

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:

„Базалт Врела као извор за добијање стакло-керамичких композита“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Гео-науке

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Алекса (Милољуб) Луковић, маг. геолог

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

Геологија

Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2021.

4. Година уписа на докторске студије:

2021/22.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Геологија

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: др Даница Срећковић-Батоћанин

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Ivanović, D.R, Valjarević, DJ. A, **Srećković-Batoćanin, R.D**, Martić-Bursać, N.M, Vukoičić, D.Ž., Ivanović, R.M (2019). Hydro geothermal potentials of the Rogozna mountain and possibility of their valorization. *Open Geosciences*, 11: 1071-1083. DOI: 10.1515/geo-2019-0083; IF 0.899
2. Toljić, M., Glavaš-Trbić, B., Stojadinović, U., Krstekanić, N. and **Srećković-Batoćanin, D.**, 2020. Geodynamic interpretation of the Late Cretaceous syn-depositional magmatism in central Serbia: Inferences from biostratigraphic and petrographical investigations, *GEOLOGICA CARPATHICA*, 71, 6, 526–538. DOI: <https://doi.org/10.31577/GeolCarp.71.6.4>. IF 1.535
3. Kostić, B., **Srećković-Batoćanin, D.**, Filipov, P., Tančić, P., Sokol, K., 2021. Anisotropic grossular-andradite garnets: Evidence of two stage skarn evolution from Rudnik, Central Serbia. *GEOLOGICA CARPATHICA*, 72, 1, 17–25. DOI: <https://doi.org/10.31577/GeolCarp.72.1.2>. IF 1.535
4. Ivana Mojsić Velikić, Dragoman Rabrenović, **Danica Srećković-Batoćanin**, Darko Spahić, 2022: Geoheritage and Mining Heritage in the Promotion of Theme Parks: An Example of the National Park Đerdap (Carpathian-Balkan Thrust-And-Fold Belt, Eastern Serbia). *Geoheritage*, 14:102 <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00735-3> IF - 2.786
5. Ana Tošić, A., **Srećković-Batoćanin, D.**, Škraba Jurlina, D., Brkušanin, M., Karanović, J., Kanjuh, T., Nikolić, V., Mrdak, D., Simonović, P., 2022. Treatise about reliability in dating events of evolutionary history of brown trout *Salmo cf. trutta* at Western Balkans: impassable barriers, isolation of populations and assistance of geological timeframe. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 53(1), 1-18. <https://doi.org/10.3897/aiep.53.97702> IF=0.928

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Јелена Малеташкић

Звање: Виши научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Jelena Maletaškić, Nadežda Stanković, Nina Daneu, Biljana Babić, Milovan Stoiljković, Katsumi Yoshida, Branko Matović, Acid leaching of natural chrysotile asbestos to mesoporous silica fibers, *Physics and Chemistry of Minerals* 45 [4] (2018) 343-351. IF=1.5
2. Jelena Maletaškić, Bratislav Todorović, Martina Gilić, Milena Marinović Cincović, Katsumi Yoshida, Anna Gubarevich, Branko Matović, Synthesis and characterization of monophasic CaO-TiO₂-SiO₂ (sphene) based glass-ceramics, *Science of Sintering*, 52 (2020) 41-52. IF=1.7
3. Matović Branko, Jelena Maletaškić, Vesna Maksimović, Silvana Dimitrijević, Bratislav Todorović, Jelena Zagorac, Aleksa Luković, Yu-Ping Zeng, and Ivana Cvijović-Alagić. "Synthesis and characterization of high-entropy A₂B₂O₇ pyrochlore with multiple elements at A and B sites." *Science of Sintering InPress* (2023): 23 IF=1.7
4. Matović Branko, Jelena Maletaškić, Vesna Maksimović, Jelena Zagorac, Aleksa Luković, Yu-Ping Zeng, and Ivana Cvijović-Alagić. "Heavily doped high-entropy A₂B₂O₇ pyrochlore." *Processing and Application of Ceramics* 17, no. 2 (2023): 113-117. IF=1.3
5. Matović B., Maletaškić J., Prikhna T., Urbanovich V., Girman V., Lisnichuk M., Todorović B., Yoshida K., Cvijović-Alagić I., Characterization of B₄C-SiC ceramic composites prepared by ultra-high pressure sintering, *Journal of the European Ceramic Society* 41 (2021) 4755-4760. IF=5.7

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

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 27.06.2024. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Алексе Луковића, мастер геолога**.
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Базалт Врела као извор за добијање стакло-керамичких композита“*.
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 Даница Срећковић Батоћанин, ред. проф. и др Јелена Малеташкић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“.
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Биљана Аболмасов, ред. проф.

Достављено:

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Научна заснованост теме докторске дисертације кандидата Алексе Луковића, мастера геологије

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, бр. 1/149 од 18.4.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, кандидата **Алексе Луковића, мастера геологије**, под називом:

„Базалт Врела као извор за добијање стакло-керамичких композита”

Комисија у саставу: др Даница Срећковић Батоћанин, редовни професор, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, др Јелена Малеташкић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију, др Сузана Ерић, редовни професор, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, др Предраг Дабић, научни сарадник, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, др Мира Цоцић, редовни професор, Универзитет у Београду – Технички факултет у Бору, на основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, а сагласно члану 30. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду, односно сагласно члану 29. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету, Комисија подноси следећи реферат:

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

Биографски подаци

Алекса Луковић рођен је у Београду 03.02.1998. године где је завршио основну школу и гимназију. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду уписао је 2016. године. Основне студије завршио је 2019. године на Геолошком одсеку на Катедри за петрологију и геохемију. Мастер академске студије је уписао у септембру 2019. на одсеку Геологија, модул петрологија и геохемија, који је завршио је 2021. са просечном оценом 9.24 (девет и 24/100). Мастер рад: „Метаморфне секвенце Вршачких планина – петрологија и тектоника“ је одбрао са оценом 10 чиме је стекао звање мастер геолога.

Школске 2021/22 уписао је докторске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму – Геологија. 2022. године запослио се у Институту за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду, Институт од националног значаја за Републику Србију где ради као истраживач приправник у Лабораторији за материјале и члан је Центра за синтезу, процесирање и карактеризацију материјала за употребу у екстремним условима “СЕХТРЕМЕ LAB”.

На докторским студијама кандидат је у досадашњем току студија положио 11 испита са просечном оценом 9.73. Списак положених испита на докторским студијама дат је у следећој табели:

Предмет	Ознака	Година	Оцена	ЕСПБ	Датум
Петрологија офиолита	20-3ПТОФ	1	9	10	30.8.2022
Магматизам и геодинамика карпато-балканско-динарског подручја	20-3МГКД	1	10	10	16.9.2022.
Петрологија магматских стена – посебна поглавља	20-3ПМПШ	1	10	10	14.9.2022.
Магматска петрогенеза	20-3МГПГ	1	10	10	16.9.2022.
Геохемија магматских и метаморфних стена	20-3ГММС	1	10	10	7.9.2022.
Теренски или лабораторијски рад	20-3ТЛРГ	1	10	10	30.8.2022
Рендгенска структурна анализа – одабрана поглавља	20-3РСАП	2	10	10	23.8.2023.
Геохемија – посебна поглавља	20-3ГЦПП	2	9	10	11.9.2023.
Семинарски рад	20-3СРГЕ	2	9	10	30.8.2023.
Израда докторске дисертације	20-3ИД1Г	2	10	20	29.8.2023.
Студијски истраживачки рад	20-3СП1Г	2	10	10	29.8.2023.

Остварени резултати научно-стручне активности и са успехом положени испити на докторским студијама (просечна оцена 9.73), као и бројни истраживачки боровци на којима је присуствовао и који су тематски везани за подручје истраживања, у потпуности квалификују Алексеу Луковића за рад на предложеној теми докторске дисертације.

У току докторских студија кандидат Алекса Луковић је остварио способност за самосталан научноистраживачки рад кроз полагање испита, публикавање научних радова, учешћа на значајнијим међународним конференцијама из области науке о материјалима релевантних за израду докторске дисертације где је презентовао резултате својих истраживања. Кандидат је врло савестан и марљив истраживач са смислом за тимски рад. Одличан је познавалац стручне и научне литературе из области на коју се односи докторска дисертација и поседује практично искуство, које је од кључног значаја за даљи лабораторијски и кабинетски рад.

Списак објављених радова кандидата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на приложеној теми

Преглед до сада публикованог научно-истраживачког рада Алексе Луковића обухвата следеће категорије објављених радова:

- 1 рад објављен у истакнутом међународном часопису са SCI листе (M22);
- 2 рада објављена у међународним часописима са SCI листе (M23);

Списак објављених радова:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20):

- Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Matović Branko, Jelena Maletaškić, Vesna Maksimović, Silvana Dimitrijević, Bratislav Todorović, Jelena Zagorac, **Aleksa Luković**, Yu-Ping Zeng, and Ivana Cvijović-Alagić. "Synthesis and characterization of high-entropy A₂B₂O₇ pyrochlore with multiple elements at A and B sites." *Science of Sintering InPress* (2023): 23

- Рад у међународном часопису (M23)

1. Stojadinović Uroš, Nemanja Krstekanić, Bojan Kostić, Marija Ružić, and **Aleksa Luković**. "Tectonic evolution of the Vršac Mts.(NE Serbia): Inferences from field kinematic and microstructural investigations." *Geologica Carpathica* 72, no. 5 (2021): 395-405.
2. Matović Branko, Jelena Maletaškić, Vesna Maksimović, Jelena Zagorac, **Aleksa Luković**, Yu-Ping Zeng, and Ivana Cvijović-Alagić. "Heavily doped high-entropy A₂B₂O₇ pyrochlore." *Processing and Application of Ceramics* 17, no. 2 (2023): 113-117.

Зборници међународних научних скупова (M30):

- Саопштење са међународног скупа, штампано у изводу (M34)

1. Stojadinović Uroš, Nemanja Krstekanić, Bojan Kostić, Marija Ružić, and **Aleksa Luković**. "Alpine tectonic evolution of the Northern Serbo-Macedonian sub-unit: inferences from kinematic and petrological investigations." In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, pp. EGU21-202. 2021.
2. **Luković Aleksa**, Srećković-Batočanin Danica, Prelević Dejan, Prekajski-Đorđević Marija, Erčić Jelena, Matović Branko and Maletaškić Jelena. „Determining the absolute age and type of magma of Triassic andesites of Čadinje using U/Pb dating and Backscatter methods on zircon samples“. 6th Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials: 6CSCS-2022, Belgrade
3. Maksimović Vesna, Pavkov Vladimir, Stoiljković Milovan, **Luković Aleksa** and Bakić Gordana. „Effect of acidic environment on glass-ceramic-metal composite materials“. *Engineering Ceramics 2023 – Ceramics for circular economy*, Smolenice castle, Slovak Republic
4. Stoiljković Milovan, Pavkov Vladimir, Bakić Gordana, **Luković Aleksa** and Maksimović Vesna. „Corrosion of ceramic-metal composites in artificial acid rain“. 5th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Trebinje, Bosnia and Herzegovina
5. **Luković Aleksa**, Matović Branko, Maletaškić Jelena, Maksimović Vesna, Dimitrijević S., Todorović Bratislav, Zagorac Jelena, Zeng Y-P and Cvijović-Alagić Ivana. „Characterization of High-Entropy A₂B₂O₇ Pyrochlore Obtained via Combustion Synthesis and Post-Calcination“. 7th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials (7CSCS-2023), Belgrade, Serbia
6. Prekajski Đorđević Marija, Erčić Jelena, Nidžović Emilija, **Luković Aleksa**, Kumar Ravi, Matović Branko and Maletaškić Jelena. Entropy-stabilized oxides owning fluorite

structure: preparation and sintering. 7th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials (7CSCS-2023), Belgrade

7. **Luković Aleksa**, Pavkov Vladimir, Matović Branko, Nidžović Emilija, Prekajski-Đorđević Marija, Maletaškić Jelena. „Basalt-based glass-ceramic composites“. Twenty Fourth Annual Conference - YUCOMAT 2023, Herceg Novi, Montenegro
8. Maletaškić Jelena, Bratislav Todorović, Martina Gilić, **Aleksa Luković**, Jelena Erčić, Marija Prekajski Đorđević and Branko Matović. "Glass-ceramics obtained from CaO-TiO₂-SiO₂ (sphene), 6th Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials: 6CSCS-2022, Belgrade

Паралелно са студијама, кандидат Алекса Луковић учествовао је на следећим конференцијама и летњим школама:

- 5.7.2022. - 8.7.2022. године похађао VIDIS (*Virtual Centre for Distributed Atmospheric Sensing for Reduction of Pollution Pressures*) летњу школу.
- 2022. године учествовао у конференцији Друштва за керамичке материјале Србије (*6th Conference of the Serbian Society for Ceramics, 6CSCS*).
- 2023. године је учествовао у конференцији Друштва за керамичке материјале Србије (*7th Conference of the Serbian Society for Ceramics, 7CSCS*).
- 4.9.2022. - 8.9.2023. године је учествовао у међународној конференцији YUCOMAT (*24th Annual Conference on Material Science*).
- 10.9.2023. - 10.12.2023. године је био на истраживачком боравку у истраживачком центру FunGlass, Универзитета у Тренчину, Словачка, преко пројекта JECS (*Journal of European Ceramics Society*) Trust Mobility Project, где је урадио синтезу и карактеризацију узорака за докторску дисертацију.
- 22.1.2024. - 5.3.2024. године био је на истраживачком боравку у Индијском институту за технологију „Madras“ у Ченају, Индија.

Члан је следећих професионалних организација:

- Друштва керамичких материјала Србије
- Српског друштва за иновативне материјале у екстремним условима

Учесник је следећих пројеката:

- Билатералног пројекта “Откривање потенцијала високо-ентропијских спинела за примене у енергетици” одобреног од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије и Немачке службе за академску размену (ДААД) (2024-2025)
- Пројекта “Квантне корелације у високоентропијским оксидима са спинелском структуром” одобреног у оквиру сарадње између Обједињеног института за нуклеарна истраживања у Дубни и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (2024)

Његова истраживања фокусирана су на синтезу и карактеризацију стакло-керамичких материјала добијених од базалтних стена. Ови материјали представљају значајан потенцијал у различитим применама, укључујући инжењерску, и енергетску индустрију, као и индустрију рударства. Поред тога, учествовао је у синтези и карактеризацији високо ентропијских керамичких материјала, што представља нов приступ у разумевању и развоју материјала са посебним особинама и применама у напредним технологијама, укључујући електронику, магнетизам и катализу. Овај интердисциплинарни приступ отвара нове могућности за иновације и примену у различитим областима науке и технологије. Заједно са колегама са факултета и

истраживачком групом којој припада објавио је неколико научних радова и саопштења, од којих су три објављена у часописима са SCI листе.

2. Предмет и циљ истраживања

Научна област којој припада предложена тема докторске дисертације је Геологија, а ужа научна област Фундаментална и примењена минералогичка, за које је матична установа Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

Почетни материјал коришћен за синтезу стакло-керамичких узорака је базалт пореклом са локалитета „Врело“ који се налази на јужним падинама Копаоника. Базалт има широку примену у различитим гранама индустрије због својих изузетних механичких својстава, високог односа чврстоће и тежине, као и отпорности на корозију и хабање. Примену проналази као агрегат за бетон и асфалт за изградњу путева као и за производњу влакана која се користе у композитним материјалима у грађевинској индустрији. Такође, базалт је сировина за производњу стакло-керамичких композита и има јединствене карактеристике попут побољшаних термичких и механичких својстава, што га чини посебно погодним за специфичне примене у ваздухопловству, аутомобилској индустрији и системима одбране.

Поред базалта Врела, јаловина, односно шљака из Бора је такође коришћена као почетни материјал за синтезу стакло-керамичких композита. Јаловина је преостали материјал који остаје након што су корисни минерали извађени из руде током рударских операција. Често састојећи се од мешавине ситно млевене стене, воде и хемикалија, јаловина представља значајан еколошки изазов због њене способности да испира штетне супстанце у околне екосистеме. Међутим, поновна употреба јаловине у производњи стакло-керамике нуди обећавајући правац за еколошку одрживост. Укључивањем јаловине у почетне материјале за синтезу стакло-керамике може се смањити количина отпада на депонијама. Осим тога, високе температуре потребне за производњу стакло-керамике могу помоћи да се имобилизују евентуални штетни елементи присутни у јаловиштима, минимизирајући њихов еколошки утицај. Дакле, коришћење јаловине у производњи стакло-керамике не само да решава питање управљања отпадом, већ доприноси и очувању природних ресурса и смањењу еколошког загађења. Поред потенцијално позитивног еколошког утицаја, јаловина која је додата базалту при синтези стакло-керамике побољшава механичка и магнетна својства добијеног материјала.

Главни циљ овог истраживања је да испита структурне, морфолошке, механичке и термичке особине стакло-керамичких композита добијених из базалта, са посебним освртом на оне који потичу из региона Врела. Употребом низа напредних аналитичких техника, као што су рендгенска дифракција праха, скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивном рендгенском спектроскопијом, високотемпературна рендгенска дифракција и диференцијална термичка анализа, рендгенска флуоресценција, микроиндентација, анализа савојне чврстоће, испитивање Јунговог модула еластичности, топлотна дифузивност, проводност и капацитивност, ова студија има за циљ да испита сложене процесе кристализације и фазне прелазе које их прате, као и механичку, хемијску и термичку стабилност ових материјала у екстремним условима који обухватају балистичке ударе и утицај гама зрачења.

Значај овог истраживања се огледа у могућности да допринесе развоју нових материјала са особинама прилагођеним за специфичне примене. Кроз разумевање развоја микроструктуре и својстава добијених материјала, ово истраживање има за

циљ да одговори на важне изазове и питања у областима балистичке заштите и заштите од зрачења, што ће унапредити постојећа знања у науци о материјалима.

3. Полазне хипотезе

Предложена тема истражује иновативну употребу природних материјала, попут базалта Врела и металуршких нуспродуката као што су шљака из Бора и челична мрежа, за синтезу стакло-керамичких композита [1, 2, 3, 4, 5]. Ови композити имају потенцијал за значајну примену у балистичкој заштити и заштити од зрачења, где је употреба одговарајућих материјала од пресудног значаја [6, 7].

Стакла су традиционално коришћена у балистичкој заштити због својих особина крте деформације, које подразумевају ефикасну апсорпцију кинетичке енергије пројектила, услед чега долази до смањења његовог деструктивног потенцијала. Ово истраживање иде корак даље, користећи не само крте деформације стакла, већ и еластичне деформације челичне жичане мреже. Комбинацијом ова два механизма деформације, циљ је потпуно смањити деструктивну моћ пројектила, чиме се унапређује балистичка заштита.

Синтетисани материјали различитих састава и структура биће испитани како би се проценио њихов потенцијал за различите примене. Ови материјали су:

- Базалт са 5 теж% шљаке: Истраживање утицаја мале количине шљаке на особине базалта.
- Базалт подвргнут грејању и мешан са 10 теж% шљаке: Анализа утицаја термичке обраде и веће концентрације шљаке на базалт.
- Базалт са 20 теж% шљаке: Испитивање карактеристика базалта са већим процентом шљаке.
- Базалт комбинован са челичном мрежом у сендвич-композитној структури: Истраживање утицаја укључивања челичне мреже у састав базалтних композита, са посебним нагласком на централну компоненту од А2 челика.
- Базалт мешан са 10 теж% шљаке и челичном мрежом као сендвич-композитом: Испитивање комбинованих ефеката укључивања шљаке и ојачавања челичном мрежом.

Сваки од материјала различитог састава процењује се у стању стакла, као и након термичке обраде услед које се дешава прелаз у стакло-керамички материјал. Оваква двострука процена омогућава свеобухватно разумевање особина материјала и његовог понашања у различитим условима [8, 9, 10].

Осим тога, истраживање се спроводи са циљем доласка до решења која су не само ефикасна, већ и економски исплатива и еколошки прихватљива. Коришћењем природних материјала попут базалта и укључивањем металуршких нуспродуката попут шљаке, истраживање тежи развоју композитних материјала који су одрживи и економични. Такође, укључивање челичне жичане мреже побољшава издржљивост и ефикасност балистичком заштитном систему.

Кроз темељно испитивање и експериментисање, ово истраживање има за циљ да

унапреди разумевање ових нових стакло-керамичких композита и њихов потенцијал за примену у балистичкој заштити и заштити од зрачења. Прилагођавањем и унапређивањем њихових особина, ови материјали имају потенцијал да унапреде заштиту уз истовремену еколошку одрживост и економску исплативост.

Референце споменуте у тексту:

1. Pavkov, Vladimir, Gordana Bakić, Vesna Maksimović, Ivana Cvijović-Alagić, Dušan Bučevac, and Branko Matović. "Novel basalt-stainless steel composite materials with improved fracture toughness." *Science of Sintering* 55, no. 2 (2023): 145-158.
2. Čikara, Dejan, Aleksandar Todić, and Čikara Deana Anić. "Possibilities of production of wear resistant construction elements by processing of Serbian basalt." *FME Transactions* 38, no. 4 (2010): 203-207.
3. de Lima, Luiza Felippi, Janete E. Zorzi, and Robinson CD Cruz. "Basaltic glass-ceramic: A short review." *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 61, no. 1 (2022): 2-12.
4. Pavkov, Vladimir, Gordana Bakić, Vesna Maksimović, Ivana Cvijović-Alagić, Marija Prekajski-Dordjević, Dušan Bucevac, and Branko Matović. "High-density ceramics obtained by andesite basalt sintering." *Processing and Application of Ceramics* 16, no. 2 (2022): 143-152.
5. Cetin, Suna, Mauro Marangoni, and Enrico Bernardo. "Lightweight glass-ceramic tiles from the sintering of mining tailings." *Ceramics International* 41, no. 4 (2015): 5294-5300.
6. Benitez, Tobias, Sergio Y. Gómez, Antonio Pedro Novaes de Oliveira, Nahum Travitzky, and Dachamir Hotza. "Transparent ceramic and glass-ceramic materials for armor applications." *Ceramics International* 43, no. 16 (2017): 13031-13046.
7. Gallo, Leonardo Sant'Ana, Mariana OC Villas Boas, Ana CM Rodrigues, Francisco CL Melo, and Edgar D. Zanotto. "Transparent glass-ceramics for ballistic protection: materials and challenges." *Journal of Materials Research and Technology* 8, no. 3 (2019): 3357-3372.
8. Babievskaya, I. Z., N. F. Drobot, S. V. Fomichev, and V. A. Krenev. "Physicochemical modeling of basalt melt generation for petrugy." *Inorganic Materials* 44 (2008): 1334-1340.
9. Yilmaz, Senol, Osman T. Özkan, and Volkan Günay. "Crystallization kinetics of basalt glass." *Ceramics International* 22, no. 6 (1996): 477-481.
10. Klein, J. M., K. M. S. da Silva, A. P. Titton, R. C. D. Cruz, C. A. Perottoni, and J. E. Zorzi. "Microstructure and mechanical properties of a nucleant-free basaltic glass-ceramic." *Materials Science and Technology* 35, no. 5 (2019): 544-551.

4. Научне методе истраживања

Композити су синтетисани методом запреминске кристализације која подразумева употребу прахова или растопа за синтезу стакло-керамичких материјала. Метода подразумева да се почетни материјал прво меље у фини прах или растопи како би се добио хомоген течни материјал. Затим се растоп брзо хлади како би се изазвала витрификација, што доводи до формирања аморфног стакла. Након тога, стакло се подвргава контролисаном термичком третману, обично на повишеним температурама,

како би дошло до нуклеације и кристализације у стакленој матрици. То доводи до настанка кристалних фаза унутар стаклене матрице, односно до настанка стакло-керамичких материјала. Предност методе запреминске кристализације је прецизна контрола састава, униформна дистрибуција кристалних фаза и могућност прилагођавања својстава материјала за специфичне примене.

С обзиром да су стакло-керамички композити већ синтетисани и делом карактеризовани, карактеризација и даље није у потпуности одрађена. Методе предвиђене за карактеризацију синтетисаних узорака су:

- Рендгенска дифракција праха (XRPD): XRPD је коришћен за анализу кристалних фаза присутних у материјалима, пружајући увид у њихову структуру и чистоћу фаза.
- Скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивном рендгенском спектроскопијом (SEM-EDS): SEM-EDS је коришћен за испитивање морфологије површине и елементарног састава узорака, пружајући детаљне увиде у њихову микроструктуру и хемијски састав.
- Високотемпературна рендгенска дифракција (HT-XRD): HT-XRD има кључну улогу у испитивању понашања материјала на високим температурама, омогућавајући препознавања фазних прелаза и кристалних трансформација током термичког третмана.
- Фуријеова трансформација инфрацрвене спектроскопије (FTIR): FTIR је коришћен за анализу функционалних група присутних у материјалима, пружајући увиде у њихову хемијску структуру и везе.
- Рендгенска флуоресцентна анализа (XRF): XRF анализа је пружила квантитативне податке о хемијском саставу материјала, помажући у свеобухватном разумевању елементарних састојака и омогућавајући прецизну контролу над њиховим саставом.

Термичке анализе: Технике термичке анализе коришћене су за испитивање термичког понашања материјала током циклуса загревања и хлађења, пружајући увиде у фазне прелазе, термичку стабилност и путеве декомпозиције.

- Диференцијална термичка анализа (DTA): DTA је коришћена за проучавање термичких својстава материјала, укључујући температуру стакластог прелаза (T_g) и температуру врхунца кристализације (T_x), пружајући кључне информације о њиховим термичким особинама и стабилности
- Диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC): DSC је коришћен за проучавање топлотног тока и термичких прелаза у материјалима, пружајући информације о тачкама топљења, температурама кристализације и топлотним капацитетима, што је кључно за разумевање њиховог термичког понашања.
- Диференцијална термогравиметрија (DTG): DTG анализа допуњава резултате DTA и TGA анализа, пружајући додатне увиде у процесу термичке декомпозиције, као што је идентификација губитка масе.
- Термогравиметријска анализа (TGA): TGA је коришћена за испитивање термичке стабилности и декомпозиције материјала, омогућавајући препознавање губитка масе и температуре декомпозиције под контролисаним условима загревања.

Механичке анализе: За испитивање механичких особина узорака биће рађена савојна чврстоћа, компресивна чврстоћа и Викерсова метода микро-идентације. Резултати ових испитивања ће пружити корисне информације о могућност примене ових узорака у балистичкој заштити.

Након карактеризације узорака биће одрађена балистичка испитивања као и

испитивања за заштиту од гама зрачења.

5. План истраживања и структура рада

План истраживања укључује синтезу и карактеризацију композита, као и даља испитивања за потенцијалну примену. Прелиминарни резултати показују да је синтеза изводљива и поновљива. Истраживање се може грубо поделити у три целине: синтеза, карактеризација и експерименти за примену материјала. Планирано истраживање за потребе израде докторске дисертације обухваћено је кроз неколико фаза:

Фаза 1. Преглед литературе и припрема за теренска испитивања; прикупљање и обрада литературних података о базалту Врела.

Фаза 2. Теренска истраживања усмерена су на узорковање стена у Врелу у општини Брус за лабораторијска испитивања; и због коришћења као сировог материјала за синтезу жељених стакло-керамичких композита

Фаза 3. Припрема узорака за даља лабораторијска испитивања (израда препарата, спрашивање узорака итд., израда стене за испитивање физичко-механичких својстава)

Фаза 4. Детаљна петрографска испитивања свих узорака и одабир узорака за даља морфолошка и хемијска испитивања

Фаза 5. Хемијска (XRF и LA-ICP-MS) испитивања ради детаљније одредбе хемијског састава базалта и јаловине; одређивање садржаја макро- и микроелемената у циљу дефинисање њихове мобилности односно индекса површинског распадања

Фаза 6. SEM-EDS, XRD и HT-XRD испитивања тока стапања и кристализације базалта због оптимизације процеса синтезе стакло-керамичких композита као и SEM анализа морфолошких карактеристика базалта, базалтног стакла и добијених продуката.

Фаза 7. Испитивање физичко-механичких карактеристика, базалта, базалтног стакла, базалтне стакло-керемике и стакло-керамичких композита.

Фаза 8. Балистичка испитивања по различитим стандардима и излагање узорака гама зрачењу ради испитивања отпорности узорака на пројектиле и радијацију.

Истраживања 1. фазе се односе на прикупљање података претходних геолошких истраживања и научних публикација везаних за досадашња истраживања базалта Врела као и претходна истраживања и научне публикације везане за стакло и стакло-керамику добијену коришћењем базалта као полазног материјала. Највећим делом ова фаза рада је извршена током докторских студија на Рударско-геолошком факултету током израде семинарских радова и истраживачких студија, али се планира и њен наставак током израде дисертације.

Истраживања 2. и 3. фазе су највећим делом завршена. Обухватила су теренски рад и узорковање базалта. Припрема узорака за лабораторијска испитивања је завршена.

Истраживања 4. и 5. фазе су у највећој мери завршена, а добијени резултати иницирају наставак и допуну ових фаза истраживања у складу са резултатима који су добијени.

Испитивања 6. фазе су урађена, а добијени резултати су помогли у оптимизацији синтезе жељених узорака, односно стакло-керамичких композита.

8. фаза је финална у изради докторске дисертације. Балистичка испитивања ће бити завршена до краја 2024. године, а испитивање на отпорност од гама зрачења ће бити завршена у истом периоду.

6. Очекивани научни допринос

Предмет докторске дисертације је стакло-керамички композит добијен од базалта са шљаком, већ делом обрађен у досадашњем току научних истраживања, својим резултатима од изузетног значаја за научну и индустријску јавност која се бави стакло-керамичким материјалима који проналазе примену у различитим областима индустрије, посебно у балистичкој протекцији и заштити од радиоактивног зрачења,

- Добијени резултати пружиће могућност за потенцијалну примену неискоришћеног лежишта базалта Врела, али и за решавање проблема јаловишта код Бора, што би било представљено у виду еколошки свесног материјала с циљем одрживог развоја и заштите животне средине. Стакло-керамички материјали добијени од базалта у претходним научним радовима су преваходно налазили потенцијалну примену у грађевинској индустрији где аутори нису покушавали да синтетизују композитне материјале већ су синтетисали своје узорке из искључиво једног извора, базалта.
- У овом раду поред различите потенцијалне примене стакло-керамичких материјала добијених од базалта као почетног материјала, ради еколошких потреба данашњице, јаловина служи као композитни агрегат ради побољшања карактеристика стакло-керамичког материјала у поређењу са материјалом који не садржи исту јаловину користећи традиционалну методу синтетисања стакло-керемике, односно користећи методу запреминске кристализације.
- Добијени материјал ће поред потенцијалне примене у балистичкој заштити и заштити од радиоактивног зрачења у будућности, ако се настави развијање ових материјала, наћи примену и у другим областима, на пример у оптици у виду сочива и/или огледала, грађевинској и архитектонској индустрији у виду плочица које имају висок отпор на хабање и слично.

На основу свих добијених резултата, кандидат ће моћи да добије високоприменљив и иновативан материјал користећи домаће и природне ресурсе.

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата **Алексе Луковића**, мастер геолога, студента докторских студија, а сходно одлуци бр. 1/149 Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета донетој 18.4.2024. године Комисија за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, закључује да је предложена тема научно утемељена и примерена за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на предложеној докторској дисертацији.

Кандидат Алекса Луковић, мастер геолог, поседује искуство у научној области о материјалима. До сада је објавио укупно 11 радова и саопштења, од којих су три научни радови публикован у међународним часописима са SCI листе.

Комисија сматра да је предложени наслов **„Базалт Врела као извор за добијање стакло-керамичких композита”**, према одговарајућим циљевима и методама истраживања ове докторске дисертације, одговарајући и предлаже да се исти усвоји.

Предложена тема докторске дисертације припада научној области Геонауке, ужој научној области Фундаментална и примењена минералологија, за које је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

Током рада на докторској дисертацији, за менторе се кандидату предлажу **др Даница Срећковић-Батоћанин**, редовни професор, са Катедре за петрологију и геохемију Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и **др Јелена Малеташкић**, виши научни сарадник, из Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.

У Београду, 16. маја 2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Даница Срећковић-Батоћанин, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Јелена Малеташкић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“

Др Сузана Ерић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Предраг Дабић, научни сарадник
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Мира Цоцић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору