

NASTAVNO-NAUČNO VEĆE

PREDMET: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Bojane Fidanovski

Odlukom br. 35-244 od 06.07.2018. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije kandidata Bojane Fidanovski, dipl.inž. tehnologije, pod naslovom

„Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“

Posle pregleda dostavljene disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- Školske 2008/2009. godine kandidat Bojana Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, upisala je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, profil Inženjerstvo materijala.
- Školske 2017/2018. godine kandidat Bojana Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, je nakon isteka roka za završetak doktorskih studija ponovo upisala doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, profil Inženjerstvo materijala.
- 18.04.2018. godine kandidat Bojana Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, je prijavila temu doktorske disertacije pod naslovom: „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“.
- 26.04.2018. godine, na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka (br. 35/162) o imenovanju članova Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Bojane Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme : „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“.
- 31.05.2018. godine Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta je donelo Odluku (br. 35/190) o prihvatanju referata Komisije za ocenu podobnosti teme : „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“ i kandidata Bojane Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, za izradu doktorske disertacije. Za mentore ove doktorske disertacije imenovani su dr Ivanka Popović, redovni profesor Tehnološko-

metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Pavle Spasojević, vanredni profesor Univerziteta u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku.

- 25.06.2018. Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu jednoglasno je dalo saglasnost (odluka br. 61206-2538/2-18) na predlog teme doktorske disertacije kandidata Bojane Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“.
- 06.07.2018. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka (br. 35-244) o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Bojane Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“. Komisija za ocenu doktorske disertacije je za predsednika Komisije izabrala dr Vesnu Radojević, redovnog profesora Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo i užoj naučnoj oblasti Inženjerstvo materijala, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentori su dr Ivanka Popović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Pavle Spasojević, vanredni profesor, Univerziteta u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, koji su na osnovu dosadašnjih objavljenih publikacija i iskustva, kompetentni da rukovode izradom ove disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Bojana Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, rođena je 21.03.1983. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu i srednju školu sa odličnim uspehom. Osnovne studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na odseku za Organsku hemijsku tehnologiju i polimerno inženjerstvo upisala je školske 2002/2003. godine. Diplomirala je 2008. godine sa prosečnom ocenom 8,35 (8 i 35/100). Doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisala je školske 2008/2009. godine, na smeru Inženjerstvo materijala. U skladu sa Zakonom o visokom obrazovanju, školske 2017/2018. godine upisala je ponovo doktorske akademske studije, treću godinu na profilu Inženjerstvo materijala.

U Vojnotehničkom institutu je zaposlena od aprila 2010. godine, gde je vršila funkciju istraživača-saradnika, a trenutno je angažovana na mestu višeg istraživača u Sektoru za materijale i zaštitu, u Odeljenju za energetske materijale, Odsek za ispitivanje energetskih materijala. Pored redovnih dužnosti na mestu višeg istraživača u Odseku za ispitivanje energetskih materijala, angažovana je kao referent za metrološku delatnost, a u periodu od oktobra 2013. godine do marta 2015. godine je bila angažovana kao sekretar Naučnog veća Vojnotehničkog instituta.

Pohađala je kurs "Savremene metode i tehnike praćenja stanja municije u cilju produženja veka upotrebe, pravci delovanja razvoja municije, savremeni energetske materijali i njihova primena u proizvodnji municije" na Univerzitetu Krenfield, Velika Britanija, septembra 2013. godine.

Tokom 2012. godine usavršila je poznavanje engleskog jezika, pohađanjem i uspešnim završetkom intenzivnog kursa u skladu sa STANAG 2 standardom u organizaciji Uprave za obuku i doktrinu GŠ VS (J-7).

U 2014. godine je izabrana, odlukom Nastavno-naučnog veća Vojne akademije, u zvanje asistenta za užu naučnu oblast "Opasne materije", a 2017. godine je reizabrana u isto zvanje za istu naučnu oblast.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Bojane Fidanovski, dipl.inž. tehnologije, pisana je na srpskom jeziku i sadrži 140 strana A4 formata, 31 sliku, 14 tabela i 167 literaturnih navoda. Doktorska disertacija sadrži sledeća poglavlja: Rezime (na srpskom i engleskom jeziku), Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak, Literatura, Biografija i Prilozi. Prilozi sadrže izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju. Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde Univerziteta u Beogradu za doktorsku disertaciju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U *Uvodu* je dat kratak osvrt na oblast istraživanja i definisan je predmet rada, istaknut je značaj istraživanja, cilj rada, kao i doprinos i aktuelnost istraživanja ove doktorske disertacije. Istraživanja u okviru ove disertacije odnose se na razvoj novih kompozitnih polimernih materijala poboljšanih fizičko-mehaničkih karakteristika baziranih na nezasićenoj poliestarskoj smoli, dobijenoj iz bio-obnovljivih izvora, ojačanoj puniocima dobijenih od recikliranog polimera, poli(etilen-tereftalata). Za potrebe istraživanja, sintetisana je serija nezasićenih poliestarskih smola korišćenjem dikiselina na bio-osnovi (oksalna, ćilibarna i adipinska kiselina), 1,2-propandiola, a kao reaktivni rastvarač korišćen je dimetil itakonat u procentualnom udelu od 30, 35 i 40 mas.%. Za dalja ispitivanja polimernog kompozitnog materijala kao matrica korišćena je nezasićena poliestarska smola izrađena od ćilibarne kiseline, 1,2-propan diola i dimetil itakonat u udelu od 40 mas.%. Kao punilac su korišćena tri tipa vlakana od recikliranog poli(etilen-tereftalata), netretirana (r-PET vlakna u izvornom obliku), tretirana postupkom aminolize sa 1,6-diaminoheksanom kao i sa 3,6-dioksa-1,8-diaminooktanom.

Teorijski deo je podeljen u 7 tematskih celina: *Nezasićene poliestarske smole, Bio-obnovljivi izvori kao zamena fosilnim izvorima sirovina, Uticaj reaktivnog rastvarača na nezasićene poliestre, Upotreba reaktivnih rastvarača dobijenih iz bio-obnovljivih izvora i njihov uticaj na karakteristike termočvršćavajućih smola, Kompozitni materijali, Poli(etilen-tereftalat)-PET, Reciklirani poli(etilen-tereftalat) (r-PET)*. Nezasićene poliestarske smole predstavljaju veoma značajnu klasu termoplastičnih smola. To su viskozne tečnosti koje pod određenim uslovima trajno očvršćavaju. Odlikuju se kombinacijom dobrih mehaničkih svojstava (čvrstoća, tvrdoća, žilavost, i td.), dimenzionom stabilnošću, otpornošću na toplotu i korozijske agense, malom gustinom, niskom

cenom kao i lakoćom prerade. Budući da su komponente za izradu NPS bazirane na petrohemijskim izvorima, a kako je interesovanje javnosti usmereno na prelazak na bio-obnovljive izvore kao jedina validna zamena za proizvodnju polimera i polimernih materijala, akcenat je stavljen na razvoj bio-obnovljive NPS. U *Teorijskom delu* dat je pregled aktuelnih tehnologija izrade NPS na bio-obnovljivoj osnovi, kao i najčešće korišćenih sirovina za njihovu izradu. Iako su istraživanja u pravcu sinteze novih bio-obnovljivih NPS dala pozitivne rezultate, ti pomaci ipak nisu dovoljni za njihovu masovnu industrijsku proizvodnju zbog lošijih mehaničkih karakteristika bio-obnovljivih NPS u odnosu na petrohemijske NPS. Jedan od načina kojim bi se uticalo na poboljšanje ovih karakteristika jeste ojačavanje bio-NPS drugim materijalima, tj. pravljenje kompozitnih materijala. Poseban akcenat je stavljen na upotrebu prirodnih vlakana i recikliranih polimera kao ojačanja u kompozitnim materijalima, a posebno na upotrebu vlakana od recikliranog poli(etilen-tereftalata), r-PET. Opisana su svojstva i karakteristike kompozitnih materijala čija je matrica zasnovana na bio-obnovljivoj osnovi, a ojačanje na r-PET.

U *Eksperimentalnom delu* navedeni su materijali i sirovine korišćeni za izradu uzoraka, a date su i njihove karakteristike. Detaljno je opisana sinteza NPS na bio-osnovi, kao i proces ekstruzije kojim su dobijana r-PET vlakana od ljspica r-PET-a. Opisan je i postupak hemijskog tretmana, tj. površinska funkcionalizacija r-PET vlakana sa različitim diaminima. Proces umrežavanja i postupak dobijanja prepolimera za čiju pripremu su upotrebljene različite dikiseline u kojima je varirana koncentracija reaktivnog rastvarača, kao i sama priprema uzoraka ojačanih kompozitnih materijala sa različitim procentualnim udelom nemodifikovanih i modifikovanih r-PET vlakana su takođe detaljno prikazani u ovom poglavlju. Pored navedenih i opisanih metoda dat je i opis korišćene opreme za karakterizaciju i testiranje ojačanih kompozitnih materijala u okviru doktorske disertacije.

Rezultati i diskusija su prikazani u okviru jednog poglavlja i sastoje se iz dva dela u okviru kojih je prikazano više celina, shodno podeli istraživanja. U okviru prvog dela ovog poglavlja okarakterisan je prepolimer sintetisan sa različitim dikiselinama (adipinskom, ćilibarnom i oksalnom kiselinom) i udelima reaktivnog rastvarača (30, 35 i 40 mas.% dimetil itakonata) metodom gel propusne hromatografije, dok je za sintetisanu nezasićenu smolu urađeno reološko ispitivanje. Nakon umrežavanja smola je karakterisana određivanjem sadržaja gel faze, a urađena su i dinamičko-mehanička ispitivanja, termo-mehanička ispitivanja i ispitivanja jednoosnim zatezanjem. Smola sintetisana sa ćilibarnom kiselinom i sa 40 mas.% dimetil itakonata, je pokazala najbolja svojstva u pogledu odabira, ali i procentualnog udela reaktivnog rastvarača. Ispitivanjem mehaničkih karakteristika dobijeni su nezadovoljavajući rezultati tako da se ova smola koristila kao matrica za izradu kompozitnog materijala. Naime, u smolu je dodavan punilac, odnosno vlakna dobijena iz otpadnog poli(etilen-tereftalata) koja su dobijena procesom ekstruzije. Budući da je količina dodavanog punioca varirana (3, 6 i 9 mas.% r-PET vlakana) najpre je urađena detaljna analiza određivanja veličina i raspodele veličine r-PET vlakana gde je zabeleženo uniformno ponašanje korišćenih vlakana. Urađena su dinamičko-mehanička ispitivanja, termo-mehanička ispitivanja, ispitivanja jednoosnim zatezanjem, karakterizacija površine loma ojačanog kompozitnog materijala, kao i kapacitet apsorpcije vode ojačanih NPS. SEM analiza je pokazala da

se r-PET vlakna prilikom loma uzorka nisu prelomila nego da su se izvukla usled loše interakcije između NPS i vlakana. Potvrda loše interakcije je zabeležena i prilikom analize rezultata napona pri kidanju, kao i kod analize rezultata dinamičko-mehaničkih ispitivanja, dok je termo-mehanička analiza kao i povećana količina apsorbovane vode ukazala na postojanje većeg broja mikro-pora. Ovakvi rezultati su uticali na prelazak u drugu fazu ispitivanja gde su ekstrudovana r-PET vlakna hemijski modifikovana uvođenjem dvogube veze na površinu r-PET vlakana sa ciljem da uvedena veza proreaguje sa smolom u toku umreženja. Modifikacija je vršena postupkom aminolize, odnosno tretiranjem r-PET vlakana sa diaminima nakon čega je uvođena itakonska grupa na površinu vlakana. Budući da su korišćena dva diamina: 1,6-diaminoheksan i 3,6-dioksa-1,8-diaminooktan, dobijena su dva tipa funkcionalizovanih vlakana pri čemu je svaki od njih dodavan u odnosu 3, 6 i 9 mas.%. Izvršena je analiza raspodele modifikovanih r-PET vlakana, karakterizacija površine loma, kao i dinamičko-mehanička analiza, termo-mehanička analiza, analiza jednoosnog istezanja i količina apsorbovane vode. Rezultati su pokazali da je uvođenje modifikovanih r-PET čestica dovelo do poboljšanja mehaničkih svojstava, ali i do povećanja modula elastičnosti, modula sačuvane energije i gustine umreženja u odnosu na čistu smolu.

U *Zaključku* su sumirani dobijeni rezultati iz prikazanih istraživanja za ojačane kompozitne materijale dobijene iz bio-obnovljive NPS ojačane sa nemodifikovanim i modifikovanim r-PET vlaknima.

Literatura sadrži navode citirane u disertaciji kao i radove proistekle iz istraživanja u okviru disertacije.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Danas je tehnologija izrade kompozitnih polimernih materijala usmerena sve više u pravcu razvoja samog tehnološkog postupka, ali i unapređenja već postojećih procesa sa ciljem upotrebe isključivo sirovina koje su na bio-obnovljivoj osnovi. Razvojem ojačanih kompozitnih materijala čija matrica je bazirana na bio-osnovi a ojačanje na recikliranom polimeru izvršen je ogroman napredak u pogledu potpunog isključivanja do sada korišćene sirovine na bazi petrohemijskih izvora. Za matricu je odabrana nezasićena poliestarska smola, a za ojačanje je korišćen reciklirani poli(etilen-tereftalat) koji je poznat kao sirovina sa širokim spektrom primene. Cilj je dobijanje novih kompozitnih materijala koja poseduju poboljšana svojstva u odnosu na čiste smole, pri čemu svojstva novih materijala treba da budu slična komercijalnim nezasićenim poliestarskim smolama.

Istraživanja u okviru ove disertacije obuhvatila su ispitivanje mogućnosti primene nemodifikovanih i modifikovanih vlakana od recikliranog poli(etilen-tereftalata) kao ojačanja u nezasićenoj poliestarskoj smoli sintetisanoj iz bio-obnovljivih sirovina koja bi se koristila kao matrica za formiranje novih kompozitnih materijala. Za potrebe istraživanja najpre je izvršen izbor optimalne dikiseline (adipinske, ćilibarne i oksalne kiseline), kao i adekvatnog udela reaktivnog rastvarača (dimetil itakonata) za sintetisanje nezasićene poliestarske smole sa zadovoljavajućim reološkim i termo-mehaničkim karakteristikama. Umešavanje nemodifikovanih vlakana od r-PET, u različitom procentualnom udelu, u NPS dobijeni su kompozitni materijali lošijih hemijskih i

mehaničkih karakteristika u odnosu na smolu dobijenu iz petrohemijskih polimera, pa je izvršena modifikacija r-PET vlakana kako bi se tražene karakteristike poboljšale. Modifikacija r-PET je izvedena aminolizom koja se zasniva na uvođenju hemijskih grupa na r-PET čime se omogućava umrežavanje kompozitnih materijala intermolekulskim inetrakcijama sa poliestarskim polimernim lancima. Ovako dobijena modifikovana r-PET vlakna su dodavana u različitim procentualnim udelima u NPS. Ispitana su dinamičko-mehanička i termo-mehanička svojstva kao i mehanička ispitivanja jednoosnim zatezanjem, raspodela modifikovanih vlakana i količina apsorbovane vode. Pokazano je da sa dodatkom modifikovanih r-PET vlakana dolazi do povećanja mehaničkih karakteristika u odnosu na vrednosti za čistu smolu, odnosno da je sa promenom topografije vlakana došlo do jačeg vezivanja punioca za matricu. Takođe, dobijeni rezultati ukazuju da novi kompozitni materijali poseduju karakteristike slične karakteristikama komercijalnih materijala i da se kao takvi mogu primeniti, čime je ostvaren cilj istraživanja u okviru ove doktorske teze.

Na osnovu pregleda savremene stručne literature, može se reći da sprovedena istraživanja u okviru ove doktorske disertacije spadaju u veoma aktuelno polje istraživanja u oblasti kompozitnih materijala na bio-obnovljivoj osnovi. Reciklirana PET vlakna ispitana su kao ojačanje različitih polimernih materijala, ali modifikovana r-PET vlakna do sada u svetu nisu primenjena kao ojačanje niti u jednom polimernom materijalu, a ni u kompozitnim materijalima na bio-obnovljivoj osnovi, pa je sa tog aspekta ova disertacija originalna i savremena.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U okviru doktorske disertacije citirano je ukupno 167 referenci, koje ukazuju na aktuelnost istraživanja u ispitivanoj oblasti. Većina referenci predstavlja naučne radove objavljene u vrhunskim međunarodnim časopisima sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije, publikovanih u poslednjoj deceniji. Istraživanja prikazana u navedenim referencama su korišćena za planiranje eksperimentalnog rada, analizu i tumačenje rezultata dobijenih tokom izrade doktorske disertacije i izvođenje zaključaka. Takođe, u navedenoj literaturi navedene su knjige i relevantni pregledni radovi ranijeg datuma, koji predstavljaju bazična saznanja iz predmetne oblasti i polaznu osnovu za tumačenje eksperimentalnih rezultata. U okviru navedene literature nalaze se i reference kandidata Bojane Fidanovski, proistekle iz istraživanja u vezi sa ovom disertacijom i koje su objavljene u međunarodnim časopisima i na konferencijama. Pregledana obimna literatura i priloženi objavljeni radovi ukazuju na adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U okviru istraživanja ove doktorske disertacije korišćene su poznate metode za sintezu matrice i za izradu ojačanja, ali i prilagođene metode za dobijanje kompozitnog materijala na bio-obnovljivoj osnovi, kao i brojne metode za njegovu karakterizaciju.

Postupak polikondenzacije je korišćen za sintezu predpolimera-nezasićenog poliestra u kome je rastvaran reaktivni rastvarač u različitim procentualnim udelima za dobijanje nezasićene poliestarske smole. Vlakna od recikliranog polimera su dobijena korišćenjem vertikalnog laboratorijskog ekstrudera. Hemijski tretman r-PET vlakana je vršen prvo reakcijom aminolize, nakon čega je reakcijom sa hloridom kiseline uvedena reaktivna grupa na površinu r-PET-a. Za

izradu očvrstlih uzoraka kompozita dodavani su odgovarajući aditivi (disperzanti i reološki aditivi) direktno u smolu u kojoj su se već nalazila r-PET vlakna (zbog suzbijanja pojave aglomerizacije i taloženja r-PET vlakana). Ultrazvučno kupatilo je korišćeno za degazaciju, a za formiranje ojačanog kompozita korišćene su vakuum vodena pumpa i vazдушna sušnica. Karakterizacija predpolimera vršena je gel propusnom hromatografijom. Karakterizacija vlakana rađena je optičkom mikroskopijom i skenirajućom elektronskom mikroskopijom. Koncentracija zaostale količine neizreagovalog rastvarača je određena hromatografskom metodom, a urađen je i sadržaj gel faze. Ojačani kompozitni materijal je karakterisan termo-mehaničkom analizom, dinamičko-mehaničkom analizom i ispitivanjem jednoosnog zatezanja. Urađena je i analiza apsorpcije vode za kompozitne materijale ojačane sa različitim udelom modifikovanih i nemodifikovanih r-PET vlakana.

Iz navedenih metoda, može se zaključiti da je u okviru ove disertacije sprovedena postupna, opsežna i temeljna analiza ispitivanih kompozitnih materijala nezasićene poliestarske smole na bio-obnovljivoj osnovi ojačane nemodifikovanim i modifikovanim r-PET vlaknima. Primenjene su savremene metode karakterizacije i uređaji nove generacije. Ispitivanja su vršena na dovoljnom broju uzoraka, pa se može reći da su dobijeni rezultati statistički i suštinski validni.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Budući da je zamena petrohemijskih polimera polimerima dobijenim iz bio-obnovljivih izvora izuzetno aktuelna tema, istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije daju značajan doprinos u pravcu razvoja nezasićenih poliestarskih smola na bio-obnovljivoj osnovi kao i razvoja njihovih kompozitnih materijala ojačanih recikliranim poli(etilen-tereftalatom). Da bi se nezasićena poliestarska smola na bio-osnovi primenila kao matrica za izradu kompozitnog materijala prvo je na osnovu prikazanih ispitivanja izvršen izbor adekvatnog udela reaktivnog rastvarača kao i izbor odgovarajuće e dikiseline potrebne za sintezu smole. Istraživanja u okviru ove disertacije obuhvatila su temeljno ispitivanje mogućnosti primene vlakana dobijenih ekstruzijom od recikliranog poli(etilen-tereftalata), kao i vlakana od istog polimera koja su bila podvrgnuta površinskom tretmanu. Dobijeni rezultati su doprineli boljem razumevanju uticaja nemodifikovanih i modifikovanih r-PET vlakana na NPS sa aspekta poboljšanja mehaničkih karakteristika kako čiste smole, tako i kompozitnih materijala ojačanih sa ova dva tipa punioca. Naročito su bitna fundamentalna saznanja do kojih se došlo po pitanju proširenja znanja iz oblasti sinteze i karakterizacije bio-obnovljivih nezasićenih poliestarskih smola, upotrebe r-PET punioca kao ojačanja i to u pogledu optimalne tehnike disperzije unutar matrice, poželjne koncentracije vlakana, odabira adekvatnog tipa punioca (nemodifikovan ili modifikovan), kao i boljem razumevanju odnosa njihove strukture i svojstava. Ovi kompoziti pokazuju obećavajuće osobine za izradu komercijalnih proizvoda sa visokim sadržajem obnovljivih sirovina.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Bojana Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, je tokom izrade doktorske disertacije ispoljila visok nivo samostalnosti i stručnosti u pripremi i realizaciji eksperimenata, korišćenju različitih tehnika karakterizacije dobijenih uzoraka kompozitnih materijala i analizi rezultata, kao i u pisanju naučnih radova koji su publikovani u vrhunskim međunarodnim časopisima i na konferencijama. Na osnovu dosadašnjeg rada i pokazanih rezultata tokom doktorskih studija, kao i u okviru naučnoistraživačkog rada u Vojnotehničkom institutu, Bojana Fidanovski je pokazala

izuzetnu sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U doktorskoj disertaciji su ostvareni sledeći naučni doprinosi:

- Dobijeni su novi kompozitni materijali na bio-obnovljivoj osnovi ojačani sa recikliranim PET puniocem sa specifičnim i poboljšanim fizičko-mehaničkim svojstvima,
- Proširena su fundamentalna znanja iz oblasti funkcionalizacije i upotrebe recikliranog PET kao i njegova primena u ojačanim kompozitnim materijalima koji su na bio-obnovljivoj osnovi,
- Proširena su saznanja o postupku hemijske modifikacije površine r-PET vlakana postupkom aminolize i amidacije,
- Proširena su saznanja o svojstvima funkcionalizovanih vlakana dobijenih od r-PET,
- Omogućeno je bolje razumevanje intermolekulskih interakcija modifikovanih vlakana sa nezasićenom poliestarskom smolom čime se postiže bolja kompatibilnost i disperzija tretiranih vlakana u posmatranoj polimernoj matrici,
- Proširena su saznanja o mogućnostima primene funkcionalizovanih vlakana dobijenih iz r-PET.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije spadaju u veoma aktuelno polje istraživanja u oblasti bio-obnovljivih kompozitnih polimernih materijala, i kompozitnih materijala uopšte. Predmet doktorske disertacije je razvoj novih kompozitnih polimernih materijala poboljšanih fizičko-mehaničkih karakteristika baziranih na nezasićenoj poliestarskoj smoli, dobijenih iz bio-obnovljivih izvora, ojačanih puniocima dobijenim od recikliranog poli(etilen-tereftalata). Pored obećavajućih rezultata dobijenih za sintetisanu nezasićenu poliestarsku smolu dobijenu iz ćilibarne kiseline, 1,2-propandiola i 40 mas.% udela dimetil itakonata (korišćen kao reaktivni rastvarač), rezultati karakterizacije kompozitnog materijala dobijeni korišćenjem ove smole i različitog procentualnog udela recikliranog poli(etilen-tereftalata) kao punioca različitim metodama (TMA, DMA, ispitivanje jednoosnim zatezanjem i ispitivanje količine apsorbirane vode) su ukazali na nešto lošije karakteristike u odnosu na karakteristike komercijalne smole. Nakon dvostepene modifikacije korišćenog ojačanja dobijena su površinski modifikovana r-PET vlakna koja su dodavana u istu matricu. Za formirani kompozitni materijal rezultati ispitivanja dobijeni korišćenjem istih metoda (TMA, DMA, ispitivanje jednoosnim zatezanjem i ispitivanje količine apsorbirane vode) ukazuju na poboljšanje mehaničkih karakteristika u odnosu na karakteristike komercijalne smole. To znači da je uspešno realizovan cilj disertacije: dobijanje novih kompozitnih polimernih materijala poboljšanih fizičko-mehaničkih karakteristika baziranih

na nezasićenoj poliestarskoj smoli, dobijenih iz bio-obnovljivih izvora i ojačanih modifikovanim recikliranim poli(etilen-tereftalatom).

Oslanjanjem na dosadašnja saznanja o izuzetnim mehaničkim svojstvima postignutim u različitim betonskim kompozitnim armaturama u kojima je dodavan reciklirani poli(etilen-tereftalat), koji je u dostupnoj literaturi ispitan kao ojačanje, došlo se na ideju o njegovoj primeni kao ojačanja u polimernim kompozitnim materijalima. Kako do sada u svetu nisu korišćena vlakna od modifikovanog i nemodifikovanog r-PET u složenim strukturama kao što su kompoziti dobijeni potpuno iz bio-obnovljivih izvora, može se izvesti zaključak da su rezultati u ovoj doktorskoj disertaciji originalni, inovativni i značajni sa naučnog aspekta. Rezultati istraživanja ove doktorske disertacije značajno unapređuju postojeća naučna znanja iz oblasti kompozitnih materijala koji su bazirani na bio-osnovi. Sagledavanjem ciljeva i postavljenih hipoteza u odnosu na dobijene rezultate, može se konstatovati da prikazana istraživanja u potpunosti zadovoljavaju kriterijume jedne doktorske disertacije. Uvidom u dostupnu literaturu iz predmetne oblasti, kao i u rezultate koji su dobijeni primenom adekvatne metodologije, može se konstatovati da su korišćene metode u skladu sa savremenim metodama i relevantnim standardima.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Bojana Fidanovski je svoje rezultate potvrdila objavljivanjem radova u međunarodnim časopisima i na konferencijama. Iz disertacije je proisteklo više radova publikovanih u časopisima i na konferencijama, od toga dva rada u vrhunskim međunarodnim časopisima.

Objavljeni naučni radovi i saopštenja:

Kategorija M21a - Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti:

1. **Bojana Z. Fidanovski**, Ivanka G. Popović, Vesna J. Radojević, Igor Z. Radisavljević, Srđan D. Perišić, Pavle M. Spasojević, Composite materials from fully bio-based thermosetting resins and recycled waste poly(ethylene terephthalate), Composites: Part B: Engineering 153 (2018) 117-123, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.034>, ISSN 1359-8368, IF (2016) = 4.920

Kategorija M21 - Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu:

1. **Bojana Z. Fidanovski**, Pavle M. Spasojević, Vesna V. Panić, Sanja I. Šešlija, Jelena P. Spasojević, Ivanka G. Popović, Synthesis and characterization of fully bio-based unsaturated polyester resins, Journal of Materials Science, Polymers, (2018), 53:4635–4644, <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1822-y>, ISSN 0022-2461, IF (2016) = 2.993.

Kategorija M63 - Rad saopšten na skupu nacionalnog značaja:

1. **Bojana Z. Fidanovski**, Pavle M. Spasojević, Vesna V. Panić, Sanja I. Šešlija, Ivanka G. Popović, Characterization of unsaturated polyester resins reinforced by waste PET particles, 54. savetovanje Srpskog hemijskog društva, Beograd, 29.-30. septembar 2017, kratki izvod radova, 69. ISBN 978-86-7132-067-2

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Rezultati istraživanja u okviru doktorske disertacije kandidata Bojane Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“, doprinose proširenju znanja o kompozitnim materijalima na bio-osnovi i ukazuju na postojeće mogućnosti uvođenjem ojačanja dodatkom male količine modifikovanog ili nemodifikovanog recikliranog poli(etilen-tereftalata).

Pregledom doktorske disertacije, Komisija je konstatovala da podneta doktorska disertacija poseduje sve neophodne sadržaje i rezultate, kao i da je izloženi materijal sistematizovan u dobro organizovane celine. Predmet i cilj istraživanja su jasno navedeni, ostvareni rezultati i doprinos istraživanja su verifikovani kroz odgovarajući broj naučnih publikacija: brojnim radovima objavljenim u naučnim časopisima i saopštenjima na konferencijama.

Na osnovu svega izloženog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj Referat i da se doktorska disertacija pod nazivom „Kompozitni materijal na bazi bio-obnovljive nezasićene poliestarske smole i recikliranog poli(etilen-tereftalata)“, kandidata Bojane Fidanovski, dipl. inž. tehnologije, prihvati, izloži na uvid javnosti i nakon isteka zakonom predviđenog roka, uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, te nakon završetka procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu doktorske disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

U Beogradu, 09.10.2018. godine

ČLANOVI KOMISIJE

.....
dr Vesna Radojević, redovni profesor,
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Melina Kalagasidis Krušić, redovni profesor,
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Zijah Burzić, naučni savetnik
Vojnotehnički institut u Beogradu