

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/185
(Број захтева)

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

11.06.2017.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Електрохемијска синтеза и карактеризација нанокомпозита поливинил-алкохола, графена и наночестица сребра“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

РАДЕ (Дане) СУРУЦИЋ, дипломирани инжењер технологије

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

3. Година дипломирања: 2011.

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: /

5. Година одбране мастер рада: /

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће, на седници одржаној 01.06.2017. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Радета Суруџића

Име и презиме ментора: Весна Мишковић-Станковић

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

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Rade Surudžić, Ana Janković, Natasa Bibić, Maja Vukašinović-Sekulić, Aleksandra Perić-Grujić, Vesna Mišković-Stanković, Soo Jin Park, Kyong Yop Rhee, „Physico-chemical and mechanical properties and antibacterial activity of silver/poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites obtained by electrochemical method“, *Compos. Part B-Eng.* **85** (2016) 102-112. (Engineering, Multidisciplinary 4/85, IF (2015) = 3,850), ISSN 1359-8368.
2. Rade Surudžić, Ana Janković, Miodrag Mitrić, Ivana Matić, Zorica D. Juranić, Ljiljana Živković, Vesna Mišković-Stanković, Kyong Yop Rhee, Soo Jin Park, David Hui, „The effect of graphene loading on mechanical, thermal, and biological properties of poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites“, *J. Ind. Eng. Chem.* **34** (2016) 250-257. (Engineering, Chemical 14/135, IF (2015) = 4,179), ISSN 1226-086X.
3. M Abudabbus, I. Jevremović, A. Janković, A. Perić Grujić, I. Matić, M. Vukašinović-Sekulić, D. Hui, K.Y. Rhee, V. Mišković-Stanković, „Biological activity of electrochemically synthesized silver doped polyvinyl alcohol/graphene composite hydrogel discs for biomedical applications“, *Compos. Part B-Eng.* **104** (2016) 26-34. (Engineering, Multidisciplinary 4/85, IF (2015) = 3,850), ISSN 1359-8368.
4. Željka Jovanović, Aleksandra Radosavljević, Jasmina Stojkovska, Branislav Nikolić, Bojana Obradović, Zorica Kačarević-Popović, Vesna Mišković-Stanković, „Silver/poly(*N*-vinyl-2-pyrrolidone) hydrogel nanocomposites obtained by electrochemical synthesis of silver nanoparticles inside the polymer hydrogel aimed for biomedical applications“, *Polym. Composite.* **35** (2014) 217-226. (Materials Science, Composites 7/24, IF (2014) = 1,632), ISSN 0272-8397.
5. Zeljka Jovanovic, Jasmina Stojkovska, Bojana Obradovic, Vesna Miskovic-Stankovic, „Alginate hydrogel microbeads incorporated with Ag nanoparticles obtained by electrochemical method“, *Mater. Chem. Phys.* **133** (2012) 182–

189. (Materials Science, Multidisciplinary 61/241, IF (2012) = 2,072), ISSN 0254-0584.

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

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

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

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

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

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 22.05.2017.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 01.06.2017. 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 Радету Суруџићу, дипл. инж. технологије, под називом: „Електрохемијска синтеза и карактеризација нанокомпозита поливинил-алкохола, графена и наночестица сребра“.

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

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

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

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Radeta Surudžića, dipl. inž. tehnologije, za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta br. 35/110 od 20.04.2017. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Radeta Surudžića za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Elektrohemijska sinteza i karakterizacija nanokompozita polivinil-alkohola, grafena i nanočestica srebra“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

R E F E R A T

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Rade Surudžić rođen je 29.04.1981. godine u Negotinu. Osnovnu i srednju školu (gimnazija “Predrag Kostić”) završio je u Negotinu. Diplomirao je na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu 2011. godine na Katedri za fizičku hemiju i elektrohemiju radom na temu „Koroziona stabilnost biokeramičkih prevlaka hidroksiapatit/lignin na titanu u simuliranom telesnom fluidu“. Školske 2011/12. godine upisao je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Hemijsko inženjerstvo, pod rukovodstvom mentora dr Vesne Mišković-Stanković, redovnog profesora TMF.

1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

Rade Surudžić je položio sve ispite (10) uključujući i završni ispit, predviđene studijskim programom na doktorskim studijama i to:

	Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1	Elektrohemijska zaštita metala od korozije	10	5
2	Elektrohemijska kinetika i metode merenja	8	6
3	Korozija	10	5
4	Nemetalne prevlake	10	5
5	Viši kurs elektrohemijskog inženjerstva	10	6
6	Hemijska kinetika	7	5
7	Viši kurs karakterisanja makromolekula	10	4
8	Hemijska termodinamika	9	5
9	Analogije fenomena prenosa	9	5
10	Matematička obrada eksperimentalnih podataka	8	5
11	Završni ispit	10	30
	Prosek/ukupno	9,18	81

U zvanje istraživač-saradnik izabran je 29.12.2011.

Iz oblasti istraživanja kojoj pripada predložena tema doktorske disertacije Rade Surudžić je autor jednog rada u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (M21a), jednog rada u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21), dva rada u časopisu međunarodnog značaja (M23), dva saopštenja sa međunarodnog skupa štampanih u izvodu (M34) i jednog saopštenja sa skupa nacionalnog značaja štampanog u izvodu (M64).

1. RADOVI OBJAVLJENI U NAUČNIM ČASOPISIMA MEĐUNARODNOG ZNAČAJA – M20

Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti - M21a

1. Surudžić R., Janković A., Bibić N., Vukašinović-Sekulić M., Perić-Grujić A., Mišković-Stanković V., Park S.J., Rhee K.Y.: *Physicochemical and mechanical properties and antibacterial activity of silver/poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites obtained by electrochemical method*, Composites Part B: Engineering, Vol 85, 2016, 102-112, ISSN: 1359-8368, IF (2015) = 3.850.

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu – 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, 2016, 250–257, ISSN: 1226-086X, IF (2015) = 4.179.

Rad u međunarodnom časopisu – 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, 2013, 2087–2098, ISSN 1820-7421, IF (2013) = 0.95.

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, 2017, In Press, ISSN: 0324-1130, IF (2015) = 0.229.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu – 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, December 3 – 5, 2012, Serbia, Book of Abstracts, TM 9 (p. 51). 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, December 11 – 13, 2013, Serbia, Book of Abstracts, IX/4 (p. 32). ISBN 9788680321288

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu – 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, 19-20 Oktobar, Beograd, 2012, NM P17, Zbornik radova (CD Rom), str. 105. ISBN: 978-86-7132-050-4

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i ostvarenih rezultata tokom doktorskih studija, Rade Surudžić, dipl. inž. tehnologije, je pokazao motivaciju i sposobnost za bavljenje naučnoistraživačkim radom. Iz oblasti doktorske disertacije je do sada objavio 1 rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti, 1 rad u vrhunskom međunarodnom časopisu, 2 rada u međunarodnom časopisu, 2 saopštenja na međunarodnom skupu štampano u izvodu i 1 saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu čime ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Polimerni hidrogelovi spadaju u grupu materijala koji se brzo razvijaju sa širokom primenom u mnogim oblastima posebno u farmaceutskoj industriji, medicini i poljoprivredi [1–3]. Polivinil-alkohol (PVA) je jedan od često korišćenih polimera zbog svoje biokompatibilnosti i dobrih hemijskih i fizičkih osobina. PVA je rastvorljiv u vodi, poseduje dobru termostabilnost, sposobnost da formira hidrogelove, nisku citotoksičnost, lako se obrađuje i poseduje visoku propustljivost prilikom formiranja filmova [4,5]. PVA hidrogelovi poseduju elastičnost i sposobnost bubrenja u vodi ili biološkom fluidu [6]. Stoga, PVA može da simulira prirodno tkivo i ne izaziva imuni odgovor u telu. Takođe, hidrogelovi na bazi PVA poseduju dobra svojstva u pogledu zahteva materijala obloga za rane. Poseduju sposobnost da absorbuju kontaminirane eksudate i bezbedno ih zadrže u strukturi gela, koja obezbeđuje mikroklimu koja stimuliše i reguliše sve ćelijske aktivnosti i nutritivne procese kroz faze izlečenja rane. Lako se uklanjaju sa rane bez bola i rizika od iritacije rane [1,7,8].

Poslednjih decenija srebro se intenzivno koristi u obliku nanočestica, veličine 1-100 nm. Nanočestice poseduju veliku površinu u odnosu na zapreminu, čime se svojstva nanočestica znatno razlikuju od čestica većih dimenzija. U oblasti medicine i farmacije naročito su nanočestice srebra predmet istraživanja zbog svojih antibakterijskih, antivirusnih i antifungicidnih svojstava. Upravo je ovaj fenomen privukao pažnju istraživača zbog povećane rezistencije na antibiotike koja je prouzrokovana njihovim prekomernim korišćenjem, gde korišćenje nanočestica srebra za razliku od antibiotika ne stvara rezistentnost mikroorganizama [9–12]. Pri upotrebi nanočestica srebra veoma je važno kontrolisati tj. stabilizovati njihovu veličinu i oblik. Jedan od načina stabilizacije je uvođenje nanočestica u polimernu matricu [13–15].

Grafen je izolovana dvodimenzionalna kristalna struktura sačinjena od atomski pojedinačnih slojeva grafita, gde su sp^2 hibridizovani atomi ugljenika raspoređeni kao ravan pčelinjeg saća [16,17]. Kompoziti polimer/grafen poslednjih godina privlače veliku pažnju jer se dodatak grafena u malim koncentracijama od 1 mas.%, čak i 0,1 mas.% značajno, čak i višestruko, poboljšavaju termička, električna i mehanička svojstva polimera [16,18,19]. Takođe, novija istraživanja pokazuju antibakterijsku aktivnost grafena što ga čini veoma poželjnim za upotrebu u biomedicinske svrhe [20–24].

Predmet ove doktorske disertacije je ispitivanje mogućnosti elektrohemijske sinteze srebra/polivinil-alkohol (Ag/PVA), i srebra/polivinil-alkohol/grafen (Ag/PVA/Gr) nanokompozita u obliku koloidne disperzije, tankih filmova i hidrogelova. Elektrohemijska sinteza nanočestica srebra izvešće se u PVA rastvoru odnosno u PVA/Gr koloidnoj disperziji. Izlivanjem i sušenjem na povišenoj temperaturi sintetisanih koloidnih disperzija dobiće se tanki filmovi, a metodom uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja (*eng.* freezing-thawing) koloidnih disperzija dobiće se hidrogelovi. Fizičko-hemijska i biološka svojstva sintetisanih nanokompozita u formi koloidnih disperzija, filmova i hidrogelova biće ispitana u cilju potencijalne biomedicinske primene (obloge za rane, implantati mekog tkiva, nosači lekova).

Literatura

- [1] Gibas I, Janik H. *Review : Synthetic Polymer Hydrogels for Biomedical*. Chemical Technology, Vol 4, No 4, 2010, 297–304.
- [2] Nguyen QV, Huynh DP, Park JH, Lee DS. *Injectable polymeric hydrogels for the delivery of therapeutic agents: A review*. European Polymer Journal, Vol 72, 2015, 602–619.
- [3] Angelova N, Hunkeler D. *Rationalizing the design of polymeric biomaterials*. Trends in Biotechnology, Vol 17, No 10, 1999, 409–421.
- [4] Bryaskova R, Georgieva N, Andreeva T, Tzoneva R. *Cell adhesive behavior of PVA-based hybrid materials with silver nanoparticles*. Surface and Coatings Technology, Vol 235, 2013, 186–191.
- [5] Gonzalez JS, Maiolo AS, Hoppe CE, Alvarez VA. *Composite Gels Based on Poly (Vinyl alcohol) for Biomedical Uses*. Procedia Materials Science, Vol 1, 2012, 483–490.
- [6] Huang Y, Zhang M, Ruan W. *High-water-content graphene oxide/polyvinyl alcohol hydrogel with excellent mechanical properties*. J. Mater. Chem. A, Vol 2, No 27, 2014, 10508–10515.
- [7] Singh B, Pal L. *Radiation crosslinking polymerization of sterculia polysaccharide-PVA-PVP for making hydrogel wound dressings*. International Journal of Biological Macromolecules, Vol 48, No 3, 2011, 501–510.
- [8] Cencetti C, Bellini D, Pavesio A, Senigaglia D, Passariello C, Virga A, Matricardi P. *Preparation and characterization of antimicrobial wound dressings based on silver, gellan, PVA and borax*. Carbohydrate Polymers, Vol 90, No 3, 2012, 1362–1370.
- [9] Bryaskova R, Pencheva D, Kale GM, Lad U, Kantardjiev T. *Synthesis, characterisation and antibacterial activity of PVA/TEOS/Ag-Np hybrid thin films*. Journal of Colloid and Interface Science, Vol 349, No 1, 2010, 77–85.
- [10] Panacek A, Kvítek L, Prucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizúrova N, Sharma VK, Nevecna T, Zboril R. *Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity*. The journal of physical chemistry. B, Vol 110, No 33, 2006, 16248–16253.
- [11] Cioffi N, Torsi L, Ditaranto N, Tantillo G, Ghibelli L, Sabbatini L, Bleve-Zacheo T, D'Alessio M, Zambonin PG, Traversa E. *Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties*. Chemistry of Materials, Vol 17, No 21, 2005, 5255–5262.
- [12] Raffi M, Mehrwan S, Bhatti TM, Akhter JI, Hameed A, Yawar W, Ul Hasan MM. *Investigations into the antibacterial behavior of copper nanoparticles against Escherichia coli*. Annals of Microbiology, Vol 60, No 1, 2010, 75–80.
- [13] Pencheva D, Bryaskova R, Kantardjiev T. *Polyvinyl alcohol/silver nanoparticles (PVA/AgNps) as a model for testing the biological activity of hybrid materials with included silver nanoparticles*. Materials Science and Engineering C, Vol 32, No 7, 2012, 2048–2051.
- [14] Jovanović Ž, Stojkovska J, Obradović B, Miskovic-Stankovic V. *Alginate hydrogel microbeads incorporated with Ag nanoparticles obtained by electrochemical method*. Materials Chemistry and Physics, Vol 133, No 1, 2012, 182–189.
- [15] Jovanović Ž, Radosavljević A, Stojkovska J, Nikolić B, Obradovic B, Kačarević-Popović Z, Mišković-Stanković V. *Silver/Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) Hydrogel Nanocomposites Obtained by Electrochemical Synthesis of Silver Nanoparticles Inside the Polymer Hydrogel Aimed for Biomedical Applications*. Polymer Composites, Vol 35, 2014, 217–226.
- [16] Tang Z, Lei Y, Guo B, Zhang L, Jia D. *The use of rhodamine B-decorated graphene as a reinforcement in polyvinyl alcohol composites*. Polymer, Vol 53, No 2, 2012, 673–680.
- [17] Zhou T, Chen F, Tang C, Bai H, Zhang Q, Deng H, Fu Q. *The preparation of high performance and conductive poly (vinyl alcohol)/graphene nanocomposite via reducing graphite oxide with sodium hydrosulfite*. Composites Science and Technology, Vol 71, No 9, 2011, 1266–1270.
- [18] Bao C, Guo Y, Song L, Hu Y. *Poly(vinyl alcohol) nanocomposites based on graphene and graphite oxide: a comparative investigation of property and mechanism*. Journal of Materials

Chemistry, Vol 21, No 36, 2011, 13942.

- [19] Zhao X, Zhang Q, Chen D, Lu P. *Enhanced mechanical properties of graphene-based polyvinyl alcohol composites*. Macromolecules, Vol 43, No 5, 2010, 2357–2363.
- [20] Bitounis D, Ali-Boucetta H, Hong BH, Min DH, Kostarelos K. *Prospects and challenges of graphene in biomedical applications*. Advanced Materials, Vol 25, No 16, 2013, 2258–2268.
- [21] Janković A, Eraković S, Mitrić M, Matić IZ, Juranić ZD, Tsui GCP, Tang C-y, Mišković-Stanković V, Rhee KY, Park SJ. *Bioactive hydroxyapatite/graphene composite coating and its corrosion stability in simulated body fluid*. Journal of Alloys and Compounds, Vol 624, 2015, 148–157.
- [22] Lu B, Li T, Zhao H, Li X, Gao C, Zhang S, Xie E. *Graphene-based composite materials beneficial to wound healing*. Nanoscale, Vol 4, No 9, 2012, 2978.
- [23] Ji H, Sun H, Qu X. *Antibacterial applications of graphene-based nanomaterials: Recent achievements and challenges*. Advanced Drug Delivery Reviews, Vol 105, 2016, 176–189.
- [24] Janković A, Eraković S, Vukašinović-Sekulić M, Mišković-Stanković V, Park SJ, Rhee KY. *Graphene-based antibacterial composite coatings electrodeposited on titanium for biomedical applications*. Progress in Organic Coatings, Vol 83, 2015, 1–10.

3. Polazne hipoteze

Rad na ovoj doktorskoj disertaciji je osmišljen sa ciljem da se elektrohemijском sintezom pri kontrolisanim, optimalnim galvanostatskim uslovima dobiju nanokompozitne koloidne disperzije srebra i polivinil-alkohola sa i bez grafena. Izlivanjem i sušenjem na povišenoj temperaturi sintetisanih koloidnih disperzija dobiće se tanki filmovi, a metodom uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja koloidnih disperzija dobiće se hidrogelovi. Primena koloidnih disperzija u vidu spreja, tankih filmova i hidrogelova u medicinskoj i farmaceutskoj praksi je široko rasprostranjena. Mogućnost dobijanja nanočestica srebra u disperziji polivinil-alkohola sa i bez grafena elektrohemijском sintezom pri galvanostatskim uslovima do sada nije navedena u literaturnim podacima, a zasniva se na elektrohemijскоj redukciji jona srebra i stabilizaciji dobijenih nanočestica srebra u polimernoj matrici polivinil-alkohola sa i bez grafena.

Takođe, potencijalna primena nanokompozitnih koloidnih disperzija, filmova i hidrogelova srebra i polivinil-alkohola, sa i bez grafena, zavisi od njihove biokompatibilnosti, odnosno pogodnosti primene u živim organizmima, što podrazumeva odsustvo citotoksičnosti, kontrolisanu kinetiku otpuštanja nanočestica srebra i odgovarajuća mehanička svojstva i antibakterijsku aktivnost. Prema tome, druga hipoteza ovog rada je da će primenom elektrohemijske sinteze nanočestica srebra u koloidnim disperzijama biti moguće dobiti nanokompozite, u obliku koloidne disperzije, tankog filma i hidrogela, kontrolisanog sastava sa optimalnim karakteristikama za biomedicinsku primenu. Prednost ovog elektrohemijскоg postupka je u tome što se dobija čist proizvod bez dodatnih redukcionih agenasa, i kao takav je biokompatibilan sa živim organizmom u kome se može primeniti kao implant mekog tkiva, obloga za rane ili nosač lekova.

4. Naučne metode istraživanja

Elektrohemijска sinteza pri galvanostatskim uslovima biće korišćena za dobijanje koloidnih disperzija srebro/polivinil-alkohol i srebro/polivinil-alkohol/grafen. Količinu, oblik i veličinu nanočestica srebra moguće je kontrolisati izborom vrednosti gustine struje i vremena sinteze, te će se u radu prikazati uticaj parametara sinteze na veličinu nanočestice srebra.

Za karakterizaciju sintetisanih srebro/polivinil-alkohol i srebro/polivinil-alkohol/grafen koloidnih disperzija koristiće se ultraljubičasta i vidljiva spektroskopija (UV-Vis) za dokazivanje prisustva nanočestica srebra i praćenje stabilizacije koloidnih disperzija dobijenih pri različitim

parametrima sinteze, transmisiona elektronska mikroskopija (TEM) za određivanje veličine i morfologije nanočestica srebra i ciklična voltametrija (CV) za utvrđivanje prisustva i stanja nanočestica srebra u formiranom kompozitu polivinil-alkohola i grafena.

Za karakterizaciju filmova srebro/polivinil-alkohol i srebro/polivinil-alkohol/grafen dobijenih izlivanjem koloidnih disperzija u tankom sloju i sušenjem na temperaturi od 60 °C biće korišćene metode difrakcije X-zraka (XRD) za određivanje tipa kristalne rešetke i veličine kristalita nanočestica srebra, Ramanska spektroskopija za dokazivanje prisustva i strukture grafena, skenirajuća elektronska mikroskopija (FE-SEM) za određivanje mikrostrukture i morfologije filmova, fotoelektronska spektroskopija X-zracima (XPS) za indentifikaciju sastava površine filmova, test istezanja za određivanje mehaničkih svojstava filmova i termogravimetrijska analiza (TGA) za određivanje termičke stabilnosti filmova.

Hidrogelovi srebro/polivinil-alkohol i srebro/polivinil-alkohol/grafen biće dobijeni metodom uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja. Kao metode karakterizacije dobijenih hidrogelova koristiće se atomska apsorpciona spektroskopija (AAS) za praćenje kinetike otpuštanja srebra, MTT test citotoksičnosti za određivanje stepena citotoksičnosti i agar difuzioni test i test u bakterijskoj suspenziji za određivanje antibakterijskih svojstava hidrogelova.

U radu će biti pokazana efikasnost elektrohemijske sinteze koloidne disperzije pri galvanostatskim uslovima radi dobijanja tankih filmova i hidrogelova definisanih svojstava, a takođe i potencijal dobijenih materijala za primenu u biomedicini.

5. Očekivani naučni doprinos

U ovoj doktorskoj disertaciji kao osnovni naučni doprinos očekuje se:

- Razvoj metode elektrohemijske sinteze u koloidnoj disperziji pri galvanostatskim uslovima za efikasno dobijanje novih nanokompozitnih koloidnih disperzija, filmova i hidrogelova srebra i polivinil-alkohola, sa i bez grafena, koji su atraktivni za široki spektar potencijalnih primena u biomedicini, posebno kao implantati za meka tkiva, obloge za rane i nosači lekova.
- Definisanje optimalnih vrednosti parametara sinteze nanočestica srebra u koloidnoj disperziji variranjem vrednosti konstantne gustine struje i vremena sinteze u cilju dobijanja biokompatibilnih nanokompozitnih disperzija, a iz njih nanokompozitnih filmova i hidrogelova srebra, polivinil-alkohola i grafena.
- Poboljšanje mehaničkih svojstava filmova srebra i polivinil-alkohola inkorporacijom grafena.
- Utvrđivanje interakcija između nanočestica srebra i molekula polivinil-alkohola i grafena, što će dati uvid u mehanizme stabilizacije nanočestica. U tu svrhu novi nanokompozitni materijali će biti okarakterisani sa stanovišta biokompatibilnosti, kinetike otpuštanja srebra i antibakterijske aktivnosti što će predstavljati osnovu za razvoj novih i poboljšanih medicinskih proizvoda.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Predmet ove doktorske disertacije je elektrohemijska sinteza koloidnih disperzija srebro/polivinil-alkohol i srebro/polivinil-alkohol/grafen pri galvanostatskim uslovima za efikasno dobijanje novih nanokompozitnih materijala koji su atraktivni za široki spektar potencijalnih primena u biomedicini, posebno kao implantati za meka tkiva, obloge za rane i nosači lekova. Iz dobijenih koloidnih disperzija sušenjem na povišenoj temperaturi će se dobiti filmovi, a metodom uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja dobiće se hidrogelovi

Predviđa se da će u doktorskoj disertaciji biti obrađena sledeća poglavlja: *Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura*.

U *Uvodu* biće predstavljen kratak opis i pregled biomaterijala, srebra, polivinil-alkohola i grafena kao i cilj rada.

U *Teorijskom delu* biće prikazan pregled relevantne literature koji se odnosi na:

- Polimerne biomaterijale, njihovu podelu i primenu, fizičko-hemijske karakteristike polivinil-alkohola, citotoksičnost i biorazgradljivost, svojstva hidrogelova polivinil-alkohola, sinteza i primena u medicini.
- Srebro, sinteza nanočestica srebra, primena u medicini, citotoksičnost srebra i mehanizam antimikrobnog delovanja.
- Grafen, oblici grafena, primena grafena u kompozitnim materijalima.
- Formiranje polimernih nanokompozita polivinil-alkohola, elektrohemijaska sinteza nanočestica srebra.
- Metoda uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja za dobijanje hidrogelova polivinil-alkohola.

Eksperimentalni deo će sadržati:

- opis materijala koji su korišćeni za dobijanje nanokompozita polivinil-alkohola
- pripremu i opis uslova elektrohemijaska sinteze nanočestica srebra u rastvoru polivinil-alkohola i koloidnoj disperziji polivinil-alkohol/grafen.
- opis metoda karakterizacije

Deo *Rezultati i diskusija* sastojaće se iz prikaza i diskusije dobijenih rezultata ispitivanja strukture polimernih nanokompozita:

- Nanokompozitne koloidne disperzije srebra i polivinil-alkohola, sa i bez i grafena: UV-vidljiva spektroskopija (UV-Vis) za dokazivanje prisustva sintetisanih nanočestica srebra i praćenje stabilizacije koloidnih rastvora dobijenih pri različitim parametrima sinteze, transmisiona elektronska mikroskopija (TEM) za određivanje veličine i morfologije nanočestica srebra, ciklična voltametrij (CV) za dokazivanje međusobnog uticaja nanočestica srebra, grafena i polivinil-alkohola.
- Nanokompozitni filmovi srebra i polivinil-alkohola, sa i bez grafena: difrakcija X-zraka (XRD) za određivanje tipa kristalne rešetke i veličine kristalita nanočestica srebra, Ramanska spektroskopija za dokazivanje prisustva i strukture grafena, skenirajuća elektronska mikroskopija (FE-SEM) za određivanje mikrostrukture i morfologije, fotoelektronska spektroskopija X-zracima (XPS) za indentifikaciju sastava površine, mehanička svojstva (test istezanja) za određivanje mehaničkih karakteristika polimernih kompozitnih filmova, termogravimetrijska analiza (TGA) za određivanje termičke stabilnosti.
- Nanokompozitni hidrogelovi srebra i polivinil-alkohola, sa i bez i grafena: atomska apsorpciona spektroskopija (AAS) za praćenje kinetike otpuštanja srebra, MTT test citotoksičnosti za određivanje stepena citotoksičnosti hidrogelova i agar difuzioni test i test u bakterijskoj suspenziji za određivanje antibakterijskih svojstava hidrogelova.

U *Zaključku* sumiraće se dobijeni rezultati, uz osvrt na njihovu inovativnost, i potencijalnu primenu.

Literatura će sadržati navode citirane u disertaciji, kao i radove proistekle istraživanjem u okviru ove doktorske disertacije.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu izloženog Komisija smatra da kandidat **Rade Surudžić** ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije. Takođe, na osnovu iznetih podataka, Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije pod naslovom „**Elektrohemijska sinteza i karakterizacija nanokompozita polivinil-alkohola, grafena i nanočestica srebra**“ naučno utemeljena i da će rezultati ovog rada predstavljati značajan naučni doprinos naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, uža naučna oblast Hemijsko inženjerstvo, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da kandidatu Radetu Surudžiću odobri izradu doktorske disertacije pod navedenim naslovom. Za mentora se predlaže dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 8. maja 2017.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Aleksandra Perić-Grujić, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Maja Vukašinović-Sekulić, vanredni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Ana Janković, naučni saradnik, Inovacioni centar
Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu