

ИЗВЕШТАЈ О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ
КАНДИДАТКИЊЕ ЉИЉАНЕ ВАСИЋ

1. УВОД

Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидаткиње Љиљане Васић, дипломираног инжењера геологије, је: *„Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива“*.

Дисертација садржи:

- 393 страна рачунарски обрађеног текста А4 формата,
- 180 табела у тексту,
- 226 слика, графикона, фотографија и схема,
- 118 навода у списку литературе.

Хронологија одобравања и израде дисертације

Научно-наставно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 23 .06. 2016. године донело је Одлуку о именовању комисије за оцену подобности теме, кандидаткиње и одређивања ментора предложене теме докторске дисертације Љиљане Васић, дипл. инж. геологије, под насловом: *„Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива“* (бр. 1/349 од 23. 06. 2016. године).

Научно-наставно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 29. 09. 2016. године усвојило је позитиван Извештај Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње предложене теме докторске дисертације под истим насловом. За ментора је именован др Зоран Стевановић, редовни професор (бр. 1/480 од 4. 10. 2016. године).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 31. 10. 2016. године донело је Одлуку којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Љиљане Васић, под насловом: *„Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива“* на Рударско-геолошком факултету (бр. 61206-5156/2-16 од 31. 10. 2016. године).

Научно-наставно Веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 20. 10. 2016. године донело је Одлуку о продужењу рока за израду докторске дисертације Љиљане Васић, до завршетка школске 2016/2017 (бр. 1/551 од 26. 10. 2016. године).

Научно-наставно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 27. 04. 2017. године именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Љиљане Васић, под насловом: „Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива“ (бр 1/67 од 27. 04. 2017. године). Чланови Комисије су потписници овог извештаја.

Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација кандидаткиње Љиљане Васић, дипл. инж. геологије, под насловом „Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива“ припада области техничких наука, научној области „Геолошко инжењерство“, односно ужој научној области „Хидрогеологија“, за коју је Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет матичан. За ментора је одређен др Зоран Стевановић, редовни професор Универзитета у Београду – Рударско-геолошки факултет, ужа научна област Хидрогеологија.

Биографски подаци о кандидаткињи

Љиљана М. Васић рођена је 2. септембра 1981. године у Београду. Средњу машинско-техничку школу „Петар Драпшин“ завршила је у Београду 2000. године. Дипломирала је на Рударско-геолошком факултету у Београду (РГФ), на Департману за хидрогеологију (ДХГ), у јулу 2007. године, са просечном оценом 8.46. Октобра 2008. године уписала је докторске студије на РГФ, научна област Хидрогеологија, и као ужу специјалност одабрала изучавање хидрогеологије карста.

Након дипломирања, у новембру 2007. године засновала је радни однос на одређено време као стручни сарадник на ДХГ-у Рударско-геолошког факултета, где је и сада запослена. До октобра 2012. године, поред истраживачких активности, обављала је и радне задатке техничког секретара ДХГ, који укључују припрему и обраду техничке документације, израду базе података. Од 2011. године на РГФ учествује у настави и одржавању вежби на обавезним предметима мастер студија *Менаџмент подземних водних ресурса* и *Методологија научног рада*. У звање истраживач-сарадник изабрана је 2012. године.

Стручно и научно усавршавање остварила је учешћем на међународним курсевима: 1. *Geochemistry, Isotopic hydrogeology, Remote sensing*, Грац, Аустрија (2009); 2. *Climate Change and Impact on Water Supply* (теме: Водоснабдевање као део циклуса воде, Антропогени утицај на водоснабдевање, Анализа ризика и управљања водоснабдевањем), Солун, Грчка (2011); 3. *Problems and Solutions in Numeric Modeling of Karst Aquifers*, Требиње, Босна и Хереговина (2013); 4. *Karst Eco Systems and Geomicrobiology*, Гуилин, Кина (2014). Поред тога, боравила је и у Институту за нуклеарна истраживања „Атомки“ у Дебрецину, Мађарска, где се упознала са радом лабораторије и извршила изотопске анализе вода.

Учествовала је на домаћим и међународним научним скуповима из области геологије и хидрогеологије. Аутор је и коаутор укупно 35 радова, при чему је коаутор два рада у часописима са SCI листе (M22), као и аутор и коаутор четири поглавља објављена у истакнутим монографијама међународног значаја. Учествовала је у организацији међународне конференције "*Karst without boundaries*", која је одржана у Требињу и Дубровнику, јуна 2014. године, а од 2014. године учествује у организацији курса

„*Characterization and Engineering of Karst Aquifers*“ који се под покровитељством UNESCO традиционално одржава у Требињу, БиХ.

Сарађивала је на изради више научно-истраживачких пројеката, извештаја и елабората о хидрогеолошким истраживањима изведеним на територији Србије и у ширем региону. Учесник је научног пројекта „*Потенцијал и подлоге за одрживо коришћење подземних вода*“ који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја (ОИ 176022). Поред тога, учествовала је и на великом међународном пројекту *Climate change and impact on water supply* (CCWaterS) који је реализовало 18 институција из ЈИ Европе.

У свом стручном раду бави се испитивањем генезе и условима циркулације подземних вода у карсту, изотопском хидрогеологијом, мониторингом подземних вода, као и заштитом подземних вода у карсту, што је све укључено и у дисертацију која је предмет ове оцене.

Истраживачке активности остварује као члан Центра за хидрогеологију карста на Департману за хидрогеологију РГФ. Члан је Српског геолошког друштва (СГД) и Интернационалне асоцијације хидрогеолога (ИАН).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације

Докторску дисертацију кандидаткиње Љиљане Васић чине следеће тематске целине са већим бројем потпоглавља:

- Увод
- Циљеви докторске дисертације
- Досадашња сазнања из предметне проблематике
- Досадашња истраживања у области Кучајско-бељаничког масива
- Опште карактеристике истражног подручја
- Концепција истраживања и примењени методски поступци са методологијом истраживања
- Одабир локација за истраживање генезе и услова циркулације вода Кучајско-бељаничког масива
- Теренска истраживања и добијени резултати
- Анализа резултата и закључци
- Закључак
- Литература

Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* докторске дисертације, кандидаткиња даје осврт на важност подземних водних ресурса са посебним акцентом на воде формиране у оквиру карстне издани. Наглашава да највећу непознаницу за истраживаче представља функционисање карстне нехомогене и анизотропне средине и за чије је познавање потребно утврђивање зоне прихрањивања вода, веза између подземних и површинских вода, периода који воде проведу у подземљу и дубине залегања карстних канала са хладним и топлим водама. У *Уводу* кандидаткиња наводи и разлоге за опредељење за

истраживање Кучајско-бељаничког масива у источној Србији у коме се на релативно кратком растојању јављају хладне воде у виду јаких карстних врела, и појаве топлих карстних извора у њиховој непосредној близини. Већ у овом делу поставља хипотезу да воде различите температуре са исте локације, ипак потичу из „исте карстне издани“, односно из истог комплексног карстног система, али са разликом у погледу распореда и положаја карстних канала као привилегованих зона кретања воде.

У поглављу *Циљеви докторске дисертације* кандидаткиња дефинише циљеве истраживања и дели их на опште и уже. У *опште циљеве* сврстава дефинисање генезе подземних вода, издвајање комплексних карстних јединица другог реда у оквиру масива и дефинисање њиховог функционисања, одрживо управљање ресурсима и подизање свести о очувању подземних водних ресурса за развој туризма и пољопривреде на ширем подручју истраживања. У *уже циљеве* сврстава дефинисање везе површинских и подземних вода, утврђивање старости и процену дубине залегања воде, измену хемијског састава вода од улаза до излаза из система, утврђивање интензитета и дубине базе карстификације и одговоре на претпоставке о постојању грејних тела у дубини стенске масе. На крају поглавља кандидаткиња даје кратак осврт на укупно добијене резултате и разматра достигнути ниво одговора на постављене циљеве.

Наредна два поглавља разматрају досадашња сазнања из проблематике за коју се Л. Васић определила, као и резултате ранијих истраживања спроведених у области Кучајско-бељаничког масива. Поглавље *о досадашњим сазнањима из предметне проблематике* садржи информације о међународним научним искуствима на проучавању генезе и услова циркулације подземних вода у карсту. Разматрају се теоријска питања циркулације вода, као и процеси који утичу на формирање њиховог квалитета. Посебно наглашава значај изотопских метода и историју њихове примене у хидрогеологији. У поглављу *о досадашњим истраживањима* у оквиру Кучајско-бељаничког масива даје детаљни преглед прикупљених података о геолошким, геоморфолошким, хидрографским и хидролошким, као и хидрогеолошким истраживањима спроведеним од стране великог броја истраживача.

Поглавље *Опште карактеристике истражног подручја* састоји се од осам потпоглавља. У првих пет описују се географски положај истражног простора, особине климе, хидрографске и хидролошке, геоморфолошке карактеристике терена (посебно површински и подземни карстни облици). Део о геолошким карактеристикама садржи приказ литостратиграфских јединица и тектонике терена. У шестом потпоглављу, кандидаткиња описује хидрогеолошке карактеристике карстне издани укључујући хидрохемијске особине изданских вода и режим изданости. У овом делу врши поделу вода Кучајско-бељаничког масива према температури на хладне (до 12 °C) и топле воде (преко 12 °C). Основ ове поделе је средња годишња температура ваздуха области. У групи топлих вода издваја субтермалне (13-20 °C) и термалне воде (преко 20 °C). У оквиру овог поглавља приказане су геолошка и хидрогеолошка карта израђене у ГИС дигиталној технологији.

Поглавље *Концепција истраживања и примењени методски поступци са методологијом истраживања* садржи три потпоглавља: 1. Концепција истраживања; 2. Критеријуми за издвајање комплексних карстних система који су предмет анализе; и 3. Примењени методски поступци. *Концепција истраживања* садржи приказ примењених методолошких поступака ради прикупљања потребног обима података

којим је требало дефинисати параметре карстне издани. Приказан је и концептуални алгоритам по коме су вршена истраживања за потребе анализе генезе вода у оквиру комплексних карстних система.

У делу који описује *критеријуме на основу којих је извршена класификација карстних система* Љ. Васић посебно издваја два: 1. Геологију терена – тип, дубину циркулације вода; и 2. Температуру и хемијске карактеристике вода. Издвојена су четири типа комплексних карстних система:

- Карстни систем са гравитационим типом циркулације подземних вода,
- Карстни систем са асцендентним типом циркулације подземних вода,
- Комплексни карстни систем са преовлађујућим гравитационим типом циркулације у односу на присутан и асцендентни тип циркулације (гравитационо-асцендентни),
- Комплексни карстни систем са преовлађујућим асцендентним типом циркулације у односу на присутан и гравитациони тип циркулације (асцендентно-гравитациони).

Сви типови су поред описа пропраћени и шемама које илуструју механизме циркулације воде.

У оквиру *Примењених методских поступака* кандидаткиња даје опис теренских активности, као и спроведених лабораторијских и кабинетских радова у оквиру сваког примењеног методолошког поступка.

Одабир локација за истраживање генезе и услова циркулације вода Кучајско-бељаничког масива садржи опис појава и објеката који су били предмет проучавања. Укупно су анализирани 33 појаве и објекта површинских и подземних вода, на којима се током једногодишњег хидролошког циклуса, на кварталном нивоу, вршио квантитативни (мерење протицаја) и квалитативни мониторинг (физичко-хемијске, изотопске и карактеристике микрокомпоненти). У овом делу кандидаткиња наводи и остала истраживања која су спроведена на одабраним локацијама (узорковање стена за утврђивање садржаја стабилних изотопа, утврђивање садржаја одређених микроелемената и племенитих гасова у води, постављање карбонатних плочица на терену и њихове анализе, узорковање и анализе сталагмита).

У потпоглављу *Издавање карстних система у оквиру Кучајско-бељаничког масива*, описани су комплексни системи Бељанице са гравитационим типом циркулације (Суви До, извор епикарст, пећина Живкова река и систем Великог и Малог врела), као и Кучајског масива (систем Источни обод Злотска врела – врела Бељевине, Боговинска пећина, Радованско врело и Грза). Системи са асцендентним типом циркулације издвојени су само по ободу Бељанице, а разврстани су у Групу северних система С1 (Млава – Белосавац – Белосавац 2) и С2 (Субтермални извор у Сувом Долу – Крепољинска бањица). Посебно се издваја и разматра систем Милановачка бањица.

У оквиру комбинованих комплексних карстних система, Љ. Васић, на Бељаничком масиву на основу преовлађујућег типа истицања, издваја само један гравитационо–асцендентни систем, који назива системом Крупајских појава (Крупајско врело, бушотина са субтермалном водом и термални извор на Крупаји). У оквиру Кучајског масива издваја три комплексна система, при чему је један гравитационо–асцендентни (Сисевац – врело Црнице и бушотина у Сисевцу СИС-1), а два су асцендентно–гравитациона: а) Систем Криви Вир – који се састоји од преовлађујућег субтермалног

извора Кривовирска бањица и врела Црног Тимока и б) Систем Мрљиш - који се састоји од бушотине ИЕБОГ-2 и самог врела Мрљиш. Овај део илустрован је картом са положајем свих издвојених система.

Поглавље *Теренска истраживања и добијени резултати* састоји се од пет потпоглавља у којима су приказани резултати спроведених теренских, лабораторијских и кабинетских активности. У потпоглављу *Резултати садржаја стабилних изотопа ^{18}O и ^2H (формирање ЛИМЛ) и јонског састава у падавинама* кандидаткиња приказује резултате садржаја стабилних изотопа и јонског састава атмосферских падавина (киша и снег) прикупљених на три локације у оквиру масива (Стрмостен, Бусовата и Велика Брезовица). Приказани су дијаграми формираних локалних изотопских метеорских линија (ЛИМЛ) за све три локације, као и финална ЛИМЛ Кучајско-бељаничког масива, који су кандидаткињи омогућили тумачење садржаја стабилних изотопа ^{18}O и ^2H у површинским и подземним водама и утврђивање њихове везе са падавинама.

У оквиру *резултата истраживања одабраних карстних система* изложени су резултати квантитативног и квалитативног мониторинга подземних вода. Веза површинских и подземних вода разматра се преко резултата стабилних изотопа и њиховог положаја у односу на формирану ЛИМЛ Кучајско-бељаничког масива. Садржај радиоактивних изотопа ^{14}C , ^3H и $^3\text{H}+^3\text{He}$ коришћен је за прорачун старости подземних вода, док су анализе садржаја племенитих гасова омогућиле прорачун температурних услова који су владали у зони прихрањивања у периодима инфилтрације воде у подземље. Овај део илустрован је бројним табелама, дијаграмима и шематским профилима са дубином залегања карстних канала.

Потпоглавље *мултиваријантне статистичке анализе* садржи анализу основних физичко-хемијских параметара и јонског састава воде класификованих у три групе података које Љ. Васић назива: 1. источном страном, 2. групацијом гравитационих врела са брзом циркулацијом и 3. групацијом термалних вода. Анализа је базирана на локацијској припадности и хидрохемијској променљивости.

У делу рада који се бави *резултатима петролошких и хидрогеохемијских истраживања*, кандидаткиња износи и коментарише резултате садржаја стабилног изотопа ^{13}C у стенској маси. Ови подаци омогућили су и корекцију прорачуна старости вода методом ^{14}C . Дат је табеларни приказ почетних и крајњих тежина карбонатних плочица које су биле постављене на површини терена, укопане у земљишту, у хладној и топлој изворској води, понорским токовима, пећинском изданском току. Плочице су боравиле на терену 11, односно 18 месеци на различитим локацијама. На основу добијених резултата извела је закључке о растворљивости карбонатних стена у различитим срединама. У овом делу износи и резултате садржаја микроелемената у хладним и топлим водама (12 локација), при чему закључује да се садржаји микроелемената налазе испод максимално дозвољених граница за воде за пиће. Ипак, повишене концентрације у топлим водама у односу на хладне воде, указују на пролонгирани контакт воде са вулканитима (дацитима), који могу да представљају грејно тело подземним водама на западном ободу масива. Љ. Васић наводи да је садржај Mn, Cr, Cu и Ni испод граница детекције коришћених метода, док је садржај Sr, Cr, As, Fe, Li, P и Si, нешто већи, посебно у водама субтермалног и термалног карактера. Кандидаткиња наводи да старост сталагмита из Боговинске пећине износи 154.630 ± 1.903 године, на основу чега изводи закључке о активности канала и процесу палеокарстификације у оквиру овог дела масива.

У последњем делу овог поглавља кандидаткиња наводи *резултате видео-ендоскопских и реинтерпретације каротажних испитивања* на локацијама Крупаје, Сисевца, Кривог Вира и Суводолске бањице, на основу којих износи закључак да се на поменутим локацијама ради о веома дубокој циркулацији вода, односно да је карстификација карбонатног мезозојског комплекса развијена знатно испод ерозионог базиса, као и испод дна до сада досегнутих карстних канала. Наводи и да се може претпоставити да је карстификација на већини испитиваних локација, развијена дубље од 500 m у односу на ерозиони базис, односно зоне примарног дренарања издани. То иде у прилог тези о развићу карстно-пукотинског типа издани, у коме се под специфичним, локалним условима, формирају воде повишене температуре (16–36 °C).

Поглавље *Анализа резултата и закључци* састоји се од 9 потпоглавља, у којима кандидаткиња изводи неке од најзначајнијих закључака ове дисертације:

- Формирање подземних вода Кучајско-бељаничког масива и њиховог хемијског састава почиње још у контакту са површином терена. Највеће количине површинских вода у подземље доспевају дифузним процуривањем, преко мање или више карстификоване карстне површине.
- Уласком у подземни карстни систем, а услед ниске концентрације растворених минералних материја у води, вода ступа у интеракцију са стенском масом, раствара је, и уз обogaћивање хемијског састава и измену физичких својстава, врши утицај на проширење постојећих пукотина и канала.
- Услови за настанак субтермалних и термалних карстних вода створени су током веома дугог периода карстификације карстних система, у чијем су настанку највећу улогу имале хидрогеолошко–геолошке баријере. Зоналност циркулације подземних вода у вертикалном профилу условила је различиту старост и хидрогеохемијске карактеристике.
- Највећу старост воде не карактерише и највиша температура воде. Вода са највишом измереном температуром од 36 °C има старост од 2.687 година, док вода са старошћу од 5.979 година има температуру воде просечно 19 °C. Воде благо повишене температуре, настале у условима нормалног геотермалног градијената, имају ниже температуре, али дуже времена бораве у подземљу и имају већу старост. Вероватно постојање грејног тела (вулканити), има за резултат знатно више температуре на појединим појавама.
- Изотопске анализе утврдиле су да се на Кучајско-бељаничком масиву налазе подземне воде различите старости: „младе“ од свега неколико дана до неколико месеци, преко релативно старих вода (до 26 година), до веома старих вода од око 6.000 година.
- Најдубља циркулација одвија по северозападном, западном и југозападном делу масива, што се одражава и на температурни режим, као и на хидрогеохемијске карактеристике.
- Све анализиране хладне воде припадају Са–НСО₃ групи вода, са око 80 % садржаја Са²⁺ и НСО₃⁻ у јонском саставу, док субтермалне и термалне воде припадају Са–Мg–НСО₃ групи, изузев Милановачке бањице, која по својим хидрохемијским карактеристикама припада На–К–НСО₃–SO₄, што потврђује да су ове воде формиране у другачијој геолошкој структури и геохемијским условима.
- На подручју Кучајско-бељаничког масива растварање карбоната врши се углавном под дејством угљене киселине, што потврђује и да истражно подручје није контаминирано, тј. под утицајем антропогеног фактора.
- Дубина карстификације у оквиру Кучајско-бељаничког масива вероватно прелази и 1 km у односу на ободне делове терена. Извршена подела подземних вода у

зависности од степена карстификације и дубине циркулације је следећа: 1. приповршинска циркулација, у оквиру гравитационог типа истицања, 2. дубља циркулација, у оквиру слабије испуцале стенске масе, испод доминантних канала гравитационог истицања, 3. дубока сифонална циркулација (асцендентни тип истицања), 4. циркулација субтермалних вода у оквиру слабије испуцалих стенских маса испод главних канала сифоналне (асцендентне) циркулације, и 5. веома дубока циркулација термалних подземних вода.

У овом поглављу кандидаткиња даје осврт на потенцијал и могућност коришћења хладних, субтермалних и термалних вода Кучајско-бељаничког масива, као и на њихову заштиту. Даље у тексту разматра допринос појединих примењених методолошких поступака и указује на предности и недостатке одређених метода.

У закључном, деветом поглављу дисертације, Љиљана Васић сумира резултате својих проучавања генезе и услова циркулације подземних вода на 15 издвојених комплексних карстних система. Констатује да су комплексна истраживања на великом броју појава и објеката допринела квалитетнијем и свеобухватнијем сагледавању функционисања карстне издани, на основу којих је унапређен општи ниво знања о овој значајној области за будуће регионално снабдевање водом и коришћење геотермалног потенцијала, као и генези вода у карсту и могућностима формирања вода велике старости у дубоким структурама са успоренијом водозаменом.

У списку литературе наведено је 118 библиографских јединица, које обухватају најзначајније теоријске радове у предметној области, као и бројне студије, дисертације и радове који разматрају специфичну тематику везану за простор Кучаја и Бељанице.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост, оригиналност и значај

Подземне воде представљају изузетно значајан ресурс за коришћење у различите сврхе, при чему су воде из карста извор снабдевања око 20 % светске популације. Воде карстних издани по правилу имају добар квалитет и природне физичко-хемијске карактеристике, а унутар карбонатних стена могу се акумулирати велике количине вода. С друге стране, карактерише их неравномерно истицање и велика рањивост на загађивање, због слабих самопречишћавајућих својстава. Највећу непознаницу представља период који вода проведе у подземљу, а посебан истраживачки изазов представља утврђивање дубина залегања карстних канала хладних и топлих вода, ако се оне јављају на блиском растојању. Утврђивање старости ових вода требало би да буде први корак у том правцу. Нажалост, у Србији ова врста истраживања и примена изотопских анализа као главног средства да се дође до потребних информација, све до ове дисертације, нису биле активно примењиване у пракси хидрогеолошких истраживања, а нарочито не у теренима карста.

Докторска дисертација Љиљане Васић је оригинално, савремено и садржајно научно дело које је омогућило нова сазнања о механизму функционисања анализираних карстних система и које ће на бази остварених резултата омогућити и будућим истраживачима карста даљи развој методологије истраживања затворених и полузатворених геолошких струкура.

У реализацији истраживања Љиљана Васић била је суочена са низом тешкоћа које је успешно превладавала. У нашој земљи и у ширем окружењу свега неколико лабораторија је регистровано за анализе радиоактивних изотопа, и при том је њихова цена веома висока. То је и главни разлог нашег заостајања у тој специфичној грани научне области по којој су Југославија и Србија увек били препознатљиви у свету, све од времена оснивача карстологије Јована Цвијића до данас.

Поред тога по први пут у нас су за израду једне дисертације коришћене и поједине методе које се ретко примењују у хидрогеолошкој пракси или се тек развијају. То се односи на анализе растварања специјалних карбонатних плочица које се уграђују или постављају на различитим локацијама на терену, као и видео-ендоскопска истраживања унутрашњости стенске масе помоћу специјалних камера.

Искуство које је Љ. Васић стекла током усавршавања на међународним курсевима и остварени контакти и помоћ у раду пружена од стране стручњака и лабораторија у Мађарској, Аустрији и Кини, значајно су допринели квалитету овог, и њеног укупног истраживачког рада.

Истраживачки рад који Љ. Васић остварује у оквиру Центра за хидрогеологију карста на РГФ, развој и коришћење специјалне инструментације за анализе и теренски мониторинг ће и убудуће бити коришћени у научним пројектима и едукацији наших студената и стручњака.

Осврт на референтну и коришћену литературу

Љ. Васић у дисертацији и у списку литературе наводи 118 библиографских јединица. Оне се могу разврстати на следећи начин:

- радови написани од стране иностраних стручњака, углавном теоријског карактера: 58 или 49 %.
- радови наших научника који се односе на општу тематику и методологију истраживања: 15 или 13 %.
- радови који разматрају геолошку, геоморфолошку, хидролошку и другу тематику области Кучајско-бељаничког масива: 15 или 13 %.
- радови из области хидрогеологије који се односе терене Кучајско-бељаничког масива: 30 или 25 %.

У првој групи налазе се неки од најпознатијих и највише цитираних радова везаних за теорију циркулације кретања подземних вода (Toth, 1963), хидрогеологију карста (Ford & Williams, 2007) или коришћења изотопа у пракси хидрогеолошких истраживања (IAEA, 1983; Yurtsever & Araguas, 1993; Clark & Fritz, 1999; Mook, 2000).

Такође, коришћени су и сви релевантни радови који се односе на геолошке подлоге или хидрогеолошке одлике истражног подручја. Међу њима су и четири докторске дисертације одбрањене на Београдском универзитету које су разматрале поједине аспекте хидрогеолошке проблематике, али изван тематике овог рада.

У списку се налази и део радова које је кандидаткиња израдила самостално или у коауторству, а који се директно односе на тему дисертације. Тиме је већ делом започела и шира промоција и верификација добијених резултата.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У циљу дефинисања генезе и услова циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива примењен је комплексни и мултидисциплинарни приступ са коришћењем више истраживачких метода. Њихов одабир за решавање постављених задатака показао се као задовољавајући. Међутим, одређени поступци нису у потпуности одговорили очекивањима и добијени резултати не омогућују достизање свих циљева постављених на почетку истраживања. То свакако није недостатак дисертације, јер у науци није могуће увек предвидети резултате анализа и њихову употребљивост за тумачење одговарајућих процеса, поготову када се примењују иновативне методе што је овде и био случај.

Изотопски метод истраживања дао је најзначајније резултате за дефинисање генезе, времена боравка воде у подземљу и дубине циркулације подземних вода. Садржај стабилних изотопа ^{18}O и ^2H утврђен је у падавинама, површинским и подземним водама са циљем да се дефинише њихова међусобна веза и на тај начин утврди обновљивост хладних и топлих вода у времену и простору. Резултати су показали да су хладне воде у јакој вези са падавинама и површинским водама, што говори о њиховој обновљивости у времену, док субтермалне и термалне воде, као и хладне воде са дубоком сифоналном циркулацијом у периоду минимума, показују изотопски садржај практично независан од атмосферских падавина. Утврђивање садржаја радиоактивних изотопа ^3H , $^3\text{H}+^3\text{He}$ и ^{14}C у хладним и топлим водама, као и стабилног изотопа ^{13}C у води и стени, помогло је дефинисању старости вода и процени дубине залегања карстних канала и циркулације вода разматраних врела.

Хидрогеохемијске методе истраживања коришћене су са циљем да се утврди генеза подземних вода и могуће постојање грејног тела које утиче на температуру воде. Резултати анализа, посебно садржај племенитих гасова и микроелемената у води, допринели су бољем познавању генезе вода. Међутим, њихова примена са циљем да се утврди постојање и утицај грејног тела на подземне воде није дала довољно поуздане резултате. На основу састава воде, закључено је да вулканити (дацити) имају утицаја на подземне воде, али се не може поуздано тврдити да су једини разлог повишене температуре.

Осматрање растворљивости карбонатних плочица дало је корисне податке везане за степен еродовања карбоната у одређеним условима (хладна, топла вода, површина терена, пећина и земљиште), међутим, временски оквир који је послужио за потребе спровођења овог поступка (11–18 месеци), није био довољан за прецизно и коначно изношење закључака. Овакав истраживачки подухват захтева знатно дужи временски период истраживања (> 3-5 година).

Видео-ендоскопија и реинтерпретација података каротажних мерења на одређеним локацијама вршена је са циљем да се утврди интензитет, дубина и база карстификације. Међутим, због недовољног броја бушотина на којима би се могла спровести видео-ендоскопија, овај методолошки поступак дао је ограничене резултате. С друге стране, примењени „класични“ поступци анализа и обраде метеоролошких и хидролошких података, као и теренски рад и *in situ* одређивање параметара, потврдили су се као незамењиве методе анализе режима издани, поступци веома су значајни за утврђивање режима и биланса подземних вода. Мултиваријантном статистичком анализом извршено је груписање података на основу сличности / различитости њихових особина,

што је допринело обради великих база података и доношењу закључака. Метода је показала и одређене недостатке, као што је неопходност елиминисања одређених појава из матрице и одстрањивање нелогично издвојених веза.

Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Резултати које је Љ. Васић остварила могу се посматрати вишеструко. Дат је значајан научни допринос развоју дисциплине хидрогеологије на нашим просторима уз примену иновативних метода, и добијени су резултати који могу да нађу ширу примену у пракси. Дата оцена механизма циркулације и дубине залегања карстних канала са топлим водама представља надоградњу претходних истраживања на овом простору, и на основу ових резултата може се вршити поузданије пројектовање истражних бушотина за захватање топлих вода, у смислу дефинисања локација и дубина бушења.

Испуњавање комплексног програма будућих истраживања, који је Љ. Васић предложила у свом раду, и остварени резултати имаће и непосредни верификациони ефекат и на резултате ове дисертације.

Оцена способности кандидаткиње за самостални научни рад

Љ. Васић је успешно и квалитетно одговорила на циљеве које поставила још у предлогу за израду ове дисертације, што указује на њену способност да објективно и у целини сагледа истраживачки процес и услове потребне за његову реализацију.

У истраживачком раду извршен је одабир најпогоднијих „класичних“ кабинетских, лабораторијских и теренских метода и њима су придодате нове које су на квалитетан начин допринеле оцени водног потенцијала хладних и термалних вода истраживане области.

Анализирајући критички и објективно добијене резултате појединим методама, Љ. Васић је показала и истраживачку и научну зрелост и допринела да се и у будућим радовима предност даје појединим методама, и да се стварају претпоставке и услови за њихову реализацију. Поглавље у коме се даје *предлог даљих истраживања* прави је корак у том правцу.

Љ. Васић је већ афирмисани истраживач са значајним бројем самосталних и коауторских радова, са одређеним међународним искуством и њен даљи научни рад за који је у пуној мери оспособљена, доприносиће даљем успешном раду и афирмацији наше хидрогеолошке школе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса

- Извршена је систематизација претходних података о геологији и хидрогеологији области истраживања која има велики значај за будуће водоснабдевање и коришћење геотермалног потенцијала у Србији.

- Приказане су теоријске основе циркулације вода у карстној водоносној средини и аспекти који утичу на формирање комплексних система у којима егзистују воде различитог хемизма, термализма и старости.
- Дат је преглед метода чије је коришћење могуће за решавање постављених циљева, приказани су разлози за одабир најпогоднијих, описани остварени донети и ограничења, чиме је у целини дат значајан допринос развоју методологије хидрогеолошких истраживања и афирмисан мултипараметарски приступ.
- Изотопске методе у истраживању карстних система, по први пут примењене у нашој земљи, омогућиле су анализу старости вода са бројних појава и објеката.
- Комплексна истраживања примењена на великом броју хидрогеолошких појава и објеката допринела су садржајнијем и квалитетнијем формирању концептуалних модела и сагледавању начина функционисања разматраних карстних система.
- Извршена је класификација карстних система према условима циркулације воде и рејонизација истраживане области као целине.
- Дат је значајан допринос познавању генезе подземних вода карстне издани и услова њихове циркулације, као и услова интерне прерасподеле водних ресурса, што представља важну научну надградњу досадашњих сазнања о овом највећем масиву у Карапато-балканској геоструктурној јединици.
- Дисертација поред научног, има и практични значај, који се посебно огледа у оцени дубине залегања карстних канала са топлим водама.

Критичка анализа резултата истраживања

Како је један од општих и основних циљева дисертације био да се дефинише генеза подземних вода и вертикална зоналност хладних и термалних вода, закључујемо да је свеобухватна анализа добијених резултата дала нове и квалитетне информације о условима формирања вода, као и да је указала на јасно изражену зоналност простирања зона хладних и топлих подземних вода.

Усвајањем критеријума за издвајање комплексних карстних система у оквиру масива, извршена је рејонизација, односно успешно су издвојени (под)системи и делимично је утврђен механизам њиховог функционисања. Изотопске анализе дале су добре резултате по питању дефинисања старости подземних вода, на основу чега је процењена вертикална зоналност циркулације. Међутим, како на истражном простору нема довољно дубоких бушотина (преко 400 метара), не може се са сигурношћу тврдити које су дубине до којих подземне воде залежу, као ни које су максималне температуре вода на великим дубинама, па се може закључити да су истраживања дала само делимичну процену залегања карстних канала, док су за утврђивање реалних дубина циркулација подземних вода, потребна додатне обимна геофизичка истраживања, као и израда дубоких бушотина (дубине 500-1000 m).

Утврђивање постојања и дефинисања грејног тела, вршено је кроз хидрохемијска и изотопска истраживања. Резултати су показали да температура подземне воде делимично зависи од дубине циркулације и времена боравка у подземљу, али је такође, на основу садржаја микроелемената у води, потврдила да на температурни режим утицај могу имати и стене младог вулканизма (дацити). О постојању грејног тела сведочи и упоредна анализа старости и температуре воде, која указује да вода највећег температурног градијента није најстарија вода, односно да је вода при краћем боравку у подземљу, стекла већу температуру, највероватније услед контакта са вулканским стенама. Ипак, тачно дефинисање порекла топлоте, постојања грејног тела и дубине на

којој оно загрева воде, није утврђено спроведеним анализама. За прецизније оцене неопходно је анализирати воде и минералошки / петролошки састав стенске масе из већег броја истражних бушотина дубине преко 500 m.

Још један од важних циљева дисертације био је да се утврди интензитет, дубина и база карстификације. Иако су у овој анализи коришћени сви до сада доступни подаци (резултати претходних истраживања, реинтерпретација каротажних мерења, видео-ендоскопски снимак бушотине, као и резултати изотопских анализа), била је могућа процена положаја базе само на одређеним локацијама, где се располагало подацима о изведеном истражном бушењу.

Иако на неке од постављених циљева дисертација није дала потпуно прецизне и коначне одговоре (интензитет и дубина базе карстификације, врста и дубина грејног тела), ипак се може закључити да је дала велики допринос познавању генезе подземних вода у комплексним карстним системима у оквиру Кучајско-бељаничког масива, и процени дубине залегања зона са хладним и топлим водама у оквиру масива, као и дефинисању вертикалне зоналности распрострањења карстних канала.

Очекивана примена резултата у пракси

Дисертација Љ. Васић је поред научних циљева имала и практични циљ, који се огледа у оцени расположивих ресурса подземних вода и дубине залегања карстних канала са хладним и топлим водама.

Ресурси хладнијих изданских вода који су већ били предмет ранијих анализа за потребе коришћења за водоснабдевање, додатно су оцењени и потврђени, а добијени су и значајни нови подаци о њиховом хемизму и старости. Предложено захватање додатних количина топлих вода допринело би туристичком развоју ове средине и развоју пољопривреде, а такође би се могле користити и за топлификацију објеката.

Научни допринос верификован саопштавањем радова на конференцијама и објављивањем у часописима

Списак до сада објављених радова кандидата:

Радови у SCI часописима (M 22):

1. Milanović S, Vasić Lj, Stevanović Z. and Ristić Vakanjac V., 2013: *3D Modeling and monitoring of karst system as a base for its evaluation and utilization – A case study from eastern Serbia*, Environmental Earth Science, Springer, 71/2: 525-532, DOI 10.1007/512665-013-2591-9. (M22) IF 1.471 (2012)
2. Stevanović Z, Ristić-Vakanjac V, Milanović S, Vasić Lj, Petrović B i Ćokorilo-Ilić M., 2015: *Karstification depth and storativity as main factors of karst aquifer regimes: some examples from southern Alpine branches (SE Europe and Middle East)*, Environmental Earth Science, Springer, 74/1: 227-240. DOI 10.1007/s12665-015-4046-y (M22)IF 1.765 (2014)

Радови у међународним монографијама (M 12, 13, 14):

1. Milanović S, Stevanović Z, Vasić Lj, Saljnikov E. i Povrenović D., 2012: *Land use and groundwater quality in the test areas*, Beograd, In: Stevanović Z., Ristić Vakanjac V., Milanović S (Eds) *Climate Changes and impacts on water supply*, University of Belgrade-Faculty of Mining & Geology, Belgrade, pp. 259-285.

2. **Vasić Lj**, Stevanović Z, Milanović S. and Petrović B., 2014: *Attenuation of bacteriological contaminants in karstic siphons and relative barrier purifiers – case examples from Carpathian karst in Serbia*, In: Andreo B. (Ed) *Hydrogeological and environmental investigations in karst systems*, Series: Environmental Earth Sciences, Vol. 1, pp. 449-456.
3. Milanović S., **Vasić Lj.**, 2015: *Monitoring of Karst Groundwater*, In: Stevanović Z. (Ed) *Karst Aquifers – Characterization and Engineering*, Series: Professional Practice in Earth Science. Springer Intern. publ. Switzerland, ISBN 978-3-319-12849-8, pp. 335-358.
4. Milanović S., **Vasić Lj.**, 2016: *3D conduit modelling of leakage below a dam situated in highly karstified rocks*, In: Stevanović Z., Krešić N., Kukurić N. (Eds) *Karst without boundaries*, CRC Press/Balkema, ISBN 9781138029682, Taylor & Francis, pp. 321-336.

Radovi objavljeni u nacionalnim časopisima (M 51, 52) i radovi štampani u celini u zbornicima radova (M 33, M 63) – samo direktno vezani za temu disertacije:

1. Milanović S, Stevanović Z. and **Vasić Lj.**, 2010: *Monitoring podzemnih voda Beljaničkog masiva u funkciji formiranja modela karstnog sistema*, Vodoprivreda, br ISSN 0350-0519, pp. 209-222.
2. Stevanović Z, Ristić Vakanjac V, Milanović S, **Vasić Lj.** i Petrović B., 2011: *Značaj monitoringa podzemnih voda u karstu Srbije*, Zbornik 7 Simpozijuma o zaštiti karsta, Bela Palanka, pp. 35-42.
3. Milanović S, **Vasić Lj**, Stevanović Z. and Ristić Vakanjac V., 2011: *Monitoring and physical modeling of karst system as a base for its evaluation and utilization – A case study from Eastern Serbia*, Proceedings of the IX Conference on Karst Hydrogeology, 978-2-7466-3694-1, Besanson, Francuska, pp. 351-354.
4. Milanović S. i **Vasić Lj.**, 2011: *Hidrogeološka osnova zaštite podzemnih voda u karstu na primeru Beljanice*, Vodoprivreda 0350-0519, 43 (2011), pp. 252-254
5. Milanović S, **Vasić Lj**, Milovanović D. i Stratimirović S., 2012: *Prilog poznavanju termomineralnih voda Srbije*, XIV Srpski Simpozijum o hidrogeologiji, Zbornik radova sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, p. 233-237.
6. Milanović S, **Vasić Lj.** i Kličković M., 2012: *3D model karstnih kanala u zoni isticanja Malog vrela*, XIV Srpski Simpozijum o hidrogeologiji, Zbornik radova sa međunarodnim učešćem, ISBN 978-86-7352-236-4, Zlatibor 2012, p. 477-482.
7. Milanović S, **Vasić Lj.** i Kličković M., 2012: *Formiranje 3D modela karstnih kanala u zoni isticanja vrela kao podloga za zahvatanje podzemnih voda u karstu – na primeru Malog vrela* Vodoprivreda 0350-0519, 44 (2012), 258-260, Beograd, pp. 169-173.
8. Milanović S, **Vasić Lj.** i Milanović P., 2012: *Hydrogeological approach for groundwater flow and protection in karst using a 3D model – Case study of the Beljanica Massif*, Book of abstracts of 34 IAH Congress, Niagara Falls, p. 227.
9. **Vasić Lj**, Milanović S, Petrović B., Stevanović Z., 2013: *Uticao cirkulacije podzemnih voda u karstu na pojavu bakteriološkog zagađenja*, Vodoprivreda, 0350-0519, 45 (2013), Beograd, pp. 219-229.
10. Stevanović Z, Milanović S, Dokmanović P, Ristić Vakanjac V, Petrović B, **Vasić Lj**, 2013: *Engineering regulation of karst aquifer as a response to minimal flows in sensitive areas*, Proceedings of Intern. conf. "Waters in sensitive and protected areas", 978-953-96071-3-3, Zagreb, pp. 109-112.
11. **Vasić Lj**, Stevanović Z, Milanović S, 2013: *Genesis and circulation of fresh and thermal groundwater flows in same karstic aquifer – Case examples from the Carpathian karst of eastern Serbia*, Book of abstracts of the International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions KARSTFLOW 2013, IAH, Budapest. p.132.

12. Stevanović Z, Ristić Vakanjac V, Milanović S, **Vasić Lj**, Petrović B. and Čokorilo M, 2013: *Tectonic fabric as the main factor for privileged groundwater pathways, discharge regime and thermal properties within the same karstic system of Vidlic Mt. (Serbia)*, Book of abstracts of the International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions KARSTFLOW 2013, IAH, Budapest, p.138.
13. Stevanović Z, Dokmanović P, Milanović S, Ristić Vakanjac V, Polomčić D. and **Vasić Lj**, 2013: *Adaptation and mitigation measures for sustainable use of karst groundwater as a response on climate change – Eastern Serbia case example*, Proceedings of the international conference “Climate change impact on water resources”, Inst. for Devel. of Wat. Res., „J. Černi“ Belgrade, pp. 242-250.
14. Milanović S, Ristić-Vakanjac V, **Vasić Lj**, Kličković M i Čokorilo-Ilić M, 2015: Exploitation of the Mlava river source by Cvijic and since, International scientific conference "150th Anniversary of Jovan Cvijic's Birth", Belgrade, ISBN 978-86-7025-667-5, pp. 52.

Очекује се да вредне резултате својих истраживања настави да публикује у међународним часописима и да их презентира на научним скуповима чиме ће даље доприносити афирмацији научне школе у којој и сада делује.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидаткиње Љиљане Васић, дипл. инж. геол., истраживача сарадника на Департману за хидрогеологију под називом „Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-бељаничког масива“ представља обиман, садржајан и оригинални научни рад из уже научне области хидрогеологије који разматра сложене проблеме генезе и функционисања вода у карстним системима.

Љиљана Васић је већ афирмисани истраживач са укупно публикованих 35 радова од чега два у водећим међународним часописима, и четири поглавља у међународним монографијама. Њена успешно урађена дисертација базирана је на мултидисциплинарном приступу и примени комплексних метода од којих су неке попут изотопских, по први пут примењене у пракси хидрогеолошких истраживања у нас. Ово је реализовано захваљујући и подршци коју су њој као кандидату, и Центру за хидрогеологију карста РГФ на коме делује, пружили стручњаци и лабораторије из Мађарске, Аустрије и Кине у којима је боравила и обавила краћу специјализацију.

Овом дисертацијом Љиљана Васић пружа значајан допринос познавању генезе и механизма функционисања комплексних карстних система у којима на блиском растојању егзистују хладне и термалне воде. Добијени резултати и стечена сазнања представљају значајан допринос познавању нашег карста и посебно области Кучаја и Бељанице, као великог резервоара квалитетних вода за будуће снабдевање пијаћом водом у Србији и уједно лежишта геотермалних водних ресурса чије би коришћење допринело развоју ове средине и пољопривреде, и топлификацији објеката. Њено дисертацијом и публикованим радовима са овом тематиком радом дат је допринос и хидрогеологији карста на међународном плану, као и афирмацији наше школе која је у свету веома цењена, од времена оснивача карстологије Јована Цвијића до данас.

Анализирајући докторску дисертацију кандидаткиње Љиљане Васић Комисија је са задовољством закључила да представља значајан и оригинални научни допринос области геологије и хидрогеологије, да је у свему израђена у складу са стандардима научно-истраживачког рада и прописима, те стога предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета да овај извештај прихвати, дисертацију стави на увид

јавности и овај извештај упути Већу техничких наука Универзитета у Београду ради коначног усвајања након чега би се приступило усменој одбрани пред комисијом у истом саставу.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Зоран Стевановић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

академик Др Видојко Јовић
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Веселин Драгишић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Оливера Крунић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Palcsu Laszlo, виши научни сарадник
Институт за нуклеарна истраживања
„Атомки“, у Дебрецину, Мађарска