

**ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ**

35/257
(Број захтева)
10.08.2018.
(датум)

**Образац 2
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА**

(назив већа научне области коме се захтев упућује)

Београд, Студентски трг бр. 1

**ЗАХТЕВ
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду” број 162/11, пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

РАДЕТА (Дане) СУРУЦИЋА, дипломираног инжењера технологије

КАНДИДАТ: **РАДЕ (Дане) СУРУЦИЋ** пријавио је докторску дисертацију под називом:
„Електрохемијска синтеза и карактеризација нанокомпозита поливинил-алкохола, графена и наночестица сребра“

Из научне области: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Универзитет је дана **11.07.2017.** године, својим актом **61206-2721/2-17**, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Електрохемијска синтеза и карактеризација нанокомпозита поливинил-алкохола, графена и наночестица сребра“.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **РАДЕТА (Дане) СУРУЦИЋА** образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **22.02.2018.** године Одлуком Факултета под бр. **35/45**, у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Весна Мишковић-Станковић	Редовни професор	Физичка хемија
2. Др Александра Перић-Грујић	Редовни професор	Контрола квалитета
3. Др Маја Вукашиновић-Секулић	Ванредни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија
4. Др Ана Јанковић	Научни сарадник	Хемија и хемијска технологија

Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2011/2012. године.

На захтев студента и уз сагласност ментора, декан је донео Решење бр. 20/122 од 29.09.2017. године о продужењу рока за завршетак студија за два семестра шк. 2017/2018. године.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **06.07.2018.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 104. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 06.07.2018. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Весна Мишковић-Станковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александра Перић-Грујић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Маја Вукашиновић-Секулић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ана Јанковић, научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета у Београду, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Електрохемијска синтеза и карактеризација нанокомпозита поливинил-алкохола, графена и наночестица сребра“** коју је поднео **Радета Суруџић**, дипломирани инжењер технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Радета Суруџића, под називом **„Електрохемијска синтеза и карактеризација нанокомпозита поливинил-алкохола, графена и наночестица сребра“** Одлуком број: 61206-2721/2-17 од 11.07.2017. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a:

1. Surudžić R., Janković A., Bibić N., Vukašinović-Sekulić M., Perić-Grujić A., Mišković-Stanković V., Park S.J., Rhee K.Y.: Physico-chemical and mechanical properties and antibacterial activity of silver/poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites obtained by electrochemical method, - *Composites Part B: Engineering*, vol 85, pp. 102-112, 2016 (**IF = 3.850**) (ISSN: 1359-8368).

Категорија M21:

1. Surudžić R., Janković A., Mitrić M., Matić I., Juranić Z. D., Živković Lj., Mišković-Stanković V., Rhee K.Y., Park S.J., Hui D.: The effect of graphene loading on mechanical, thermal and biological properties of poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites, - *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol 34, pp. 250–257, 2016 (**IF = 4.179**) (ISSN: 1226-086X).

Категорија M23:

1. Surudžić R., Jovanović Ž., Bibić N., Nikolić B., Mišković-Stanković V.: Electrochemical synthesis of silver nanoparticles in poly(vinyl alcohol) solution, - *Journal of the Serbian Chemical Society*, vol 78, no 12, pp. 2087–2098, 2013 (**IF = 0.95**) (ISSN: 1820-7421).

2. Surudžić R., Janković A., Vukašinović-Sekulić M., Perić-Grujić A., Rhee K. Y., Mišković-Stanković V.: Optimization of the electrochemical synthesis of silver nanoparticles in poly(vinyl alcohol) colloid solutions, - *Bulgarian Chemical Communications*, vol 49, Special Issue C, pp. 186-193, 2017 (**IF = 0.238**) (ISSN: 0324-1130).

Докторска дисертација и реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Радета Суруџића

Одлуком бр. 35/45 од 22.02.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Радета Суруџића, дипломираног инжењера технологије, под насловом:

**ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА
ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2011/2012. године кандидат Раде Суруџић, дипломирани инжењер технологије, је уписао докторске академске студије на Универзитету у Београду, Технолошко-металуршки факултет, студијски програм Хемијско инжењерство.

10.03.2017. - Кандидат Раде Суруџић, дипломирани инжењер технологије, предложио је тему докторске дисертације под насловом: „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“.

20.04.2017. - Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донело је одлуку о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације под називом: „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“ (Одлука бр. 35/110 од 20.04.2017. године) Радета Суруџића, дипломираног инжењера технологије.

01.06.2017. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета усвојен је извештај Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације под називом: „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“, а за ментора ове докторске дисертације именована је др Весна Мишковић-Станковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет (Одлука бр. 35/185 од 01.06.2017. године).

11.07.2017. - На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Радета Суруџића, дипломираног инжењера технологије, под називом: „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“ (Одлука бр. 61206-2721/2-17 од 11.07.2017. године)

22.02.2018. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је одлука о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Радета Суруџића, дипломираног инжењера технологије, под називом: „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“ (Одлука бр. 35/45 од 22.02.2018. године). Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације је за председника изабрала др Весну Мишковић-Станковић, ред. проф.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор је др Весна Мишковић-Станковић, редовни професор ТМФ, која је на основу досадашњих објављених публикација и искуства компетентна да руководи израдом ове дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Раде Суруџић рођен је 29.04.1981. године у Неготину. Основну школу и гимназију завршио је у Неготину. Дипломирао је на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду 2011. године на Катедри за физичку хемију и електрохемију радом на тему „Корозиона стабилност биокерамичких превлака хидроксиапатит/лигнин на титану у симулираном телесном флуиду“. Школске 2011/12. године уписао је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемијско инжењерство, под руководством ментора др Весне Мишковић-Станковић, редовног професора ТМФ. У звање истраживач-сарадник изабран је 29.12.2011.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Радета Суруџића, дипломираног инжењера технологије, писана је на српском језику и садржи 101 страну А4 формата, 32 слике, 7 табела и 208 литературних навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Циљ истраживања, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључци, Литература, Биографија и Прилози*. Прилози садрже изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном делу дисертације описана су својства и подела биоматеријала, са освртом на полимерне хидрогелове, наночестице сребра и графен, што је и предмет рада докторске дисертације.

Теоријски део се састоји од следећих поглавља: Поливинил-алкохол, Поливинил-алкохол хидрогелови, Сребро и наночестице сребра, Електрохемијска синтеза наночестица сребра, Композити полимера и наночестица сребра, Механизам антимикубног дејства и цитотоксичност сребра, Графен и облици графена, Антибактеријска својства графена. У поглављу *Поливинил-алкохол* описана су физичко хемијска својства поливинил-алкохола (PVA) као и употреба као биодеградибилног синтетичког полимера. Поглавље *Поливинил-алкохол хидрогелови* описује поступак добијања и својства хидрогелова са посебним освртом на физичку методу цикличног понављања замрзавања и одмрзавања. Даље је описана примена хидрогелова у областима медицине и фармације, као и утицај кополимера на својства поливинил-алкохол/кополимер хидрогелова код примене облога за ране. У поглављу *Сребро и наночестице сребра* дат је кратак опис својства и метода добијања наночестица сребра. Поглавље *Електрохемијска синтеза наночестица сребра* описује електрохемијски редукцију јона сребра помоћу електричне струје као и утицај полимера на процес формирања и стабилизације наночестица сребра. Поглавље *Композити полимера и наночестица сребра* описује методе добијања и утицај наночестица на физичка својства композита сребро/полимер као и њихову антибактеријску активност. Поглавље *Механизам антимикубног дејства и цитотоксичност сребра* описује могуће механизме антибактеријске активности наночестица и већу ефикасност наночестица сребра у односу на јонско сребро. Такође, описана је цитотоксичност сребра, тј. утицај сребра на хумано ткиво. Поглавље *Графен и облици графена* описује физичко-хемијска својства графена као и утицај графена, графен-оксида и редукваног графен-оксида на полимерне нанокompозите.

У поглављу *Циљ истраживања* указано је на циљ докторске дисертације да се електрохемијском синтезом наночестица у полимерном раствору добију нанокompозити поливинил-алкохола и сребра, са и без графена, и да се применом електрохемијске синтезе могу добити нанокompозити контролисаног састава са оптималним карактеристикама за биомедицинску примену.

У *Експерименталном делу* су наведени материјали коришћени у раду, електрохемијска синтеза наночестица сребра у воденом раствору поливинил-алкохола са циљем добијања нанокompозита поливинил-алкохола и сребра, са и без графена у виду колоидне дисперзије, филмова и хидрогелова.

За карактеризацију синтетисаних сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен колоидних дисперзија описана је ултраљубичаста и видљива спектроскопија (UV-Vis) за доказивање присуства наночестица сребра и праћење стабилизације колоидних дисперзија добијених при различитим параметрима синтезе; трансмисиона електронска микроскопија (TEM) за одређивање величине и морфологије наночестица сребра и циклична волтаметрија (CV) за утврђивање врсте интеракција између наночестица сребра, графена и поливинил-алкохола.

За карактеризацију филмова сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен добијених изливањем колоидних дисперзија у танком слоју описане су методе дифракције X-зрака (XRD) за одређивање типа кристалне решетке и величине кристалита наночестица сребра; Раманска спектроскопија за доказивање присуства и структуре графена; скенирајућа електронска микроскопија (FE-SEM) за одређивање микроструктуре и морфологије филмова; фотоелектронска спектроскопија X-зрацима (XPS) за идентификацију састава површине филмова; тест истезања за одређивање механичких својстава филмова и термогравиметријска анализа (TGA) за одређивање термичке стабилности филмова.

Хидрогелови сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен добијени су методом узастопног замрзавања и одмрзавања. Коришћене методе карактеризације добијених хидрогелова су атомска апсорпциона спектроскопија (AAS) за праћење кинетике отпуштања сребра; МТТ тест цитотоксичности за одређивање степена цитотоксичности и

агар дифузиони тест и тест у бактеријској суспензији за одређивање антибактеријских својстава хидрогелова.

У делу *Резултати и дискусија* експериментално добијени резултати су детаљно анализирани и дискутовани. Наноконтропозитне колоидне дисперзије анализиране су УВ-Вис спектроскопијом са циљем испитивања утицаја концентрације PVA (поглавље *Утицај концентрације PVA у Ag/PVA колоидној дисперзији на синтезу наночестица сребра*), густине струје и времена на синтезу наночестица сребра у Ag/PVA колоидној дисперзији (поглавље *Утицај густине струје и времена на синтезу наночестица сребра у Ag/PVA колоидној дисперзији*), као и утицаја графена на синтезу наночестица сребра у Ag/PVA/Gr колоидној дисперзији (поглавље *Утицај графена на синтезу наночестица сребра у Ag/PVA/Gr колоидној дисперзији*). Такође цикличном волтаметријом (поглавље *Циклична волтаметрија*) испитивано је постојање интеракција између наночестица сребра, поливинил-алкохола и графена.

Наноконтропозитни филмови су анализирани инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (поглавље *Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом*) и дифракцијом X-зрака (поглавље *Дифракција X-зрака*) које су потврдиле постојање интеракција између наночестица сребра, поливинил-алкохола и графена као и полукристалну структуру поливинил-алкохола. У поглављу *Раманска спектроскопија* доказано је присуство графена у PVA/Gr и Ag/PVA/Gr филмовима на основу карактеристичних трака. Елементарни састав Ag/PVA и Ag/PVA/Gr филмова одређен је фотоелектронском спектроскопијом X-зрацима (поглавље *Фотоелектронска спектроскопија X-зрацима*). У поглављима *Механичка својства* и *Термичка стабилност* испитивана су механичка својства и термичка стабилност PVA, PVA/Gr, Ag/PVA и Ag/PVA/Gr филмова редом, где су показана боља механичка својства у присуству наночестица сребра и графена. Такође, присуство графена показује побољшања термичких својстава PVA/Gr и Ag/PVA/Gr филмова у односу на PVA и Ag/PVA филмове. У циљу одређивања цитотоксичности наноконтропозитних филмова изведен је МТТ тест (поглавље *МТТ тест цитотоксичности*) где Ag/PVA и Ag/PVA/Gr филмови добијени из дисперзија са 3,9 mM AgNO₃ показују знатну цитотоксичност.

Наноконтропозитни хидрогелови анализирани су атомском апсорпционом спектроскопијом (поглавље *Отпуштање сребра*) са циљем праћења кинетике отпуштања сребра из Ag/PVA и Ag/PVA/Gr хидрогелова. Цитотоксичност (поглавље *МТТ тест цитотоксичности*) је испитивана на PVA, PVA/Gr, Ag/PVA и Ag/PVA/Gr хидрогеловима. Ag/PVA и Ag/PVA/Gr хидрогелови добијени из дисперзија са 1 mM AgNO₃ показују знатну цитотоксичност због чега је потребно за потенцијалну примену у биомедицинске и фармацеутске сврхе користити мање концентрације AgNO₃ приликом синтезе. Такође, испитивана је и антибактеријска активност (поглавље *Антибактеријска активност*) агар-дифузионом тестом и тестом у суспензији где је показана антибактеријска активност Ag/PVA и Ag/PVA/Gr хидрогелова према сојевима *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, као и за PVA/Gr хидрогел према соју *E. coli*.

У Закључку су сажето изнети постигнути резултати истраживања, а који одговарају постављеним циљевима дисертације.

Поглавље Литература обухвата 208 литературних навода из области истраживања и покрива све делове дисертације.

На крају је Биографија кандидата, као и изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије рада и изјава о коришћењу.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Светска здравствена организација је означила проблем антимикробне резистентности као један од три највеће претње за људску популацију и у том смислу је предложен и глобални акциони план који се у великој мери ослања на нова истраживања и развој нових антимикробних агенаса. Стога, употреба сребра у медицинске сврхе добија поново на значају, нарочито код лечења рана и опекотина на кожи. Последњих деценија сребро се интензивно користи у облику наночестица, тј. структура величине 1-100 нм. Због мале величине, наночестице сребра поседују велику специфичну површину, тј. велики однос површина/запремина, чиме се својства наночестица знатно разликују од честица и јона већег волумена и због тога имају широк спектар употреба. Наночестице сребра могу да делују антибактеријски, антифунгално и антивирално. Будућност примене наночестица сребра се пре свега види у дејству према микроорганизмима резистентним на постојеће антибиотике. Проблем приликом коришћења наночестица сребра је њихова нестабилност нарочито у воденим растворима где после кратког времена долази до агрегације. Овај проблем се превазилази њиховом стабилизацијом, најчешће у полимерним растворима и то алгинату, поливинил-пиролидину, хитозану или поливинил-алкохолу, како је показано у овој дисертацији, чиме осим што се спречава агрегација наночестица, постиже се и контролисано отпуштање, смањује цитотоксичност, а дејство самог биоматеријала као облоге продужава. Примена колоидних дисперзија у виду спреја, танких филмова и хидрогелова у медицинској и фармацеутској пракси је широко распрострањена.

Оригиналност докторске дисертације кандидата Радета Суруџића огледа се, пре свега, у испитивању добијања наночестица сребра у дисперзији поливинил-алкохола са и без графена електрохемијском синтезом при галваностатским условима. Синтетски део истраживања, укључивао је електрохемијску редукцију јона сребра и стабилизацију добијених наночестица сребра у полимерној матрици поливинил-алкохола са и без графена, те су добијени сребро/поливинил-алкохол (Ag/PVA) и сребро/поливинил-алкохол/графен (Ag/PVA/Gr) нанокомпозити у PVA раствору односно PVA/Gr колоидној суспензији показали својства адекватна за примену у медицини као облоге за ране и имплантати за мека ткива због доказане антибактеријске активности и побољшаних механичких својстава. Добијени резултати кинетике отпуштања сребра из Ag/PVA и Ag/PVA/Gr нанокомпозита указују да заостала количина сребра може да сачува стерилност овако синтетисаних узорака током дужег временског периода. На основу опсежног увида, може се закључити да се истраживања у оквиру ове докторске дисертације уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучавање проблематике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирано је 208 литературних навода који се односе на истраживања композитних материјала са полимерном матрицом. Током израде докторске дисертације кандидат је прегледао доступну литературу везану за методе синтезе наночестица сребра у полимерним матрицама и њихову стабилизацију, методе карактеризације и примену добијених нанокомпозита. На основу детаљног прегледа литературе развијена је електрохемијска синтеза при галваностатским условима за добијање колоидних дисперзија сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен и накнадним поступцима из њих одговарајућих филмова и хидрогелова. Наведене референце садрже експерименталне резултате истраживања различитих истраживачких група, анализу и дискусију добијених резултата и изведене закључке у области истраживања добијања

полимерних нанокмползита, њихових својстава и примене. На основу пажљиве анализе резултата приказаних у стручној и научној литератури, изложене су полазне хипотезе и основне смернице за истраживања која су извршена у овој докторској дисертацији. Резултати спроведених испитивања приказани су и дискутовани у комбинацији са резултатима који су објављени у врхунским међународним часописима, што указује на велико познавање предметне области истраживања, као и познавање актуелног стања истраживања у овој области у земљи и свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За карактеризацију синтетисаних сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен колоидних дисперзија коришћена је ултраљубичаста и видљива спектроскопија (UV-Vis) за доказивање присуства наночестица сребра и праћење стабилизације колоидних дисперзија добијених при различитим параметрима синтезе, трансмисиона електронска микроскопија (TEM) за одређивање величине и морфологије наночестица сребра и циклична волтаметрија (CV) за утврђивање врсте интеракција између наночестица сребра, графена и поливинил-алкохола.

За карактеризацију филмова сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен добијених изливањем колоидних дисперзија у танком слоју и сушењем на температури од 60 °C коришћене су методе дифракције X-зрака (XRD) за одређивање типа кристалне решетке и величине кристалиа наночестица сребра, Раманска спектроскопија за доказивање присуства и структуре графена, скенирајућа електронска микроскопија (FE-SEM) за одређивање микроструктуре и морфологије филмова, фотоелектронска спектроскопија X-зрацима (XPS) за идентификацију састава површине филмова, тест истезања за одређивање механичких својстава филмова и термогравиметријска анализа (TGA) за одређивање термичке стабилности филмова. Хидрогелови сребро/поливинил-алкохол и сребро/поливинил-алкохол/графен добијени методом узастопног замрзавања и одмрзавања карактерисани су атомском апсорпционом спектроскопијом (AAS) за праћење кинетике отпуштања сребра, МТТ тест цитотоксичности је коришћен за одређивање степена цитотоксичности и агар дифузиони тест и тест у бактеријској суспензији за одређивање антибактеријских својстава хидрогелова.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу прегледа до сада објављених експерименталних података и резултата приказаних у оквиру ове докторске дисертације остварен је значајан допринос у области нанокмползита поливинил-алкохола са наночестицама сребра, њиховој синтези и карактеризацији. Детаљно је развијена метода електрохемијске синтезе у колоидној дисперзији при галваностатским условима за ефикасно добијање нових нанокмползитних колоидних дисперзија, филмова и хидрогелова сребра и поливинил-алкохола, са и без графена, који су атрактивни за широки спектар потенцијалних примена у биомедицини, посебно као имплантати за мека ткива, облоге за ране и носачи лекова. Верификација остварених резултата дисертације постигнута је објављивањем радова у водећим међународним часописима из домена ове проблематике.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У свом досадашњем истраживачком раду, кандидат Раде Суруџић је показао способност за претраживање доступне литературе, припрему и реализацију експеримената, коришћење различитих техника карактеризације и анализу и обраду добијених резултата. На основу постигнутих резултата, Комисија је мишљења да кандидат поседује квалитете неопходне за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати добијени у овој докторској дисертацији дају значајан допринос разумевању нанокмпозитних колоидних дисперзија, филмова и хидрогелова поливинил-алкохола са наночестицама сребра, са и без графена, као нових биоматеријала са антибактеријском активношћу за примену у медицини.

У докторској дисертацији кандидата Радета Суруџића истичу се следећи вишеструко значајни научни доприноси :

- Развој методе електрохемијске синтезе наночестица сребра у колоидној дисперзији при галваностатским условима за ефикасно добијање нових нанокмпозитних колоидних дисперзија, филмова и хидрогелова сребра и поливинил-алкохола, са и без графена, који су атрактивни за широки спектар потенцијалних примена у биомедицини, посебно као имплантати за мека ткива, облоге за ране и носачи лекова.
- Дефинисање оптималних вредности параметара синтезе наночестица сребра у колоидној дисперзији варирањем вредности константне густине струје и времена синтезе у циљу добијања биокомпатибилних нанокмпозитних дисперзија, и из њих нанокмпозитних филмова и хидрогелова сребра, поливинил-алкохола и графена.
- Побољшање механичких својстава филмова сребра и поливинил-алкохола инкорпорацијом графена.
- Утврђивањем интеракција између наночестица сребра и молекула поливинил-алкохола и графена, добијен је увид у механизам стабилизације наночестица. У ту сврху нови нанокмпозитни материјали окарактерисани су са становишта биокомпатибилности, кинетике отпуштања сребра и антибактеријске активности што представља основу за развој нових и побољшаних медицинских производа.
- Испитивањем кинетике отпуштања сребра у фосфатном пуферу, антибактеријске активности и цитотоксичности добијених нанокмпозита, омогућен је увид у практичну примену ових нанокмпозита у медицини.
- Резултати ове докторске дисертације су поставили добру основу за даље испитивање добијених нанокмпозитних система у *in vivo* условима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације су осмишљена на основу дефинисаних циљева и детаљне анализе литературе из области синтезе и карактеризације нанокмпозитних биоматеријала. У оквиру ове дисертације конципирана је и примењена метода електрохемијске синтезе у колоидној дисперзији при галваностатским условима за ефикасно добијање нових нанокмпозитних колоидних дисперзија, филмова и хидрогелова сребра и поливинил-алкохола, са и без графена. Увидом у доступну литературу из ове области истраживања и резултате истраживања добијене у оквиру овог рада, уочено је да добијени резултати представљају помак ка даљем развоју и потенцијалној примени иновативних биоматеријала на бази наночестица сребра и полимера PVA са и без графена, али и за проширење примене електрохемијске синтезе и на друге композитне полимерне системе. Електрохемијска синтеза би требало да заузме значајно место у добијању нанокмпозитних материјала за биомедицинску примену због једноставности примене и чистоће финалног производа.

4.3. Верификација научних dopриноса

Кандидат Раде Суруџић, дипломирани инжењер технологије, је резултате своје докторске дисертације потврдио објављивањем, као коаутор, једног рада у међународном часопису изузетних вредности (M21a), једног рада у врхунском међународном часопису (M21), два рада у часопису међународног значаја (M23), два саопштења са међународног скупа штампаних у изводу (M34) и једног саопштења са скупа националног значаја штампаног у изводу (M64).

Рад у међународном часопису изузетних вредности - M21a

1. Surudžić R., Janković A., Bibić N., Vukašinović-Sekulić M., Perić-Grujić A., Mišković-Stanković V., Park S.J., Rhee K.Y.: Physico-chemical and mechanical properties and antibacterial activity of silver/poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites obtained by electrochemical method, - *Composites Part B: Engineering*, vol 85, pp. 102-112, 2016 (**IF = 3.850**) (ISSN: 1359-8368).

Рад у врхунском међународном часопису – M21

2. Surudžić R., Janković A., Mitrić M., Matić I., Juranić Z. D., Živković Lj., Mišković-Stanković V., Rhee K.Y., Park S.J., Hui D.: The effect of graphene loading on mechanical, thermal and biological properties of poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites, - *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol 34, pp. 250–257, 2016 (**IF = 4.179**) (ISSN: 1226-086X).

Рад у међународном часопису – M23

3. Surudžić R., Jovanović Ž., Bibić N., Nikolić B., Mišković-Stanković V.: Electrochemical synthesis of silver nanoparticles in poly(vinyl alcohol) solution, - *Journal of the Serbian Chemical Society*, vol 78, no 12, pp. 2087–2098, 2013 (**IF = 0.95**) (ISSN: 1820-7421).

4. Surudžić R., Janković A., Vukašinović-Sekulić M., Perić-Grujić A., Rhee K. Y., Mišković-Stanković V.: Optimization of the electrochemical synthesis of silver nanoparticles in poly(vinyl alcohol) colloid solutions, - *Bulgarian Chemical Communications*, vol 49, Special Issue C, pp. 186-193, 2017 (**IF = 0.238**) (ISSN: 0324-1130).

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу – M34

1. Surudžić R., Jovanović Ž., Mišković Stanković V.: Electrochemical synthesis and characterization of silver nanoparticles in poly(vinyl alcohol) solution, - *The Eleventh Young Researchers' Conference: Materials Science and Engineering*, Belgrade, Serbia, December 3 – 5, 2012, Book of Abstracts, TM 9, p. 510. ISBN: 9788673061221.

2. Surudžić R., Jovanović Ž., Mišković Stanković V.: Formation of Silver Nanoparticles in Poly(vinyl alcohol) Solution by Electrochemical Synthesis, - *The Twelfth Young Researchers' Conference: Materials Science and Engineering*, Belgrade, Serbia, December 11 – 13, 2013, Book of Abstracts, IX/4, p. 32. ISBN: 9788680321288.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу – M64

1. Surudžić R., Jovanović Z., Misković-Stanković V.: Optimizacija uslova elektrohemijske sinteze nanocestica srebra u rastvoru poli(vinil alkohola), - *Prva konferencija mladih hemicara Srbije*, Beograd, Srbija, 19-20 Oktobar, 2012, Zbornik radova (CD Rom) NM P17, str. 105. ISBN: 978-86-7132-050-4.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изнетог, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Радета Суруџића „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“ представља значајан и оригинални научни допринос у области Технолошког инжењерства, што је потврђено радовима објављеним у часописима међународног значаја. Предмет и циљеви истраживања су јасно наведени и остварени. Комисија такође сматра да докторска дисертација у потпуности испуњава све захтеване критеријуме.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат и да га заједно са поднетом дисертацијом Радета Суруџића „ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛ-АЛКОХОЛА, ГРАФЕНА И НАНОЧЕСТИЦА СРЕБРА“ изложи на увид јавности у законски предвиђеном року и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 25. јуна 2018.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Весна Мишковић-Станковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Александра Перић-Грујић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Маја Вукашиновић-Секулић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Ана Јанковић, научни сарадник, Иновациони центар
Технолошко-металуршког факултета у Београду