

**Predmet:** Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Milice Milošević, dipl. inž. tehnologije

Odlukom br. 35/203 od 1.06.2017. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Milice Milošević, dipl. inž. tehnologije pod naslovom:

**„Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima“**

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 2010/2011** - Kandidat Milica Milošević, dipl. inž. tehnologije, upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, smer Hemija.

**05.05.2016.** - Kandidat Milica Milošević je prijavila temu za izradu doktorske disertacije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, pod nazivom „Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima“.

**26.05.2016.** - Odlukom Nastavno-naučnog veća br. 35/266 imenovana je Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Milice Milošević, dipl. inž. tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima“

**15.09.2016.** - Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu donelo je odluku o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata

za izradu doktorske disertacije, Milice Milošević, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima“, (Odluka br. 35/430). Za mentore su određene dr Marija Nikolić, vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet i dr Marija Radoičić, naučni saradnik Univerziteta u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“.

**24.11.2016.** - Veće naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu donelo je odluku o davanju saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije kandidata Milice Milošević, pod nazivom „Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima“, (Odluka br. 61206-5383/2-16).

**01.06.2017.** - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, odlukom br. 35/203, imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Milice Milošević, pod nazivom: „Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima“.

## 1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemijske nauke, uža naučna oblast Hemija, za koju je matična ustanova Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Za mentore su određene dr Marija Nikolić, vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet i dr Marija Radoičić, naučni saradnik Univerziteta u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, koje su na osnovu oblasti istraživanja, objavljenih publikacija i iskustva kompetentne da rukovode izradom ove doktorske disertacije.

## 1.3. Biografski podaci o kandidatu

Milica Milošević rođena je 01.08.1985. godine u Beogradu, gde je stekla osnovno i srednje obrazovanje. Studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Hemijsko inženjerstvo, upisala je školske 2004/05. godine. Diplomirala je u oktobru 2010. godine sa prosečnom ocenom 8,78 i ocenom 10 na diplomskom radu sa temom „Ispitivanje mogućnosti uklanjanja etilen-oksida iz emisionih gasova apsorpcijom u tečnosti“ čime je stekla zvanje diplomiranog inženjera tehnologije.

Od oktobra 2010. godine zaposlena je u Institutu za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za radijacionu hemiju i fiziku „Gama“ kao istraživač pripravnik, pri čemu je od samog početka angažovana 12 meseci/godišnje na naučno-istraživačkim projektima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije „Uticaj veličine, oblika i strukture nanočestica na njihova svojstva i svojstva nanokompozita“ (ON 172056) i „Materijali redukovane dimenzionalnosti za efikasnu apsorpciju svetlosti i konverziju energije“ (III 45020). U zvanje istraživač saradnik izabrana je 2013. godine.

Školske 2010/11. godine upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Hemija. Ispite predviđene planom i programom doktorskih studija položila je sa prosečnom ocenom 10. Završni ispit na doktorskim studijama pod

nazivom „Antimikrobna svojstva i UV zaštita poliestarskog tekstilnog materijala modifikovanog nanočesticama TiO<sub>2</sub> i Ag“ položila je u septembru 2012. godine sa ocenom 10.

Milica Milošević je do sada kao prvi autor ili koautor publikovala 6 radova objavljenih u međunarodnim časopisima (3 M21a rada, 2 M21 rada i 1 M23 rad), dok su 4 rada predstavljena na skupovima međunarodnog značaja, od čega su dva saopštenja štampana u celini, a dva saopštenja štampana u izvodu (Prilog: Spisak radova).

Tokom 2008. godine podržana je od strane „DAAD“ fondacije, te je boravila na stručnoj praksi u Nemačkoj, gde je posetila sledeće institucije: „Max Planck“ Institut (Magdeburg), „Otto-von-Guericke“ Univerzitet (Magdeburg), „Fraunhofer“ Institut (Magdeburg), „TFH“ Univerzitet (Berlin), kao i „DOMO“ postrojenje (Leuna).

Od 2010. godine član je Društva za ispitivanje materijala Srbije, a od 2017. član je Srpskog keramičkog društva.

## 2. OPIS DISERTACIJE

### 2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Milice Milošević, dipl. inž. tehnologije, pisana je na srpskom jeziku i sadrži 225 strana A4 formata sa ukupno 74 slika, 44 tabele i 384 literaturna navoda. Doktorska disertacija sadrži sledeća poglavlja: *Rezime* (na srpskom i engleskom jeziku), *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak*, *Literatura*, *Biografija autora* i *Prilozi*. Prilozi sadrže Izjavu o autorstvu, Izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog 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* su obrazloženi predmet, sadržaj i ciljevi istraživanja koji su obuhvaćeni ovom doktorskom disertacijom. Istaknut je značaj kreiranja novih nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanokristala TiO<sub>2</sub>/Ag, u cilju dobijanja efikasnih i postojanih materijala koji poseduju antimikrobnu aktivnost i UV zaštitna svojstva. Pažnja je posvećena i biodegradaciji nanokompozitnih tekstilnih materijala u zemlji, u cilju procene uticaja nanokristala TiO<sub>2</sub>/Ag na prirodni proces biodegradacije tekstilnih materijala u zemljištu.

*Teorijski deo* se sastoji od 5 podpoglavlja: *Nanokompozitni tekstilni materijali sa multifunkcionalnim svojstvima*, *Nanokristali TiO<sub>2</sub>*, *Nanočestice Ag*, *Nanokompozitni tekstilni materijali na bazi nanokristala TiO<sub>2</sub> i Ag* i *Biodegradacija tekstilnih materijala*, u okviru kojih je dat detaljan i sveobuhvatan prikaz istraživanja u oblasti i naglašeni su osnovni aspekti korelacije sinteze, strukture i svojstava pomenutih nanokristala i nanokompozitnih tekstilnih materijala.

U podpoglavlju *Nanokompozitni tekstilni materijali sa multifunkcionalnim svojstvima* definisani su nanokompozitni tekstilni materijali i objašnjena je uloga nanokristala čijim je prisustvom omogućeno postizanje multifunkcionalnih svojstava ovih materijala. Takođe, prikazan je pregled literature o efektima prisustva različitih nanokristala (nanočestice metala, oksida metala i ugljenične nanotube) u nanokompozitnim tekstilnim materijalima, sa posebnim osvrtom na prednosti primene nanokristala TiO<sub>2</sub> i Ag.

U podpoglavlju *Nanokristali TiO<sub>2</sub>* ukazano je na atraktivnost primene nanokristala TiO<sub>2</sub> u mnogobrojnim oblastima, zahvaljujući izuzetnim fotokatalitičkim i drugim svojstvima koja poseduju. Objasnjeno je da depozicija nanokristala TiO<sub>2</sub> na različite materijale može doprineti ostvarivanju antimikrobne aktivnosti i UV zaštitnih svojstava, superhidrofilnim/superhidrofobnim efektima površine materijala, kao i da je na samoj površini TiO<sub>2</sub> moguća redukcija jona različitih metala u cilju sinteze nanočestica metala (Ag). Shodno tome, detaljno su obrađene strukturne karakteristike i fotokatalitička svojstva nanokristala TiO<sub>2</sub>, različitih oblika, uključujući koloidne sferne nanočestice i nanotube TiO<sub>2</sub>, te mogućnosti njihove sinteze metodom kisele hidrolize i hidrotermalne metode.

Podpoglavlje *Nanočestice Ag* osvrće se na opšte fizičko-hemijske karakteristike nanočestica Ag, njihovu plazmonsku prirodu, kao i na mogućnosti njihove primene. Imajući u vidu da su nanokompozitni tekstilni materijali, ispitivani u okviru ove disertacije, namenjeni i za biomedicinsku primenu, poseban akcenat je stavljen na antimikrobnu aktivnost nanočestica Ag, polazeći od upotrebe Ag u medicinske svrhe kroz istoriju. Detaljnim pregledom literature ustanovljeni su i objašnjeni mogući mehanizmi antibakterijske i antifungalne aktivnosti nanočestica Ag, a pažnja je posvećena i toksikološkim studijama ovih nanočestica.

U podpoglavlju *Nanokompozitni tekstilni materijali na bazi nanokristala TiO<sub>2</sub> i Ag* prikazan je pregled najnovijih istraživanja vezanih za sintezu i multifunkcionalna svojstva nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanokristala TiO<sub>2</sub> i/ili Ag, koja su bila od značaja prilikom izrade ove doktorske disertacije. Na osnovu detaljnog pregleda literature ustanovljeno je da je većina istraživanja koja se bave ovom tematikom usmerena prema kontrolisanoj modifikaciji površine tekstilnih vlakana, koja bi prethodila depoziciji nanokristala TiO<sub>2</sub> i/ili Ag. Takođe, ukazano je da najveći broj istraživanja podrazumeva upotrebu jakih redukcionih sredstava i stabilizatora, kao i komplikovanih metoda za sintezu nanočestica i nanokompozitnih tekstilnih materijala. Na kraju, istaknute su i obrazložene prednosti sinteze nanokompozitnih tekstilnih materijala postupkom *in situ* fotoredukcije Ag<sup>+</sup>-jona na površini nanokristala TiO<sub>2</sub> deponovanih na tekstilnom materijalu, koja je izabrana za sintezu tekstilnih nanokompozita u ovoj disertaciji.

Podpoglavlje *Biodegradacija tekstilnih materijala*, sa druge strane, daje kritičku procenu uticaja nanočestica TiO<sub>2</sub>/Ag na prirodni proces biodegradacije tekstilnih materijala u zemlji. Uočeno je da se veoma mali broj istraživanja odnosi na ovu problematiku, iako postoji potreba za uvođenjem standardne mere za procenjivanje ekološke prihvatljivosti tekstilnih proizvoda. Kroz osnovne pojmove o biodegradaciji i posebno biodegradaciji tekstilnih materijala u zemlji, u ovom delu je predstavljen detaljan uvod u navedenu problematiku. Posebna pažnja je posvećena metodama za procenu biodegradacije tekstilnih materijala u zemlji, faktorima koji utiču na biodegradaciju, aktivnostima i ulozi mikroorganizama, kao i biodegradaciji pamučnih i poliestarskih vlakana.

***Eksperimentalni deo*** je organizovan u tri celine. Prvi deo obuhvata osnovne podatke o upotrebljenim tekstilnim supstratima (poliester (PET); pamuk (CO); mešavina pamuk/poliester, (CO/PET)), hemikalijama, kao i karakteristikama zemlje korišćene pri ispitivanju biodegradacije. U drugoj celini prikazan je detaljan opis sinteze nanočestica i nanotuba TiO<sub>2</sub>, obrade tekstilnog materijala nanočesticama, odnosno nanotubama TiO<sub>2</sub>, sinteze nanočestica TiO<sub>2</sub>/Ag u rastvoru, kao i izabrane *in situ* sinteze nanočestica Ag na površini nanokristala TiO<sub>2</sub> deponovanih na tekstilnom materijalu. Trećom celinom obuhvaćene su eksperimentalne metode i tehnike koje su korišćene za strukturnu, optičku i morfološku karakterizaciju sintetisanih nanočestica, nanokompozita i

nanokompozitnih tekstilnih materijala. Kroz testove antimikrobne aktivnosti nanokompozitnih tekstilnih materijala, postojanosti antimikrobne aktivnosti nanokompozitnih tekstilnih materijala na pranje, otpuštanja Ag sa nanokompozitnih tekstilnih materijala u veštačkom znoju i UV zaštitnih svojstava nanokompozitnih tekstilnih materijala ispitani su potencijal i stabilnost sintetisanih tekstilnih nanokompozita, dok je testom biodegradacije u zemljištu procenjen uticaj prisustva nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  na biodegradaciju tekstilnih materijala.

Poglavlje **Rezultati i diskusija** je tematski podeljeno u tri celine: *Nanokompoziti na bazi nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i tkanina*, *Nanokompoziti na bazi nanotuba  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i tkanina* i *Biodegradacija nanokompozitnih tekstilnih materijala*.

Celina *Nanokompoziti na bazi nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i tkanina* odnosi se na ispitivanje svojstava nanokompozitnih tekstilnih materijala sintetisanih metodom fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini koloidnih nanočestica  $\text{TiO}_2$  deponovanih na PET, CO i CO/PET tekstilnom materijalu. U ovom delu prvenstveno su prikazani i prodiskutovani rezultati karakterizacije koloidnih nanočestica  $\text{TiO}_2$  sintetisanih metodom kisele hidrolize  $\text{TiCl}_4$ , kojom je omogućeno dobijanje nanočestica uske raspodele veličina i kristalne forme anatas sa prečnikom od  $\sim 6$  nm. Fokus je potom prebačen na mogućnost sinteze nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  u rastvoru izabranim sintetskim postupkom fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini koloidnih nanočestica  $\text{TiO}_2$  površinski modifikovanih amino-kiselinom alaninom. Rezultati morfološke analize su potvrdili dobijanje nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  u rastvoru prosečne veličine od 40 - 50 nm. Praćenjem promena optičkih svojstava nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  sa promenom vremena osvetljavanja (UV-Vis), ustanovljeno je da se produžavanjem vremena osvetljavanja značajno utiče na efikasnost fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini nanočestica  $\text{TiO}_2$ , a samim tim i na efikasnost sinteze nanočestica Ag. FTIR analiza je potvrdila postojanje interakcije između nanočestica Ag i nanočestica  $\text{TiO}_2$  površinski modifikovanih alaninom, na osnovu čega je predložena moguća struktura njihovog vezivanja. Navedeni preliminarni rezultati otvorili su put za mogućnost sinteze nanokompozita na bazi nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i poliestarske tkanine (PET+ $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ ), nanokompozita na bazi nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i pamučne tkanine (CO+ $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i CO+ $\text{TiO}_2/\text{Ag}^{\text{m}}$ ) i nanokompozita na bazi nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i pamuk/poliestar tkanine (CO/PET+ $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ ) izabranim postupkom fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini koloidnih nanočestica  $\text{TiO}_2$ , prethodno deponovanih na PET, CO i CO/PET tkanini. Analizom morfologije površine sintetisanih tekstilnih nanokompozita potvrđeno je prisustvo nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  ( $\sim 70$  nm), dok je strukturalna analiza sintetisanih nanokompozitnih tekstilnih materijala, pokazala prisustvo anatas kristalne forme  $\text{TiO}_2$  i površinski centrirane kubne rešetke Ag metalne faze. EDX spektroskopijom potvrđena je uspešna depozicija sintetisanog Ag na površini nanočestica  $\text{TiO}_2$ . Analiza hemijskog sastava površine nanokompozitnih tekstilnih materijala, izvršena XPS metodom uz mapiranje uzoraka, potvrdila je uspešnost depozicije nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  na tekstilna vlakna. Antimikrobna aktivnost nanokompozitnih tekstilnih materijala ispitana je primenom indikatorskih bakterija i standardnog testa ASTM E 2149-01, Gram-negativne *Escherichia coli* i Gram-pozitivne *Staphylococcus aureus*, kao i gljivice *Candida albicans*, pri čemu je pokazana značajna redukcija rasta ispitivanih mikroorganizama ( $R = 99,9\%$ ). Postojanost antimikrobne aktivnosti nanokompozitnih tekstilnih materijala testirana je prema istim mikroorganizmima nakon deset ciklusa pranja, ukazujući na odličnu postojanost dobijenog efekta. Stabilnost nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  u nanokompozitima ispitana je u veštačkom znoju pri različitim pH-vrednostima (5,5 i 8,0). Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da do otpuštanja Ag dolazi u obe vrste veštačkog znoja, i pri niskim i pri visokim pH-vrednostima. Ispitivanja optičkih svojstava ukazala su da svi sintetisani

tekstilni nanokompoziti pokazuju maksimalnu zaštitu od UV zračenja (50+), čak i nakon deset ciklusa pranja.

Drugi deo *Nanokompoziti na bazi nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag i tkanina* odnosi se na ispitivanje svojstava nanokompozitnih tekstilnih materijala sintetisanih metodom fotoredukcije Ag<sup>+</sup>-jona na površini nanotuba TiO<sub>2</sub> modifikovanih alaninom i prethodno deponovanih na CO i CO/PET tekstilnom materijalu, pri čemu su, u cilju povećanja efikasnosti adsorpcije nanotuba TiO<sub>2</sub> na tekstilnim vlaknima, tkanine prethodno modifikovane polimerom poli(etileniminom). Početak ovog poglavlja odnosi se na karakterizaciju samih *nanotuba TiO<sub>2</sub>*, sintetisanih hidrotermalnom metodom, kojom je omogućeno dobijanje nanotuba uske raspodele veličina i kristalne forme anatas, čija dužina iznosi ~ 100 nm, a prečnik ~ 10 nm. FTIR analizom *nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag* potvrđena je uspešna interakcija između nanočestica Ag i nanotuba TiO<sub>2</sub>, kao i mogućnost postojanja drugačijeg načina vezivanja između atoma Ti i karboksilne grupe alanina, u poređenju sa približno sfernim nanočesticama TiO<sub>2</sub>, što je posledica različite zakrivljenosti i izloženosti različitih kristalnih ravni na površini nanotuba TiO<sub>2</sub>. Na osnovu dobijenih rezultata predložena je moguća struktura vezivanja nanočestica Ag za nanotube TiO<sub>2</sub> modifikovane alaninom. Ispitivanjem morfoloških svojstava, kristalne strukture i hemijskog sastava površine nanokompozita na bazi nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag i pamučne tkanine (CO+nt-TiO<sub>2</sub>/Ag), kao i nanokompozita na bazi nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag i pamuk/poliestar tkanine (CO/PET+nt-TiO<sub>2</sub>/Ag), potvrđena je uspešna depozicija nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag na tekstilna vlakna i njihova uniformna raspodela. Testiranjem antibakterijske aktivnosti nanokompozitnih tekstilnih materijala prema bakterijama *E. coli* i *S. aureus* potvrđena je značajna antibakterijska aktivnost sintetisanih tekstilnih nanokompozita (R = 99,9%), pri čemu je ostvarena i odlična postojanost antimikrobne aktivnosti nakon pet ciklusa pranja. Ispitivanje stabilnosti nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag u nanokompozitima, testirano u veštačkom znoju (pH 5,5 i 8,0), pokazalo je približno jednako otpuštanje Ag u obe vrste veštačkog znoja, kao posledica puferske prirode poli(etilenimina). Analizom optičkih svojstava je ustanovljeno da sintetisani tekstilni nanokompoziti na bazi nanotuba TiO<sub>2</sub>/Ag pokazuju maksimalnu zaštitu od UV zračenja (50+) i nakon pet ciklusa pranja, značajno veću nego što je to bio slučaj kod nanočestica TiO<sub>2</sub>/Ag.

Treća celina *Biodegradacija nanokompozitnih tekstilnih materijala* posvećena je biodegradaciji nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanočestica TiO<sub>2</sub>/Ag u zemlji. Rezultati testiranja biodegradacije standardnom metodom zakopavanja u zemlji (ISO 11721-1) pokazali su da nanočestice TiO<sub>2</sub>/Ag značajno usporavaju prirodnu biodegradaciju tekstilnih materijala. Ustanovljena je brža biodegradacija impregnirane CO/PET tkanine, u poređenju sa impregniranom CO tkaninom, kao posledica različite konstrukcije ispitivanih tkanina i manje količine sintetisanih nanočestica Ag u slučaju CO/PET tkanine. Ispitivanjem morfoloških (FESEM) i hemijskih (FTIR) promena nanokompozitnih tekstilnih materijala nakon 32 dana testiranja biodegradacije potvrđeno je značajno oštećenje CO vlakana u CO i CO/PET tkanini, dok su PET vlakna u CO/PET tkanini ostala nepromenjena.

U **Zaključku** su sumirani rezultati proizašli tokom izrade ove doktorske disertacije, koji su u saglasnosti sa postavljenim ciljevima.

Poglavlje **Literatura** obuhvata 384 literaturnih navoda iz oblasti aktuelnog istraživanja, koji se prožimaju kroz sva poglavlja ove disertacije.

### 3. OCENA DISERTACIJE

#### 3.1. Savremenost i originalnost

Obzirom na izraziti tehnološki razvoj, ostvaren poslednjih godina u svetu, ali i probleme vezane za energetske i aspekt zaštite životne sredine, nametnuta je potreba za razvijanjem novih materijala poboljšane i specifične funkcionalnosti. U skladu sa tim, multifunkcionalni tekstilni materijali predstavljaju jednu od četiri strateških oblasti istraživanja i inovacija u oblasti tekstilne industrije Evropske zajednice, što ukazuje na savremenost i opravdanost istraživanja u ovoj oblasti. Istraživanja prikazana u ovoj doktorskoj disertaciji su u potpunosti u skladu sa ovim savremenim trendovima, ali i u skladu sa Nacionalnom strategijom održivog razvoja, kao i Strategijom naučnog i tehnološkog razvoja Republike Srbije za period do 2020. godine.

Kompozitne tekstilne strukture, i posebno, funkcionalizovane tekstilne površine, kojima je moguće dostići potpuno nove i unapređene karakteristike tekstilnih materijala, predstavljaju jedan od glavnih prioriteta, pomerajući fokus istraživanja iz oblasti novih materijala na granične oblasti sa na primer medicinom ili biologijom u pravcu iznalaženja dobre antimikrobne aktivnosti prema patogenim mikroorganizmima, zaštiti od štetnog UV zračenja, samočišćenju, superhidrofilnosti/superhidrofobnosti, zaštiti od zapaljivosti, smanjenju elektrostatičnosti itd. Ova istraživanja su potencijalno i od velikog privrednog značaja, obzirom na specifične primene koje ovi materijali mogu imati u oblasti očuvanja zdravlja, higijene, zaštite, sporta, životne sredine itd.

Sa aspekta multifunkcionalnih karakteristika, pokazano je da nanokristali imaju izuzetnu ulogu u formiranju nanokompozita i funkcionalizaciji površine tekstilnih materijala, obzirom da imaju veliki odnos površine prema zapremini i da poseduju dobru disperzibilnost, što sve vodi multipliciranju očekivanog efekta u poređenju sa korišćenjem tradicionalnih aditiva mikroskopskih dimenzija. Nanokristali metala (Ag, Au), oksida metala ( $\text{TiO}_2$ , ZnO), kao i njihovi nanokompoziti, predstavljaju dobru alternativu za postizanje multifunkcionalnih svojstava različitih tekstilnih materijala, uključujući pamuk, poliestar, mešavinu pamuk/poliestar, poliamid, vunu, svilu itd.

Zavisno od veličine i raspodele veličina nanočestica, kao i morfologije i kristalne strukture, koje određuju njihove hemijske, optičke i električne karakteristike, moguće je postizanje specifičnih i novih svojstava tekstilnih nanokompozita. S tim u vezi, poznato je da Ag, posebno kada je u jonskom ili koloidnom stanju, poseduje izrazitu antimikrobnu aktivnost prema više od 650 vrsta patogenih mikroorganizama, kao što su bakterije, virusi i gljivice. Pri tome je u nizu dosadašnjih istraživanja pokazano da su nanočestice Ag veoma pogodne za funkcionalizaciju tekstilnih materijala i one se smatraju jednim od najviše eksploatisanih nanomaterijala u kontekstu poboljšanja antimikrobne aktivnosti tekstila. Sa druge strane, nanokristali  $\text{TiO}_2$  poseduju izrazita fotokatalitička svojstva, odnosno, sposobnost generisanja nosioca naelektrisanja pod dejstvom svetlosti odgovarajućeg intenziteta. Izvanredna fotokatalitička aktivnost nanokristala  $\text{TiO}_2$  čini ovaj materijal trenutno najatraktivnijim u postizanju različitih multifunkcionalnih svojstava tekstilnih materijala, uključujući samočišćenje, antimikrobnu aktivnost, UV zaštitna svojstva itd. Primenom ovih nanokristala, kao efikasnih blokatora UV zračenja, omogućen je razvoj zaštitnih tekstilnih materijala koji su sve potrebni, posebno u uslovima istanjenog ozonskog omotača.

Uporedo sa zahtevima za razvoj novih multifunkcionalnih tekstilnih materijala i kompozita, naglašava se i potreba za iznalaženjem inovativnih, ekonomičnih i efikasnih metoda njihovog dobijanja. Imajući u vidu ulogu i značaj nanomaterijala i nanotehnologija u razvoju savremenih

materijala i nanokompozita, potrebno je napomenuti da se inovativne metode sinteze prevashodno baziraju na tzv. „*bottom-up*” konceptu, koji podrazumeva sinteze nanokristalnih čestica iz rastvora prekursora neorganskih soli, alkoksida, koordinacionih jedinjenja i sl., kao polazne gradivne jedinice za formiranje finalne nanostrukture. U skladu sa tim, ova doktorska disertacija je koncipirana sa ciljevima u pravcu formiranja novih nanokompozitnih tekstilnih materijala, upotrebom nanokristala kontrolisanih oblika i morfologije ( $\text{TiO}_2$ , Ag), koji poseduju multifunkcionalna svojstva, odnosno izrazitu antimikrobnu aktivnost i UV zaštitna svojstva. U okviru ove disertacije nanokristali  $\text{TiO}_2$  različitih oblika, prethodno deponovani na tekstilne supstrate, iskorišćeni su za sintezu nanočestica Ag, uzimajući u obzir izvanrednu fotokatalitičku aktivnost nanokristala  $\text{TiO}_2$ , njihovu netoksičnost, biokompatibilnost, stabilnost, dostupnost i nisku cenu. U tom smislu, razvijen je postupak sinteze nanokompozitnih funkcionalnih tekstilnih materijala modifikovanih nanokristalima  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  metodom *in situ* fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini nanokristala  $\text{TiO}_2$  različitih oblika (nanočestice i nanotube), prethodno deponovanih na poliestarskoj, pamučnoj i pamuk/poliestar tkanini, što predstavlja jedan od posebnih doprinosa ovih istraživanja. Koloidne nanočestice  $\text{TiO}_2$  sintetisane su postupkom kisele hidrolize  $\text{TiCl}_4$ , dok su nanotube  $\text{TiO}_2$  sintetisane hidrotermalnom metodom. Navedenim postupkom sinteze nanokompozitnih tekstilnih materijala obezbeđeno je ostvarivanje željenih strukturnih, morfoloških i multifunkcionalnih karakteristika dobijenih materijala. Navedenim načinom *in situ* sinteze nanočestica Ag ostvarena je eliminacija dodatnih redukcionih sredstava i stabilizatora, koji su sa ekološkog aspekta često agresivni i neprihvatljivi. Površinskom modifikacijom nanokristala  $\text{TiO}_2$  amino-kiselinom alaninom, kao i uvođenjem metanola u sistem, ostvaren je efikasan proces fotoredukcije  $\text{Ag}^+$  jona tj. sinteze nanočestica Ag. Prednost opisanog postupka sinteze nanokompozitnih tekstilnih materijala ogleda se u istovremenoj sintezi i depoziciji nanočestica Ag na tekstilne materijale, redukovanom broju operacija, kao i stabilnosti nanokristala, što je vodilo postojanosti željenih efekata.

### 3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Izrada i pisanje ove doktorske disertacije uključila je detaljnu analizu literature iz oblasti nanokompozita i nanokompozitnih tekstilnih materijala, nanokristala metala i oksida metala, sa posebnim osvrtom na fotokatalitička svojstva nanokristala  $\text{TiO}_2$  i antimikrobnu aktivnost nanočestica Ag, mogućnostima sinteze nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ , kao i iz oblasti biodegradacije tekstilnih materijala i njihovih nanokompozita. U disertaciji je citirano 384 literaturnih navoda koji se odnose na aktuelne oblasti istraživanja u svetu, od kojih je 328 objavljeno posle 2000. godine, a 173 posle 2010. godine, što potvrđuje da tema doktorske disertacije pripada veoma aktuelnim oblastima nauke o nanomaterijalima i nanotehnologijama. Najveći broj literaturnih navoda se odnosi na radove iz međunarodnih časopisa, koji su tematski na liniji istraživanja značajnih za izradu doktorske disertacije. Kandidat je, nakon detaljnog pregleda, analize i diskusije istraživanja prikazanih u literaturi, izveo određene stavove i zaključke kao smernice daljeg istraživačkog rada i koncipiranja teze. Na osnovu spiska i kvaliteta navedene literature, Komisija je mišljenja da kandidat prati aktuelnosti u okviru svetskih istraživanja u ovoj oblasti i dobro je upoznat sa aktuelnim stanjem istraživanja u oblasti koje pokriva ova doktorska disertacija.



### 3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije podrazumevala su primenu odgovarajućih originalnih ili modifikovanih metoda iz literature za sintezu, kao i savremenih eksperimentalnih tehnika za karakterizaciju, kojima su potvrđivane početne pretpostavke. Oblik i veličina sintetisanih nanokristala  $\text{TiO}_2$  ispitani su tehnikama skenirajuće i transmisione elektronske mikroskopije (FESEM, TEM). Promena optičkih svojstava nanočestica  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  sa promenom vremena osvetljavanja analizirana je UV-Vis spektroskopijom u apsorpcionom modu, dok je u cilju dobijanja informacija o mogućoj interakciji  $\text{Ag}^+$ -jona i nanokristala  $\text{TiO}_2$  modifikovanih alaninom primenjena infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Ispitivanje kristalne strukture sintetisanih nanokristala  $\text{TiO}_2$  i nanokompozitnih tekstilnih materijala izvedeno je rendgenostrukturalnom analizom (XRD), dok je ukupan sadržaj Ag i Ti u uzorcima određen atomskom apsorpcionom spektroskopijom (AAS). Rendgenska fotoelektronska spektroskopija (XPS), uz mapiranje uzoraka, primenjena je u cilju utvrđivanja hemijskih promena na površini nanokompozitnih tekstilnih materijala, dok je hemijski sastav površine tekstilnih nanokompozita ispitan energetske-disperzivnom spektroskopijom X-zraka (EDX). Morfologija površine sintetisanih nanokompozitnih tekstilnih materijala analizirana je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (FESEM), a optičke karakteristike tekstilnih nanokompozita ispitivane su UV-Vis spektroskopijom u transmisionom modu. Antimikrobna aktivnost nanokompozitnih tekstilnih materijala testirana je primenom standardizovane metode (ASTM E 2149-01) za određivanje antimikrobne aktivnosti materijala i primenom indikatorskih bakterija, Gram-negativne *Escherichia coli* i Gram-pozitivne *Staphylococcus aureus*, kao i gljivice *Candida albicans*. Postojanost antimikrobne aktivnosti praćena je nakon pet i deset ciklusa pranja. Stabilnost nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  na tekstilnim materijalima ispitana je u veštačkom znoju pri različitim pH-vrednostima (5,5 i 8,0). Biodegradacija nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi pamuka i mešavine pamuk/poliestar u zemlji ispitana je standardnom metodom zakopavanja (ISO 11721-1).

### 3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati istraživanja realizovanih u okviru ove disertacije koji se odnose na sintezu tekstilnih nanokompozita sa antimikrobnim i UV zaštitnim svojstvima daju osnove za primenu u proizvodnji medicinskih, higijenskih i zaštitnih tekstilnih materijala, kao i sportske odeće, usled čega se nalaze u žiži interesovanja u oblasti. Naučna verifikacija rezultata ove doktorske disertacije potvrđena je većim brojem radova objavljenih u vrhunskim međunarodnim časopisima visokog impakt faktora.

### 3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Milica Milošević, dipl. inž. tehnologije, je tokom izrade ove doktorske disertacije ovladala velikim brojem eksperimentalnih tehnika za ispitivanje strukturalnih, optičkih i morfoloških svojstava nanomaterijala, kao i sintetskim postupcima za sintezu, kako nanokristalnih čestica, tako i tekstilnih nanokompozita. Takođe, ovladala je i metodama testiranja antimikrobnih svojstava i UV zaštitnih svojstava sintetisanih nanokompozitnih tekstilnih materijala. Prikupljanjem i analizom literaturnih podataka, planiranjem i izvođenjem velikog broja eksperimenata, obradom, razumevanjem i diskusijom dobijenih rezultata, kandidat je pokazao visok stepen samostalnosti. Objavljivanjem naučnih radova, nakon aktivnog učešća u njihovoj pripremi, kao i učestvovanjem na

međunarodnim konferencijama sa usmenim i posterskim saopštenjima, kandidat je pokazao visok stepen spremnosti za samostalni naučni rad. Na osnovu dosadašnjeg rada i postignutih rezultata Komisija smatra da kandidat Milica Milošević poseduje sve kvalitete, neophodne za samostalni naučni rad.

## 4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Kandidat Milica Milošević je u okviru ove doktorske disertacije ostvarila značajan doprinos u razvoju novih multifunkcionalnih nanokompozitnih tekstilnih materijala za potencijalnu primenu u proizvodnji medicinskih, higijenskih i zaštitnih tekstilnih materijala, kao i sportske odeće. Naime, u ovoj disertaciji je po prvi put realizovana sinteza nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  metodom *in situ* fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini nanokristala  $\text{TiO}_2$  različitih oblika (nanočestice i nanotube), prethodno deponovanih na tekstilnim materijalima (pamuk, poliestar i mešavina pamuk/poliestar). Takođe, prvi put je ostvarena površinska modifikacija nanotuba  $\text{TiO}_2$  amino-kiselinom alaninom, u cilju povećanja efikasnosti procesa fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na njihovoj površini, kao i njihova upotreba za sintezu multifunkcionalnog nanokompozitnog materijala na bazi nanotuba  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i različitih tkanina, što sve zajedno predstavlja naučni doprinos iznad aktuelnog stanja istraživanja u oblasti savremenih materijala.

Doktorska disertacija je imala za cilj sintezu i karakterizaciju nanokompozita koji poseduju antimikrobna svojstva i UV zaštitna svojstva i shodno tome, naučni doprinosi istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije se ogledaju u:

- Primeni i optimizaciji originalne metode za sintezu nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  i različitih tkanina metodom *in situ* fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini nanokristala  $\text{TiO}_2$  različitih oblika, prethodno deponovanih na tekstilnim materijalima. Navedeni način sinteze ne zahteva upotrebu dodatnih redukcionih sredstava i stabilizatora za sintezu nanokristala, kao ni komplikovanih metoda za sintezu nanokompozitnih tekstilnih materijala.
- Sagledavanju i efikasnom korišćenju dvostruke uloge nanokristala  $\text{TiO}_2$ : sa jedne strane kao fotoredukcionog agensa, a sa druge, kao materijala koji obezbeđuje UV zaštitna svojstva tekstilnim materijalima.
- Optimizaciji parametara sinteze, u smislu vremena obrade tekstilnih materijala nanokristalima  $\text{TiO}_2$ , termičkog tretmana na povišenoj temperaturi, kao i vremena osvetljavanja prilikom *in situ* sinteze nanočestica  $\text{Ag}$ , čime su ostvareni uslovi za poboljšanje antimikrobne aktivnosti različitih nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ , uz očuvanje svojstava samog tekstilnog materijala.
- Proširivanju saznanja iz domena korelacije strukturnih i morfoloških karakteristika nanokristala  $\text{TiO}_2$  (sfernih nanočestica i nanotuba) i funkcionalnih karakteristika (antimikrobna aktivnost, UV zaštitna svojstva, postojanost antimikrobne aktivnosti na pranje i stabilnosti nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  u veštačkom znoju) nanokompozitnih tekstilnih materijala.

- Analizi i proceni uticaja različitih nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  na proces biodegradacije nanokompozitnih tekstilnih materijala.
- Proširenju znanja iz oblasti savremenih multifunkcionalnih tekstilnih nanokompozita i njihovom daljem razvoju u pravcu eventualne primene u proizvodnji medicinskih, higijenskih i zaštitnih tekstilnih materijala, kao i sportske odeće.

#### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja prikazana u ovoj doktorskoj disertaciji su, nakon detaljne analize stanja istraživanja u oblasti, koncipirana sa ciljevima formiranja novih nanokompozita na bazi nanokristala kontrolisanih oblika i veličina ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ ) i različitih tekstilnih materijala, koji poseduju multifunkcionalna svojstva, odnosno, izrazitu antimikrobnu aktivnost i UV zaštitna svojstva. Pri tome je po prvi put za sintezu nanokompozitnih tekstilnih materijala korišćena metoda *in situ* fotoredukcije  $\text{Ag}^+$ -jona na površini nanokristala  $\text{TiO}_2$  različitih oblika (nanočestice i nanotube), prethodno deponovanih na tekstilnim materijalima, koja je obezbedila ostvarivanje željenih strukturnih, morfoloških i multifunkcionalnih karakteristika. Tokom realizacije istraživanja u okviru ove doktorske disertacije primenjene su savremene eksperimentalne tehnike za strukturnu, morfološku i optičku karakterizaciju, kao i za testiranje multifunkcionalnih svojstava, što je kandidatu omogućilo precizno tumačenje dobijenih rezultata i formiranje ispravnih zaključaka. U postupku sinteze nanokompozitnih tekstilnih materijala po prvi put je izvršena i površinska modifikacija nanotuba  $\text{TiO}_2$ , prethodno deponovanih na tekstilna vlakna, amino-kiselinom alaninom, u cilju povećanja efikasnosti redukcije  $\text{Ag}^+$ -jona i formiranja nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ , što sve zajedno predstavlja naučni doprinos iznad aktuelnog stanja istraživanja u oblasti savremenih materijala. Na kraju, posebna pažnja je posvećena i biodegradaciji nanokompozitnih tekstilnih materijala u zemlji, u cilju procene uticaja nanokristala  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  na proces biodegradacije tekstilnih materijala. Upoređivanjem postavljenih ciljeva i koncepta teze sa postignutim rezultatima, može se konstatovati da ostvarena istraživanja u potpunosti zadovoljavaju kriterijume doktorske disertacije. Takođe, na osnovu primenjenih odgovarajućih savremenih metoda istraživanja i analize, može se zaključiti da su rezultati proistekli iz ove doktorske disertacije značajni ne samo sa naučnog, već i sa praktičnog aspekta.

#### 4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Milica Milošević je ostvarila značajne rezultate u ovoj oblasti istraživanja, koji su verifikovani objavljenim radovima u časopisima međunarodnog značaja i saopštenjima na međunarodnim skupovima. Iz ove doktorske disertacije proisteklo je pet radova publikovanih u međunarodnim časopisima i četiri saopštenja na međunarodnim skupovima i to: tri rada objavljena u međunarodnim časopisima izuzetne vrednosti (M21a), jedan rad objavljen u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21), jedan rad objavljen u međunarodnom časopisu (M23), dva saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u celini (M33) i dva saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u izvodu (M34). Na svim radovima kandidat je prvi autor. Kandidat je i koautor jednog rada objavljenog u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) koji se takođe odnosio na nanokompozitne tekstilne materijale, ali je van okvira ove doktorske disertacije.

## ***Oblast teme doktorske disertacije***

### **Kategorija M21a:**

1. **Milošević, M.**, Radoičić, M., Šaponjić, Z., Nunney, T., Deeks, C., Lazić, V., Mitrić, M., Radetić, T., Radetić, M.: In situ photoreduction of Ag<sup>+</sup>-ions by TiO<sub>2</sub> nanoparticles deposited on cotton and cotton/PET fabrics, -*Cellulose*, vol. 21, no. 5, pp. 3781-3795, 2014 (**IF=3.573**) (ISSN 0969-0239)
2. **Milošević, M.**, Šaponjić, Z., Nunney, T., Deeks, C., Radoičić, M., Mitrić, M., Radetić, T., Radetić, M.: In situ photoreduction of Ag<sup>+</sup>-ions on the surface of titania nanotubes deposited on cotton and cotton/PET fabrics, -*Cellulose*, vol. 24, no. 3, pp. 1597-1610, 2017 (**IF=3,68**) (ISSN 0969-0239).
3. **Milošević, M.**, Krkobabić, A., Radoičić, M., Šaponjić, Z., Radetić, T., Radetić, M.: Biodegradation of cotton and cotton/polyester fabrics impregnated with Ag/TiO<sub>2</sub> nanoparticles in soil, -*Carbohydrate Polymers*, vol. 158, pp. 77-84, 2017 (**IF=5,15**) (ISSN 0144-8617).

### **Kategorija M21:**

1. **Milošević, M.**, Radoičić, M., Šaponjić, Z., Nunney, T., Marković, D., Nedeljković, J., Radetić, M.: In situ generation of Ag nanoparticles on polyester fabrics by photoreduction using TiO<sub>2</sub> nanoparticles, -*Journal of Materials Science*, vol. 48, no. 16, pp. 5447-5455, 2013 (**IF=2,305**) (ISSN 0022-2461).

### **Kategorija M23:**

1. **Milošević, M.**, Krkobabić, A., Radoičić, M., Šaponjić, Z., Lazić, V., Stojilković, M., Radetić, M.: Antibacterial and UV protective properties of polyamide fabric impregnated with TiO<sub>2</sub>/Ag nanoparticles, -*Journal of the Serbian Chemical Society*, vol. 80, no. 5, pp. 705-715, 2015 (**IF= 0.970**) (ISSN 0352-5139).

### **Kategorija M33:**

1. **Milošević, M.**, Radoičić, M., Šaponjić, Z., Nunney, T., Marković, D., Nedeljković, J., Jovančić, P., Radetić, M.: "Antimicrobial activity of Ag nanoparticles on polyester fabrics generated by photoreduction using TiO<sub>2</sub> nanoparticles," - *Proceedings of the 13<sup>th</sup> Autex World Textile Conference 2012*, Dresden, Germany, 2012 (ISBN 978-3-86780-343-4).
2. **Milošević, M.**, Krkobabić, A., Lazić, V., Radoičić, M., Šaponjić, Z., Radetić, M.: "Biodegradation of cotton and cotton/polyester fabrics impregnated by Ag/TiO<sub>2</sub> nanoparticles," - *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Autex World Textile Conference 2016*, Ljubljana, Slovenia, 2016 (ISBN 978-961-6900-17-1).

### Kategorija M34:

1. **Milošević, M.**, Radoičić, M., Šaponjić, Z., Marković, D., Nedeljković, J., Radetić, M.: "In situ generation of Ag nanoparticles by photoreduction with TiO<sub>2</sub> nanoparticles deposited onto cotton fabric," *Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes EUROMAT 2013*, Sevilla, Spain, 2013, pp. 145.
2. **Milošević, M.**, Radoičić, M., Šaponjić, Z., Nunney, T., Deeks, C., Lazić, V., Mitrić, M., Radetić, T., Radetić, M.: "In situ photoreduction of Ag<sup>+</sup>-ions by TiO<sub>2</sub> nanoparticles deposited on cotton and cotton/polyester fabrics," *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference of Advances in Materials and Processing Technologies AMPT 2015*, Madrid, Spain, 2015, pp.125.

### *Oblast van teme doktorske disertacije*

### Kategorija M21:

1. Radoičić, M., **Milošević, M.**, Miličević, D., Suljovrujić, E., Ćirić - Marjanović, G., Radetić, M., Šaponjić, Z.: Influence of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on formation mechanism of PANI/TiO<sub>2</sub> nanocomposite coating on PET fabric and its structural and electrical properties, -*Surface & Coatings Technology*, vol. 278, pp. 38-47, 2015 (**IF=2,139**) (ISSN 0257-8972).

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega navedenog Komisija smatra da rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije daju veliki doprinos povećanju nivoa znanja u oblasti multifunkcionalnih nanokompozitnih tekstilnih materijala na bazi nanokristala  $TiO_2$  i Ag. Predmet i ciljevi koji su postavljeni su jasno navedeni i u potpunosti ostvareni. Kandidat, Milica Milošević, je pokazala stručnost, samostalnost i sistematičnost u toku izrade doktorske disertacije. Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih i prikazanih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj Referat, pruži na uvid javnosti podnetu doktorsku disertaciju pod nazivom „*Nanokompoziti sa antimikrobnim svojstvima sintetisani fotoredukcijom jona srebra na površini nanokristala titan(IV)-oksida različitih oblika deponovanih na tekstilnim materijalima*“ kandidata Milice Milosević, dipl. inž. tehnologije, u zakonom predviđenom roku, kao i da Referat uputi Veću naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu i da nakon završetka procedure pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

U Beogradu 19.06.2017. godine

### ČLANOVI KOMISIJE

---

dr Marija Nikolić, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

dr Marija Radoičić, naučni saradnik  
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“

---

dr Maja Radetić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

dr Zoran Šaponjić, naučni savetnik  
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“

---

dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

dr Jasmina Nikodinović-Runić, naučni savetnik  
Univerzitet u Beogradu, Institut za molekularnu genetiku  
i genetičko inženjerstvo