

РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
ДЕПАРТМАН ЗА ХИДРОГЕОЛОГИЈУ

27.04.2018.  
1/91

На 05/18-ој седници Департамана за хидрогеологију одржаној дана 26. 04. 2018. године једногласно је донета

**О Д Л У К А**

да се предложи Већу Геолошког одсека да усвоји Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Атанацковића, дипл. инж. геологије, под називом:

**ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ЗАГАЂИВАЊА ВОДНИХ РЕСУРСА ПОД УТИЦАЈЕМ  
НАПУШТЕНИХ РУДАРСКИХ РАДОВА НА ПРОСТОРУ СРБИЈЕ**

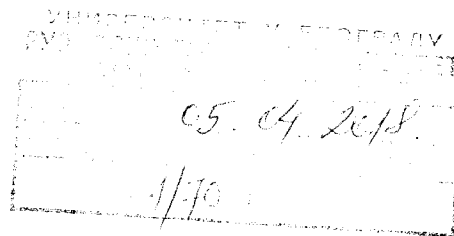
Комисија је у следећем саставу:

*др Веселин Драгишић, ред. проф. Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Никола Лилић, ред. проф. Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Јана Штрбачки, доцент Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Владимир Живановић, доцент Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Миле Димитријевић, ред. проф. Техничког факултета у Бору*

Шеф Департамана за хидрогеологију



проф. др Весна Ристић Вакањац



## ИЗВЕШТАЈ О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ КАНДИДАТА НЕБОЈШЕ АТАНАЦКОВИЋА

### 1. УВОД

#### Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидата Небојше Атанацковића, дипломираног инжењера геологије гласи: *„Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“*.

Дисертација садржи:

- 247 страна текста А4 формата,
- 35 табела у тексту,
- 70 слика, графикона и фотографија,
- 199 навода у списку литературе, и
- 9 прилога.

#### 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, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације Небојше Атанацковића, дипл. инж. геологије, под насловом: *„Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“* (бр. 1/348 од 23.06.2016. године).

Научно-наставно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 29.09.2016. године, сходно члану 175. став 4. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, усвојило је позитиван Извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације. Том приликом за ментора је именован др Веселин Драгишић, редовни професор (бр. 1/481 од 04.10.2016. године).

На основу члана 47. став 5. тачка 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета у Београду“, број 162/11-пречишћен текст, 167/12 и 172/13) и чл. 14. – 21. Правилника о већима научних области на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“, број 134/07, 150/09, 158/11, 164/11 и 165/11) 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 кандидата Небојше Атанацковића, под називом „Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“ (бр. 61206-5155/2-16 од 31.10.2016. године).

Научно-наставно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 21.09.2017. године донело је Одлуку о продужењу рока за израду докторске дисертације Небојше Атанацковића, до завршетка школске 2017/2018 (бр. 1/208 од 25.09.2017. године).

На основу члана 30. Закона о високом образовању, члана 111. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 57. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету, на својој седници одржаној 22. 03. 2018. године, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, донело је Одлуку о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“ (бр. 1/63 од 26. 03. 2018).

#### **Место дисертације у одговарајућој научној области**

Докторска дисертација кандидата Небојше Атанацковића, дипл. инж. геологије, под насловом „Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“ 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 Веселин Драгишић, редовни професор Универзитета у Београду – Рударско-геолошког факултета, ужа научна област Хидрогеологија.

#### **Биографски подаци о кандидату**

Небојша Атанацковић рођен је 15. 10. 1983. године у Београду, где завршава V београдску гимназију, природно-математичког смера. Рударско-геолошки факултет, Смер за Хидрогеологију, Универзитета у Београду, уписује 2002. године. Основне студије завршава 2008. године са просечном оценом 8,13 и оценом 10 на дипломском испиту. Докторске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, уписује 2010. године, опредељујући се за хидрогеологију лежишта минералних сировина, као област истраживања.

Радну каријеру започиње након основних студија као стручни сарадник на Департману за Хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, где је и данас запослен. Научно звање истраживач-сарадник стиче марта 2012. године. Упоредо са научно-истраживачким радом, кандидат учествује у изради и имплементацији више значајнијих пројеката и студија из области хидрогеологије лежиште минералних

сировина, стичући неопходна искуства у раду према највишим светским стандардима у оквиру рударске индустрије.

Небојша Атанацковић је аутор, коаутор или сарадник на више научно-истраживачких пројеката, извештаја и елабората о хидрогеолошким истраживањима. Учесник је научног пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја „Симултана биоремедијација и солификација деградираних простора, за очување природних ресурса биолошки активних супстанци и развој и производњу биоматеријала и дијететских производа“ број III 43004.

Аутор је и коаутор више десетина научних радова објављених у домаћим и иностраним часописима, од којих је четири са СЦИ листе. Међу овим радовима два обрађују проблематику из предмета докторске дисертације.

Небојша Атанацковић је члан следећих струковних организација: Међународне асоцијације хидрогеолога (*IAH*); Међународне асоцијације за рудничке воде (*IMWA*); Српског геолошког друштва (СГД) и Инжењерске коморе Србије (ИКС).

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на 247 страница текста и форматирана је у складу са упутством за обликовање докторске дисертације, прописаним од стране Универзитета у Београду. Дисертацију чине четири тематске целине:

- I Уводна разматрања и теоријске поставке
- II Концепција и методологија истраживања
- III Развој методологије за процену ризика
- IV Резултати истраживања, дискусија и закључак

Тематске целине састоје се од следећих поглавља, са већим бројем потпоглавља:

- Увод
- Проблематика напуштених рударских радова и животне средине
- Преглед водних ресурса републике Србије
- Анализа ризика
- Концепција и методологија истраживања
- Развој методологије за карактеризацију рударских радова на бази ризика од загађивања водних ресурса
- Резултати истраживања
- Верификација примене предложене методологије за процену ризика и дискусија резултата
- Закључак
- Литература

## Кратак приказ појединачних поглавља

У првој целини, након уводног дела кандидат разматра проблематику напуштених рударских радова и даје теоријске поставке анализе ризика. На бази концептуалних модела разматрани су услови интеракције ових радова и површинских и подземних вода. Поред тога, кандидат овде даје и приказ тренутног стања водних ресурса на подручју Републике Србије, у обиму адекватном за проблематику дисертације. Прва тематска целина састоји се од следећих поглавља:

- У *Уводу* докторске дисертације, кандидат истиче специфичности и важност разумевања процеса и ефеката интеракције напуштених рударских радова и животне средине. Кандидат наглашава актуелност проблематике и наводи разлоге за успостављања методологије за издвајање приоритетних локација, за даља истраживања и ремедијацију геолошке средине заједно са водним ресурсима. У делу докторске дисертације посвећене циљевима истраживања, кандидат дефинише развој методологије за карактеризацију напуштених рударских радова према степену ризика од загађивања површинских и подземних вода.
- Поголавље *Проблематика напуштених рударских радова и животне средине* састоји се од три потпоглавља. У првом потпоглављу разматрани су појам и карактеристике напуштених рударских радова и дат преглед њиховог стања у свету и Србији. Друго потпоглавље разматра хидрогеохемију рудничких вода, кроз које кандидат даје преглед основних процеса формирања хемијског састава, са посебним освртом на формирање киселих рудничких вода. Треће потпоглавље посвећено је анализи интеракције површинских и подземних вода и напуштених рударских радова. Анализа је извршена кроз поставку типских концептуалних модела који илуструју механизме циркулације воде.
- У поглављу *Преглед водних ресурса Републике Србије* кандидат наводи податке о квантитативном и квалитативном статусу ресурса површинских и подземних вода на њеној територији.
- Поголавље *Анализа ризика* састоји се од пет потпоглавља. У прва два потпоглавља ближе је дефинисан појам и процес анализе ризика. Том приликом кандидат истиче поступак анализе еколошког ризика предложен од стране Департмана за екологију, храну и руралне послове универзитета у Крејнфилду (*DEFRA*) као најпотпунији за предметну проблематику. Наредна потпоглавља разматрају постојеће методе у анализи ризика, уз посебан осврт на преглед и систематизацију постојећих приступа у анализи ризика од загађивања под утицајем напуштених рударских радова. Кандидат детаљније разматра методологију за израду карата ризика од загађивања подземних вода, која представља оквир за даља истраживања.

Друга целина укључује преглед метода примењених у склопу спроведених истраживања у циљу прикупљања података и припреме подлога за анализу ризика, и садржи следећа поглавља и потпоглавља:

- Поголавље *Концепција и методологија истраживања* састоји се од четири потпоглавља: теренска истраживања; лабораторијска испитивања хемијског

састава воде; статистичка обрада података и анализа рањивости подземних вода. У оквиру *Теренских истраживања* кандидат даје опис теренских активности на испитивању локација напуштених рудника и узорковању вода за хемијска испитивања. Потпоглавље *Лабораторијска испитивања хемијског састава воде* садржи податке о физичко-хемијским параметрима који су обухваћени испитивањима, као и примењене аналитичке методе, са границама детекције за испитиване параметре. У оквиру потпоглавља *Статистичка обрада података* извршена је систематизација и верификација хидрохемијских података. Кандидат наводи да је процентуално учешће резултата изван граница детекције примењених метода, за већину испитиваних параметара хемијског састава, било знатно испод 30 %. Систематизацијом прикупљених резултата одређен је скуп хидрохемијских података сачињен од 18 параметара хемијског састава мерених на 80 узорака рудничких вода, и 20 параметара хемијског састава површинских вода одређиваних у 48 анализа. Поред основних статистичких параметара, кандидат у оквиру поглавља даје приказ примењених мултиваријантних статистичких метода, пре свега факторне (*FA*) и хијерархијске кластер анализе (*HCA*). Потпоглавље *Анализа рањивости подземних вода* садржи приказ поступка примене *GOD* методе за оцену природне рањивости. Резултати анализе рањивости су даље коришћени као једна од подлога за процену ризика.

