



УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ  
МЕТАЛУРШКО-ТЕХНОЛОШКИ  
ФАКУЛТЕТ

Цетињски пут б.б.  
81000 Подгорица,  
Црна Гора

UNIVERSITY OF MONTENEGRO  
FACULTY OF METALLURGY AND  
TEHNOLOGY

Cetinjski put b.b.  
81000 Podgorica  
MONTENEGRO



www.ucg.ac.me/mtf

Тел/Факс: +382(0)20 245-406

e-mail: mtf@ucg.ac.me

Жиро рачун: 510-2435-10

ПИБ: 02016702

ПДВ: 30/31-03951-6

Број 2134  
Подгорица, 10. 12. 2021.

**UNIVERZITET CRNE GORE**  
-CENTAR ZA DOKTORSKE STUDIJE UCG-

Podgorica

**PREDMET:** Dostava izvještaja o podobnosti  
doktorske teze i kandidata za MSc Zoranu Sekulić

U prilogu akta dostavljamo odluku Vijeća Metalurško-tehnološkog fakulteta od 10.12.2021. godine i izvještaj Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata, sa javne odbrane prijavljene teme i prezentacije polaznih istraživanja za doktorsku disertaciju MSc Zorane Sekulić.

S poštovanjem,

UNIVERZITET CRNE GORE  
DEKAN  
*V. Grudić*  
Prof. dr. Veselinka Grudić

Broj 2133  
Podgorica, 10.12 2021 god.

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore („Bilten UCG“ br. 337/2015 i br. 447/2018), a u vezi sa izvještajem Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata, Vijeće Metalurško-tehnološkog fakulteta u Podgorici, na sjednici održanoj 10.12.2021. godine, donijelo je sljedeću -

## ODLUKU

- I USVAJA SE izvještaj Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze: „Uticaj prelaznih metala na strukturu i sorpcione osobine nanokompozita na bazi magnezijum hidrida“, kandidata MSc Zorane Sekulić, koja je 06.12.2021. godine javno prezentirala polazna istraživanja i odbranila prijavljenu temu doktorske disertacije.
- II Usvojeni izvještaj Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata (obrazac D1) čini sastavni dio ove odluke.
- III Izvještaj se dostavlja Odboru na saglasnost.

DEKAN,  
*V. Grudić*  
Prof. dr. Veselinka Grudić



## OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Zorana Sekulić
Fakultet	Metalurško-tehnološki fakultet
Studijski program	Metalurgija i materijali
Broj indeksa	1/19
Podaci o magistarskom radu	„Ispitivanje mogućnosti upotrebe otpadne biomase prilikom proizvodnje vina sa ciljem dobijanja sorbata teških metala“, Hemijska tehnologija – Ekologija, Metalurško – tehnološki fakultet, Univerzitet Crne Gore, 2013. godine, A (10.00)
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Uticaj prelaznih metala na strukturu i sorpcione osobine nanokompozita na bazi magnezijum hidrida
Na engleskom jeziku	Influence of transition metals on the structure and sorption properties of nanocomposites based on magnesium hydride
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	10.12.2021.
Naučna oblast doktorske disertacije	Fizička metalurgija
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Metalurško-tehnološki fakultet, Univerzitet Crne Gore	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
<p>Javna odbrana polaznih istraživanja doktorantkinje mr Zorane Sekulić, pod nazivom: „<i>Uticaj prelaznih metala na strukturu i sorpcione osobine nanokompozita na bazi magnezijum hidrida</i>“ održana je u ponedjeljak 06.12.2021. godine u sali 505 Metalurško-tehnološkog fakulteta sa početkom u 10:15 h, pred Komisijom za ocjenu prijave doktorske disertacije u sastavu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dr Nada Jauković, redovni profesor Metalurško-tehnološkog fakulteta Univerziteta Crne Gore – predsjednica</li> <li>2. Dr Vanja Asanović, redovni profesor Univerziteta Crne Gore – mentor</li> <li>3. Dr Jasmina Grbović Novaković, naučni savjetnik Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju (Beograd) – član.</li> </ol> <p>Kandidatkinja mr Zorana Sekulić je u roku od 35 minuta, uz vizuelnu prezentaciju, izložila osnovnu ideju istraživanja nanokompozita na bazi magnezijum hidrida, obrazložila aktuelnost teme i dosadašnja istraživanja u oblasti, pojasnila hipotezu i ciljeve. Izbor magnezijum hidrida kao osnovnog materijala dopiranog prelaznim metalima inovativnim metodama, kandidatkinja je objasnila sa stanovišta velikog gravimetrijskog kapaciteta za skladištenje vodonika, rasprostranjenosti, cjenovne konkurentnosti i netoksičnosti. Doktorantkinja je predstavila metodu sinteze novih materijala primjenom mehaničkog mljevenja, kao i metode istraživanja u cilju karakterizacije strukture i</p>	

morfoloije (rendgenska strukturna analiza – XRD, skenirajuća elektronska mikroskopija – SEM i infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom oslabljenih totalnih refleksija FTIR-ATR), utvrđivanja raspodjele čestica na osnovu njihove veličine (laserska difrakcija za analizu veličine čestica - PSD) i ispitivanja termičkih promjena (diferencijalna skenirajuća kalorimetrija – DSC i temperaturno programirana desorpcija – TPD). Nakon predstavljanja dobijenih rezultata u okviru sprovedenih polaznih istraživanja, kandidatkinja je obrazložila i očekivani naučni doprinos doktorske teze. Diskusija koja je obuhvatila odgovore na pitanja članova Komisije, kao i sugestije za dalji nastavak izrade doktorske disertacije trajala je 30 minuta. Komisija je konstatovala da su polazna istraživanja uspješno izvršena u skladu sa postavljenim ciljem i hipotezom, kao i da ih je kandidatkinja prikazala na jasan i pregledan način. Naglašeno je i da je neophodno da kandidatkinja u narednom periodu publikuje i naučne radove u časopisima sa SCI/SCIE liste i na međunarodnim konferencijama. Razvoj tehnologije za dizajniranje nanokompozita poboljšanih osobina koji bi se koristili u oblasti vodonične energetike predstavlja kompleksnu temu koja po sadržaju odgovara nivou doktorskih studija. Komisija je ocijenila da je predložena tema podobna za izradu doktorske disertacije i smatra da će kandidatkinja mr Zorana Sekulić realizovati postavljene ciljeve. Stoga, Komisija predlaže Vijeću Metalurško-tehnološkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da usvoje pozitivan izvještaj (ocjenu) podobnosti doktorske disertacije kandidatkinje.

## B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

### B1. Obrazloženje teme

Savremeno društvo se suočava sa povećanom potrošnjom fosilnih goriva, globalnim zagrijavanjem, klimatskim promjenama i zagađenjem životne sredine. Obezbjedenje energije dostupne svima uz očuvanje životne sredine predstavlja jedan od glavnih izazova XXI vijeka. Poboljšanje zdravlja ljudi, kvaliteta njihovog života, očuvanje prirode i biodiverziteta je u fokusu Evropske komisije koja je krajem 2019. godine predložila Evropski zeleni sporazum. Usmjeravanjem na efikasniju upotrebu resursa promovisanjem cirkularne ekonomije i zaustavljanjem klimatskih promjena, podstiče se primjena inovativnih tehnologija i infrastruktura poput pametnih mreža, vodonične energetike i skladištenja energije. Koncept vodonične ekonomije pruža mogućnost za dekarbonizaciju energetskog sektora i obezbjeđenje pouzdanog, bezbjednog i održivog snabdijevanja čistom energijom. Jedan od zadataka koji treba riješiti kako bi se vodonična energetika primijenila u značajnoj mjeri je uspostavljanje sigurnog, kompaktnog, energetski efikasnog i ekonomičnog sistema za skladištenje vodonika. Magnezijum hidrid je prepoznat kao potencijalni materijal u tom smislu zbog visokog kapaciteta vodonika, dobre reverzibilnosti i niske cijene, ali njegovu praktičnu primjenu ograničava velika termodinamička stabilnost i spora kinetika sorpcije. U sklopu disertacije sprovedeće se mehanohemijsko modifikovanje strukture magnezijum hidrida dopiranjem prelaznim metalima, strukturna i morfološka karakterizacija modifikovanih kompozita, ispitivanje nastalih novih faza, kinetička i termodinamička ispitivanja sorpcije vodonika sa nanokompozita, kako bi se dizajnirala mikrostruktura neophodna za poboljšanje kinetike sorpcije i osobina za skladištenje vodonika.

### B2. Cilj i hipoteze

Dugogodišnja istraživanja usmjerena na uspostavljanje energetskih sistema zasnovanih na obnovljivim izvorima, pokazuju da se vodonik može posmatrati kao energetski vektor i gorivo budućnosti. S obzirom na niskokarbonsku proizvodnju i skladištenje vodonika, procjenjuje se da koncept vodonične energije može doprinijeti značajnom smanjenju emisije CO<sub>2</sub> i ograničavanju rasta globalne temperature. Evropska komisija je objavila strategiju za povećanje proizvodnje vodonika u cilju dekarbonizacije sektora u kojima je teško postići smanjenje štetnih emisija. Evropskim zelenim sporazumom je predviđen set mjera za smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte na

55 % do 2030. godine u poređenju sa nivoom emisije iz 1990. godine, kreiranje zelenih radnih mjesta i u krajnjem postizanje klimatske neutralnosti Evropske unije do 2050. godine. Crna Gora je strateškim dokumentima definisala orjentisanost na razvoj novih materijala, tehnologija, tehnoloških rješenja za ekonomičnu, ekološki prihvatljiviju i pouzdaniju proizvodnju, prenos i skladištenje energije, kao i očuvanje prirodnog kapitala, uvođenje zelene ekonomije i upravljanje za održivi razvoj. U skladu sa tim, opšti cilj ove doktorske disertacije je razvoj tehnologije za dobijanje nanokompozita odnosno novih materijala sa poboljšanim osobinama za skladištenje vodonika. Planirano istraživanje obuhvatiće definisanje optimalnih uslova za mehanohemijsku destabilizaciju strukture magnezijum hidrida koji će se dopirati prelaznim metalima, proučavanje faznih transformacija, analiziranje raspodjele veličina čestica, utvrđivanje kinetičkog modela za opisivanje kinetike desorpcije vodonika iz nanokompozita, kao i utvrđivanje korelacije sastav-struktura-karakteristike.

**Hipoteza:** Kombinovanjem nanostrukturiranja putem kratkotrajnog mehaničkog mljevenja magnezijum hidrida i katalitičkog djelovanja prelaznih metala kao dopanata moguće je dizajnirati nove materijale (nanokompozite) poboljšanih sorpcionih osobina.

### B3. Metode i plan istraživanja

Dizajniranje novih materijala za skladištenje vodonika u okviru ove disertacije se bazira na sinergijskom efektu mehaničkog mljevenja i katalitičkog djelovanja dopanata. U cilju destabilizacije kristalne rešetke magnezijum hidrida odabrana je mehanohemijska metoda koja je interesantna sa stanovišta zaštite životne sredine jer ne uključuje upotrebu rastvarača. Mehaničko mljevenje prahova u kugličnim mlinovima, koje intenzivira ulogu granica zrna u procesu i ubrzava difuziju vodonika treba da omogući dobijanje nanostrukturnih materijala, uniformne veličine i disperzije čestica koja se ne može dobiti konvencionalnim metodama. Budući da istraživanja pokazuju da se kombinovanjem dvije ili više strategija mogu proizvesti napredni materijali za skladištenje vodonika u čvrstom stanju, u okviru ove disertacije pored mehaničkog mljevenja sprovodiće se dopiranje magnezijum hidrida prelaznim metalima.

Proučavanje faznih transformacija, ispitivanje strukture i kristalne strukture, kao i istraživanje katalitičkog efekta 3d, 4d i 5d metala na sorpcionu kinetiku vodonika u nanokompozitnim materijalima, ima za cilj razumijevanje zavisnosti sastav-struktura-procesiranje-osobine kako bi se pronašlo prihvatljivo rješenje za smanjenje termodinamičke stabilnosti  $MgH_2$ , i poboljšanje adsorpcione i desorpcione kinetike.

Karakterizacija strukture i morfologije novih materijala izvršiće se rendgenskom strukturnom analizom – XRD, skenirajućom elektronskom mikroskopijom – SEM i infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom oslabljenih totalnih refleksija FTIR-ATR. Raspodjela čestica na osnovu njihove veličine utvrdiće se laserskom difrakcijom za analizu veličine čestica - PSD, a termičke promjene će se ispitati diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom – DSC i temperaturno programiranom desorpcijom – TPD.

#### Plan istraživanja

Istraživanje u okviru disertacije obuhvata četiri faze. U prvoj fazi istraživanja sprovedena je detaljna analiza naučnih radova u cilju sagledavanja postojećih rezultata proučavanja materijala na bazi magnezijuma za skladištenje vodonika, kao i otvorenih pitanja, odnosno problema koje treba rješavati. Planirani eksperimenti za polazna istraživanja su realizovani u laboratorijama Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju – Centra izuzetnih

vrednosti za vodoničnu energetiku i obnovljive izvore energije – CONVINCENCE (Republika Srbija) i u laboratorijama Instituta za tehničke nauke SANU (Srpska akademija nauka i umetnosti).

U drugoj fazi istraživanja planirana je sinteza novih nanokompozita, pri čemu bi se  $MgH_2$  kao osnovni materijal dopirao odabranim 3d, 4d i 5d metalima. Brojna istraživanja pokazuju pozitivan uticaj prelaznih metala i njihovih jedinjenja na kinetiku sorpcije vodonika u  $MgH_2$ . Detaljnim proučavanjem literature pokazano je da prelazni metali iz grupe 3d, 4d i 5d metala pokazuju znatno lakše otpuštanje i prihvatanje vodonika, pri nižim temperaturama, redukciju aktivacione energije desorpcije kao i visok reverzibilni kapacitet za desorpciju vodonika. Formiranje novih i metastabilnih faza, interakcije nove faze i nanokristalnih površina, defekti u rešetki, praznine, fazne transformacije i granice zrna mogu značajno da utiču na reverzibilnost skladištenja vodonika, zbog čega će se u cilju sagledavanja korelacije struktura-osobine, nakon sinteze nanokompozita sprovesti detaljna karakterizacija dobijenih materijala u okviru treće faze istraživanja. Prvo bi se sprovela morfološka i mikrostruturna karakterizacija koja bi se povezala sa termičkim i kinetičkim osobinama materijala, što je planirano u četvrtoj fazi istraživanja.

#### B4. Naučni doprinos

Istraživanje usmjereno na dobijanje novih materijala za skladištenje vodonika u čvrstom stanju prvi put se organizuje u Crnoj Gori u saradnji sa naučnicima iz Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju. Iako se strateškim dokumentima podstiče proizvodnja energije iz obnovljivih izvora i zaustavljanje klimatskih promjena, naučna i tehnička zajednica i dalje traži rješenje koje će omogućiti uvođenje zelene vodonične infrastrukture. Naučni doprinos istraživanja u okviru ove doktorske disertacije predstavlja razvoj tehnologije za dizajniranje nanokompozita poboljšanih osobina koji bi bili potencijalni nosači, odnosno služili za transport vodonika i samim tim omogućili njegovu bezbjednu i efikasnu primjenu, uz prihvatljive troškove. Definisaće se mehanohemijski protokoli za destabilizaciju strukture magnezijum hidrida uz dopiranje prelaznim metalima iz grupe 3d, 4d i 5d. Proučavanje faznih transformacija i detaljna karakterizacija osobina proizvedenih nanokompozita omogućiće utvrđivanje i razumijevanje korelacije osobina, hemijskog sastava, strukture i procesiranja novih materijala. Objavljivanje naučnih radova u časopisima sa SCI/SCIE liste i na međunarodnim konferencijama pokazaće doprinos crnogorskih naučnika istraživanjima u oblasti vodonične energetike.

#### B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja

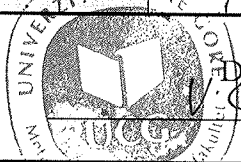
S obzirom na dostupnost resursa i cijenu potrebnih sirovina smatramo da je predložena tema izvodljiva i sa finansijskog i sa organizacionog stanovišta. Očekuje se nastavak saradnje sa naučnicima iz Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, kao i uspostavljanje saradnje sa partnerskim institucijama iz regiona.

#### Mišljenje i prijedlog komisije

Komisija smatra da su polazna istraživanja uspješno sprovedena u skladu sa temom i ciljevima, kao i da je tema kojom se kandidat bavi aktuelna.

Komisija takođe smatra da tema po svom sadržaju odgovara nivou doktorskih studija, omogućava originalni naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.

Komisija smatra da kandidat može na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze. Stoga, Komisija jednoglasno predlaže Vijeću Metalurško-tehnološkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da se usvoji tema za izradu doktorske disertacije kandidatkinje mr Zorane Sekulić.

<b>Prijedlog izmjene naslova</b>		
(po potrebi predložiti izmjenu naslova)		
<b>Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora</b>		
(titula, ime i prezime, ustanova)		
<b>Planirana odbrana doktorske disertacije</b>		
III kvartal 2023. godine		
<b>Izdvojeno mišljenje</b>		
(popuniti ukoliko neki član komisije ima izdvojeno mišljenje)		
		Ime i prezime
_____		
<b>Napomena</b>		
(popuniti po potrebi)		
<b>ZAKLJUČAK</b>		
Predložena tema po svom sadržaju <b>odgovara</b> nivou doktorskih studija.	<b>DA</b>	<b>NE</b>
Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	<b>DA</b>	<b>NE</b>
Kandidat <b>može</b> na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.	<b>DA</b>	<b>NE</b>
<b>Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata</b>		
Prof. dr Nada Jauković, redovni profesor Metalurško-tehnološkog fakulteta Univerziteta Crne Gore – predsjednica	<i>N. Jauković</i>	
Prof. dr Vanja Asanović, redovni profesor Univerziteta Crne Gore – mentor	<i>V. Asanović</i>	
Dr Jasmina Grbović Novaković, naučni savjetnik Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju (Beograd) – član.	<i>J. Grbović Novaković</i>	
U Podgorici, 10.12.2021.		
MP	 <b>DEKAN</b> <i>V. Grudic</i>	

### PRILOG

<b>PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA</b>	
Prof. dr Nada Jauković	1. U cilju dobijanja novih materijala poboljšanih osobina u pogledu skladištenja vodonika, odabrali ste kombinaciju dvije metode: mehanohemijsku metodu (mehaničko mljevenje) i dopiranje magnezijum hidrida. Zašto ste odabrali prelazne metale za dopiranje magnezijum hidrida?
Prof. dr Vanja Asanović	1. Kako se mehaničkim mljevenjem utiče na destabilizaciju i modifikovanje strukture magnezijum hidrida i poboljšanje sorpcionih osobina nanokompozita?  2. Koje su osnovne smjernice za nastavak istraživanja i definisanje optimalnih parametara procesiranja nanokompozita budući da specifični radni uslovi pri mljevenju prahova u kugličnom mlinu, utiču na prenos mehaničke energije sa posuda i kuglice na prah?
Dr Jasmina Grbović Novaković	1. U koju grupu svrstavamo rozi vodonik? U obnovljive izvore energije ili neobnovljive?   
<b>PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI</b>	
(Ime i prezime)	  
(Ime i prezime)	  
(Ime i prezime)	  
<b>ZNAČAJNI KOMENTARI</b>	