

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađeno doktorskoj disertaciji kandidata **Danijele Brković**

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 35/107 od 14.04.2015. godine, imenovali smo članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Danijele Brković** dipl. inž. tehnol., pod naslovom:

„Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene“

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

- 20.09.2012. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu Završnog ispita na doktorskim studijama **Danijele Brković**.
- 28.09.2012. – kandidat **Danijela Brković** je odbranila Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije, pod nazivom *„Uticaj funkcionalizacije na električna i morfološka svojstva ugljeničnih nanomaterijala“* sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: dr Aleksandar Marinković, docent, dr Petar Uskoković, red. prof. i dr Radoslav Aleksić, red. prof.
- 17.03.2014. – kandidat **Danijela Brković** prijavila je temu doktorske disertacije, pod nazivom: *„Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene“*
- 03.04.2014. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije **Danijele Brković**, pod nazivom *„Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene“* (Odluka br. 35/85 od 04.04.2014.)
- 22.05.2014. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i odobrenju izrade doktorske disertacije **Danijele Brković**, pod

nazivom „*Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene*“ Za mentora je određen dr Aleksandar Marinković, docent TMF-a (Odluka br. 35/111 od 26.05.2014).

09.06.2014. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije **Danijele Brković**, pod nazivom: „*Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene*“ (Odluka br. 1484/1 od 13.06.2014.).

09.04.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije **Danijele Brković**, pod nazivom „*Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene*“ (Odluka br. 36/107 od 14.04. 2015.).

Kandidat je upisao doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu školske 2010/11 godine.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja rađena u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor, dr Aleksandar Marinković, docent Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, je do sada publikovao 14 radova (10 M21, 3 M22 i 1 M23) iz ove oblasti u časopisima koji se nalaze na SCI listi, što govori o kompetentnosti da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Kandidat Danijela (Vitomir) Brković rođena je 31.01.1984. godine u Smederevu. U Drugovcu (kod Smedereva) završila je osnovnu školu, a srednju medicinsku u Beogradu. Osnovne studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu započela je 2003/2004. školske godine, smer Biohemijско inženjerstvo i biotehnologija i diplomirala 2010. Diplomski rad pod nazivom „Proučavanje 2-piridon/2-hidroksipiridin tautomerije na primeru 3-cijano-4-fenil-6-(2-, 3- i 4-metoksifenil)-2-piridona“ odbranila je sa ocenom 10. Školske 2010/11. upisala se na doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Inženjerstvo materijala. U okviru doktorskih studija, položila je sve ispite, sa prosečnom ocenom 9,91. Završni ispit pod nazivom „Uticaj funkcionalizacije na električna i morfološka svojstva ugljeničnih nanomaterijala“ odbranila je u septembru 2012. godine sa ocenom 10.

U periodima maj-jun 2012., kao i novembar-decembar 2012. boravila je na Katedri za civilno inženjerstvo i inženjerstvo zaštite životne sredine u Terniju, pri Univerzitetu u Perudi u Italiji (Università di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, INSTM, UdR Perugia, Terni) u cilju izrade eksperimentalnog dela doktorske teze.

Danijela Brković je od 1. februara 2011. zaposlena na Tehnološko-metalurškom fakultetu, u okviru projekta integralnih interdisciplinarnih istraživanja pod nazivom „*Sinteza, razvoj tehnologija dobijanja i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava.*“ (broj projekta III 45019). Takode je bila angažovana na projektima „*Razvoj novih tehnologija proizvodnje poliola različitih svojstava iz otpadne polietilentereftalatne ambalaže i alkidnih,*

poliestarskih i poliuretanskih proizvoda baziranih na tim poliolima“ – I, II i III faza (2011-2013), koji su realizovali Sekretarijat za zaštitu životne sredine grada Beograda i Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu.

U okviru istraživačkog rada je koautor 5 radova objavljenih u časopisima međunarodnog značaja (M22 – 1 rada, M23 – 4 rada) 12 naučnih saopštenja u zbornicima radova sa međunarodnih (10) i nacionalnih skupova (2), jednog realizovanog tehničkog rešenja, kao i dve patentne prijave. Iz doktorske disertacije su proistekla 2 rada objavljena u časopisima međunarodnog značaja (M22 – 2 rada).

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu - M22

1. Ajaj I., Mijin D., Maslak V., **Brković, D.**, Milčić M., Todorović N., Marinković A.: A simple and convenient synthesis of tautomeric (6 or 2)-hydroxy-4-methyl-(2 or 6)-oxo-1-(substituted phenyl)-(1,2 or 1,6)-dihydropyridine-3-carbonitriles, *Monatshefte Fur Chemie* Vol. 144 pp. No 5, 2013, 665–675 (IF:1.629) (ISSN: 0026-9247 (Print) 1434-4475 (Online))

Rad u međunarodnom časopisu – M23

1. Ilić N. C., Marinković A. D., **Brković, D. V.**, Petrović S. D.: Synthesis and characterization of phencyclidine and his derivatives, *Hemijska industrija*, Vol. 64, No 5, 2010, pp. 389-400. (IF: 0.137) (ISSN:0367-598X, eISSN:2217-7426)
2. Sovrlić M. Ž., Milosavljević M. M., Marinković A. D., Đukanović J. S., **Brković, D. V.**, Konstantinović S. S.: Uppedna analiza oksidativnih postupaka sinteze N-alkil, N,N-dialkil i N-cikloalkil-O-izobutil tionkarbamata, *Hemijska industrija*, Vol. 65 No 5, 2011, pp. 541–549.(IF: 0.205) (ISSN: 0367-598X, eISSN: 2217-7426)
3. Milosavljević M. M., Marinković A. D., Marković J. M., **Brković D. V.**, Milosavljević M. M.: Synthesis of tetraalkyl thiuram disulfides using different oxidants in recycling solvent mixture, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 18, No 1, 2012, pp. 73-81. (IF: 0.533) (ISSN: 1451-9372, eISSN: 2217-7434)
4. Mijin D. Ž., Marković J. M., **Brković D. V.**, Marinković A. D.: Microwave assisted synthesis of 2-pyridone and 2-pyridone based compounds, *Hemijska industrija*, 2014 Vol 68, No 1, pp. 1-14. (IF: 0.463) (ISSN: 0367-598X, eISSN: 2217-7426)

Tehničko rešenje – M82

1. Milosavljević M., Marinković A., **Brković D.**, Markovski J., Petrović N., Petrović S., Kontinualni tehnološki postupak proizvodnje tetrametilioramdisulfida (TMTD), Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, br. 546/3-6.

2. OPIS DISERTACIJE

Doktorska disertacija Danijele Brković je napisana na 192 strane i sadrži 5 poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija i Zaključak. Disertacija sadrži 93 slike, 18 tabela i 356 literaturna navoda. Na početku disertacije dat je Rezime na srpskom i engleskom jeziku, kao i spiskovi skraćenica i simbola, slika i tabela, dok su Literatura i biografija autora dati na kraju disertacije.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Uvodni deo sadrži kratak opis značaja ugljeničnih nanomaterijala i funkcionalizacije površine ugljeničnih nanočestica metodama koje neće narušiti inherentnu ugljeničnu strukturu. U okviru ovog poglavlja definisani su predmet, ciljevi i značaj različitih načina modifikacije višeslojnih ugljeničnih nanocevi i grafena. Uz obrazloženje teme opisana je i struktura disertacije. Ukratko su izložene metode karakterizacije.

Teorijski deo se sastoji iz šest podpoglavlja: 1) Ugljenični nanomaterijali; 2) Bingelova reakcija; 3) Plazma - četvrto stanje materije; 4) Površinska funkcionalizacija ugljeničnih nanomaterijala plazma tretmanom; 5) Tanki filmovi na bazi ugljeničnih nanocevi; 6) Polimerni nanokompoziti.

U Teorijskom delu istaknut je značaj ugljeničnih nanomaterijala i prikazana je klasifikacija. Ukratko su opisana svojstva i struktura grafena i ugljeničnih nanocevi. Dat je pregled konvencionalnih postupaka funkcionalizacije ugljeničnih nanomaterijala sa posebnim osvrtom na Bingelovu reakciju. U narednom podpoglavlju je data definicija, podela i primena plazme sa posebnim osvrtom na dielektrično barijerno pražnjenje (DBD) i prikazana karakterizacija DBD sistema. Istaknut je značaj upotrebe plazme za površinski tretman ugljeničnih nanomaterijala. Zatim je dat prikaz različitih tehnika priprema tankih filmova na bazi ugljeničnih nanocevi. Opisane su i različite metode funkcionalizacije površine ugljeničnih nanočestica sa ciljem inkorporacije modifikovanih nanomaterijala unutar polimernih matrica. Na kraju teorijskog dela je prikazan pregled nanokompozita na bazi polimera polianilina i poli(metil metakrilata) sa ugljeničnim nanocevima i grafenima kao nanopuniocima.

Eksperimentalni deo se sastoji iz šest podpoglavlja: 1) Materijali; 2) Kovalentna funkcionalizacija MWCNT i grafena; 3) Funkcionalizacija višeslojnih ugljeničnih nanocevi i grafena primenom DBD tretmana; 4) Priprema stabilnih disperzija funkcionalizovanih MWCNT i grafena; 5) Priprema filmova; 6) Metode karakterizacije ugljeničnih nanomaterijala i polimernih kompozita; 7) DFT – Teorija funkcionala gustine. U eksperimentalnom delu detaljno je opisana sinteza 1,3-dikarbonilnih jedinjenja i kovalentna funkcionalizacija površine ugljeničnih nanočestica primenom Bingelove reakcije i tretmana DBD plazmom. Opisane su tehnike pripreme stabilnih disperzija funkcionalizovanih nanomaterijala, tankih ugljeničnih filmova i polimernih nanokompozita. Prikazane su metode upotrebljene za karakterizaciju modifikovanih ugljeničnih nanočestica i polimernih nanokompozita.

Rezultati i diskusija su prikazani u okviru jednog poglavlja, koje se sastoji iz pet podpoglavlja: 1) Višeslojne ugljenične nanocevi funkcionalizovane Bingelovom reakcijom; 2) Karakterizacija DBD plazme; 3) Višeslojne ugljenične nanocevi i grafeni funkcionalizovani DBD plazma tretmanom; 4) MWCNT/PANI nanokompoziti; 5) MWCNT/PMMA nanokompoziti.

U prvom podpoglavlju je izvršeno uvođenje 1,3-dikarbonilnih jedinjenja na površinu višeslojnih ugljeničnih nanocevi primenom dve metode modifikacije, koje se zasnivaju na modelu Bingelove reakcije. Proučavan je uticaj funkcionalnih grupa na strukturna, morfološka, disperzibilna i električna svojstva ugljeničnih nanomaterijala. Promene u strukturi modifikovanih višeslojnih ugljeničnih nanocevi (MWCNT) su ispitane infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom (FT-IR), elementarnom analizom i temperaturno programiranom desorpcijom (TPD). Utvrđeno je da je najveći stepen funkcionalizacije postignut kada je na grafensku površinu nanocevi uveden dietil malonat. Cikličnom voltametrijom su ispitane elektrohemijske karakteristike funkcionalizovanih MWCNT nanetih na zlatnu elektrodu (Au/MWCNT) i utvrđeno je da prisustvo

1,3-dikarbonilnih jedinjenja povećava elektrohemijski kapacitet dvostrukog sloja na površini radne elektrode. Molekulski elektrostatički potencijal (MEP) je omogućio vizuelizaciju grafenske površine ugljeničnih nanocevi sa 1,3-dikarbonilnim jedinjenjima i uvid u raspodelu elektronske gustine i potencijala. Molekuli uvedeni Bingelovom reakcijom su značajno popravili električna svojstva nanočestica u odnosu na nemodifikovane nanocevi. Skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) i transmisijom elektronskom mikroskopijom (TEM) je poučavana morfologija ugljeničnih nanocevi, a mikroskopijom atomskih sila (AFM) topologija filmova.

U drugom podpoglavlju izvršena je karakterizacija dielektričnog barijernog pražnjenja Lisažuovom krivom, a FT-IR i emisionom spektroskopijom utvrđeno da su aktivne vrste koje se pojavljuju tokom pražnjenja O_3 , HNO_3 i N_2O .

Treće podpoglavlje opisuje modifikaciju površine višeslojnih ugljeničnih nanocevi i grafena primenom DBD (dielectric barrier discharge) plazme dobijene na atmosferskom pritisku. Proučavan je uticaj kiseoničnih funkcionalnih grupa na strukturnu, morfološku, disperzibilnu i električna svojstva ugljeničnih nanočestica i uticaj snage dielektričnog barijernog pražnjenja na stepen funkcionalizacije površine MWCNT i grafena. Utvrđeno je da se maksimalan stepen funkcionalizacije kod grafena postiže pri manjoj snazi pražnjenja nego što je to slučaj sa stabilnijim višeslojnim nanoccevima kod kojih je za maksimalan stepen funkcionalizacija potrebna veća snaga pražnjenja, odnosno duža reakciona vremena. MWCNT funkcionalizovane DBD plazma tretmanom su pokazale dobre provodne karakteristike, dok DBD tretman nije u velikoj meri popravio transportne karakteristike grafena. Od funkcionalizovanih nanočestica su formirani tanki provodni filmovi na supstratu koji su zatim biti podvrgnuti hemijskom post-tretmanu koji je rezultovao postizanjem još boljih provodnih karakteristika.

Četvrto podpoglavlje prikazuje strukturnu, morfološku i električnu karakterizaciju polimernih nanokompozita pripremljenih na bazi polianilina (PANI) i Bingelovom reakcijom funkcionalizovanih MWCNT na papirnom supstratu. Dobra distribucija nanopunioca unutar polimerne matrice i ostvarivanje nekovalentnih interakcija između funkcionalnih grupa na površini MWCNT i polimernih lanaca se manifestuje značajno poboljšanim provodnim karakteristikama nanokompozita u odnosu na čist polimer.

U petom podpoglavlju je opisana kompletna strukturna karakterizacija MWCNT/PMMA nanokompozita sa različitim udelima nefunkcionalizovanih i funkcionalizovanih MWCNT, kao i rezultati termičkih i nanomehaničkih ispitivanja pripremljenih nanokompozita. Dodatak funkcionalizovanih MWCNT smanjuje stepen amorfnosti polimerne PMMA matrice i utiče na poboljšanje termičkih i nanomehaničkih svojstava kompozita.

U Zaključku su dati kratak pregled i analiza dobijenih rezultata istraživanja, koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije.

Na kraju disertacije navedena je Literatura, koja sadrži sve reference citirane u radu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Zahvaljujući svojim jedinstvenim električnim, mehaničkim i optičkim svojstvima, ugljenične nanocevi su privukle značajnu pažnju naučne javnosti u poslednje dve decenije. Međutim, njihova sklonost ka aglomeraciji i stvaranju aglomerata usled delovanja jakih Van der Valsovih sila

ograničava mogućnosti primene. Hemijska funkcionalizacija površine, kovalentna ili nekovalentna, predstavlja efikasan način za prevazilaženje ovih ograničenja. Grafeni su takođe ugljenični nanomaterijali čije se ogromne mogućnosti primene tek naslućuju, naročito u oblasti nanoelektronike. Proučavanje uticaja prisustva različitih površinskih grupa na fizička, električna i disperzibilna svojstva nanomaterijala kao i različitih postupaka funkcionalizacije, od suštinske je važnosti za dobijanje materijala sa definisanim svojstvima za buduću implementaciju.

Osnovni problem najzastupljenijih metoda funkcionalizacije površine ugljeničnih nanomaterijala, kao što je na primer oksidacija u smeši kiselina je narušavanje strukture i samim tim gubitak svojstava polaznog materijala. Kontrolisana kovalentna funkcionalizacija grafenske površine grupama koje poboljšavaju disperzibilnost materijala u različitim medijumima, uz istovremeno očuvanje inherentne grfenske strukture je predmet brojnih istraživanja u ovoj oblasti.

Na osnovu opsežnog pregleda literature, može se zaključiti da se istraživanja u okviru ove doktorske disertacije uklapaju u svetske trendove i ukazuju na značaj i aktuelnost proučavane problematike.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao literaturu koja se odnosi na ugljenične nanomaterijale i polimerne nanokompozite. U literaturnom pregledu doktorske disertacije se nalazi 356 literaturnih navoda, sa tematikom značajnom za izradu ove disertacije. Navedene reference sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja, analize, diskusiju dobijenih rezultata, kao i teorijske osnove primenjenih metoda ispitivanja. Kandidat je proširio do sada poznata saznanja o modifikacijama površine ugljeničnih nanomaterijala i primeni modifikovanih nanočestica u formi tankih provodnih filmova i nanopunioca u polimernim kompozitima. Pregledana obimna literatura i priloženi objavljeni radovi ukazuju na adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Karakterizacija modifikovanih ugljeničnih nanomaterijala, kao i polimernih nanokompozita je izvršena različitim instrumentalnim metodama. Strukturna karakterizacija je izvršena infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom (FT-IR). Ultra-ljubičastom i vidljivom (UV-vis) spektroskopijom je ispitivana disperzibilnost funkcionalizovanih nanomaterijala. Uspešnost izvršenih funkcionalizacija je potvrđena elementarnom analizom i temperaturno programiranom desorpcijom (TPD) korišćenjem TG-MS tehnike. Morfologija pripremljenih materijala je proučavana skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) i transmisijom elektronskom mikroskopijom (TEM). Strukture 1,3-dikarbonilnih jedinjenja na površini MWCNT su optimizovane semi-empirijskom PM6 metodom, a raspodela elektronske gustine i potencijala je prikazana pomoću molekulskog elektrostatičkog potencijala (MEP). Hidrofobnost/hidrofilnost materijala je definisana merenjem kontaktnog ugla. Provodne karakteristike su određene pomoću sistema za karakterizaciju poluprovodničkih komponenata (Keithley), a elektrohemijska svojstva primenom ciklične voltametrije. Polimerni nanokompoziti su strukturno okarakterisani FT-IR, rendgenskom difrakcionom analizom (XRD) i Raman spektroskopijom. Termička svojstva polimernih nanokompozita su ispitana diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom (DSC). 3D merenja, topologija i merenja hrapavosti površine filmova su određena pomoću mikroskopije atomskih sila (AFM). Redukovani modul elastičnosti i čvrstoća nanokompozita su ispitani nanoindentacijom.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Eksperimentalni podaci i istraživanja sprovedena u okviru ove disertacije značajno doprinose boljem razumevanju nedestruktivnih kovalentnih metoda funkcionalizacije površine ugljeničnih nanomaterijala. Rezultati omogućavaju nova saznanja o međusobnom uticaju stepena funkcionalizacije i prirode funkcionalnih grupa na krajnja svojstva materijala. Takođe, prikazani podaci doprinose potpunijem sagledavanju interakcija funkcionalnih grupa na površini ugljeničnih nanočestica i polimernih lanaca u nanokompozitnim sistemima.

Rezultati izneti u okviru disertacije su značajni za dobijanje ugljeničnih nanomaterijala definisanih svojstava koje se mogu implementirati unutar nanokompozita. Stepenom funkcionalizacije i uvedenim grupama je moguće kontrolisati elektronska svojstva filmova pripremljenih od modifikovanih ugljeničnih materijala i iskoristiti ih kao komponente nanoelektronskih uređaja.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Danijela Brković, dipl. inž. tehnologije, je tokom izrade doktorske disertacije ispoljila stručnost u pripremi i realizaciji eksperimenata, korišćenju različitih tehnika karakterizacije materijala i analizi rezultata. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Naučni doprinos rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije sa aspekta funkcionalizacije i primene ugljeničnih nanomaterijala se ogleda u:

- Uvođenju novih funkcionalnih grupa (barbiturne kiseline, tiobarbiturne kiseline, dimedona i 2,2-dimetil-1,3-dioksan-4,6-diona) na grafensku površinu višeslojnih ugljeničnih nanocevi i modifikacije postojećeg procesa funkcionalizacije Bingelovom reakcijom.
- Karakterizaciji modifikovanih nanočestica i dokazivanju novih uvedenih funkcionalnih grupa.
- Poboljšanju provodnih svojstava modifikovanih višeslojnih ugljeničnih nanocevi.
- Potpunijeg sagledavanja uticaja prirode funkcionalnih grupa i načina vezivanja na grafensku površinu na disperzibilna i elektronska svojstva materijala.
- Novim saznanjima o električnim karakteristikama filmova pripremljenih od DBD plazmom tretiranih ugljeničnih nanomaterijala i mogućnostima kontrole stepena funkcionalizacije promenom snage pražnjenja.
- Određivanju mehanizma interakcija u sistemima modifikovani ugljenični nanomaterijali/polimerne matrice i poboljšanju električnih, mehaničkih i termičkih svojstava krajnjih nanokompozita uvođenjem funkcionalnih grupa na grafensku površinu nanopunioca.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja izvršena u ovoj disertaciji su koncipirana nakon detaljne analize literature iz oblasti modifikacija površine ugljeničnih nanomaterijala. Konvencionalni i najčešće zastupljeni načini modifikacije grafenske površine se odvijaju u agresivnim medijumima i iako poboljšavaju disperzibilnost, dovode do strukturne dezintegracije materijala. Strukturne promene, uvedene

funkcionalne grupe i defekti značajno utiču na promenu elektronskih svojstva ugljeničnih nanomaterijala.

Postavlja se zahtev za postupcima funkcionalizacije koji bi očuvali ili poboljšali elektronske karakteristike ugljeničnih nanomaterijala, a to se postiže postupcima koji ne narušavaju ili u maloj meri narušavaju grafensku strukturu. U skladu sa zahtevima, u ovoj doktorskoj disertaciji je predstavljen postupak modifikacije površine ugljeničnih nanocevi uvođenjem funkcionalnih grupa preko ciklopropanskog prstena i dokazano da modifikovane nanočestice pokazuju dobre provodne karakteristike. Drugi prikazani postupak, oksidacija ugljeničnih nanomaterijala DBD plazma tretmanom dovodi do destrukcije nanomaterijala u veoma maloj meri i omogućava primenu funkcionalizovanih nanočestica u formi tankih provodnih filmova.

Na osnovu definisanih ciljeva istraživanja, postupci primenjeni za funkcionalizaciju ugljeničnih nanočestica su rezultovali materijalima unapređenih svojstava koji su zatim upotrebljeni kao nanopunioci unutar polimernih nanokompozita.

Rezultati istraživanja dobijenih u okviru ove disertacije su obećavajući u pogledu praktične primene u oblastima polimernih nanokompozita i nanoelektronike.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Danijela Brković, dipl. inž., tehnologije je svoje rezultate potvrdila objavljivanjem radova u istaknutim međunarodnim časopisima i saopštenjima na međunarodnim i domaćim skupovima. Iz disertacije su proistekla dva rada objavljena u istaknutim međunarodnim časopisima.

Kategorija M22:

1. **Brković, D. V.**, Kovačević V. V., Sretenović G. B., Kuraica M. M., Trišović N. P., Valentini L., Marinković A. D., Kenny J. M., Uskoković P. S.: Effects of dielectric barrier discharge in air on morphological and electrical properties of graphene nanoplatelets and multi-walled carbon nanotubes, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol 75, no. 7, pp. 858–868, 2014 (IF:1.853) (ISSN: 0022-3697).
2. **Brković, D. V.**, Avramov Ivić M. L., Rakić V. M., Valentini L., Uskoković P. S., Marinković, A. D.: Electrical and morphological characterization of multiwalled carbon nanotubes functionalized via the Bingel reaction, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol 83, pp. 121–134, 2015 (IF:1.853) (ISSN: 0022-3697).

Kategorija M33:

1. **Brković D. V.**, Markovski J. S., Vuković G. D., Trišović N. P., Milosavljević M. M., Marinković A. D., Uskoković P. S.: Improving dispersion properties of multi-walled carbon nanotubes in PMMA composites through amino-functionalization, *12th International Conference, Research and Development in Mechanical Industry, RaDMI 2012*, 13 - 17. September 2012, Vrnjačka Banja, Serbia, Proceedings Vol. 2 pp. 953. ISBN 978-86-6075-037-4.

Kategorija M64:

1. **Brković D.**, Trišović N., Bitolo Bon S., Valentini L., Uskoković P., Marinković A.: Električna i morfološka karakterizacija ugljeničnih višeslojnih nanocevi funkcionalizovanih Bingelovom reakcijom, *Prva konferencija mladih hemičara Srbije*, 19-20 Oktobar 2012, Beograd, Program i Kratki izvodi radova str. 89, ISBN 978-86-7132-050-4.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija Danijele Brković, pod nazivom „**Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene**“ predstavlja značajan, originalni naučni doprinos u oblasti Tehnološkog inženjerstva, što je potvrđeno, između ostalog i objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja, kao i prezentovanjem rezultata istraživanja na konferencijama. Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da se doktorska disertacija pod nazivom „**Uticaj različitih postupaka modifikacije površine ugljeničnih nanomaterijala na njihova svojstva i mogućnosti primene**“ kandidata **Danijele Brković**, dipl. inž. tehnol., prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 26. 06. 2015.

ČLANOVI KOMISIJE

.....
Dr Aleksandar Marinković, docent
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

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

.....
Dr Vesna Radojević, van. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Dr Rajko Šašić, red. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Dr Vera Pavlović, docent
Univerziteta u Beogradu, Mašinski fakultet