Развој методологије за карактеризацију напуштених рударских радова према степену ризика од загађивања водних ресурса, и прелиминарна процена степена ризика за потенцијално угрожена водна тела и сливове издвојени су као трећа целина.

- Поглавље *Развој методологије за карактеризацију рударских радова на бази ризика од загађивања водних ресурса* садржи четири потпоглавља: основне претпоставке за развој методе; поступак примене методе; процена ризика и карактеризација укупног ризика. У потпоглављу *Основне претпоставке за развој методе* кандидат наводи да је предложени приступ базиран на концепту развијеном и примењеном за израду карте ризика од загађивања подземних вода. У предметном истраживању кандидат је извршио одговарајуће модификације како би се истакле специфичности и омогућила адекватна категоризација и квантификација напуштених рударских радова као потенцијалних загађивача. Кандидат истиче да предложена методологија спада у групу метода за процену ризика на регионалној размери, и да је развијена за примену у *GIS* окружењу. У потпоглављу *Поступак примене методе*, кандидат даје схему поступка примене методологије, и исти сумира у четири основна корака: 1. *Идентификација и класификација хазарда (напуштених рударских радова)*; 2. *Процена угрожености и рањивости површинских и подземних вода*; 3. *Процена индекса ризика од загађивања површинских и подземних вода*; 4. *Карактеризација укупног ризика*. У овом потпоглављу кандидат предлаже пет фактора за карактеризацију напуштених рудника као потенцијалних хазарда: *HCA* кластер; врста минералне сировине; геолошка средина; површина рудног јаловишта и присуство флотацијског јаловишта или сепарације угља. Потпоглавље *Процена ризика* садржи шему за додељивање вредности индекса за одабране параметре, и

граничне вредности индекса ризика за површинске и подземне воде, на основу којих је извршена класификација рударских радова у пет класа. Кроз потпоглавље *Карактеризација укупног ризика Н*, кандидат даје смернице за интеграцију интензитета и осетљивости ризика у форму укупног ризика. Како би се избегле оштре границе између класа ризика, кандидат предлаже примену математичке теорије атрибута за сврставање појава у одређене класе. Најпре су за предложене критеријуме одређене функције припадности, на бази којих су прорачунате вредности синтезног индекса за сваки од испитиваних рудника. На крају кандидат даје приказ поступка одређивања припадности испитиваних појава одређеним класама ризика на бази критеријума поверења.

Четврта целина обухвата примену предложене методологије на простору Србије, анализу и интерпретација добијених резултата и њихову верификација. Ова целина у свом саставу има три поглавља:

- У делу дисертације који се бави *результатима истраживања* кандидат најпре износи и коментарише податке о карактеристикама 59 напуштених рударских радова са истицањем рудничких вода. У наредним потпоглављима, кандидат даје детаљан приказ физичко-хемијских карактеристика испитиваних рудничких вода. Коментаришући садржај макрокомпоненти, кандидат наводи да су  $\text{Ca-SO}_4$  и  $\text{Ca-HCO}_3$  доминантни типови вода, без јасне диференцијације у односу на врсту минералне сировине, изузев рудничких вода у лежиштима бакара које су доминантно калцијумско-сулфатне. Кроз тематске карте дат је приказ просторног распореда концентracија сулфата, гвожђа, цинка и бакра у рудничким водама. На бази утврђених корелационих зависности и резултата факторне анализе, кандидат издваја основне процесе формирања хемијског састава рудничких вода. Кроз примену *HCA* анализе са одабраним параметрима хемијског састава, кандидат врши груписање појава рудничких вода. Кандидат у оквиру поглавља о резултатима истраживања 16 % испитиваних појава сврстава у групу са високим потенцијалом за загађивање. У групу са високим ризиком од загађивања подземних вода највећим делом су сврстани напуштени рудници каменог угља и поједини рудници олова и цинка у западној Србији. Према ризику од загађивања површинских вода у групу са високим и веома високим ризиком сврстано је приближно 35 % испитиваних појава, док је према укупном ризику у високу и веома високу класу сврстан 21 напуштени рудник. Кандидат резултате анализе ризика приказује и просторно, у виду тематских карата. На бази квалитативне процене ризика на нивоу речних сливова, кандидат у категорију са високим ризиком сврстава њих седам.
- У поглављу *Верификација примене предложене методологије за процену ризика и дискусија резултата* кандидат најпре даје податке о квалитету површинских вода у непосредној зони напуштених рударских радова. У даљем тексту кандидат врши верификацију резултата кроз поређење процењеног степена ризика и квалитативног статуса потенцијално угрожених површинских и подземних вода. Након тога дискутује валидност извршене процене за површинске, подземне воде

и на нивоу речних сливова. У завршном делу поглавља кандидат износи критички осврт на примењену методологију и добијене резултате.

- У *Закључку* докторске дисертације, кандидат сумира резултате истраживања на процени ризика од загађивања водних ресурса под утицајем значајнијих напуштених рударских радова. У завршном поглављу истакнут је значај кумулативног дејства више напуштених рударских радова у оквиру једног слива. Кандидат истиче и могућност посредног утицаја рударских активности на значајним удаљеностима од самих рудника, кроз погоршање квалитета подземних вода као последица инфилтрације загађених површинских токова. На крају, спроведеним истраживањима и верификацијом добијених резултата констатована је могућност примене предложене методологије за процену ризика од загађивања водних ресурса.
- Списак коришћене литературе садржи 199 библиографских јединица, које обухватају најзначајније радове из области рудничких вода и анализе ризика, као и бројне радове и студије везане за процену утицаја рударских активности на животну средину и водне ресурсе.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација *„Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“* докторанда Небојше Атанацковића, има савремен приступ проблематици у научној области геолошко инжењерство и представља оригинално научно дело. Током извођења истраживања и израде дисертације примењене су савремене статистичке методе за интерпретацију података о хемијском саставу рудничких вода и коришћене су доступне дигиталне платформе за прикупљање података о карактеристикама напуштених рудника. За карактеризацију напуштених рударских радова према укупном ризику примењен је фази приступ кроз одређивање функција припадности за предложене критеријуме свакој од класа ризика. Просторна анализа рањивости подземних вода, процене угрожености површинских токова као и прорачун и карактеризација према степену ризика извршени су у *GIS* окружењу.

Интеграцијом поменутих поступака креирана је методологија за процену ризика, која представља нов и унапређен приступ у регионалној, семи-квантитативној анализи ризика од загађивања водних ресурса. Резултати добијени применом предложене методологије на простору Србије, верификовани су кроз упоређивање са подацима о квалитету угрожених површинских и подземних вода. Примењена методологија представља први случај примене концепта ризика у анализи утицаја напуштених рударских радова на ресурсе површинских и подземних вода на простору Србије.

С обзиром да напуштени рударски радови, због њиховог активног утицаја на животну средину, представљају јединствено историјско наслеђе, кроз израду предметне дисертације извршено је сумирање података и подигнут је општи ниво знања, како о



значајнијим објектима у Србији, тако и у самој предметној области. Развојем методологије дат је допринос концепту просторне анализе ризика од загађивања водних ресурса. Предложен приступ за издвајање и рангирање потенцијално угрожених локација, са техничког аспекта представља једну од основа за даље управљање, мониторинг и заштиту површинских и подземних вода.

### **Осврт на референтну и коришћену литературу**

Кандидат у дисертацији и у списку литературе наводи 199 библиографских јединица. Значајан део коришћене литературе односи се на радове иностраних стручњака који су углавном теоријског карактера и разматрају проблематику рудничких вода и анализе ризика. У овој групи налазе се и неки од најпознатијих и највише цитираних радова везаних за процесе формирања киселих рудничких вода у зони рударских радова (Singer and Stumm, 1970), рударски отпад (Lottermoser, 2007), водне ресурсе у зони напуштених рудника (Wolkersdorfer, 2008). Међу значајнијим библиографским јединицама налазе се и публикације Краљевског друштва из Лондона из 1983 и 1992 године којима су постављене основе анализе ризика. За потребе сагледавања утицаја напуштених рударских радова на животну средину, кандидат поред научних радова наводи и студије и извештаје значајнијих агенција за заштиту животне средине, међу којима су: Америчка агенција за заштиту животне средине (US EPA), Агенција за заштиту животне средине Велике Британије (EA) и Европске агенције за заштиту животне средине (EEA). Такође, коришћени су и релевантни радови домаћих аутора, међу којима се истичу уџбеници и монографије из области хидрогеологије лежишта минералних сировина, као и докторске дисертације одбрањене на Универзитету у Београду, које третирају поједине аспекте разматране проблематике. Кандидат у оквиру дисертације врши синтезу података и даје свеобухватан преглед постојећих метода за процену ризика од загађивања под утицајем рударских активности. У списку литературе налази се и део радова кандидата који се директно односе на тему дисертације.

### **Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање**

Како би одговорио на постављене циљеве дисертације, кандидат у оквиру спроведених истраживања примењује више метода. Најпре је у оквиру теренских истраживања вршено узорковање површинских, подземних и рудничких вода, уз примену процедуре конзервације узорака за потребе одређивања садржаја метала. Испитивање физичко-хемијских карактеристика вода вршено је у лабораторијама „ХЕМОЛАБ“ и Института за хемију, технологију и металургију - ИХТМ из Београда, приликом чега су коришћене стандардне методе за одређивање испитиваних параметара. За основну интерпретацију хидрохемијских података примењене су уобичајене графичке методе (Пајперов дијаграм, дијаграм моларних односа основних компоненти), а за анализу просторног распореда коришћен је *ArcGIS* софтвер. Након испитивања основних карактеристика променљивих на бази дескриптивне статистичке анализе, извршено је утврђивање зависности између параметара преко непараметарске корелације. Као основу за издвајање процеса

формирања хемијског састава, коришћене су мултиваријантне статистичке методе, прецизније факторна анализа (*FA*). С обзиром на изражене разлике у хемијском саставу рудничких вода, за груписање појава кандидат примењује хијерархијску кластер анализу (*HCA*). Пре примене мултиваријантних статистичких метода, скуп хидрохемијских података је на основу Кајзер-Мајер-Олкиновог критеријума оцењен као адекватан. Одабир метода за дефинисање процеса формирања рудничких вода, иако се показао као одговарајући, дао је индикацију о могућим процесима генезе на основу целокупног скупа хидрохемијских података, без могућности за тачно дефинисање појединачних појава. Најзначајније резултате дала је примена *HCA* анализе са одабраним параметрима, чиме је омогућено груписање појава ради даље процене ризика.

Метода аналитичког хијерархијског процеса (*AHP*), примењена је у циљу упоређивања предложених критеријума и додељивања тежинских коефицијената. На овај начин делимично је смањен ниво субјективности у процени, али с обзиром на природу саме методе, није у потпуности искључен. Иста констатација важи и за параметарске методе за оцену рањивости подземних вода. Иако спада у групу метода са релативно малим бројем параметара, избор *GOD* методе за оцену рањивости је у сагласности са регионалном размером истраживања и обимом расположивих података.

У досадашњој хидрогеолошкој пракси често се примењује концепт мапирања ризика од загађивања подземних вода. У предметним истраживањима извршене су модификације овог приступа чиме је област примене концепта проширена и на површинске воде. Предложена методологија спада у групу семи-квантитативних метода, приликом чега су за издвојене факторе додељивани одговарајући индекси. Кандидат наводи да је предложена методологија базирана на извор-транспорт-рецептор концепту и да су граничне вредности за одабране параметре успостављене на бази постојећих услова на простору Србије. Параметри на основу којих је вршена процена ризика, одабрани су тако да буду релативно доступни и значајни са аспекта процене утицаја на водне ресурсе. Најпре су разматране карактеристике које указују на могућност да напуштени рудници представљају изворе загађујућих супстанци. Даље, разматрана је могућност излагања кроз анализу природне рањивости и угрожености подземних и површинских вода. У финалној фази извршен је прорачун индекса ризика од загађивања засебно за површинске и за подземне воде. Интеграција параметара и прорачун индекса ризика вршени су применом одговарајућих алатки у ГИС окружењу. Увођењем математичке теорије атрибута приликом карактеризације укупног ризика значајно је смањена неодређеност методе. Анализом мере припадности свакој од класа ризика, избегнуто је сврставање појава са вредностима индекса блиским граничним, у различите класе. На крају, формирана је матрица ризика, на основу које су потенцијално угрожени сливови категорисани у три класе ризика. Овако развијена методологија показала се као адекватна за карактеризацију напуштених рударских радова и припадајућих сливова на бази ризика.

## **Оцена применљивости и верификације остварених резултата**

Значај предложене методологије за карактеризацију ризика, поред директне примене на важнијим напуштеним рудницима на простору Србије, огледа се и у могућности примене на другим просторима. У том циљу, могуће је граничне вредности за одабир одговарајућих индекса прилагодити локалним критеријумима. Оваква флексибилност је дозвољена с обзиром да се рангирање врши на бази вредности индекса, чиме је омогућено да се међу потенцијално угроженим локацијама издвоје приоритетне, на којима је неопходно извршити даља истраживања. Такође, поред напуштених, предложену методологију могуће је применити и у регионалној анализи ризика за активне рударске радове. Кроз израду дисертације извршена је синтеза релевантних истраживања и постојећих метода за анализу ризика, чиме су постављене основе за даљу примену и развој овог концепта у домаћој хидрогеолошкој пракси. Одабир релевантних параметара хемијског састава на бази којих је кроз примену хијерархијске кластер анализе извршено груписање појава рудничких вода, може представљати универзални приступ за њихову категоризацију у истраживањима утицаја ових вода на животну средину.

Са техничког аспекта резултати истраживања представљају основу за планирање даљих мера за детаљну карактеризацију и ремедијацију угрожених локација и успостављање мониторинга на издвојеним водним телима површинских и подземних вода.

Значајан део спроведених истраживања био је усмерен на верификацију добијених резултата. За те потребе коришћени су резултати наменски изведених истраживања, као и подаци из публиковане и фондовске документације. Верификација резултата извршена је кроз упоређивање процењеног степена ризика са квалитативним статусом потенцијално угрожених водних тела. Посебна пажња у контексту површинских вода посвећена је сливу Пека, док је код подземних вода детаљније разматран утицај изливања флотацијске јаловине напуштеног рудника антимона „Столице“. Резултати верификације указују на значајно поклапање између процењеног степена ризика и квалитета површинских и подземних вода. Ово је посебно изражено за напуштене рударске радове и сливове сврстане у високу и веома високу класу ризика.

## **Оцена способности кандидата за самостални научни рад**

Кандидат Небојша Атанацковић, дипл. инж. геологије успешно и квалитетно је одговорио на постављене циљеве дисертације, што указује да је овладао методологијом научно-истраживачког рада. Од поставке саме дисертације, одабира метода истраживања, као и кроз приказ, верификацију и дискусију остварених резултата, кандидат је показао способност за самостални научни рад и исказао зрелост и систематичност у истраживању. Потврда овоме је и значајан број научних и стручних радова у области хидрогеологије лежишта минералних сировина, које је кандидат објавио као први аутор и као коаутор.

#### 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Досадашњим истраживањима проблематика напуштених рударских радова и животне средине у Србији, разматрана је у малом број научних публикација и студија. Предметним истраживањима извршена је синтеза постојећих податка о овим објектима, и први пут је примењен структуриран приступ у процени ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рудника као извора загађујућих супстанци.

Истраживачке активности кандидата Небојше Атанацковића, дипл. инж. геологије, кроз израду докторска дисертација, биле су усмерене на примену концепта ризика у анализи утицаја напуштених рударских радова на површинске и подземне воде. Реализацијом истраживања остварени су појединачни научни доприноси:

- Приказане су теоријске поставке концепта ризика, са посебним акцентом на анализу еколошког ризика. Кроз свеобухватан преглед постојеће литературе, извршена је систематизација постојећих метода за анализи утицаја рударских активности и одлагалишта рударског отпада на животну средину.
- Предложени су фактори за категоризацију напуштених рударских радова као потенцијалних загађивача.
- Издвојени су основни процеси формирања хемијског састава рудничких вода.
- На бази корелационих зависности и резултата факторне анализе, издвојени су репрезентативни параметри рудничких вода, у контексту процене утицаја на околину.
- Предложен је приступ груписању података на бази издвојених параметра и *HCA* анализе, који је могуће применити и у другим истраживањима, првенствено у сфери анализе утицаја рудничких вода на различите чиниоце животне средине.
- На бази теоријских концептуалних модела извршена је анализа услова формирања рудничких вода, и могућих начина излагања површинских и подземних вода загађујућим супстанцама у подручју различитих врста рударских радова и јаловишта.
- Развијена је семи-квантитативна методологија за регионалну карактеризацију напуштених рударских радова према степену ризика од загађивања водних ресурса, чиме је дат допринос концепту просторне анализе ризика, али и методологији хидрогеолошких истраживања.
- Извршена је класификација напуштених рударских радова према степену ризика и издвајање приоритетних локација на којима је неопходно спровести детаљна истраживања, чиме је поред научног истакнут и практичан значај дисертације.
- Издвојена су потенцијално угрожена водна тела и сливови, што представља једну од основа за интегрисано управљање водним ресурсима и планирање мера заштите и успостављање мониторинга.
- Извршена је верификација предложене методологије чиме је потврђена адекватност одабраних параметара и констатована могућност примене у пракси.

## **Критичка анализа резултата истраживања**

Приликом израде предметне дисертације констатован је значајан недостатак систематизованих података који се пре свега односе на: слаба доступност техничке документације о локацијама, размерама и карактеристикама напуштених рударских радова; слаба до никаква покривеност мониторингом потенцијално угрожених водних тела и сливова; и значајан недостатак података о нивоима и квалитету подземних вода на великом простору Србије. Међу параметрима коришћеним у анализи ризика, за површину јаловишта везана је највећа несигурност у процени. Приликом анализе природне рањивости подземних вода, услед недостатка података о нивоима, параметар D је одређен на основу субјективне процене и искуства.

У односу на саму структуру предложене методологије, значајан извор неодређености налази се у посматрању напуштених рударских радова као тачкастих ентитета. За већину испитиваних радова оваква апроксимација, која је резултат размере испитивања, је прихватљива. Предложеном методологијом разматрани су негативни ефекти на квалитет водних ресурса настали као последица уношења загађујућих супстанци (најчешће метала и сулфата), као и промене основних физичко-хемијских параметара. Оваквом поставком нису обухваћени нежељени ефекти који се односе на повишену радиоактивност или на повећање температуре површинских вода, али кандидат оставља могућност повећања вредности индекса ризика за руднике урана.

Међу примењеним поступцима за процену ризика највећа субјективност везана је за процену ризика од загађивања водних ресурса на нивоу сливова. Ово је последица квалитативног приступа, у оквиру ког је извршена субјективна оцена озбиљности последица. Из тог разлога кандидат процену ризика за сливоде карактерише као прелиминарну, са циљем идентификације потенцијално угрожених сливова у оквиру којих је неопходно спровести даља истраживања. Поред наведених, извор значајне неодређености лежи у чињеници да се поједини рударски радови одликују сезонским осцилацијама у протицају и хемијском саставу рудничких вода, у мери која може имати утицај на прорачун индекса ризика. С обзиром на значајна материјална средства неопходна за утврђивање унутар годишњих осцилација вредности релевантних параметара, ово је делимично надомешћено спровођењем узорковања рудничких вода у летњим и раним јесењим месецима, у периоду ниских водостаја када је способност разблажења концентрације загађујућих супстанци најмања.

## Очекивана примена резултата у пракси

Докторска дисертација Небојше Атанацковића је поред научних циљева имала и изражен практичан значај. Наиме, највећи део истраживачких активности био је усмерен на развоју методологије за процену ризика. Кроз верификацију предложене методологије, извршена је њена примена на значајнијим напуштеним рударским радовима металичних, појединих неметаличних минералних сировина, као и напуштеним рудницима угља и урана на простору Србије. Овим је недвосмислено доказана могућност примене предложеног поступка у пракси.

Прикупљањем нових сазнања и података о локацијама и карактеристикама напуштених рудника, могуће је извршити примену предложене методологије и на руднике који до сада нису били предмет анализе. Такође, предложени критеријуми су адекватни и приликом процене утицаја активних рудника, чиме је могуће проширити област примене. Предложени приступ је, уз минималне модификације, могуће применити и за регионалну анализу ризика на другим локалностима. Ове модификације се пре свега односе на прилагођавање граничних вредности појединих критеријума локалним условима. Примена методологије је очекивана у иницијалним фазама планирања мера за управљање, мониторинг и контролу загађења, као и за одабир локација на којима је потребно извршити ремедијацију деградираних простора.

## Верификација научних доприноса

Значајнији део резултата спроведених истраживања кандидата Небојша Атанацковића, који се односе на хемизам рудничких вода и на методологију за процену ризика, прошао је научну верификацију кроз публикување два рада у научним часописима међународног значаја.

Сумирајући научне радове кандидата који третирају предметну проблематику, може се констатовати да је научни допринос докторске дисертације „Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“ кандидата Небојше Атанацковића дипл. инж. геологије, верификован следећим публикацијама:

Категорија М21 - Рад у врхунском међународном часопису

Н. Атанацковић, В. Драгишић, В. Живановић, П. Папић, Ј. Стојковић (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, No 11, pp. 7615-7626, doi: 10.1007/s11356-013-1959-4.

Категорија М22 - Рад у истакнутом међународном часопису

**Н. Атанацковић**, В. Драгишић, В. Живановић, С. Гардијан, С. Магазиновић (2016) *Regional-scale screening of groundwater pollution risk induced by historical mining activities in Serbia*, Environmental Earth Sciences, Springer Berlin Heidelberg, 75, 1152, 1866-6280, doi:10.1007/s12665-016-5983-9, 2016.

Категорија М33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

**Н. Атанацковић**, В. Драгишић, В. Живановић, П. Папић, Ј. Стојковић, М. Ћук (2013) *Arsenic in mine waters from abandoned base-metal and gold mining sites in Serbia*, Proceedings of 5th Jubilee Balkan Mining Congress, pp. 581 - 585, 978-608-65530-2-9, Macedonia.

**Н. Атанацковић**, В. Драгишић, В. Живановић, Ј. Стојковић, С. Гардијан (2016) *Risk-based Regional Scale Screening of Groundwater Contamination from Abandoned Mining Sites in Serbia - Initial Results*, IMWA 2016 – Mining Meets Water – Conflicts and Solutions, pp. 600 - 607, 978-3-86012-533-5, Germany.

Категорија М34 - Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

**Н. Атанацковић**, В. Драгишић, П. Папић, Ј. Стојковић, В. Живановић (2012) *Hydrochemical Characteristics of Mine Waters from Abandoned Mines in Serbia and Their Impact on the Environment*, 4th EucheMs chemistry congress, European Association for Chemical and Molecular Sciences, Abstract book, pp. 645 - 645, 1803-2389, Czech Republic.

**Н. Атанацковић**, В. Драгишић, В. Живановић, S. Ninković, S. Magazinović (2015) *Regional Scale Screening of Groundwater Pollution Risk Induced by Historical Mining Activities in Serbia*, International Conference, Faculty of Earth Sciences, University of Silesia, Sosnowiec, pp. 9 - 9, 978-83-61644-47-7, Poland.

Категорија М53 – Рад у научном часопису

В. Живановић, В. Драгишић, **Н. Атанацковић**, С. Нинковић, С. Магазиновић (2015) *Izrada karte rizika od загађивања podzemnih voda na primeru nacionalnog parka Đerdap*, Записници српског геолошког друштва за 2015. годину, Српско геолошко друштво, pp. 59 - 77, 0372-9966.

Категорија М63 – Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

**Н. Атанацковић, В. Драгишић, В. Живановић, С. Магазиновић, С. Нинковић** (2014) *Mine waters from abandoned mining sites in Carpathian-Balkan area of Eastern Serbia*, XVI Конгрес геолога Србије, Зборник радова, pp. 462 - 466, 978-86-86053-14-5, Србија.

**Н. Атанацковић, В. Драгишић, В. Живановић, Г. Милентијевић, Д. Нешковић** (2012) *Рудничке воде напуштених рударских радова и животна средина у подручју Србије*, XIV Српски симпозијум о хидрогеологији, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, pp. 265 - 269, 978-86-7352-236-4, Србија.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кандидат Небојша Атанацковић дипл. инж. геологије запослен је на Департману за хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета у Београду, са звањем истраживач-сарадник. У досадашњем раду је као аутор или коаутор објавио укупно 29 научних радова, од којих су четири публикована у часописима од међународног значаја. Међу објављеним радовима њих 9 се односи на увођење и примену научних метода представљених у докторској дисертацији, од којих су и два научна рада публикована у часописима категорије М21 и М22.

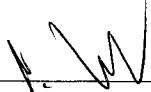
Докторска дисертација „Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“ кандидата Небојше Атанацковића дипл. инж. геологије представља савремен приступ проблематици истраживања у ужој научној области Хидрогеологија, и представља оригинално научно дело. Кроз израду дисертације најпре је извршена систематизација постојећих научних сазнања у области утицаја рударских активности на животну средину. Овим су постављене одговарајуће теоријске поставке, и дефинисан је оквир, концепција и циљеви истраживања, који су за резултат имали развој методологије за регионалну процену ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова. У изради докторске дисертације, примењене су савремене методе које налазе све већу примену у процени утицаја на водне ресурсе, као што су мултиваријантне статистичке методе (факторна и кластер анализа), метода аналитичког хијерархијског процеса и просторна анализа природне рањивости подземних вода. Карактеризација укупног ризика извршена је кроз одређивање функција и мера припадности предложених критеријума односно атрибута свакој од издвојених класа ризика. Поред научних циљева, докторска дисертација има и изражен практичан значај. Примена методологије на простору Србије за резултат је имала класификацију напуштених рудника према степену ризика, и издвајање приоритетних локација, као и припадајућих водних тела и сливова, на које је потребно усмерити даља истраживања. Кроз целовиту верификацију методе и добијених резултата констатована је могућност њене примене у пракси.

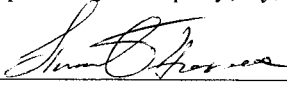



Комисија за оцену и одбрану је након прегледа дисертације закључила да је иста урађена према свим стандардима о научно-истраживачком раду и да испуњава услове и критеријуме предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Рударско-геолошког факултета и критеријумима које је прописао Универзитет у Београду. Анализирајући докторску дисертацију кандидата Небојше Атанацковића под називом „Процена ризика од загађивања водних ресурса под утицајем напуштених рударских радова на простору Србије“, Комисија предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета универзитета у Београду да се дисертација прихвати као успешно завршена и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на усмену јавну одбрану пред истом Комисијом.

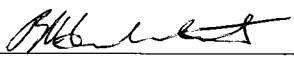
У Београду, 29.03.2018. год.


**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:**

  
др Веселин Драгишић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Рударско–геолошки факултет

  
др Никола Лилић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Рударско–геолошки факултет

  
др Јана Штрбачки, доцент,  
Универзитет у Београду, Рударско–геолошки факултет

  
др Владимир Живановић, доцент,  
Универзитет у Београду, Рударско–геолошки факултет

  
др Миле Димитријевић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору