

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- Веће научних области техничких наука -

БЕОГРАД
Студентски трг бр. 1

Достављамо вам:

Одлуку Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду о усвајању извештаја Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације Маје Тодоровић, дипл. инж. геологије.

- Образац захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације, ради поступка у смислу важећих законских прописа.
- Подаци о ментору
- Извештај Комисије о научној заснованости предложене теме за израду докторске дисертације.

Шеф Одељења за студентска
и наставна питања

Љиљана Колоња, дипл. инж. рударства

Факултет : Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научних области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст.5 тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, бр.131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„ХИДРОГЕОХЕМИЈА ЕЛЕМЕНАТА РЕТКИХ ЗЕМАЉА У ПОДЗЕМНИМ ВОДАМА СРБИЈЕ“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Геолошко инжењерство

Студијски програм: Хидрогеологија

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Маја (Бранка) Тодоровић, мастер инж. геологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: Универзитет у Београду-Рударско-геолошки факултет

3. Година дипломирања: 2011.

4. Назив магистарске тезе кандидата:

Уписана на докторске студије школске 2011/12.год.

5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена:

6. Година одбране магистарске тезе:

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду
(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 17.04.2014.. године размотрило предложену тему и закључило да је тема
подобна за израду докторске дисертације

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Иван Обрадовић

Прилог: 1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем

Прилог: 2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 17.04.2014. године, сходно члану 175. став 4. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисија за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације **Маје Тодоровић**, мастер инж. геологије.
2. Одобрава се именованој израда докторске дисертације под насловом *„Хидрогеохемија елемената ретких земаља у подземним водама Србије“*.
3. За ментора се именује Петар Папић, ред. проф.
4. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

проф. др Иван Обрадовић

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Ментору
- Именованој
- Одељењу за студентска питања

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: **Маја Тодоровић**

Име и презиме ментора: **Др Петар Папић**

Звање: **редовни професор**

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index, **(SCI)** листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Nikić Z., Kovačević J., **Papić P.**, 2008: *Uranium in the groundwater of Permo-Triassic Aquifers of the Visok region, Stara Planina, Eastern Serbia*. Journal : **Water air and soil pollution**. No 192, p.47-58. Publisher SPRINGER, ISSN 0049-6979, DOI 10.1007/sl 1270-008-9633-z, IF 1.398 (**M21**)
2. Kovačević J., Nikić Z., **Papić P.**, 2009: *Genetic model of uranium mineralization in the Permo-Triassic sedimentary rocks of the Stara Planina, Eastern Serbia*. Journal: **Sedimentary Geology**. No 219, Publisher ELSEVIER. pp. 2522-261, DOI: 10.1016/j.sedgeo.2009.05.015, IF 1.957, ISSN 0037-0738 (**M21**)
- 3 Zoran Nikić, Danica Srećković-Batočanin, Milenko Burazer, Ratko Ristić, **Petar Papić** and Vesna Nikolić, 2013, *A conceptual model of mildly alkaline water discharging from the Zlatibor ultramafic massif, western Serbia*, **Hydrogeology Journal**, Vol.21, No 5, 1147-1163, Springer, ISSN 1431-2174, IF 1.798 (**M22**)
4. N. Atanacković, V. Dragišić, J. Stojković, **P. Papić** and V. Živanović, 2013, *Hydrochemical characteristics of mine waters from abandoned mining sites in Serbia and their impact on surface water quality*, **Environmental Science and Pollution Research**, Vol.20, pp. 7615-7626 DOI: 10.1007/s11356-013-1959-4, IF = 2,849, ISSN 0944-1344 (**M21**)
5. Jana S. Stojković, Goran H. Marinković, **Petar J. Papić**, Mihailo G. Milivojević, Maja M. Todorović, Marina D. Ćuk, 2013, *The analysis of the geothermal energy capacity for power generation in Serbia*, **Thermal Science**, vol.17, pp. 969-976, DOI: 10.2298/TSCI120215033S IF 0.838, ISSN 0354-9836 (**M23**)
6. **P. Papić**, M. Pušić and M. Todorović, 2012, *Water quality as an indicator of hydrogeological conditions: a case study of the Belgrade Groundwater Source (Sava/Danube confluence area)*, **Water Science & Technology**, Vol. 65 No. 12, pp. 2265–2271, DOI: 10.2166/WST 2012.219, ISSN 0273-1223, IF 1.102 (**M23**)
7. **Papić P.**, Ćuk M., Todorović M., Stojković J., Hajdin B., Atanacković N., Polomčić D., 2012, *Arsenic in Tape Water of Serbia's South Pannonian Basin and Arsenic Risk Assessment*, **Polish Journal of Environmental Studies**, Vol. 21, No 6, pp.1783-1790, IF = 0.462, ISSN 1230-1485 (**M23**)

8. G. Marinković, **P. Papić**, V. Dragišić, J. Stojković, V. Živanović, J. Andrijašević, 2013, *Lithostratigraphic CO₂ substrata and the depth of carbonated mineral water systems in the lithosphere of Serbia*, **TTEM – Technics, Technologies, Education, Management**, Vol. 8, No. 2, pp.550-557, IF 0,414 ISSN 1840-1503 (**M23**)
9. Ristić Vakanjac V., **Papić P.**, Golubović R., Damnjanović V., 2013, *Statistical evaluation of nitrates in precipitation and karst springflow: The Petnica spring in Western Serbia*, **TTEM – Technics, Technologies, Education, Management**, Vol. 8, No.2, pp. 896-903, IF = 0,414 ISSN 1840-1503 (**M23**)
10. Branko Miladinović, **Petar Papić**, 2012, *Effect of mining industry in Donja Rudnica near Raška on groundwater pollution in the Ibar alluvium (Serbia)*, **TTEM- Technics, Technologies, Education, Management**, Vol.7, No 4, pp 1588-1592, IF 0.414, ISSN 1840-1503 (**M23**)

Датум:

ДЕКАН

03.02.2014.

РУДАРСКО-ГЕОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.Др Иван Обрадовић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет:Подобност теме и кандидата Маје Тодоровић за израду докторске дисертације

Одлуком 1/75 бр. од 25.02.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Маје Тодоровић** мастер инжењера геологије за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **Хидрогеохемија елемената ретких земаља у подземним водама Србије**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1.Биографски подаци

Маја Тодоровић рођена је 09.12.1987. године у Метковићу. Похађала је ЈУСМШ "Данило Киш" (гимназија општи смер) у Будви (2002-2005), и XV Београдску гимназију у Београду, природно-математички смер, коју је завршила 2006. године. Исте године уписала је Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду, смер за хидрогеологију. Основне академске студије завршила је у року, са просечном оценом 9.27 и у септембру 2010. године одбранила је завршни рад под називом „Нитрати у подземним водама“, са оценом 10. Школске 2010/2011. године уписала је мастер академске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, на смеру за хидрогеологију. Мастер академске студије је завршила у року, са просечном оценом 9.91 и у септембру 2011. године је одбранила завршни мастер рад под називом „Нитрати у подземним водама Србије“, са оценом 10.

Школске 2011/2012. уписала је докторске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, на Департману за хидрогеологију.

Од октобра 2012. године је запослена као истраживач-сарадник на Департману за хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, на пројекту Министарства за науку и технолошки развој – Пројекат ИИИ 43004 (Интегрална Интердисциплинарна Истраживања) – Симултана биоремедијација и соилификација деградираних простора, за очување природних ресурса биолошки активних супстанци и развој и производњу биоматеријала и дијететских производа (Пројекат ИИИ 43004/2: Заштита гео и био средина као природних ресурса и извора биолошки активних супстанци), 2011-2014.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Према програму докторских студија Департмана за хидрогеологију, Геолошког одсека Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, докторанд Маја Тодоровић положила је следеће испите из прве, друге и треће године предвиђене акредитованим програмом докторских академских студија:

Специјална поглавља из хидрогеолошких истраживања и менаџмента подземних вода и дубоких структура	10 ЕСПБ
Геохемија предела	10 ЕСПБ
Семинар 1	6 ЕСПБ
Практични истраживачки рад Р1	10 ЕСПБ
Самостални публиковани рад Р1	4 ЕСПБ
Специјална поглавља из захвата и одрживог коришћења минералних вода и геотермалне енергије	20 ЕСПБ
Специјална поглавља из хидрогеологије животне средине	10 ЕСПБ
Семинар 2	3 ЕСПБ
Практични истраживачки рад Р2	3 ЕСПБ
Истраживачка студија	4 ЕСПБ
Рад са SCI листе	20 ЕСПБ
Пројекат докторске дисертације	10 ЕСПБ
Претходна студија оправданости	10 ЕСПБ
Научно-истраживачки рад	5 ЕСПБ
Израда докторске дисертације (А)	25 ЕСПБ

Кандидат је остварио укупно 150 ЕСПБ бодова са просечном оценом 10.

У септембру 2013. године одбранила је Пројекат докторске дисертације, пред комисијом у саставу: Проф. др Петар Папић (ментор), Проф. др Веселин Драгишић и Проф. др Владица Цветковић.

• Учесће у изради пројекта

1. Министарство за науку и технолошки развој, 2011 – 2014. Симултана биоремедијација и соилификација деградираних простора, за очување природних ресурса биолошки активних супстанци и развој и производњу биоматеријала и дијететских производа (Пројекат ИИИ 43004/2: Заштита гео и био средина као природних ресурса и извора биолошки активних супстанци), руководиоца пројекта проф. др Петар Папић.
2. Министарство животне средине и просторног планирања, 2010, 2011, Студија радиоактивности подземних вода Србије, Аутор: Проф. Др Петар Папић; сарадник: М. Тодоровић
3. Министарство животне средине и просторног планирања, 2010, 2011, Хидрогеохемијски атлас подземних вода Србије, Аутор: Проф. Др Петар Папић; сарадник: М. Тодоровић

• Конференције и симпозијуми

- CC-WaterS - Climate change and impacts on water supply, 3rd student training course, Water supply in a changing environment, September 26 – 30, 2011, Reichenau/Rax, Austria

- IWA Specialist groundwater conference, September 08-10, 2011, Belgrade, Serbia
- III симпозијум Рударство 2012, Мај 07-10, 2012, Златибор
- XIV Српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем, Мај 17-21, 2012, Златибор
- Srbija 3rd International geosciences student conference, May 29-31, 2012, Belgrade, Serbia
- AsRem Seminar, Arsenic-free Drinking Water; 23. april 2013, Subotica, Srbija
- LANDCON-Land conservation, September 17-21, 2012, Donji Milanovac, Serbia

Кандидат учествује у одржавању наставе из предмета Хидрогеохемија, на Департману за хидрогеологију, као и у раду са студентима приликом израде завршних и мастер радова.

• Објављени радови

Радови објављени у научним часописима међународног значаја - Рад у међународном часопису M23 (3) – SCI

1. Papić P., Pušić M., **Todorović M.**: *Water quality as an indicator of hydrogeological conditions: a case study of the Belgrade Groundwater Source (Sava/Danube confluence area)*, - Water Science and Technology, Vol 65, No 12, 2012, pp. 2265 – 2271. (IF 1.1, ISSN 0273-1223 printed edition)
2. Papić P., Ćuk M., **Todorović M.**, Stojković J., Hajdin B., Atanacković N., Polomčić D.: *Arsenic in Tap Water of Serbia's South Pannonian Basin and Arsenic Risk Assessment*, - Polish Journal of Environmental Studies, Vol 21, No 6, 2012, pp. 1783-1790. (IF 0.462, ISSN 1230-1485 printed edition)
3. Stojković J., Marinković G., Papić P., Milivojević M., **Todorović M.**, Ćuk M.: *The analysis of the geothermal energy capacity for power generation in Serbia*, - Thermal Science, Vol 21, No 6, 2013, pp. 1783-1790. (IF 0.838, ISSN 0354-9836 printed edition)

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком M24 (4)

1. **Todorović M.**, Papić P., Ćuk M., Stojković J.: *Rare earth elements in some bottled waters of Serbia*, - Geološki anali Balkanskog poluostrva, Vol 74, 2013, pp. 71-81.
2. Stojković J., Papić P., Ćuk M., **Todorović M.**: *Application of factor analysis in identification of dominant hydrogeochemical processes of some nitrogenous groundwater of Serbia*, - Geološki anali Balkanskog poluostrva, Vol 74, 2013, pp. 57-62.
3. Milosavljević J., Andrijašević J., **Todorović M.**: *Distribution of magnesium in groundwater of Serbia*, - Geološki anali Balkanskog poluostrva, Vol 74, 2013, pp. 83-90.

Часописи националног значаја - Рад у часопису националног значаја M52 (1,5)

1. Papić P., Ćuk M., **Todorović M.**: *Arsen u podzemnim vodama Bačke*, - Tehnika, Vol 6, Beograd, 2011, pp. 939-947.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини M33 (1)

1. Papić P., Pušić M., **Todorović M.**: *Water Quality as an Indicator of Hydrogeological Conditions: A case Study of the Belgrade Water Source (Sava/Danube Confluence Area)*, Proceedings of the IWA Specialist groundwater conference, Belgrade, 2011., pp. 283-290.
2. Papić P., Milijić Z., Stojković J., Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M., Kamberović Ž.: *Geoenvironmental investigations at a smelter location in Bor (Serbia)*, International conference on land conservation – LANDCON 1209, Sustainable land management and climate changes, Conference Abstracts, Donji Milanovac 2012, pp. 45.
3. **Todorović M.**, Ćuk M., Milosavljević J.: *Nitrates in groundwater of Serbia*, Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade 2012.
4. Ćuk M., **Todorović M.**, Milosavljević J.: *Arsenic occurrence in groundwater of Southern part of Pannonian basin (Serbia)*, Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade 2012.
5. Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M.: *Pesticides in geoenvironment and influential factors on health*, Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade 2012.

Зборници скупова националног значаја - Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини M63 (0,5)

1. **Todorović M.**, Ćuk M.: *Nitrati u podzemnim vodama Srbije*, Zbornik radova sa XIV Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor 2012, , pp. 607-610.
2. Ćuk M., **Todorović M.**, Stojković J.: *Arsen u podzemnim vodama za vodosnabdevanje Vojvodine*, Zbornik radova sa XIV Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor 2012, pp. 611-615.
3. Papić P., Milijić Z., Stojković J., Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M.: *Ekogeochemijska ispitivanja za potrebe izgradnje nove fabrike sumporne kiseline u RTB Bor*, Zbornik radova sa III Simpozijuma sa međunarodnim učešćem „RUDARSTVO 2012”, Zlatibor 2012, pp. 425 – 430.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада и оствареног искуства кандидат је способан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања

Вода у природи представља основну компоненту састава хидросфере, литосфере и атмосфере, захваљујући способности да се налази у течном, чврстом и гасовитом стању. Течно агрегатно стање воде представља њен најзначајнији облик, јер као таква она је један од

најзначајнијих природних растварача и има важну улогу у дистрибуцији геохемијског материјала како на површини Земље, тако и кроз њену унутрашњост (Matthess, 1982).

У природи не постоји хемијски чиста вода, већ се у њој налазе различите растворене материје и то оне с којима она долази у додир у процесу свог кружења у природи, и као таква представља раствор сложеног хемијског састава (Димитријевић, 1988). Растворене материје у подземним водама чине део геохемијског циклуса, где вода у току кружења у природи долази у додир са различитим стенама које се мање или више растварају, и на тај начин вода у свој састав уноси знатан број хемијских елемената.

Хемијски састав природних вода у квалитативном и квантитативном погледу зависи од средине у којој се формира, тј. са једне стране зависи од састава и растворљивости минерала с којима долази у контакт, а са друге стране од услова у којима долази до тог узајамног дејства (Димитријевић, 1988). Значајни фактори који утичу на појаву одређених хемијских елемената у водама представљени су геохемијском мобилношћу елемената у одређеној геохемијској средини, стени и атмосфери, и растворљивошћу која је одређена јонским потенцијалом, односно односом јонског наелектрисања и јонског радијуса (Matthess, 1982). Такође, сложен хемијски састав је последица сложених хемијских и физичко-хемијских процеса који се одигравају приликом његовог формирања.

Хемијски елементи који чине хемијски састав подземних вода могу се поделити у неколико група, макрокомпоненте (главне компоненте хемијског састава), микрокомпоненте (њихов средњи садржај у водама обично износи мање од 1 mg/L) и ултрамикрокомпоненте (елементи који се због појављивања у малим концентрацијама у земљиној кори или због ниских мигративних способности у водама налазе у концентрацијама испод 0,1 mg/L) (Matthess (1982), Димитријевић (1988), Филиповић & Димитријевић (1991)).

Проучавање макрокомпоненти и микрокомпоненти у водама показало се као веома значајно са теоријског али исто тако и са практичног аспекта.

Развој аналитике допринео је ширењу спектра детектованих хемијских елемената у води. Тако, донедавно, елементи као што су елементи ретких земаља, а посебно неки из групе лантанида, уопште нису детектовани у подземним водама Србије. Њихове концентрације у водама најчешће не прелазе 1 µg/L, и као такве убрајају се у групу ултрамикрокомпоненти хемијског састава подземних вода. О њима и њиховом значају у хидрогеологији на територији Србије, не постоје документована истраживања.

Елементи ретких земаља (ЕРЗ) представљају IIIВ групу периодног система елемената и чине је прелазни елементи Sc, Y и унутрашњи прелазни елементи тј. лантаниди (McLENNAN, 1999). Лантаниди представљају групу елемената са атомским бројем од 57 до 71 (Лантан (La), Церијум (Ce), Празеодијум (Pr), Неодимијум (Nd), Прометијум (Pm), Самаријум (Sm), Еуропијум (Eu), Гадолинијум (Gd), Тербијум (Tb), Диспрозијум (Dy), Холмнијум (Ho), Ербијум (Er), Тулијум (Tm), Итербијум (Yb), Лутецијум (Lu)). У IIIВ групи периодног система елемената, изнад La налазе се још скандијум и итријум (Sc и Y), који се у природи јављају у асоцијацијама са елементима из групе лантанида.

Елементи ретких земаља (тзв. *ретке земље*) представљају јединствен низ елемената у природи, због својих специфичности које их чине изузетно значајним индикаторима фундаменталних геохемијских процеса (Hanson (1980), Henderson (1984)). Ове особине проистичу из чињенице да су са неким изузецима, елементи ретких земаља генерално тровалентни и на тај начин хемијски фракционисани од својих најближих суседа у периодном систему (двовалентног Ва и четворовалентног Hf), и због прогресивног попуњавања 4f енергетског нивоа електрона у низу елемената који доприноси смањивању њиховог јонског радијуса са повећањем атомског броја (тзв. контракција лантанида).

Контракција лантанида указује на суптилне и систематске разлике у хемијским својствима у серији елемената ретких земаља, које су у великој мери предвидљиве, што их чини веома

корисним у изучавању процеса који узрокују њихову фракционацију у геолошким срединама. Сходно томе, елементи ретких земаља имају дугу историју употребе у изучавањима генезе магме у областима горњег земљиног омотача и коре, еволуције коре, у истраживањима површинског и хемијског распадања, транспорта геохемијског материјала као и у мањој мери истраживањима односа стене и воде (Hanson (1980), Henderson (1984), Bau (1991), Smedley (1991) (Taylor&McLennan (1985)).

Ниске концентрације елемената ретких земаља у води дуго су спречавале њихову употребу као сведока процеса интеракције између воде и стене или као хидрогеолошких трасера. Недавни развој опреме високог степена осетљивости, тачније High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometers или HR - ICP - MS, променио је ову ситуацију и допринео развоју истраживања хемије елемената ретких земаља у води.

Због непостојања података о садржајима, хидрогеохемијским условима миграције у подземним водама Србије и значају у хидрогеологији, дефинисање хидрогеохемијске закономерности миграције елемената ретких земаља изабрано је да буде предмет ове докторске дисертације.

Циљ истраживања

У ширем смислу, циљ истраживања представља анализа хидрогеохемијског понашања елемената ретких земаља у подземним водама на територији Србије (хемијски облици-специјација, концентрације, физичко-хемијски параметри у оквиру којих је постојање ових елемената у води могуће). Овај допринос могуће је остварити само ако би се достигли појединачни циљеви и решили задаци који дају одговор на питања дистрибуције ових елемената у воденим растворима.

Основни циљеви:

1. Направити базу података са концентрацијама елемената ретких земаља у подземним водама са територије Србије.
2. Установити корелације међу елементима ретких земаља унутар групе и установити законитост њиховог појављивања и корелације у оквиру основног хемијског састава подземних вода.
3. Дефинисати физичко-хемијске параметре и њихове величине које утичу на појаву, дистрибуцију и миграцију елемената ретких земаља у подземним водама.
4. Установити природне услове који доводе до хидрогеохемијских аномалија елемената ретких земаља.
5. Установити везу између концентрације елемената ретких земаља у подземним водама и стена.
6. Установити да ли постоје одређене законитости појављивања елемената ретких земаља у оквиру издвојених хидрогеолошких рејона на територији Србије.
7. Дефинисати повољне геолошке услове у оквиру којих је могућа појава подземних вода са повишеним садржајем ЕРЗ.

Изучавање елемената ретких земаља у воденом окружењу значајну пажњу добило је тек у последњих 30 година. Препрека је била у недовољно развијена аналитика одређивања ових елемената у води. Ниске концентрације елемената ретких земаља (ЕРЗ) у водама дуго су спречавале њихову примену у истраживањима процеса интеракције вода-стена и хидрогеолошким истраживањима. Развојем опреме за HR-ICP-MS (High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometers) методу, остварен је значајан помак у истраживању ЕРЗ у водама, како површинским тако и подземним. Овим истраживањима установљен је велики број природних процеса и услова који контролишу понашање ЕРЗ у подземним водама.

Када су у питању истраживања елемената ретких земаља у подземним водама на територији Србије, може се рећи да их није било, и зато израда ове докторске дисертације не би представљала надовезивање на претходна истраживања и остварене резултате из ове области. У наставку је дат кратак приказ најзначајнијих досадашњих истраживања из области изучавања елемената ретких земаља у подземним водама у свету.

Утицај литологије на хемијски састав вода је увелико познат, и може довести до значајних разлика у дистрибуцији елемената у подземним водама. Расподела елемената ретких земаља у водама често одражава њихову расподелу у стенама у оквиру којих је формирана издан подземних вода, и стога могу послужити као значајни индикатори тока где минералоски састав стена различитих издани варира. Расподела концентрација ЕРЗ у подземним водама одражава распоред елемената ретких земаља који је карактеристичан за типове стене у најмањем на регионалном нивоу (Smedley (1991); (Johannesson i dr. (1999), Johannesson & Hendry (2000), Johannesson i dr. (1997a), Möller i dr. (2003), Tweed i dr. (2006), Herong i dr. (2011)).

Johannesson i dr. (1997b) су својим истраживањима први дошли до резултата који подржавају употребу ретких елемената као трасера регионалног мешања подземних вода (одређујући пропорције мешања подземних вода из различитих средина), и указали на посебан значај примене елемената ретких земаља у одређивању порекла подземних вода посебно у случајевима када литолошки састави издани варирају. Претходна истраживања показала су да се карактеристике елемената ретких земаља у системима подземних вода у великој мери налазе под контролом литолошког састава стена кроз које пролазе, рН вредности, оксидо-редукционих услова, основног хемијског састава, органске и/или неорганске сложености и облика транспорта колоидних и суспендованих честица. Најважнији закључак изведен из ових студија је сличност између расподеле елемената ретких земаља у подземним водама и стена издани. Многи узорци подземних вода одражавају ЕРЗ расподелу која се налази у оквиру стена кроз које вода протиче, међутим то није општа законитост јер подземне воде често могу имати различите концентрације ЕРЗ у односу на оне које се налазе у стенама издани (Johannesson, 2005). Разумевање хидрогеохемије у неутралним подземним водама, важно је са становишта њиховог потенцијалног коришћења у истраживањима вода-стена интеракција, као и за праћење тока подземних вода (Johannesson i dr. (2000), Fee i dr. (1992), McCarthy i dr. (1998), Banner, i dr. (1989), Smedley (1991); (Johannesson i dr. (1999)).

Аномалано понашање Се, Еу, и У је индикативно за процесе интеракције вода-стена. Аномалије наслеђене из изворних стена могу се разликовати од оних стечених током миграције течности. Одсуство стечених аномалија указује стабилне и равнотежне услове. ЕРЗ расподеле могу дати информације о извору геотермалних флуида, температурном опсегу (Еу), редокс вредностима (Се) и интензитету адсорпције током миграције (У) (Möller, 2002). У специфичним условима Се и Еу могу бити редокс сензитивни и тако могу 'запамтити' промене у оксидо-редукционим условима (Leybourne & Johannesson (2008)). На пример Leybourne i dr. (2000) показали су да се редокс трансформације из Се(III) у Се(IV) могу

брзо десити при истицању безкисеоничних подземних вода на површину. Насупрот томе у редукционим условима и при повишеним температурама Еу се налази у двовалнетном облику (Sverjensky, 1984) што се свакако односи и на хидротермалне флуиде које заједно са стенама средњеокеанских гребена, карактерише веома велика позитивна аномалија Еу.

Адсорпција ЕРЗ на неорганске минерале и органске материје, суспендоване честице и колоиде, могу смањити растворене концентрације ових елемената у воденим системима. Иако ово може бити реверзибилни механизам, адсорпција праћена преталожавањем или адсорпционим скупљањем на површинама честица може на крају довести до стварања нерастворљивог талога, што смањује могућност да процес буде повратан. Разлике у оксидационим стањима еуропијума и церијума могу довести до појаве значајних концентрација које могу представљати аномалије, и оне могу бити квантификоване и геохемијски интерпретиране (De Baar i dr. (1983), De Baar i dr. (1985), Fee i dr. (1992)).

Проучавањем хемијског састава подземних вода у Србији бавили су се многи аутори, тако да би се у том смислу израда ове дисертације надовезала на досадашње резултате и допринела отварању новог поглавља у истраживању хемијског састава подземних вода.

3. Полазне хипотезе

Након детаљног прегледа и анализе резултата претходних истраживања из домена елемената ретких земаља, развијена је централна хипотеза истраживања.

Миграција елемената ретких земаља условљена је кисело-базним, оксидо-редукционим условима, литолошким саставом издани, основним хемијским и гасним саставом подземних вода. Просторна дистрибуција елемената ретких земаља се поклапа са дистрибуцијом магматских стена, посебно терцијарне старости.

Након прикупљања и систематизације неопходних података, и њиховом анализом, а у складу са претходним истраживањима елемената ретких земаља у подземним водама очекују се следећи резултати:

- Концентрације елемената ретких земаља у подземним водама могу се очекивати у дијапазону од више редова величина.
- Како је рН један од најважнијих параметара контроле концентрација ЕРЗ у водама, највеће концентрације могу се очекивати у водама са нижим рН вредностима.
- Са аспекта гасног састава, воде које у себи садрже угљен-диоксид сврставају се у групу слабо киселих вода које имају агресивно растварачко дејство на минерале а самим тим и ниже рН вредности, и зато се највеће концентрације елемената ретких земаља могу очекивати управо у њима.
- Нормализоване концентрације елемената ретких земаља у близу неутралним и базним водама имају раподелу ових елемената сличну хондриту, односно ове подземне воде би требало да покажу обогаћење лаким елементима ретких земаља.
- Због својих осетљивих редокс особина, аномално понашање у води могу показати церијум и еуропијум.

- Просторна дистрибуција највећих сумарних концентрација групе елемената ретких земаља на територији Србије требало би да се поклопи са просторном дистрибуцијом магматских стена, посебно оних терцијарне старости.
- Просторна дистрибуција највећих концентрација тешких лантанида у подземним водама требало би да се поклопи са просторном дистрибуцијом гранитоидних масива (Цер, Букуља, Велики и Мали Јастербац и др).

Референце:

Cotton, S.: *Lanthanide and Actinide chemistry*. Rutland, UK: John Wiley & Sons Ltd. 2006.

Henderson, P.: *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, 1984.

Johannesson, K. H. (Ed.): *Rare earth elements in groundwater flow systems*. Water Science and Technology Library, 2005, Vol 51.

Johannesson, K.H., Stetzenbach, K.J., Hodge, V.F.: *Rare earth elements as geochemical tracers of regional groundwater mixing*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 61, 1997, pp. 3605-3618.

Leybourne, M.I. & Johannesson, K.H.: *Rare earth elements (REE) and yttrium in stream waters, stream sediments, and Fe–Mn oxyhydroxides: Fractionation, speciation and controls over REE + Y patterns in the surface environment*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 72, 2008, pp. 5962-5983.

Luo, Y.R. & Byrne, R.H.: *Carbonate Complexation of Yttrium and the Rare Earth Elements in Natural Waters*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 68, 2004, pp. 691-699.

Möller, P.: *Rare earth elements and yttrium as geochemical indicators of the source of mineral and thermal waters*. In I. S. Bucher (Ed.), *Hydrology of crystalline rocks* (pp. 227-246). Kluwer Acad. Press, 2000.

Möller, P.: *Rare earth elements and yttrium in geothermal fluids*. (I. B. Stober, Ed.) *Water Science and Technology Library*, Vol 40, 2002, pp. 97-125.

Purdy, C.J. & H.E. Jamieson: *Review of the Factors Controlling the Environmental Mobility of Rare Earth Elements*. In M. G. Goode J.R. (Ed.), *Proceedings of the 51st Annual Conference of Metallurgists of CIM (COM 2012)*, 2012, pp. 197-208.

Herong, G., Linhua S., Luwang, C., Song, C.: *Rare earth element geochemistry of groundwater from a deep seated sandstone aquifer, northern Anhui province, China*. *Mining Science and Technology (China)*, Vol 21, 2011, pp. 477-482.

Choi, H., Yun, S., Koh, Y., Mayer, B., Park, S., Hutcheon I.: *Geochemical behavior of rare earth elements during the evolution of CO₂-rich groundwater: A study from the Kangwon district, South Korea*. *Chemical geology*, Vol 262, 2009, pp. 318-327.

Hsueh-Yu L.: *Application of Water Chemistry as a Hydrological Tracer in a Volcano Catchment Area: A Case Study of the Tatun Volcano Group, North Taiwan*. *Journal of Hydrology*, 2014, in press.

Wood, S.: *The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and yttrium. 1. Review of available low-temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciation of natural waters*. *Chemical Geology*, Vol 82, 1990, pp. 159-186.

4. Научне методе истраживања

У процесу научног истраживања примењиваће се следећи методски поступци: анализа, синтеза, апстракција, генерализација, а у завршној фази истраживања и класификација. У почетном стадијуму истраживања доминантна ће бити употреба индукције (прикупљање чињеница, праћено генерализацијом), а у каснијим фазама вршиће се дедукција општег на посебно и појединачно (нове систематизације и класификације) (Стевановић, 1990). У циљу решавања проблема који је предмет ове докторске дисертације планирана је примена више савремених метода следећих геолошких наука: хидрохемије, геохемије, минералогije, петрологије, структурне геологије, регионалне геологије итд. Такође, предвиђа се и примена одговарајућих статистичких метода (мултиваријантна статистичка анализа).

Ово подразумева прикупљање података ранијих истраживања, као и спровођење нових истраживања:

- хемијске анализе вода (High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry – HR - ICP - MS)
- обрада података хемијских анализа (примена Schlumberger-овог софтвера AquaChem и RockWare-овог софтвера Geochemist's Workbench)
- примена хемијске термодинамике (коришћење USGS-овог софтвера Phreeqc, USEPA MINTEQA2 софтвера VisualMINTEQ 3.0)
- литолошко-минералшке анализе стена
- израда карата дистрибуције анализиране групе микроелемената на територији Србије (примена Esri-јевог софтвера ArcGIS)
- статистичка обрада података (примена IBM-овог софтвера SPSS Statistics)

5. Очекивани научни допринос

- Научни допринос се огледа у обради великог броја хидрохемијских параметара који се превасходно односе на садржај елемената ретких земаља (ЕРЗ) у 180 узорака подземних вода са територије Србије. Ова дисертација би представљала први научни рад из области хидрогеологије посвећен изучавању ЕРЗ у подземним водама Србије.
- Применом геостатистичких анализа издвојиће се специфични типови подземних вода у оквиру којих ће се дефинисати хидрогеохемијски услови миграције елемената ретких земаља. У издвојеним типовима вода посебно ће се анализирати хидрогеохемијски процеси и фактори који доводе до појаве повишених концентрација ЕРЗ у подземним водама.
- С обзиром да се у дисертацији анализирају различити хидрохемијски типови подземних вода и узимајући у обзир њихову регионалну распрострањеност и сложене услове њиховог формирања, кретања и истицања, појаве ће детаљније бити разматране кроз већ издвојене хидрогеолошке рејоне. Овакав приступ ће допринети издвајању геолошких фактора који утичу на формирање различитих типова подземних вода, посебно са аспекта дистрибуције ЕРЗ у водама.
- Посебан допринос представљаће детаљно проучавање елемената ретких земаља у подземним водама на хидрогеохемијски значајним локацијама.
- Одређивање порекла хемијског састава представља најсложенији проблем у истраживањима подземних вода. Применом свих наведених метода и научних

поступака истиче се научи допринос ове дисертације у тумачењу генезе подземних вода са територије Србије.

6. План истраживања и структура рада

Научно-истраживачке активности предвиђене у циљу решавања проблема који је предмет ове докторске дисертације, одвијале би се начелно у четири фазе: кабинетски радови, теренски радови, лабораторијска мерења и обрада и тумачење података. У наставку је дат уопштени приказ поменуте четири фазе научно-истраживачког рада, кроз које је предвиђено да се одвија израда овог доктората.

Кабинетски радови: прикупљање и систематизација свих расположивих литературних извора и фондовске документације из области геологије, хидрогеохемије, минералних вода, лековитих и бањских вода, флашираних вода Републици Србији. Биће анализирана како домаћа тако и страна искуства и сазнања која су у вези са постављеним научним проблемом. Циљ ове фазе је сагледавање целокупне проблематике миграције елемената ретких земаља у подземним водама, дефинисање свега што је већ познато у овој области и истицање онога што је још увек непознато, тј. недовољно објашњено. У овој етапи је предвиђено и графичко приказивање анализираних података, израда специјалних, у првом реду хидрогеохемијских карата, које ће представљати подлогу за следећу фазу истраживања.

Теренски радови: теренска истраживања су обухватила прикупљање узорака подземних вода. Све појаве су регистроване у виду катастра. Узимање узорака вода, конзервирање, одређивање непостојаних хидрохемијских параметара (физичке особине, физичко-хемијски параметри, расворени гасови), мерење издашности и капацитета хидрогеолошких појава (извори, бушотине и бунари) су извршени у периоду 2012/2013. У оквиру теренских истраживања обрађено је више од 150 појава природних истицања, каптажа и бушотина подземних вода као и 20 флашираних вода које се налазе на тржишту.

Лабораторијска мерења и анализе: подразумевају израду анализа садржаја испитиваних микроелемента у минералним водама, као и анализе одабраних хидрохемијских параметара, ради утврђивања хидрогеохемијских услова миграције микроелемената у минералним водама. Због све веће употребе флашираних вода испитивано је око 20 узорака вода које постоје на тржишту (само флаширане воде са територије Републике Србије). Методе које су се примењивале за дефинисање физичких, физичко-хемијских и хемијских карактеристика подземних вода се заснивају на Стандардним методама за испитивање хигијенске исправности воде "ВОДА ЗА ПИЋЕ", Савезни завод за здравствену заштиту (1990), као и према Правилнику о начину узимања узорака и методама за лабораторијску анализу воде за пиће (Сл.лист СФРЈ, 33/78). Опрема: термометар, турбидиметар, рН-метар, кондуктометар (WTW, Немачка), ИС хроматограф-DIONEX ICS 3000 DC, UV-виспектрофотометар, аутоматски узоркивач (Ejkelkamp, Холандија). У Лабораторији за хидрохемију, Рударско-геолошког факултета урађене су хемијске анализе ради дефинисања хидрогеохемијских услова и утврђивања типова подземних вода. Одређивани су следећи хидрохемијски параметри: натријум, калијум, калцијум, магнезијум, хлориди, хидрокарбонати, карбонати, сулфати, гвожђе, манган, укупна минерализација, тврдоћа, специфична проводљивост. Елементи ретких земаља су одређени методом HR-ICP/MS, High Resolution Magnetic Sector ICP/MS која користи Finnegan MAT element 2 инструмент у Activation Laboratories Ltd. (Канада).

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације кандидат Маја Тодоровић испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације „Хидрогеохемија елемената ретких земаља у подземним водама Србије“ и комисија предлаже Научно-наставном већу Рударско-геолошког факултета, да одобри њену израду у оквиру научне области Хидрогеоекологија. За ментора на изради ове дисертације предлаже се др Петар Папић, редовни професор Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, који испуњава све услове дефинисане важећим прописима Универзитета.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф.др Петар Папић,
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Проф. др Веселин Драгишић,
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Проф. др Владица Цветковић,
Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
Проф. Др Зоран Никић,
Универзитета у Београду, Шумарски факултет