

Факултет Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

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

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

„Хидрогеохемијски процеси у условима промене хидрогеолошких параметара средине код

примене рударске методе блоковског зарушавања“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Геолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Снежана (Станимир) Кретић, маг. инж. геологије

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду– Рударско-геолошки факултет

Хидрогеологија

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2022.

4. Година уписа на докторске студије:

2022/23.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Хидрогеологија

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **др Јана Штрбачки**

Звање: **ванредни професор**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Atanacković, N., **Štrbački, J.**, Živanović, V., Davidović, J., Gardijan, S., Stojadinović, S. (2024): *Hydrochemistry-Based Statistical Model for Sourcing Groundwater Inrush into Underground Mining Works: A Case Study in Eastern Serbia*, Mine Water and the Environment 43: 313-325, ISSN 1025-9112, M22, IF₂₀₂₄=2,1, <https://doi.org/10.1007/s10230-024-00986-2>
2. Snežana S. Kretić, **Jana S. Štrbački** and Nebojša B. Atanacković (2024): *Geochemistry of neutral mine drainage at sulfide deposits – example of the „Grot“ Pb-Zn mine, South-Eastern Serbia*, Journal of the Serbian Chemical Society 89 (3): 429-440, ISSN 0352-5139, M22, IF₂₀₂₄=0,9, <https://doi.org/10.2298/JSC230811013K>
3. Atanacković, N., Zdravković, A., **Štrbački, J.**, Kovač, S., Živanović, V., Batalović, K., Stanković, S. (2024) *Bio-electrochemical potential and mineralogy of metal rich acid mining lake sediment: the “Robule” lake case study*, International Journal of Environmental Science and Technology 22: 4075–4090, ISSN 1735-1472, M22, IF₂₀₂₄=3,4, <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05897-x>
4. Vakanjac, B., Naunovic, Z., Ristić Vakanjac, V., Đumić, T., Bakrač, S., **Štrbački, J.**, Gajić, V., Alzarog, T.M. (2023): *Distribution of Potentially Toxic Elements in the City of Zintan and Its Surroundings (Northwestern Libya) by Surface Soil Sampling*, Minerals 2023, 13 (8): 1048, ISSN 2075-163X, M21, IF₂₀₂₃=2,5, <https://doi.org/10.3390/min13081048>
5. Marić, N., **Štrbački, J.**, Mrazovac Kurilić, S., Beškoski, V., Nikić, Z., Ignjatović, S., Malbašić, J. (2020): *Hydrochemistry of groundwater contaminated by petroleum hydrocarbons: the impact of biodegradation (Vitanovac, Serbia)*, Environmental Geochemistry and Health 42 (7): 1921–1935, M21a, IF₂₀₂₀=4,677, <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00462-9>
6. 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 20 (11): 7615-7626, ISSN 0944-1344, M21, IF₂₀₁₃=2,951, <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1959-4>

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној _____ размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **др Небојша Атанацковић**

Звање: **научни сарадник**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Atanacković, N.**, Štrbački, J., Živanović, V., Davidović, J., Gardijan, S., Stojadinović, S. (2024): *Hydrochemistry-Based Statistical Model for Sourcing Groundwater Inrush into Underground Mining Works: A Case Study in Eastern Serbia*, Mine Water and the Environment 43: 313-325, ISSN 1025-9112, M22, IF₂₀₂₄=2,1, <https://doi.org/10.1007/s10230-024-00986-2>
2. Snežana S. Kretić, Jana S. Štrbački and **Nebojša B. Atanacković** (2024): *Geochemistry of neutral mine drainage at sulfide deposits – example of the „Grot“ Pb-Zn mine, South-Eastern Serbia*, Journal of the Serbian Chemical Society 89 (3): 429-440, ISSN 0352-5139, M22, IF₂₀₂₄=0,9, <https://doi.org/10.2298/JSC230811013K>
3. **Atanacković, N.**, Zdravković, A., Štrbački, J., Kovač, S., Živanović, V., Batalović, K., Stanković, S. (2024) *Bio-electrochemical potential and mineralogy of metal rich acid mining lake sediment: the “Robule” lake case study*, International Journal of Environmental Science and Technology 22: 4075–4090, ISSN 1735-1472, M22, IF₂₀₂₄=3,4, <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05897-x>
4. Štrbački J., Živanović V., Đurović M.Ć., **Atanacković N.**, Dragišić V. (2020): *Origin, diversity and geothermal potentiality of thermal and mineral waters in Vrnjačka Banja, Serbia*, Environmental Earth Sciences, 79, Article number: 309 (2020). ISSN: 1866-6280 (Print) 1866-6299 (Online), M22, IF=2.784, <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09050-y>
5. **Atanacković, N.**, Dragišić, V., Živanović, V., Gardijan, S., Magazinović, S. (2016): *Regional-scale screening of groundwater pollution risk induced by historical mining activities in Serbia*, Environmental Earth Sciences, vol. 75, No 1152., M22, IF=1.765 <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5983-9>
6. **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 20 (11): 7615-7626, ISSN 0944-1344, M21, IF₂₀₁₃=2,951, <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1959-4>

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној _____ размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

На основу члана 67. и 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 30. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 23.10.2025. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Снежане Кретић, маг. инж. геологије**.
2. Одобрава се именованој израда докторске дисертације под насловом *"Хидрогеохемијски процеси у условима промене хидрогеолошких параметара средине код примене рударске методе блоковског зарушавања"*.
3. Тема докторске дисертација је оригинална идеја, од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.
4. За менторе се именују др Јана Штрбачки, ванр. проф. и др Небојша Атанацковић, научни сарадник.
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Александар Цвјетић, ред. проф.

Достављено:

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

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Снежане Кретић, мастер инжењера геологије

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, број 1/242 од 22.9.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Снежане Кретић, мастер инжењера геологије, под називом „Хидрогеохемијски процеси у условима промене хидрогеолошких параметара средине код примене рударске методе блоковског зарушавања“.

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, као и на основу спроведене одбране предложене теме, која је организована 26.9.2025. године у 11 h, на Рударско-геолошком факултету, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

1.1. Биографија кандидата

Снежана С. Кретић је рођена 12.6.1998. године у Горњем Милановцу, Србија. Основну школу је завршила на Руднику код Горњег Милановца, а затим је Средњу медицинску школу (смер Лабораторијски техничар) завршила у Београду. Основне академске студије на студијском програму Хидрогеологија на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2017/2018. године, а дипломирала 2021. године са просечном оценом 9,56 (девет и 56/100) и оценом 10 (десет) на завршном раду. Мастер академске студије на студијском програму Хидрогеологија на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2021/2022. године, а дипломирала је 2022. године са просечном оценом 9,80 (девет и 80/100) и оценом 10 (десет) на завршном раду. Докторске академске студије на студијском програму Хидрогеологија на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2022/2023. године. Од 2023. године запослена је на Рударско-геолошком факултету, на Департману за хидрогеологију, у звању *истраживач приправник*.

1.2. Предлог теме докторске дисертације

Кандидаткиња Снежана Кретић, мастер инжењер геологије, у својој пријави (бр. 1/204 од 1.9.2025. године) предложила је тему докторске дисертације под називом:

„Хидрогеохемијски процеси у условима промене хидрогеолошких параметара средине код примене рударске методе блоковског зарушавања“.

На седници Департмана за хидрогеологију, одржаној 4.9.2025. године, на којој је разматрана иста пријава, предложена тема је усвојена и покренут је поступак за именовање Комисије за оцену научне заснованости предложене теме. Одлуком Департмана за хидрогеологију (бр. 1/223 од 5.9.2025. године), предложена је Комисија у следећем саставу: др Јана Штрбачки, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, др Небојша Атанацковић, научни сарадник Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, др Душан Поломчић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, др Владимир Живановић, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, др Саша Стојадиновић, редовни професор Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду. На седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, која је одржана 18.9.2025. године, одлуком (број 1/242 од 22.9.2025. године) именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме.

1.3. Подаци о предходном школовању кандидата и о оствареним ЕСПБ бодовима на докторским студијама

Кандидаткиња Снежана Кретић, школске 2017/2018. године уписује основне академске студије на Рударско – геолошком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хидрогеологија. Основне студије завршава 2021. године са просечном оценом 9,56 (девет и 56/100). Завршни рад на тему „Хидрохемијске карактеристике термоминералних вода Матарушке бање“ одбранила је са оценом 10 (десет).

Исте године уписује мастер академске студије на Рударско – геолошком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хидрогеологија. Одбраном мастер рада на тему „Хидрохемија подземних вода лежишта бакра и злата 'Чукару Пеки' код Бора“ са оценом 10 (десет), завршава мастер студије 2022. године, са просечном оценом 9,80 (девет 80/100).

Школске 2022/2023. године кандидаткиња је уписала докторске студије на Рударско – геолошком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хидрогеологија.

Кандидаткиња Снежана Кретић положила је 15 испита предвиђених планом и програмом докторских студија студијског програма Хидрогеологија, са просечном оценом 10 (десет) и при том остварила 175 ЕСПБ.

Списак положених испита на докторским студијама, са оценама и оствареним ЕСПБ бодовима, приказан је у Табели 1.

Табела 1. Списак положених испита на докторским студијама

Бр.	Назив предмета	ЕСПБ	Оцена
1	Семинар 1	10	10
2	Специјална поглавља из рудничке хидрогеологије	10	10
3	Специјална поглавља из хидрогеохемије	10	10
4	Савремена тектоника	10	10
5	Самостални публиковани рад П1	10	10
6	Семинар 2	10	10
7	Семинар 3	10	10
8	Специјална поглавља из методологије истраживања и одрживог коришћења подземних вода хидрогеолошких басена	10	10
9	Хеометрија	10	10
10	Пројекат докторске дисертације	20	10
11	Самостални публиковани рад П2	10	10
12	Рад са СЦИ листе	10	10
13	Истраживачка студија	10	10
14	Израда докторске дисертације 1	20	10
15	Израда докторске дисертације 2	15	10

1.4. Списак објављених научних и стручних радова

У току досадашњег научно-истраживачког рада, Снежана Кретић је објавила укупно 5 радова, од којих је један публикован у међународном часопису са СЦИ листе, а преостала четири су саопштења са скупова националног значаја.

Рад у истакнутом међународном часопису (категорија M22):

1. Kretić, S., Štrbački, J., Atanacković, N., 2024: Geochemistry of neutral mine drainage at sulfide deposits – example of the „Grot“ Pb-Zn mine, South-Eastern Serbia. Journal of the Serbian Chemical Society. <https://doi.org/10.2298/jsc230811013k> M22, IF=0,9

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (категорија M63):

2. Kretić, S., Atanacković, N., Štrbački, J., 2024: Modeliranje kinetike rastvaranja pirita u PHREEQC programu na primeru sulfidnog ležišta rudnika Grot. XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Pirot, Srbija, 02–06. jun 2024, Beograd: Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, str. 373-377; <https://doi.org/10.5281/zenodo.13739688> M63
3. Štrbački, J., Živanović, V., Atanacković, N., Kretić, S., 2024: Primena klasterizacije metodom K-srednjih vrednosti za ispitivanje hidrohemijskog diverziteta podzemnih voda na lokaciji Vrnjačke Banje. XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Pirot, Srbija, 02–06. oktobar 2024, Beograd: Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, str. 333-337; <https://doi.org/10.5281/zenodo.13739553> M63
4. Kretić, S., Štrbački, J., 2022: Hidrohemijske karakteristike termomineralnih voda Mataruške Banje. XVI Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, Srbija, 28. septembar – 02. oktobar 2022, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, str. 481-484; M63

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (категорија M64):

5. Kretić, S., Štrbački, J., 2024: The distribution of aqueous species and saturation index calculations in the mineral waters of Mataruška Spa. 10th Conference of Young Chemists of Serbia, University of Belgrade – Faculty of Chemistry, 26. oktobar 2024, Belgrade: Serbian Chemical Society, 162, M64.

1.5. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

На основу претходно приказаних биографских података о кандидаткињи, који се односе на њено образовање и на резултате научно-истраживачког рада, и узимајући у обзир аналитичност и методичност у раду које је до сада показала, закључује се да је кандидаткиња Снежана Кретић потпуно квалификована и поседује сва потребна знања и искуство за израду докторске дисертације на предложену тему.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања

Контаминација подземних и површинских вода је честа негативна последица неадекватне експлоатације минералних сировина. Рудничке воде неретко одликује лош квалитет, што може имати штетне последице по животну средину. Генерално, њихов квалитет зависиће од геолошких и хидрогеолошких услова средине, као и од примењене методе експлоатације (Lottermoser, 2007). Из датих разлога, рудничке воде представљају предмет многих истраживања.

Ова докторска дисертација бавиће се истраживањем утицаја рударске методе блоковског зарушавања (*block caving method*) на подземне воде. У свету је отворено преко 50 рудника који примењују ову методу експлоатације, а у будућности је планирано отварање и нових (Melati et al., 2022), укључујући и оне на простору источне Србије. Метода блоковског зарушавања је савремена метода експлоатације минералних сировина која се заснива на ломењу дела или целог рудног тела (Melati et al., 2022). Примењује се на велика рудна тела, слабе до умерене тврдоће, која се обично налазе на великим дубинама (Melati et al., 2022; Rafiee et al., 2018). Како лако доступна лежишта на мањим дубинама бивају исцрпљена, ова метода ће имати све значајнију улогу у обезбеђивању одређених критичних минералних сировина (CRM) и стратешких сировина, као што је бакар. Метода се базира на постепеном урушавању рудног тела под сопственом тежином, при чему унутрашњи напони и силе под дејством тежине рудног тела доводе до кретања изломљене стенске масе надолу (Melati et al., 2022; Rafiee et al., 2018; Nieto, 2010; Laubscher, 2000). Према томе, познато је да примена методе блоковског зарушавања у експлоатацији минералних сировина доводи до драстичних промена у геомеханичким својствима средине, која се знатно разликују од природног стања.

Претходна истраживања о примени методе блоковског зарушавања углавном су била усмерена на проширивање знања о законитостима кретања фрактурисане стенске масе ка тачкама истакања и на процену ризика од продора блата (мешање воде са ситним фрагментима стене), што представља нежељени ефекат који утиче на продуктивност и безбедност рудника. Неколико студија бавило се приливима подземних вода у овим

рудницима, што је дало резултате у развоју хидродинамичких модела усмерених на предвиђање продора воде (Sánchez et al., 2019; Díaz et al., 2024). Подаци о квалитету подземних вода у овим областима и развоју хидрогеохемијских процеса у њима слабо су доступни и уочавају се значајни недостаци у степену истражености овог аспекта. До сада је познато да је мешање различитих типова вода незаобилазан процес у формирању ових рудничких вода (Morton, 2020).

Сходно постојећем стању, *предмет ове докторске дисертације* је симулирање промена физичко-хемијског састава подземних вода услед промена у хидрогеолошким условима средине, као последице примене рударске методе блоковског зарушавања при експлоатацији минералних сировина.

У ужем смислу, израдом дисертације биће разматран утицај промене хидрогеолошких параметара средине (попут порозности и коефицијента филтрације) на квалитет рудничких вода и на развој одређених хидрогеохемијских процеса (процеса растварања и таложења минерала, оксидације сулфидних минерала и кинетике овог процеса, неутрализације киселости рудничких вода, мешања вода различитих издани итд.). Растварање и таложење минерала су основни процеси који се дешавају при контакту воде са стеном, а који ће од ова два процеса превагнути зависи од равнотежних услова средине (Appelo & Postma, 2005). Оксидацијом сулфидних минерала може доћи до формирања значајних количина сумпорне киселине и до драстичних промена у хемијском саставу рудничких вода (Wolkersdorfer et al., 2020; Lottermoser, 2007). При оксидацији неких сулфидних минерала долази до генерисања рудничких вода са ниским рН вредностима (2-3) и високим садржајем растворених метала (Lottermoser, 2007). Динамика одвијања овог процеса контролисана је оксидо-редукционим условима средине, присуством или одсуством одређених микроорганизама и дужином трајања контакта воде и стене (кинетички фактор) (Lottermoser, 2007; Banks, 1997). При одређеним условима, неки минерали се у контакту са киселим водама могу понашати као акцептори протона, што доводи до неутрализације киселости (Lottermoser, 2007). Овај процес је значајан јер омогућава пуферовање рН вредности рудничких вода до чак неутралне рН вредности (Lottermoser, 2007). До мешања вода различитих издани долази када воде из више водоносних слојева, различитих физичко-хемијских особина, дођу у контакт (Appelo & Postma, 2005). Оваква појава је очекивана у подручјима где се примењује метода блоковског зарушавања, због индуковане фрактурисаности стенске масе (Morton, 2022).

Да би било могуће прогноzirати будући развој хидрогеохемијских процеса на неком подручју, у контексту напредовања рударских активности, потребно је утврдити почетни (нулти) квалитет подземних вода и издвојити главне хидрогеохемијске процесе присутне пре почетка рударских активности. Такође, неопходно је и познавање геолошких и минералних карактеристика стенског масива. У складу са тим, истраживања у оквиру ове докторске дисертације биће спроведена на одређеној студији случаја, тј. реалном подручју, за које ће се дефинисати почетни хидрогеохемијски услови, пре примене методе блоковског зарушавања. Ова рударска метода има честу примену у експлоатацији Cu-Au лежишта (Banks, 2009), те ће истраживања бити усмерена на овај тип лежишта. Лежишта бакра и злата су најчешће порфирског типа, и у њима доминирају сулфидни минерали бакра уз присуство самородног злата, као и злата у другим везаним облицима, а карактеристични су за области магматске и хидротермалне активности (Cooke et al., 2020). У хидрогеохемијском смислу, интензивна оксидација сулфидних минерала у рударским

зонама где се врши експлоатација поменутих лежишта, честа је појава (Lottermoser, 2007).

Подручје истраживања докторске дисертације лоцирано је у источној Србији, у оквиру Тимочког магматског комплекса, који представља важну металогену зону бакра и злата и експлоатише се вековима. Ово подручје је одабрано јер је ту планирана експлоатација лежишта методом блоковског зарушавања, по први пут у Србији. Посебна пажња ће бити посвећена изради хидрогеохемијских модела, као главних алатки за дефинисање, издвајање и праћење хидрогеохемијских процеса. Ови модели омогућавају симулацију сложених интеракција воде и стене, укључујући разматрање дистрибуције различитих јонских облика и прорачуне сатурационих индекса, симулације кинетички контролисаних реакција и процеса неутрализације киселости рудничких вода. Припрема модела заснива се на коришћењу резултата хемијских анализа репрезентативних узорака подземних вода, процени времена контакта воде и минерала и рН-Еh услова средине, у зависности од тога који од поменутих процеса желимо описати. За симулирање процеса у овом истраживању биће коришћене комплетне хемијске анализе одабраних узорака подземних вода, како би се повећао степен прецизности добијених модела. Примена хидрогеохемијских модела омогућиће симулирање процеса оксидације сулфидних минерала при различитим условима средине, као најважнијег процеса за генерисање рудничких вода лошег квалитета (Wolkersdorfer et al., 2020; Lottermoser, 2007). Такође, истраживања ће укључити и интеграцију хидродинамичког моделирања тока подземних вода, као предуслова за успешно креирање хидрогеохемијског модела.

Циљ истраживања

Циљ докторске дисертације јесте развијање моделске симулације која ће омогућити дефинисање на који начин ће промене хидрогеолошких параметара (порозности и коефицијента филтрације) утицати на развој хидрогеохемијских процеса формирања рудничких вода (растварање и таложење минерала, оксидацију сулфидних минерала, неутрализацију киселости рудничких вода и мешање вода различитих издани), пре свега у подручјима у којима се планира или већ спроводи метода блоковског зарушавања. Описани циљ биће постигнут кроз интеграцију хидродинамичког и хидрохемијског моделирања. Хидродинамички модел указаће на привилеговане правце подземних вода у природним условима и на законитости по којима ће се мењати циркулација подземних вода у зависности од фазе експлоатације (односно у зависности од фаза у којима се коефицијент филтрације мења), у *block caving* руднику. Добијени резултати биће коришћени за повезивање са хидрогеохемијским моделом, у смислу дефинисања времена контакта воде и минерала, параметра потребног за симулацију процеса оксидације сулфидних минерала.

Специфични циљеви истраживања су:

- Идентификација привилегованих праваца циркулације подземних вода;
- Издвајање доминантних хидрогеохемијских процеса који ће играти главну улогу у формирању хемијског састава рудничких вода. Процена изгледа за формирање киселих или неутралних рудничких вода;
- Идентификација утицаја промене филтрационих карактеристика средине и доминантних праваца тока подземних вода на развој хидрогеохемијских процеса формирања хемијског састава рудничких вода на истражном подручју;

- Обезбеђивање универзалности развијеног приступа и добијених модела, како би исти могли да се примењују у различитим фазама експлоатације, као и на примерима сродних типова лежишта и рудника, који примењују сродне методе експлоатације минералних сировина.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ОД КОЈИХ ЋЕ СЕ ПОЛАЗИТИ У ИСТРАЖИВАЊУ

Основна хипотеза од које се полази јесте да промене филтрационих карактеристика средине утичу на формирање хемијског састава подземних вода у подручјима где се примењује метода блоковског зарушавања, а да се повезивањем хидродинамичких и хидрогеохемијских модела може извршити прогноза развоја процеса оксидације сулфидних минерала на испитиваном подручју.

Претпоставке од којих се полази у решавању предметне проблематике ове докторске дисертације заснивају се на опште познатим чињеницама:

- Физичко-хемијски састав подземних вода значајно зависи од природних услова и средине кроз коју пролазе (литолошко-минералних састава стена, рН-Е_h услови, итд.), што може резултовати формирањем подземних вода бољег или лошијег квалитета. У природним условима, подземне воде имају састав који зависи од геолошко-хидрогеолошких услова датог подручја. Ови услови се разликују од оних који се јављају током рударске експлоатације (Lottermoser, 2007).
- Промена природних услова током рударске експлоатације може убрзати процес оксидације сулфидних минерала, што повећава киселост подземних вода (Lottermoser, 2007).
- Појава неутралног рН и нижих концентрација метала у неким рудничким водама може бити последица кинетичког фактора, односно, споро одвијање процеса растварања и оксидације сулфидних минерала може бити последица брзе водозамене и кратког контакта воде са стеном (Banks, 2009).
- Применом методе блоковског зарушавања мењају се хидрогеолошка својства средине, односно долази до промена у порозности и филтрационим карактеристикама стенске масе (Díaz et al., 2024).
- Повећање коефицијента филтрације има за последицу већи прилив вода у рударске радове (Díaz et al., 2024).
- Подручја у којима се примењује ова рударска метода карактерише драстично слегање тла, које постаје израженије како сама експлоатација минералних сировина напредује (Li et al., 2014; Woo et al., 2013). Најизраженије слегање дешава се у зони изнад нивоа подсецања (Li et al., 2013; Woo et al., 2013). Овај процес има директан утицај и на промене филтрационих карактеристика одређених зона лежишта.
- Правац кретања подземних вода у подручјима у којима се примењује метода блоковског зарушавања је веома сложен (Díaz et al., 2024). Сложеност се огледа у измени природних правца кретања подземних вода, повезивању различитих изданских зона и повећању инфилтрације у зони изнад нивоа подсецања.
- Експлоатација методом блоковског зарушавања врши се са најниже коте подсецањем рудног тела, што условљава „течење“ стенског материјала заједно

са флуидима и муљем под утицајем гравитације ка најнижим тачкама у руднику (Morton, 2022).

- Формирање рудничких вода у областима где се примењује метода блоковског зарушавања је веома комплексно. Настају мешањем кишнице, процедних вода из јаловишта, подземних и површинских вода и вода из погона за прераду руде (Morton, 2020).

На основу набројаних чињеница, постављају се следеће полазне хипотезе:

- Очекује се повећање секундарне порозности стенске масе у кровини рудног тела, што доводи до повећања укупне реагујуће површине минерала. Услед генералног увећања коефицијента филтрације очекује се убрзање водозамене, тачније смањење дужине контакта између подземних вода и стена у зони деформација.
- Пропагацијом зоне деформација до површине терена доћи ће до слегања, што ће за последицу имати увећање инфилтрације од падавина.
- Очекује се промена услова прихрањивања дубљих издани, као последица мешања подземних вода са водама из плићих издани.

4. МЕТОДЕ КОЈЕ ЋЕ СЕ ПРИМЕНИТИ У ИСТРАЖИВАЊУ

Током израде докторске дисертације примениће се више научних методолошких приступа, а пре свега научна дескрипција, дефиниција, класификација, анализа доступне литературе, синтеза података и генерализација.

У циљу решавања предметне проблематике примениће се методе различитих наука и научних дисциплина, попут хидрогеохемије, хидродинамике, хидрогеологије, тектонике, петрологије, минералологије и статистике. Такође, у реализацији истраживања биће потребна и примена моделирања у различитим програмима.

Планирана је примена следећих метода:

- Преглед доступних литературних извора.
- Прикупљање и обрада расположивих података о нивоима подземних вода, квалитету (доступне комплетне хемијске анализе узорака подземних вода) и коефицијентима филтрације различитих геолошких средина.
- Обрада података хемијских анализа у програмима за квалитет подземних вода и статистичким програмима (AquaChem и IBM SPSS Statistics). Преглед квалитета испитиваних подземних вода – идентификација заступљених хидрохемијских типова вода и њихов просторни распоред, опсег концентрација анализираних хемијских компонената, екстремне вредности и прекорачења МДК (табеларни и графички приказ).
- Припрема концептуалног хидрогеолошког модела истражног подручја, укључујући услове прихрањивања, циркулације и дренажа подземних вода приликом експлоатације лежишта.
- Одређивање учешћа подземних вода из различитих литолошких јединица у укупним приливима, као и брзине кретања подземних вода у зони деформација.

- Примена програма за хидрогеохемијско моделирање (PHREEQC 3.7.3. или напредније верзије, уколико буде доступна у моменту истраживања).
- Допуна доступних база података у PHREEQC програму у складу са потребама истраживања.

Све наведене методе истраживања су оквирно дефинисане и могу бити модификоване у складу са резултатима истраживања.

5. ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС

Ефекти методе блоковског зарушавања представљају актуелно подручје истраживања, како са рударског и еколошког аспекта, тако и са аспекта проучавања утицаја ове методе на хидрогеолошке системе. Фокус досадашњих проучавања био је на законитостима према којима долази до кретања фрагмената стена (урушавања материјала) ка тачкама истакања, као и на проценама ризика од настанка муља (мешања воде са најфинијим фрагментима стена), као нежељеног ефекта експлоатације који угрожава безбедност рудника.

Главни резултат, а уједно и основни научни допринос предложене теме, јесте дефинисање законитости по којима промене хидрогеолошких параметара средине утичу на формирање физичко-хемијских карактеристика подземних вода у подручјима примене рударске методе блоковског зарушавања. Интегрисањем хидрогеохемијских и хидродинамичких метода истраживања, у оквиру геолошке средине под утицајем рударских радова, ова докторска дисертација ће представљати јединствени научни рад на Департману за хидрогеологију и на Рударско-геолошком факултету.

Очекивани *научни допринос* предложеног истраживања је следећи:

- Издвајање доминантних хидрогеохемијских процеса у рудничким водама и дефинисање услова у којима се дати процеси одвијају, у одређеној фази експлоатације и зарушавања материјала.
- Повећање степена хидрогеолошке истражености одабраног истражног подручја у источној Србији, у оквиру Тимочког магматског комплекса.
- Симулација различитих сценарија формирања физичко-хемијских карактеристика рудничких вода у условима примене методе блоковског зарушавања у порфирским лежиштима бакра и злата.
- Боље разумевање фактора који утичу на квалитет рудничких вода у условима примене методе блоковског зарушавања.
- Могућност примене интегрисаног хидрогеохемијско-хидродинамичког модела и на другим студијама случаја, које се баве сличним рударским методама, у сродним типовима лежишта.

Очекивани *практични допринос* предложеног истраживања је следећи:

- Коришћење резултата истраживања у фази планирања отварања рудника са блоковским зарушавањем, као и у фазама експлоатације и затварања рудника.

- Могућност предвиђања и спречавања еколошких хазарда, као и смањивање негативних утицаја експлоатације минералних сировина на квалитет подземних вода и животне средине.
- Примена добијених резултата у подручјима напуштених рударских радова или у зонама са већ постојећим негативним ефектима експлоатације, кроз дефинисање и предлагање ремедијационих мера.
- Унапређење законских регулатива које морају бити испоштоване током свих фаза експлоатације минералних сировина.

6. ОКВИРНИ СПИСАК ЛИТЕРАТУРЕ

У наставку је приложена прелиминарна листа библиографских јединица које ће бити коришћене приликом израде докторске дисертације:

1. Atanacković, N., Dragišić, V., Živanović, V., Cvejić, I., Stojadinović, S., Jocić, I. (2022). Rudničke vode olovo-cinkovnih ležišta u rudnom polju „Blagodat“ u jugoistočnoj Srbiji. In: Proceedings of the 16th Serbian Symposium on Hydrogeology with International Participation, Zlatibor, Serbia, 2022, Faculty of Mining and Geology, Belgrade.
2. Beale, G., Syaifullah, T., Saepulloh, D., Daley, S. (2016) Modelling approach to predict peak inflows at the Argyle block cave mine, Western Australia. In: Drebenstedt, C., Paul, M.: IMWA 2016 – Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. – p. 520 – 527; Freiberg/Germany (TU Bergakademie Freiberg).
3. Betrie GD, Sadiq R, Nichol C, Morin KA, Tesfamariam S (2016) Environmental risk assessment of acid rock drainage under uncertainty: the probability bounds and PHREEQC approach. J Hazard Mater 301:187–196. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.022>
4. Budiman, J. S., Basten, I. G., Silaen, H., Ryan, R., Ruthman, F. F. P., Sulaeman, K. (2017). Distribution of sulfate water in Grasburg Block Caving (GBC) mine, Papua, Indonesia. Riset Geologi dan Pertambangan, 27(1), 77-82.
5. Chang, W., Ke, X., Wang, W., Liu, P. (2024) Identifying sources of acid mine drainage and major hydrogeochemical processes in abandoned mine adits (Southeast Shaanxi, China). Environ Geochem Health 46, 60. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01858-y>
6. Chen, W., Li, W., Wang, Q., Qiao, W. (2021) Evaluation of Groundwater Inflow into an Iron Mine Surrounded by an Imperfect Grout Curtain. Mine Water Environ 40, 520–538 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10230-021-00777-z>
7. Chukwura, U.O., Hursthouse, A.S. (2020) Evaluating controls on potentially toxic element release in circum-neutral mine water: a case study from the abandoned Pb–Zn mines of Leadhills and Wanlockhead, South of Scotland, United Kingdom. Environ Earth Sci 79, 363. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09108-x>
8. Datta, B., Petit, C., Palliser, M., K Esfahani, H., Prakash, O. (2017). Linking a simulated annealing based optimization model with PHT3D simulation model for chemically reactive transport processes to optimally characterize unknown contaminant sources in a former mine site in Australia. Journal of Water Resource and Protection, 9, 432-454.
9. Díaz, R., Gómez, R., Vidal, R., Hekmat, A., Oyarzo, D. (2024) Combining geomechanical and hydrogeological modeling for drainage analysis in Block Caving mine development, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 173, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105606>
10. Dragišić, V. (2005). Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.

11. Galjak, J., Đokić, J., Gurešić, D., Jović, S., Milentijević, G. (2020) Evaluation of acid mine drainage kinetics in the lead-zinc mine. *Arab J Geosci* 13, 354. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05382-y>
12. Hu, L., Zhang, M., Yang, Z., Fan, Y., Li, J., Wang, H., & Lubale, C. (2020). Estimating dewatering in an underground mine by using a 3D finite element model. *Plos one*, 15(10), e0239682.
13. Jelenković, R., Simić, V., Životić, D., Kostić, A. (2010). *Ležišta mineralnih sirovina*. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu.
14. Kirk Nordstrom, D. (2020) Geochemical Modeling of Iron and Aluminum Precipitation during Mixing and Neutralization of Acid Mine Drainage. *Minerals* 2020, 10, 547. <https://doi.org/10.3390/min10060547>
15. Lima, V. H. S., Moura, J. P., Pissarra, T. C. T., do Valle Junior, R. F., de Melo, M. M. A. P., Valera, C. A., ... & Pacheco, F. A. L. (2024). Groundwater flow and transport of metals under deposits of mine tailings: A case study in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100690.
16. Lottermoser, B.G. (2007) *Mine Wastes- Characterization, Treatment, Environmental Impacts*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
17. Melati, S., Wattimena, R. K., Sahara, D. P., Syafrizal, Simangunsong, G. M., Hidayat, W., Riyanto, E., Felisia, R. R. S. (2022). Block caving mining method: transformation and its potency in Indonesia. *Energies*, 16(1), 9.
18. Morton, K. L. (2022). The use of groundwater monitoring and underground pressure release tests to benefit block caving. In *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving* (pp. 611-622). Australian Centre for Geomechanics.
19. Meloni, F., Montegrossi, G., Cabassi, J., Bianchi, F., Nisi, B., Rappuoli, D., & Vaselli, O. (2024). Geochemical Surveys of Ground and Surface Waters in the Abandoned Hg-Mine of Abbadia San Salvatore (Central Italy): A Preparatory Investigation before Remediation. *Water*, 16(9), 1210.
20. Mosai, A. K., Richards, H., & Tutu, H. (2022) The transport of toxic elements from the Marie-Louise landfill site and nearby gold mine dumps to waterbodies. In: *IMWA 2022—Reconnect*, eds. J. Pope, C. Wolkersdorfer, R. Rait, D. Trumm, H. Christenson, and K. Wolkersdorfer (Bella Vista, AR: IMWA), 273–279.
21. Muniruzzaman, M., Karlsson, T., Ahmadi, N., dan Rolle, M. (2020) Multiphase and multicomponent simulation of acid mine drainage in unsaturated mine waste: Modeling approach, benchmarks and application examples *Appl. Geochemistry* 120 104677
22. Neupane, R., Datta, B. (2020). Groundwater flow and multi-component reactive transport simulation of acid mine drainage at a former mine site. *GEOMATE Journal*, 19(76), 188-196.
23. Nordstrom, D. K., Nicholson, A. (2017). *Geochemical Modeling for Mine Site Characterization and Remediation* (Vol. 4): Society for Mining, Metallurgy & Exploration.
24. Nordstrom, D. K. (2011). Mine waters: acidic to circumneutral. *Elements*, 7(6), 393-398.
25. Nordstrom, D.K., Alpers, C.N. (1999). In: *The environmental geochemistry of mineral deposits, part a: processes, methods, and health issues*, G.S. Plumlee, M.J. Logsdon, Eds., *Rev Econ Geol*, Littleton, pp. 133–160.
26. Nordstrom D.K. and Southam G. (1997) *Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation*. In: *Reviews in Mineralogy*. Mineralogical Society of America, Washington D.C., Vol. 35, pp. 361–390.
27. Polomčić, D., Bajić, D., Ratković, J., Božović, Đ., & Pajić, P. (2019). Simulation of groundwater regime and quantification of groundwater balance by means of

- hydrodynamic analysis: case of open-cast mine “Jakovačka Kumša”. *Tehnika*, 70(1), 56-65.
28. Polomčić, D., Bajić, D., Ratković, J., Šubaranović, T., Ristić Vakanjac, V. (2017). Hydrodynamic model of the open-cast mine Tamnava - West field, in Proceedings of the VIII International Conference “Coal 2017”, Beograd:Yugoslav Opencast Mining Committee: 327-339.
 29. Polomčić, D., Bajić, D., Ratković, J., Šubaranović, T., Ristić Vakanjac, V. (2017) "Hidrodinamički model površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje" in Zbornik radova 8. Međunarodne konferencije Uglja 2017, Beograd, Srbija:Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju: 327-340.
 30. Polomčić, D., Bajić, D., Papić, P., Stojković, J. (2013). Hydrodynamic model of the open-pit mine “Buvač” (Republic of Srpska), in Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (JSDEWES) 1 no. 3, Zagreb:SDEWES Centre: 260-271
 31. Polomčić, D., Bajić, D. (2011). 3D Hydrodynamic model of open pit mine “Polje E” (Kolubara coal basin), in Proceedings of the V International Conference “Coal 2011”, Zlatibor, Serbia, 19-22 October, 2011, Belgrade:Yugoslav Opencast Mining Committee: 320-330.
 32. Ryskie, S., Rosa, E., Neculita, C.M., Couture, P. (2024) Modeling the geochemical evolution of mine waters during mixing. *J Hazard Mater.* doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.134929
 33. Saepulloh, D., Hassell, R., & Albrecht, J. (2022). Managing the risk of uncontrolled flow of material (mudrush) at Argyle Diamond Mine. In *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving* (pp. 583-596). Australian Centre for Geomechanics.
 34. Sánchez, K., Palma, S., Castro, R.L. (2019) Numerical Modelling of Water Flow Through Granular Material for Isolated and Simultaneous Extractions in Block Caving. *Rock Mech Rock Eng* 52, 133–147. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1587-x>
 35. Setiawan, K. N., Cahyadi, T. A., Amri, N. A., Ernawati, R., Nurkhamim, N., Ansori, M. I., ... & Makarao, S. L. (2022). Simulation of Contaminants Transport in Groundwater From Nickel Mining Waste Dump Southeast Sulawesi.
 36. Torres, H. (2020). Assessing Groundwater Contamination Risk and Detection of Unknown Sources Using a Multi-Component Reactive Transport Model. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(05), 132.
 37. Torbica, S. (2011). Osnove metoda podzemnog otkopavanja. Autorizovana skripta. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
 38. Trajković, S., Lutovac, S., Tokalić, R., Stojanović, L. (2010). Osnovi rudarstva. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
 39. Xie, P., Li, W., Yang, D., Jiao, J. (2018). Hydrogeological model for groundwater prediction in the Shennan mining area, China. *Mine Water and the Environment*, 37(3), 505-517.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу података приказаних у овом Извештају, Комисија доноси следеће закључке:

1. Кандидаткиња Снежана Кретић, мастер инжењер геологије, испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању за одобрење израде предметне докторске дисертације.
2. Пријављена тема под називом „Хидрогеохемијски процеси у условима промене хидрогеолошких параметара средине код примене рударске методе блоковског зарушавања“, научно је заснована, иновативна и погодна за израду докторске дисертације. Резултати који би произашли из дисертације имали би веома значајан научни и практични допринос. Предложена тема дисертације припада научној области Геолошко инжењерство, односно ужој научној области Хидрогеологија, за коју је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.
3. За менторе докторске дисертације предлажу се др Јана Штрбачки, ванредни професор на Департману за хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, и др Небојша Атанацковић, научни сарадник на Департману за хидрогеологију, Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 30.9.2025. године

Чланови Комисије:

Др Јана Штрбачки, ванредни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Небојша Атанацковић, научни сарадник
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Душан Полочић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Владимир Живановић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Саша Стојадиновић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору
