

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/260
(Број захтева)

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

27.05. 2016.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

**„Утицај модификованих микро-честица добијених из неметалне фракције
отпадних штампаних плоча на механичка и термичка својства полиестарске
смоле синтетисане из отпадног поли(етилен терефталата)“**
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

ТИХОМИР (Милић) КОВАЧЕВИЋ, дипл. инж.

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

3. Година дипломирања: 2009.

4. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /
Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2010/2011. године.

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће,
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 26.05.2016. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: Тихомира Ковачевића

Име и презиме ментора: Др Александар Маринковић

Звање: доцент

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. P. M. Spasojević, V. V. Panić, J. V. Dzunuzović, **A. D. Marinković**, A. J. J. Woortman, K. Loos, I. G. Popović, *High performance alkyd resins synthesized from postconsumer PET bottles*, RSC Advances, 5 (2015) 62273–62283; IF 3,840 (M21); ISSN 2046-2069; DOI: 10.1039/c5ra11777a
2. T. S. Radoman, J. V. Džunuzović, K. T. Trifković, T. Palija, **A. D. Marinković**, B. Bugarski, E. S. Džunuzović, *Effect of surface modified TiO₂ nanoparticles on thermal, barrier and mechanical properties of long oil alkyd resin-based coatings*, eXPRESS Polymer Letters, 9(10) (2015) 916–931; IF 2,761 (M21); ISSN 1788-618X; DOI: 10.3144/expresspolymlett.2015.83
3. Abdolghane M. Torki, Dušica B. Stojanović, Irena D. Živković, **Aleksandar Marinković**, Sreco D. Škapin, Petar S. Uskoković, Radoslav R. Aleksić, *The viscoelastic properties of modified thermoplastic impregnated multiaxial aramid fabrics*, Polymer Composites 33 (2012) 158–168, IF 1,482 (M21); ISSN 0272-8397 DOI: 10.1002/pc.21260.
4. Enis S. Džunuzović, Jasna V. Džunuzović, **Aleksandar Marinković**, Milena T. Marinović-Cincović, Katarina B. Jeremić, Jovan M. Nedeljković, *Influence of surface modified TiO₂ nanoparticles by gallates on the properties of PMMA/TiO₂ nanocomposites*, European Polymer Journal, 48 (2012) 1385–1393; IF 2,562 (M21); ISSN 0014-3057; doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.05.017
5. Jelena D. Rusmirović, Tijana Radoman, Enis Džunuzović, Jasna Džunuzović, Jasmina Markovski, Pavle Spasojević, **Aleksandar Marinković**, *Effect of the modified silica nanofiller on the mechanical properties of unsaturated polyester resins based on recycled polyethylene terephthalate*, Polymer Composites, early view, (2015); IF 1,632 (M21); ISSN 0272-8397; DOI: 10.1002/pc.23613

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: 15.10.2015. godine

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: Тихомир Ковачевић

Име и презиме ментора: Мелина Калагасидис Крушић

Звање: ванредни професор, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултета

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Seslija Sanja I Veljovic Djordje N **Kalagasidis-Krusic Melina T** Stevanovic Jasmina S Velickovic Sava J Popovic Ivanka G, Cross-linking of highly methoxylated pectin with copper: the specific anion influence NEW JOURNAL OF CHEMISTRY, (2016), vol. 40 br. 2, str. 1618-1625, IF=3,086; ISSN: 1144-0546.
2. Spasojevic Jelena Radosavljevic Aleksandra Krstic Jelena Jovanovic Dragutin Spasojevic Vuk D **Kalagasidis-Krusic Melina T** Kacarevic-Popovic Zorica M, Dual responsive antibacterial Ag-poly(N-isopropylacrylamide/itaconic acid) hydrogel nanocomposites synthesized by gamma irradiation, EUROPEAN POLYMER JOURNAL, (2015), vol. 69, str. 168-185, IF=3,005; ISSN: 0014-3057.
3. Lucic Marija, Milosavljevic Nedeljko, Radetic Maja, Saponjic Zoran, Radoicic Marija, **Kalagasidis-Krusic Melina**, The potential application of TiO₂/hydrogel nanocomposite for removal of various textile azo dyes, SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY, (2014), vol. 122 br. str. 206-216, IF=3,091; ISSN: 1383-5866.
4. Milasinovic Nikola Z, Knezevic-Jugovic Zorica D, Milosavljevic Nedeljko B, Filipovic Jovanka M, **Kalagasidis-Krusic Melina T**, Controlled release of lipase from Candida rugosa loaded into hydrogels of N-isopropylacrylamide and itaconic acid, INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICS, (2012), vol. 436 br. 1-2, str. 332-340, IF=3,650; ISSN: 0378-5173.
5. Milosavljevic Nedeljko B, Ristic Mirjana Dj, Peric-Grujic Aleksandra A, Filipovic Jovanka M, Strbac Svetlana B, Rakocevic Zlatko Lj, **Kalagasidis-Krusic Melina T**, Sorption of zinc by novel pH-sensitive hydrogels based on chitosan, itaconic acid and methacrylic acid, JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS, (2011), vol. 192 br. 2, str. 846-854, IF=4,529; ISSN: 0304-3894.

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

Ⓐ) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, 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: 20.05.2016.

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 26.05.2016. 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 ТИХОМИРА КОВАЧЕВИЋА, дипл. инж, под називом: „Утицај модификованих микро-честица добијених из неметалне фракције отпадних штампаних плоча на механичка и термичка својства полиестарске смоле синтетисане из отпадног поли(етилена терефталата)“.

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

За менторе се одређују: др Александар Маринковић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Мелина Калагасидис Крушић, ванредни 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 Tihomira Kovačevića, diplomiranog inženjera tehnologije, za izradu doktorske disertacije

Odlukom br. 35/161 od 14. aprila 2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Tihomira Kovačevića, diplomiranog inženjera tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „**Uticaj modifikovanih mikročestica dobijenih iz nemetalne frakcije otpadnih štampanih ploča na mehanička i termička svojstva poliestarske smole sintetisane iz otpadnog poli(etilen tereftalata)**“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

REFERAT

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Tihomir M. Kovačević, diplomirani inženjer tehnologije, je rođen 20.07.1984. godine u Užicu. Medicinsku školu, smer farmaceutski tehničar, završio je u Užicu 2003. godine, kada i upisuje osnovne studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Diplomirao je 2009. godine na smeru Organska hemijska tehnologija i polimerno inženjerstvo sa prosečnom ocenom studija 8,14. Diplomski rad na temu „Sinteza, struktura i solvatohromizam potencijalno farmakološki aktivnih 3-alkil-5-fenil i 3-alkil-5-metil-5-fenil hidantoina“, odbranio je sa ocenom 10 u junu 2009. godine na Katedri za Organsku hemiju. Doktorske studije je upisao na matičnom fakultetu 2010. godine na odseku Hemijsko inženjerstvo. Od jula 2010. do oktobra 2011. godine zaposlen u „IRC NIC“ A.D. Užice, a od oktobra 2011. godine u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta gde je angažovan na projektu Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, TR34033. Tihomir Kovačević govori engleski jezik.

1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

Od januara 2011. godine radi kao istraživač na projektu tehnološkog razvoja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije pod nazivom „Inovativna sinergija nus-produkata, minimizacije otpada i čistije proizvodnje u metalurgiji“ (br. 34033) u „IRC NIC“ A.D. Užice (od 01.01.2011. do 01.10.2011.), a zatim u Inovacionom centru (od 01.10.2011. do sada). U zvanje istraživač saradnik izabran je u aprilu 2016. godine. Tihomir Kovačević je u okviru doktorskih studija položio sve ispite predviđene studijskim programom.

Položeni ispiti i ostvareni bodovi u okviru doktorskih studija

Redni br.	Naziv predmeta	ESPB	Ocena
1.	Hemijska kinetika	5	7
2.	Fenomeni prenosa u inženjerstvu materijala	5	10
3.	Odabrana poglavlja matematičke analize	5	8
4.	Specijalna poglavlja prenosa mase	4	10
5.	Viši kurs termodinamike	5	10
6.	Fizička hemija polimera	4	10
7.	Površinski aktivne materije	4	10
8.	Strukturna analiza organskih molekula	6	10
9.	Polimerizacije u heterogenim sistemima	4	8
10.	Metalurgija praha	4	10
11.	Viši kurs metalurških procesa	4	10
12.	Završni ispit	30	10
13.	Engleski jezik		10
Ukupno/srednja ocena		80	9,42

Završni ispit (pristupni rad za izradu doktorske disertacije) pod nazivom „Ispitivanje procesa odvajanja, reciklaže i karakterizacije polimernih materijala iz otpadnih štampanih ploča“ odbranio je u oktobru 2012. godine.

Oblast naučno-istraživačkog rada Tihomira Kovačevića obuhvata sinergiju otpadne PET ambalaže i nemetalne frakcije otpadnih štampanih ploča u cilju dobijanja novih kompozitnih materijala poboljšanih svojstava. Tihomir Kovačević je kao koautor učestvovao u izradi i publikaciji 6 radova u kategorijama M22-1, M51-1, M52-1, M33-2 i M63-1. Odlično poznaje rad na računaru, kao i na spektrofotometru koji se koristi za karakterizaciju organskih jedinjenja (FTIR).

Objavljeni naučni radovi i saopštenja:

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu – M22

1. Hatim Issa, Marija Korać, Željko Kamberović, Milorad Gavrilovski, **Tihomir Kovačević**, A two-stage metal valorisation process from electric arc furnace dust (EAFD), METABK 55 (2), 2016, p. 149-152, IF 2014: 0,848; ISSN: 0543-5846

Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja – M51

1. **Tihomir Kovačević**, Željko Kamberović, Marija Korać, Zoran Anđić, Aleksandar Vasić, Simulacija rada visoke peći prilikom supstitucije koksa i spraćenog uglja granulisanom otpadnom plastikom, Tehnika-Rudarstvo, Geologija i Metalurgija 65 (2014) 5, p. 772-778, ISSN: 0040-2176

Rad u časopisu nacionalnog značaja – M52

1. Željko Kamberović, Marija Korać, Zoran Anđić, Marija Štulović, **Tihomir Kovačević**, Aleksandar Vujović, Ilija Ilić, Conceptual design for treatment of mining and metallurgical wastewater which contains arsenic and antimony, Metallurgical & Materials Engineering, 18 (4), 2012, p. 321-331, ISSN: 2217-8961

Saopštena sa skupova međunarodnog značaja štampana u celini – M33

1. **Tihomir Kovačević**, Željko Kamberović, Zoran Anđić, Marija Korać, Aleksandar Vasić, Simulation and experimental verification the treatment of dispersed zinc and iron bearing materials using software package for Waelz process (SPW), Proceedings, 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, October 04-06, 2015, Bor Lake, Serbia, 343-346, ISBN: 978-86-7827-047-5
2. Vaso Manojlović, Željko Kamberović, Marija Korać, Milorad Gavrilovski, Miroslav Sokić, Branislav Matković, **Tihomir Kovačević**, Secondary aluminium as a reducing agent in the aluminothermic processes, MME SEE Metallurgical & Materials Congress of South-East Europe, 03-05 June, 2015, Belgrade, Serbia, 85-91, ISBN: 978-86-87183-27-8

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini – M63

1. Milisav Ranitović, Vesna Nikolić, **Tihomir Kovačević**, Delimično topljenje i centrifugiranje kao nova metoda pred-tretmana metalnog granulata e-otpada: preliminarni laboratorijski test, Zbornik radova: 7. Simpozijum i 1. studentski simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“, Soko Banja, 05-07. septembar, 2012, p. 14-18, ISBN 978-86-80987-97-2

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Dosadašnjim radom i postignutim rezultatima tokom doktorskih studija i u okviru naučno-istraživačkog rada na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Tihomir Kovačević je pokazao sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom. Na osnovu izloženog, Komisija smatra da je Tihomir Kovačević ispunio sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije. Tihomir Kovačević je koautor jednog rada objavljenog u istaknutom međunarodnom časopisu (M22), jednog rada u vodećem domaćem časopisu (M51), jednog rada u časopisu nacionalnog značaja (M52), dva rada saopštena na skupovima međunarodnog značaja štampana u celini (M33) i jednog rada saopštenog na skupu nacionalnog značaja štampanog u celini (M63).

2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet ove doktorske disertacije je ispitivanje mehaničkih i termičkih svojstava kompozita na bazi nemetalne frakcije otpadnih štampanih ploča i nezasićene poliestarske smole sintetisane iz otpadnog poli(etilen tereftalata).

Poli(etilen tereftalat) (PET) predstavlja jedan od najčešće upotrebljivanih inženjerskih polimera koji ima primenu u raznim granama industrije, kao što su automobilska, proizvodnja ambalaže za hranu i piće, tekstilna, elektronska i dr. Usled masovne proizvodnje i vrlo kratkog veka primene proizvoda od PET-a, dolazi do generisanja velike količine otpada koji ima štetan uticaj kako na životnu sredinu, tako i na zdravlje ljudi i životinja. Zbog toga je neophodna reciklaža PET-a koja može biti: primarna (tokom oblikovanja proizvoda u fabričkom krugu), sekundarna (ponovno oblikovanje čistog ili u smeši sa svežim PET-om nakon svog korisnog veka), tercijarna (termičkim ili hemijskim tretmanom PET se prevodi u svoje polazne reaktante ili druge korisne hemijske sirovine) i kvaternarna (koristi se kao

gorivo). Proizvodi tercijarne reciklaže PET-a se mogu koristiti za sintezu nezasićenih poliestarskih, vinil estarskih i alkidnih smola koje se koriste za dobijanje premaza. Da bi se poboljšala mehanička svojstva, u tako dobijene smole se dodaju razna punila kao što su titan (IV)-oksid, modifikovane čestice silicijum(IV)-oksida, višeslojne ugljenične nanocevi i dr.

S druge strane, nemetalnu frakciju otpadnih štampanih ploča (NFŠP) čine polimerna smola, staklena i keramička vlakna i metali u tragovima, koje je, zbog kompleksnosti sastava štampanih ploča, nemoguće potpuno odvojiti od nemetalne frakcije. Štampane ploče su neizostavni deo elektronske opreme i u njima je sadržano preko 60 % ukupne materijalne vrednosti iste. Ta vrednost se najviše ogleda u sadržaju obojenih i plemenitih metala, tako da su dosadašnja istraživanja vezana za reciklažu štampanih ploča uglavnom išla u cilju valorizacije metala, dok se NFŠP spaljivala i/ili odlagala na deponije. Ipak, zbog prisustva bromovanih usporivača gorenja (engleski *Brominated Flame retardants*, BFR), NFŠP predstavlja opasan otpad te je neophodno njegovo adekvatno zbrinjavanje. Jedan od načina da se prevaziđe ovaj problem je da se otpadna štampana ploča samelje, a nemetalna frakcija odvoji prosejavanjem i iskoristi kao punilo u polimerima umesto komercijalnih punila.

Cilj predložene doktorske disertacije je dobijanje i karakterizacija novih kompozitnih materijala u kojima će polimernu matricu činiti nezasićena poliestarska smola sintetisana iz otpadnog PET-a, a kao punilo će se koristiti mikročestice dobijene iz nemetalne frakcije otpadnih štampanih ploča. Polimernu fazu NFŠP predstavlja epoksi smola gde se umesto bisfenola A, kao jednog od dva glavna konstituenta iste, koristi tetrabrom-bisfenol A (TBBP A) kao reaktivni bromovani usporivač gorenja (BFR). Kao punilo koristiće se sledeće mikročestice NFŠP: nemodifikovane, površinski aktivirane (neorganskim kiselinama i bazama), kao i modifikovane organskim molekulima koje sadrže vinil reaktivne grupe. Pratiće se uticaj udela i granulacije dodatih mikročestica NFŠP na mehanička i termička svojstva dobijenih kompozitnih materijala.

Naučni ciljevi doktorske disertacije

Nezasićene poliestarske smole imaju veliku primenu u industriji: za proizvodnju cevi, delove brodova i čamaca, u automobilske industriji i dr. Zbog toga je bitno da pomenuti materijal ima adekvatna svojstva za određeni tip namene zbog čega mu se dodaju razni aditivi, pre svega punila neorganskog i organskog porekla. U tu svrhu koriste se titanijum (IV)-oksid [1], organohemijski modifikovane čestice silicijum(IV)-oksida [2-4] ili organski/neogranski modifikovane višeslojne ugljenične nanocevi [5]. Pokazano je da je značajno poboljšanje mehaničkih i termičkih svojstava nanokompozitnih materijala dodatkom silike uzrokovano snažnim interakcijama između čestica nanosilike i nezasićene poliestarske smole [6, 7]. Takođe, utvrđeno je da se dobra kompatibilnost i disperzivnost čestica nanopunila sa polimernom matricom ostvaruje modifikacijom površinskih grupa istih upotrebom organosilana [8, 9]. Međutim, o upotrebi NFŠP kao punila postoji vrlo malo podataka [10]. Do sada je NFŠP korišćena kao punilo u epoksi smolama koje se koriste za dobijanje premaza (boje, lakovi) ili građevinskog materijala [11], kao supstituent za piljevinu u fenolnim pločama [12] i za poboljšanje mehaničkih svojstava polipropilena (PP) [13, 14]. Uglavnom se NFŠP podvrgava hemijskoj reciklaži pirolizom [15], upotrebom natkritičnog fluida [16], gasifikacijom [17] ili hidrogenolitičkom degradacijom [18].

U okviru istraživanja ove doktorske disertacije razviće se novi kompozitni materijali na bazi NFŠP i nezasićene poliestarske smole sintetisane iz otpadnog PET-a. Nemetalna frakcija štampanih ploča će se koristiti kao punilo za polimernu matricu od nezasićene poliestarske smole. Pre izvođenja eksperimenata, NFŠP i nezasićena poliestarska smola će biti karakterisani upotrebom sledećih metoda: fluorescencija X zracima (XRF), infracrvena spektroskopija sa Furievom transformacijom (FTIR), nuklearno-magnetno-rezonantna spektroskopija (^1H NMR), skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) i Ramanova spektroskopija. U prvoj fazi eksperimenata, mikročestice NFŠP će se, bez prethodnog tretmana, dodavati kao punilo u polimernu matricu nezasićene poliestarske smole. Dobijeni kompoziti će biti podvrgnuti ispitivanju mehaničkih i termičkih svojstava gde će se pratiti uticaj udela i granulacije dodatih mikročestica NFŠP na pomenuta svojstva. U tu svrhu će se upotrebiti sledeće metode karakterizacije dobijenih kompozita: dinamičko-mehanička analiza (DMA), diferencijalna skenirajuća kalorimetrija (DSC), ispitivanja zatezne i savojne jačine, otpornost na udar (Šarpijev test), kao i ispitivanja skupljanja smole tokom umrežavanja upotrebom Aramis 6.2.0 softvera. U drugoj fazi će mikročestice NFŠP biti površinski aktivirane upotrebom neorganskih kiselina i baza i funkcionalizovane dodatkom organskih molekula koji sadrže vinil reaktivne grupe. Tako dobijeni kompoziti će biti karakterisani na način opisan kao u prvoj fazi nakon čega će se izvršiti uporedna analiza svojstava kompozita dobijenih u prvoj i drugoj fazi eksperimenata. Pored toga, zbog prisustva broma u polimernoj fazi NFŠP u obliku usporivača gorenja, ispitaće se i gorivost dobijenih kompozita. Cilj je dobiti kompozitni materijal zadovoljavajuće klase gorivosti u skladu sa odabranim standardom. Ovako dobijeni kompoziti bi se upotrebljavali za izradu proizvoda koji trpe dinamičko-mehanička opterećenja i imaju visoku otpornost na dejstvo toplote i otvorenog plamena.

Najvažniji literaturni podaci koji se odnose na ovu temu su:

- [1] Srinivasa Moorthy S., Manonmani K.: Research on sliding wear behavior of TiO₂ filled glass fiber reinforced polymer composite. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7, 3356–3361 (2014)
- [2] Jastrzëbska M., Janik H., Paukszta D.: The investigation of polyester composites filled by modified bentonite. *Polimery*, 59, 656–661 (2014)
Rusmirović J. D., Radoman T., Džunuzović E. S., Džunuzović J. V., Markovski J., Spasojević P., Marinković A. D.: Effect of the modified silica nanofiller on the mechanical properties of unsaturated polyester resins based on recycled polyethylene terephthalate. *Polymer Composites*, in press (2015), DOI:10.1002/pc.23613
- [3] Rusmirović J. D., Trifković K. T., Bugarski B., Pavlović V. D., Džunuzović J. V., Tomić M., Marinković A. D.: High performance unsaturated polyester based nanocomposites: Effect of vinyl modified nanosilica on mechanical properties. *Express Polymer Letters*, 10, 139-159 (2016)
- [4] May-Pat A., Avilés F., Toro P., Yazdani-Pedram M., Cauich-Rodríguez J. V.: Mechanical properties of PET composites using multiwalled carbon nanotubes functionalized by inorganic and itaconic acids. *Express Polymer Letters*, 6, 96–106 (2012)

- [5] Guo L., Xu X., Zhang Y., Zhang Z.: Effect of functionalized nanosilica on properties of polyoxymethylenematrix nanocomposites. *Polymer Composites*, 35, 127–136 (2014)
- [6] Tong L., Pu Z., Chen Z., Huang X., Liu X.: Effect of nanosilica on the thermal, mechanical, and dielectric properties of polyarylene ether nitriles terminated with phthalonitrile. *Polymer Composites*, 35, 344–350 (2014)
- [7] Castellano M., Turturro A., Marsano E., Conzatti L., Vicini S.: Hydrophobation of silica surface by silylation with new organo-silanes bearing a polybutadiene oligomer tail. *Polymer Composites*, 35, 1603–1613 (2014)
- [8] Hong R. Y., Fu H. P., Zhang Y. J., Liu L., Wang J., Li H. Z., Zheng Y.: Surface-modified silica nanoparticles for reinforcement of PMMA. *Journal of Applied Polymer Science*, 105, 2176–2184 (2007)
- [9] Hong S.G., Su S.H.: The use of recycled printed circuit boards as reinforcing fillers in the polyester composite, *Journal of Environmental Science and Health: Part A*, 31, 1345–1359 (1996)
- [10] Li J., Shrivastava P., Gao Z., Zhang H. C.: Printed circuit board recycling: A state of art survey, *IEEE Transaction on Electronics Packaging Manufacturing*, 27, 33–42 (2004)
- [11] Guo J., Rao Q., Xu Z.: Application of glass-nonmetals of waste printed circuit boards to produce phenolic moulding compound, *Journal of Hazardous Materials*, 153, 728–34 (2008)
- [12] Zheng Y., Shen Z., Cai C., Ma S., Xing Y. J.: The reuse of nonmetals recycled from waste printed circuit boards as reinforcing fillers in the polypropylene composites, *Journal of Hazardous Materials*, 163, 600–606 (2009)
- [13] Zheng Y., Shen Z., Cai C., Ma S., Xing Y.: Influence of nonmetals recycled from waste printed circuit boards on flexural properties and fracture behavior of polypropylene composites, *Materials & Design*, 30, 958–963 (2009)
- [14] Long L., Sun S., Zhong S., Dai W., Liu J., Song W.: Using vacuum pyrolysis and mechanical processing for recycling waste printed circuit boards, *Journal of Hazardous Materials*, 177, 626–632 (2010)
- [15] Sasse F., Emig G.: Chemical recycling of polymer materials, *Chemical Engineering & Technology*, 21, 777–789 (1998)
- [16] Tagaya H., Shibasaki Y., Kato C., Kadokawa J., Hatano B.: Decomposition reactions of epoxy resin and polyetheretherketone resin in sub- and supercritical water, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 6, 1–5 (2004)
- [17] Braun D., Gentzkow W., Rudolf A. P.: Hydrogenolytic degradation of thermosets, *Polymer Degradation and Stability*, 74, 25–32 (2001)

3. Polazne hipoteze

Pregledom postojeće literature utvrđeno je da postoji vrlo mali broj istraživanja koja se bave fizičkim postupcima reciklaže NFŠP. Uglavnom su se vršili hemijski postupci reciklaže pomenutog materijala, najčešće piroliza. Hemijski postupci reciklaže ove vrste materijala nisu ekološki prihvatljivi, jer je vrlo teško kontrolisati emisiju štetnih, otpadnih gasova tokom istih, pre svih HBr-a i eventualno formiranih dioksina i furana. Zbog toga su u ovom radu

razmatrani samo fizički postupci reciklaže NFŠP. Što se tiče upotrebe NFŠP kao punila, u literaturi postoji vrlo malo podataka. Takođe, u literaturi se ne mogu pronaći istraživanja vezana za dobijanje kompozita na bazi NFŠP i nezasićenih poliestarskih smola.

Imajući to u vidu, polazne hipoteze koje se mogu izdvojiti kao osnova za započinjanje naučno-istraživačkog rada u okviru ove doktorske disertacije su sledeće:

- Nezasićenim poliestarskim smolama sintetisanim iz otpadnog PET-a će se kao punilo dodavati nemodifikovane, površinski aktivirane i funkcionalizovane mikročestice NFŠP i izvršiti uporedna analiza mehaničkih i termičkih svojstava kompozita dobijenih dodatkom sve tri vrste čestica.
- Modifikovanjem površine mikro-punila (aktivacija i funkcionalizacija) izvršiće se njihova hidrofobizacija i uvešće se centri reaktivnosti koji učestvuju u umrežavanju kompozitnih materijala interakcijama sa poliestarskim lancima čime će se postići bolja kompatibilnost i disperzija mikro-čestica u polimernoj matrici.
- Dobijanje polimernih kompozita sa mikročesticama NFŠP kao ravnomerno dispergovanim puniocima predstavlja svojevrsan izazov zbog otežane procesabilnosti usled povećanja viskoznosti. Prevazilaženje tog problema je moguće dobro izabranom metodom funkcionalizacije punioca i tehnikom pripreme kompozita.
- Usled sadržaja bromovanih usporivača gorenja u polimernoj fazi NFŠP, očekuje se dobijanje kompozita smanjene gorivosti u odnosu na čistu nezasićenu poliestarsku smolu ili smolu sa dodatkom konvencionalnih punila.

4. Naučne metode istraživanja

U ovom radu će se koristiti otpadni PET za sintezu nezasićenih poliestarskih smola koje će biti ojačane dodatkom nemodifikovanih, površinski aktiviranih i funkcionalizovanih mikročestica dobijenih iz nemetalne frakcije otpadnih štampanih ploča sa sadržajem BFR. Za karakterizaciju dobijenih kompozitnih materijala, definisanje faznih i strukturnih svojstava, morfologije, dinamičko-mehaničkih i termičkih svojstava, koristiće se različite instrumentalne tehnike: infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom – FTIR, skenirajuća elektronska mikroskopija – SEM, Ramanova spektroskopija, diferencijalno-skenirajuća kalorimetrija – DSC, dinamičko-mehanička analiza - DMA, nuklearno-magnetno rezonantna spektroskopija – ^1H NMR, a biće ispitana gorivost, kao i zatezna, savojna čvrstoća i otpornost na lom (Šarpijev test). Skupljanje smole tokom umrežavanja će se pratiti sistemom dve kamere, nakon čega će se dobijene slike analizirati upotrebom softvera Aramis 6.2.0. Za statističku obradu dobijenih eksperimentalnih rezultata koristiće se matematičke funkcije greške.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se da će rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije dati:

- Nove kompozitne materijale poboljšanih dinamičko-mehaničkih i termičkih svojstava;

- Unapređenje termičkih svojstava dodatkom nemodifikovanih mikročestica NFŠP, pogotovo pri većim udelima istih;
- Površinskom aktivacijom i funkcionalizacijom mikročestica očekuje se, pored dobrih termičkih, i značajno unapređenje mehaničkih svojstava kompozitnih materijala;
- Potpunu karakterizaciju sintetisanih smola, mikročestica NFŠP, kao i dobijenih novih kompozitnih materijala;
- Doprinos saznanjima o uticaju granulacije, aktivacije i funkcionalizacije mikročestica, kao i udela istih na mehanička i termička svojstva dobijenih kompozitnih materijala;
- Bolji pristup u potpunom sagledavanju svojstava novih materijala na osnovu eksperimentalnih rezultata i metoda karakterizacije;
- Takođe se očekuje da će razvijena metodologija doprineti rešavanju problema otpadnih štampanih ploča čime će se omogućiti proaktivno i efikasno vođenje politike zaštite i održivog razvoja u cilju poboljšanja kvaliteta životne sredine.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Najpre će biti pripremljeni kompoziti sa dodatkom nemodifikovanih mikročestica NFŠP u polimernu matricu od nezasićene poliestarske smole prethodno sintetisane iz otpadnog PET-a i karakterisane. Biće praćen uticaj udela i granulacije dodatih mikročestica NFŠP na mehanička i termička svojstva dobijenih kompozita. Nakon ispitivanja mehaničkih svojstava, izvršiće se selekcija NFŠP koji sa nezasićenom poliestarskom smolom daju kompozite koji imaju optimalna svojstva.

Potom će se odabrana frakcija NFŠP (udeo i granulacija) površinski aktivirati upotrebom neorganskih kiselina i baza i funkcionalisati dodatkom molekulskih vrsta sa reaktivnim krajnjim vinil grupama. Nakon toga će uslediti ispitivanje mehaničkih i termičkih svojstava dobijenih kompozita prethodno opisanim metodama i uporedna analiza sa pomenutim svojstvima prethodno dobijenih kompozita sa nemodifikovanim mikročesticama NFŠP. Pored toga, biće izvršena i uporedna analiza uticaja odabranih sredstava za aktivaciju i funkcionalizaciju mikročestica NFŠP na svojstva dobijenih kompozita.

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

U poglavlju *Uvod*, biće razmotreni aktuelni trendovi, predmet i cilj istraživanja, kao i očekivani doprinos disertacije.

Teorijski deo, podeljen na potpoglavlja, sadržaće osvrt na PET i njegove postupke reciklaže, sa akcentom na tercijernu reciklažu. Pored toga, *Teorijski deo* će obuhvatiti literaturne podatke o štampanim pločama, njihovim postupcima reciklaže sa posebnim osvrtom na nemetalnu frakciju i njenom uticaju na kvalitet životne sredine pri neadekvatnom zbrinjavanju. U okviru *Teorijskog dela* će biti prikazana i dosadašnja istraživanja vezana za nezasićene poliestarske smole dobijene iz otpadnog PET-a, materijale koji se koriste kao punila za ojačavanje i poboljšanje mehaničkih svojstava smola, kao i mogućnost njihove primene u industriji.

U *Eksperimentalnom delu* biće navedeni svi korišćeni materijali, detaljan opis sinteze nezasićenih poliestarskih smola i dobijanje kompozita dodatkom mikročestica NFŠP u matricu istih. Pored toga, biće detaljno opisana aktivacija i funkcionalizacija mikročestica NFŠP, kao i sve metode karakterizacije koje će biti korišćene tokom izrade disertacije.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* biće detaljno analizirani rezultati eksperimentalnog rada i upoređeni sa literaturnim podacima.

U *Zaključku* će biti sumirano celokupno istraživanje uz osvrt na inovativne metode i pristupe problematici, kao i prednosti koje se tiču potencijalne primene.

U *Literaturi* će biti navedeni radovi i literaturni izvori citirani u disertaciji, kao i radovi proistekli iz sprovedenih istraživanja.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih podataka, Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije kandidata Tihomira Kovačevića, diplomiranog inženjera tehnologije, „Uticaj modifikovanih mikro-čestica dobijenih iz nemetalne frakcije otpadnih štampanih ploča na mehanička i termička svojstva poliestarske smole sintetisane iz otpadnog poli(etilen tereftalata)“ naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Za mentore se predlažu dr Aleksandar Marinković docent Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Melina Kalagasidis Krušić, vanredni profesor, Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo i užoj naučnoj oblasti Hemijsko inženjerstvo za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu 16. maj 2016.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Aleksandar Marinković, docent
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Melina Kalagasidis Krušić, van. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Željko Kamberović, red. prof
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Petar Uskoković, red. prof
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Jasna Džunuzović, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju