

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Nenada Đorđevića**

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu (br. 35/201 od 01.06.2017). godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Nenada Đorđevića** dipl. inž. tehnologije, pod naslovom:

„Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine“

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

Kandidat je upisao doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu školske 2009/10 godine.

29.09.2015. – Na sednici Nastavno naučnog veća TMF doneta je odluka da se kandidatu Nenadu Đorđeviću odobri produženje roka za završetak studija za godinu dana. (odluka br. 35/427 od 29.09.2015)

15.01.2016. – Kandidat **Nenad Đorđević** prijavio je temu doktorske disertacije, pod nazivom: „*Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine*“

28.01.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije **Nenada Đorđevića**, pod nazivom „*Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine*“ (Odluka br. 35/15 od 28.01.2016.).

14.04.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata **Nenada Đorđevića** za izradu doktorske disertacije, pod nazivom „*Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine*“. Za mentora je određen prof. dr Petar Uskoković, redovni profesor TMF-a (Odluka br. 35/187 od 14.04.2015).

16.05.2016. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije **Nenada Đorđevića**, pod nazivom „*Primena*

modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine“. (Odluka br. 61206-2278/2-16 od 16.05.2016).

29.09.2016. – Na sednici Nastavno naučnog veća TMF doneta je odluka da se kandidatu Nenadu Đorđeviću odobri produženje roka za završetak studija za godinu dana. (odluka br. 35/483 od 29.09.20165)

01.06.2017. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije **Nenada Đorđevića**, pod nazivom „*Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine“* (Odluka br. 35/201 od 01.06.2017.).

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja urađena u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, uža naučna oblast Inženjerstvo materijala, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor, prof. dr Petar Uskoković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na osnovu dosadašnjih objavljenih publikacija na SCI listi i iskustava kompetentno je rukovodio izradom ove disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Nenad Đorđević je rođen 05.05.1974. godine u Pirotu, Srbija, gde je završio osnovno obrazovanje i Gimnaziju. Osnovne studije na Tehnološko metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, upisao je 1993/1994 i uspešno završio sa prosečnom ocenom 8,46. Diplomski rad pod nazivom "Kvalitet otiska kao element zaštite dokumenata i novčanica od falsifikata " odbranio je 2002. godine na Katedri za Grafičko inženjerstvo sa ocenom 10.

Doktorske studije je upisao školske 2009/10. na Tehnološko–metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, studijski program Inženjerstvo materijala.

U okviru doktorskih studija, položilo je sve ispite, sa prosečnom ocenom 9,7. Završni ispit odbranio je u oktobru 2014. godine sa ocenom 10 pred komisijom u sastavu: dr Petar Uskoković, red. prof., dr Aleksandar Marinković, docent, dr Predrag Živković, van. prof.

Nenad Đorđević je kao koautor i autor do sada učestvovao u izradi i publikaciji ukupno 2 rada i 9 naučnih saopštenja, od toga 1 rad je objavljen u istaknutom međunarodnom časopisu (M22 – 1 rad) , 1 rad u časopisu međunarodnog značaja (M23 – 1 rad) i 9 naučnih saopštenja u zbornicima radova sa međunarodnih (5) i nacionalnih skupova (4). Iz oblasti istraživanja kojoj pripada predložena tema doktorske disertacije, kandidat je koautor 2 naučna rada objavljenih u časopisima međunarodnog značaja (oznaka grupe **M20**: vrsta rezultata **M22** – 1rad, vrsta rezultata **M23** – 1rad) i 2 saopštenja na skupovima međunarodnog značaja (oznaka grupe **M30**: vrsta rezultata **M34** – 2rada).

Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja – M₂₂

1. **Đorđević N.**, Marinković A. D., Živković P., Kovačević V.D., Dimitrijević S., Kokol V., Uskoković P. S.: *Improving the packaging performance of low-density polyethylene with PCL/nanocellulose/copper(II)oxide barrier layer*; Journal Science of Sintering, 2017, (accepted for publication)

Rad u međunarodnom časopisu -M₂₃

2. **Đorđević N.**, Marinković A. D., Nikolić J. B., Drmanić S. Ž, Rančić M., Brković D. V., Uskoković P. S.: *A study of the barrier properties of polyethylene coated with*

Zbornici međunarodnih naučnih skupova

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini - M₃₃

1. Stamenović M., Brkić D., **Đorđević N.**, Drmanić S., Putić S.: *Development of method for obtaining recycled glass fibers from grp composite material*, XXIII International Conference "Ecological truth", Eco-Ist 15, June 2015, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor, Kopaonik, Serbia, pp. 121-127. Proceedings, ISBN 978-86-6305-032-7.
2. Brkić D., **Đorđević N.**, Stamenović M., Putić S.: *Obtaining and characterization of modified nanocellulose by FTIR spectroscopy and TGA*, XXIII International Conference "Ecological truth", June 2015, Eco-Ist 15, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor, Kopaonik, Serbia, pp. 164-170. Proceedings, ISBN 978-86-6305-032-7.
3. Nenad Đorđević, Ivana Stojiljković, **Milica Rančić**, Petar Uskoković, Aleksandar D. Marinković, „*Barrier properties of films based on nanocellulose*“, 5th International Conference „Economics and Management-Based on New Technologies“ EMoNT 2015, 18-21 June 2015, Vrnjačka Banja, Serbia.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu- M₃₄

1. **Đorđević N.**, Marinković A., Stamenović M., Putić S.: *Characterization of modified nanocellulose*, International Conference "Biopolymer materials and engineering" BiMatE, April 2015, Polymer Technology College, Slovenj Gradec, Slovenia, p. 73. Proceedings of the Conference Biopolymer Materials and Engineering (e-book) ISBN 978-961-6792-09-7.
2. **Đorđević N.**, Marinković A., Stamenović M., Putić S.: *Determination of acid value and micromechanical analysis of modified nanocellulose*, International Conference "Biopolymer materials and engineering" BiMatE, April 2015, Polymer Technology College, Slovenj Gradec, Slovenia, p. 95. Proceedings of the Conference Biopolymer Materials and Engineering (e-book) ISBN 978-961-6792-09-7.
3. Stamenović M., Brkić D., **Đorđević N.**, Putić S.: *Life cycle of biodegradable polymers and their impact on the environment*, International "Biopolymer materials and engineering" BiMatE, April 2015, Polymer Technology College, Slovenj Gradec, Slovenia, p. 103. Proceedings of the Conference Biopolymer Materials and Engineering (e-book) ISBN 978-961-6792-09-7.

Zbornici nacionalnih naučnih skupova

Saopštenja sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini – M₆₃

1. Rusmirović J., Božić A., **Đorđević N.**, Brkić D., Stamenović M., Milošević M., Striković Z.: *Fizičko-mehanička svojstva nanokompozitnih materijala baziranih na otpadnom PET-u i nanočesticama SiO₂*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 249-255. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4
2. Božić A., Rusmirović J., Brkić D., **Đorđević N.**, Stamenović M., Milošević M.: *Sinteza dispergatora (di-alkil tereftalata) za primenu u proizvodnji pigmentnih pasta*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 256-261. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4

3. **Dorđević N.**, Božić A., Brkić D., Stamenović M., Rusmirović J., Striković Z.: *Sinteza alkiltereftalata iz otpadnog PET-a za zamenu fenolnog fragmenta pri proizvodnji fenol-formaldehidnih smola*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 262-267. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4
4. Striković Z., Božić A., Rusmirović J., **Dorđević N.**, Daničić I., Nikolić J.: *Tehnologije proizvodnje vezivnih materijala na bazi otpadnog PET-a za kompaktiranje ugljane prašine i biomase*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 320-324. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1 Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Nenada Dorđevića je napisana na 127 stranica i sadrži 6 poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura. Disertacija sadrži 66 slika, 14 tabela i 139 literaturnih navoda. Na početku disertacije dat je Rezime na srpskom i engleskom jeziku, kao i spiskovi skraćenica i simbola, slika i tabela, dok je biografija autora data na kraju disertacije.

Na početku disertacije dati su izvodi na srpskom i engleskom jeziku. Disertacija sadrži i kratku biografiju kandidata i 3 obavezna priloga (izjave). Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde Univerziteta u Beogradu za doktorsku disertaciju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom delu opisan je značaj razvoja ambalažnih materijala sa akcentom na široku upotrebu polimernih materijala u ambalažnoj industriji. Posebno je istaknut doprinos polietilena u prehrambenoj industriji i prednosti i nedostaci ovog materijala, kao i načini koji bi mogli unaprediti svojstva polietilena, naročito polietilena male gustine u hibridnim multifunkcionalnim ambalažnim materijalima nove generacije. Uz obrazloženje teme opisana je i struktura disertacije. Ukratko su izložene metode karakterizacije.

Teorijski deo se sastoji iz šest potpoglavlja: 1) Savremeni polimerni ambalažni materijali; 2) Polimerni ambalažni materijali zasnovani na polietilenu; 3) Višeslojni hibridni multifunkcionalni filmovi; 4) Nanoceluloza i njena primena u polimernim ambalažnim materijalima; 5) Oksidi metala u polimernim ambalažnim materijalima; 6) Polikaprolakton.

U prvom potpoglavlju teorijskog dela date su definicija, klasifikacija, način dobijanja i primene najzastupljenijih savremenih polimernih ambalažnih materijala, kao i poređenje opštih svojstava polimernih materijala sa drugim ambalažnim materijalima.

U drugom potpoglavlju dat je detaljan literaturni pregled dosadašnjih istraživanja o svojstvima i primeni polietilena kao ambalažnog materijala, sa naglaskom na svojstva i primenu polietilena male gustine (LDPE – *low density polyethylene*). U ovom poglavlju je takođe dat pregled mogućih načina prevazilaženja nekih nedostataka LDPE-a sa ciljem dobijanja materijala poboljšanih performansi.

U trećem potpoglavlju istaknut je značaj hibridnih materijala na bazi polimera i razmotrena mogućnost primene dvoslojnih i višeslojnih filmova radi poboljšanja barijernih svojstava osnovnog polimera, sa naglaskom na popustljivost kiseonika. Dat je pregled literature u pogledu dobijanja višeslojnih ambalažnih materijala sa jasno definisanom permeabilnošću. Takođe, istaknut je i značaj višeslojnih hibridnih multifunkcionalnih filmova za dobijanje ambalažnih materijala sa antimikrobnim svojstvima.

U okviru četvrtog potpoglavlja opisan je značaj primene nanoceluloze u sastavu polimernih kompozitnih materijala. Opisani su postupci dobijanja nanoceluloze, sa naglaskom na postupku kisele hidrolize, zatim postupci modifikacije nanoceluloze i uvođenja funkcionalnih grupa na površini, kojima se mogu kontrolisati svojstva dobijenog materijala (hidrofobnost/hidrofilnost) u zavisnosti od dalje upotrebe.

Peto potpoglavlje, prikazuje literaturni pregled istraživanja polimernih kompozita na bazi polietilena i biokompozita u koje se kao fileri dodaju oksidi metala i bavi se uticajem oksida metala na barijerna, mehanička i antimikrobna svojstva dobijenih proizvoda. Ovo potpoglavlje sadrži detaljan pregled literature u pogledu značaja primene oksida gvožđa i oksida bakra u sastavu višeslojne polimerne ambalaže.

U šestom potpoglavlju, su opisana svojstva biopolimera polikaprolaktona, njegova kompatibilnost sa drugim polimerima i sa različitim puniocima pri pripremi biokompozitnih materijala.

Eksperimentalni deo se sastoji iz devet potpoglavlja: 1) Materijali; 2) Dobijanje nanoceluloze; 3) Hemijska površinska funkcionalizacija nanoceluloze anhidridom maleinske kiseline; 4) Sinteza kompozitnih materijala funkcionalizovana nanoceluloza-Fe₃O₄; 5) Sinteza kompozitnih materijala funkcionalizovana nanoceluloza-CuO; 6) Priprema dvoslojnih hibridnih filmova polietilen/polikaprolakton sa funkcionalizovanom i nefunkcionalizovanom nanocelulozom modifikovanom oksidima gvožđa u polikaprolaktonskom sloju; 7) Priprema dvoslojnih hibridnih filmova polietilen/polikaprolakton sa funkcionalizovanom i nefunkcionalizovanom nanocelulozom modifikovanom oksidima bakra u polikaprolaktonskom sloju; 8) Metode strukturne, morfološke i termičke karakterizacije nanoceluloze (NC), nanoceluloze funkcionalizovane anhidridom maleinske kiseline (NCMA) i kompozitnih materijala dobijenih modifikacijom NC i NCMA sa oksidima gvožđa i bakra; 9) Metode karakterizacije barijernih, mehaničkih i antimikrobnih svojstava dvoslojnih hibridnih filmova na PE/PCL sa nanocelulozom i oksidima metala u polikaprolaktonskom sloju.

Rezultati i diskusija su prikazani u okviru poglavlja, koje se sastoji iz 4 potpoglavlja: 1) Karakterizacija nanoceluloze (NC), funkcionalizovane nanoceluloze (NCMA) i kompozita NC-Fe₃O₄ i NCMA-Fe₃O₄; 2) Karakterizacija dvoslojnih filmova PE/PCL sa NC-Fe₃O₄ i NCMA-Fe₃O₄ kompozitima u polikaprolaktonskom sloju; 3) Karakterizacija nanoceluloze (NC), funkcionalizovane nanoceluloze (NCMA) i kompozita NC-CuO i NCMA-CuO; 4) Karakterizacija dvoslojnih filmova PE/PCL sa NC-CuO i NCMA-CuO kompozitima u polikaprolaktonskom sloju.

U prvom potpoglavlju Rezultati i diskusija prikazani su rezultati proučavanja teksturalnih svojstava NC, NCMA, NC-Fe₃O₄ i NCMA-Fe₃O₄, kao i rezultati potpune strukturne, morfološke i termičke karakterizacije navedenih materijala. Strukturna analiza izvršena je na osnovu rezultata dobijenih primenom rendgenske difrakcione analize (XRD) i infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Morfološka svojstva su proučavana skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM). Termička svojstva su ispitana primenom termogravimetrijske analize, a rezultati su prikazani u prvom potpoglavlju Rezultata i diskusije.

U drugom potpoglavlju prikazani su rezultati karakterizacije sintetisanih PE/PCL filmova sa NC, NCMA, NC-Fe₃O₄ i NCMA-Fe₃O₄ u polikaprolaktonskom sloju i dobijeni rezultati barijernih svojstava na kiseonik su detaljno analizirani.

U okviru trećeg potpoglavlja prikazani su rezultati FTIR, XRD i Raman analize NC, NCMA, NC-CuO i NCMA-CuO. Termička svojstva su ispitana primenom termogravimetrijske analize, a morfološka skenirajućom elektronskom mikroskopijom.

Rezultati mehaničkih, barijernih i antimikrobnih svojstava PE/PCL filmova sa puniocem (NC, NCMA, NC-CuO i NCMA-CuO) u polikaprolaktonskom sloju prikazani su u četvrtom podpoglavlju. U okviru ovog potpoglavlja prikazani su rezultati i diskutovana je zavisnost od procenta dodatog punioca (0,5 ili 2%) i od načina sušenja kompozita NC-CuO i NCMA-CuO, odnosno da li su kompoziti sa bakar(II)-oksidom sušeni na konvencionalan način ili liofilizacijom.

U poglavlju *Zaključak* sumirani su najznačajniji zaključci proistekli iz rada na ovoj disertaciji.

Navedena *Literatura* obuhvata radove iz oblasti istraživanja i pokriva sve delove disertacije

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Uprkos multifunkcionalnosti i mnogim dobrim svojstvima, nedostaci polimerne ambalaže su propustljivost na kiseonik, ugljen-dioksid, organske pare i vodenu paru. Glavni činilac koji utiče na kvarenje hrane je prisustvo kiseonika koje dovodi do tamnjenja hrane usled direktne oksidacije, te do pojave užeglih ukusa ili indirektna oksidacije koja uzrokuje kvarenje hrane usled pojave mikroorganizama. Povećana potražnja za novim materijalima za pakovanje hrane, unapređenih svojstava i povećane zdravstvene sigurnosti, uslovia je značajan napredak nauke o materijalima u ovoj oblasti. Sa ekonomskog stanovišta, naročito je interesantno unaprediti svojstva jednostavnih polimernih materijala koji su na tržištu prisutni u velikim količinama kao što je to polietilen male gustine (LDPE). Nanošenje slojeva kompozita na bazi različitih metalnih oksida na polietilensku foliju je jedan od efikasnih načina za unapređenje barijernih, mehaničkih i antibakterijskih svojstava krajnjeg ambalažnog materijala. U ovoj doktorskoj disertaciji, ambalažni materijali pripremljeni su ekstrudiranjem PE prevučenog tankim polikaprolaktonskim filmom u kome se kao filer nalazi funkcionalizovana i nefunkcionalizovana nanoceluloza. Takođe, istražen je i uticaj nanoceluloze dodatno modifikovane oksidima metala i to Fe_3O_4 i CuO. Sve ovo je urađeno sa ciljem da se unaprede mehanička, barijerna i antimikrobna svojstva ambalaže uz zadržavanje zdravstvene ispravnosti. Naime, nedostaci LDPE-a u smislu propustljivosti na gasove prevazilaze se spajanjem sa drugim polimernim materijalima koji mogu nadomestiti negativna svojstva LDPE-a. Samim tim, dobijaju se znatno skuplji dvoslojni (dupleks) i troslojni (tripleks) materijali koji se opet dobijaju iz nafte i nisu biodegradabilni. Jedan od ciljeva ovog istraživanja je i dobijanje LDPE-a sa NC koji će imati bolja svojstva i koji može da zameni i dupleks i tripleks materijale. Rezultati prikazani u ovoj disertaciji ukazuju na značajno poboljšanje mehaničkih svojstava, barijernih svojstava na kiseonik, kao i antibakterijskih i antigljivičnih svojstava sintetisanih dvoslojnih materijala. Uzorak PE-PCL-NCMA-CuO-L2 je pokazao izuzetna svojstva u pogledu antigljivične aktivnosti. Step en redukcije ćelija *C. Albicans* iznosi čak 97% što se objašnjava doprinosom MA funkcionalne grupe na površini modifikovane nanoceluloze, kao i načina sušenja kompozita NCMA-CuO (lioofilizacijom) pre inkorporacije u polikaprolaktonski sloj. Uzorak sa 2% NCMA-CuO, PE-PCL-NCMA-CuO2 se pokazao kao potencijalno najbolji ambalažni material jer je kod njega, pored dobrih antibakterijskih i antigljivičnih svojstava, uočeno i poboljšanje barijernih svojstava. Propustljivost na kiseonik je kod ovog uzorka opala za 16% u poređenju sa čistim filmom LDPE.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao literaturu koja se odnosi na prednosti i nedostatke LDPE, unapređenje njegovih svojstava, nanošenje biopolimernih nanokompozita na osnovni polimerni sloj, kao i primene nanoceluloze i oksida metala za poboljšanje performansi polimernih ambalažnih materijala. Navedene reference sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja, analize, diskusiju dobijenih rezultata, kao i teorijske osnove primenjenih metoda ispitivanja. Pregledana obimna literatura i priloženi objavljeni radovi ukazuju na adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Nanoceluloza je sintetisana i funkcionalizovana prema originalnim ili modifikovanim postupcima iz literature. Na površini nanoceluloze i funkcionalizovane nanoceluloze istaloženi su oksidi metala gvožđa i bakra. Pripremljeni materijali su strukturno okarakterisani infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom (FT-IR), difrakcijom rendgenskih zraka (XRD) i Raman spektroskopijom. Uspešnost izvršenih funkcionalizacija potvrđena je primenom termogravimetrijske analize (TG). Morfologija pripremljenih materijala ispitana je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM). U svrhu ispitivanja uticaja različito modifikovanih nanopunila na fizičko-mehanička svojstva urađeni su eksperimenti jednoosnog istezanja. Krive napon-deformacija određene su za ispitivane uzorke svih pripremljenih filmova. Određivanje barijernih svojstava na kiseonik izvršeno je na uređaju Perme OX2/230 (Labthink Instruments Co., Ltd.), dok su antimikrobna svojstva pripremljenih filmova određena prema standardu ISO 22196:2007.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Eksperimentalni podaci i istraživanja sprovedena u okviru ove disertacije značajno doprinose boljem razumevanju hibridnih multifunkcionalnih višeslojnih materijala na bazi LDPE-a kako bi se dobili materijali sa poboljšanim barijernim, antimikrobnim i mehaničkim svojstvima. Osim toga, dat je doprinos proširenju fundamentalnih znanja iz oblasti metoda funkcionalizacije modifikacije i primene nanoceluloze. Prikazani rezultati daju nova saznanja o međusobnom uticaju nanoceluloze i oksida metala unutar polikaprolaktonskog sloja na polietilenski film male gustine. Takođe, prikazani rezultati doprinose potpunijem sagledavanju procesa sinteze novih materijala na osnovu eksperimentalnih rezultata. Rezultati prikazani u okviru disertacije su značajni za dobijanje novih ambalažnih materijala sa jasno definisanim performansama i omogućavaju bolji pristup u potpunom sagledavanju procesa i sinteze novih materijala. Takođe, očekuje se da će razvijena metodologija omogućiti proaktivno i efikasno vođenje politike zaštite i održivog razvoja u cilju poboljšanja kvaliteta životne sredine.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Na osnovu dosadašnjeg rada i ostvarenih rezultata tokom doktorskih studija, Nenad Đorđević je pokazao izuzetnu sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom. Kandidat je tokom izrade doktorske disertacije ispoljio 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

Rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije doprineli su:

- Razvoju novih dvoslojnih filmova, sa slojem PCL/nanoceluloza/oksid metala na površini polietilenskog filma, čime su unapređena mehanička, barijerna i antimikrobna svojstva komercijalnog polietilenskog ambalažnog materijala.
- Optimizaciji uslova taloženja oksida metala i načina sušenja, čime je omogućeno postizanje stepena modifikacije nanoceluloze dovoljnog za poboljšanje mehaničkih i barijernih svojstava polietilena male gustine.
- Proširenju fundamentalnih znanja iz oblasti funkcionalizovane nanoceluloze u kombinaciji sa oksidima metala za unapređenje svojstava ambalažnog polietilena, a takođe i modifikacijama nanoceluloze koje smanjuju njenu inherentnu hidrofilnost i pružaju mogućnost upotrebe modifikovane NC kao materijala koji bi smanjio propustljivost vodene pare u vlažnom okruženju.
- Proširenju saznanja o međusobnom uticaju i povezanosti strukture funkcionalnih grupa na površini nanoceluloze, postupka funkcionalizacije i svojstava koje funkcionalizovane nanočestice poseduju, kao i o mogućnosti formiranja kompozitnog sloja nanoceluloza/istaložen oksid metala na površini polietilenskog filma povećanjem kompatibilnosti i adhezionih svojstava na međupovršini kompozit/PE.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja izvršena u ovoj disertaciji su koncipirana nakon detaljne analize literature iz oblasti proizvodnje ambalažnih polimernih materijala, pre svega LDPE. Konvencionalno korišćeni LDPE ima nedostatke koji se nanošenjem određenog sloja/sojeva na njegovu površinu mogu korigovati. Postavlja se zahtev za uvođenjem kompozitnog sloja kojom bi se mehanička, barijerna i antimikrobna svojstva LDPE značajno popravila. U skladu sa zahtevima, u ovoj doktorskoj disertaciji je predstavljen postupak nanošenja kompozitnog polikaprolaktonskog sloja sa kombinacijom organsko/neorganskih filera na PE film i pokazan značajan napredak i potencijal finalnog hibridnog dvoslojnog ambalažnog materijala. Rezultati istraživanja dobijeni u okviru ove disertacije su obećavajući u pogledu praktične primene u oblastima ambalažnih materijala koji se prevashodno koriste u prehrambenoj industriji.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Nenad Đorđević, dipl. inž., tehnologije je svoje rezultate potvrdio objavljivanjem radova u međunarodnim časopisima i saopštenjima na međunarodnim i domaćim skupovima. Iz disertacije su proistekla dva rada objavljena jedan u međunarodnom i jedan u istaknutom međunarodnom časopisu.

Kategorija M₂₂:

1. **Đorđević N.**, Marinković A. D., Živković P., Kovačević V.D., Dimitrijević S., Kokol V., Uskoković P. S.: *Improving the packaging performance of low-density polyethylene with PCL/nanocellulose/copper(II)oxide barrier layer*; Journal Science of Sintering, 2017, is accepted for publication

Kategorija M₂₃:

1. **Đorđević N.**, Marinković A. D., Nikolić J. B., Drmanić S. Ž, Rančić M., Brković D. V., Uskoković P. S.: *A study of the barrier properties of polyethylene coated with nanocellulose/magnetite composite film*; Journal of the Serbian Chemical Society, 2016, 81(5), 589-605, doi: 10.2298/JSC151217019D

Zbornici međunarodnih naučnih skupova

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini - M33

1. Stamenović M., Brkić D., **Đorđević N.**, Drmanić S., Putić S.: *Development of method for obtaining recycled glass fibers from grp composite material*, XXIII International Conference "Ecological truth", Eco-Ist 15, June 2015, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor, Kopaonik, Serbia, pp. 121-127. Proceedings, ISBN 978-86-6305-032-7.
2. Brkić D., **Đorđević N.**, Stamenović M., Putić S.: *Obtaining and characterization of modified nanocellulose by FTIR spectroscopy and TGA*, XXIII International Conference "Ecological truth", June 2015, Eco-Ist 15, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor, Kopaonik, Serbia, pp. 164-170. Proceedings, ISBN 978-86-6305-032-7.
3. Nenad Đorđević, Ivana Stojiljković, **Milica Rančić**, Petar Uskoković, Aleksandar D. Marinković, „*Barrier properties of films based on nanocellulose*“, 5th International Conference „Economics and Management-Based on New Technologies“ EMoNT 2015, 18-21 June 2015, Vrnjačka Banja, Serbia.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu- M34

1. **Đorđević N.**, Marinković A., Stamenović M., Putić S.: *Characterization of modified nanocellulose*, International Conference "Biopolymer materials and engineering" BiMatE, April 2015, Polymer Technology College, Slovenj Gradec, Slovenia, p. 73. Proceedings of the Conference Biopolymer Materials and Engineering (e-book) ISBN 978-961-6792-09-7.
2. **Đorđević N.**, Marinković A., Stamenović M., Putić S.: *Determination of acid value and micromechanical analysis of modified nanocellulose*, International Conference "Biopolymer materials and engineering" BiMatE, April 2015, Polymer Technology College, Slovenj Gradec, Slovenia, p. 95. Proceedings of the Conference Biopolymer Materials and Engineering (e-book) ISBN 978-961-6792-09-7.
3. Stamenović M., Brkić D., **Đorđević N.**, Putić S.: *Life cycle of biodegradable polymers and their impact on the environment*, International "Biopolymer materials and engineering" BiMatE, April 2015, Polymer Technology College, Slovenj Gradec, Slovenia, p. 103. Proceedings of the Conference Biopolymer Materials and Engineering (e-book) ISBN 978-961-6792-09-7.

Zbornici nacionalnih naučnih skupova

Saopštenja sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini – M63

1. Rusmirović J., Božić A., **Đorđević N.**, Brkić D., Stamenović M., Milošević M., Striković Z.: *Fizičko-mehanička svojstva nanokompozitnih materijala baziranih na otpadnom PET-u i nanočesticama SiO₂*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 249-255. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4
2. Božić A., Rusmirović J., Brkić D., **Đorđević N.**, Stamenović M., Milošević M.: *Sinteza dispergatora (di-alkil tereftalata) za primenu u proizvodnji pigmentnih pasta*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 256-261. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4
3. **Đorđević N.**, Božić A., Brkić D., Stamenović M., Rusmirović J., Striković Z.: *Sinteza alkiltereftalata iz otpadnog PET-a za zamenu fenolnog fragmenta pri proizvodnji fenol-formaldehidnih smola*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 262-267. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4

4. Striković Z., Božić A., Rusmirović J., **Đorđević N.**, Daničić I., Nikolić J.: *Tehnologije proizvodnje vezivnih materijala na bazi otpadnog PET-a za kompaktiranje ugljane prašine i biomase*, Decembar 2015, Naučno-stručni skup POLITEHNIKA 2015, Zbornik radova, Beogradska politehnika, Beograd, pp. 320-324. CD ROM ISBN 978-86-7498-064-4

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija Nenada Đorđevića, pod nazivom „**Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine**“ 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 „**Primena modifikovane nanoceluloze za poboljšanje svojstava višeslojnih filmova na bazi polietilena male gustine**“ kandidata Nenada Đorđevića, dipl. inž. tehnol., prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Dr Petar Uskoković, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

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

Beograd, 27.06.2017. godine

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Predrag Živković, vanredni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Milica Rančić, docent
Univerziteta u Beogradu, Šumarski fakultet