

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

**Predmet:** Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **mr Lazara Kopanje**

Odlukom br. 35/86 od **14.4.2016.** godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **mr Lazara Kopanje** pod naslovom

**“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“.**

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

- Dana 11.2.2015. godine kandidat **mr Lazar Kopanja** prijavio je temu doktorske disertacije pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“.**
- Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu je dana 26.2.2015. godine (Odluka br.26/35) usvojilo sastav Komisije za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme kandidata **mr Lazara Kopanje** pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“.**
- Dana 9.4.2015. godine na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na osnovu izveštaja Komisije, doneta je Odluka br. 35/96) o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije **mr Lazara Kopanje**, pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“.** Za mentore ove doktorske disertacije imenovani su dr Boris Lončar, redovni profesor TMF-a i dr Marin Tadić, viši naučni saradnik Instituta za nuklearne nauke "Vinča".
- Dana 11.5.2015. godine Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu donelo je Odluku 02 broj: 61206-1812/2-15, o saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije **mr Lazara Kopanje**, pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“.**
- Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu je dana 14.4.2016. godine (Odluka br.35/86) usvojilo sastav Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **mr Lazara Kopanje** pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“.**

## 1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija, uža naučna oblast Inženjerstvo materijala, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

Mentori ove doktorske disertacije su dr Boris Lončar, redovni profesor TMF-a koji je objavio preko 30 radova u međunarodnim naučnim časopisima i dr Marin Tadić, viši naučni saradnik Instituta za nuklearne nauke "Vinča" koji je objavio 29 radova u međunarodnim naučnim časopisima.

## 1.3. Biografski podaci o kandidatu

Kandidat mr Lazar Kopanja je rođen 9.10.1978. godine u Bačkoj Palanci. Gimnaziju „20. oktobar“ u Bačkoj Palanci je završio 1997. godine. Iste godine je upisao Prirodnomatemički fakultet u Novom Sadu, Departman za matematiku i informatiku, smer diplomirani informatičar. Diplomirao je 2003. godine sa prosečnom ocenom 8,86 i ocenom 10 na diplomskom radu. Magistarske studije, koje je upisao na Univerzitetu u Novom Sadu na Departmanu za matematiku i informatiku završio je 6.7.2010. godine odbranom magistarske teze pod nazivom „Vizuelizacija određenog integrala u nastavi matematike“. Magistarske studije kandidat je završio sa prosečnom ocenom 9,86. Mr Lazar Kopanja je od 2003. godine zaposlen u Gimnaziji „Isidora Sekulić“ u Novom Sadu. Aktivni je član Udruženja profesora informatike Srbije u okviru kog je organizovao takmičenja pod nazivom „Sajt za bezbedan internet“ koje je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja proglašeno za program od nacionalnog značaja. Takođe, aktivno učestvuje u projektima vezanim za zaštitu dece na internetu u saradnji sa Jedinicom za prevenciju nasilja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja. Od 2010. godine radi i kao programer saradnik u web-development firmi „Great Shade Factory“ iz Novog Sada. Kandidat je koautor sedam naučnih radova: četiri u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21), dva u međunarodnim časopisima (M23) i jedno saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33).

## **2. OPIS DISERTACIJE**

### 2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata mr Lazara Kopanje napisana je na 116 strana, uključuje 22 tabele, 50 slika, kao i 183 literaturna navoda. Doktorska disertacija sadrži sedam poglavlja: Uvod, Sinteza materijala i eksperimentalne metode, Analiza i obrada slike, Osnove teorije magnetizma, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura.

### 2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U ovoj doktorskoj disertaciji izvršena su ispitivanja uticaja strukture i oblika nanočestica na njihove magnetne karakteristike. Na osnovu dobijenih rezultata pokazano je da se promenom oblika nanočestica u širokom rasponu mogu podešavati magnetna svojstva sintetisanih feri-oksidnih nanočestičnih materijala. Oblici nanočestica su kvantifikovani pomoću mera cirkularnosti, eliptičnosti, izduženosti i orijentabilnosti.

Prvo poglavlje sadrži prikaz analizirane problematike ove doktorske disertacije. Dat je kratak osvrt na uticaj strukture i oblika nanočestica na magnetna svojstva nanočestičnih materijala i apostrofirana je važnost kvantitativnog opisa oblika. Ukratko je prikazan pregled fizičkih svojstava hematita i postupaka za njegovu sintezu. Istaknut je rastući značaj istraživanja jezgro-omotač nanočestica koje pokazuju svojstva pogodna za primenu u različitim oblastima.

U drugom poglavlju ukratko su opisani postupci za sintezu nanočestičnih materijala: sol-gel, hidrotermalna metoda i metoda samosagorevanja rastvora. Navedene su neke od najvažnijih metoda za ispitivanje nanočestičnih materijala, kao što su transmisiona elektronska mikroskopija, Ramanova spektroskopija, kao i uređaji za merenje magnetnih veličina - SQUID i VSM magnetometar. Programski paketi MATLAB i MIPAR su pomenuti u kontekstu implementacije računskih postupaka za segmentaciju slike i izračunavanja deskriptora oblika.

U trećem poglavlju dati su teorijski principi analize i obrade slike sa akcentom na deskriptore oblika koji su primenjeni u disertaciji. Detaljno su analizirane mere cirkularnosti, eliptičnosti, izduženosti i orijentabilnosti. Istaknuti su problemi koji se javljaju prilikom kvantifikovanja oblika i potencijalni načini njihovog rešavanja.

Četvrto poglavlje posvećeno je osnovama teorije magnetizma. Navedena je podela materijala prema njihovim magnetnim karakteristikama. Objasnjeni su osnovni pojmovi, kao što su histerezisna petlja, saturaciona magnetizacija, remanentna magnetizacija, koercitivno polje. Navedena su osnovna svojstva dijamagnetika, paramagnetika, feromagnetika, ferimagnetika i antiferomagnetika.

U petom poglavlju su predstavljeni rezultati ove doktorske disertacije. Opisane su procedure kojima su sintetisani ispitivani uzorci. Dat je pregled rezultata merenja, dobijenih transmisijom elektronskom mikroskopijom i difrakcijom X-zraka, kao i merenja magnetizacije ispitivanih nanokompozitnih uzoraka. Diskutovana je analiza oblika posmatranih nanočestica koji su kvantifikovani deskriptorima oblika.

U šestom poglavlju izvedeni su zaključci ove doktorske disertacije. Istaknuti su naučni doprinosi disertacije i pokazano je da rezultati ovog rada mogu pokrenuti dalja istraživanja i doprineti boljem razumevanju uticaja oblika nanočestica na magnetne karakteristike materijala.

U sedmom poglavlju dati su literaturni navodi koji su korišćeni pri izradi ove doktorske disertacije.

### **3. OCENA DISERTACIJE**

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

Oblast istraživanja materijala koji se svrstavaju u nanočestične, poslednje dve decenije zauzima veoma značajno mesto u nauci o materijalima, pre svega zbog aplikativnih potencijala koje oni imaju. Na osnovu pregleda literature, može se zaključiti da magnetna svojstva nanočestica veoma zavise od njihovog oblika. S druge strane, do sada su u literaturi oblici nanočestica dosta proizvoljno opisivani i analizirani bez ikakve kvantifikacije i mogućnosti jasnog poređenja oblika ispitivanih nanočestica sa literaturnim podacima. Stoga je analiza oblika veoma važna i predstavlja predmet istraživanja ove doktorske disertacije.

Karakterizacija i analiza su urađene za sintetisane nanočestične materijale sol-gel metodom, hidrotermalnom metodom, kombinovanom metodom taloženja i koloidne hemije, kao i korišćenjem metode samo-sagorevanja rastvora. Realna slika sintetisanih nanočestica (veliçine i oblici sintetisanih nanočestica) u uzorcima su ispitivani pomoću transmise elektronske mikroskopije. Analizom slika dobijenih mikroskopskim merenjima izvršeno je izračunavanje cirkularnosti, orijentabilnosti, eliptičnosti i izduženosti oblika sintetisanih čestica. Pored standardnih, predložene su i nove mere kojima se može karakterisati oblik nanočestica. Algoritmi za analizu oblika su implementirani u programskom paketu MatLab. Osim toga, prikazana je distribucija nanočestica prema obliku i veličini kako bi se dobila što realnija slika ispitivanih uzoraka. Magnetna karakterizacija sintetisanih uzoraka izvršena je pomoću VSM i SQUID magnetometara. Određene su vrednosti magnetnih parametara: saturaciona magnetizacija, koercitivna sila i remanentna magnetizacija. Pokazano je kako se menjaju magnetni parametri u zavisnosti od oblika i strukture nanočestica, tj. od odgovarajućih mera opisanih deskriptorima oblika. Dobijeni i analizirani rezultati doprinose boljem razumevanju uticaja oblika nanočestica na magnetna svojstva materijala.

Savremenost i originalnost istraživanja prikazanih u ovoj doktorskoj disertaciji potvrđeni su objavljivanjem četiri rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21), dva rada u međunarodnim časopisima (M23) i jednim saopštenjem sa međunarodnog skupa štampanom u celini (M33).

### 3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Tokom izrade doktorske disertacije kandidat je izvršio pregled naučne i stručne literature iz relevantnih naučnih oblasti vezanih za problematiku doktorske teze. Velika većina pregledane naučne literature sastoji se od naučnih radova objavljenih u vrhunskim međunarodnim časopisima od strane eminentnih stručnjaka iz oblasti i problematike predmetne doktorske disertacije. Time je kandidat stekao potpun uvid u do sada objavljene rezultate ispitivanja uticaja strukture i oblika nanočestica na njihove magnetne karakteristike.

U ovoj doktorskoj disertaciji ukupno je navedeno 183 referenci, koje obuhvataju oblasti analize oblika i nauke o materijalima.

### 3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U prijavi doktorske disertacije postavljeni su zadaci koji su ostvareni korišćenjem adekvatnih naučnih metoda. Nanočestični uzorci koji su predmet istraživanja ovog rada sintetisani su sol-gel metodom, hidrotermalnom metodom, kombinovanom metodom precipitacije i koloidne hemije, kao i kombinovanom metodom sol-gel-samosagorevanja rastvora. Za ispitivanje nanočestičnih materijala primenjene su sledeće eksperimentalne metode: rendgenska difrakcija, elektronska mikroskopija i magnetometrija. Magnetna karakterizacija sintetisanih uzoraka urađena je pomoću VSM i SQUID magnetometara. Algoritmi za segmentaciju slike i izračunavanje deskriptora oblika implementirani su u programskom paketu MatLab. Pored toga, za segmentaciju slike jezgro-omotač nanočestica primenjen je algoritam realizovan korišćenjem novog softverskog paketa MIPAR.

### 3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Ostvareni rezultati prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji imaju višestruku primenu. Primarni doprinos i primenljivost, ostvareni rezultati imaju u oblasti nauke o materijalima. Pokazano je da morfologija nanočestica može poboljšati magnetna svojstva nanomaterijala, a dati su i postupci za analizu oblika nanočestica, što može imati veliki značaj u fundamentalnim istraživanjima i tehnološkim primenama. Očekujemo da će rezultati ovog rada doprineti boljem razumevanju uticaja oblika nanočestica na magnetne karakteristike, novim teorijskim modelima, unapređenju metoda sinteze i praktičnih primena nanočestičnih materijala. Pored toga, deskriptori oblika prezentovani u disertaciji mogu biti primenjeni i u drugim oblastima, u kojima je potrebna karakterizacija oblika, kao što su medicina, nuklearna fizika, informacione tehnologije, astronomija, industrija.

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

U toku izrade doktorske disertacije pod nazivom “Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“, kandidat je iskazao stručnost i samostalnost u svim fazama izrade teze, pružajući značajan naučni doprinos u oblastima koje do sada nisu bile istraživane ili koje su samo delimično istraživane. Verifikaciju eksperimentalnih i analiziranih rezultata sadržanih u ovoj tezi, kandidat je potvrdio objavljivanjem više radova u vrhunskim međunarodnim časopisima i međunarodnim časopisima, čime je dao svoj naučni doprinos u polju predmetne problematike.

Na osnovu iznetih činjenica, Komisija je mišljenja da je kandidat kvalifikovan i da poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučno istraživački rad.

## 4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Doktorska disertacija kandidata mr Lazara Kopanje, pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika”** pruža značajan naučni doprinos u polju nauke o materijalima, koji uključuje sledeće:

- Uvedeni su deskriptori oblika radi kvantifikovanja oblika nanočestica.
- Unapređene su metode za izračunavanje orijentabilnosti, eliptičnosti i izduženosti oblika.
- Uvedena je nova veličina za karakterizaciju jezgro-omotač nanočestica pod nazivom "koeficijent cirkularnosti" koja daje odgovor na pitanje kako omotač utiče na oblik jezgro-omotač nanočestice.
- Eksperimentalni rezultati su pokazali zavisnost magnetnih parametara od strukture i oblika nanočestica koji su kvantifikovani merama cirkularnosti, eliptičnosti, izduženosti i orijentabilnosti.
- Rezultati doprinose jasnijem predstavljanju i boljem razumevanju uticaja strukture i oblika nanočestica na magnetne karakteristike i pravljenju novih teorijskih modela. Takođe, mogu se koristiti u primenama gde su pogodni magnetni materijali sa anizotropijom oblika.

### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Pored veličine nanočestica na makroskopske magnetne osobine nanočestičnih materijala, kao što su magnetizacija, koercitivno polje, temperature magnetnih prelaza, susceptibilnost, značajno utiče i morfologija nanočestica. Oblici nanočestica su do sada u literaturi dosta proizvoljno opisivani i analizirani bez ikakve kvantifikacije i mogućnosti jasnog poređenja oblika ispitivanih nanočestica sa literaturnim podacima. Pošto do sada nije rađena detaljna analiza i kvantifikacija oblika nanočestica kao faktora koji bitno utiče na magnetne parametre materijala, glavni doprinos predmetne doktorske disertacije je uvođenje deskriptora oblika kojima se opisuju (mere) oblici sintetisanih nanočestica. S obzirom na to da nijedan deskriptor oblika nije dovoljno dobar za primenu u svim situacijama, nanočestice su opisane merama cirkularnosti, eliptičnosti, izduženosti i orijentabilnosti. Pored toga, po prvi put analizirana je struktura i oblik jezgro-omotač nanočestica. Za njihovu karakterizaciju je predložena nova veličina nazvana "koeficijent cirkularnosti" koja daje odgovor na pitanje kako omotač utiče na oblik jezgro-omotač nanočestice, tj. da li je kružnost jezgro-omotač nanočestica viša, niža ili jednaka od kružnosti jezgra.

### 4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat mr Lazar Kopanja je objavio sedam radova i to: četiri rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21) i dva rada u međunarodnim časopisima (M23) i jedno saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33), čime je verifikovao naučni doprinos svoje doktorske disertacije. Kandidat je na dva rada u vrhunskim međunarodnim časopisima prvi autor.

### **Kategorija M21:**

1. **Kopanja L.**, Kralj S., Žunić D., Lončar B., Tadić M.: Core–shell superparamagnetic iron oxide nanoparticle (SPION) clusters: TEM micrograph analysis, particle design and shape analysis, *Ceramics International*, vol. 42, no. 9, pp.10976-10984, 2016 (**IF=2.605**) (ISSN: 0272-8842)
2. **Kopanja L.**, Milošević I., Panjan M., Damnjanović V., Tadić M: Sol–gel combustion synthesis, particle shape analysis and magnetic properties of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles embedded in an amorphous silica matrix, *Applied Surface Science*, vol. 362, pp. 380-386, 2016, (**IF=2.711**) (ISSN: 0169-4332)
3. Žunić, J., **Kopanja, L.**, Fieldsend J. E.: Notes on shape orientation where the standard method does not work, *Pattern Recognition*, vol. 39, no. 5, pp. 856-865, , 2006 (**IF(2005)=2.153**) (ISSN: 0031-3203)
4. Žunić, J., **Kopanja, L.**: On the orientability of shapes, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 11, pp. 3478-3487, 2006 (**IF(2005)=2.428**) (ISSN: 1057-7149)

### **Kategorija M23:**

1. Žunić, J., **Kopanja L.**: On shape orientation when the standard method does not work, *Lecture Notes in Computer Science–CIARP*, vol. 3773, pp. 825-836, 2005 (**IF(2004)=0.513**) (ISSN: 0302-9743)
2. Žunić J., Rosin P.L., **Kopanja L.**: Shape orientability, *Lecture Notes In Computer Science*, vol. 3852, pp. 11-20, 2006 (**IF(2005)=0.402**) (ISSN: 0302-9743)

### **Kategorija M33:**

1. **Kopanja, L.**, Žunić, D., Lončar, B., Tadic, M.: “Quantifying the shape of nanoparticles using circularity“, -*Proceedings of the IV International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry*, Jahorina, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, pp. 987-993, 2015

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu prethodno navedenog, mišljenje Komisije je da doktorska disertacija kandidata mr Lazara Kopanje, pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“** predstavlja originalan naučni doprinos predmetne oblasti istraživanja. Originalnost doktorske disertacije kandidata je potvrđena objavljivanjem više radova u časopisima međunarodnog značaja. Postavljeni predmet i ciljevi doktorske disertacije u potpunosti su ostvareni, na osnovu čega Komisija iznosi svoje mišljenje da doktorska disertacija pod nazivom **“Magnetna svojstva sintetisanih nanočestica različitih morfologija kvantifikovanih primenom deskriptora oblika“** u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume kao i da je kandidat tokom izrade disertacije pokazao samostalnost i originalnost u naučno-istraživačkom radu.

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 kandidata mr Lazara Kopanje u zakonom predviđenom roku, kao i da Referat uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu i da nakon završetka procedure pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

16.5.2016.

### ČLANOVI KOMISIJE

.....  
dr Boris Lončar, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....  
dr Marin Tadić, viši naučni saradnik  
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča"

.....  
dr Radmila Jančić Hajneman, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....  
dr Milan Tadić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

.....  
dr Vesna Damjanović, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

.....  
dr Rajko Šašić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet