

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/651
(Број захтева)

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

09.01.2017.
(Датум)

З А Х Т Е В

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:

„Хибридни нанокомполитни материјали са ефектом самозалечења“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

ИВАНА (Милорад) РАДОВИЋ, дипл. инж. технологије

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

3. Година дипломирања: 2009.

Студент је шк. 2016/2017. године поновно уписан на докторске академске студије (на III годину), након истека рока за завршетак студија.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће**, на седници одржаној **29.12.2016. 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 Ивана Радовић

Име и презиме ментора: Весна Радојевић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Yerro O., **Radojević V.**, Radović I., Petrović M., Uskoković P., Stojanović D., Aleksić R. *Thermoplastic acrylic resin with self-healing properties*, Polymer Engineering and Science, ISSN 0032-3888, (IF 2014 1.520 , *Engineering, Chemical* 61/135), [DOI 0.1002/pen.24244](https://doi.org/10.1002/pen.24244)
2. Dukali R.M., Radovic I., Stojanovic D.B., Uskokovic P.S., Romcevic N., **Radojevic V.**, Aleksić R., *Preparation, characterization and mechanical properties of Bi₁₂SiO₂₀-PMMA composite films*, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 583, 2014, 376-381, ISSN 0925-8388, IF 2013: 2.726 Materials Science, Multidisciplinary, 49/251, [doi:10.1016/j.jallcom.2013.08.206](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.08.206)
3. Alzarrug F.A , Dimitrijević M.M, Jančić Heinemann R.M., **Radojević V.**, Stojanović D.B. , Uskoković P.S., Aleksić R., *The use of different alumina fillers for improvement of the mechanical properties of hybrid PMMA composites*, Materials& Design Volume 86, 5 December 2015, Pages 575–581 , (ISSN 0261-3069 Materials Science, Multidisciplinary (43/259) IF 2015 = 3,507) [doi:10.1016/j.matdes.2015.07.069](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.069)
4. Yerro O., Radojević V., **Radović I.**, Kojović A., Uskoković P. S., Stojanović D. B., Aleksić R: *Enhanced thermo-mechanical properties of acrylic resin reinforced with silanized alumina whiskers*, - Ceramics International, Vol. 42, No. 9, pp. 10779-10786, 2016, ISSN: 0272-8842 (IF 2014 2.605, Materials Science, Ceramics 4/26) [doi: 10.1016/j.ceramint.2016.03.205](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.205)
5. Obradović V., Stojanović D.B., Živković I., **Radojević V.**, Uskoković P.S., Aleksić R., *Dynamic Mechanical and Impact Properties of Hybrid Thermoplastic Composites Reinforced with Carbon Nanotubes*, Fibers and Polymers 2015, Vol.16, No.1, 138-145, ISSN: 1229-9197 (Print) 1875-0052 (Online), IF 2013: 1.113 Materials Science, Textiles 5/22, [doi:10.1007/s12221-015-0138-2](https://doi.org/10.1007/s12221-015-0138-2)
6. S.S. Musbah, **V. Radojević**, I. Radović, P.S. Uskoković, D.B. Stojanović, M. Damićanin, R. Aleksić, *Preparation, characterization and mechanical properties of rare-earth-based nanocomposites*, J. Min. Metall. Sect. B-Metall. 48 (2) B (2012) 309-318. [DOI:10.2298/JMMB120508030M](https://doi.org/10.2298/JMMB120508030M), (IF 2011 1,317, Metallurgy & Metallurgical Engineering 14/74)
7. S.S.Musbah, **V. Radojević**, N. Borna, D. Stojanović, M. Damićanin, A. Marinković, R. Aleksić, *PMMA-Y₂O₃ (Eu³⁺) nanocomposites: optical and*

mechanical properties, J. Serb. Chem. Soc. 76 (8) (2011)1153–1161, ISSN: 0352-5139 (IF 2011: 0, 879, Chemistry, Multidisciplinary 102/152)

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: 15.12.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДП

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 29.12.2016. 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 ИВАНИ РАДОВИЋ, дипл. инж. технологије, под називом: „Хибридни нанокмполитни материјали са ефектом самозалечења“.

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

За ментора се одређује др Весна Радојевић, 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 Ivane Radović za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta br. 35/504 od 24.11.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Ivane Radović, dipl. inž. tehnologije za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Hibridni nanokompozitni materijali sa efektom samozalečenja“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći:

REFERAT

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Kandidat Ivana M. Radović, diplomirani inženjer tehnologije, rođena je 19.2.1980. godine u Kovinu. Osnovnu školu završila je u Kovinu, a srednju u Pančevu. Studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu Smer organska hemijska tehnologija i polimerno inženjerstvo, završila je 2009. godine sa prosečnom ocenom 8,14. Diplomski rad pod naslovom „Fizičko-mehanička svojstva kompozitnog materijala poli(metilmetakrilat)-bizmut silicijum oksid“ odbranila je na Katedri za konstrukcione materijale sa ocenom 10. Školske 2009/2010. godine, upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, smer Inženjerstvo materijala. Ispite doktorskih studija, predviđene planom i programom nastave, položila je sa prosečnom ocenom 10. Završni ispit odbranila je 2011. godine sa ocenom 10.

Završila je obuku za eksperta za čistiju proizvodnju u okviru projekta Centra za čistiju proizvodnju Srbije, u saradnji sa UNIDO 2014. godine.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Ivana Radović, dipl. inž. tehnologije, je od 01.02.2011. zaposlena u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu kao istraživač pripravnik, a od 02.10.2014. u zvanju istraživač saradnik. Trenutno je angažovana na projektu Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije: TR-34011 „Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima“. U okviru projekta, aktivno je učestvovala u osmišljavanju i vođenju nekoliko diplomskih radova, master radova

i doktorskih disertacija. Tokom letnjeg semestra školske 2015/16. godine, bila je angažovana kao saradnik u nastavi na Katedri za konstrukcije i specijalne materijale, na predmetu „Ispitivanje materijala“.

Svoj naučno istraživački rad usmerila je u nekoliko oblasti: Procesiranje i karakterizacija kompozitnih materijala sa efektom samozalečenja, optički aktivni polimerni kompoziti, materijali za elektroniku, dobijanje optimalnih procesnih parametara za proces elektropredenja.

Ivana Radović je u okviru doktorskih studija položila sve ispite (13) predviđene studijskim programom, sa prosečnom ocenom 10. Završni ispit na doktorskim studijama pod naslovom „Nanomodifikovani kompozitni filmovi sa piezoelektričnim efektom“ odbranila je u maju 2011. godine sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: dr Vesna Radojević, red. prof., dr Radoslav Aleksić, red.prof. i dr Petar Uskoković, red.prof.

Položeni ispiti i ostvareni bodovi u okviru doktorskih studija:

R. br.	Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1.	Nauka o materijalima i inženjerstvo materijala	10	6
2.	Termodinamika čvrstog stanja	10	5
3.	Materijali sa specifičnim električnim, magnetnim i optičkim svojstvima	10	4
4.	Matematička obrada eksperimentalnih podataka	10	5
5.	Biokompozitni materijali	10	4
6.	Metal, ugljenični i keramički kompoziti	10	3
7.	Struktura i svojstva kompozitnih materijala	10	5
8.	Hemijska kinetika	10	5
9.	Kvantifikacija vizuelnih informacija u ispitivanju materijala	10	4
10.	Procesiranje i rast monokristala materijala za elektroniku	10	4
11.	Mehanika laminarnih kompozitnih ploča i ljuski	10	3
12.	Fizičko-mehanička ispitivanja materijala	10	4
13.	Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije	10	30
	Ukupno	10	82

U skladu sa Zakonom o visokom obrazovanju, školske godine 2016/17 upisala je ponovo doktorske akademske studije, treću godinu na profilu Inženjerstvo materijala.

Ivana Radović je autor i koautor 3 rada u vrhunskom međunarodnom časopisu kategorije M21, 1 rada u istaknutom međunarodnom časopisu M22, 1 rada u međunarodnom časopisu M23, 1 saopštenja sa međunarodnog skupa štampanog u celini M33, 7 saopštenja sa međunarodnog skupa štampanih u izvodu M34, 1 rada u časopisu nacionalnog značaja M52, 1 tehničkog rešenja M83.

Spisak objavljenih radova

Rad u istaknutom časopisu međunarodnog značaja (M 21):

1. Musbah S. S., Radojević V, **Radović I.**, Uskoković P. S., Stojanović D. B., Dramićanin M., Aleksić R.: *Preparation, Characterization and Mechanical Properties of Rare-earth-based Nanocomposites*, - Journal of Mining and Metallurgy Section B-Metallurgy, Vol 48, No 2, 2012, pp. 309-318. ISSN 1450-5339, IF (2012) = 1.435, (12/76).

2. Dukali R. M., **Radovic I.**, Stojanovic D. B., Uskokovic P. S., Romcevic N., Radojevic V., Aleksic R.: *Preparation, characterization and mechanical properties of Bi₁₂SiO₂₀-PMMA composite films*, - Journal of Alloys and Compounds, Vol 583, 2014, pp. 376-381. ISSN 0925-8388, IF (2015) = 3.014, (58/271).
3. Yerro O., Radojević V., **Radović I.**, Kojović A., Uskoković P. S., Stojanović D. B., Aleksić R.: *Enhanced thermo-mechanical properties of acrylic resin reinforced with silanized alumina whiskers*, - Ceramics International, Vol. 42, No. 9, pp. 10779-10786, 2016, ISSN: 0272-8842 (IF 2014 2.605, Materials Science, Ceramics 4/26) doi: 10.1016/j.ceramint.2016.03.205

Rad u istaknutom časopisu međunarodnog značaja (M 22):

1. Yerro O., Radojević V., **Radović I.**, Petrović M., Uskoković P., Stojanović D., Aleksić R.: *Thermoplastic acrylic resin with self-healing properties*, - Polymer Engineering and Science, Vol 56, No 3, 2016, 251-257. ISSN 1548-2634, IF (2014) = 1.52, (46/82).

Rad u časopisu međunarodnog značaja (M 23):

1. Dukali R.M., **Radovic I.M.**, Stojanovic D.B., Sevic D.M., Radojevic V.J., Jodic D.M., Aleksic R.R.: *Electrospinning of laser dye rhodamine B doped poly(methyl methacrylate) nanofibers*, - Journal of Serbian Chemical Society, Vol 79, 2014, pp. 1-19. ISSN: 0352-5139, IF (2012) = 0.871 (114/157) doi:10.2298/JSC131014011D.

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja štampan u celini (M 33):

1. **Radović I.**, Radojević V., Trifunović D., Uskoković P.S., Stojanović D., Dramićanin M., Aleksić R.: *Optical Polymer Nanocomposites PMMA-Nanophosphors*, - Proceedings & Book of Abstracts of The First Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Belgrade 2013, pp. 399-405.

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja štampan u izvodu (M 34):

1. **Radović I.**, Musbah S., Stojanović D., Zrilić M., Romčević N., Radojević V., Aleksić R.: *Processing and characterization of composite poly (methylmethacrylate)-bismuth-silicon-oxide*, - The Book of Abstracts of the Thirteenth Annual Conference YUCOMAT, Herceg Novi 2011, p. 124.
2. **Radović I.**, Musbah S., Radojevic V., Stojanović D., Zrilić M., Nikolic S., Sevic D., Aleksić R.: *Scintillating composite material, Poly(methylmethacrylate)-bismuth-silicon-oxide*, - The Book of Abstracts of 2nd International Workshop, Belgrade 2011, p. 56. (ISBN: 978-86-7401-278-9)
3. Sevic D., Rabasovic M.S., Radojevic V., **Radovic I.**, Aleksic R., Marinkovic B.P.: *Lifetime Analysis of Rhodamine B/PMMA Fluorescence Emission*, - The Book of Abstracts of the Fourteenth Annual Conference YUCOMAT, Herceg Novi 2012, p. 88.
4. **Radović I.**, Radojević V., Stojanović D., Kojović A., Šević D., Marinković B. P., Aleksić R.: *Morphology and optical Activity of Electrospun Poly(methyl methacrylate) - Rhodamine B*, - The Book of Abstracts of the First International Conference on Processing, Characterisation and Application of Nanostructured

Materials and Nanotechnology NanoBelgrade, Belgrade 2012, p. 88. (ISBN: 978-86-7401-285-7).

5. **Radović I.**, Radojević V., Uskoković P.S., Stojanović D.B., Kojović A., Aleksić R.: *Electrospun Core-shell Fibers for Self-healing of Thermoplastic Polymer Composite*, The Fifteenth Annual Conference YUCOMAT 2013 Programme and The Book of Abstracts, Herceg Novi 2013, p. 118.
6. **Radović I.**, Radojević V., Uskoković P.S., Stojanović D.B., Kojović A., Aleksić R.: *Core-shell fibers for composite materials with self-healing ability*, - Twelfth Young Researchers' Conference - Materials Science and Engineering: Program and the Book of Abstracts, Belgrade 2013, p. 43.
7. **Radović I.**, Radojević V., Uskoković P.S., Stojanović D.B., Petrović M., Aleksić R.: *Self-healing fiber-reinforced composite*, Programme and The Book of Abstracts / Seventeenth Annual Conference YUCOMAT 2015, Herceg Novi, 2015, p. 68.

Rad u časopisu nacionalnog značaja (M 52):

1. **Radović I.**, Dukali R., Yerro O., Stojanović D., Uskoković P., Radojević V., Aleksić R.: *Uticaj rastvarača na stabilnost procesa elektropredenja polimernih nanovlakana*, - Tehnika, Novi materijali, Vol 63, No 1, 2014, pp. 19-23. ISSN 0354-2300

Rad saopšten na skupu nacionalnog značaja štampan u celini (M 63):

1. **Radović I.M.**, Stojanović D.B., Uskoković P.S., Kostić S.N., Jakovljević M.M., Radojević V.J., Aleksić R.R.: *Mechanical and optical properties of composite material poly (methyl methacrylate)-bismuth-silicon-oxide*, - Proceedings of the 49th Meeting of the Serbian Chemical society, Kragujevac 2011, pp. 103-106.
2. **Radović I.**, Radojević V., Stojanović D., Zrilić M., Uskoković P., Aleksić R.: *Funkcionalni nanokompoziti na bazi PMMA: optička i mehanička svojstva*, - Zbornik radova sa Savetovanja: Napredni materijali i mogućnosti njihove primene, Požarevac 2011, pp. 11. (ISBN: 978-86-911159-2-0).
3. **Radović I.**, Radojević V., Uskoković P.S., Stojanović D., Kojović A., Jančić-Hajneman R., Aleksić R.: *Dobijanje polimernih nanovlakana procesom elektropredenja*, - Zbornik radova sa Savetovanja: Primena savremenih materijala u tehnologijama i konstrukcijama, Požarevac 2012, pp. 55-62. (ISBN: 978-911159-3-7).

M83 Novo laboratorijsko postrojenje, novo eksperimentalno postrojenje, novi tehnološki postupak

1. Aleksić R., Mitraković D., Radojević V., Uskoković P., Stojanović D., Stajić- Trošić J., Živković I., **Radović I.**: *Mašina za izvlačenje mikro luminiscentnih vlakana iz rastopa*, Projekat MPNRS Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima, Evidencioni broj 34011, Korisnik PPT Namenska , Trstenik, 2011

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i ostvarenih rezultata tokom doktorskih studija, Ivana Radović je

pokazala izuzetnu sklonost i sposobnost za bavljenje naučnoistraživačkim radom. To se ogleda, kako u samostalnom kreiranju i realizaciji istraživanja vezanih za temu doktorske disertacije, tako i kroz rad na ostalim istraživanjima koja se izvode u okviru projekata na kojima je bila angažovana. Do sada je bila autor i koautor 3 rada u vrhunskom međunarodnom časopisu M21, 1 rada u istaknutom međunarodnom časopisu M22, 1 rada u međunarodnom časopisu M23, 1 saopštenja sa međunarodnog skupa štampanih u celini M33, 7 saopštenja sa međunarodnog skupa štampanih u izvodu M34, 1 rada u časopisu nacionalnog značaja M52, 1 tehničkog rešenja M83. Na osnovu biografskih podataka kandidata, njegovih naučnih i stručnih aktivnosti, kao i objavljenih radova, Komisija smatra da je kandidat pogodan za efikasan teorijski i eksperimentalni rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Kompozitni materijali predstavljaju višekomponentne i višefazne materijale čije faze poseduju fizičko-mehanička svojstva koja se međusobno značajno razlikuju, sa vidljivom međufaznom granicom. Struktura kompozita sastoji se od kontinualne faze u koju je ugrađena jedna ili više diskontinualnih faza. Kontinualna faza naziva se matrica, a diskontinualna faza ima funkciju poboljšanja mehaničkih svojstava, a može modifikovati i neka druga svojstva kompozita kao na primer, toplotna, akustična, električna, magnetna ili optička. Kompoziti sa polimernom matricom predstavljaju materijale visokih performansi kod kojih se mogu dizajnirati specifična svojstva zavisno od primene. U toku eksploatacije kompozitni materijali trpe kontinuirana i ciklična mehanička opterećenja kao i termičke fluktuacije koji mogu dovesti do pojave oštećenja u strukturi. Zbog, vrlo često, teške dostupnosti za reparaciju, pojavila se potreba za istraživanjima u pravcu dizajniranja kompozitnih materijala sa mogućnošću samozalečenja (eng. Self-healing materials). Mada su tek u okviru razvojnih istraživanja, svojstvo samozalečenja igra veliku ulogu u primeni kompozitnih materijala u oblasti auto i avio industrije, energetici, elektronici, kao i biomedicini i stomatologiji.

Predmet ove doktorske disertacije obuhvata istraživanja u oblasti procesiranja i karakterizacije kompozitnih materijala koji poseduju mogućnost samozalečenja nakon nastanka oštećenja. Materijali se mogu obnavljati bez intervencije (autonomni) ili dejstvom spoljnih faktora (neautonomni) kao što je zagrevanje. Kod autonomnih materijala oštećenje dovodi do iniciranja hemijske reakcije čiji će proizvod sanirati prslinu i zaustaviti njen dalji rast. U literaturi su se prvo pojavili rezultati primene efekta samozalečenja kompozita sa termoreaktivnom polimernom matricom primenom agenasa za samozalečenje diciklopentadiena (DCPD) i Grabsovog katalizatora prve generacije. Princip ovog efekta je da se u kompozit ugrađuju izolovano nosači oligomera i katalizatora koji u kontaktu izazivaju reakciju polimerizacije. Kada nastala prslina tokom svoje propagacije naiđe na nosače, lomi ih i oligomer i katalizator dolaze u kontakt. Tada dolazi do polimerizacije i nastali polimer ispunjava prslinu.

Pored prednosti koje ovi materijali nude, javlja se problem skupih katalizatora koji se koriste u hemijskim reakcijama kod samozalečenja, kao i otežano procesiranje usled osetljivosti komponenata. Dostupnost katalizatora ostalim reaktantima takodje nije idealno. U prethodnim studijama je katalizator direktno umešavan u matricu i bio nezaštićen, što je uzrokovalo njegovu delimičnu deaktivaciju tokom procesiranja. Pored toga, ukoliko je bio inkapsuliran, korišćen je vosak kao zaštita, te je bila onemogućena primena na povišenim temperaturama. Rešenje ovih problema bi moglo biti u vidu novog načina dispergovanja komponenata po polimernoj matrici, bez narušavanja njenih mehaničkih svojstava. Korišćenjem polimernih vlakana kao nosača za katalizator, bila bi omogućena istovremeno i zaštita katalizatora tokom procesiranja i poboljšano dispergovanje, što bi rezultiralo visokim stepenom samozalečenja,

uporedivim sa prethodnim istraživanjima, uz znatnu redukciju troškova usled smanjena potrebne količine katalizatora.

Naučni cilj istraživanja je da se prouče procesi sinteze kompozitnih materijala sa poboljšanim sistemom za samozalečenje, i ispita uticaj procesnih parametara na dobijena mehanička, termička i funkcionalna svojstva. Predviđeno je dobijanje polimernih nanovlakana sa katalizatorom metodom elektrospredenja. Na taj način će katalizator da bude zaštićen i ravnomerno dispergovan po matrici. Pored toga, ispitaće se i efikasnost samozalečenja ovog sistema u različitim termičkim uslovima.

Relevantni bibliografski izvori:

1. Zucchelli A., Focarete M. L., Gualandi C., Ramakrishna S.: *Electrospun nanofibers for enhancing structural performance of composite materials*, - Polymer Advanced Technology, Vol 22, 2011, pp. 339–349.
2. Pang J. W. C., Bond I. P.: *A hollow fibre reinforced polymer composite encompassing self-healing and enhanced damage visibility*, - Composite Science and Technology, Vol 65, 2005, pp. 1791–1799.
3. Wu D. Y., Meure S., Solomon D.: *Self-healing polymeric materials: A review of recent developments*, - Progress in Polymer Science, Vol 3, 2008, pp. 479 – 522.
4. Yuan Y. C., Yin T., Rong M. Z., Zhang M. Q.: *Self healing in polymers and polymer composites. Concepts, realization and outlook: A review*, - eXPRESS Polymer Letters, Vol 2, 2008, pp. 238–250.
5. Peterson A. M., Jensen R. E., Palmese G. R.: *Thermoreversible and remendable glass-polymer interface for fiber-reinforced composites*, - Composite Science and Technology, Vol 71, 2011, pp. 586–592.
6. Blaiszik B. J., Baginska M., White S. R., Sottos N. R.: *Autonomic Recovery of Fiber/Matrix Interfacial Bond Strength in a Model Composite*, - Advanced Functional Materials, Vol 20, 2010, pp. 3547–3554.
7. Murphy E. B., Wudl F.: *The world of smart healable materials*, - Progress in Polymer Science, Vol 35, 2010, pp. 223–251.
8. Wang C. H., Sidhu K., Yang T., Zhang J., Shanks R.: *Interlayer self-healing and toughening of carbon fibre/epoxy composites using copolymer films*, - Composites: Part A, Vol 43, 2012, pp. 512–518.
9. Mauldin T. C., Kessler M. R.: *Enhanced bulk catalyst dissolution for self-healing materials*, - Journal of Materials Chemistry, Vol 20, 2010, pp. 4198–4206.
10. Park J. C., Kim H. S., Hahn H. T.: *Healing behavior of a matrix crack on a carbon fiber/mendomer composite*, - Composite Science and Technology, Vol 69, 2009, pp. 1082–1087.
11. Mitchell T. J., Keller M. W.: *Coaxial electrospun encapsulation of epoxy for use in self-healing materials*, - Polymer International, Vol 62, 2013, pp. 860-866.
12. Rule J. D., Sottos N. R., White S. R.: *Effect of microcapsule size on the performance of self-healing polymers*, - Polymer, Vol 48, 2007, pp. 3520-3529.
13. Li Q., Siddaramaiah, Kim N. H., Hui D, Lee J H.: *Effects of dual component microcapsules of resin and curing agent on the self-healing efficiency of epoxy*, - Composites: Part B, Vol 55, pp. 79-85.
14. Lee J., Zhang M., Bhattacharyya D., Yuan Y. C. Jayaraman K., Mai Y.W.: *Micromechanical behavior of self-healing epoxy and hardener-loaded microcapsules by nanoindentation*, - Materials Letters, Vol 76, 2012, 62–65.

15. Lee J., Bhattacharyya D., Zhang M. Q., Yuan Y. C.: *Mechanical properties of a self-healing fibre reinforced epoxy composites*, - Composites: Part B, Vol 78, 2015, pp. 515-519.
16. Hayes S. A., Jones F. R., Marshiya K., Zhang W.: *A self-healing thermosetting composite material*, - Composites: Part A, Vol 38, 2007, pp. 1116-1120.
17. Zhu D. Y., Rong M. Z., Zhang M. Q.: *Self-healing polymeric materials based on microencapsulated healing agents: From design to preparation*, - Progress in Polymer Science, Vol 49-50, 2015, pp. 175-220.
18. Suryanarayana C., Rao K. C., Kumar D.: *Preparation and characterization of microcapsules containing linseed oil and its use in self-healing coatings*, - Progress in Organic Coatings, Vol 63, 2008, pp. 72-78.
19. Blaiszik B. J., Caruso M. M., McIlroy D. A., Moore J. S., White S. R., Sottos N. R.: *Microcapsules filled with reactive solutions for self-healing materials*, - Polymer, Vol 50, 2009, pp. 990-997.
20. Ahangari M.G., Fereidoon A., Jahanshahi M., Sharifi N.: *Effect of nanoparticles on the micromechanical and surface properties of poly(urea-formaldehyde) composite microcapsules*, - Composites: Part B, Vol 56, 2014, pp. 450-455.
21. Sinha-Ray S, Pelot D. D., Zhou Z. P., Rahman A., Wu X. F., Yarin A. L.: *Encapsulation of self-healing materials by coelectrospinning, emulsion electrospinning, solution blowing and intercalation*, - Journal of Materials Chemistry, Vol 22, 2012, pp. 9138-9146.
22. White S. R., Sottos N. R., Geubelle P. H., Moore J. S., Kessler M. R., Sriram S. R., Brown E. N., Viswanathan S.: *Autonomic healing of polymer composites*, - Nature, Vol 409, 2001, pp. 794-797.
23. Jones A. R., Watkins C. A., White S. R., Sottos N. R.: *Self-healing thermoplastic-toughened epoxy*, - Polymer, Vol 74, 2015, pp. 254-261.
24. Rule J. D., Brown E. N., Sottos N. R., White S. R., Moore J. C.: *Wax-Protected Catalyst Microspheres for Efficient Self-Healing Materials*, - Advanced Materials, Vol 17, 2005, pp. 205-208.
25. Hillewaere X. K. D., Prez F. E. D.: *Fifteen chemistries for autonomous external self-healing polymers and composites*, - Progress in Polymer Science, Vol 49-50, 2015, pp. 121-153.
26. Lenhardt J. M., Kim S. H., Nelson A. J., Singhal P., Baumann T. F., Satcher J. H. Jr.: *Increasing the oxidative stability of poly(dicyclopentadiene) aerogels by hydrogenation*, - Polymer, Vol 54, 2013, pp. 542-547.
27. Chronakis I. S.: *Novel nanocomposites and nanoceramics based on polymer nanofibers using electrospinning process - A review*, - Journal of Materials Processing Technology, Vol 167, 2005, pp. 283-293.
28. Liu H. A., Balkus K. J. Jr.: *Electrospinning of beta silicon carbide nanofibers*, - Materials Letters, Vol 63, 2009, pp. 2361-2364.
29. Bhardwaj N., Kundu S. C.: *Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique*, - Biotechnology Advances, Vol 28, 2010, pp. 325-347.
30. Baji A., Mai Y. W., Wong S. C., Abtahi M., Chen P.: *Electrospinning of polymer nanofibers: Effects on oriented morphology, structures and tensile properties*, - Composites Science and Technology, Vol 70, 2010, pp. 703-718.

31. Sill T. J., von Recum H. A.: *Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering*, - Biomaterials, Vol 29, 2008, pp. 1989-2006.
32. Teo W. E., Inai R., Ramakrishna S.: *Technological advances in electrospinning of nanofibers*, - Science and Technology of Advanced Materials, Vol 12, 2011, 013002 pp. 1-19.
33. Blaiszik B. J., Sottos N. R., White S. R.: *Nanocapsules for self-healing materials*, - Composites Science and Technology, Vol 68, 2008, pp. 978-986.

3. Polazne hipoteze

U toku izrade ove disertacije istražiće se mogućnosti sinteze i ugradnje modifikovanog sistema za zalečenje u kompozitne materijale sa epoksidnom matricom. Kao polimerna matrica koristiće se epoksid na bazi diglicidil estra bisfenola A. Na osnovu detaljnog literaturnog pregleda zaključeno je da postoji mogućnost inkorporacije Grabsovih katalizatora prve i druge generacije u polistirenska nanovlakna korišćenjem tehnike elektropredenja. Podešavanjem procesnih parametara prilikom elektropredenja, moguće je dobiti nanovlakna željene funkcionalnosti i morfologije. Polimerna nanovlakna mogu obezbediti efikasnu zaštitu katalizatora prilikom skladištenja i procesiranja kompozita, kao i uniformnu disperziju katalizatora u polimernoj matrici. Na taj način će biti poboljšana efikasnost procesa samozalečenja. Predviđeno je procesiranje kompozita sa kapsulama koje sadrže monomer i polimernim vlaknima sa katalizatorom koja su rastvorna u monomer, čime se obezbeđuje efikasnost i dostupnost katalizatora za reakciju koja dovodi do samozalečenja. Kada prslina, nastala usled oštećenja, tokom svoje propagacije naiđe na kapsule, lomi ih i izliveni monomer rastvara nanovlakna s katalizatorom. Tada dolazi do polimerizacije, a nastali polimer zaceljuje oštećenje. Pošto novi sistem agenasa za samozalečenje obezbeđuje bolju efikasnost samozalečenja i bolju toleranciju na povišene temperature, primenom ovog sistema proširuje se oblast primene ovih hibridnih kompozitnih materijala.

4. Naučne metode istraživanja

U toku izrade ove disertacije planirano je procesiranje hibridnih kompozita ugradnjom aktivnih agenasa za samozalečenje u polimernu matricu i njihova karakterizacija. U početnim istraživanjima u okviru ove disertacije predviđena je karakterizacija polaznih konstituenata: polimerne epoksidne matrice, ojačanja u vidu staklenih vlakana kao i laminatnog kompozita epoksid-stakleni mat. Predviđeno je procesiranje polimernih vlakana sa katalizatorom metodom elektropredenja, definisanje optimalnih procesnih parametara i njihov uticaj na morfologiju vlakana. Sinteza i procesiranje urea-formaldehidnih kapsula izvešće se metodom po Blaisziku primenom *in situ* polimerizacije uree i formaldehida.

Efikasnost procesa samozalečenja biće praćena ispitivanjem udarom kontrolisane energije hibridnih nanokompozitnih materijala sa agensima samozalečenja. Predviđena su ispitivanja uzoraka udarom prvi put, a zatim i drugi put nakon određenog vremena koje je potrebno da dodje do procesa zalečenja. Odnos apsorbovanih energija pre i nakon zalečenja predstavlja stepen efikasnosti procesa. Uticaj povišenih temperatura na stepen efikasnosti će takođe biti ispitan primenom temperaturne komore kod ispitivanja udarom kontrolisane energije.

Ispitivanje morfologije i dimenzija polimernih vlakana dobijenih elektroprednjem i sintetisanih urea-formaldehidnih kapsula biće ispitana skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM). Ostvarene veze u kompozitu i modifikovanom polimeru kao i

identifikacija polimera poli(diciklopentadien) nastalog u procesu samozalečenja ispitaće se primenom FTIR spektroskopije. Termijska analiza hibridnih kompozita pre i posle zalečenja biće ispitana primenom TGA i DSC analize.

5. Očekivani naučni doprinos

Kao osnovni naučni doprinos doktorske disertacije očekuje se:

- Razvoj metode sinteze polistirenskih vlakana sa katalizatorom metodom elektropredenja i definisanje optimalnih procesnih parametara
- Dizajn novog hibridnog nanokompozitnog materijala sa autonomnim sistemom samozalečenja i boljom zaštitom i disperzijom katalizatora;
- Definisanje optimalnih procesnih parametara sinteze hibridnog nanokompozitnog materijala
- Doprinos proučavanju modifikacije aktivnih agenasa za samozalečenje na kinetiku procesa samozalečenja
- Uspostavljanje korelacije između procesnih parametara i postignutih mehaničkih, termičkih i funkcionalnih svojstava dobijenih materijala

Na ovaj način će biti moguće dizajnirati hibridne nanokompozitne materijale sa efektom samozalečenja proširenim opsegom primene usled poboljšane zaštite i disperzije aktivnih agenasa samozalečenja sa poboljšanim stepenom efikasnosti.

6. Plan istraživanja i struktura rada

U toku rada na disertaciji predviđene su sledeće faze i aktivnosti u istraživanju:

1. U prvom delu disertacije ispitaće se optimalni procesni uslovi za dobijanje polistirenskih nanovlakana sa katalizatorom metodom elektropredenja. Definiše se polazne postavke procesa sinteze i pratiće se karakterizacijom dobijenih nanovlakana uspešnost u postizanju optimalne morfologije i svojstava, nakon čega će se korigovati procesni parametri ili modifikovati metoda
 - Izvršiće se izbor pogodnih rastvarača za proces elektropredenja
 - Definiše se procesi rastvaranja polimera, umešavanja i ispitaće se viskoznost polaznih rastvora kao ulazni podaci za projektovanje procesa elektropredenja
 - Postaviće se polazni parametri procesa elektropredenja: izbor pogodnog rastvarača, koncentracije polimera u rastvoru, protoka rastvora tokom elektropredenja, visina primenjenog napona, rastojanje između igle i kolektora
2. U drugom delu će biti definisani procesni parametri za dobijanje hibridnih nanokompozita sa efektom samozalečenja optimalnih karakteristika i definisanih svojstava. Obuhvatiće karakterizaciju dobijenih kompozita, ispitivanje strukture i mehaničkih svojstava, efekta samozalečenja, kao i njihovo poređenje sa postojećim sistemima za samozalečenje.

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

U poglavlju *Uvod* biće definisani glavni ciljevi disertacije, predmet istraživanja i doprinos disertacije, kao i opšte informacije o različitim polimernim i kompozitnim materijalima sa efektom samozalečenja i procesima koji se koriste za njihovo dobijanje, kao i o različitim trenutnim sistemima za samozalečenje, razvoju i značaju njihove primene.

Teorijski deo doktorske disertacije obuhvatiće analizu prethodnih istraživanja koja se odnose na:

- Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti kompozitnih materijala sa efektom samozalečenja
- Mogućnosti dobijanja nanokompozitnih polimernih vlakana. Njihovo dobijanje postavlja niz zahteva u pogledu kvaliteta polaznog materijala, korišćenja najpogodnije metode dobijanja vlakana uniformnog prečnika i najpovoljnijih fizičko-mehaničkih svojstava za postizanje visokog stepena samozalečenja
- Primena novih metoda sinteze kao i karakterizacije u zavisnosti od funkcionalnih svojstava projektovanih materijala

U okviru poglavlja *Eksperimentalni deo* opisać će se procesi sinteze i metode karakterizacije sprovedeni kao koraci prethodno postavljenih i definisanih ciljeva u okviru faza i aktivnosti planiranih istraživanja. Tako će ovo poglavlje sadržati opis:

- polaznih materijala koji su korišćeni tokom procesiranja hibridnih nanokompozita sa efektom samozalečenja i koji su predmet istraživanja ove doktorske disertacije;
- opis postupka pripreme rastvora polimera, dispergovanja katalizatora, postupka elektropredenja polimernih vlakana, sinteza mikrokapsula i procesiranja hibridnih nanokompozita sa efektom samozalečenja;
- opis optimizacije procesnih parametara za dobijanje elektropredenih vlakana sa ciljem postizanja uniformne disperzije katalizatora u nanokompozitima sa efektom samozalečenja;
- metode i uslovi karakterizacije polaznih materijala i dobijenih hibridnih nanokompozita sa efektom samozalečenja.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* biće prikazani i diskutovani eksperimentalni rezultati dobijeni primenom različitih metoda karakterizacije dobijenih hibridnih nanokompozita sa efektom samozalečenja. U *Zaključku* će biti sumirani dobijeni rezultati ispitivanja sinteze i karakterizacije hibridnih nanokompozita sa efektom samozalečenja, uz osvrt na njihovu inovativnost, važnost i primenu, kao i predlog plana budućih istraživanja.

U poglavlju *Literatura* biće prikazani svi literaturni navodi citirani u disertaciji, kao i radovi proistekli iz istraživanja u okviru ove doktorske disertacije.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu izloženog komisija smatra da kandidat Ivana Radović 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 „Hibridni nanokompozitni materijali sa efektom samozalečenja“ naučno utemeljena i da će rezultati ovog rada predstavljati značajan naučni doprinos naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo,

uža naučna oblast Inženjerstvo materijala, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da kandidatu Ivani Radović odobri izradu doktorske disertacije pod navedenim naslovom. Za mentora se predlaže dr Vesna Radojević, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.

U Beogradu, 16.12.2016. god.

ČLANOVI KOMISIJE

.....
Prof. dr Vesna Radojević, red. prof.
Univerziteta u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Petar Uskoković, red. prof.
Univerziteta u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Radmila Jančić Hajneman, red. prof.
Univerziteta u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Dušica Stojanović, viši naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu,
Tehnološko-metalurški
fakultet

.....
dr Jelena Lamovec, naučni saradnik,
Univerziteta u Beogradu,
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju