

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата **Александре А. Јанићијевић**, мастер инжењера технологије

Одлуком бр. 35/96, од дана 24.04.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Александре А. Јанићијевић**, под насловом: „**Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита**”

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске **2018/19.** године кандидат **Александра А. Јанићијевић**, мастер инж. технологије, уписала је докторске студије, на студијском програму Инжењерство материјала, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

16.08.2023. године – Кандидат **Александра А. Јанићијевић**, мастер инжењер технологије, предложила је тему докторске дисертације под називом: „Развој материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум титаната и магнетита”.

24.08.2023. године – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 35/200 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Александре А. Јанићијевић**, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације под коригованим називом: „Развој материјала за мултифункционалну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита”.

09.11.2023. године – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 35/261 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и

кандидата и одобравању израде докторске дисертације Александре А. Јанићијевић, мастер инжењера технологије, под називом: „Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита”, а за менторе ове докторске дисертације су именовани др Предраг Живковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Сузана Филиповић, виши научни сарадник Института техничких наука САНУ, Београд.

20.11.2023. године – Одлуком број 61206-4236/2-23, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме кандидата Александре А. Јанићијевић под називом: „Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита”.

29.10.2024. године – Решењем о продужењу рока за завршетак студија број 20/217, студенту Александри Јанићијевић 4026/2018 продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2027. године.

24.04.2025. године – Одлуком број 35/96, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену докторске дисертације Александре А. Јанићијевић, мастер инжењера технологије, под називом: „Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита”, у саставу др Радмила Јанчић-Heinemann, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александра Скнепнек, научни сарадник Универзитета у Београду, Пољопривредни факултет и др Иван Петронијевић, научни сарадник Универзитета у Београду, Физички факултет.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања представљена у овој докторској дисертацији припадају научној области Технолошко инжењерство, уже научне области Инжењерство материјала, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори дисертације су др Предраг Живковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Сузана Филиповић, научни саветник Института техничких наука САНУ, Београд. Њихова научна и стручна компетентност за менторство потврђена је вишегодишњим научно-истраживачким искуством и објављеним радовима у релевантној области.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александра А. Јанићијевић рођена је 12.10.1993. године у Београду где је завршила основну школу и гимназију. Основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Инжењерство материјала, уписала је

школске 2012/13. године, а дипломирала је у јулу 2017. године. Мастер академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Инжењерство материјала, уписала је школске 2017/18. године, а завршила је у септембру 2018. године. Докторске академске студије уписала је школске 2018/19. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Инжењерство материјала. Положила је све испите предвиђене планом и програмом на докторским академским студијама са просечном оценом 9,36. Завршни испит, одбрањен је 28.09.2021. под насловом „Синтеза ламинатног мултифероичног композита на бази модификоване бактеријске целулозе са поли(винилиден-флуоридом) и баријум-титанатом”, са оценом 10.

Александра А. Јанићијевић је јануара 2019. године бирана 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. године добила је звање асистента у настави за ужу стручну област, којом је остварила запослење у наставно-образовној установи Академија техничких струковних 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. Од стране Академије техничких струковних студија у Београду, ангажована је на функцији заменика руководиоца акредитоване лабораторији „Полихем”, од 2021. године. Члан је организационог одбора научно стручних скупова : „Научно стручни скуп Политехника 2021” и „INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL CONFERENCE POLITEHNIKA 2023”.

Аутор је и коаутор 4 научна рада објављених у часописима са SCI листе (M20) и 14 радова објављених у домаћим и страним часописима, као и оних представљених на домаћим и међународним конференцијама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Александре А. Јанићијевић, мастер инжењера технологије под називом **„Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита”** је написана на 122 стране и садржи 92 слике, 25 табела и 249 литературних навода. Наведена докторска дисертација садржи шест целина: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература. Поред овога дисертација садржи и Биографију кандидата, као и прилоге са Изјавом о ауторству, Изјавом о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјавом о коришћењу и Оценом извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. Дисертација такође садржи и сажетак на српском и на енглеском језику. На почетку дисертације дат је садржај слика, табела као и преглед коришћених скраћеница. Наведена докторска дисертација по свом облику и садржају испуњава прописе и стандарде за докторске дисертације које се бране на Универзитету у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводном делу*, који је прво поглавље дисертације, истакнута је важност проблема традиционалне амбалаже, посебно у контексту еколошке одрживости и заштите животне средине. У савременим истраживањима и индустријској пракси, значајну улогу већ има примена хибридних мултифункционалних материјала. Ови материјали се успешно користе у различитим областима као што су интелигентна амбалажа, сензори, актуатори и енергетски претварачи, чиме се остварују напредна технолошка решења у складу са принципима одрживог развоја.

Друго поглавље дисертације, *Теоријски део*, систематично обрађује све релевантне аспекте који се тичу структуре, класификације и функционалности композитних материјала, са посебним акцентом на њихову примену у савременој и интелигентној амбалажи. Поглавља посвећена композитним системима пружају јасну типологију материјала према структури и врсти матрице, укључујући полимерне, металне и керамичке матрице, уз поређење њихових својстава и применљивости. Представљен је посебан осврт на ламинатне композитне структуре као и на поређење полимерних матрица са керамичким и металним. Посебно је анализиран концепт паметне амбалаже, са разграничењем активних и интелигентних система. Значајан део посвећен је дефинисању пиезоелектричног ефекта, укључујући његово физичко-хемијско и математичко тумачење, као и различитих врста пиезоелектричних материјала. У оквиру теоријског дела детаљно су анализирана физичко-хемијска својства кључних функционалних компоненти хибридног композита који је предмет истраживања. Поливинилиден-флуорид (PVDF) је представљен као полимерна матрица способна за кристализацију у пет различитих фаза, при чему је посебна пажња посвећена β фази због њених пожељних пиезоелектричних својстава. Целулоза је обрађена као биоразградиви пиезоелектрик, уз приказ њене молекулске и надмолекулске структуре, као и могућности хемијске модификације ради побољшања функционалности. Магнетит је разматран као феромагнетни додатак који композитном систему даје магнетна својства, док је баријум-титанат (BT) описан као представник керамичких пиезоелектрика, са нагласком на његова диелектрична својства и фазне прелазе. За све компоненте приказани су структурни, диелектрични и термички аспекти, као и потенцијални ефекти међусобних интеракција унутар композитне структуре, који могу утицати на укупна механичка, баријерна и електроактивна својства добијеног композитног материјала.

Треће поглавље дисертације, *Експериментални део*, описује материјале са којима је рађено, методе које су примењиване, као и услове под којима су испитивања вршена. Наведене су хемикалије и материјали који су коришћени за синтезу хибридних ламинатних материјала. Најпре су представљени услови оптимизације биосинтезе бактеријске наноцелулозе (BNC), а потом и њена модификација магнетитом. Тако добијени филмови спојени су методом топлот пресовања са смешама прахова PVDF/BT, при чему се разликовала механичка активација BT у трајању од 5, 10 и 20 минута. У експерименталном делу су такође описане и методе карактеризације које су коришћене за анализу добијених узорака. Морфолошке и структурне карактеристике испитиване су помоћу електронске микроскопије (SEM-EDS), док је хемијски састав и идентификација функционалних група анализирана применом инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовим трансформацијама (FTIR) и Раман спектроскопијом. Кристална структура је испитивана рендгенском дифракцијом (XRD), а величина и расподела честица методом ласерске дифракције (PSA). Физичка својства као што су диелектрична својства (мерена диелектричном спектроскопијом DS), пермеабилност на водену пару, затезна чврстоћа и површинска храпавост одређивана су стандардизованим методама. Антиоксидативна активност испитивана је применом метода са DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилхидразил) радикалом, чиме је омогућено квалитативно и квантитативно оцењивање способности испитиваних узорака да неутралишу слободне радикале. Пиезоелектрични

ефекат је оцењен квази-статичком методом, која омогућава поуздану процену генерисаног наелектрисања услед механичке деформације. Овим методама омогућено је свеобухватно сагледавање структура и својстава испитиваних хибридних материјала, као и њиховог потенцијала за даљу примену.

Четврта целина дисертације, ***Резултати и дискусија***, представља централни део дисертације у којем су систематично изложени резултати добијени током истраживања, као и њихова анализа и тумачење. Структура овог поглавља прати редослед експерименталних фаза, од анализе појединачних компоненти до комплексних вишеслојних хибридних филмова. У првом делу поглавља представљени су добијени резултати синтезе BNC, укључујући оптимизацију услова биосинтезе, као и морфолошку и структурну карактеризацију BNC филмова методом SEM-EDS, FTIR и XRD. Приказани резултати указују на висок ниво разумевања процеса и добро повезивање експерименталних података са теоријским основама. Следи детаљна анализа BNC/Fe₃O₄ композита, такође обрађена кроз исте методе карактеризације. Јасно је истакнут утицај додавања магнетита на структуру и састав добијеног материјала, што указује на добро изведену синтезу и релевантност истраживања у контексту функционализације биоразградивих компоненти. Такође су представљени резултати анализе BT/PVDF система, у којем је анализиран ефекат механичке активације BT на величину честица (PSA), као и структурни аспект смеша BT са PVDF матрицом. Подаци из FTIR и XRD анализа доприносе разумевању степена интеракције ових компоненти, што је од значаја за финална својства композита. Финално добијени вишеслојни хибридни филмови BNC/Fe₃O₄/PVDF/BT, са различитим временима механичке активације BT (5, 10 и 20 минута), детаљно су анализирани са аспекта структуре и својстава. Испитивања су обухватила морфолошке карактеристике, кристалну структуру као и низ функционалних својстава од значаја за потенцијалну примену. Пермеабилност на водену пару, затезна чврстоћа, површинска храпавост, антиоксидативна активност, диелектрична и пиезоелектрична својства одређени су коришћењем поузданих и стандардизованих метода. Посебно се издваја примена DPPH методе за испитивање антиоксидативног потенцијала и квазистатичке методе за карактеризацију пиезоелектричног одговора, што у потпуности потврђује мултифункционалност ових напредних хибридних материјала.

У петом поглављу, ***Закључак***, сумирани су најзначајнији резултати и сазнања проистекла из ове докторске дисертације.

У поглављу ***Литература*** наведен је списак свих референци цитираних у овој докторској дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У времену еколошких изазова и убрзаног технолошког развоја, посебно значење добијају истраживања усмерена на одрживе и функционалне материјале. Повезујући принципе зелене хемије, циркуларне економије и паметних технологија, акценат се ставља на развој амбалаже нове генерације – оне која не само да штити производ, већ активно доприноси његовом очувању и праћењу кроз интеграцију различитих функција и својстава. Традиционални амбалажни материјали често се одликују ограниченим функционалностима, тешком разградњом и значајним утицајем на животну средину. Њихова масовна употреба довела је до озбиљних проблема загађења и гомилања отпада, што захтева хитну промену приступа. У том контексту, развој нових материјала са унапређеним својствима и смањеним еколошким отиском постаје неопходан корак ка одрживој будућности.

Докторска дисертација мастер инжењера технологије Александре А. Јанићијевић обрађује савремену и интердисциплинарну тему која се односи на синтезу и карактеризацију хибридних ламинатних материјала заснованих на полимерној матрици PVDF и BNC, уз примену ВТ и Fe_3O_4 као функционалних пуниоца. Добијени композитни системи поседују мултифункционалне карактеристике које укључују пиезоелектрична, баријерна, диелектрична и антиоксидативна својства, што их чини погодним за примену у области паметне амбалаже и напредних сензорских технологија.

Посебан акценат у истраживању стављен је на примену принципа зелених технологија, што се огледа у пажљивом одабиру свих компоненти композитног система. Биосинтеза бактеријске целулозе примењена је као еколошки прихватљив поступак добијања природне, обновљиве компоненте. Истовремено, механичка активација баријум-титаната довела је до побољшања његових функционалних својстава, уз истовремену индукцију електроактивне β фазе у структури PVDF-а, чиме је постигнута синергија између пуниоца и матрице у циљу унапређења укупних перформанси хибридног материјала. Предложени материјали имају вишеструку функционалност – од њихове улоге у интелигентној амбалажи и детекцији спољашњих утицаја, преко потенцијала за детекцију оштећења и сорпцију загађивача, па до могућности поновне употребе и рециклаже у оквиру затворене (циркуларне) материјалне петље. На тај начин, дисертација нуди конкретне одговоре на актуелне изазове у области инжењерства материјала, амбалажних технологија и заштите животне средине, чиме остварује значајан научни допринос и отвара простор за даљи развој комерцијално релевантних, одрживих решења.

На основу опсежног прегледа литературе, може се закључити да су истраживања у оквиру ове докторске дисертације оригинална, као и да се уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучавање проблематике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидаткиња је спровела свеобухватну анализу релевантне научне и стручне литературе из области истраживања. У дисертацији је наведено 249 референци, од којих већину чине радови објављени у реномираним међународним часописима, тематски уско повезани са истраживањем. Присуство значајног броја актуелних, савремених извора потврђује релевантност и савременост обрађиване теме. Литература обухвата: а) радове из области структуре, својстава и примене композитних материјала, нарочито полимерних, керамичких и пиезоелектричних, са посебним освртом на PVDF, BNC, Fe_3O_4 и ВТ; б) публикације о примени композита са полимерном матрицом, пиезоелектричних керамика и пиезоелектричних полимера; в) различите методе синтезе органско-неорганских композитних система.

У оквиру литературних навода налазе се и научни радови саме кандидаткиње, настали као резултат истраживања спроведених у оквиру ове дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру истраживања, примењен је адекватан скуп савремених научних метода који омогућава свеобухватну карактеризацију испитиваног вишеслојног композитног материјала. Идентификација функционалних група спроведена је методом инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR), чиме су добијени подаци о присутним функционалним

групама. Кристалне фазе и микроструктурни параметри успешно су одређени применом рендгеноструктурне анализе (XRD), што је допринело разумевању унутрашње структуре филмова.

Морфологија површине и пресека, као и елементни састав материјала, анализирани су помоћу скенирајућег електронског микроскопа (SEM) у комбинацији са енергетски дисперзивном спектроскопијом (EDS), што је обезбедило детаљан увид у микроструктуру узорака. Средња величина честица прашкастих компоненти и расподела величине одређене су методом ласерске дифракције светлости (PSA), што је од посебног значаја за контролу почетне фазе синтезе.

Испитивање електричних својстава извршено је диелектричном спектроскопијом (DS) при контролисаној температури, чиме је добијена важна информација о понашању материјала у електричном пољу. Механичка својства су оцењена кроз испитивање затезне чврстоће, применом стандардизоване методологије, док су баријерна својства композитних материјала испитана мерењем пермеабилности на водену пару.

Поред наведених анализа, испитана су и антиоксидативна својства применом метода неутрализације DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилхидразил) слободног радикала, чиме је оцењена способност материјала да делује као антиоксиданс. Ова метода је погодна за брзу и поуздану процену редукујуће активности испитиваних узорака.

Такође је спроведено квазистатичко испитивање пиезоелектричних својстава материјала, чиме је потврђено присуство пиезоелектричног одговора услед механичког побуђивања. Ово испитивање је дало иницијални увид у функционалне могућности материјала у оквиру примене у сензорским или енергетским уређајима.

Све примењене методе су научно релевантне и у потпуности прилагођене циљевима истраживања, те се могу оцењити као адекватне и добро одабране за карактеризацију испитиваних материјала.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати остварени овим истраживањем указују на значајну применљивост развијених композитних материјала у више области, захваљујући синергији компонената PVDF, BaTiO₃, BNC и Fe₃O₄. Ове компоненте, свака са својим специфичним својствима, омогућавају стварање мултифункционалних материјала који могу да задовоље потребе савремених индустрија. PVDF, као матрица, обезбеђује пиезоелектрична својства, што га чини изузетно погодним за примену у енергетским конверторима, пиезоелектричним сензорима и актуаторима. Његова способност да конвертује механичку енергију у електричну омогућава његову употребу у низу примена у паметним системима који реагују на спољне стимулусе, као што су паметни уређаји и сензорске мреже. BT је кључни елемент тригровања диелектричних и пиезоелектричних својстава композита. Његова висока релативна пермитивност побољшава капацитет материјала за складиштење енергије и конверзију механичке енергије у електричну, чинећи овај композит погодним за примену у електронским компонентама, као што су кондензатори и електрични филтери. BNC, као природни и биокомпатибилни материјал, игра важну улогу у побољшању механичке стабилности и флексибилности композита, што је чини погодном за употребу у биомедицинским применама и еколошким решењима. Њена способност да повећа хомогеност и чврстоћу композита, као и да обезбеди високу специфичну површину, има велики значај у паметним паковањима, где су потребна висока заштита производа и реакција на окружење. Присуство Fe₃O₄ у овом композиту додаје нову димензију функционалности,

омогућавајући магнетна и диелектрична својства, која су веома важна у развоју магнетних сензора, актуатора и енергетских уређаја.

Добијени композитни материјали могу се широко примењивати у областима као што су паметна паковања, пиезоелектрични сензори, биомедицински импланти, енергетски уређаји, као и електронске компоненте. Захваљујући својој структури која омогућава комбинована пиезоелектрична, диелектрична, магнетна и биокompatibilна својства, ови композити могу бити укључени у иновације као што су паметни уређаји, биоразградиви материјали и електронска паковања која се користе за очување животне средине и побољшање безбедности производа.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Александра А. Јанићијевић, мастер инжењер технологије, показала је потребну мотивацију и способност за бављење научноистраживачким радом, испољавајући током израде докторске дисертације велику одговорност, самосталност и стручност у претраживању и критичкој анализи научне литературе, у осмишљавању, припреми и извођењу експеримента, као и у обради и дискусији добијених експерименталних података и резултата. Током рада на докторату овладала је неопходним експерименталним техникама. На основу досадашњег рада, Комисија је утврдила да кандидат поседује способности за самостални научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси резултата истраживања ове докторске дисертације су:

- Присуство 100% чисте BNC у свим узорцима потврђено је FTIR анализом. Изостанак пикова хемицелулозе и лигнина, који су обично присутни као нуспродукти у другим методама добијања целулозе, представља једну од најзначајнијих предности BNC добијене активностима бактерија. Ово је значајно, јер показује чистоћу добијене целулозе у поређењу са целулозом биљног порекла која садржи и друге супстанце као што је целулоза II. Такође, XRD анализа је показала да присуство широких пикова на вредностима 2θ 14,5° и 22,7° указује на постојање кристалних фаза Ia и Ib, што потврђује да се добијена целулоза састоји искључиво од целулозе I.
- Ласерском дифракцијом праха BT и PVDF је установљено да након механичке активације долази до значајног смањења величине честица. Узорак BT са различитим временима активирања показује да прелази у мање фракције, што се потврђује померањем пика на мање величине честица. Такође, као резултат механичке активације, било је примећено формирање агрегата, што је потврђено SEM-EDS анализом површине праха. Ове промене у величини честица позитивно су утицале на побољшање функционалних својстава композитних филмова.
- Анализа SEM-EDS површине композитних филмова као што су PVDF/BT/BNC/Fe₃O₄, PVDF/BT5/BNC/Fe₃O₄, PVDF/BT10/BNC/Fe₃O₄ и PVDF/BT20/BNC/Fe₃O₄ показала је да филмови са PVDF/BT компонентом имају глатке и хомогене површине са малим бројем агрегација честица BT. С друге стране, филмови са BNC/Fe₃O₄ компонентом

показали су грубе, неуједначене површине са равномерно распоређеним честица Fe_3O_4 унутар матрице BNC. EDS мапирање је потврдило равномерну расподелу ВТ у полимерном слоју за све анализирани узорке, док су честице Fe_3O_4 биле углавном концентрисане на површини бактеријске целулозе.

- Раманском спектроскопијом су утврђени сви карактеристични пикови PVDF α фазе, али су такође установљени и пикови на 839 cm^{-1} и 1430 cm^{-1} који указују на присуство електроактивне β фазе у свим композитним узорцима са додатком ВТ. Овај феномен је потврђен и FTIR анализом, која је показала присуство β фазе на пиковима 510 cm^{-1} , 838 cm^{-1} , 873 cm^{-1} и 1234 cm^{-1} . На основу фазног састава, узорак PVDF/BT10/ /BNC/ Fe_3O_4 показао је највећи проценат β фазе, 9,42%, што указује на већи степен електроактивности у овом узорку.
- Када је реч о баријерним својствима, узорак PVDF/BT20/BNC/ Fe_3O_4 показао је најбоља баријерна својства за водену пару, што указује на његову високу способност да спречи пролаз воде, што је корисно за примену у индустрији амбалаже.
- Проценом утицаја ВТ-а и трајања механичке активизације на релативну диелектричну пермитивност показано је да додавање ВТ пуниоца у PVDF матрицу помера врх диполне релаксације на више фреквенције. Узорак PVDF/BT20/BNC/ Fe_3O_4 са продуженим временом активирања ВТ-а (20 минута) показао је најбоље диелектричне перформансе и најмањи фактор губитака, као и стабилност диелектричне пермитивности у широком опсегу фреквенција, до 100 kHz .
- У погледу механичких својстава, композитни филмови су показали смањење флексибилности са повећањем времена активирања ВТ. Узорак PVDF/BT5/BNC/ Fe_3O_4 имао је највишу чврстоћу на затезање и највишу жилавост, док је узорак PVDF/BT10/BNC/ Fe_3O_4 имао највишу вредност модула еластичности од 1068 MPa .
- Резултати испитивања антиоксидативних својстава, изражени кроз инхибицију DPPH радикала, показују зависност активности од концентрације узорка и времена. Узорак PVDF/BT5/BNC/ Fe_3O_4 у концентрацији 40 mg/ml након 2 сата постигао је чак 90,14% инхибиције радикала, што указује на изузетну антиоксидативну активност овог филма.
- Утврђено је да трајање механичке активације ВТ утиче на храпавост површине композита. Узорак без активирања ВТ имао је најнижу храпавост и најхомогенију површину, док је време механичке активације од 5 минута (BT5) довело до повећања храпавости. Дужа активација (BT10) допринела је побољшању хомогености и смањењу неправилности, али је максимална механичка активација од 20 минута (BT20) довела до изражене храпавости услед агрегације честица.
- Сви узорци су показали пиезоелектрични ефекат иако је већи пиезоелектрични ефекат установљен након поларизације. Узорак PVDF/BT20/BNC/ Fe_3O_4 показао је највећи пиезоелектрични ефекат, што указује на потенцијалну примену ових материјала у функционалним примена као што су сензори и генератори енергије.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације базирана су на свеобухватној анализи постојеће литературе и јасно дефинисаним циљевима у области развоја и карактеризације функционалних ламинатних композитних материјала. Добијени резултати представљају значајан допринос у разумевању понашања PVDF композита допуњених честицама ВТ, BNC и Fe_3O_4 . У литератури до сада није забележен детаљан приказ својстава оваквих вишекомпонентних система, посебно у комбинацији PVDF/BT/BNC/ Fe_3O_4 . Применом

савремених аналитичких техника омогућена је свеобухватна карактеризација композита, са фокусом на утицај структуре и састава на њихова функционална својства. Посебан допринос истраживања огледа се у сагледавању везе између времена механичке активације ВТ и промене морфологије, баријерних, механичких и пиезоелектричних карактеристика добијених материјала. Посебна пажња током истраживања посвећена је примени принципа зелене технологије у процесу синтезе композита, чиме се обезбеђује еколошка прихватљивост и одрживост материјала. Овим истраживањем постављени су темељи за развој нових материјала са могућом применом у области паметног паковања, сензора или енергетских уређаја. Добијени резултати представљају значајан научни допринос и отварају простор за даља истраживања и индустријску примену. Ова докторска дисертација садржи научне резултате који представљају важан помак ка даљем развоју и практичној примени зелених ламинатних материјала.

4.3. Верификација научних доприноса

Из ове докторске дисертације проистекли су следећи резултати:

M21 Рад објављен у врхунском међународном часопису

1. **A. Janićijević**, 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, <https://doi.org/10.3390/polym15204080>
2. **A. Janićijević**, S. Filipović, A. Sknepnek, A. Salević-Jelić, R. Jančić-Heinemann, M. Petrović, I. Petronijević, M. Stamenović, P.M. Živković, N. Potkonjak, V.B. Pavlovic, Structural, Mechanical, and Barrier Properties of the Polyvinylidene Fluoride-Bacterial Nanocellulose-Based Hybrid Composite, Polymers 2024, IF 4.7, ISSN 2073-4360, <https://doi.org/10.3390/polym16081033>

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, коришћењем програма *iThenticate* извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Александре А. Јанићијевић, мастер инжењера технологије, под називом „Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита”. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 25.04.2025. Утврђени проценат подударности је 0%. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити (позитивна оцена).

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација Александре А. Јанићијевић мастер инжењера технологије, под насловом „Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области инжењерства материјала, што је потврђено објављивањем радова у међународним часописима и презентовањем резултата на скуповима међународног значаја. Комисија је установила да су предмет и циљеви докторске дисертације постављени у пријави теме у потпуности остварени и да докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Синтеза и карактеризација материјала за мултифункционалну активну амбалажу на бази наноцелулозе и поли(винилиден-флуорида) уз додатак пунилаца баријум-титаната и магнетита“ кандидаткиње Александре А. Јанићијевић, мастер инжењера технологије, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, у складу са одредбама Закона о високом образовању и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидаткињу на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 23.05.2025.

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 Александра Скнепек, научни сарадник
Универзитета у Београду, Пољопривредни факултет

.....
др Иван Петронијевић, научни сарадник
Универзитета у Београду, Физички факултет