

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ  
ФАКУЛТЕТ  
35/191  
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

18.04. 2016.  
(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“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Магнето-електрична својства мултифероичних композитних материјала на бази никл-цинк ферита и баријум титаната“.  
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

АДИС (Сулејман) ЦУНУЗОВИЋ, мастер инж.

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

3. Година дипломирања: 2011.

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

3. Година дипломирања: 2012.

Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2012/2013. године.

6. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /  
Година одбране магистарске тезе: /

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће,  
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 14.04.2016. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

---

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Адис Цунузовић

Име и презиме ментора: Весна Радојевић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Peric T., Markovic D., Petrovic B., **Radojevic V.**, Todorovic T, Andjelski Radicevic B., Jancic Heinemann R., Susic G., Peric Popadic A., Tomic Spiric V., *Efficacy of pastes containing CPP-ACP and CPP-ACFP in patients with Sjögren's syndrome*, Clin Oral Invest, vol. 19 No. 9, pp. 2153-2165 (2015), (ISSN 1436-3771, IF 2014 = 2,285), Dentistry, Oral Surgery & Medicine, 5/83) doi [10.1007/s00784-015-1444-1](https://doi.org/10.1007/s00784-015-1444-1)
2. Peric T., Markovic D., **Radojevic V.**, Jancic- Heinemann R., Petrovic B., Lamovec J., *Influence of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate containing pastes on surface characteristics of demineralized enamel*, Journal of Applied Biomaterials&Functional Materials, 12, (3), (2014), p. 234-239, ISSN 2280-8000, IF 2013 0.905, Material Science, Biomaterials 25/32 [DOI:10.5301/jabfm.5000194](https://doi.org/10.5301/jabfm.5000194)
3. Alzarrug F.A , Dimitrijević M.M, Jančić Heinemann R.M., **Radojević V.**, Stojanović D.B. , Uskoković P.S., Aleksić R., *The use of different alumina fillers for improvement of the mechanical properties of hybrid PMMA composites*, Materials& Design Volume 86, 5 December 2015, Pages 575–581 , (ISSN 0261-3069 Materials Science, Multidisciplinary (43/259) IF 2015 = 3,507) [doi:10.1016/j.matdes.2015.07.069](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.069)
4. Yerro O., Radojević V., Radović I., Petrović M., Uskoković P., Stojanović D., Aleksić R. *Thermoplastic acrylic resin with self-healing properties*, Polymer Engineering and Science, ISSN 0032-3888, (IF 2014 1.520 , *Engineering, Chemical* 61/135), [DOI 0.1002/pen.24244](https://doi.org/10.1002/pen.24244)
5. Dukali R.M., Radovic I., Stojanovic D.B., Uskokovic P.S., Romcevic N., **Radojevic V.**, Aleksic R., *Preparation, characterization and mechanical properties of Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>-PMMA composite films*, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 583, 2014, 376-381, ISSN 0925-8388, IF 2013: 2.726 Materials Science, Multidisciplinary, 49/251, [doi:10.1016/j.jallcom.2013.08.206](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.08.206)
6. Obradović V., Stojanović D.B., Živković I., **Radojević V.**, Uskoković P.S., Aleksić R., *Dynamic Mechanical and Impact Properties of Hybrid Thermoplastic Composites Reinforced with Carbon Nanotubes*, Fibers and Polymers 2015, Vol.16, No.1, 138-145, ISSN: 1229-9197 (Print) 1875-0052 (Online), IF 2013: 1.113 Materials Science, Textiles 5/22, [doi:10.1007/s12221-015-0138-2](https://doi.org/10.1007/s12221-015-0138-2)

7. S.S. Musbah, **V. Radojević**, I. Radović, P.S. Uskoković, D.B. Stojanović, M. Dramićanin, R. Aleksić, Preparation, characterization and mechanical properties of rare-earth-based nanocomposites, *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 48 (2) B (2012) 309-318. DOI:10.2298/JMMB120508030M, ( IF 2011 1,317, Metallurgy & Metallurgical Engineering 14/74 )
8. S.S.Musbah, **V. Radojević**, N. Borna, D. Stojanović, M. Dramićanin, A. Marinković, R. Aleksić, PMMA–Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Eu<sup>3+</sup>) nanocomposites: optical and mechanical properties, *J. Serb. Chem. Soc.* 76 (8) (2011)1153–1161, ISSN: 0352-5139 ( IF 2011: 0, 879, Chemistry, Multidisciplinary 102/152)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

**А)** У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

**Б)** У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

**В)** У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

**Г)** У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 21.01.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 14.04.2016. године, донета је

## **О Д Л У К А**

**о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата  
за израду докторске дисертације**

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације, мастер **АДИСА ЦУНУЗОВИЋА** инж., под називом: **„Магнетоелектрична својства мултифероичних композитних материјала на бази никл-цинк ферита и баријум титаната“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

**За ментора се одређује др Весна Радојевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

Одлуку доставити: Универзитету у Београду на сагласност, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

**Д Е К А Н**

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET**

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU**

**Predmet:** Podobnost teme i kandidata Adisa Džunuzovića, dipl. inž. tehnologije (master inženjera) za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 35/22 od 28. 01. 2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Adisa Džunuzovića, dipl. inž. tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme:

**Magneto-električna svojstva multiferoičnih kompozitnih materijala na bazi niki-  
cink ferita i barijum titanata**

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

**REFERAT**

**1. Podaci o kandidatu**

1.1. Biografski podaci

Adis Džunuzović, diplomirani inženjer tehnologije (master inženjer), rođen je 21.06.1987. godine u Priboju, Srbija, gde 2006. godine završava Gimnaziju Priboj, prirodno matematički smer. Nakog toga upisuje Tehnološko-metalurški fakultet na smeru organska hemijska tehnologija sa polimernim inženjerstvom. Studije završava u martu 2011. sa prosečnom ocenom 8.17. Iste godine upisuje master akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, a završava ih 2012. godine sa prosečnom ocenom

9.13. Doktorske akademske studije upisuje 2012. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na smeru Inženjerstvo materijala.

Od decembra 2012. godine zaposlen je u Institutu za multidisciplinarna istraživanja. U zvanje istraživač-saradnik izabran je 16.12.2014. godine.

## 1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

У оквиру докторских студија положио је све испите предвиђене планом и програмом, постигавши следеће оцене:

| Предмет                                                                           | Оцена | ЕСПБ |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|------|
| Odabrana poglavlja matematičke analize                                            | 10    | 5    |
| Termodinamika čvrstog stanja                                                      | 10    | 5    |
| Hemijska kinetika                                                                 | 10    | 5    |
| Nauka o materijalima i inženjerstvo materijala                                    | 10    | 6    |
| Teorijski osnovi keramike i stakla                                                | 10    | 5    |
| Struktura i svojstva kompozitnih materijala                                       | 10    | 5    |
| Odabrana poglavlja instrumentalne analize                                         | 10    | 7    |
| Metode karakterizacije keramičkih i staklastih materijala                         | 10    | 4    |
| Materijali sa specifičnim električnim, toplotnim, magnetnim i optičkim svojstvima | 10    | 4    |
| Fizika čvrstog stanja                                                             | 10    | 4    |
| Završni ispit                                                                     | 10    | 30   |

Završni ispit Magneto-električna svojstva kompozitnih materijala na bazi nikl-cink ferita i barijum titanata odbranio je 30. 09. 2014. godine.

Adis Džunuzović angažovan je na projektu III 45021 " Sinteza nanoprahova i procesiranje keramike nanokompozita sa specifičnim električnim i magnetnim svojstvima za primenu u integrisanim pasivnim komponentama" potprojekat " Sinteza nanoprahova i procesiranje keramičkih i nanokompozitnih materijala" koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, kao i na međunarodnim projektima: COST MP0904 "Jednofazni i višefazni feroici i multiferoici ograničenih geometrija"(Single- and Multiphase Ferroic and Multiferroics with Restricted Geometries-SIMUFER), COST IC1208 " Integrisani uređaji i materijali: Izazov za nove instrumente u ICT" (Integrating Devices and Materials: A Challenge for New Instrumentation in ICT) i COST MP1308 " Prema elektronici zasnovanoj na oksidima" (Towards Oxide-Based Electronics, TO-BE). Na osnovu saradnje na projektu COST MP0904 bio je u dvonedeljnoj radnoj poseti laboratoriji Fakulteta za fiziku u Vilniju, Litvanija. Tema posete bila je "Dielektrična i magnetna svojstva  $\text{BaTiO}_3\text{-NiZnFe}_2\text{O}_4$  multiferoičnih kompozita". Angažovan je i na programu bilateralne saradnje Slovenije i Srbije "Multiferoični kompoziti za nove primene" u okviru koje je bio u dvonedeljnoj

radnoj poseti Institutu Jožef Stefan u Ljubljani. Tema posete bila je "Dielektrična svojstva  $x\text{BaTiO}_3-(1-x)\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$  ( $x= 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ ) multiferoičnih kompozita". Učestvovao je na međunarodnim konferencijama sa usmenim i poster prezentacijama. Oblast naučno-istraživačkog rada mr Adisa Džunuzovića je nauka o materijalima i fizika čvrstog stanja, dok uža oblast istraživanja obuhvata sintezu feromagnetnih materijala i kompozitnih materijala sa feromagnetnim i feroelektričnim svojstvima. Specifične oblasti istraživačke aktivnosti su sinteza nikl cink ferita i barijum titanata metodom autosagorevanja, kao i sinteza kompozitnih materijala, sinterovanje dobijenih materijala pod odgovarajućim uslovima, sa posebnim akcentom na utvrđivanje korelacija između parametara procesa, strukturnih karakteristika i svojstava dobijenog materijala. Koautor je ukupno 17 radova publikovanih u naučnim časopisima i saopštenih na naučnim skupovima. Od toga, 4 rada je publikovano u vrhunskim naučnim časopisima međunarodnog značaja (M21). Prvi autor je na dva publikovana rada.

### **Učešće na naučno-istraživačkim projektima:**

#### Nacionalni projekti:

2012-danas: III 45021 " Sinteza nanoprahova i procesiranje keramike nanokompozita sa specifičnim električnim i magnetnim svojstvima za primenu u integrisanim pasivnim komponentama" potprojekat" Sinteza nanoprahova i procesiranje keramičkih i nanokompozitnih materijala" koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### Međunarodni projekti:

2012-2014: "Single- and Multiphase Ferroic and Multiferroics with Restricted Geometries", akronim projekta COST MP0904- SIMUFER.

2014-danas "Integrating Devices and Materials: A Challenge for New Instrumentation in ICT", akronim projekta COST IC1208.

2015-danas "Towards Oxide-Based Electronics", TO-BE, akronim projekta COST 1308.

Pregled objavljenih naučnih radova i saopštenja:

#### Kategorija M21

- Radovi objavljeni u vrhunskim naučnim časopisima međunarodnog značaja:

1. Grigalaitis R., Vijatović Petrović M.M., Bobić J.D., **Džunuzović A.**, Sobiestianskas R., Brilingas A., Stojanović B.D., Banys J.: *Dielectric and magnetic properties of  $\text{BaTiO}_3-\text{NiFe}_2\text{O}_4$  multiferroic composite*, -Ceramic International, Vol 40, 2014, pp. 6165-6170, IF 2014: 2.605. ISSN 0272-8842
2. Ilić N.I., **Džunuzović A.S.**, Bobić J.D., Stojadinović B.S., Hammer P., Vijatović Petrović M.M., Dohčević-Mitrović Z.D., Stojanović B.D.: *Structure and properties of chemically synthesized  $\text{BiFeO}_3$ . Influence of fuel and complexing*

- agen, -Ceramic International, Vol 41, 2015, pp. 69-77, IF 2015: 2.605. ISSN 0272-8842
3. Vijatović Petrović M.M., Bobić J.D., Grigalaitis R., Ilic N.I., **Dzunuzovic A.S.**, Jankauskaite V., Banys J., Stojanović B.D.: *Donor–acceptor joint effect in barium titanate systems*, -Ceramics International, Vol 41, 2015, pp. 11365–11371, IF 2015: 2.605. ISSN 0272-8842
  4. **Dzunuzovic A.S.**, Vijatovic Petrovic M.M., Stojadinovic B.S., Ilic N.I., Bobic J.D., Foschini C.R., Zaghete M.A., Stojanovic B.D.: *Multiferroic (NiZn) Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>–BaTiO<sub>3</sub> composites prepared from nanopowders by auto-combustion method*, -Ceramic International, Vol 41, 2015, pp. 13189–13200, IF 2015: 2.605. ISSN 0272-8842

#### Kategorija M23

Radovi objavljeni u naučnim časopisima međunarodnog značaja :

1. **Džunuzović A.S.**, Ilić N.I., Vijatović Petrović M.M., Bobić J.D., Stojadinović B., Dohčević-Mitrović Z., Stojanović B.D.: *Structure and properties of Ni–Zn ferrite obtained by auto-combustion method*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 374, 2015, pp. 245-251, IF 2015: 1.970. ISSN 0304-8853

#### Kategorija M34

Radovi saopšteni na skupu međunarodnog značaja štampani u izvodu:

1. Vijatović Petrović M.M., **Džunuzović A.**, Bobić J.D., Curecheriu L., Koruza J., Stojanović B.D.: *Synthesis and properties of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> prepared by auto-combustion method*", Proceedings of the 2<sup>nd</sup> COST MP0904 Workshop, Single and Multiphase Ferroics and Multiferroics with restricted Geometries, Firenca, 22-23 April 2013, pp. 47
2. Vijatović Petrović M., **Džunuzović A.**, Bobić J., Ilić N., Curecheriu L., Stojanović B.: *Synthesis procedure and properties of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – BaTiO<sub>3</sub> composites*, Proceedings of the Second Conference of The Serbian Ceramic Society, Beograd, Jun 5-7 2013, pp. 89 , ISBN 978-86-80109-18-3
3. Ilić N., **Džunuzović A.**, Bobić J., Vijatović Petrović M., Stojadinović B., Dohčević-Mitrović Z., Stojanović B.: *Effect of fuel on the auto-combustion synthesized multiferroic BiFeO<sub>3</sub>*, Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, Krakov, 2-6 Septembar 2013, pp. 591
4. **Džunuzović A.S.**, Ilić N.I., Bobić J.D., Vijatović Petrović M.M., Stojadinović B.S., Dohčević-Mitrović Z.D., Stojanović B.D.: *Synthesis and characterization of nickel zinc ferrite*', Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ESR COST MP0904 Workshop, Novi Sad, Novembar 6-9 2013, pp. 125-126, ISBN 978-86-6253-028-8
5. Ilic N., **Dzunuzovic A.**, Bobic J., Vijatovic Petrovic M., Stojanovic B.: *Autocombustion synthesis and characterization of multiferroic bismuth ferrite ceramics*, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ESR COST MP0904 Workshop, Novi Sad, Novembar 6-9 2013, pp. 119-120, ISBN 978-86-6253-028-8

6. **Džunuzovic A.S.**, Ilić N.I., Bobić J.D., Vijatović Petrović M.M., Grigalaitis R., Banys J., Stojanović B.D.: *Synthesis and characterization of  $x\text{BaTiO}_3 - (1-x)\text{NiFe}_2\text{O}_4$  multiferroic composites*, COST MP0904 Workshop, Ćenova, 30 Januar- 1 Februar 2014, pp. 58
7. **Džunuzović A.S.**, Ilić N.I., Vijatović Petrović M.M., Bobić J.D., Grigalaitis R., Stojanović B.D.: *Structure and properties of  $\text{BaTiO}_3 - \text{Ni}(1-x)\text{Zn}(x)\text{Fe}_2\text{O}_4$  composites Thirteenth Young Researchers*, Proceedings of the Conference Materials Science and Engineering, Beograd, Decembar 10-12 2014, pp. 33, ISBN 978-86-80321-30-1
8. Ilić N., Stojadinović B., **Džunuzović A.**, Bobić J., Dohčević-Mitrović Z., Stojanović B.: *Effect of Y-doping on structure and properties of multiferroic  $\text{BiFeO}_3$  ceramics*, Proceedings for the thirteenth Young Researchers, Conference Materials Science and Engineering, Beograd, Decembar 10-12 2014, pp. 34, ISBN 978-86-80321-30-1
9. Ilic N., Stojadinovic B., **Dzunuzovic A.**, Bobic J., Tasic N., Curecheriu L., Dohcevic-Mitrovic Z., Stojanovic B.: *Improved electrical and magnetical properties in Y doped  $\text{BiFeO}_3$  ceramics*, Proceedings of The 3<sup>rd</sup> Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Jun 15-17 2015, pp. 58, ISBN 978-86-80109-19-0
10. Bobic J., Vijatovic Petrovic M., Ilic N., **Dzunuzovic A.**, Ivanov M., Stojanovic B.: *Electrical and magnetic properties of multiferroic  $\text{Bi}_5\text{FeTi}_3\text{O}_{15}$  and  $\text{Bi}_{4.25}\text{La}_{0.75}\text{Ti}_3\text{FeO}_{15}$  ceramics*, Proceedings of The 3<sup>rd</sup> Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Jun 15-17 2015, pp. 106, ISBN 978-86-80109-19-0
11. Vijatovic Petrovic M., Bobic J., Grigalaitis R., Ilic N., **Dzunuzovic A.**, Stojanovic B.: *Electrical properties of barium titanate co-doped with Nb and Mn*, Proceedings of The 3<sup>rd</sup> Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Jun 15-17 2015, pp. 110, ISBN 978-86-80109-19-0
12. **Dzunuzovic A.**, Ilic N., Vijatovic Petrovic M., Bobic J., Stojadinovic B., Dohcevic-Mitrovic Z., Stojanovic B.: *Structure and characterization of  $\text{BaTiO}_3\text{-Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_{(x)}\text{Fe}_2\text{O}_4$  composites*, Proceedings of The 3<sup>rd</sup> Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Jun 15-17 2015, pp. 117, ISBN 978-86-80109-19-0

**Citiranost:** Prema bazi podataka "Scopus", rad pod rednim brojem 1, iz kategorije M23, u kome je Adis Džunuzović prvi autor do sada je citiran u međunarodnim časopisima 6 puta, ne računajući autocitate, a rad pod rednim brojem 1, iz kategorije M21, u kome je Adis Džunuzović koautor citiran je 8 puta, ne računajući autocitate i rad pod rednim brojem 2, iz kategorije 21, citiran je 2 puta.

### 1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Tokom svog istraživačkog rada kandidat je pokazao izraženu samostalnost i potrebne veštine u izradi doktorske disertacije i poseduje sve neophodne sposobnosti za bavljenje naučnoistraživačkim radom. Na osnovu prikaza ostvarenih rezultata dosadašnjeg rada u istraživanjima, kao i objavljenih radova, Komisija ocenjuje da Adis Džunuzović, dipl. inž. tehnologije, master inženjer, ispunjava sve neophodne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

## **2. Predmet i cilj istraživanja**

Magnetoelektrični multiferoični kompoziti su savremeni materijali koji imaju široku oblast primene za razne senzore, mikrotalasne uređaje, pretvarače, magnetne sonde, u spintronik tehnologijama kao i za memorije nasumičnog pristupa - memorije kod kojih je moguće pristupiti kompjuterskim podacima po bilo kom redosledu. Termin multiferoični materijal je prvi upotrebio Šmid (Schmid), 1994. On je smatrao da su to jednofazni materijali koji poseduju više od jednog feroičnog svojstva (feroelektričnog, feromagnetnog ili feroelastičnog). Ovi materijali istovremeno ispoljavaju i magnetna i električna svojstva i kao takvi privlače veliko interesovanje u oblasti istraživanja i primene.

Postoje dva tipa multiferoika:

- jednofazni multiferoici (singl)
- kompoziti

I pored nekoliko stotina publikacija koje su fokusirane kako na singl multiferoike tako i na kompozitne multiferoike, i dalje ostaje široka oblast istraživanja na polju sinteze, u cilju dobijanja multiferoika bez prisustva sekundarnih faza, na polju poboljšanja feroelektričnih, feromagnetnih i elektromagnetnih svojstava. Feroelektrični-feromagnetni kompoziti, kao dvofazni multiferoični materijali, nisu poželjni samo za fundamentalna istraživanja magneto-električnog efekta, već i za primenu za različite električne uređaje [2]. Najviše istraživani kompozitni sistemi su  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ili  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  sa PZT, PNT, BT ili BST [3-5]. Među njima, sistemi  $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$  /  $\text{BaTiO}_3$  su pogodni za dalja istraživanja zahvaljujući visokoj električnoj otpornosti, hemijskoj stabilnosti i odličnim elektromagnetnim svojstvima Ni-Zn sistema, kao i visokoj permitivnosti, niskim dielektričnim gubicima  $\text{BaTiO}_3$  zahvaljujući čemu je korišćen [6-8]. Neki tipovi multiferoika zahtevaju specifične uslove sinteze, pa shodno tome zahtevaju metode za sintezu obe faze, i feroelektrične i feromagnetne.

Tema ovog rada su kompozitni materijali koji se sastoje od feromagnetne faze nikl cink ferita i feroelektrične faze barijum titanata.  $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$  ima spinelnu strukturu, dok  $\text{BaTiO}_3$  ima perovskitnu strukturu. Poznato je da perovskiti i spinelni feriti imaju kompatibilnu strukturu i to omogućuje kombinovanje feroelektričnih perovskita sa

magnetnim spinelima, i dobijanje materijala koji sadrže dva feroična svojstva u istoj strukturi.

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je sinteza i karakterizacija praha kompozitnog sistema  $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4\text{-BaTiO}_3$ , procesiranje i karakterizacija keramike na njihovoj osnovi, kao i ispitivanje uticaja koncentracije cinka na magnetna svojstva nikl cink ferita, kao i uticaj barijum titanata na dielektrična svojstva kompozita.

Naučni ciljevi ove disertacije će biti proučavanje procesa sinteze prahova nikl cink ferita i barijum titanata, kao i procesa dobijanja praha kompozita homogenizacijom, od kojih bi se dobila keramika sto veće gustine koja može jako da utiče na dielektrična svojstva materijala. Takođe, cilj disertacije je i dobijanje nikl cink ferita sa najboljim magnetnim svojstvima, korigovanjem molarnog odnosa nikla i cinka u feritu, kao i dobijanje čiste faze barijum titanata. Prahovi  $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  ( $x = 0.0, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0$ ), kao i prah  $\text{BaTiO}_3$  biće sintetisani metodom auto-sagorevanja. Kompoziti će biti sintetisani homogenizacijom u planetarnom mlinu:

- praha  $\text{BaTiO}_3$  i  $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  ( $x = 0.3, 0.5, 0.7$ ) u masenom odnosu 50-50,
- praha  $\text{BaTiO}_3$  i  $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$  u masenom odnosu 90-10, 70-30, 50-50, 30-70, 10-90
- 

Relevantni bibliografski izvori:

1. Schmid H.: *Multi-ferroic magnetoelectrics*, -Ferroelectrics, Vol 162, 1994, pp. 317-338,
2. Lottermoser T., Lonkai T., Amann U., Hohlwein D., Ihringer J., Fiebig M.: *Magnetic phase control by an electric field*, -Nature, Vol 430, 2004, pp. 541-544
3. van Aken B., Palstra T., Filippetti A., Spaldin N.: *The origin of ferroelectricity in magnetoelectric  $\text{YMnO}_3$* , -Nature Materials, Vol 3, 2004, pp. 164-170,
4. Mondal R., Murty B., Murthy V.: *Dielectric, magnetic and enhanced magnetoelectric response in high energy ball milling assisted BST-NZF particulate composite*, -Materials Chemistry and Physics, Vol 167, 2015, pp. 338-346,
5. Srinivasan G., Rasmussen E., Hayes R.: *Magnetoelectric effects in ferrite-lead zirconate titanate layered composites: The influence of zinc substitution in ferrites*, Physical Review B, Vol 67, 2003, pp. 014418,
6. Yu Z., Ang C.: *Maxwell-Wagner polarization in ceramic composites  $\text{BaTiO}_3\text{-(Ni}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{)Fe}_{2.1}\text{O}_4$* , Journal of Applied Physics Vol 91, 2002, pp. 794-797
7. Curecheriu L., Buscaglia M., Buscaglia V., Mitoseriu L., Postolache P., Ianculescu A., Nanni P.: *Functional properties of  $\text{BaTiO}_3\text{-Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  magnetoelectric ceramics prepared from powders with core-shell structure*, Journal of Applied Physics, Vol 107, 2010, pp. 104-106,
8. Sakanas A., Grigalaitis R., Banys J., Mitoseriu L., Buscaglia V., Nanni P.: *Broadband dielectric spectroscopy of  $\text{BaTiO}_3\text{-Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  composite ceramics*, Journal of Alloys and Compounds, Vol 602, 2014, pp. 241-247

9. Ebrahimi S., Masoudpanah S., Amiri H., Yousefzadeh M.: *Magnetic properties of MnZn ferrite nanoparticles obtained by SHS and sol-gel autocombustion techniques*, Ceramics International, Vol 40, 2014, pp. 6713-6718,
10. Fawzi A., Sheikh A., Mathe V.: *Structural, dielectric properties and AC conductivity of  $Ni_{(1-x)}Zn_xFe_2O_4$  spinel ferrites*, -Journal of Alloys and Compounds, Vol 502, 2010, pp. 231-237,
11. F. Jona, G. Shirane, *Ferroelectric crystals*, Dover Publications, INC., New York, 1993
12. Lazarević Z., Vijatović M., Dohčević-Mitrović Z., Romčević N., Romčević M., Paunović N., Stojanović B.: *The characterization of the barium titanate ceramic powders prepared by the Pechini type reaction route and mechanically assisted synthesis*, -Journal of the European Ceramic Society, Vol 30, 2010, pp. 623-628,

### 3. Polazne pretpostavke u istraživanju

U okviru ove doktorske disertacije istraživačke aktivnosti će se obavljati u dva osnovna pravca:

1. Optimizacija uslova sinteze prahova spinelnog nikl cink ferita i perovskitnog barijum titanata.

2. Dobijanje kompozita nikl cink ferita-barijum titanata sa optimalnim magnetnim i električnim svojstvima.

1. Prvi pravac doktorske disertacije će obuhvatiti ispitivanja u cilju dobijanja čiste faze nikl cink ferita i barijum titanata bez prisustva sekundarnih faza. Nikl cink ferit spada u meke ferite i ima prednost u odnosu na ostale miksovane spinelne ferite zahvaljujući malom koercitivnom polju, visokoj otpornosti i relativno niskom koštanju sinteze. Kod inverzne spinelne strukture, kakvu ima  $NiZnFe_2O_4$ ,  $Fe^{3+}$  joni su ravnomerno raspoređeni na A i B mestima, sa  $M^{2+}$  jonima smeštenim na preostalom B mestima. Spinovi svih  $Fe^{3+}$  jona smeštenih na B pozicijama su paralelni, i suprotni sa spinovima  $Fe^{3+}$  jona koji se nalaze na A pozicijama, pa se stoga poništavaju.  $M^{2+}$  joni imaju magnetne momente koji se slažu paralelno, i postoji spontana magnetizacija [1, 2]. Barijum titanat ima perovskitnu strukturu, formule  $ABO_3$ . Manji katjon B, koji može biti  $B^{3+}$ ,  $B^{4+}$  i  $B^{5+}$ , nalazi se u središtu kocke, dok se veći katjon A ( $A^+$ ,  $A^{2+}$ ,  $A^{3+}$ ) nalazi u uglovima kocke [3, 4]. Kiseonik se nalazi u centru strana kocke. Iznad 120 °C je zastupljena kubna struktura, a ispod te temperature je zastupljena tetragonalna struktura do 5 °C, gde barijum titanat prelazi u ortorombičnu strukturu, sve do -90 °C, gde prelazi u trigonalnu. U blizini Kiri tačke svojstva materijala uključujući dielektrična, elastična i optička postaju anomalna. Barijum titanat poseduje visoku vrednost dielektrične konstante i malu vrednost dielektričnih gubitaka pa je prvi materijal koji je korišćen za proizvodnju dielektričnih keramičkih kondenzatora. Na vrednost dielektrične konstante utiču brojni parametri kao što su gustina uzoraka, veličina zrna, zatim temperatura, frekvencija.

Barijum titanat spada u feroelektrike kod kojih se spontana polarizacija može javiti duž nekoliko osa koje su u paraelektričnoj fazi ekvivalentne.

U literaturi postoji značajan broj radova koji se odnose na sintezu i karakterizaciju nikl cink ferita i barijum titanata. Ovde će biti primenjena jedna relativno nova metoda sinteze, metoda auto-sagorevanja. Viša čistoća materijala pripremljenih ovom metodom pripisuje se visokim temperaturama koje su ostvarene u toku same reakcije i koje su zaslužne za otparavanje organskih nečistoća iz materijala. Poboljšanje reaktivnosti i mehaničkih svojstava materijala pripisuje se visokoj koncentraciji defekata kao rezultat visoke temperature i relativno velikim brzinama hlađenja posle formiranja nanokristalnih prahova.

2. Drugi pravac doktorske disertacije obuhvatiće ispitivanje uslova sinteze i svojstava kompozitnih materijala na bazi nikl cink ferita i barijum titanata dobijenih homogenizacijom prahova u planetarnom mlinu. Za sintezu kompozita od velikog značaja su veličine čestica polaznih prahova. Poželjno je da čestice budu približnih veličina zbog bolje homogenizacije, kao i da polazni prahovi budu kompatibilne strukture, što i jeste slučaj sa spinelnim nikl cink feritom i perovskitnim barijum titanatom. Da bi se dobila zahtevana magneto-električna svojstva kompozitnog materijala treba obratiti pažnju na međusobnu povezanost parametara sinteze i dobijene strukture čime se može utvrditi i njihova povezanost sa krajnjim svojstvima dobijenog materijala.

1. . Shirane, Ferroelectric crystals, Dover Publications, INC., New York, 1993

#### **4. Naučne metode istraživanja**

Za sintezu i karakterizaciju dobijenih prahova i keramike, nikl cink ferita, barijum titanata i kompozita, biće korišćene sledeće metode:

Za sintezu kompozita homogenizacijom koristiće se planetarni mlin. Fazna analiza i praha i keramike biće izvedena metodom Rendgenske difrakcije sa Cu cevi i Ni filterom. Raman spektrometrija će se koristiti za preciznu identifikaciju faznog sastava. Za određivanje veličine čestica, kao i veličine i oblika zrna keramike, primeniće se metoda Skenirajući elektronske mikroskopije (SEM). Takođe, korišćen je visoko rezolucioni mikroskop (Field Emission Gun- FEG) u cilju ispitivanja prahova nanometarske veličine. Uređaj za određivanje dielektričnih svojstava materijala koristiće se za određivanje dielektrične konstante, tangensa gubitaka kao i ukupne otpornosti materijala. Udeo otpornosti zrna i granice zrna u ukupnoj provodnosti materijala određivan je uređajem za impendansna merenja. Remanentna magnetizacija, magnetizacija zasićenja, koercitivno polje, kao i polje na kome magnetizacija dostiže zasićenje određivana su korišćenjem superprovodnog kvantnog magnetometra (SQUID).

#### **2. Očekivani naučni doprinos**

Očekivani naučni doprinos ove doktorske disertacije bio bi:

- definisanje uslova sinteze u cilju dobijanja odgovarajuće mikrostrukture, kao i uslova sinterovanja u cilju dobijanja keramike odgovarajuće gustine i faznog sastava
- utvrđivanje uticaja masenog odnosa nikl cink ferita i barijum titanata na dielektrična i magnetna svojstva materijala
- na osnovu dobijenih rezultata biće ukazano i na moguće oblasti praktične primene dobijenih kompozita

## 6. Plan istraživanja i struktura rada

U doktorskoj disertaciji pod nazivom: Magneto-električna svojstva multiferoičnih kompozitnih materijala na bazi nikl-cink ferita i barijum titanata biće obrađena sledeća poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak i Literatura*.

U poglavlju *Uvod* biće prikazana oblast istraživanja, definisan predmet istraživanja, kao i glavni ciljevi doktorske disertacije. Poglavlje *Teorijski deo* obuhvatiće analizu dosadašnjih istraživanja koja su prikazana u dostupnoj literaturi i to:

- magnetna svojstva materijala (dijamagnetizam, paramagnetizam, feromagnetizam, antiferomagnetizam, feromagnetizam, uticaj temperature na magnetna svojstva)
- električna svojstva materijala (feroelektrici)
- feroelastična svojstva
- feritni sistemi (kubna spinelna struktura feritnih sistema, struktura nikl cink ferita, svojstva feritnih materijala, primena feritnih materijala, metode sinteze nikl cink ferita)
- barijum titanat (struktura barijum titanata, dielektrična svojstva barijum titanata)
- svojstva multiferoika (jednofazni multiferoici Bi i Pb perovskiti, kompoziti, primena feromagnetnih / feroelektričnih jedinjenja, magnetoelektrični materijali)

U poglavlju *Eksperimentalni deo* biće navedeni materijali i metode korišćene u eksperimentalnom radu:

- sinteza i karakterizacija praha nikl cink ferita
- dobijanje i karakterizacija keramike nikl cink ferita
- sinteza i karakterizacija praha barijum titanata
- sinteza i karakterizacija praha i keramike kompozita nikl cink ferita i barijum titanata u masenom odnosu 50-50
- sinteza i karakterizacija praha i keramike kompozita nikl cink ferita i barijum titanata u različitim masenim odnosima

Poglavlje *Rezultati i diskusija* sadržaće detaljan prikaz ostvarenih rezultata kao i njihovu interpretaciju. U poglavlju *Zaključak* će biti sumirani najvažniji zaključci izvedeni na osnovu sprovedenih istraživanja.

U delu *Literatura* biće navedene sve reference relevantne za izradu doktorske disertacije.

## 7. Zaključak i predlog

Kandidat je Adis Džunuzović je pokazao stručnost, samostalnost i sistematičnost u toku izrade doktorske disertacije, pa Komisija smatra da poseduje sve kvalitete neophodne za samostalni naučno-istraživački rad. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo uža naučna oblast Inženjerstvo materijala, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Na osnovu izloženog, Komisija smatra da je tema doktorske disertacije **"Magneto-električna svojstva multiferoičnih kompozitnih materijala na bazi nikel-cink ferita i barijum titanata"**, koju je predložio Adis Džunuzović, dipl. inž. tehnologije, master inženjer, naučno zasnovana. Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati predloženu temu i da za mentora imenuje Vesnu Radojević, redovnog profesora Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 02.03.2016.

### ČLANOVI KOMISIJE

.....  
Prof. dr Vesna Radojević, red. prof.  
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-  
metalurški fakultet

.....  
Prof. dr Petar Uskoković, red. prof.  
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-  
metalurški fakultet

.....  
Prof. dr Radmila Jančić-Heinemann, red. prof.  
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-  
metalurški fakultet

.....  
Dr Mirjana Vijatović Petrović, naučni saradnik,  
Univerziteta u Beogradu, Institut za  
multidisciplinarna istraživanja