving, hydro-geology

1. УВОД

Карстни терени прекривају готово 12% копна, са дебљинама и до више хиљада метара и запремина више хиљада кубних километара. Значај карстних терена најбоље се објашњава тиме што се приближно 25% светске популације снабдева пијаћом водом из карстних терена. Управо из тог разлога, истраживање карстних терена и подземних вода у карсту чини један важан део науке о подземним водама, уопште (Милановић, 2012).

Истраживање хидрогеолошке функције подземних морфолошких облика у карсту је практично незаобилазно као део истраживачког поступка, било да се раде истраживања за потребе водоснабдевања и заштите подземних вода или пак у решавању практичних инжењерских проблема у карсту. Најзначајније појаве које се истражују у карсту у погледу њихових хидрогеолошких карактеристика су карстна врела. Генерално, већина значајнијих карстних врела се налази по ободима ерозионих базиса, тј. по ободима карстних поља, речних долина и на контакту карстних терена са хидрогеолошким баријерама. Општа карактеристика ових извора је непосредна зависност између падавина и њихове издашности. Поред тога, издашност и режим функционисања ових извора зависи и од: величине слива, ретардационог капацитета карстне издани, укупне ефективне порозности као и литолошких и структурних карактеристика терена. Карстна врела се по начину истицања генерално могу поделити на гравитациона (силазна) и сифонска (узлазна).

И поред недвосмислене вредности спелеолошких истраживања сувих спелеолошких објеката, један од веома важних начина истраживања подземних вода у карсту је и спелеоронилачко истраживање. Спелеороњење је грана спелеологије, тј.

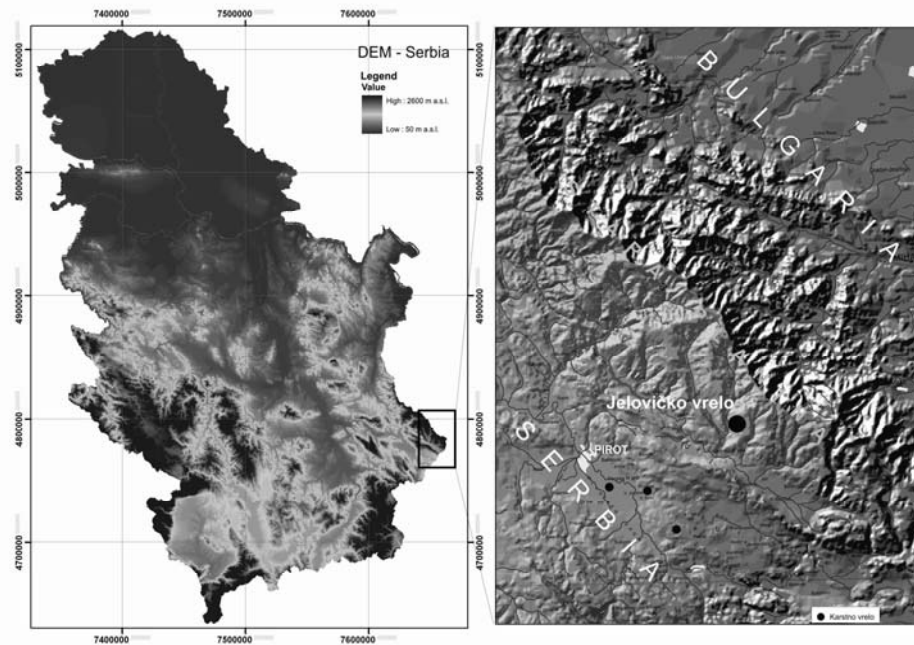
истраживачка техника која се бави истраживањем подземних морфолошких облика у карсту испуњених водом. Спелеороњење (speleodiving, cave diving) је релативно млада истраживачка дисциплина, чији је развој напредовао упоредо са развојем опреме за скупа и комерцијална роњења. Може се рећи и да је спелеороњење „научна, истраживачка и спортска дисциплина“, која пружа изузетно велике могућности у хидрогеолошким истраживањима карста, тј. пружа најтачније податке о распрострањењу карстних канала испуњених водом (Милановић, 2012). Управо спелеоронилачким истраживањима су се добили нови подаци о распрострањењу карстних канала и начину функционисања Јеловичког врела.

2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА

2.1 Географски положај шире зоне Јеловичког врела

Стара планина је погранични регион Србије и Бугарске (слика 1). Од изузетног је значаја очување њене природне баштине и њен потенцијал за развој туризма. Видлич је део Старе планине и већим делом је изграђен од мезозојских карбонатних стена. Јеловичко врело, као и његов слив, припада заправо планини Видлич, а не Старој планини, мада се прва често сматра њеним саставним делом. У подножју планине Видлич лежи Пиротска котлина, депресија испуњена неогеним седиментима. Управо највећи део карстних врела ширег изучаваног подручја се и налази по ободу Пиротског басена, а каптирана су за потребе водоснабдевања Пирота и Димитровграда, који су уједно и највећа насеља и индустријски центри овог региона.

Даљи развој Видлича, односно овог дела Старе планине, и очекивана туристичка експанзија ће се вероватно контролисати пажљивим управљањем и заштитом природе и природних споменика, попут клисуре славињско Грло, Јеловичког врела, великог броја водопада, природних шумских резервата, пећина итд.



Слика 1 Географски положај Старе планине и Јеловичког врела
Picture 1 Geographic location of Old Mountain and Jelovicko spring

2.2 Хидрометеоролошке карактеристике истражног подручја

Проучавање основних климатских и хидролошких услова неопходно је ради потпунијег сагледавања хидрогеолошких услова и функционисања карстне издани.

Територија општине Пирот одликује се типичном умерено-континенталном климом, али пошто ово подручје обухвата велику површину, са релативно великим разликама у надморским висинама на истражном подручју, поред умерено континенталне климе заступљена је и планинска клима, под коју спада и шира зона Јеловичког врела.

За утврђивање општих климатских карактеристика истражног подручја коришћени су подаци Савезног хидрометеоролошког завода за период од 1970. до 1990. године. Кишомерна станица Дојкинци је најрепрезентативнија када се говори о Јеловичком врелу и налази се на надморској висини од 880 м. Средње месечне суме падавина на овој станици достижу свој минимум у августу (47 мм), а максимум у мају (130 мм). Средња годишња сума падавина износи 960 мм.

Хидролошки гледано, територија општине Пирот припада сливу Нишаве, која је највећа десна притока Јужне Мораве. Низводно од Пирота, код села Станичење, у Нишаву се улива и њена друга највећа притока Темштица. Овај ток настаје спајањем Теплодолске реке и реке Височице која највећи део вода добија на рачун Дојкиначке реке са Јеловичком. Изворишни део Височице се налази у Бугарској, што у односу на укупан слив Темштице износи територијално око 15%. Темштица (са Височицом) дугачка је 70.6 км, са површином слива од око 820 км² (Stevanović, Ristić Vakanjas, Milanović, 2012). У горњем току леви крак Темштице, односно река Височица, од села Рсовци до села Паклештица на дужини од 2 км, протиче кроз величанствен кањон Владикина плоча. Стрме камене литице уздижу се до 400 м изнад реке.

Од значајнијих токова треба поменути и Градашничку реку, која је десна притока Нишаве. Она у горњем току носи назив Добродолска река, дужине је 17 км и усекла је веома леп кањон низводно од села Добри До на путу ка селу Градашница.

2.3 Геоморфолошке карактеристике истражног подручја

Сложена геолошка грађа, веома активна тектоника, ерозиони процеси нарочито у карстним теренима привлачили су пажњу бројних научника још од краја XIX века. Тако је Ј. Цвијић (још 1895. године) обилазећи Пиротску котлину, описао појаве везане за непосредну зону Крупачке мочваре. Од краја II светског рата, ова је област била предмет интензивнијег проучавања.

У погледу геоморфолошких карактеристика, јасно се издвајају две морфолошке целине и то равничарска област и брдско-планинска. Јеловичко врело и његов слив се налази на масиву Видлича, на типично планинском терену. Налази се северно од Пирота, према граници са Бугарском.

Површински микрооблици се јављају практично у свим зонама оголићеног карста. Представљени су шкрапама, музгама, каменицама итд. Шкрапе су најчешће везане за пукотинске системе мањих димензија, проширених хемијским дејством воде. Посебно интересантни микрооблици су такозвани кликови, који представљају стубасте или пирамидалне облике везане за стрме кречњачке одсеке, од којих се при дужем разлокавању одвајају и обурвавају у кањон Јерме.

Вртаче су генетски везане за хемијско и механичко дејство вода, углавном у раседним зонама или сувим речним долинама. Поред линеарне оријентације, јављају се и делови терена где су вртаче разбацане, без икакве оријентације различитих облика и

димензија. Ови делови терена се издвајају као типичан „богињави карст“. Високе површи које су разједене вртачама јављају се у зони прихрањивања Јеловичког врела.

На терену се још од површинских карстних облика јављају и увале. Оне су депресије већих димензија, морфотектонског порекла, а често их прате и краћи површински токови. На Видличу се налазе увале Појатишта, Рађена и Тепоша.

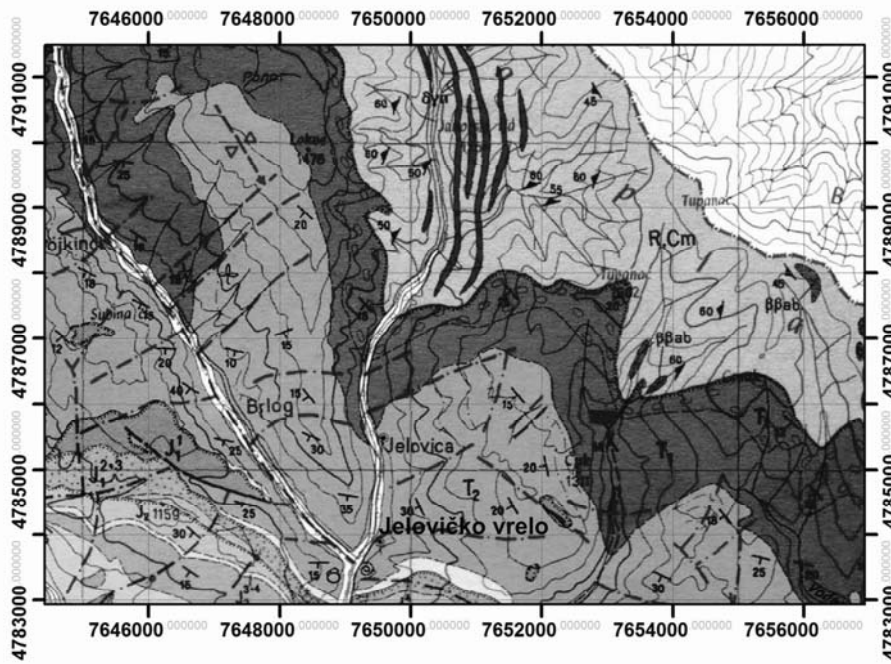
Читав низ разноврсних подземних морфолошких облика настаје под дејством интензивног растварачког дејства воде.

По ширем ободу Пиротске котлине јавља се низ углавном мањих пећина. Велика пећина у Доњој Држини је највећа, са 1440 м испитаних канала. Створена је радом подземног тока Врбице, која понире око 2 км узводније од улаза. Владикина плоча у кањону Височице испитана је на дужини од 260 м и значајна је по импозантном улазном отвору 60 x 40 м, на тешко приступачној литици-левој кањонској страни. На југозападном ободу Одоровачког поља налази се Голема дупка, као понор Одоровачке реке, а испитана је на дужини од 480 м.

2.4 Геолошке карактеристике истраживаног терена

Шира зона истражног подручја одликује се разноврсним литолошким и стратиграфским саставом. Најстарије стене су рифеј-камбријске старости, а најмлађе квартарне.

Посебно битно је развиће стена тријаске старости у којима је и развијена издан која се дренира преко Јеловичког врела. Тријаске творевине заузимају највеће пространство на подручју обухваћеном истраживањима, што је и приказано геолошком картом (слика 2).



Слика 2 Геолошка карта шире зоне истраживања
 Picture 2 Geology map of the wider zone of research

Седименти тријаса најпотпуније развиће имају на Старој планини. Представљају тип алпског тријаса, уз наглашен медитерански карактер фауне. Код Нишора, у Градашници, Басари, Бребевници, Мазгошу и осталим локалностима видличке навлаке, тријаски седименти су најчешће у тектонском контакту са млађим творевинама. Подина им није нигде откривена, а повлату им чине јурски седименти. У подножју Старе планине, Гребена и Влашке планине леже трансгресивно на пермским црвеним пешчарима. Седименти доњег тријаса су најбоље развијени у зони Старе планине, док су у пределу Руја, Гребена и Влашке планине редуковани на дебљину од 10 до 15 м (Анђелковић, Крстић, Ћирић, Мартиновић и Богдановић, 1969).

Седименти средњег тријаса су делимично развијени у зони Видлича, Руја, Гребена и Влашке планине. Доњи део ових творевина представљен је доломитичним кречњацима са прослојцима глиновитих кречњака и алевролита, а макрофлора фораминиферама и конодонтама. Седименти доњег дела ладинског ката представљени су финозрним доломитима и доломитичним кречњацима са бројним фараминиферама крупнијих облика, а

горњег ката црним доломитичним кречњацима, биоспаритима и доломитима (Анђелковић, Крстић, Ћирић, Мартиновић и Богдановић, 1977). Ограниченог су распрострањења у северозападном делу Старе планине и у непосредној близини Јеловичког врела, села Сенокос и Мојинци. Дебљина средњег тријаса износи око 250 м, од чега ладинском кату припада једва 15 м.

У тектонском погледу ово подручје припада југозападном крилу велике старопланинске антиклинале, која је по Протићу (1934) нагнута мало ка североистоку, а оса јој је правца ССЗ-ЈЈИ. Језгро антиклинале се поклапа са главним венцем Старе планине. Дуж њеног југозападног крила налази се низ реверсних лонгитудиналних раседа са кретањем ка североистоку. Најстарије стене језгра антиклинале припадају рифејско-камбријском комплексу, који заједно са иновском серијом показује посебне структурне карактеристике. Општи правац пружања ових творевина је север-југ, са одступањима у оба смера.

Видличка навлака је једна од најмаркантнијих структурних облика на истражном подручју. Почиње код села Влковија на српско-бугарској граници, као наставак „задбалканског разлома“. Ка северозападу је праћена до села Сопота, где је покривају неогени седименти. Видличка навлака на нашој територији је дугачка око 30 км, са средњом висином од 150 м. Са југозапада, ова навлака нема оштру границу према тимочком ров-синклиноријуму, тако да се може узети да границу чини Пиротско поље (Анђелковић и сар., 1977).

2.5 Хидрогеолошке карактеристике

Карбонатни мезозојски комплекс стена Старе планине је интензивно карстификован и према морфолошким карактеристикама одговара карактеристичним карстним теренима, има највеће распрострањење на истражном простору.

Карстни тип издани издвојен је у оквиру карбонатног мезозојског комплекса стена и то:

- средњетријаских кречњака и доломита,
- кластита и карбоната догера,
- кречњака са рожнацима и доломитима оксфорд-кимерица,
- масивних и банковитих спрудних кречњака титона,
- банковитих, песковитих и лапоровитих кречњака валенд-отрива,
- масивних и банковитих спрудних кречњака барем-апта, типичне ургонске фације.

Степен водопрпусности у оквиру овако дефинисаног вертикалног профила није једнак у свим деловима карбонатног комплекса стена, посебно у најнижим деловима, у тријаским и догерским седиментима. Дебљина карбонатног комплекса стена креће се од неколико десетина метара, у зонама тријаских и догерских наслага, до преко 1000 м у ободним деловима неких планинских масива. Посебно питање се односи на распрострањење карстификованог дела кречњачке стенске масе, положаја базе карстификације у вертикалном профилу. Ово је веома значајно, будући да су у оквиру дубљих делова карстне издани акумулиране знатне „статичке“ резерве изданских вода.

Прихрањивање издани које дренира Јеловичко врело врши се углавном инфилтрацијом вода од падавина у откривеним деловима карстног колектора, а ређе и инфилтрацијом вода површинских токова кроз понорске зоне. У оголићеним кречњачким депресијама на рељефу (увале, вртаче) и у условима отвореног и разрађеног система карстних канала и каверни, карстна издан може да апсорбује већи део количине излученог атмосферског талога. С друге стране, често запушена дна ових депресија наслагама црвенице или делувијално-пролувијалним наносом, утичу на задржавање дела воде, о чему сведоче појаве језераца и локви.

Тектонски услови и структура кречњачких терена главни су фактори развоја карстног процеса и циркулације изданских вода у оквиру формираних прслина, пукотина и каверни.

Дренирање истраживане карстне издани врши се истицањем преко више карстних извора и врела, од чега су најзначајнија Јеловичка врела. Под Јеловичким врелима подразумевају се три појаве истицања карстних подземних вода северно од Височке Ржане. Две појаве су у левом боку Јеловичке реке и један у Дојкиначкој реци. Даље у раду је дат приказ резултата истраживања главног и највећег Јеловичког врела.

3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА КАРСТНИХ КАНАЛА ЈЕЛОВИЧКОГ ВРЕЛА

Спелеоронилачка истраживања Јеловичког врела (слика 3) су извођена фазно и то у зависности од претходног корака, односно од резултата добијених првом фазом истраживања.



Слика 3 Спелеоронилац пред зарон у Јеловичко врело
Picture 3 Cave-diver before diving into Jelovicko spring

Истраживања су у првој фази подразумевала информативно спелеоронилачко извиђање у циљу сагледавања услова и величине спелеолошких објеката, што је подразумевало прикупљање следећих информација (Милановић, 2012):

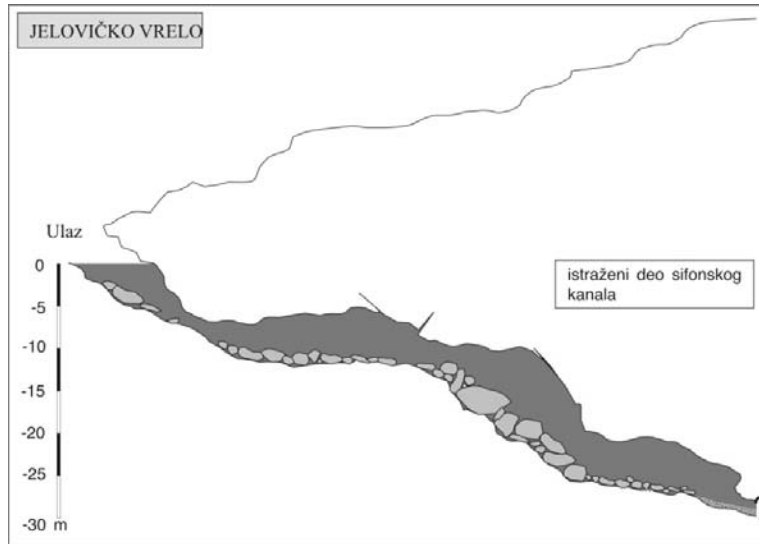
- а) елементарна топографија
 - азимут улазног канала
 - габарити канала
 - бочни отвори
 - дубине на карактеристичним местима
 - дистанца и процена за даље истраживање
 - азимут правца за даље истраживање на задњој тачки истраживања
- б) видљивост
- в) температура воде
- г) азимут кретања подземног тока
- д) брзина подземног тока
- ђ) максимална дубина истраживања
- е) разна опажања (нанос, муљ, грање, сужени пролази итд.)
- ж) присуство спелеофауне

Друга фаза истраживања је планирана на бази података информативног рођења. Она, као и претходна, подразумева детаљно спелеоронилачко картирање, као и све остале видове геолошког и хидрогеолошког подводног картирања у зависности од врсте и обима задатака. Такође је током друге фазе истраживања направљен и видео-запис о спелеоронилачком истраживању

Јеловичког врела. Трећа фаза истраживања се односи на интерпретацију прикупљених података. Приказ резултата истраживања дат је у наставку рада.

4. МОРФОЛОШКЕ И ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЈЕЛОВИЧКОГ ВРЕЛА

Јеловичко врело спада у групу карстних сифонских врела, чији је канал снимљен и хидрогеолошки истражен до дубине од 30 м, са максималном дубином истраживања од 48 м (слика 4). Укупна дужина снимљених и истражених канала је 118 м.



Слика 4 Профил Јеловичког врела (Милановић, 2012)
Picture 4 Cross section of Jelovicko spring (Milanovic, 2012)

Генерално, канал се пружа у правцу исток – североисток и прати правац пружања једног од површински регистрованих раседа. Сама улазна зона Јеловичког врела почиње изворским језером амфитеатралног облика, из кога се у подземне канале овог врела улази испод мањег кречњачког блока (слика 5).



Слика 5 Улазно језеро Јеловичког врела
Picture 5 Jelovicko spring lake

Сам улаз се мења са хидролошком ситуацијом, па се током више истраживања приметило да блокови и крупно камење мењају положај услед јаког потиска воде за време велике издашности. Улаз у врело са унутрашње стране са положајем већих и мањих кречњачких блокова приказан је на слици 6.



Слика 6 Поглед на улаз у Јеловичко врело са унутрашње стране
Picture 6 View to the entrance of Jelovicko spring from the inner side

Након улаза димензија 2.5 м, са промењивом висином од 1.5 до 0.5 м, улази се у просторију већих димензија и то ширине око 15 м и висине од 1 до 2.8 м. Дворана је испуњена кречњачким блоковима и почиње од 3 м дубине па све до 10 м, где се долази до прве веће каскаде, односно преласка канала у вертикалу. Прва и највећа улазна дворана је уједно и станиште поточне пастрмке. Детаљ дворане, као и њен завршетак и претходно поменути вертикала, дати су на слици 7.



Слика 7 Детаљ дворане у Јеловичком врелу са поточним пастрмкама (лево), десно завршетак дворане и прва вертикала врелског канала
Picture 7 Detail from the pool in Jelovicko spring with brown trout (on the left), ending of the pool and the first vertical of the spring channel (on the right)

Даље се каскадном вертикалом канал спушта до дубине од 25 м, када његов нагиб постаје знатно блажи и где велике блокове и крупно камење замењује fino гранулисани шљунак. Канал затим долази до већег сужења, где је у првим фазама истраживања било немогуће проћи, управо због песковитог и шљунковитог наноса. Генерално, канал повија у правцу исток-североисток. Даље од ове тачке, према објављеним резултатима других спелеоронилачких екипа, дошло се до максималне дубине истраживања од 48 м.

По хидрогеолошким карактеристикама, Јеловичко врело је највеће карстно врело овог дела Старе планине, односно на Видличу. Нажалост, Јеловичко врело никада није дуже и систематски осматрано, иако би по својим карактеристикама и важности било неопходно да се на њему успостави стални мониторинг подземних вода, како квантитативни, тако и квалитативни.

Према повременим осматрањима врела, његова минимална издашност пада испод 80 л/с, са генералном осцилацијом

температура од 9.5 до 12°C. Као што је већ и објашњено, ово врело спада у типична карстна сифонска врела са дубоким залегањем карстних канала. Могуће да управо сама морфологија карстних канала и условаљава појаву прекидања истицања воде на врелу једном у години, и то обично током августа месеца. Након таквог прекида који траје по неколико сати, врело поново наставља са нормалним режимом истицања. Сматра се да је максимална издашност врела преко 5 м³/с (Чубриловић, 1990), мада се по величини канала и размештању кречњачких блокова у периоду великих вода може претпоставити да издашност може бити и већа. Релативно брзо пуњење и пражњење издани се приписује површини слива од око 46 км², са веома добрим филтрационим карактеристикама (слика 8). Поред вода које се инфилтрирају на карстној површи Старе планине, један део мањих површинских токова се и завршава понорским зонама.



Слика 8 Јеловичко врело са претпостављеним сливним подручјем
Picture 8 Jelovicko spring with supposed basin area

ЗАКЉУЧАК

Стара планина је погранични регион Србије и Бугарске и од изузетног је значаја очување њене природне баштине. Истраживани терен, на коме се налази и зона прихрањивања и дренарања Јеловичког врела, заправо припада Видличу, који је и део Старе

планине. Слив Јеловичког врела је већим делом изграђен од мезозојских карбонатних стена и то средњег тријаса. Само Јеловичко врело спада у групу сифонских врела, са дубоким залегањем карстних канала. Спелеоронилачка истраживања Јеловичког врела су започета 2003. године, када је и по први пут откривен сифонски канал до дубине од 30 м и дужине око 120 м. До данас је изведен низ ронилачких истраживања овог врела, при чему су канали истражени до дубине од 48 м. Издашност врела се креће од 80 л/с у минимуму, па до преко 5 м³/с у максимуму.

ЛИТЕРАТУРА

- Анђелковић, Ј., Крстић, Б., Ћирић, А., Мартиновић, Д., Богдановић, П. (1969). Лист Пирот, ОГК 1:100.000, Београд, Завод за геолошка и геофизичка истраживања.
- Анђелковић, Ј., Крстић, Б., Ћирић, А., Мартиновић, Д., Богдановић, П. (1977). Тумач за ОГК 1:100.000, лист Пирот, Београд, Завод за геолошка и геофизичка истраживања.
- Чубриловић, П. (1990). *Извештај о испитивању извора општине Пирот*, Београд, Геозавод, Сектор за хидрогеолошка и геотехничка истраживања.
- Милановић, С. (2012). *Спелеологија и спелеорођење у хидрогеологији карста*, Београд, Рударско-геолошки факултет.
- Protić, М. (1934). *Geološki sastav i tektonika Stare planine. Rasprave Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije, sv. IV*, Београд, Geološki institut Kraljevine Jugoslavije.
- Stevanović, Z., Ristić Vakanjac, V., Milanović, S. (Eds) (2012). *Climate Changes and Impacts on Water Supply*, Belgrade, Faculty of Mining and Geology.

Примљено/ Received on 25.06.2015.
Прихваћено/ Accepted on 12.08.2015.