

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/261

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

13.11.2023.

(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:

“Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Александра (Ацо) Јанићијевић

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер студије, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2018.

4. Година уписа на докторске студије: 2018.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство материјала

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ :

Име и презиме ментора: др Предраг Живковић

Звање: Ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. N. Đorđević, A.D. Marinković, **P. Živković**, V.D. Kovačević, S. Dimitrijević, V. Kokol, P. S. Uskoković, Improving the packaging performance of low-density polyethylene with PCL/nanocellulose/copper(II)oxide barrier layer, *Science of Sintering*, 50 (2018) 149-161, ISSN 1820-7413 (online); 0350-820X (print) IF(2019)=1,172 (14/28), <https://doi.org/10.2298/SOS1802149D>
2. N.D. Nikolić, **P.M. Živković**, J.D. Lović, G. Branković, Application of the general theory of disperse deposits formation in an investigation of mechanism of zinc electrodeposition from the alkaline electrolytes, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 785 (2017) 65–74; ISSN 1572-6657; IF(2017)=3,235 (11/28), <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.12.024>
3. I. Janković-Častvan, S. Lazarević, D. Stojanović, **P. Živković**, R. Petrović, Đ. Janačković, PVB/sepiolite nanocomposites as reinforcement agents for paper, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 81 (2016) 1295–1305, ISSN 0352-5139, IF(2016)=0,822 (131/166) <https://doi.org/10.2298/JSC160506067J>
4. I. Janković-Častvan, S. Lazarević, D. Stojanović, **P. Živković**, R. Petrović, Đ. Janačković, Improvement of the mechanical properties of paper by starch coatings modified with sepiolite nanoparticles, *Starch/Staerke*, 67 (2015) 373-380 ISSN 0038-9056, IF(2015)=1,523 (58/125) <https://doi.org/10.1002/star.201400171>
5. N.D. Nikolić, K.I. Popov, E.R. Ivanović, G. Branković, S .I. Stevanović, **P.M. Živković**, The potentiostatic current transients and the role of local diffusion fields in formation of the 2D lead dendrites from the concentrated electrolyte, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 739 (2015) 137-148, ISSN 1572-6657 IF(2015)=2,822 (10/27), <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2014.12.020>

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

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

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2 :

Име и презиме ментора: др Сузана Филиповић

Звање: Виши научни сарадник Института техничких наука САНУ

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. A. Janićijević, V. P. Pavlović, D. Kovačević, M. Perić, B. Vlahović, V. B. Pavlović, **S. Filipović**, Structural Characterization of Nanocellulose/Fe₃O₄ Hybrid Nanomaterials, *Polymers*, 14 (2022) 1819.
ISSN: 2073-4360 IF: 5.0 <https://doi.org/10.3390/polym14091819>
2. L. Kilanski, S. Lewinska, A. Slawska-Waniewska, V. B. Pavlović, **S. Filipović**, Attempts to obtain BaTiO₃/Fe₂O₃ core-shell type structures: The role of iron oxide nanoparticle formation and agglomeration, *Inorganic Chemistry Communications* 145 (2022) 109960, **Print ISSN: 1387-7003, Online ISSN: 1879-0259, IF: 3.8**
<https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109960>
3. **S. Filipović**, N. Obradović, Lj. Andjelković, D. Olćan, J. Petrović, M. Mirković, V. Pavlović, D. Jeremić, B. Vlahović, A. Đorđević, Multiferroic heterostructure BaTiO₃ / ε-Fe₂O₃ composite obtained by *in situ* reaction, *Science of Sintering*, 53 (2021) 1. **Print ISSN: 0350-820X, Online ISSN: 1820-7413, IF: 1.725**
<http://ojs.itn.sanu.ac.rs/index.php/scisint/article/view/720>
4. **S. Filipović**, Lj. Anđelković, D. Jeremić, P. Vulić, A. S. Nikolić, S. Marković, V. Paunović, S. Lević, V. B. Pavlović, Structure and Properties of Nanocrystalline Tetragonal BaTiO₃ Prepared by Combustion Solid State Synthesis, *Science of Sintering*, 52 (2020) 257. **Print ISSN: 0350-820X, Online ISSN: 1820-7413, IF: 1.412**,
<http://ojs.itn.sanu.ac.rs/index.php/scisint/article/view/735>
5. **S. Filipović**, V. P. Pavlović, M. Mitrić, S. Lević, N. Mitrović, A. Maričić, B. Vlahović, V. B. Pavlović, "Synthesis and characterization of BaTiO₃/α-Fe₂O₃ core/shell structure", *Journal of Advanced Ceramics*, Vol. 8, (2019) 133.
Print ISSN: 2226-4108, Online ISSN: 2227-8508, IF: 2.889
<https://doi.org/10.1007/s40145-018-0301-5>

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

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

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

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 09.11.2023. 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 **Александре Јанићијевић**, број индекса 4026/18, под називом: **„Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита“.**

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

За менторе се одређују др Предраг Живковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Сузана Филиповић, виши научни сарадник Института техничких наука САНУ у Београду.

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Александре А. Јанићијевић за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/200 од 24.08.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности кандидата Александре А. Јанићијевић, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације са темом **„Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита“**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Александра (Ацо) Јанићијевић рођена је 12.10.1993. године у Београду. Завршила је Основну школу „Јован Миодраговић“, а потом и XIV београдску гимназију, у Београду на општини Врачар. Основне студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду започела је 2012/2013. школске године, на смеру инжењерство материјала. Дипломирала је 2017. године а назив завршног рада гласи „Промена механичких својстава синтетских ресорптивних и нересорптивних хируршких конача у симулираним условима експлоатације“, који је одбрањен са оценом 10 под руководством ментора др Мелине Калагасидис Крушић и члана комисије др Мирјане Костић. Под истим руководством ментора уписала је мастер студије школске 2017/18. године и 2018. добила је звање мастер инжењер материјала, одбраном мастер рада под називом „In vitro испитивање контролисаног отпуштања гентамицин-сулфата из хируршких конача израђених од најлона и свиле“ са оценом 10. Школске 2018/19. уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Инжењерство материјала.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Александра Јанићијевић је јануара 2019. године бирања за истраживача приправника на Технолошко-металуршком факултету, а затим се са истим звањем запослила у Институту за технологију нуклеарних и минералних сировина (ИТНМС) у Београду. Школске 2019/20 добила је звање асистента у настави за ужу стручну област, којом је остварила запослење у наставно-образовној установи Академија техничких струкових студија у Београду (АТССБ). Ангажована је на предметима: Графички материјали, Материјали индустријског дизајна, Материјали производа од коже, Припрема за штампу, Боје и лакови и Савремени амбалажни материјали. Паралелно са ангажовањем у настави на Академији техничких струкових студија у Београду ангажује се у научно-истраживачком раду у оквиру докторских студија, у области Инжењерства материјала на катедри за Графичко инжењерство.

Од стране Академије техничких струковних студија у Београду, ангажована је на функцији заменик руководиоца акредитоване лабораторији „Полихем“, од 2021. Члан је организационог одбора научно стручних скупова : „Научно стручни скуп Политехника 2021“ и „INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL CONFERENCE POLITEHNIKA 2023“.

Александра Јанићијевић, мастер инж. технологије, положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија, укључујући и завршни испит, одбрањен 28.09.2021. под насловом „Синтеза ламинатног мултифероичног композита на бази модификоване бактеријске целулозе са поли(винилиден-флуоридом) и баријум-титанатом“, са оценом 10. Говори и пише енглески језик.

Аутор и коаутор је више радова објављених у домаћим и страним часописима као и радова представљених на домаћим и међународним конференцијама.

Положени испити и остварени бодови у току докторских студија:

Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1. Одабрана поглавља математичке анализе	10	5
2. Наука о материјалима и инжењерство материјала	10	6
3. Термодинамика чврстог стања	10	5
4. Енглески језик	10	
5. Теорија формирања влакана	9	5
6. Хемијска кинетика	7	5
7. Принципи синтезе полимера	10	5
8. Полимеризације у хетерогеним системима	10	5
9. Површински активне материје	9	5
10. Биокompatитни материјали	10	5
11. Инжењерство ткива	8	4
12. Завршни испит	10	30
Просечна оцена	9,36	
Збир ЕСПБ поена		80

Списак објављених радова који показују афинитет, способност и подобност кандидата за израду предложене дисертације

M21 Рад објављен у врхунском међународном часопису

1. **A. Јанићијевић**, V.P. Pavlović, D. Kovačević, M. Perić, B. Vlahović, V.B. Pavlović, S. Filipović, Structural Characterization of Nanocellulose/Fe₃O₄ Hybrid Nanomaterials, Polymers 2022, 14(9), 1819; <https://doi.org/10.3390/polym14091819>, IF 5.0, ISSN 2073-4360
2. **A. Јанићијевић**, S. Filipović, A. Sknepnek, B. Vlahovic, N. Đorđević, D. Kovačević, M.M. Mirković, I. Petronijević, P.M. Živković, J. Rogan, V.B. Pavlovic, Dielectric and Structural Properties of the Hybrid Material Polyvinylidene Fluoride-Bacterial Nano-Cellulose Based Composite, Polymers 2023, IF 5.0, ISSN 2073-4360, прихваћен за штампу.

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **A. Јанићијевић**, Lj. Andrić, D. Radulović, J. Milojković, T. Šoštarić, M. Harbinja, Z. Lopičić, Pyrophilite “Parsovići” – efficient material in heavy metal removal, IOC 2019 International Octobar Conference, Bor 29 - 30 November, 2021

M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **A. Janićijević**, M. Kalagasidis Krušić, M. Kostić M., In vitro examination for controlled release of gentamicin sulfate from nylon and silk surgical threads, ISC 2019 6th international student conference on Technical Sciences, Bor 25-27 Septembar, 2019
2. N.N. Stojanović, **A. Janićijević**, A.J. Janićijević, Thermally guided dehydration of binuclear $[\text{Ni}_2(\text{en})_2(\text{H}_2\text{O})_6(\text{pyr})]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ complex, Contemporary Materials 2022 - Savremeni Materijali XIII-1, Banja Luka, Vol. 13 No. 1, 2022, <https://doi.org/10.7251/COMEN2201084S>
3. J. Vučićević, S. Čupić, M. Jauković, V. Đurđević, M. Stamenović, A. Božić, **A. Janićijević**, Current state of the quality of the Lug river in the municipality of Mladenovac, The XV International Mineral Processing and Recycling Conference, str. 612, Beograd 17-19 Maj 2023
4. **A. Janićijević**, V. B. Pavlović, A. Sknepnek, M. Mirković, D. Kovačević, N. Djordjević, S. Filipović, „Effect of prolonged precipitation on morphology and crystal structure of the bacterial nanocelulose/ Fe_3O_4 composite“, Advanced ceramics and application IX: New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing, 20-21 Septembar 2021, str. 55-56, ISBN: 978-86-915627-8-6
5. **A. Janićijević**, A. Sknepnek, N. Đorđević, P. Živković, M. Petrović, S. Filipović, Influence of BaTiO_3 Filler on Tensile Strength of Complex Multifunctional Systems Based on Polyvinylidene Fluoride and Bacterial Nanocelulose, Conference Advanced Ceramics and Application : New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing (11 ; 2023 ; Beograd), str. 86, ISBN 978-86-905714-0-6

M51 Рад у врхунском часопису националног значаја

1. K. Pantović Spajić, S. Sakan, D. Đorđević, T. Šoštarić, Z. Lopičić, **A. Janićijević**, K. Stojanović, Comparison of extraction agents for metal determination in sediments from artificial lakes and rivers in Serbia, Acta Periodica Technologica 2019(50), str. 189-196; <https://doi.org/10.2298/APT1950189P>
2. S. Stanković, T. Šoštarić, M. Bugarčić, **A. Janićijević**, K. Pantović Spajić, Z. Lopičić Adsorption of $\text{Cu}(\text{II})$ ions from synthetic solution by sunflower seed husks, Acta Periodica Technologica 2019 (50), str. 268-277; <https://doi.org/10.2298/APT1950268S>

M52 Рад у истакнутом националном часопису

1. **A. Janićijević**, A. Sknepnek, M. Mirković, V. B. Pavlović, S. Filipović, Optimizacija parametara sinteze nanokompozita na bazi bakterijske nanoceluloze/ Fe_3O_4 , Tehnika 2021, 392, str. 273-278, DOI: 10.5937/tehnika2103273J, ISSN: 0040-2176; 2560-3086

M63 Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

1. **A. Janićijević**, S. Filipović, V. B. Pavlović, A. Sknepnek, D. Kovačević, N. Đorđević, M. Mirković, P. Živković, Sinteza i struktura bakterijske celuloze primenom bakterija sirćetnog vrenja, XXVI Savetovanje o biotehnologiji, Čačak 12-13 mart 2021, str. 281-289, DOI: 10.46793/SBT26.281J, ISBN: 978-86-87611-80-1

2. **A. Janićijević, V. B. Pavlović, A. Sknepnek, D. Kovačević, N. Đorđević, P. Živković, S. Filipović, Sinteza i optimizacija uslova sinteze bakterijske nanoceluloze, Šesti-naučno stručni skup POLITEHNIKA, 10 decembar 2021, str. 979-983, ISBN-978-86-7498-087-3**

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података, података о докторским студијама, списка објављених радова и показаних резултата у оквиру научно-истраживачког рада, уочава се да је кандидат Александра А. Јанићијевић, мастер инжењер материјала, показала склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом. Тема докторске дисертације припада области из које је објавила научне радове. На основу досадашње сарадње са кандидатом, као и објављених научних радова, Комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

У данашње време, пред традиционалну амбалажу постављају се различити изазови, како у погледу њене функционалности, тако и у вези са начином њеног одлагања [1]. Неопходно је приметити да се ова два аспекта разликују по својим природама. Одлагање амбалаже након коришћења представља еколошки изазов који захтева позитивно дејство корисника у циљу заштите животне средине. Истовремено, повећање функционалности амбалаже постаје суштински важно са различитих аспеката. Вишекратна употреба амбалаже и интегрисање биоразградљивих компоненти су концепти који се морају применити како би се решили ови изазови [2]. Паметна амбалажа, која интегрише сензоре и технолошке иновације, постаје све значајнија у решавању ових изазова. Ова врста амбалаже омогућава праћење и контролу производа током целог ланца снабдевања, пружајући потрошачима више информација и олакшавајући произвођачима управљање залихама и безбедношћу производа [3,4]. Како би се решили еколошки изазови повезани с одлагањем амбалаже, развој материјала је кључан. Биодеградабилни материјали и рециклабилна амбалажа постају све важнији део тржишта. Ови материјали се развијају како би се смањио еколошки утицај на животну средину, омогућавајући њихово поновно коришћење или разградњу без штетних последица [5,6]. Научна истраживања, која ће проистећи из ове дисертације, ставиће фокус на развој нових материјала кроз пажљиво изабране компоненте и дизајн, са тежњом да задовоље стандарде високих перформанси, уз што мањи утицај на животну средину.

Предмет научног истраживања ове дисертације је синтеза и карактеризација хибридних мултифункционалних филмова базираних на поли(винилиден-флуориду) (PVDF) и наноцелулози са баријум-титанатом (BaTiO_3) као пуниоцем (филером). У поменутом систему, наноцелулоза би била функционализована магнетитом Fe_3O_4 . Најпре би се испитала интеракција између магнетита и целулозе бактеријског порекла. Док ће посебна пажња бити усмерена на поређење својстава филмова на бази бактеријске целулозе са претходним истраживањима базираним на биљној целулози [7]. Обзиром да су одабране компоненте за синтезу различитих класа материјала, као резултат ће се добити композит органско-неорганског порекла. Таква комбинација структурно различитих компонената захтева интердисциплинарни приступ, који има за циљ стварање материјала нових јединствених својстава. Реч је о комбинацији магнетних, фероелектричних и пиезоелектричних карактеристика, што ће резултовати добијању изузетних мултифероичних својстава будућег материјала.

Циљ ове дисертације је најпре оптимизовати услове функционализације наноцелулозе магнетитом и као такве прикључити је систему поли(винилидин-флуорида) са пуниоцем баријум-титанатом. Синтеза коначног хибридног материјала је подељена у три корака. У првом кораку се синтетише први слој $\text{BNC/Fe}_3\text{O}_4$. У другом кораку се, у медијуму етанола,

хомогенизују прахови BaTiO_3 и PVDF-а. Међупроизводи из прве и друге фазе се спајају поступком топлог пресовања, што би представљало трећи корак.

Имајући у виду да процес производње целулозе из биљних извора у великој мери има негативан утицај на животну средину [8,9], у оквиру ове дисертације ће се већи фокус ставити на биодеградабилну бактеријску наноцелулозу (BNC), чија биосинтеза не захтева додатно пречишћавање а добија се применом зелених технологија [10]. Такође, још једна битна чињеница је да целулоза припада групи пиезоелектрика [11], што додатно може допринети супериорности целокупног система [12]. Функционализована BNC ће се комбиновати са пиезоелектричним PVDF полимером и фероелектричним честицама у циљу добијања мултифункционалних материјала који се потенцијално могу применити као паметна амбалажа, сензори, актуатори и претварачи енергије.

PVDF је семикристалан материјал који може кристалисати у пет кристалних фаза: α -, β -, γ -, δ - и ϵ - [13]. Прва, α - фаза је неполарна и најлакше се добија уобичајеним поступком кристализације из растопа, док су остале фазе електроактивне а добијају се контролисним процесима термичких третмана, механичких деформација као и применом високог притиска α - фазе [14]. Иако су β -, γ -, δ - и ϵ - електроактивне, само β - фаза обезбеђује највећу спонтану поларизацију па има јачи феро-, пиезо- и пиро- одзив, у односу на остале, што омогућава широк спектар примена. Иако су истраживања приказана у литератури донела добре резултате у комбиновању пиезоелектричне керамике (као доброг диелектричног материјала) са PVDFом [15,16], и даље се ради на оптимизацији односа PVDF-керамика у циљу повећања ефикасности, као и методама синтезе које ће тригеровати жељену фазу. Недавна истраживања су, као пиезоелектричну керамичку компоненту за тригровање β - фазе, издвојила оловни цирконијум титанат, цинк оксид и баријум-титанат (BaTiO_3) [17]. Од претходно наведених пунилаца који су се добро показали, за ово истраживање одабран је BaTiO_3 јер је еколошки прихватљив, а такође представља безоловни материјал којим је лако руковати [18]. С друге стране, својом тенденцијом да се агломерише, доприноси слабој флексибилности и повећаној порозности [19]. Сходно томе треба обратити пажњу на однос фаза BaTiO_3 и PVDF-а приликом синтезе композита.

Експериментално је доказано да за формирање жељене фазе полимера није одговорна само величина честица, него значајно утиче и површинска активност. Истраживањима приказаним у [20, 21] је установљено да су бољи резултати остварени додавањем механички активираних пуниоца, за разлику од неактивираних. Због тога ће, пре купловања са полимером, BaTiO_3 бити механички активиран у високоенергетском планетарном млину, у различитим временским интервалима у циљу оптимизације параметара синтезе. Када је реч о методи добијања BaTiO_3 /PVDF, најзаступљеније је поступак изливања из раствора [22], а у последње време одлични резултати у погледу својстава и хомогенизације добијени су екструзијом помоћу 3D принтера [23].

Као што је напоменуто, синтеза хибридног мултифероичног филма подешавањем односа фероичних фаза је посебно осетљив сегмент, јер превелика количина филера доводи до испољавања негативних својстава композита, као што су, на пример: лоша механичка својства или смањена кристализација фероелектричне фазе полимера услед превелике количине филера. У финално добијеном полимерном филму, који би садржао неколико нивоа фероичног уређења, очекује се повољно дејство свих компоненти, како на механичка својства, тако и на баријерна, адсорпциона, магнетна и електрична.

У раду [24] су представљени резултати одређивања својстава и тригровања β - фазе у зависности од удела филера па се, аналогно овом истраживању, могу претпоставити процентуални удели филера за предстојеће истраживање. Такође, у раду из 2020. године [25], приказано је супериорно побољшање у погледу способности складиштења енергије слојевитог (ламинатног) материјала, где је основу чинио PVDF, нанокристали BaTiO_3 је био диспергован у полимерној основи, а као завршни слој коришћен је опет PVDF.

- [1] N. C. Saha, Anup K. Ghosh, M. Garg, S. Dey Sadhu, D. Manchanda, S. Chidambar. Food Packaging: Materials, Techniques and Environmental Issues (Lecture Notes in Management and Industrial Engineering). s.l. : Springer, 1st ed. 2022 Edition, ISBN-13978-9811642326
- [2] V. Lazić, S. Popović, Biorazgradivi ambalažni materijali, Novi Sad: Tehnološki fakultet, 2015. 129, ISBN - 978-86-6253-044-8
- [3] A. Dodero, A. Escher, S. Bertucci, M. Castellano and P. Lova, Intelligent Packaging for Real-Time Monitoring of Food-Quality: Current and Future Developments,. Appl. Sci. (2021), 11(8), 3532; <https://doi.org/10.3390/app11083532>
- [4] K.G. Kaushani, N.L. Rathnasinghe, N. Katuwavila, R. Jayasinghe, R. Nilmini, G. Priyadarshana, Trends in Smart Packaging Technologies for Sustainable Monitoring of Food Quality and Safety , International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS), Volume VII, Issue VII, July 2022, ISSN 2454-6194, DOI:10.51584/IJRIAS.2022.7702
- [5] L. Meherishi, S.A. Narayana, K.S. Ranjani, Sustainable packaging for supply chain management in the circular economy: A review, Journal of Cleaner Production, Volume 237, 10 November 2019, 117582, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.057>
- [6] I.S. Bayer, Biopolymers in Multilayer Films for Long-Lasting Protective Food Packaging: A Review, Sustainable Food Packaging Technology, Chapter 15, <https://doi.org/10.1002/9783527820078.ch15>
- [7] A. Janićijević, V.P. Pavlović, D. Kovačević, M. Perić, B. Vlahović, V.B. Pavlović, S. Filipović, Structural Characterization of Nanocellulose/Fe₃O₄ Hybrid Nanomaterials, Polymers 2022, 14(9), 1819; <https://doi.org/10.3390/polym14091819>, IF 5.0, ISSN 2073-4360
- [8] Y. Huang, C. Zhu, J. Yang, Y. Nie, C. Chen and D. Sun, Recent advances in bacterial cellulose, Cellulose, volume 21, pages1–30 (2014), DOI:10.1007/s10570-013-0088-z
- [9] J.D. Pedrosa de Amorim, K.C. de Souza, C.R. Duarte, I.S. Duarte, F.A. Sales Ribeiro, G.S. Silva, P. M. Albuquerque de Farias, A. Stingl, A. Fernanda Santana Costa, G.M. Vinhas and L.A. Sarubbo, Plant and bacterial nanocellulose: production, properties and applications in medicine, food, cosmetics, electronics and engineering. A review, Environmental Chemistry Letters, volume 18, pages 851–869 (2020), DOI:10.1007/s10311-020-00989-9
- [10] H. Suryanto, U. Yanuhar, B. Brailson Mansingh and J. S. Binoj, Bacterial Nanocellulose from Agro-industrial Wastes, Handbook of Biopolymers pp 95–133 (2023), DOI: 10.1038/s41598-020-60315-9
- [11] L. Csoka, I.C. Hoeger, O. J. Rojas, I. Peszlen, J.J. Pawlak, and P.N. Peralta, Piezoelectric Effect of Cellulose Nanocrystals Thin Films, ACS Macro Lett, 1, 7, 867–870, (2012), <https://doi.org/10.1021/mz300234a>
- [12] Y. Song, Z. Shi, G.H. Hu, C. Xion, A. Isogai and Q. Yang, Recent advances in cellulose-based piezoelectric and triboelectric nanogenerators for energy harvesting: a review, Journal of Materials Chemistry A, Engineering, Issue 4, 9(4), (2021), <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106175>
- [13] K. Tashiro, Crystal structure and phase transition of PVDF and related copolymers, Plastics engineering-New York, Marcel Dekker, New York, page 63-180, (1995), eBook ISBN9780429080647
- [14] R. Gregorio Jr., D. Sousa Borges, Effect of crystallization rate on the formation of the polymorphs of solution cast poly(vinylidene fluoride), Polymer, Volume 49, Issue 18, 26 August 2008, Pages 4009-4016, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.07.010>
- [15] B. Luo, X. Wang, Y. Wang and L. Li, Fabrication, characterization, properties and theoretical analysis of ceramic/PVDF composite flexible films with high dielectric constant and low dielectric loss, Journal of Materials Chemistry A, Issue 2, 2(2):510-519, (2014), DOI:10.1039/C3TA14107A

- [16] R. Gregorio Jr., M. Cestari and F. E. Bernardino, Dielectric behaviour of thin films of β -PVDF/PZT and β -PVDF/BaTiO₃ composites, *Journal of Materials Science*, volume 31, pages 2925–2930 (1996), DOI:10.1007/BF00356003
- [17] R. S. Sabry and A. D. Hussein, PVDF: ZnO/BaTiO₃ as high out-put piezoelectric nanogenerator, *Polymer Testing*, Volume 79, October 2019, 106001, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106001>
- [18] F. Ram, P. Kaviraj, R. Pramanik, A. Krishnan, K. Shanmuganathan, A. Arockiarajan, PVDF/BaTiO₃ films with nanocellulose impregnation: Investigation of structural, morphological and mechanical properties, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 823, 15370, (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153701>
- [19] D.H. LEE, J.H. LEE, D.W. KIM, B.K. KIM, H.J. JE, Enhanced dielectric constant of polymer-matrix composites using nano-BaTiO₃ agglomerates, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, p. 62-65, (2010), DOI:10.2109/JCERSJ2.118.62
- [20] V. Pavlović, B. Stojanović, V. Pavlović, Z. Marinković-Stanojević, L. Živković, M. Ristić, Synthesis of BaTiO₃ from a mechanically activated BaCO₃-TiO₂ system, *Science of Sintering*, 40, 1, 21-26, (2008), DOI: 10.2298/SOS0801021P
- [21] V.P. Pavlović, M.V. Nikolić, Z. Nikolić, G. Branković, Lj. Živković, V.B. Pavlović, M.M. Ristić, Microstructural evolution and electric properties of mechanically activated BaTiO₃ ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, Volume 27, Issues 2–3, Pages 575-579 (2007), <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.04.074>
- [22] C. V. Chanmal, J. P. Jog, Dielectric relaxations in PVDF/BaTiO₃ nanocomposites, *eXPRESS Polymer Letters* Vol.2, No.4 (2008) 294–301, DOI: 10.3144/expresspolymlett.2008.35
- [23] H. Kim, F. Torres, D. Villagran, C. Stewart, Y. Lin, and T. Bill Tseng, 3D Printing of BaTiO₃/PVDF Composites with Electric InSitu Poling for Pressure Sensor Applications, *Macromolecular Materials and Engineering*, 302(11), (2017), <https://doi.org/10.1002/mame.201700229>
- [24] V. P. Pavlović, V. B. Pavlović, B. Vlahović, D. K. Božanić, J. D. Pajović, R. Dojčilović and V. Djoković, Structural properties of composites of polyvinylidene fluoride and mechanically activated BaTiO₃ particles, *The Royal Swedish Academy of Sciences Physica Scripta*, Volume 2013, Phys. Scr. 2013 01400, DOI: 10.1088/0031-8949/2013/T157/014006
- [25] J. Jiang, S. Tu, R. Fu, J. Li, F. Hu, B. Yan, Y. Gu, and S. Chen, Flexible Piezoelectric Pressure Tactile Sensor Based on Electrospun BaTiO₃/Poly(vinylidene fluoride) Nanocomposite Membrane, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 12, 30, (2020), <https://doi.org/10.1021/acsami.0c08560>

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе на којима се заснива израда предложене докторске дисертације су:

- Композити који садрже више нивоа уређења структуре (пиезоелектрични, фероелектрични и/или магнетни), њиховим међусобним купловањем формирају мултифероични тип материјала за примену у индустрији паковања као паметна амбалажа.
- Синтезом хибридних мултифункционалних филмова на бази поли(винилиден-флуорида) (PVDF) и биодеградабилне бактеријске наноцелулозе (BNC) са пуниоцем баријум-титанатом (BaTiO₃) и функционализоване магнетитом, могу се добити материјали са изузетним мултифероичним својствима. Међусобни утицај појединих фероичних нивоа уређења диктирају финална својства и структуру добијеног материјала,

- Примена зелених технологија и биосинтеза бактеријске наноцелулозе (BNC) може заменити употребу конвенционалних целулозних материјала са негативним ефектима на животну средину у производњи хибридних мултифункционалних филмова.
- Механичка активација, као комплексан физичко-хемијски процес, изазива повећање потенцијалне енергије и хемијске активности третираних неорганских материјала, као и пластичне деформације кристалне структуре, које се манифестују значајним уносом дефеката у решетку и ситњењем кристалита. Промене које се дешавају у материјалу на појединим структурним нивоима, као што су дефекти кристалне решетке (дислокације и ваканције) су основни извор локалних напрезања која настају ширењем или скупљањем, условљавају реорганизовање ланаца PVDF-а у композиту.
- Оптимални однос фаза BaTiO_3 и PVDF-а у синтези хибридних мултифункционалних филмова може довести до промене пиезоелектричних, магнетних, електричних и механичких својстава, приликом чега не долази до нарушавања флексибилности целокупног система.

4. Научне методе истраживања

За карактеризацију материјала биће примењене следеће методе:

- Једињења ће бити идентификована применом инфрацрвене спектроскопске анализе са Фуријеовим трансформацијама (ATR–FTIR);
- Кристалне фазе у филмовима, као и микроструктурни параметри, биће одређени применом рендгено структурне (XRD) анализе;
- Анализа микроструктуре (микрографије), изглед површине и пресека филмова, као и идентификација елемената биће спроведена помоћу скенирајућег електронског микроскопа (SEM) у комбинацији с енергијски дисперзивном спектроскопијом (EDS);
- Средња величина честица прашкастих компоненти и расподела њихове величине биће одређена методом ласерске дифракције светлости (PSA);
- Електрична својстава синтетисаног вишеслојног материјала биће испитана диелектричном спектроскопијом (DS) на константној температури;
- Механичка својства ламинарног композитног материјала – затезна чврстоћа биће одређена стандардним испитивањем затезањем;
- Биће испитана и баријерна својства финалног композита – пермеабилност на водену пару.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани резултати ове докторске дисертације су следећи:

- Биће разјашњен утицај параметара синтезе бактеријске нано целулозе на кристалну структуру, микроструктуру и принос.
- Биће испитан начин функционализације мреже бактеријске целулозе магнетним честицама.
- Појашњење утицаја механички активираниог BaTiO_3 на кристализацију и својства PVDF-а.
- Механизам добијања вишеслојног филма ће бити детаљно објашњен.
- Међусобни утицај појединачних компоненти мултифероичног филма на финална функционална својства (електрична, механичка, баријерна,...) добијеног материјала ће додатно разјаснити синергетска деловања фероичних нивоа уређења.
- Крајњи циљ дисертације било би добијање новог мултифункционалног материјала са могућим побољшаним пиезоелектричним својствима, уз очувану флексибилност, која би омогућила потенцијалну примену материјала у амбалажној и графичкој индустрији.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања обухвата следеће активности: литературни преглед претходних истраживања из области мултифункционалних амбалажних материјала, одабир компоненти за синтезу композитног материјала као и одређивање масеног удела сваке компоненте са акцентом на удео пуниоца, оптимизација услова и дефинисање параметара синтезе, карактеризација добијених материјала. Имајући у виду наведени план истраживања, очекује се да ће докторска дисертација имати следећу структуру:

1. Увод: Уводни део докторске дисертације би требало да објасни важност проблема традиционалне амбалаже, посебно у контексту еколошке одрживости и заштите животне средине. Овде би требало истакнути значај употребе хибридних мултифункционалних материјала у различитим областима, као што су интелигентна амбалажа, сензори, актуатори и енергетски претварачи.

2. Теоријски део: Биле би објашњене основе композитних ламинатних материјала. Такође би свака компонента будућег хибридног композитног материјала била детаљно представљена, са посебним освртом на међусобне интеракције као и на целокупни утицај. Обзиром да је у питању композит на бази поли(винилиден-флуорида) који има могућност кристализације у 5 кристалних фаза, наноцелулоза као пиезоелектрик, магнетит као фероелектрик и баријум-титанат као керамички пиезоелектрик, даће интересантан одзив када је реч о електро активним фазама поли(винилиден-флуорида).

3. Експериментални део: Биће објашњено који су реагенси и материјали коришћени, услови синтеза, инструменти на којима су изведени експерименти, примењене експерименталне методе.

4. Резултати и дискусија: Резултати свих предвиђених експеримената и прорачуна ће бити приказани графички и табеларно. Биће анализирани на адекватан начин, где ће бити и објашњена карактеризација испитиваних материјала.

5. Закључак: Биће сумирани резултати добијени у оквиру рада на дисертацији, и истакнут главни научни допринос добијених резултата.

6. Литература: Сви литературни наводи цитирани у докторској дисертацији биће приказани у овом поглављу.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима, Комисија сматра да кандидат Александра А. Јанићијевић, мастер инжењер технологије, испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Инжењерство материјала, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, матична установа. На основу изложеног, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под називом: **„Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита“**, научно заснована и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да је прихвати. За менторе предлаже др Предрага Живковића, ванредног професора Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Сузану Филиповић, вишу научну сарадницу Института техничких наука САНУ у Београду.

У Београду, 22.09.2023

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Радмила Јанчић-Heinemann, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Александар Маринковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Сузана Филиповић, виши научни сарадник
Института техничких наука САНУ Београд