

**UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije

Odlukom br. 35/282 od 26. 05. 2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije pod nazivom:

Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira

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

12.01.2015. Kandidat mr Ivona Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije, predložila je Tehnološko-metalurškom fakultetu temu za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira“

22.01.2015. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka (br. 35/18) o imenovanju Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira“.

26.02.2015. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o odobrenju teme doktorske disertacije kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije. Za mentora ove doktorske disertacije imenovan je dr Đorđe Janačković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu

09.03.2015. Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira“ (Odluka br. 61206-958/2-15).

26.05.2016. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka (br. 35/282) o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor dr Đorđe Janačković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu je na osnovu objavljenih publikacija i naučno-istraživačkog iskustva, kompetentan da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Ivona Janković-Častvan je rođena 11.9.1971. godine u Jagodini gde je završila osnovnu i srednju školu. Školske 1990/91 upisala je Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, smer Neorganska hemijska tehnologija. Na ovom smeru je diplomirala 2001. godine sa temom "Dobijanje kompozitnih materijala na bazi kalcijum-hidroksiapatita" pod mentorstvom dr Đorđa Janačkovića.

Školske 2002/03 je upisala poslediplomske studije na Tehničkom fakultetu u Čačku, smer Savremeni materijali. Magistarsku tezu pod nazivom "Proučavanje formiranja kordijerita iz gelova sintetisanih nehidrolitičkim sol-gel postupkom", rađenu pod mentorstvom prof. dr Branke Jordović, odbranila je 2008. godine. Eksperimentalni deo teze je odrađen na Katedri za neorgansku hemijsku tehnologiju Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.

Od 2002. angažovana je kao istraživač-pripravnik na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu na katedri za NHT, zatim kao istraživač saradnik, a trenutno kao stručni savetnik.

Ivona Janković-Častvan je do sada učestvovala u istraživanjima u okviru osam domaćih i dva međunarodna naučno-istraživačka projekta. Do sada je objavila 13 radova u vrhunskim vodećim časopisima međunarodnog značaja (M21), 2 rada u časopisima vodećeg međunarodnog značaja (M22), 10 radova u časopisima međunarodnog značaja (M23), 1 rad u časopisu nacionalnog značaja, 4 rada saopštena na skupu međunarodnog značaja štampanih u celini, 10 radova saopštenih na skupovima međunarodnog značaja štampanih u izvodu, 15 radova saopštenih na skupu nacionalnog značaja štampana u celini, 12 radova saopštenih na skupu nacionalnog značaja štampana u izvodu. Učestvovala je u realizaciji 13 elaborata i studija.

U okviru svog naučno-istraživačkog rada mr Ivona Janković-Častvan se bavila različitim vrstama materijala i tehnikama karakterizacije istih. Pored istraživanja vezana za primenu kordijeritne keramike kao dielektrika, veliki deo njenih istraživanja je vezan za proučavanje procesa sorpcije na različitim glinenim mineralima. Koautor je većeg broja radova koji ispituju mehanizme, kinetiku i termodinamiku ovih procesa. Poslednjih godina, zaključno sa izradom doktorske disertacije, fokus njenih istraživanja je na fizičko-hemijskoj modifikaciji i ispitivanju svojstava prirodnog minerala sepiolita kao i primeni istog u različitim granama industrije.

Mr Ivona Janković-Častvan je u okviru FP7-REGPOT projekta, 2011. godine boravila mesec dana u Italiji, gradu Terniju, u Materials Design & Processing and Laboratory of the Material Science and Technology, University of Perugia.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira“ napisana je na ukupno 137 strana i sadrži 9 poglavlja, 62 slike (grafička prikaza), 21 tabelu i 159 literaturnih navoda. Doktorska disertacija se sastoji od sledećih poglavlja: Uvod, Teorijski deo koji se sastoji od pet poglavlja, Eksperimentalna procedura, Rezultati i diskusija, Zaključci i Literatura. Disertacija sadrži i izvode na srpskom i engleskom jeziku, izjave zahvalnosti, kratku biografiju kandidata i 3 obavezna priloga (izjave). Po formi i sadržaju, napisana doktorska disertacija zadovoljava propisane standarde Univerziteta u Beogradu.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U Uvodu disertacije dat je kratak opis strukture i primene prirodnog minerala sepiolita, kao i značaj nanostrukturnih kompozita na bazi sepiolita u cilju dobijanja materijala poboljšanih svojstava. Pored toga dat je i osvrt na istraživanja vezana za proizvodnju papira i primenu nanočestica za poboljšanje mehaničkih svojstava papira. Na kraju ovog poglavlja definisani su predmet i glavni naučni ciljevi doktorske disertacije.

U Teorijskom delu disertacije, u drugom poglavlju, prikazana je struktura, svojstva i primena prirodnog minerala sepiolita. Detaljno je opisana struktura sepiolita i pretpostavljeni modeli nastanka ovog minerala. Poseban osvrt je dat na fizička i hemijska svojstva sepiolita, s obzirom da ova svojstva određuju njegovu dalju primenu. Detaljno je opisana primena sepiolita potkrepljena literaturnim pregledom.

Treće poglavlje je posvećeno proizvodnji papira. U njemu je predstavljeno poreklo i istorijat papira, zatim svojstva i podela papira kao i sirovine za proizvodnju papira i kartona. U potpoglavlju koje se odnosi na sirovine za proizvodnju papira opisana su primarna vlakna, sekundarna vlakna i pomoćna sredstva. Skrob spada u pomoćna sredstva u proizvodnji papira, pa je njegova primena detaljno opisana. Posebna pažnja je data modifikaciji skroba za efikasniju primenu gde su predstavljena dosadašnja istraživanja.

U okviru četvrtog poglavlja obrađivani su teorijski aspekti antimikrobnog dejstva srebra i dobijanje nanočestičnog srebra. Priprema stabilnih metalnih nanočestica je aktuelna istraživačka tema i u naučnoj literaturi je publikovano mnogo novih metoda. Problem stabilnosti nanočestica srebra je rešen njihovim pozicioniranjem na stabilnom inernom nosaču. Opisane su osnovne metode redukcije srebra koje podrazumevaju UV i hemijsku redukciju.

Peto poglavlje je posvećeno ultrazvučnom dispergovanju, opisivanju osnovnih principa metode i primene sonohemije. Ultrasonifikacija je primenjena u toku izrade disertacije prilikom pripreme disperzija sepiolita i skroba kao i prilikom postupka modifikacije sepiolita nanočesticama srebra. Ovaj način dispergovanja obezbeđuje više energije, prouzrokuje separaciju nanovlakana sepiolita. Individualna sepiolitska vlakna omogućuju veću dodirnu površinu, bilo da su punioci u nanokompozitu ili nosači nanočestica srebra.

U šestom poglavlju, Eksperimentalna procedura, opisani su postupci pripreme uzoraka papira sa premazima na bazi sepiolita i skroba, postupci pripreme uzoraka papira sa premazima na bazi sepiolita i polivinil–butirala (PVB), postupak modifikacije sepiolita nanočesticama srebra i postupak pripreme uzoraka papira sa premazom na bazi modifikovanog sepiolita i skroba.

Navedeni su polazni materijali: prirodni sepiolit iz ležišta Tolića kosa, uzorak papira tipa schrenz (Fabrika hartije Beograd), skrob, polivinil-butirala, srebro-nitrat i sredstva za njegovu redukciju. Precizno su definisani uslovi za svaki od postupaka pripreme uzoraka papira. Za prvu seriju uzoraka, ti uslovi su bili isti ili slični kao postupci u industriji papira, s tim što je skrob kuvan u disperziji ultrazvučno dispergovanog sepiolita različitih koncentracija. U drugoj seriji uzoraka pripremani su rastvori polivinil-butirala sa različitim koncentracijama sepiolita, a zatim nanošeni na papir. Treća serija uzoraka je pripremana slično kao i prva, s tim što je izabrana optimalna koncentracija sepiolita (10 %), ali je korišćen sepiolit modifikovan nanočesticama srebra. Opisane su metode korišćene za karakterizaciju sepiolita i sepiolita modifikovanog srebrom uključujući i utvrđivanje antimikrobnih svojstava u zavisnosti od primenjenog sredstva i uslova redukcije. Pored toga, predstavljene su i metode kojima su određivana mehanička svojstva dobijenih uzoraka papira.

U sedmom poglavlju, Rezultati i diskusija, prikazani su rezultati dobijeni u eksperimentalnom radu, njihova analiza i diskusija, kao i poređenje sa podacima iz literature. Ovo poglavlje se sastoji iz šest potpoglavlja: Karakterizacija praha sepiolita; Svojstva papira ojačanog premazima na bazi sepiolita i skroba; Svojstva papira ojačanog premazima na bazi sepiolita i PVB-a; Karakterizacija sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra; Antimikrobna svojstva sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra; Mehanička svojstva papira sa premazima na bazi skroba i sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra.

U prvom potpoglavlju dati su rezultati rendgenske, FTIR i diferencijalno termijske analize sepiolita iz ležišta Tolića kosa. Predstavljani su i rezultati određivanja specifične površine i raspodele i veličina pora, kao i raspodela veličina čestica. Sepiolit je analiziran i transmisijom elektronskom mikroskopijom pri čemu je utvrđeno da su vlakna širine oko 10 nm a dužine do 200 nm.

Drugo potpoglavlje detaljno analizira načine pripreme disperzija sepiolita i skroba kao i određivanje viskoznosti tih disperzija. Pokazano je da dodatak sepiolita menja reološka svojstva disperzije od nenjutnovskog dilatnog do pseudoplastičnog fluida. Skenirajućom elektronskom mikroskopijom su analizirani uzorci papira i to schrenza, schrenza sa skrobom i schrenza sa skrobom i sepiolitom. Određena je gramatura svih uzoraka papira i određen je uticaj sadržaja sepiolita i načina pripreme disperzije na gramaturu papira. Analizirani su rezultati određivanja mehaničkih svojstava papira (dužina kidanja, otpornost na pritisak i otpornost na pucanje) u zavisnosti od sadržaja sepiolita u disperzijama koje su korišćene za ojačavanje. U skladu sa ovim rezultatima i rezultatima dinamičko mehaničke analize (DMA) zaključeno je da način pripreme disperzija sepiolita i skroba takođe utiče na mehanička svojstva papira. Uzorci papira na koje su nanosene ultrazvučno tretirane disperzije a zatim pripremljene slično industrijskom postupku, su pokazale najbolja mehanička i viskoelastična svojstva.

U trećem potpoglavlju predstavljani su rezultati ispitivanja svojstava papira ojačanog premazima na bazi sepiolita i PVB-a. Urađena je diferencijalno-skenirajuća kalorimetrijska analiza u cilju ispitivanja uticaja sepiolita na termičku stabilnost kompozita na bazi polivinil-butirala i utvrđeno je da porastom sadržaja sepiolita u PVB-u dolazi do blagog povećanja vrednosti Tg, odnosno poboljšanja termičke stabilnosti uzoraka. Utvrđeno je da se nanočestice sepiolita ponašaju kao visokofunkcionalni umreživači koji utiču na povećanje Tg. Mehanička svojstva papira ojačanog PVB/sepiolitom su ispitana mikrokidalicom, određivanjem zavisnosti naprezanje-deformacija i nanoindentacijom. Primenom obe metode uzorak papira ojačan sa PVB-em u kome je dispergovano 3 % sepiolita je pokazao najbolja mehanička svojstva što je posledica sinergetskog dejstva polimernog matriksa- polivinil-butirala i nanovlakana sepiolita.

Četvrto potpoglavlje se bavi karakterizacijom sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra u zavisnosti od načina redukcije srebra, uključujući i antimikrobna svojstva. Utvrđeno je da sepiolit ne menja svoju polaznu strukturu bez obzira na postupak redukcije srebra. Prisustvo nanočestica srebra na površini sepiolita je utvrđeno kod uzoraka kod kojih je vršena redukcija UV zracima iz disperzije sepiolita i kod uzoraka kod kojih je vršena redukcija srebra natrijum-borhidridom ili formaldehidom. Redukcija metil-alkoholom nije dovela do formiranja nanočestica srebra. Optimalni uslovi za dispergovanje nanočestica srebra dobijenih redukcijom natrijum-borhidridom ili formaldehidom na površinu sepiolita su pH ~ 10 i polazna koncentracija srebra 5 %. Sepiolit modifikovan nanočesticama srebra pokazuje brzu i dobru antimikrobnu aktivnost i prema *S. Aureus* i prema *E. Coli*. Prisustvo srebra dispergovanog na površini sepiolita koji je korišćen zajedno sa skrobom za ojačavanje papira ne utiče negativno na mehanička svojstva papira.

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

U poglavlju Literatura date su sve reference citirane u radu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Savremeni ubrzani razvoj papirne i kartonske industrije nameće zahteve za što efikasnijim sredstvima za nanošenje na papir u cilju poboljšanja mehaničkih svojstava. Osnovna svojstva papira zavise od vrste i sastava celuloznih vlakana, ali se kontrolisanom primenom kako punioca tako i aditiva može dobiti finalni proizvod željenih svojstava.

Tržište papira i kartona, kao i njihovih proizvoda je u stalnom porastu. Od štamparskih papira, preko ambalažnog papira do higijenskog papira, bez obzira na namenu, svaki ima svoje zahteve u pogledu specifičnih svojstava. Pored toga, proizvodnja bilo koje vrste papira mora da odgovori osnovnim načelima održivog razvoja, smanjenju potrošnje sirovina i energije posebno vodeći računa o zaštiti životne sredine.

Poboljšanje mehaničkih svojstava papira može se postići odgovarajućim izborom vlakana, dodatnim mlevenjem ili upotrebom pomoćnih sredstava koja mogu da se dodaju u masu papira ili nanose na njegovu površinu. Od prirodnih polimera najveću primenu u proizvodnji papira i kartona ima skrob koji se dodaje u masu zajedno sa celuloznim vlaknima, nanosi na površinu papira ili kartona, a koristi se i za naprskavanje i lepljenje slojeva papira i za premaze. Skrob je polisaharid koji se sastoji od linearnih molekula amiloze i razgranatih molekula amilopektina. Slobodne hidroksilne grupe u ovim makromolekulima su sposobne da formiraju vodonične veze sa celuloznim vlaknima i na taj način poboljšaju mehanička svojstva papira. U slučaju dodavanja skroba u masu papira, do povećanja čvrstoće papira dolazi pri njegovom sušenju, kada se uklanjaju molekuli vode sa površine vlakana i supstituišu vodonične veze celuloza-voda vezama celuloza-skrob.

Nanošenjem rastvora razgrađenog skroba na jednu ili obe strane papira pomoću lajm ili film prese formira se tanki sloj koji se dobro vezuje za vlakna papira.

Primena nanočestica u sastavu papira je opravdana kako sa tehnoekonomske tako i sa ekološke strane. Prirodne sirovine koje su lako dostupne, a koriste se kao punioci ili pomoćna sredstva, redukuju troškove proizvodnje a istovremeno utiču na manju zagađenost otpadnih voda u industriji papira. Najefikasniji način za primenu nanočestičnih materijala je modifikacija punioca ili

aditiva u cilju kontrolisanog poboljšanja mehaničkih svojstava papira kao što su zatezna čvrstoća, otpornost na pucanje, otpornost na pritisak itd.

Iako upotreba skroba u papirnoj industriji daje zadovoljavajuće rezultate, poslednjih godina istraživanja u ovoj oblasti su fokusirana i na modifikaciju skroba koja vodi ekonomičnijoj i efikasnijoj primeni u proizvodnji papira. U tom cilju, naučna istraživanja se sve više usmeravaju ka proučavanju kompozita skrob-glineni minerali, od kojih je jedan i sepiolit.

Sepiolit je prirodna mineralna sirovina, hidratizirani magnezijum-silikat, koji se odlikuje velikom specifičnom površinom, kao i velikim brojem aktivnih centara na površini što omogućava široku primenu ovog minerala u raznim oblastima nauke i tehnologije. Zbog vlaknaste strukture i silanoličnih grupa na površini čestica, vodene disperzije sepiolita pokazuju tiksotropno i pseudoplastično ponašanje, te se sepiolit iz tog razloga dodaje premaznim sredstvima. Dodatak sepiolita u manjim količinama može uticati na poboljšanje mehaničkih osobina papira.

Na osnovu pregleda literature može se zaključiti da je primena kompozita na bazi skroba poslednjih godina prisutna u proizvodnji papira, ali uglavnom za modifikaciju punioca. U dostupnoj literaturi nema podataka o korišćenju sistema sepiolit-skrob ili sepiolit-PVB kao sredstva za poboljšanje mehaničkih svojstava papira. Takođe, iako su rađena istraživanja u vezi dispergovanja nanočestica srebra na površinu sepiolita, ovako modifikovan sepiolit nije korišćen za nanošenje na papir u cilju dobijanja antimikrobnog papira poboljšanih mehaničkih svojstava.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu.

U okviru doktorske disertacije citirano je ukupno 159 referenci, koje ukazuju na aktuelnost istraživanja u ispitivanoj oblasti. Većina referenci je publikovana u poslednjoj deceniji i predstavlja naučne radove publikovane u vrhunskim međunarodnim časopisima sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije. Istraživanja prikazana u navedenim referencama su korišćena za planiranje eksperimentalnog rada, analizu i tumačenje rezultata dobijenih tokom izrade doktorske disertacije i izvođenje zaključaka.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Fazni sastav sepiolita i sepiolita modifikovanih nanočesticama srebra određen je na rendgenskom difrakcionom analizom.

Oblik i veličina čestica praha sepiolita i uzoraka sepiolita modifikovanih nanočesticama srebra ispitivani su metodom visokorezolucione skenirajuće elektronske mikroskopije (FESEM) i primenom transmisione elektronske mikroskopije (TEM). Takođe, ovim metodama su ispitane i morfologije uzoraka papira ojačanih premazima na bazi sepiolita i skroba i na bazi sepiolita i PVB-a, kao i morfologija sepiolita modifikovanih nanočesticama srebra.

Specifična površina uzoraka (S_{BET}), zapremina pora i raspodela veličina pora uzorka sepiolita i uzoraka sepiolita modifikovanih nanočesticama srebra određena je na osnovu adsorpcionih izoterma azota na temperaturi tečnog azota.

Raspodela veličina čestica uzorka sepiolita je određena laserskom difrakcijom.

Strukturna analiza je izvedena korišćenjem infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR)

Termičke karakteristike praha sepiolita određene su diferencijalno-termijskom analizom (DTA).

Za snimanje apsorpcionih spektara uzoraka modifikovanih sepiolita na osnovu kojih je utvrđeno prisustvo nanočestica srebra korišćena je spektroskopija u ultraljubičastoj vidljivoj oblasti (UV VIS).

Antimikrobna aktivnost uzoraka sepiolita modifikovanih nanočesticama srebra je ispitivana na bakterijama *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* kvantitativnom metodom.

Mehanička svojstva uzoraka papira dobijenih nanošenjem premaza na bazi sepiolita i skroba su određeni po standardnim procedurama u Fabrici Hartije Beograd i to: dužina kidanja po standardu ISO 1924-1, otpornost na pritisak (CMT) uzoraka papira po standardu ISO 7263, otpornost na pucanje uzoraka papira po standardu ISO 2758 i gramatura papira po standardu ISO 536.

Viskoelastična svojstva uzoraka papira su određena primenom uređaja diferencijalno-mehaničke analize (DMA) u zateznom modu.

Termička svojstva uzoraka papira ojačanih premazima na bazi sepiolita i PVB-a su određena primenom diferencijalne skenirajuće kalorimetrije (DSC) dok su mehanička svojstva istih uzoraka određena na osnovu zavisnosti naprezanje-deformacija mikrokidalicom i nanoindentacijom.

Mehanička svojstva u smislu maksimalne sile kidanja uzoraka papira sa premazom na bazi skroba i sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra su određena na mikrokidalicu.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati ostvareni u okviru ove disertacije, pored naučnog značaja, imaju i mogućnost primene u industriji papira. Svi eksperimenti vezani za nanošenje premaza na papir su bili organizovani u skladu sa postupkom koji se koristi u Fabrici hartije Beograd, a osnovna mehanička svojstva papira su ispitivana po ISO standardima ispitivanja za papir. Istraživanja su rađena na papiru tipa schrenz, koji je slabijeg kvaliteta, u cilju dobijanja papira sa tehničkim karakteristikama kvalitetnijeg papira, što bi dovelo do njegove šire primene. Ovaj tip papira se koristi i za ambalažni papir, pa je osim dobrih mehaničkih svojstava, otpornosti na pritisak i otpornosti na pucanje, poželjno da poseduje i antimikrobna svojstva.

Istraživanjima u okviru ove disertacije su utvrđeni optimalni uslovi pripreme disperzija na bazi sepiolita i skroba kojima u značajnoj meri doprinosi ultrazvučno dispergovanje. Primenom ovih disperzija u proizvodnji papira može se dobiti papir vrlo dobrih mehaničkih svojstava. Ukoliko se koristi sepiolit sa dispergovanim nanočesticama srebra na površini, takav papir ima i antibaktericidno dejstvo. Pored toga, proučena je i nova vrsta premaza na bazi sepiolita i polivinil-butirala, čijom se primenom može dobiti papir boljih mehaničkih ali i termičkih svojstava.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat mr Ivona Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije, je tokom izrade doktorske disertacije pokazala samostalnost i stručnost u pretraživanju i korišćenju naučne literature, planiranju i realizaciji eksperimenta, obradi i analizi dobijenih rezultata, kao i njihovoj diskusiji i pripremi publikacija. Tokom istraživanja u potpunosti je ovladala velikim brojem eksperimentalnih tehnika i instrumentalnih metoda. Na osnovu dosadašnjeg rada, podnete

doktorske disertacije i postignutih rezultata kandidata, Komisija je utvrdila da kandidat poseduje kvalitete za samostalni naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Najznačajniji naučni doprinosi ove disertacije su:

- Utvrđeni su optimalni uslovi za dobijanje nanostrukturnog kompozita dispergovanjem prirodnog sepiolita u rastvoru skroba.
- Utvrđeni su optimalni uslovi za dobijanje nanostrukturnog kompozita na bazi prirodnog sepiolita i polivinil-butirala.
- Utvrđeni su optimalni uslovi za dobijanje nanostrukturnih kompozita dispergovanjem nanočestica srebra na površinu sepiolita.
- Ispitan je i objašnjen mehanizam poboljšanja mehaničkih svojstava papira sa premazima na bazi sepiolita i skroba.
- Ispitan je i objašnjen mehanizam poboljšanja mehaničkih i termičkih svojstava papira sa premazima na bazi sepiolita i polivinil-butirala.
- Utvrđeni su optimalni uslovi za dispergovanje nanočestica srebra koje su dobijene redukcijom različitim redukcionim sredstvima, na površinu sepiolita.
- Ispitan je uticaj redukcionog sredstva i metode redukcije na antimikrobna svojstva sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra.
- Ispitan je i objašnjen mehanizam poboljšanja mehaničkih svojstava papira sa premazima na bazi skroba i sepiolita modifikovanog nanočesticama srebra.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Uvidom u dostupnu naučnu literaturu vezanu za dobijanje nanostrukturnih kompozita na bazi skroba i prirodnih minerala kao i njihovu primenu u industriji papira, utvrđeno je da se rezultati dobijeni u okviru ove disertacije nadovezuju na dosadašnja istraživanja, ali i da ih dopunjuju, posebno u oblasti primene.

U dosadašnjim istraživanjima, skrob je modifikovan u svojstvu punioca jer se na taj način omogućuje veći udeo punioca u papiru bez uticaja na finalni proizvod što smanjuje cenu proizvodnje. Iako se skrob koristi i kao sredstvo za nanošenje na površinu papira u cilju poboljšanja mehaničkih svojstava, u dostupnoj literaturi nisu nađeni podaci o njegovoj modifikaciji kada se koristi na ovaj način. U ovoj disertaciji primenom prirodnog minerala sepiolita za modifikaciju skroba kao pomoćnog sredstva za ojačavanje papira došlo je do značajnog poboljšanja mehaničkih svojstava ispitivanog papira. Osim toga, korišćenjem sepiolita kao nanopunioca došlo je i do unapređenja koncepta formiranja polimer/glina nanokompozita.

Iako postoje istraživanja vezana za primenu sepiolita u vlaknima polivinil-butirala, nije proučavana njegova primena kao nanopunioca u matriksu polivinil-butirala. Ispitivanjem uticaja sepiolita u polivinil-butiralu na mehanička i termička svojstva papira na koji je nanesen, kao i utvrđivanjem mehanizma poboljšanja ovih svojstava, otvorene su nove mogućnosti primene ovog nanokompozita.

Pregledom literature utvrđeno je da je dispergovanje srebra na površinu sepiolita već proučavano, ali ne i uticaj različitih postupaka za redukciju srebra na svojstva dobijenog modifikovanog sepiolita, uključujući i antimikrobna svojstva. U okviru ove disertacije, pored ispitivanja pomenutog uticaja, sepiolit modifikovan nanočesticama skroba je primenjen zajedno sa skrobom za ojačavanje papira i dobijen je papir poboljšanih mehaničkih i antimikrobnih svojstava.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat mr Ivona Janković Častvan je rezultate dobijene tokom izrade ove doktorske disertacije potvrdila objavljivanjem u međunarodnim časopisima, saopštenjima na međunarodnim konferencijama i predlogom tehničkog rešenja.

Kategorija M 22

1. **Janković-Častvan I.**, Lazarević S., Stojanović D., Živković P., Petrović R., Janačković Đ., Improvement of the mechanical properties of paper by starch coatings modified with sepiolite nanoparticles, *Starch*, Vol 67, 2015, pp.373-380 (ISSN 0038-9056, IF(2014) 1.677)

Kategorija M 23

1. **Janković-Častvan I.**, Lazarević S., Stojanović D., Živković P., Petrović R., Janačković Đ., PVB/sepiolite nanocomposites as reinforcement agents for paper, *Journal of the Serbian Chemical Society*, prihvaćen za štampu (ISSN 0352-5139, IF(2014) 0.871)

Kategorija M 33

1. **Janković-Častvan I.**, Lazarević S., Trifković K., Živković P., Petrović R., Janačković Đ., Improvement of mechanical properties of paper by using sepiolite nanoparticles, *Proceedings of XIX International symposium in the field of pulp, paper, packaging and graphics*, Zlatibor (2013) pp.41-45.

Kategorija M 84

1. **Janković-Častvan I.**, Lazarević S., Radovanović Ž., Đokić V., Popović D., Bjelajac A., Živković P., Petrović R., Janačković Đ., Primena nanočestica sepiolita za dobijanje papira poboljšanih mehaničkih svojstava, tehničko rešenje podneto Matičnom naučnom odboru

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: „Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira“, predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u oblasti Hemija i hemijska tehnologija, što je potvrđeno objavljivanjem radova u naučnim časopisima međunarodnog značaja.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da se doktorska disertacija pod nazivom: „Svojstva nanostrukturnih kompozitnih materijala na bazi sepiolita i primena u industriji papira“, kandidata mr Ivone Janković Častvan, dipl. inž. tehnologije, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, te da se nakon završetka ove procedure kandidat pozove na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

Beograd, 13.06.2016. god.

Članovi komisije:

.....

Dr Đorđe Janačković, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški
fakultet

.....

Dr Rada Petrović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški
Fakultet

.....

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

.....

Dr Dušica Stojanović, viši naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški
fakultet

.....

Dr Ljiljana Živković, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne
nauke Vinča