

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ-
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

11120 Београд 35, ул. Ђушина 7
Тел: (011) 3219-101, Факс: (011) 3235-539



**UNIVERSITY OF BELGRADE,
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY**

Republic of Serbia, Belgrade, Djusina 7
Phone:(381 11) 3219-101, Fax:(381 11) 3235-539

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- Веће научних области техничких наука-

БЕОГРАД
Студентски трг бр. 1

Достављамо вам:

- Образац захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације Миљане Мирковић, дипл. инж. геологије, ради поступка у смислу важећих законских прописа.
- Одлуку Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду о усвајању извештаја Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме за израду докторске дисертације.
- Подаци о ментору
- Извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме за израду докторске дисертације.

**Шеф Одељења за студентска
и наставна питања**

Љиљана Колоња, дипл. инж. рударства

Факултет : Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

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

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације**

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

„СИНТЕЗА, КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И ПРИМЕНА МОНЕТИТСКИХ И Sr-ФОСФАТНИХ МАТЕРИЈАЛА “

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Гео-наукеСтудијски програм: Геологија

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Миљана (Михаило) Мирковић, дипл. инж. геологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање:

Универзитет у Београду-Рударско-геолошки факултет3. Година дипломирања: 2010.4. Назив магистарске тезе кандидата: /Година уписа докторских студија: школска 2010/2011. год.5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /6. Година одбране магистарске тезе: /Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 21.04.2016. год. размотрило предложену тему и закључило да је тема

подобна за израду докторске дисертације

ДЕКАН**Рударско-геолошког факултета**Проф. др Душан Полочич**Прилог: 1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем****Прилог: 2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације**

На основу члана 30. Закона о високом образовању, члана 111. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 23. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука – пречишћен текст, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 21.04.2016. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације **Миљане Мирковић, дипл. инж. геологије**.
2. Одобрава се именованој израда докторске дисертације под насловом *„Синтеза, карактеризација и примена монетитских и Sr-фосфатних материјала“*.
3. За ментора се именује др Александра Росић, ванр. проф.
4. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Душан Поломчић, ред. проф.

Достављено:

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Миљану Мирковић, дипл. инж. геологије

Име и презиме ментора: **др Александра Росић**

Звање: **ванредни професор** Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Novakovic, T., Rozic, L.J., Petrovic, S., **Rosic, A.**, *Synthesis and characterization of acid-activated Serbian smectite clays obtained by statistically designed experiments*, Chemical Engineering Journal, 2008, 137 (2), 436-442. ISSN: 1385-8947; IF:2,813 **M₂₁**
2. Komljenović, M., Petrašinović-Stojkanović, L.J., Bašcarević, Z., Jovanović, N. and **Rosić, A.**, "Fly Ash as the Potential Raw Mixture Component for Portland Cement Clinker Synthesis", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2009, vol. 96 (2), 363-368. ISSN: 1388-6150; IF:1,587 **M₂₃**
3. Bankovic, P., Milutinovic_Nikolic, A., **Rosic, A.**, Jovic_Jovic N. and Jovanovic, D., *Structural and Textural Properties of Al,Fe_Pillared Clay Catalysts**, Russian Journal of Physical Chemistry A, 2009, vol. 83, No. 9, pp. 1485-1489. ISSN: 0036-0244; IF: 0,438 **M₂₃**
4. Bankovic, P., Milutinovic-Nikolic, A., Mojovic, Z., **Rosic, A.**, Cupic, Z., Loncarevic, D., Jovanovic, D., *Toluen Degradation in Water Using AlFe-Pillared Clay Catalysts*, Chinese Journal of Catalysts, 2009, 30 (1), 14-18. ISSN:0253-9837; IF 0,786 **M₂₃**
5. Štrbac, N., Mihajlović, I., Andrić, V., Živković, Ž., **Rosić, A.**, *Kinetic investigations of two processes for zinc recovery from zinc plant residue*, Canadian Metallurgical Quarterly, 2011, **50**(1), 28-36. ISSN: 0008-4433; IF=0,443 <http://dx.doi.org/10.1179/000844311X552287> **M₂₃**
6. Cvetkovic, Z., Logar, M., **Rosic, A.** and Ciric, A., *Mineral composition of the airborne particles in the coal dust and fly ash of the Kolubara basin (Serbia)*, Periodico di Mineralogia, 2012, **81**(2), 205-223. ISSN: 2239-1002 (0369-8963), IF=0,7036 <http://dx.doi.org/10.2451/2012PM00> **M₂₃**
7. Cvetkovic, Z., Logar, M., **Rosic, A.**, *Mineralogy and characterization of deposited particles of the aero sediments collected in the vicinity of power plants and the open pit coal mine: Kolubara (Serbia)*, Environmental Science and Pollution Research (ENVIRON SCI POLLUT R), 2013, **20**(5), 3034-3049. ISSN: 0944-1344 (print version); IF=2,651. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-012-1154-z> **M₂₁**
8. Miletic, V., Nikola Jakovljevic, N., Manojlovic, D., Jovana Marjanovic, J., **Rosic, A.A.**, Dramicanin, M., *Refractive indices of unfilled resin mixtures and cured composites related to color and translucency of conventional and low-shrinkage composites*, Journal of Biomedical Materials Research, Part B, Applied Biomaterials, 2015. ISSN (on line): 1552-4981; IF=2,759 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jbm.b.33523/pdf> **M₂₃**
9. Mirković, M.M., Lazarević Pašti, T.D., Došen, A.M., Čebela, M.Ž., **Rosić, A.A.**, Matović, B.Z. and Babić, B.M. *Adsorption of malathion on mesoporous Monetite obtained by mechanochemical treatment of Brushite*, RSC Advances, 2016, vol.6, (15), p. 12219-12225. ISSN: 2046-2069 IF=3,84 DOI: 10.1039/C5RA27554G. **M₂₁**

Датум:

25. 3. 2016.

Декан

др Душан Полочић, ред. проф.

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Миљане Мирковић дипл. инж. геологије, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, број 1/67 од 3. марта 2016. године, именовани смо у Комисију за оцену подобности теме, кандидата и ментора докторске дисертације под називом:

„Синтеза, карактеризација и примена монетитских и Sr-фосфатних материјала”

коју је предложила дипл. инж. геологије **Миљана Мирковић**, истраживач-сарадник, у својој пријави бр 1/29 од 2. фебруара 2016. године.

Комисија у саставу:

- др Александра Росић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
- др Предраг Вулић, научни сарадник, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
- др Сузана Ерић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет и
- др Марија Прекајски, научни сарадник Института нуклеарних наука Винча, прегледала је достављени материјал и подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Миљана Мирковић (рођ. Миљевић) рођена је 1986. године у Београду. Основну и средњу школу завршила је у Београду. Након завршене средње Геолошке и хидрометеоролошке школе, школске 2005/2006. године, уписала је академске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду.

Дипломирала је 2010. године на Департману за минералологију и кристалографију, са темом дипломског рада: „*Фазне и морфолошке карактеристике уринарног камења.*“ Исте,

2010. године, уписала је докторске студије на Рударско-геолошком факултету, студијски програм Геологија.

Од фебруара 2011. године запослена је у Лабораторији за материјале, Института за Нуклеарне науке „Винча“, где је ангажована на пројекту Министарства науке, просвете и технолошког развоја, под називом „Синтеза, процесирање и карактеризација наноструктурних материјала за примену у области енергије, механичког инжењерства, заштите животне средине и биомедицине“, (број ИИИ 45012) под руководством др Бранка Матовића, научног саветника ИИН „Винча“. У оквиру овог пројекта активно ради на истраживањима везаним за проблематику потенцијалне докторске дисертације.

Миљана Мирковић аутор је и коаутор у седам научних и стручних радова који су објављени у међународним часописима са рецензијом и у домаћим часописима. Аутор је шест саопштења са скупова међународног и три националног значаја штампаних у изводу. Од страних језика, Миљана Мирковић течно говори енглески језик, а служи се руским језиком. Члан је Друштва за керамичке материјале Србије (ДКМС) - The Serbian Society for Ceramics Materials (CSCS).

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Докторске студије на студијском програму Геологија, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, Миљана Мирковић уписала је школске 2010/2011. године. По упису докторских студија ангажована је као истраживач-приправник, а од 2. 12. 2011. године и као истраживач-сарадник у Лабораторији за материјале ИИН „Винча“, на пројекту основних научних истраживања Министарства просвете, науке и технолошког развоја, под насловом „Синтеза, процесирање и карактеризација наноструктурних материјала за примену у области енергије, механичког инжењерства, заштите животне средине и биомедицине“ (ИИИ 45012). На основу решења број 5/27, издатог 8. 8. 2012. године, а на основу чл. 48. Статута Института за нуклеарне науке „Винча“ Миљана Мирковић одсуствовала је са посла због породичног одсуства и неге детета (за прву трудноћу) у периоду од 1. 4. 2012. до 31. 3. 2013. године. Сада је студент завршне године докторских студија што је у складу са Правилником о студирању на докторским студијама и Статутом Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

Паралелно са успешном реализацијом обавеза везаних за докторске студије, била је врло активна у Лабораторији за идентификацију и структурну карактеризацију материјала помоћу рендгенског зрачења, која је у оквиру Лабораторије за материјале у ИИН „Винча“. У том периоду потпуно је савладала све аспекте методе рендгенске дифракције за испитивање поликристалних материјала.

Од почетка докторских студија, Миљана Мирковић објавила је следеће радове:

Категорија M21:

1. **M.M. Mirković**, T.D. Lazarević Pašti, A.M. Došen, M.Ž. Čebela, A.A. Rosić, B.Z. Matović, B.M. Babić, *"Adsorption of malathion on mesoporous monetite obtained by mechanochemical treatment of brushite"*, Royal Society of Chemistry Advances, 6 [15] (2016) 12219-12225, IF: 3.907, ISSN: 2046-2069.

2. Marija Prekajski, **Miljana Mirković**, Bratislav Todorović, Aleksandar Matković, Milena Marinović-Cincović, Jelena Luković, Branko Matović, “*Ouzo effect-New simple nanoemulsion method for synthesis of strontium hydroxylapatite nanospheres*”, Journal of the European Ceramic Society, 36 [5] (2016) 1293-1298, IF: 3.00, ISSN: 0955-2219.
3. Branko Matović, Jelena Pantić, Jelena Luković, Maria Čebela, Svetlana Dmitrović, **Miljana Mirković**, Marija Prekajski, “*A novel reduction-oxidation synthetic route for hafnia*”, Ceramics International, 42 [1] (2016) 615-620, IF: 2.605, ISSN: 0272-8842.
4. Conić, D., Gradišek, A., Radaković, J., Iordoc, M., **Mirković, M.**, Čebela, M., Batalović, K., “*Influence of Ta and Nb on the hydrogen absorption kinetics in Zr-based alloys*”, International Journal of Hydrogen Energy, 40 [16] (2015) 5677-5682, IF: 3.659, ISSN: 0360-3199.

Категорија M22:

1. Snežana S. Nenadović, Ljiljana M. Kljajević, Miloš T. Nenadović, **Miljana M. Mirković**, Smilja B. Marković, Zlatko Lj. Rakočević, “*Mechanochemical treatment and structural properties of lead adsorption on kaolinite (Rudovci, Serbia)*”, Environmental Earth Sciences, 73 [11] (2015) 7669-7677, IF: 2.013, ISSN: 1866-6280.

Категорија M52:

1. B. Matović, J. Pantić, J. Luković, S. Ilić, N. Stanković, M. Kokunešovski, **M. Miljević**, “*Synthesis and characterization of (Ba,Yb) doped ceria nanopowders*”, Processing and Application of Ceramics, 5 [2] (2011) 69–72, DOI:10.2298/PAC1102069M.
2. Nadežda Stanković, Mihovil Logar, Jelena Luković, Jelena Pantić, **Miljana Miljević**, Biljana Babić, Ana Radosavljević-Mihajlović, “*Characterization of bentonite clay from “Greda” deposit*”, Processing and Application of Ceramics, 5 [2] 97-101 (2011), DOI:10.2298/PAC1102097S.

Миљана Мирковић до сада је учествовала на неколико научних конференција на којима је презентovala своја истраживања:

- Conference for Young Scientists in Ceramics, 10th Students Meeting and 3rd ESR COST MP0904 Workshop, November 6-9, 2013, Novi Sad, Serbia, Book of Abstracts, 82 (усмено излагање).
- 2th Conference of The Serbian Ceramic Society, June 5-7, 2013, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts 79 (постер презентација).
- Twelfth Young Researchers' Conference - Materials Science and Engineering, December 11-13, 2013, in Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, 35 (усмено излагање).
- Synthesis of Monetite (CaHPO₄) by mechanochemical treatment of Brushite (CaHPO₄·2H₂O), Second regional roundtable: Refractory, process industry and nanotechnology ROSOV PIN 2014, October 23-24, 2014. Andrevlje, Fruška Gora, Serbia, Book of Abstracts, 131 (постер презентација).
- 3rd Conference of The Serbian Society For Ceramic Materials, June 15-17, 2015. Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, 88 (постер презентација).

- 11th Conference for young scientists in ceramics, October 21-24, 2015, in Novi Sad, Serbia, Book of Abstracts, 71 (усмено излагање).
- Fourteenth researchers' conference, Materials science and engineering, December 9-11, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, 9 (усмено излагање).

У току докторских студија Миљана Мирковић положила је све испите предвиђене планом и програмом студијског програма Геологија и то:

Предмет	Година	ЕСПБ	Оцена
Теренска или лабораторијска активност	1	10	10
Оптичка кристалографија	1	10	10
Инструменти и методе у кристалографији	1	10	10
Кристалографија-одабрана поглавља	1	10	10
Инструментална минералогичка-одабрана поглавља	1	10	10
Кристалографија савремених материјала-одабрана поглавља	1	10	10
Физичка кристалографија	2	10	10
Специјална поглавља из генетске минералогичке	2	10	6
Семинарски рад (везан за тему докторске дисертације)	2	10	10
Студијски истраживачки рад (везан за тему докторске дисертације)	2	10	10
Израда докторске дисертације	2	20	10
Студијски истраживачки рад (везан за докторску дисертацију)	3	10	10
Израда докторске дисертације	3	20	10
Студијски истраживачки рад (везан за докторску дисертацију)	3	10	10

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Миљана Мирковић студент је завршне године докторских студија на студијском програму Геологија, има стручну спрему дипломирани инжењер геологије - за минералогичку и кристалографију, објављене научне радове и саопштења на научним скуповима, као и учешће на пројекту. На основу изнетих показатеља, Комисија констатује да кандидат поседује све формалне услове за рад на докторској дисертацији са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Минерали из групе фосфата у природи се јављају у различитим врстама магматских, метаморфних и седиментних стена. Фосфати калцијума, као руда, најзначајнији су и највећи извор фосфора. Поред тога, представљају и основу глобалног циклуса кружења фосфора у природи. Кристалохемијске особине фосфата, па и апатита као најзначајнијег међу њима, су такве да дозвољавају врло велики број хемијских измена, укључујући и значајан број катјона метала (K^+ , Na^+ , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Y^{3+} , Ce^{3+} и РЕЕ), који могу заменити Ca^{2+} у структури. Анјонски комплекси (AsO_4^{3-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , SiO_4^{4-}) најчешће у структури замењују PO_4^{3-} . Значај примене материјала из групе фосфата, а посебно различитих апатита, у последњих 20 година изузетно је велики. Захваљујући њиховим структурним и хемијским особинама ови материјали могу се користити као имплантни материјали и носачи лекова. Такође, због својих изузетних адсорпционих карактеристика и економичности могу се користити у области заштите животне средине за отклањање органских загађивача из водених раствора. Насупрот условима под којима ови минерали настају у природи, за њихово лабораторијско добијање користе се знатно ниже температуре и притисци. Постоји велики број метода које се могу користити за добијање одабраних материјала из ове велике групе. Ове методе знатно се разликују по једноставности и економској исплативости. Развијање једноставнијих и економски исплативијих процеса синтезе у односу на до сада познате методе за добијање фосфатних материјала одређених структурних, хемијских и морфолошких карактеристика, као и њихова потенцијална примена представља истраживачки изазов.

Досадашња истраживања материјала из групе фосфата углавном су била усмерена на развијање различитих метода за њихово добијање. Развијање и унапређење великог броја метода било је у циљу добијања материјала различитих структурних и морфолошких особина као и тачне хемијске стехиометрије. Ове три особине изузетно су важне због даље примене самих материјала. У прегледном раду који је дала група аутора (Lin, 2014) обухваћене су досадашње синтезе калцијум-фосфатних материјала као и морфолошке карактеристике материјала добијених одређеним методама синтезе.

За добијање материјала на бази монетита ($CaHPO_4$, - DCPA) до сада су коришћене многе методе синтезе као што су: сол-гел, копреципитација, микроемулзија, хидротермална метода. Најчешће коришћена метода од претходно поменутих је двостепено термичко загревање брушита ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) на $220^\circ C$ (Frost, 2011, Schofield, 2004, Dosen, 2011). Досадашња истраживања на бази добијања карбонатно-стронцијско измењеног хидроксипатитског материјала (опште формуле: $Sr_{10}(PO_4)_6(OH)_{2-2x}(CO_3)_x$ - CSrHAp) односила су се највише на синтезу овог материјала коришћењем: сол-гел поступка (Balamurugan, 2009), хидротермалне (Lin, 2013) и преципитационе (Shen, 2012) методе.

Основни циљеви истраживања:

- Синтеза мезопорозног монетитског материјала ($CaHPO_4$) новом методом - млевењем претходно синтетисаног брушитног материјала ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) у вибрационом млину - механохемијска метода синтезе.
- Изучавање еволуције фазне трансформације брушит-монетит, током различитих периода млевења у вибрационом млину: 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 минута, као и дефинисање најоптималнијег периода млевења за добијање монетита.

- Изучавање структурних, морфолошких и микроструктурних особина добијеног монетитског материјала.
- Проучавање могућности примене добијеног мезопорозног монетита као адсорбента за уклањање органофосфатног пестицида малатиона из воденог раствора, као и одређивање физиолошких ефеката токсичности након адсорпције малатиона монетитом.
- Модификовање и побољшавање новог начина синтезе стронцијско карбонатног хидроксиапатитског материјала $\text{Sr}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{0,60}(\text{CO}_3)_{0,70}$ коришћењем „Оузо“ ефекта - метода наноемулзије.
- Испитивање структурних карактеристика новонасталог стронцијско карбонатног хидроксиапатитског материјала уз помоћ Ритвелдове методе утацњавања структурних података са поликристалног материјала, што је први пут до сада за овај тип материјала.
- Интерпретација резултата добијених утацњавањем структурних карактеристика: ближе прецизирање хемијског састава и структурних параметара добијеног материјала.
- Синтеза материјала дефинисаних наночестичних димензија и морфологије, у циљу потенцијалне примене у области биоматеријала.

Литература:

- Balamurugan, A., Balossier, G., Torres, P., Michel, J., and Ferreira, J.M.F. (2009) Sol–gel synthesis and spectrometric structural evaluation of strontium substituted hydroxyapatite. *Materials Science and Engineering: C*, 29(3), 1006-1009.
- Dosen, A., and Giese, R.F. (2011) Thermal decomposition of brushite, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ to monetite CaHPO_4 and the formation of an amorphous phase. *American Mineralogist*, 96(2-3), 368-373.
- Frost, R.L., and Palmer, S.J. (2011) Thermal stability of the ‘cave’ mineral brushite $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – Mechanism of formation and decomposition. *Thermochimica Acta*, 521(1–2), 14-17.
- Lin, K., Liu, P., Wei, L., Zou, Z., Zhang, W., Qian, Y., Shen, Y., and Chang, J. (2013) Strontium substituted hydroxyapatite porous microspheres: Surfactant-free hydrothermal synthesis, enhanced biological response and sustained drug release. *Chemical Engineering Journal*, 222, 49-59.
- Lin, K., Wu, C., and Chang, J. (2014) Advances in synthesis of calcium phosphate crystals with controlled size and shape. *Acta Biomaterialia*, 10(10), 4071-4102.
- Schofield, P.F., Knight, K.S., and van der Houwen, J.A.M. (2004) The role of hydrogen bonding in the thermal and dehydration of brushite. *Physics and Chemistry of Minerals*, 31, 606-624.
- Shen, Y., Liu, J., Lin, K., and Zhang, W. (2012) Synthesis of strontium substituted hydroxyapatite whiskers used as bioactive and mechanical reinforcement material. *Materials Letters*, 70, 76-79.

3. Полазне хипотезе

Докторска дисертација под називом „Синтеза, карактеризација и примена монетитских и Sr-фосфатних материјала“, има основни циљ да развије једноставније и економски исплативије методе синтезе монетита мезопорозних карактеристика и карбонатно строцијског хидроксиapatита наносферичне морфологије. Механохемијска метода синтезе коришћењем вибрационог млина до сада није коришћена за добијање мезопорозног монетитског материјала. Постоји мањи број публикација које су везане за испитивање механохемијског утицаја на монетит, али само у случајевима када он настаје као секундарна фаза приликом синтезе неког од материјала из групе калцијум-фосфата, најчешће хидроксиapatита. Због флексибилности и једноставности, механохемијски процеси имају велику примену у синтези материјала. Поред тога, ова метода спада и у еколошки и економски пожељне методе јер се њеном променом користи знатно мања количина енергије, а и емисија штетних производа у животну средину се смањује. Такође, мезопорозни материјали имају изузетно повољне карактеристике за адсорпцију ортофосфатних једињења. На основу познавања ових информација мезопорозни монетитски материјал употребљен је по први пут за адсорпцију малатиона из воденог раствора. Метода наноемулзије представља једну од идеалних метода за синтезу нано материјала тачно одређене морфологије и величине честица. Једноставна стратегија за добијање наносферичног строцијског хидроксиapatита у којем је део хидроксилних јона субституисан са карбонатном групом коришћењем нано емулзије, по први пут је коришћена за добијање баш овог типа материјала хидроксиapatитске структуре и већ поменутог хемијског састава. Управо ова техника користи се за и синтезу нано-биоматеријала који имају примену у медицини и биологији.

Имајући у виду наведено, изучавања везана за ову докторску дисертацију у складу су са светским тенденцијама у области процесирања структурних материјала. Ова тема је савремена и у потпуности отвара нове могућности за једноставније добијање различитих материјала који припадају једној групи, при чему се могу користити с једне стране као адсорбенти у заштити животне средине, а са друге као биоматеријали. У академском погледу тема је више него интересантна, а због очекиваних резултата може имати и комерцијални значај као основа нових технологија за добијање монетита и карбонатно строцијског хидроксиapatита.

Литература:

- Avvakumov, G.V., Senna, M., and Kosova, N.V. (2001) Soft Mechanochemical Synthesis: A Basis for New Chemical Technologies, p. 207 (p.p. 43-155). Kluwer Academic Publishers.
- Dorozhkin, S.V. (2010) Nanosized and nanocrystalline calcium orthophosphates. Acta Biomaterialia, 6(3), 715-734.
- Dosen, A., and Giese, R.F. (2011) Thermal decomposition of brushite, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ to monetite CaHPO_4 and the formation of an amorphous phase. American Mineralogist, 96(2-3), 368-373.
- Duncan, J., MacDonald, J.F., Hanna, J.V., Shirosaki, Y., Hayakawa, S., Osaka, A., Skakle, J.M.S., and Gibson, I.R. (2014) The role of the chemical composition of monetite on the

- synthesis and properties of α -tricalcium phosphate. *Materials Science and Engineering: C*, 34(0), 123-129.
- Ganachaud, F., and Katz, J.L. (2005) Nanoparticles and Nanocapsules Created Using the Ouzo Effect: Spontaneous Emulsification as an Alternative to Ultrasonic and High-Shear Devices. *ChemPhysChem*, 6(2), 209-216.
- Jebri, S., Boughzala, H., Bechrifa, A., and Jemal, M. (2011) Structural analysis and thermochemistry of "A" type phosphostrontium carbonate hydroxyapatites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 107(3), 963-972.
- Kalita, S.J., Bhardwaj, A., and Bhatt, H.A. (2007) Nanocrystalline calcium phosphate ceramics in biomedical engineering. *Materials Science and Engineering: C*, 27(3), 441-449.
- Kumar, P., Singh, H., Kapur, M., and Mondal, M.K. (2014) Comparative study of malathion removal from aqueous solution by agricultural and commercial adsorbents. *Journal of Water Process Engineering*, 3, 67-73.
- Lafon, J.P., Champion, E., Bernache-Assollant, D., Gibert, R., and Danna, A.M. Thermal decomposition of carbonated calcium phosphate apatites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 72(3), 1127-1134.
- Landi, E., Celotti, G., Logroscino, G., and Tampieri, A. (2003) Carbonated hydroxyapatite as bone substitute. *Journal of the European Ceramic Society*, 23(15), 2931-2937.
- Landi, E., Tampieri, A., Celotti, G., Sprio, S., Sandri, M., and Logroscino, G. (2007) Sr-substituted hydroxyapatites for osteoporotic bone replacement. *Acta Biomaterialia*, 3(6), 961-969.
- LeGeros, R., Kijkowska, R., and LeGeros, J. (1983) Formation and transformation of octacalcium phosphate, OCP: a preliminary report. *Scanning electron microscopy* (4), 1771-1777.
- Lin, K., Liu, P., Wei, L., Zou, Z., Zhang, W., Qian, Y., Shen, Y., and Chang, J. (2013) Strontium substituted hydroxyapatite porous microspheres: Surfactant-free hydrothermal synthesis, enhanced biological response and sustained drug release. *Chemical Engineering Journal*, 222, 49-59.
- Maliyekkal, S.M., Sreeprasad, T.S., Krishnan, D., Kouser, S., Mishra, A.K., Waghmare, U.V., and Pradeep, T. (2013) Graphene: A Reusable Substrate for Unprecedented Adsorption of Pesticides. *Small*, 9(2), 273-283.
- Schofield, P.F., Knight, K.S., and van der Houwen, J.A.M. (2004) The role of hydrogen bonding in the thermal and dehydration of brushite. *Physics and Chemistry of Minerals*, 31, 606-624.
- Solans, C., Izquierdo, P., Nolla, J., Azemar, N., and Garcia-Celma, M.J. (2005) Nano-emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 10(3-4), 102-110.
- Sudarsanan, K., and Young, R.A. (1974) Structure refinement and random error analysis for strontium 'chlorapatite', $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$. *Acta Crystallographica Section B*, 30(6), 1381-1386.
- Suganthi, R.V., Elayaraja, K., Joshy, M.I.A., Chandra, V.S., Girija, E.K., and Kalkura, S.N. (2011) Fibrous growth of strontium substituted hydroxyapatite and its drug release. *Materials Science and Engineering: C*, 31(3), 593-599.
- Tamimi, F., Sheikh, Z., and Barralet, J. (2012) Dicalcium phosphate cements: Brushite and monetite. *Acta Biomaterialia*, 8(2), 474-487.

Toshima, T., Hamai, R., Tafu, M., Takemura, Y., Fujita, S., Chohji, T., Tanda, S., Li, S., and Qin, G.W. (2014) Morphology control of brushite prepared by aqueous solution synthesis. Journal of Asian Ceramic Societies, 2(1), 52-56.

4. Научне методе истраживања

Током рада на предложеној дисертацији истраживања ће бити обављена применом више различитих метода и поступака. У првом реду примениће се низ стандардних поступака који се обично користе код савремених хемијских, морфолошких и кристалографских испитивања, лабораторијски рад и синтеза материјала, кроз примену актуелних аналитичких поступака везаних за модерну науку о материјалима.

Предвиђене су следеће методе истраживања:

- Прикупљање и обрада литературних података и документације везаних за област истраживања.
- Коришћење различитих хемијских поступака за добијање материјала и то: таложне хемијске методе за синтезу брушита, млевање брушита у вибрационом млину за добијање монетита, наноемулзиона метода са „Оузо“ ефектом за добијање карбонатно стронцијског хидроксиапатитског материјала.
- Метода рендгенске дифракције на поликристалном материјалу за добијање информација о фазном саставу и структурним карактеристикама синтетисаних материјала.
- Утацњавање добијених података из рендгенских испитивања поликристалног материјала карбонатно стронцијског хидроксиапатита коришћењем Ритвелдове методе у циљу добијања информација о структурним и микроструктурним карактеристикама.
- Коришћење програмских кристалографских пакета POWDERCELL и WINCELL за добијање података о фазном саставу и параметрима јединичних ћелија почетног брушитног и синтетисаног монетитског материјала, као и одређивање микроструктурних особина.
- Раман спектроскопијска испитивања почетног брушитног материјала, као и корелација добијених података са подацима добијеним уз помоћ рендгенске дифракционе анализе, у циљу ближег дефинисања фазних и структурних карактеристика брушита.
- Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом за одређивање фазних и структурних особина брушита, монетита и стронцијско карбонатног хидроксиапатитског материјала.
- Диференцијално термичка и термогравиметријска анализа стронцијско карбонатног хидроксиапатитског материјала за добијање података о садржају карбонатне компоненте у структури.
- Метода скенирајуће електронска микроскопије са енергетско-дисперзивном спектрометријом (SEM, FE-SEM-EDS) за одређивање морфолошких карактеристика прахова и семиквантитативно одређивање хемијског састава.
- Адсорпција - десорпција азота на температури течног азота за одређивање специфичне површине и расподеле величине пора мезопорозног монетитског материјала.

- Метода течне хроматографије за одређивање концентрације органског пестицида малатиона у раствору након адсорпције монетитом, и одређивање физиолошких ефеката токсичности мерењем ацетил холин естеразне активности *in vitro*.

5. Очекивани научни допринос

Израдом предложене докторске дисертације могу се очекивати следећи научни доприноси:

- Развој новог, једноставнијег и економски исплативијег поступка синтезе монетита и стронцијско карбонатног хидроксиапатита.
- Оптимизација услова синтезе монетита и стронцијско карбонатног хидроксиапатита у циљу добијања материјала жељених карактеристика за примену.
- Прецизно одређивање карактеристика материјала током фазне трансформације брушит-монетит у одабраним временским интервалима, и оптимизација најкраћег времена за индуковање фазног прелаза и добијање мезопорозног монетитског материјала механохемијским поступком.
- Дефинисање структурних карактеристика кристалног материјала стронцијско карбонатног хидроксиапатита синтетисаног методом наноемулзије.
- Дефинисање могућности примене мезопорозног монетита за адсорпцију органског пестицида малатиона из воденог раствора, као и одређивање степена (неуро)токсичности након адсорпције монетитом.

6. План истраживања и структура рада

Предвиђено је да се истраживања обаве у неколико фаза:

- Детаљан преглед постојеће литературе.
- Синтеза материјала жељеног састава и квалитета.
- Карактеризација синтетисаних узорака.
- Избор материјала за детаљнију и прецизнију анализу коришћењем различитих физичко-хемијских метода.
- Испитивање могућности примене одабраних материјала.
- Анализа и синтеза добијених резултата.
- Доношење закључака.

Структура докторске дисертације била би следећа:

1. Увод

2. Теоријски део

2.1. Кристалохемијска својства фосфатних једињења

2.2. Структурни типови калцијум-фосфатних (СаР) једињења

2.2.1. Апатитски тип структуре

2.2.2. Кристална структура хидроксиапатита, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

2.2.3. Јонске субституције у структури хидроксиапатита

2.2.4. Структурне карактеристике карбонатног хидроксиапатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)(\text{OH})$, СНАр

2.2.5. Структурне карактеристике стронцијског хидроксиапатита, $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, СrНАр

2.2.6. Структурне карактеристике брушита, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, DCPD

- 2.2.7. Структурне карактеристике монетита, CaHPO_4 , DCPA
- 2.3. Поступци синтезе материјала из групе калцијум-фосфата коришћених у досадашњим истраживањима
 - 2.3.1. Механохемијска синтеза
 - 2.3.2. Метода таложне хемијске титрације (преципитација)
 - 2.3.3. Метода нано емулзије („Оузо метода“)
3. Експериментални део
 - 3.1. Синтеза материјала
 - 3.1.1. Синтеза брушита, $(\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}, \text{DCPD})$
 - 3.1.2. Синтеза монетита, $(\text{CaHPO}_4, \text{DCPA})$
 - 3.1.3. Синтеза карбонатно стронцијског хидроксиапатита, $(\text{Sr}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{0.60}(\text{CO}_3)_{0.70}, \text{CSrHAp})$
 - 3.2. Методе прикупљања експерименталних података синтетисаних материјала
 - 3.2.1. Метода рендгенске дифракције на поликристалним узорцима
 - 3.2.2. Ритвелдова метода за добијање структурних карактеристика
 - 3.2.3. Процедура утачњавања рендгенског дифрактограма праха Ритвелдовом методом
 - 3.2.4. Метода Раман спектроскопије
 - 3.2.5. Метода инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом
 - 3.2.6. Метода скенирајуће електронске микроскопије и енергетско дисперзивне спектроскопије
 - 3.2.7. Одређивање специфичне површине и порозности материјала
 - 3.2.8. Метода диференцијално термичке анализе и термогравиметрије
 - 3.2.9. Метода течне хроматографије ултра високих преформанси и ацетилхолин естеразна активност
4. Резултати и дискусија
 - 4.1. Резултати испитивања брушита и монетита
 - 4.1.1. Резултати Раман спектроскопских испитивања почетног брушитног материјала
 - 4.1.2. Резултати испитивања методом рендгенске дифракције поликристалног праха брушита и механохемијски синтетисаних монетита
 - 4.1.3. Резултати утачњавања параметара јединичне ћелије и микроструктурних параметара одабраних узорака
 - 4.1.3. Резултати испитивања у инфрацрвеном делу спектра са Фуријеовом трансформацијом
 - 4.1.4. Резултати скенирајуће електронске микроскопије
 - 4.1.5. Резултати одређивања специфичне површине и расподела величине пора монетита
 - 4.1.6. Резултати адсорпције и (неуро)токсичности малатиона пре и после адсорпције коришћењем мезопорозног монетита као адсорбента
 - 4.2. Резултати испитивања карбонатно стронцијског хидроксиапатита (CSrHAp)
 - 4.2.1. Резултати испитивања методом рендгенске дифракције поликристалног праха
 - 4.2.2. Резултати утачњавања параметара јединичне ћелије и микроструктурних параметара одабраних узорака
 - 4.2.3. Резултати испитивања у инфрацрвеном делу спектра са Фуријеовом трансформацијом
 - 4.2.4. Резултати диференцијално термичке и термогравиметријске анализе
 - 4.2.5. Резултати скенирајуће електронске микроскопије
5. Дискусија добијених резултата
 - 5.1. Дискусија добијених резултата брушитског и монетиског материјала
 - 5.2. Дискусија добијених резултата карбонатно стронцијског хидроксиапатита
6. Закључак
7. Литература

7. Закључак и предлог

На основу поднетог материјала, његове детаљне анализе, као и напред изнетих података о научној заснованости теме за израду докторске дисертације, а посебно из увида у досадашњи рад и резултате које је остварила Миљана Мирковић, дипл. инж. геологије, Комисија закључује следеће:

- Кандидат Миљана Мирковић, дипл. инж. геологије, испуњава све Законом предвиђене услове за пријаву теме и израду докторске дисертације.

- Предложена тема „**Синтеза, карактеризација и примена монетитских и Sr-фосфатних материјала**” научно је заснована и може да буде предмет докторске дисертације. Актуелна је и занимљива како са научног становишта, тако и са становишта практичне примене, нарочито у области биоматеријала и заштите животне средине. Поједини резултати већ су публиковани у међународним часописима са SCI листе, или саопштени на научним скуповима. Комисија сматра да постоје реални услови да кандидат у даљем истраживању може успешно реализовати постављене захтеве и остварити нове оригиналне резултате.

- Тема ове докторске дисертације припада научној области Геологија, ужа научна област Кристалографија, за које је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

- Комисија предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета да одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом, а за ментора предлаже др Александру Росић, ванредног професора Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, која испуњава све Законом прописане услове.

У Београду,
25. 3. 2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Александра Росић, ван. проф.
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Предраг Вулић, научни сарданик
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Сузана Ерић, ван. проф.
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Марија Прекајски, научни сарадник
Институт нуклеарних наука Винча