

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(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:

ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВОДНОСТ И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОЛИМЕРНИХ КОМПОЗИТА ПУЊЕНИХ ХЕМИЈСКИ И ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИ ДОБИЈЕНИМ ПРАХОВИМА МЕТАЛА

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Технолошко инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Зоран (Радослав) Јанковић

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

Технолошки факултет Бања Лука, Хемијско инжењерство

3. Година завршетка претходног нивоа студија: **2014.**

4. Година уписа на докторске студије: **2016.**

5. Назив студијског програма докторских студија: **Технолошко инжењерство**

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **Миомир Павловић**

Звање: **Научни саветник**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Pavlović, M.G.**, Pavlović, Lj.J., Maksimović, V.M., Nikolić, N.D., Popov, K.I., „Characterization and Morphology of Copper Powder Particles as a Function of Different Electrolytic Regimes”, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 5(2010)1862-1878.
2. Pavlović, M.M., **Pavlović, M.G.**, Panić, V., Talijan, N., Vasiljević, Lj., Tomić, M.V., „Electrical Conductivity of Lignocellulose Composites Loaded with Electrodeposited Copper Powders. Part III. Influence of Particle Morphology on Appearance of Electrical Conductive Layers”, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7 (2012) 8894 – 8904.
3. Pavlović, M.M., Čosović, V., **Pavlović, M.G.**, Bojanić, V., Nikolić, N. D., Aleksic, R., „Electrical Conductivity of Lignocellulose Composites Loaded with Electrodeposited Copper Powders. Part II. Influence of Particle Size on Percolation Threshold”, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7(2012) 8883 – 8893.
4. Nikolić, N.D., Branković G., **Pavlović M.G.**, „Correlate between morphology of powder particles obtained by the different regimes of electrolysis and the quantity of evolved hydrogen”, *Powder Technology*, 221(2012)271-277.
5. Nikolić, N.D., Pavlović, Lj.J., **Pavlović, M.G.**, Popov, K.I., “Formation of dish-like holes and a channel structure in electrodeposition of copper under hydrogen co-deposition”, *Electrochim. Acta*, 52(2007)8096-8104.

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **11.05.2017.** 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

Проф. др Нада Штрбац

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

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

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-3-6
Бор, 12. 05. 2017. године

На основу чл. 47. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 11. 05. 2017. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **мр Зорана Јанковића**, дипл. инж. хем. технол., студента докторских академских студија студијског програма Технолошко инжењерство.

II Одобрава се именованом израда докторске дисертације под називом: „Електрична проводност и карактеризација полимерних композита пуњених хемијски и електрохемијски добијеним праховима метала“.

III За ментора се именује др Миомир Павловић, научни саветник ИХТМ Београд.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности.

Доставити:

- Већу научне области Универзитета у Београду
- именованом
- студентској служби
- архиви

**ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА**

ДЕКАН

Проф. др Нада Штрбац

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

ПРЕДМЕТ: Извештај комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Мр Зорана Јанковића, дипломираног инжењера технологије,**

Одлуком Научно–наставног већа Техничког факултета у Бору, бр. VI/4-1-7.1. од 24.03.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Мр Зорана Јанковића** под називом: **„Електрична проводност и карактеризација полимерних композита пуњених хемијски и електрохемијски добијеним праховима метала“.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси:

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1.Биографски подаци

Мр Зоран Јанковић, дипл. инжењер технологије рођен је 18.04.1968. год у Високом, БиХ. Основну школу завршио у Подлуговима, а средњу школу текстилни техничар у Високом. Технолошки факултет Универзитета у Тузли, хемијско-технолошки одсек уписао школске 1987/88 год. Због ратних дејстава, школовање наставља на Технолошком факултету Универзитета у Бањој Луци, гдје је 23.06.1994. год дипломирао.

Од 1994. до 1995. год. радио је у Средњој школи унутрашњих послова у Бањој Луци на пословима професора хемије. У Министарство унутрашњих послова Републике Српске у периоду од 1995. до 2009. год., обављао је послове Републичког инспектор заштите од пожара и координатора на противдиверзионој заштити. Од 2009. год. до данас обавља послове извршног директора у предузећу „В&З-Заштита“ д.о.о. Бања Лука, Магистарски рад одбранио 2014.год. на Технолошком факултету Универзитета у Бањој Луци. Просечна оцена испита предвиђених програмом постдипломских студија је 9,37.

1.3.Стечено научно–истраживачко искуство

Магистарску тезу под називом **„Избор и димензионисање опреме за поступак коагулације и флокулације код обраде отпадних вода од производње дисперзионих средстава у грађевинарству“** одбранио је 27.11.2014..год. на Технолошком факултету Универзитета у Бањој Луци.

1.3.Стечено научно–истраживачко искуство

Кандидат **Мр Зоран Јанковић** уписан је на докторске академске студије школске 2016/2017. године на студијском програму Технолошко инжењерство.

Истраживачка интересовања кандидата **Мр Зорана Јанковића** припадају областима коризије материјала. Мр Зоран Јанковић аутор је или коаутор 2 рада публикованих у међународним часописима из категорије М20, 1 рад публикован у часописима националног значаја из категорије М50, 4 саопштења на конференцијама међународног значаја.

У наставку, кандидат прилаже списак објављених радова:

✓ **Радови објављени у часописима међународног значаја (М20)**

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (М24)

1. M.M. Pavlović, V. Ćosović, J. Stajić-Trošić, **Z. Janković**, N. Nikolić, M.G. Pavlović, „Uticaj morfologije punioca na termijske karakteristike kompozita lignoceluloze punjene metalnim prahovima“, *Zaštita materijala*, 56 (4) 471-482 (2015).
2. S. Mićin, S. Martinez, B.N. Malinović, V. Grozdanić, **Z. Janković**, “Korozione karakteristike trojne legure ZnNiCo elektrohemijski istaložene korištenjem različitih anoda”, *Zaštita materijala*, 58 (2) 191-198 (2015).

✓ **Зборници међународних научних скупова (М30)**

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)

1. **Z. Janković**, M.M. Pavlović, V. Ćosović, J. Stajić-Trošić, N. Nikolić, M.G. Pavlović, „The effect of filler morphology on thermal characteristics of lignocellulose and metal powders composites”, 17. *YUCORR – Meeting Point of the Science and Practice in the Fields of Corrosion, Materials and Environmental Protection*, International Conference, Proceedings, CD, pp. 31-44, ISBN 978-86-82343-23-3, 08.-11.9.2015, Tara, Serbia.
2. **Z. Janković**, Lj. Rudić Mikić, Marija M. Pavlović, A. Gajić, M. Zarić, O. Grujić, Miroslav M. Pavlović, “Influence of ecologically acceptable polymer matrices on electrical conductivity of composites”, 18. *YUCORR – Meeting Point of the Science and Practice in the Fields of Corrosion, Materials and Environmental Protection*, International Conference, Proceedings, CD, pp. 177-183, ISBN 978-86-82343-24-0, 12.-15.4.2016, Tara, Serbia
3. M.G. Pavlović, M.M. Pavlović, M. Pantović, **Z. Janković**, R. Fuchs-Godec, B. Malinović, “Electroconductive Copper Powder Filled PMMA Composites”, *XI Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska*, Proceedings, pp. 125- 129, ISBN 978-99938-54-67-8, 18.-19. November 2016, Teslić, Republika Srpska

Саопштење са међународног скупа штампано у апстракт (М33)

1. M.M. Pavlović, M.G. Pavlović, **Z. Janković**, B. Arsenović, R. Fuchs-Godec, N.D. Nikolić, “Conductivity of copper filled composites with different polymer matrices”, III International Symposium of Corrosion and Materials Protection and Environment, International Conference, Proceedings, pp. 51-56, ISBN 978-9940-9334-2-5, 12.-15.10.2016, Bar, Montenegro

✓ **Радови објављени у часописима националног значаја (M50)**

Рад у часопису националног значаја (M52)

1.M.M. Pavlović, V. Ćosović, Z. Janković, J. Stajić-Trošić, M.G. Pavlović, “Thermal Analysis of Lignocellulose Composites Filled With Metal Powders”, Contemporary Materials, ISSN 1986-8677, VII (1) (2016) 21-31

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу увида у биографске податке, податке о магистратури, изнетих података о досадашњем раду, објављеним радовима и оствареног искуства кандидата, Комисија је установила да, кандидат Мр Зоран Јанковић, има научно–стручну усмереност у области којој припада предложена тема дисертације те се оцењује подобном за рад на датој теми. Комисија закључује да, кандидат Мр Зоран Јанковић, поседује све потребне квалификације и испуњава формалне услове за одобравање израде докторске дисертације и да може да приступи обради предложене теме на захтеваном нивоу.

2. Предмет и циљ истраживања

Повезивање два или више различитих састојака у једну супстанцу даје готово бескрајне могућности за стварање нових инжењерских материјала. Ови материјали, који се зову композитни материјали, могу се карактеризовати низом различитих особина па се стога широко користе у скоро свим областима индустрије и науке, посебно у аутомобилској, електричној и електронској, ваздухопловној, грађевинској и машинској индустрији, итд. [1-5].

У последњих неколико година, у литератури, могу се наћи бројне информације о могућностима примене полимера који садрже проводне пуниоце, као и различите методе за производњу таквих материјала [6-11]. Композити са металним пуниоцима су нашли примену као електромагнетна заштита рачунара и електронске опреме, проводни лепкови за електронску опрему, хладни варови, прекидачи, материјали за одвођење статичког електрицитета у уређајима за заштиту од напонских удара, електроде за соларне ћелије на бази боја [1, 3, 4, 11-13]. Они су такође нашли технолошку примену као саморегулишући грејачи, фототермички оптички снимачи, хемијски сензори и електронски носеви, хемијски и електрохемијски катализатори и адсорбенси, суперкондензатори [14-16]. Електропроводни полимерни композити имају неколико предности у односу на своје полазне градивне супстанце, а те предности укључују мање трошкове и лакоћу производње, високу флексибилност, мању тежину, већу способност апсорпције механичких удара, отпорност на корозију и контролу проводности [1].

Истраживања у области електропроводних полимерних композита пуњених металним праховима су доживела велики развој у последње две деценије. Додавање металних пунилаца полимерним матрицама омогућава очување механичких особина полимера док се истовремено искоришћавају електропроводна својства метала [1]. Електрична проводност полимера се може повећати за неколико редова величине додавањем металних пунилаца у облику влакана, прахова или проводних материјала [17-20]. Са друге стране електрична проводност се може остварити блендовањем суштински проводних полимера са непроводном матрицом [21, 22]. Проводност композита са проводним пуниоцима зависи од природе контакта између проводних честица пуниоца и запреминског удела фракције пуниоца, што је објашњено перколационом теоријом [23, 24]. Перколациони праг је обично

15-30 vol% за сферне честице [25, 26]. Међутим, главна механичка својства чистог полимера која се очекују да остану се губе при овим великим вредностима запреминских удела фракција пуниоца услед велике концентрације метала која је потребна за постизање проводности кроз перколацију металних честица.

Проводљивост проводних полимера композита веома зависи од природе контаката између елемената проводних пунилаца. Да би се постигла боља електрична проводност проводних полимерних композита, а самим тим постигле уштеде у материјалу, пожељна је употреба различитих врста пунилаца, нарочито оних са високо развијеним површинама. Теоријска и експериментална разматрања су показала да употреба ових пунилаца доводи до формирања проводне мреже кроз целокупну запремину узорка при много нижим запреминским уделима фракције пунилаца [27,28]. Међутим, перколациони праг, електрична проводност, електрично понашање композитних система са пуниоцима веома развијених површина, и пре свега топлотно понашање ових материјала нису детаљно истражени. Због тога постоји потреба за детаљније проучавање стварних синергетских ефеката различитих димензионалности пунилаца погодних за изградњу проводних мрежа код проводних полимерних композита.

Предмет рада ове докторске дисертације ће бити синтеза и карактеризација електропроводних композитних материјала на бази комерцијалних, термопластичних и биоразградивих полимера и металних прахова сребра и бакра. Први део дисертације би био посвећен синтези композита на бази лигноцелулозе, полилактичне киселине (PLA), полилактида-ко-гликолида и полихидроксibuтирата (PHB) са електрохемијски добијеним бакарним и сребрним праховима (у галваностатском и пулсирајућем режиму електролизе), као и хемијски добијеним праховима ових метала. Овај део дисертације би се бавио и анализом матрице и металног праха као полазних материјала. У другом делу биће испитан утицај физичких параметара на електричну проводност, као и карактеризација композитних материјала, испитивање електричне проводности. Испитивања ће обухватати: расподелу величине честица, квантитативну микроструктурну анализу, морфологију честица путем скенирајућег електронског микроскопа, DSC анализе, дифракцију X зрака, TGA анализе и анализе електричне проводљивости снимањем струјно-напонских (U/I) карактеристика и IS методом. На основу добијених резултата, предложиће се погодни перколациони модел за добијене композите

У скорије време, научници и инжењери су се фокусирали на смањење емисије угљен-диоксида свих постојећих производа било мешањем биопластике и синтетичке пластике и/или ојачавањем исте природним, односно синтетичким влакнима и пуниоцима. Суштински биокомпозити се добијају комбинацијом биоразградивих полимера било као матрице и/или пуниоца [29]. Према томе, термин биокомпозити се односи на композите који су израђени од биопластике и синтетичке пластике импрегиране са природним или синтетичким влакнима или оба.

Биокомпозити који су добијени од природних биљних влакана и биодеградабилне пластике добијене из природних извора (биополимери и биопластика) су изразито еколошки прихватљиви и називају се још и „зелени композити“ [30]. Ови еколошки прихватљиви зелени композити имају потенцијал да постану нови материјали XXI века и могу бити делимично решење многим глобалним проблемима. Због свега наведеног, обновљиви извори полимерних материјала дају одговор на питање одрживог развоја економичне и еколошки привлачне и прихватљиве технологије [30].

На величину и облик честица прахова добијених електролизом раствора електролита утиче велики број фактора. Најважнији од њих су састав раствора електролита, густина струје, концентрација јона метала који се таложи, рН вредност раствора, температура, брзина циркулације раствора и коришћење разних додатака. Деловање сваке променљиве није истог реда величине, а ефекти су међусобно зависни. На пример, промене у концентрацији могу бити важније од варирања температуре, док снажно мешање може компензовати повећање густине струје. Уопштено посматрано, димензије честица расту са повећањем концентрације

јона метала који се таложи, смањењем густине струје, повишењем температуре раствора и повећањем брзине мешања раствора [31-38]. Са повећањем димензија честица мења се и њихов облик уз настајање компактнијих и мање дендритичних форми. Према томе, сви фактори који повећавају вероватноћу настајања праха утичу на смањење димензија честица.

Најзначајнија научна литература коришћена за дефинисање теме дисертације је:

1. V.H. Pobleto, M.P. Alvarez, V.M. Fuenzalida, Polym. Compos. 30 328 (2009).
2. S.K. Bhattacharya, Metal Filled Polymers: Properties and Applications, Marcel Dekker, New York, 1986.
3. L. Xiangcheng, D.D.L. Chung, Compos. B: Eng. 30 227 (1999).
4. Y. Xu, D.D.L. Chung, C. Mroz, Compos. A: Appl. Sci. Manuf. 32 1749 (2001).
5. E.E. Tanriverdi, A.T. Uzumcu, H. Kavas, A. Demir, A. Baykal, Nano5Micro Lett. 3 99 (2011).
6. M. Thakur, Macromol. 21 661 (1988).
7. H.S. Son, H.J. Lee, Y.J. Park, J.H. Kim, Polym. Int. 46 308 (1998).
8. J. Bouchet, C. Carrot, J. Guillet, Polymer Engineering and Science. 40 36 (2000).
9. L. Flandin, A. Chang, S. Nazarenko, A. Hiltner, E. Baer, J. Appl. Polym. Sci. 76 894 (2000).
10. S. Kamel, Express Polym. Lett. 1 546 (2007).
11. M.R. Al5bahrani, W. Ahmad, H.F. Mehnane, Y. Chen, Z. Cheng, Y. Gao, Nano5Micro Lett. 7 298 (2015).
12. F. Brouers, J. Phys. C: Solid State Phys. 19 7183 (1986).
13. M.5L. Sham, J.5K. Kim, Compos. A: Appl. Sci. Manuf. 35 537 (2004).
14. J. Delmonte, Metal/Polymer Composites, (Van Nostrand Reinhold New York, 1990).
15. X. Yang, K. Xu, R. Zou, J. Hu, Nano5Micro Lett. 8 143 (2016).
16. Y. Yang, K. Shen, Y. Liu, Y. Tan, X. Zhao, J. Wu, X. Niu, F. Ran, Nano5Micro Lett. 9 6 (2016).
17. P.P. Parlevliet, H.E.N. Bersee, A. Beukers, Compos.A: Appl. Sci. Manuf. 38 651 (2007).
18. B. Weidenfeller, M. Höfer, F.R. Schilling, Compos. A: Appl. Sci. Manuf. 35 423 (2004).
19. G. Boiteux, J. Fournier, D. Issotier, G. Scytire, G.Marichy, Synth. Met. 102 1234 (1999).
20. J. Tong, Y. Ma, R.D. Arnell, L. Ren, Compos. A: Appl.Sci. Manuf. 37 38 (2006).
21. Y. Niu, Polym. Compos. 27 627 (2006).
22. C.5H. Chen, C.5F. Mao, S.5F. Su, Y.5Y. Fahn, J. Appl. Polym. Sci. 103 3415 (2007).
23. D.S. McLachlan., M. Blaszkiewicz, R.E. Newnham, J. Am. Ceram. Soc. 73 2187 (1990).
24. D. Stauffer, A. Aharony, Introduction To Percolation Theory, 2nd ed., (Taylor and Francis London, 1992).
25. Y. Zweifel, C.J.G. Plummer, H.5H. Kausch, J. Mater. Sci. 33 1715 (1998).
26. M.A. Valente, L.C. Costa, S.K. Mendiratta, F. Henry, L. Ramanitra, Solid State Commun. 112 67 (1999).
27. S.M. Zhang, L. Lin, H. Deng, X. Gao, E. Bilotti, T. Peijs, Q. Zhang, Q. Fu, Express Polym. Lett. 6 159 (2012).
28. M.M. Pavlović, Synthesis and Characterization of Electroconducting Composite Materials Based on Biodegradable Polymers and Metal Powders (in Serbian), *Ph. D. Thesis*, (University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, 2015).
29. S. Pilla (Ed.), *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*, John Wiley and Sons, New Jersey, (2011).
30. G.W. Ehrenstein, *Polymeric materials*, Hanser, Munich, (2001).
31. A.V. Pomosov, V. D. Kalugin, *Zhurnal Prikladnoi Khimii*, **36**, 73, (1963).
32. A.V. Pomosov, L. M. Kurvyakova, G. M. Anosova, *Zhurnal Prikladnoi Khimii*, **39**, 1200, (1966).
33. L.M. Kurvyakova, A. V. Pomosov, *Elektrokhimiya*, **3**, 283, (1966).
34. A.B. Filosofova, L.M. Galieva, B.N. Smirnov, L.I. Popova, *Poroshkovaya metallurgiya*, **12**, 1, (1984).

35. E.E. Usol'tseva, I.B. Murashova, A.V. Pomosov, E.A. Mastyugina, *Poroskhovaya metallurgiya*, **12**, 4, (1984).
36. E.E. Usol'tseva, A.V. Pomosov, L.P. Mozhar, I.N. Agafodorova, E.A. Mastyugina, *Poroshkovaya metallurgiya*, **11**, 4, (1987).
37. K.V. Pestov, B.N. Smirnov, A.B. Filosofova, V.V. Puzakov, *Poroshkovaya metallurgiya*, **11**, 8, (1987).
38. M.G. Pavlović, Lj.J. Pavlović, N.D. Nikolić, K.I. Popov, *Materials Science Forum*, **352**, 65, (2000).

Потреба за високопроводним композитима на бази полимера је мотивација да се развију нови проводни композити са биоразградивим матрицама пуњених електрохемијски добијеним праховима метала који би задржали пожељне карактеристике полимера, укључујући и лакоћу обраде, а при чему би се добила велика проводност по ниској цени. Стратегија се састоји у манипулацији морфологијом пунилаца тако да се ова проводност оствари при ниском перколационом прагу.

Код активног угља је показано да структурисаније групације честица повећавају проводност за задати запремински удео фракције. То не изненађује ако се узме у обзир да структурисанији пуниоци већ имају разгранате електропроводне повезане мреже и да ће, као последица тога, лакше доћи до настанка глобално повезане мреже. Међутим, груписање честица пуниоца није једина могућност побољшања проводност композита. Убрзо се схватило да када честице пуниоца имају облике који одступају од сферних (нпр. влакана или плочице), висок ниво проводности се може добити већ при веома ниским запреминским уделима фракција у системима састављеним од добро диспергованих честица. У овом тренутку мора се напоменути да је постизање добре проводности при нижим запреминским уделима фракција пуниоца снажно мотивисано чињеницом да више вредности запреминских удела фракције пуниоца могу довести до деградације, како лакоће обраде, тако и механичких својстава добијених композита [39], који при вишим вредностима запреминског удела има тенденцију да постане крт. Још једна мотивација је и смањење трошкова. Стога се велики број радова бавио смањењем запреминског удела фракције адитива употребом несферичних честица, али јако мали број аутора је користио биоразградиве полимере као матрицу [40-43].

39. M.M. Pavlović, V. Ćosović, M.G. Pavlović, N. Talijan, V. Bojanić, *International Journal of Electrochemical Science*, **6**, 3812, (2011).
40. M.M. Pavlović, V. Ćosović, M.G. Pavlović, V. Bojanić, N.D. Nikolić, R. Aleksić, *International Journal of Electrochemical Science*, **7**, 8883, (2012).
41. M.M. Pavlović, M.G. Pavlović, V. Panić, N. Talijan, Lj. Vasiljević, M.V. Tomić, *International Journal of Electrochemical Science*, **7**, 8894, (2012).
42. M.M. Pavlović, M.G. Pavlović, V. Ćosović, V. Bojanić, N.D. Nikolić, R. Aleksić, *International Journal of Electrochemical Science*, **9**, 8355, (2014).
43. G. Pinto, M. B. Maidana, *Journal of Applied Polymer Science*, **82**, 1449, (2001).

При дефинисању теме коришћени су научни радови и актуелне, релевантне научне публикације штампане од стране водећих светских издавача. Коришћене су доступне електронске базе и web – оријентисане платформе као што су Web of Science, Science Direct, Springer Link, SCOPUS, KOBSON, Engineering Village и други. При тумачењу експериментално добијених података и надаље ће бити коришћена литература добијена из наведених извора.

3. Полазне хипотезе

Електрична својства полимерних система пуњених проводним честицама могу се објаснити коришћењем перколационих теорија. Класична перколациона теорија разматра повезану мрежу проводних веза у непроводној матрици у бесконачном узорку. Код композита са полимерном матрицом пуњеном металним праховима, ова мрежна структура се остварује дисперзијом ових прахова, који у једном тренутку остварују међусобни контакт и повезују се у полимерној матрици стварајући проводне путеве. Када је присутна довољна запремина металног праха да створи електропроводни пут, јавља се нагла промена у проводности композита која се назива перколациони праг. Како расте удео металних честица у композиту отпорност композита се драматично смањује, и изнад перколационог прага се коначно приближава стабилизovanом нивоу проводности која је блиска електричној проводности самог метала који је коришћен као пунилац. У овим композитним системима честице старају проводне путеве по целој запремини полимерне матрице, чиме се омогућава неометано и слободно кретање електрона кроз материјал. Перколациона теорија квантитативно објашњава електричну проводљивост композита у односу на запремински удео честица. Критични запремински удео V_C , који се такође назива и перколациони праг, представља најнижу концентрацију честица која формира континуалне проводне путеве кроз целокупну запремину полимерне матрице.

На проводност композита утичу унутрашње проводности металних честица и матрице, као и интеракција између полимера и честица. У системима са израженом адхезијом између полимера и честица, полимер формира дебео филм око проводних честицама који ограничава међучестични контакт, чиме композит и даље има ниску проводљивост, али добра механичка својства. У системима са слабије израженом адхезијом између полимера и честица постоји већа вероватноћа контакта, али она долази као компромис механичких својства.

На перколациони праг такође утичу величина, облик и дисперзија честица, као и слободна површина честица. Може се рећи да промене, како електричне отпорности тако и перколационог прага композита јако зависе од матрице, типа и запреминског удела честица. Осим ових фактора, температура и фреквенција такође имају утицај на електричну проводност.

Циљеви истраживања у предложеној докторској дисертацији су:

- Испитивање електричних својстава композита са биоразградивом полимерном матрицом испуњених металним праховима добијеним хемијским и електрохемијским путем;
- Испитивање структуре добијених композита;
- Проучавање односа између матрице и металних честица у композиту у циљу бољег разумевања понашања електричне проводљивости ових материјала. Ово се постиже кроз испитивање зависних променљивих за карактеризацију полимера, при чему су метод обраде и запремински удео независне променљиве код карактеризације електричне проводљивости композита;
- Успостављање корелације између физичких карактеристика полимера и металних честица са електричном проводљивошћу целокупног композита;
- Испитивање утицаја типа биоразградиве матрице на постојаност, физичка и електрична својства композита;
- Испитивање утицаја морфологије добијених честица метала на перколациони праг композитних материјала. Овај приступ укључује и класичну перколациону карактеризацију и динамичну перколациону карактеризацију, заједно са неколицином физичких тестова особина полимерних и композитних материјала.

4. Научне методе истраживања

У оквиру реализације докторске дисертације биле би коришћене стандардне аналитичке и инструменталне методе за карактеризацију полазних конституената поли(лактида) (PLA), поли(хидрокси бутирата) (PHB) као и кополимера поли(лактид-ко-гликолида) (PLGA) и металних прахова и испитивања својстава синтетизованих композита. Испитивања би обухватила одређивање расподеле величине честица методама оптичке микроскопије, скенирајуће електронске микроскопије (SEM), као и методом дифракције ласерске светлости. Испитивање састава и структуре полазних конституената и добијених композита вршило би се помоћу инфрацрвене спектрометрије са *Fourier*-овом трансформацијом (ATR-FTIR), дифракције X зрака (XRD) и енерго дисперзионом спектроскопском анализом (SEM/EDX). Морфологија и микроструктура полилактичне киселине, полилактида-ко-гликолида, полихидроксибутирата, коришћених металних прахова и финалних композита би се испитивала помоћу оптичке микроскопије и скенирајуће електронске микроскопије у комбинацији са спектроскопијом X зрака (SEM/EDX). Термичка стабилност и термијско понашање полазних конституената и синтетизованих композита са саставом блиским перколационом прагу би се испитала применом диференцијалне скенирајуће калориметријске анализе (DSC) и термогравиметријске анализе (TGA). У циљу анализе електричних својстава испитиваних композитних материјала одређивала би се електрична проводност путем мерења отпорности U/I методом као и методом импедансне спектроскопије (IS). Могуће остварене везе у композиту испитивале би се применом FTIR спектроскопије. Све изложене методе истраживања су адекватне областима које би биле обухваћене у докторској дисертацији.

Хемијско добијање прахова метала ће се вршити хемијском редукцијом са одговарајућим редукционим средствима, док ће се електрохемијско добијање прахова вршити у стандардној електрохемијској ћелији.

Добијање електропроводних полимерних композита пуњених металним праховима састојаће се из следећих операција: прорачуна потребне количине материјала који улази у састав композита, мерења потребне количине материјала, топљења материјала и прављења композита у молдеру, хлађења и полирања узорака. Након добијања композитних узорака на бази биоразградивих матрица и хемијски и електрохемијски добијених прахова метала приступиће се њиховој карактеризацији.

Добијање полазних узорака у оквиру предложене теме докторске дисертације биће обављено у Институту за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду (ИХТМ). Карактеризација и испитивања узорака извршиће се такође у Институту за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду (ИХТМ), Институту за рударство и металургију Бор у Бору, на Техничком факултету у Бору, Технолошко – металуршком факултету у Београду, с обзиром на то да ове институције поседују опрему потребну за наведена испитивања.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања у докторској дисертацији допринети:

- развоју нових електро-проводних композитних материјала са биоразградивим матрицама и металним праховима са развијеним слободним површинама;
- проширивању фундаменталних знања из области електричне и термичке проводности композитних материјала, као и перколационе теорије у виду бољег разумевања утицаја структуре и морфологије честица на положај и понашање перколационог прага;

- успостављању корелације између структуре и морфологије честица електропроводног пуниоца на електричну проводљивост композита;
- примени физичко-хемијских метода у циљу бољег разумевања структурних и електричних карактеристика испитиваних композитних материјала.

6. План истраживања и структура рада

Предвиђа се да ће докторска дисертација садржати следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература.*

У поглављу *Увод* биће укратко описана проблематика електричне проводљивости композита и дефинисани циљеви рада.

У оквиру *Теоријског дела* докторске дисертације биће дат преглед, у литератури приказаних релевантних истраживања, везаних за:

- полимере са проводним пуниоцима;
- синтезу и својства електропроводних композита;
- својства композита на бази поли(лактида) (PLA), поли(хидрокси бутирата) (PHB) као и кополимера поли(лактид-ко-гликолида) (PLGA)
- перколационе теорије
- испитивање понашања електропроводних композита снимањем струјно-напонских (U/I) карактеристика и IS методом;
- проучавање утицаја морфологије матрице и пуниоца на електрична својства композита
- утицај електрохемијске методе добијања прахова на структуру и морфологију честица пуниоца

У *Експерименталном делу* ће бити наведени:

- опис експерименталних техника
- хемикалије коришћене у раду
- методе карактеризације полазних конституената и композита
- услови при којима су извођени експерименти

У поглављу *Резултати и дискусија* биће представљени и дискутовани резултати електрохемијске и морфолошке карактеризације изабраних пуниоца, као и карактеризација полазних матрица и композита. Ово поглавље ће садржати:

- карактеризацију поли(лактида) (PLA), поли(хидрокси бутирата) (PHB) као и кополимера поли(лактид-ко-гликолида) (PLGA)
- карактеризацију електрохемијски и хемијски добијеног бакарног и сребрног праха помоћу расподеле величине честица, квантитативне микроструктурне анализе, а морфологију честица путем скенирајућег електронског микроскопа;
- карактеризацију композита честица путем скенирајућег електронског микроскопа, DSC анализе, дифракције X зрака, TGA анализе и анализе електричне проводљивости снимањем струјно-напонских (U/I) карактеристика и IS методом.

У *Закључку* ће се сумирати добијени резултати, уз осврт на њихову иновативност, важност, потенцијалну практичну примену, као и план даљег рада. *Литература* ће садржати радове цитиране у дисертацији, као и радове проистекле из саме дисертације.

Структура рада

1. Уводни део
2. Теоријски део
3. Експериментални део
4. Резултати истраживања и дискусија
5. Закључак

6. Литература

7. Закључак и предлог

На основу пријаве и образложења теме докторске дисертације, Комисија за оцену подобности теме и кандидата закључује да, кандидат **Мр Зоран Јанковић**, испуњава све законске услове за израду предложене докторске дисертације и сматра да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору да се кандидату **Мр Зорану Јанковићу** одобри израда докторске дисертације под називом **„Електрична проводност и карактеризација полимерних композита пуњених хемијски и електрохемијски добијеним праховима метала“**. Предложена тема спада у научно поље техничко–технолошких наука, научне области технолошко инжењерство, на акредитованим докторским студијама Техничког факултета у Бору.

За ментора се предлаже др Миомир Павловић, научни саветник, ИХТМ Институт за хемију, технологију и металургију, Београд, који испуњава законом све предвиђене услове.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Милан Антонијевић, редовни професор
Технички факултету Бору Универзитета у Београду

.....
Др Миле Димитријевић, вандредни професор
Технички факултет у Бору Универзитета у Београду

.....
Др Снежана Милић, вандредни професор
Технички факултет у Бору Универзитета у Београду

.....
Мирослав Павловић, научни сарадник
Институт за Хемију, Технологију и Металургију Београд,
(председник комисије)