

**UNIVERZITET U BEOGRADU  
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET**

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU**

**Predmet:** Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Mohameda Mohameda Abudabbusa

Odlukom br. 35/380 od 26.10.2017. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Mohameda Mohameda Abudabbusa, master hem., pod naslovom:

**ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA  
POLIVINIL-ALKOHOLA i NANOČESTICA SREBRA**

**(ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF  
POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER  
NANOPARTICLES)**

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

**R E F E R A T**

o urađenoj doktorskoj disertaciji.

**1. UVOD**

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

**Školske 2013/2014.** godine kandidat Mohamed Mohamed Abudabbus, master hem., je upisao Doktorske akademske studije na Univerzitetu u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, studijski program Hemija.

**5.10.2016.** – Kandidat Mohamed Mohamed Abudabbus, master hem., predložio je temu doktorske disertacije pod naslovom: „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA i NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“.

**24.11.2016.** - Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu donelo je odluku o imenovanju Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA i NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“ (Odluka br. 35/501 od 24.11.2016. godine) Mohameda Mohameda Abudabbusa, master hem.

**29.12.2016.** - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta usvojen je izveštaj Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata za izradu doktorske disertacije pod

nazivom: „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA I NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“, a za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor Univerziteta u Beogradu, Tehnolološko-metalurški fakultet (Odluka br. 35/649 od 29.12.2016.godine).

**2.2.2017.** - Na sednici Veća naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Mohameda Mohameda Abudabbusa, master hem., pod nazivom: „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA I NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“ (Odluka br. 61206-134/2-17 od 2.02.2017. godine).

**26.10.2017.** - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o imenovanju članova Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije Mohameda Mohameda Abudabbusa, master hem., pod nazivom: „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA I NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“ (Odluka br. 35/380 od 26.10.2017. godine). Komisija za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije je za predsednika izabrala dr Vesnu Mišković-Stanković, red. prof.

## 1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija za koju je matična ustanova Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor je dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor TMF, koja je na osnovu dosadašnjih objavljenih publikacija i iskustva kompetentna da rukovodi izradom ove disertacije.

## 1.3. Biografski podaci o kandidatu

Mohamed Mohamed Abudabbus je rođen 01.01.1966 u Misurati, Libija. Diplomске studije je završio 1988. godine, a master studije 1996. na Fakultetu prirodnih nauka iz oblasti hemije (*Faculty of Science, Chemistry*), na Univerzitetu u Misurati (*University of Misurata*), u Misurati, Libija. Bio je saradnik na koledžu *College of Teachers*, Univerzitet u Misurati, od 2003. do 2006. godine; na koledžu *College of Teachers*, Univerzitet u Elmergabuu, u Msilati, od 2005. do 2006. godine; na fakultetu *Faculty of Teachers*, Univerzitet u Elmergabuu, u Zlitenu, od 2006. do 2007. godine, i na Fakultetu prirodnih nauka, Univerzitet u Misurati, od 2008. do 2010. godine. Izabran je u zvanje asistent predavač (*Assistant lecturer*) na Učiteljskom fakultetu (*Faculty of Education*), Univerzitet u Misurati, novembra 2011., a u zvanju predavač (*Lecturer*) je od jula 2013. godine na istom fakultetu.

Mohamed Mohamed Abudabbus je upisao doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu školske 2013/2014. godine, studijski program Hemija, pod rukovodstvom prof. dr Vesne Mišković-Stanković. U okviru doktorskih studija položio je sve ispite, kao i Završni ispit. Koautor je 2 rada u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti kategorije M21a, 1 rada u međunarodnom časopisu kategorije M23 i 2 saopštenja na međunarodnim skupovima štampanim u izvodu, kategorije M34. Tečno govori i piše engleski jezik i služi se srpskim jezikom (sertifikat o uspešno završenom nivou srpskog jezika A2-2).

## 2. OPIS DISERTACIJE

### 2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Mohameda Mohameda Abudabbusa, master hem., pisana je na engleskom jeziku i sadrži 105 strana A4 formata, 32 slike, 8 tabela i 205 literaturnih navoda. Doktorska disertacija sadrži sledeća poglavlja: *Uvod, Teorijski deo, Cilj istraživanja, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak, Literatura, Dodatak, Biografija i Prilozi*. Prilozi sadrže izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju.

### 2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom delu disertacije su opisani nanokompozitni hidrogelove polimera i nanočestica metala, sa posebnim osvrtom na nanokompozitne hidrogelove polivinil-alkohola sa nanočesticama srebra i grafenom, što je i predmet rada ove doktorske disertacije. Teorijski deo se sastoji od sledećih poglavlja: Polimeri, Nanočestice srebra, Grafen, Metoda uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja, Karakterizacija nanokompozitnih hidrogelova sa srebrom i Mehaničke karakteristike hidrogelova. U poglavlju pod nazivom *Polimeri* opisana su svojstva, sastav i primena nanokompozitnih polimernih hidrogelova, uz poseban osvrt na nanokompozite polivinil-alkohola i nanočestica srebra. Poglavlje *Nanočestice srebra* opisuje fizičko-hemijska svojstva i načine sinteze nanočestica srebra u hidrogelu polivinil-alkohola. Takođe, opisane su karakteristike nanočestica srebra značajne za njihovu najčešću primenu, u medicini, kao antimikrobni agensi. U poglavlju pod nazivom *Grafen* opisana su fizičko-hemijska svojstva grafena i nanokompozita polivinil-alkohola i grafena, značajna za njihovu primenu u medicini. U poglavlju *Metoda uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja* je opisan postupak dobijanja hidrogelova polivinil-alkohola i polivinil-alkohola sa grafenom metodom uzastopnog zamrzavanja i odmrzavanja u nekoliko ciklusa, u koje se naknadnom elektrohemijom redukcijom jona srebra na konstantnom naponu dobijaju nanočestice srebra unutar hidrogela. U poglavlju *Karakterizacija nanokompozitnih hidrogelova sa srebrom* opisana su antimikrobna svojstva, citotoksičnost, otpuštanje srebra i sorpcione karakteristike hidrogelova polivinil-alkohola sa nanočesticama srebra radi njihove primene u medicini kao obloga za rane i implantata za meka tkiva. U poglavlju *Mehaničke karakteristike hidrogelova* prikazana su mehanička svojstva hidrogelova polivinil-alkohola. U poglavlju *Cilj istraživanja* ukazano je na cilj ove doktorske disertacije da se elektrohemijom *in situ* sintezom u hidrogelu dobiju nanokompoziti polivinil alkohola i srebra, sa i bez grafena, u obliku diskova željenih svojstava, i da se primenom elektrohemijske sinteze dobiju nanokompoziti kontrolisanog sastava sa optimalnim karakteristikama za biomedicinsku primenu.

U eksperimentalnom delu su navedeni materijali korišćeni u radu, elektrohemijom *in situ* sinteza nanočestica srebra u hidrogelu da bi se dobili nanokompoziti polivinil-alkohola i srebra, sa i bez grafena, i metode karakterizacije sintetisanih nanokompozitnih hidrogelova. Nanokompozitni hidrogelovi srebro/polivinil-alkohol (Ag/PVA) i srebro/polivinil-alkohol/grafen (Ag/PVA/Gr) dobijeni elektrohemijom *in situ* sintezom su ispitani ultraljubičastom i vidljivom (UV-Vis) spektroskopijom i difrakcijom X zraka, za dokazivanje prisustva nanočestica srebra; visoko rezolucijom skenirajućom elektronskom mikroskopijom (FE-SEM), za određivanje veličine i morfologije nanočestica srebra; cikličnom voltametrijom (CV) i infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom (*Fourier*) transformacijom (FT-IR), za utvrđivanje vrste interakcija između nanočestica srebra i polivinil-alkohola; Ramanskom spektroskopijom, za dokazivanje grafena; termogravimetrijskom analizom (TGA), za određivanje termičke stabilnosti hidrogelova; i gravimetrijskom metodom određivanja sorpcionih karakteristika. Takođe, ispitana je kinetika otpuštanja srebra praćenjem koncentracije otpuštenih jona srebra u rastvoru primenom atomske apsorpcione spektroskopije (AAS), kao i citotoksičnost nanokompozitnih hidrogelova (MTT testom) i antibakterijska aktivnost (agar difuzionim testom i testom u bakterijskoj suspenziji).

U delu Rezultati i diskusija eksperimentalno dobijeni rezultati detaljno su analizirani i diskutovani u okviru četiri poglavlja. U poglavlju *Elektrohemijska sinteza nanočestica srebra unutar PVA i PVA/Gr hidrogela* prikazana je sinteza i karakterizacija nanočestica srebra u PVA i PVA/Gr hidrogelu, kao i pretpostavljeni mehanizam sinteze. U poglavljima *UV-Vis analiza i FE-SEM skenirajuća mikroskopija* dokazano je prisustvo nanočestica srebra u Ag/PVA i Ag/PVA/Gr hidrogelu ultraljubičastom i vidljivom (UV-Vis) spektroskopijom na osnovu apsorpcionih traka na oko 400 nm, kao i FE-SEM skenirajućom mikroskopijom. FE-SEM merenja su pokazala manje dimenzije nanočestica srebra u Ag/PVA/Gr hidrogelu (prečnika oko 16 nm) u odnosu na nanočestica srebra u Ag/PVA hidrogelu (prečnika oko 37 nm) što je objašnjeno prisustvom slojeva grafena između polimernih lanaca PVA. U poglavlju *Ramanska spektroskopija* dokazano je prisustvo grafena u Ag/PVA/Gr hidrogelu na osnovu karakteristične D trake na  $1372\text{ cm}^{-1}$  i G trake na  $1581\text{ cm}^{-1}$ .

Ciklična voltametrij (poglavljje *Ciklična voltametrij*), infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (poglavljje *Infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom*) i difrakcija X- zraka (poglavljje *Difrakcija X- zraka*) su potvrdile postojanje interakcija između nanočestica srebra, polivinil-alkohola i grafena. Naime, ukazano je na vezivanje nanočestica srebra i hidrosilnih grupa u lancima PVA, kao i između PVA lanaca i slojeva grafena. Takođe, potvrđena je pretpostavka da slojevi grafena koji se nalaze između PVA lanaca sprečavaju aglomeraciju nanočestica srebra, što ima za posledicu manje dimenzije nanočestica srebra u Ag/PVA/Gr hidrogelu, kao što su i pokazale UV-Vis spektroskopija i FE-SEM skenirajuća mikroskopija. U poglavlju *Termička analiza* prikazani su rezultati termogravimetrijske analize (TGA, DTG) i diferencijalne skenirajuće kalorimetrije (DSC) koji su pokazali da su PVA/Gr and Ag/PVA/Gr hidrogelovi termički stabilniji u odnosu na PVA i Ag/PVA hidrogelove, redom, zbog prisustva grafena.

U poglavljima *Citotoksičnost i Antibakterijska aktivnost* je razmatrana mogućnost upotrebe ovih materijala u medicini. Ispitivanjem citotoksičnosti Ag/PVA i Ag/PVA/Gr hidrogelova u funkciji koncentracije srebra MTT testom utvrđeno je da nanokompozitni hidrogelovi dobijeni iz polaznog rastvora za bubrenje koji je sadržao  $\text{AgNO}_3$  u koncentraciji od 1 mM ispoljavaju samo blago toksično dejstvo prema mononuklearnim ćelijama periferne krvi, istovremeno pokazujući antibakterijsko dejstvo prema bakterijama *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli*. U poglavljima *Otpuštanje srebra i Sorpcione karakteristike* ispitivana je kinetika otpuštanja srebra iz Ag/PVA i Ag/PVA/Gr hidrogelova sa različitim koncentracijama srebra u rastvoru simulirane telesne tečnosti (SBF) na  $37\text{ }^\circ\text{C}$ . Rezultati ispitivanja otpuštanja srebra su modelovani difuzionim modelom. Navedeno je da se iz dobijenih rezultata može zaključiti da bi Ag/PVA i Ag/PVA/Gr nanokompozitni hidrogelovi mogli biti primenljivi kao obloge za tretman rana i kao implantati za meka tkiva, bez nepovoljnih efekata u odnosu na okolno tkivo. Stoga, rezultati ove doktorske disertacije predstavljaju atraktivne biokompatibilne materijale, tj. kompozitne hidrogelove polivinil-alkohola, nanočestica srebra i grafena, čiji potencijal primene treba dalje istražiti u *in vivo* uslovima.

U Zaključku su sažeto izneti postignuti rezultati istraživanja, a koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije.

Poglavljje Literatura obuhvata 205 literaturnih navoda iz oblasti istraživanja i pokriva sve delove disertacije.

Na kraju je dat Dodatak sa tabelama koje nisu prikazane u tekstu, potom Biografija kandidata, kao i izjava o autorstvu, izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjava o korišćenju.

### **3. OCENA DISERTACIJE**

#### **3.1. Savremenost i originalnost**

Nanočestice srebra se koriste u različitim oblastima, od elektronike, skladištenja podataka, optike, do biomedicine. Biomedicinska primena je pre svega posledica izuzetnog antimikrobnog dejstva nanočestica srebra. Nanočestice srebra deluju antibakterijski,

antifungalno, antiviralno, prema velikom broju mikroorganizama. Budućnost primene nanočestica srebra se pre svega vidi u dejstvu prema mikroorganizmima rezistentnim na postojeće antibiotske lekove. Smatra se da mikroorganizmi teže razvijaju rezistentnost prema srebru, nego prema drugim antibiotskim preparatima, jer srebro deluje na više aktivnih mesta u mikroorganizmima, i to putem nekoliko mehanizama. Ipak, istraživanja su i dalje u razvitku, jer se još uvek traže nanokompoziti sa adekvatnim odnosom antimikrobno dejstvo/citotoksičnost, s obzirom da biomedicinska primena podrazumeva izostanak toksičnosti materijala prema okolnom tkivu. Kako dejstvo nanočestica srebra zavisi od više faktora (veličine, oblika, modifikacije površine), a njihova antimikrobna aktivnost i citotoksičnost i od koncentracije nanočestica srebra, oblika u kom se srebro otpušta, vrste ćelija na koje deluju i dužine izlaganja, velike su mogućnosti za optimizaciju dobijanja proizvoda (nanokompozita) sa željenim svojstvima. Takođe, s obzirom na raznovrsnost uslova sinteze, a samim tim i karakteristika dobijenih nanočestica/nanokompozita, ispitivanja antimikrobnog dejstva i citotoksičnosti je potrebno vršiti ponaosob od slučaja do slučaja.

U ovoj disertaciji nanočestice srebra su dobijene *in situ* elektrohemijskom sintezom u hidrogelu PVA, odnosno PVA i grafena. Iskorišćene su prednosti elektrohemijske sinteze, koje se ogledaju u dobijanju malih čestica metala visoke čistoće, sa manjim brojem hemikalija, što je od izuzetnog značaja za primenu u medicini, kao i u mogućnosti precizne kontrole veličine nanočestica podešavanjem vrednosti primenjenog napona. Dobijeni Ag/PVA i Ag/PVA/Gr nanokompozitni hidrogelovi su pokazali svojstva adekvatna za primenu u medicini kao obloge za rane i impantati za meka tkiva zbog dokazane blage citotoksičnosti, antibakterijske aktivnosti i produženog vremena otpuštanja nanočestica srebra. Paralelnim ispitivanjem citotoksičnosti i antibakterijskog dejstva sintetisanih hidrogelova sa različitim koncentracijama srebra, pronađena je optimalna koncentracija nanočestica srebra koja omogućava antibakterijsko dejstvo uz blagu citotoksičnost od 1 mM AgNO<sub>3</sub> u polaznom rastvoru za bubrenje hidrogelova. Inkorporisanje nanočestica srebra u polimernom hidrogelu omogućava njihovo produženo otpuštanje, što obezbeđuje sterilnost biomaterijala u dužem vremenskom periodu.

### 3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji citirana su 205 literaturnih navoda koji se odnose na istraživanja kompozitnih materijala sa polimernom matricom. Tokom izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao dostupnu literaturu vezanu za metode sinteze nanočestica srebra u polimernim hidrogelovima, karakterizaciju i primenu dobijenih nanokompozita. Na osnovu detaljnog pregleda literature predložena je metoda *in situ* elektrohemijske sinteze nanočestica srebra u polimernoj matrici, kao i prvi put primenjena metoda elektrohemijske sinteze nanočestica srebra u PVA i PVA/Gr hidrogelu. Navedene reference sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja različitih istraživačkih grupa, analizu i diskusiju dobijenih rezultata i izvedene zaključke u oblasti istraživanja dobijanja polimernih nanokompozita, njihovih svojstava i primene. U okviru korišćenih literaturnih navoda nalaze se i reference kandidata proistekle iz rezultata istraživanja u oblasti doktorske disertacije, a koje su objavljene u časopisima međunarodnog značaja. Iz obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova koje je kandidat priložio, kao i iz popisa literature koja je korišćena u istraživanju, uočava se adekvatno poznavanje aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

### 3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Nanokompozitni hidrogelovi srebro/polivinil-alkohol i srebro/polivinil-alkohol/grafen su dobijeni *in situ* elektrohemijskom sintezom na konstantnom naponu. Dobijeni hidrogelovi su karakterisani ultraljubičastom i vidljivom (UV-Vis) spektroskopijom i difrakcijom X zraka, za dokazivanje prisustva nanočestica srebra; visoko rezolucionom skenirajućom elektronskom mikroskopijom (FE-SEM), za određivanje veličine i morfologije nanočestica

srebra; cikličnom voltametrijom (CV) i infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom (*Fourier*) transformacijom (FT-IR), za utvrđivanje vrste interakcija između nanočestica srebra i polimera; Ramanskom spektroskopijom, za dokazivanje grafena; termogravimetrijskom analizom (TGA), za određivanje termičke stabilnosti hidrogelova, i gravimetrijskom metodom određivanja sorpcionih karakteristika. Takođe, ispitana je kinetika otpuštanja srebra praćenjem koncentracije otpuštenih jona srebra u rastvoru primenom atomske apsorpcione spektroskopije (AAS), kao i citotoksičnost nanokompozitnih hidrogelova MTT testom i antibakterijska aktivnost agar difuzionim testom i testom u bakterijskoj suspenziji.

#### 3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Na osnovu pregleda do sada objavljenih eksperimentalnih podataka i rezultata prikazanih u okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u oblasti nanokompozita polimera sa nanočesticama srebra, njihovoj sintezi i karakterizaciji. Postavljena je nova metoda elektrohemijske sinteze nanočestica srebra u PVA i PVA/Gr hidrogelu. Karakterizacijom dobijenih hidrogelova pokazano je da Ag/PVA i Ag/ PVA/Gr nanokompoziti imaju značajan potencijal primene u medicini zbog antibakterijske aktivnosti, blage citotoksičnosti i produženog vremena otpuštanja nanočestica srebra u SBF rastvoru. Verifikacija ostvarenih rezultata disertacije postignuta je objavljivanjem radova u vodećim međunarodnim časopisima iz domena ove problematike.

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

U svom dosadašnjem istraživačkom radu, kandidat je pokazao sposobnost za pretraživanje literature, pripremu i realizaciju eksperimenata, korišćenje različitih tehnika karakterizacije i analizu i obradu rezultata. Na osnovu postignutih rezultata Komisija je mišljenja da kandidat poseduje kvalitete neophodne za samostalan naučno-istraživački rad.

### **4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS**

#### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati dobijeni u ovoj doktorskoj disertaciji daju značajan doprinos razumevanju nanokompozitnih hidrogelova polivinil-alkohola sa nanočesticama srebra, sa i bez grafena, kao novih biomaterijala sa antibakterijskom aktivnošću i netoksičnih prema humanim ćelijama krvi, za primenu u medicini.

Naučni doprinos rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije je sledeći:

- Razvoj metode elektrohemijske *in situ* sinteze u hidrogelu za efikasno dobijanje novih nanokompozitnih hidrogelova polivinil-alkohola i srebra, sa i bez grafena, koji su atraktivni za široki spektar potencijalnih primena u biomedicini, posebno kao implantati za meka tkiva i obloge za rane.
- Definisavanje parametara sinteze nanokompozitnih hidrogelova srebra i polivinil-alkohola, sa i bez grafena, u cilju dobijanja biokompatibilnih, netoksičnih hidrogelova sa antibakterijskom aktivnošću.
- Uspostavljanje korelacije između parametara sinteze i postignutih elektrohemijskih, termičkih, morfoloških i antibakterijskih svojstava nanokompozitnih hidrogelova.
- Utvrđivanje interakcija između nanočestica srebra i molekula polivinil-alkohola, kao i grafena, i mehanizma stabilizacije nanočestica.
- Određivanje biokompatibilnosti, kinetike otpuštanja srebra i antibakterijske aktivnosti što predstavlja osnovu za razvoj novih medicinskih proizvoda.
- Ispitivanjem otpuštanja srebra u fosfatnom puferu, antibakterijske aktivnosti i citotoksičnosti dobijenih nanokompozita, i modelovanjem dobijenih rezultata

difuzionim modelom omogućen je uvid u praktičnu primenu ovih nanokompozita u medicini.

- Rezultati ove doktorske disertacije su postavili dobru osnovu za dalje ispitivanje dobijenih nanokompozitnih sistema u *in vivo* uslovima.

#### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru ove disertacije su osmišljena na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti sinteze i karakterizacije nanokompozitnih biomaterijala. U okviru ove doktorske disertacije osmišljena je i primenjena nova metoda dobijanja nanočestica srebra u hidrogelu *in situ* elektrohemijom sintezom. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ovog rada, uočeno je da dobijeni rezultati predstavljaju korak za dalji razvoj i potencijalnu primenu inovativnih biomaterijala na bazi nanočestica srebra i polimera PVA sa i bez grafena, ali i za proširenje primene *in situ* elektrohemijske sinteze i na druge kompozitne polimerne sisteme. Elektrohemijom sinteza bi trebalo da zauzme značajno mesto u dobijanju nanokompozitnih materijala za biomedicinsku primenu zbog jednostavnosti primene i čistoće sistema.

#### 4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Mohamed Mohamed Abudabbus, master hem., je rezultate svoje doktorske disertacije potvrdio objavljivanjem, kao koautor, dva rada u u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti kategorije M21a, jednog rada u međunarodnom časopisu kategorije M23 i dva saopštenja na međunarodnim skupovima štampanim u izvodu, kategorije M34.

##### Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti - M21a

**1. M.M. Abudabbus**, I. Jevremović, A. Janković, A. Perić Grujić, I. Matić, M. Vukašinović-Sekulić, D. Hui, K.Y. Rhee, V. Mišković-Stanković, Biological activity of electrochemically synthesized silver doped polyvinyl alcohol/graphene composite hydrogel discs for biomedical applications, *Compos Part B-Eng* **104** (2016) 26-34. doi: 10.1016/j.compositesb.2016.08.024 (Engineering, Multidisciplinary 3/85, IF(2016) = 4,727) ISSN 1359-8368.

**2. M.M. Abudabbus**, I. Jevremović, K. Nešović, A. Perić-Grujić, K.Y. Rhee, V. Mišković-Stanković, In situ electrochemical synthesis of silver-doped poly(vinyl alcohol)/graphene composite hydrogels and their physico-chemical and thermal properties, *Compos Part B-Eng*, in press, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.017> (Engineering, Multidisciplinary 3/85, IF(2016) = 4,727) ISSN 1359-8368.

##### Rad u međunarodnom časopisu - M23

1. Katarina Nešović, **Mohamed M. Abudabbus**, Kyong Yop Rhee, Vesna Mišković-Stanković, Graphene based composite hydrogel for biomedical applications, *Croat Chem Acta* **90** (2) (2017) 207-213. doi: 10.5562/cca3133. (Chemistry, Multidisciplinary, 144/166, IF (2016) =0,586) ISSN 0011-1643.

##### Saopštenje na međunarodnom skupu štampano u izvodu - M34

1. Abdulali Ben Saleh, **Mohamed Mohamed Abudabbus**, "Removal of Methylene Blue Dye Using Roselle Petals from Aqueous Solutions", WASET 2013, June 20-21, 2013, Istanbul, Turkey, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical and Molecular Engineering* **7** (2013) 340-343.

2. Katarina Nešović, **Mohamed Mohamed Abudabbus**, Ivana Jevremovic, Ivana Matić, Aleksandra Perić-Grujić, Vesna Mišković-Stanković, „Electrochemical synthesis of silver/polyvinyl alcohol hydrogel nanocomposites“, Fourteenth Young Researchers' Conference - Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, December 9-11, 2015, Programme and the Book of Abstracts, 2-1, p. 7.

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega iznetog, Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata Mohameda Mohameda Abudabbusa „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA i NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“ predstavlja značajan i originalni naučni doprinos u oblasti Hemija, što je potvrđeno radovima objavljenim u časopisima međunarodnog značaja. Predmet i ciljevi istraživanja su jasno navedeni i ostvareni. Komisija takođe smatra da doktorska disertacija u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj Referat i da ga zajedno sa podnetom disertacijom Mohameda Mohameda Abudabbusa „ELEKTROHEMIJSKA SINTEZA I KARAKTERIZACIJA NANOKOMPOZITA POLIVINIL-ALKOHOLA i NANOČESTICA SREBRA (ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) NANOCOMPOSITES WITH SILVER NANOPARTICLES)“ izloži na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu, kao i da nakon završetka procedure pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

U Beogradu, 15.12.2017.

## ČLANOVI KOMISIJE

---

Prof. dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor  
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

Prof. dr Bojana Obradović, redovni profesor  
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

Prof. dr Jelena Bajat, redovni profesor  
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

dr Ana Janković, naučni saradnik  
Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta u  
Beogradu