



УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ  
МЕТАЛУРШКО-ТЕХНОЛОШКИ  
ФАКУЛТЕТ

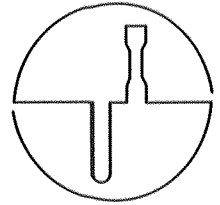
Цетињски пут б.б.  
81000 Подгорица,  
ЦРНА ГОРА

www.mtf.ac.me

UNIVERSITY OF MONTENEGRO  
FACULTY OF METALLURGY AND  
TECHNOLOGY

Cetinjski put b.b.  
81000 Podgorica,  
MONTENEGRO

e-mail: mtf@ac.me



Жиро рачун: 510-2435-10

Тел/Факс: +382 (0)20 245-406

ПИБ: 02016702

ПДВ: 30/31-03951-6

Број 901/1  
Подгорица, 07-06-2019

## UNIVERZITET CRNE GORE

CENTAR ZA DOKTORSKE STUDIJE  
-N/R Prof. dr Predrag Miranović, rukovodilac Centra

Podgorica

Poštovani,

U prilogu akta dostavljamo prijavu teme doktorske disertacije „Ekološki polianjonski katodni materijali na bazi fosfata za litijum/natrijum-jonske baterije” kandidata mr Aleksandre Gezović, sa predlogom odluke o imenovanju Komisije za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata i izvještajem Komisije za doktorske studije MTF, koji su razmotreni i usvojeni na elektronskoj sjednici Vijeća Metalurško-tehnološkog fakulteta od 05-07.06.2019. godine.

Srdačan pozdrav,

  
Prof. dr Mira Vukčević

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore („Bilten UCG“ br. 337 – posebno izdanje od 13. februara 2015. godine) i inicijalnog predloga Komisije za doktorske studije Metalurško-tehnološkog fakulteta br. 867 od 05.06.2019. godine, a u vezi sa t. 3.5 Vodiča za doktorske studije Univerziteta Crne Gore, Vijeće Metalurško-tehnološkog fakulteta u Podgorici, na elektronskoj sjednici održanoj 05-07.06.2019. godine, donijelo je-

## ODLUKU

- I Prijava teme doktorske disertacije: „Ekološki polianjonski katodni materijali na bazi fosfata za litijum/natrijum-jonske baterije“ kandidata mr Aleksandre Gezović, ispunjava formalne uslove za prijavu teme.
- II Imenuje se *Komisija za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata* pod navedenim nazivom, u sastavu:
  1. dr Veselinka Grudić, vanredni profesor, UCG - MTF, Podgorica
  2. dr Milica Vujković, viši naučni saradnik, UB - Fakultet za fizičku hemiju, Beograd
  3. dr Željko Jaćimović, redovni profesor, UCG - MTF, Podgorica
- III Zadatak Komisije je da utvrdi da li predložena tema odgovara po svom sadržaju nivou doktorskih studija (poređenje sa ishodima), da li omogućava originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije i da li kandidat može, na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja, da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.
- IV Senat, na predlog Odbora za doktorske studije, imenuje Komisiju za ocjenu podobnosti doktorske teze i kandidata.

CO:  
-Odbor za doktorske studije,  
-Sekretar  
-a/a.

  
Prof. dr Mira Vukčević

# METALURŠKO- TEHNOLOŠKI FAKULTET

Ovdje

Crna Gore  
UNIVERZITET CRNE GORE  
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

Broj 807  
Podgorica, 05-06-2019 god.

Predmet: Izveštaj Komisije za doktorske studije

Komisija za doktorske studije MTF je razmotrila PD obrazac ( Prijava teme doktorske disertacije) mr Aleksandre Gezović pod nazivom " Ekološki polianjonski katodni materijali na bazi fosfata za litijum/ natrijum-jonske baterije" i zaključila da sadrži sve potrebne elemente navedene u Vodiču za doktorske studije Univerziteta Crne Gore, pa predlaže da se nastavi procedura za odobravanje TEME DOKTORSKE DISERTACIJE pod navedenim nazivom.

Inicijalni predlog je da članovi KOMISIJE ZA OCJENU TEME DOKTORSKE DISERTACIJE budu:

1. Dr Veselinka Grudić, vanredni profesor, Metalurško-tehnološki fakultet, Univerzitet Crne Gore
2. Dr Milica Vujković, Viši naučni saradnik, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu
3. Dr Željko Jaćimović, redovni profesor, Metalurško-tehnološki fakultet, Univerzitet Crne Gore

Spisak referenci predloženih članova komisije dat je u prilogu.

Podgorica, 05.06.2019.g.

KOMISIJA

*Nada Jauković*  
Prof. dr Nada Jauković

*Nada Blagojević*  
Prof. dr Nada Blagojević

Prof. dr Zorica Leka

*Z. Leka*

## PRIJAVA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Aleksandra Gezović
Fakultet	Metalurško - tehnološki fakultet
Studijski program	Hemijska tehnologija
Broj indeksa	1/18
Ime i prezime roditelja	Radovan Gezović
Datum i mjesto rođenja	01.01.1995. godine, Nikšić, Crna Gora
Adresa prebivališta	Hajdučka 1/15, 81400 Nikšić, Crna Gora
Telefon	068/200-378
E-mail	saskagezovic@gmail.com
BIOGRAFIJA I BIBLIOGRAFIJA	
Obrazovanje	<p><b>17.09.2018. godine</b> MASTER FIZIKOHEMIČAR (smjer – Elektrohemijska i hemijska kinetika) Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu. Prosječna ocjena na master studijama 9.75; Master rad: „Na<sub>0.44</sub>MnO<sub>2</sub> kao katodni materijal za vodene natrijum-jonske baterije“ je ocjenjen ocjenom 10</p> <p><b>21.09.2017. godine</b> SPECIJALISTA HEMIJSKE TEHNOLOGIJE (smjer – Elektrohemijski procesi i proizvodi), Metalurško-tehnološki fakultet, Univerzitet Crne Gore. Prosječna ocjena na specijalističkim studijama 9.62; Specijalistički rad: „Korozija bakra u 0.51 M rastvoru NaCl i njegova zaštita ekstraktom propolisa“ je ocjenjen ocjenom A</p> <p><b>19.09.2016. godine</b> BACHELOR HEMIJSKE TEHNOLOGIJE (smjer - Hemijska tehnologija), Metalurško-tehnološki fakultet, Univerzitet Crne Gore. Prosječna ocjena na osnovnim studijama je 9.01</p>
Radno iskustvo	U periodu od 15.01.2017. do 15.10.2017, tokom stručnog osposobljavanja, angažovanje na Metalurško-tehnološkom fakultetu, posao laboratorijskog tehničara.
Popis radova	<p>Rad:</p> <p>V. Grudić, I. Bošković and <b>A. Gezović</b>, Inhibition of Copper Corrosion in NaCl Solution by Propolis Extract, CABEQ 32 (3) (2018) 299-305</p> <p>Konferencije:</p> <p><b>Gezović Aleksandra</b>, Vujković Milica, Jugović Dragana, Janković Častvan Ivona, Stojković Simatović Ivana, Mentus Slavko; Synthesis, characterization and electrochemical properties of Na<sub>0.44</sub>MnO<sub>2</sub> in NaNO<sub>3</sub> and LiNO<sub>3</sub> aqueous solution, Physical</p>

	<p>Chemistry 2018; 14th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, September 24-28, Belgrade, Serbia, (2018) 407-410</p> <p><b>Aleksandra Gezović</b>, Milica Vujković, Dragana Jugović, Ivona Janković-Častvan and Ivana Stojković Simatović, "Na<sub>0,44</sub>MnO<sub>2</sub> as a cathode material for aqueous sodium-ion batteries" 3rd International Symposium on Materials for Energy Storage and Conversion-mESC-IS, September 10th-12th, Belgrade, Serbia, (2018) 89-89</p> <p>Stojan Božović, Sanja Martinez, Veselinka Grudić and <b>Aleksandra Gezović</b>, "Synergistic effect of propolis, tannin and benzoate on the corrosion behaviour of metals in 0.51 M NaCl solution", 23rd International conference of materials protection and industrial finish, KORMAT 2018, Zagreb, Hrvatska</p>
<b>NASLOV PREDLOŽENE TEME</b>	
Na službenom jeziku	<b>„Ekološki polianjonski katodni materijali na bazi fosfata za litijum/natrijum-jonske baterije“</b>
Na engleskom jeziku	<b>„Ecologically polyanionic cathode materials basen on the phosphates for lithium/sodium-ion batteries“</b>
<b>Obrazloženje teme</b>	
<p>Veliko trošenje fosilnih goriva čijim sagorijevanjem se dobija električna energija predstavlja ozbiljan ekološki i ekonomski problem društva, pa samim tim raste obim istraživanja u oblasti alternativnih izvora energije. Alternativni izvori energije, koji istovremeno imaju mogućnost i skladištenja jesu elektrohemijski izvori energije koji se trenutno plasiraju kao ekološki i ekonomski prihvatljivi. U elektrohemijske izvore energije ubrajaju se baterije, gorivne ćelije i elektrohemijski kondenzatori, od kojih su najširu primjenu našle baterije. Osnovu svake baterije čine jedna ili više električno povezanih elektrohemijskih ćelija u zatvoren elektrohemijski sistem. U zavisnosti od načina rada one se dijele na primarne (koje se ne mogu puniti) i sekundarne (punjive). Veliki je broj do sada komercijalizovanih kako primarnih tako i sekundarnih baterija. Poseban značaj u istraživanju od početka 1950-ih zauzimaju primarne litijum-jonske baterije, dok već 1970-ih sekundarne litijum-jonske baterije uzimaju primat, pa i dan danas, dok su u novije vrijeme veoma aktuelne natrijum-jonske baterije. Ono što opravdava opsežna istraživanja u oblasti litijum-jonskih baterija jesu jako dobre osobine litijuma, koje se prije svega odnose na veliki sadržaj energije i visok negativni potencijal, kao i sama činjenica da je on najlakši metal pa samim tim daje najveći specifični kapacitet. Osnovne karakteristike litijum-jonskih baterija su: radni napon, kapacitet, specifična energija, specifična snaga, gustina energije, jačina struje punjenja/praznjenja, ciklus i životni vijek. Visoka specifična energija, specifična snaga, efikasnost konverzije i skladištenje energije kao i mala težina su doprinjeli da litijum-jonske baterije zauzmu veliki primat industrije čime su zamijenile do tada korišćene nikl-kadmijumske i nikl-metal-hidridne baterije. Litijum-jonske baterije su preuzele važnu ulogu u kvalitetu života modernog društva, jer se svakodnevno sve više i više primjenjuju. Poznata je njihova upotreba u prenosnim elektronskim uređajima, gdje ubrajamo „pametni“ telefon, tablet i laptop. Ovo je ujedno i njihovo početno tržište. U 2014. godini litijum-jonska baterija je postala daleko najrasprostranjenija korišćena baterija u „pametnim“ telefonima. Prema poslednjim podacima</p>	

utvrđeno je da 31 % svjetske populacije koristi „pametne“ telefone. Ovo ukazuje na postojanje potencijala za širu upotrebu, ali uz zahtjev za konstruisanjem manjih baterija, sa kraćim vremenima punjenja i većim životnim vijekom. Pored toga, ovaj tip baterija ima veliku ulogu u drumskom saobraćaju, posebno u električnim automobilima. Osnovna prednost litijum-jonskih baterija za upotrebu u drumskom saobraćaju jeste velika specifična energija. U manjoj mjeri, ali su takođe našle primjenu u vazduhoplovstvu, uključujući satelite i avijaciju. U određenoj mjeri su primjenjivane i u medicinske svrhe. Dakle, kao tehnološka komponenta, litijum-jonske baterije predstavljaju ogroman globalni potencijal u pogledu energetske održivosti.

Uzimajući u obzir činjenicu da se natrijum u periodnom sistemu nalazi u istoj grupi, odmah ispod litijuma, jasno je da su ovi elementi u hemijskom smislu dosta slični, pa samim tim se natrijum može primijeniti u sličnim sistemima za konverziju i skladištenje energije. Razvoj natrijum-jonskih baterija počinje uporedo sa razvojem litijum-jonskih baterija već 70-ih i 80-ih godina prošlog vijeka. Međutim, veća energetska gustina litijum-jonskih baterija učinila je da one tada imaju primat u istraživanju i razvoju, a da istraživanje u polju natrijum-jonskih baterija ode u drugi plan. Nedavno, natrijum-jonske baterije postaju prva alternativa litijum-jonskim, i to najvećim dijelom za skladištenje energije. Glavna prednost natrijum-jonskih baterija potiče isključivo zbog prednosti natrijuma kao što su količina ovog elementa u prirodi, jeftinija eksploatacija a samim tim i manji zahtjevi, kako ekološki, tako i ekonomski u procesu proizvodnje ovog tipa baterija. Ono što takođe proces proizvodnje ovog tipa baterija čini jeftinijim jeste da ovi sistemu mogu da koriste elektrolite koji posjeduju niži potencijal razlaganja. Odnosno, nizak radni napon omogućava primjenu vodenih elektrolita koji imaju veliku prednost u ekonomskom i ekološkom smislu u odnosu na organske elektrolite, koji su veoma toksični i zapaljivi.

Osnovne komponente koje čine litijum/natrijum-jonsku ćeliju su katoda, anoda, elektrolit i separator. Ključni element koji ograničava performanse baterije je aktivni materijal pozitivne elektrode, koji je ujedno i najskuplji dio baterije. Od ukupnih sredstava za formiranje jedne baterije, čak 25 % obuhvata katoda, dok samo 8 % se odnosi na anodu, elektrolit i separator, 16 % na ostale ćelijske komponente, a 35 % za montažu ćelija. Stoga je razumljivo zašto je u poslednjih nekoliko decenija pokrenut dugogodišnji napor koji kombinuje teorijska i eksperimentalna istraživanja za pronalazak katodnih materijala pogodnih performansi, što podrazumijeva visok specifični kapacitet, visoku gustinu energije, dobru strukturnu stabilnost i manju energetska barijeru za jonsku difuziju sa bržim prenosom elektrona.

Budući da katodni materijali dominantno određuju gustinu energije litijum/natrijum-jonskih baterija, jasno je zašto su postali glavni izazov za istraživače. Dakle, bilo je potrebno pronaći katodni materijal koji ima mogućnost dobre interkalacije jona litijuma/natrijuma unutar svoje strukture, a da uz to pokaže dobar kapacitet i dobru cikličnost. Tako nastaje veliki broj katodnih materijala koji se na osnovu svoje strukture mogu podijeliti u više grupa: oksidi prelaznih metala, zatim organska jedinjenja kao i grupa polianjonskih jedinjenja. Posebno, polianjonski ili miješani polianjonski katodni materijali su se poslednjih godina intenzivno ispitivali, gdje su se pokazali kao obećavajući katodni materijali za primjenu u litijum/natrijum-jonskim baterijama, zahvaljujući svojoj 3D strukturi koja im omogućava snažnu i dugotrajnu strukturu za umetanje/ekstrakciju jona litijuma/natrijuma na relativno visokom radnom potencijalu. Pored toga karakteriše ih visoka bezbjednost i mala promjena zapremine tokom cikliranja. Takođe, ovu grupu katodnih jedinjenja možemo podijeliti na polianjonska jedinjenja na bazi: silikata, borata, fosfata, fluoridnih jedinjenja i sulfata, dok njihovom kombinacijom dobijamo miješana polianjonska jedinjenja. Posebna grupa su takođe i NASICON-type (super jonski provodnici,

posebno ispitivani za natrijum-jonske baterije). Od svih polianjonskih jedinjenja najbolje karakteristike su pokazali polianjonski katodni materijali na bazi fosfata (što podrazumijeva metafosfate, ortofosfate i pirofosfate, zasebno ili u kombinaciji) s jedne strane, a sa druge strane njihova kombinacija sa fluoridnim anjonom, tačnije fluorofosfati. Velike prednosti polianjonskih jedinjenja na bazi fosfata u odnosu na sve ostale grupe katodnih materijala su uticale na to da akcenat istraživanja planiranih doktorskom disertacijom budu materijali iz ove grupe jedinjenja. Poboľšanje performansi postojećih, kao i sinteza novih veoma perspektivnih jedinjenja na bazi fosfata (variranjem uslova sinteze, smanjivanjem veličine čestica, dopiranjem različitim jonima, dodavanje ugljenika u cilju povećanja provodljivosti), svakako predstavlja veliki izazov. Značajno je napomenuti da bi planirana istraživanja doprinijela i razvoju potpuno nove naučno-istraživačke oblasti u Crnoj Gori.

### Pregled istraživanja

U naučno-istraživačkom radu je potrebno da se oblast istraživanja fokusira na inovativnosti, s tim što se mora voditi računa o napretku civilizacije, gdje životna sredina svakim danom zahtjeva dodatnu zaštitu kako bi ostala očuvana. Kako je već navedeno, alternativni izvori energije, posebno baterije, su jedan od segmenata koji je veoma bitan sa aspekta zaštite životne sredine, a koje pored ekološkog imaju i značajan ekonomski uticaj. Takođe, naglašen je veliki značaj sekundarnih litijum-jonskih baterija, a kasnije i natrijum-jonskih. Posebna svjetska zainteresovanost za oblast kako litijum, tako i natrijum jonskih baterija je rezultovala objavljivanjem enormnog broja saopštenja, radova i knjiga koji govore o počecima i razvoju ovog tipa baterija [1-5].

U daljem tekstu dat je hronološki pregled najznačajnijih katodnih materijala za litijum-natrijum-jonske baterije. Poseban akcenat je stavljen na polianjonske katodne materijale na bazi fosfata, ukazujući na njihove prednosti i nedostatke. Na kraju pregleda dat je osvrt na polianjonski katodni materijal koji je predmet preliminarnih istraživanja planiranih doktorskom disertacijom.

Postoji više preglednih radova koji obuhvataju katodne materijale za litijum-jonske baterije [6-8].  $\text{LiCoO}_2$  (LCO) je prvi komercijalizovani katodni materijal (slojevite strukture), koji zahvaljujući visokoj specifičnoj energiji od oko 150 do 190 Wh  $\text{kg}^{-1}$  zauzima popularno mjesto u prenosnim uređajima. Ovaj materijal ima slojevitou strukturu, ali nakon deinterkalacije litijuma iz ovog materijala atomi kiseonika se preuređuju dajući heksagonalno pakovanje kiseonika u  $\text{CoO}_2$ , koji je temperaturski veoma nestabilan, što predstavlja njegov glavni nedostatak, što ujedno utiče na kratak životni vijek baterije. Takođe, visoka cijena kobalta je bila jedan od faktora koje je trebalo poboljšati, pa se došlo na ideju da se određena količina kobalta zamijeni određenom količinom drugog katjona ili više različitih katjona. Stoga su u naučno-istraživačkom radu pri različitim uslovima ispitivani katodni materijali gdje je određena količina kobalta zamjenjena niklom, manganom i aluminijumom ili sa različitim odnosom oksida nikla, mangana i kobalta, isto tako oksida nikla, kobalta i aluminijuma. Treba napomenuti da je  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  preovladao i predstavlja katodni materijal svih savremenih baterija koje se nalaze u prenosnim elektronskim uređajima, tjs. laptopovima i telefonima. Drugu generaciju, odmah nakon LCO, čini  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (LMO), koji je komercijalizovan prvi put 1996. godine, a poboljšanje se ogledalo u manjoj toksičnosti, većoj termičkoj stabilnosti i većoj gustini snage. Kao glavni nedostatak ovog materijala navodi se nestabilnost pri skladištenju, kao i pad kapaciteta sa velikim brojem ciklusa punjenja/praznjenja, a sve to posebno pri većim temperaturama. Supstitucija određene količine atoma Mn sa drugim elementima je takođe obuhvaćena tokom istraživanja, npr. sa Al, Zn, Ni, Cr, Fe, Co, Cu.. Pored LMO, u grupu spinelnih oksida spadaju i mnogi oksidi vanadjuma.

Veoma perspektivna, nova generacija katodnih materijala na bazi fosfata je bila grupa  $\text{LiMPO}_4$  ( $M = \text{Mn, Fe, Co, Ni, V}$ ). Ova grupa materijala je pokazala jako dobre elektrohemijske i termičke osobine, a naročito pri visokim brzinama punjenja i pražnjenja. Iz ove grupe materijala posebno se izdvojio olivin  $\text{LiFePO}_4$ . Pored toga, ovaj materijal se pokazao kao veoma bezbjedan katodni materijal, što je predstavljalo njegovu veliku prednost u odnosu na LCO. Međutim, ono što je predstavljalo glavni nedostatak ovog materijala jeste loša elektronska provodljivost koja je ograničavala njegove elektrohemijske performanse, a posebno pri visokim brzinama punjenja i pražnjenja. Stoga je dalje istraživanje išlo u pravcu poboljšanja provodljivosti ovog materijala kako bi se unaprijedile njegove elektrohemijske performanse. Korišćene su razne sinteze, bilo u čvrstom ili tečnom stanju, što je rezultovalo velikim brojem radova, gdje su obuhvaćene sve korišćene metode za sintezu LFP [9-11].

Jedinjenja opšte formule  $\text{Li}_x\text{MP}_2\text{O}_7$  ( $M = \text{Ti, Fe, Mn i V}$ ) na bazi pirofosfata su takođe obuhvaćena tokom istraživanja katodnih materijala za litijum-jonske baterije, [12].  $\text{Li}_2\text{FeP}_2\text{O}_7$ , je karakterističan po dobroj difuziji jona i visokoj volumetrijskoj gustini energije, a posebno ga karakteriše niska cijena i visoka sigurnost. Elektrohemijske performanse materijala  $\text{Li}_2\text{Fe}_{1-x}\text{MnP}_2\text{O}_7$  se poboljšavaju sa povećanjem sadržaja gvožđa, i postižu najviše 80 % teorijskog kapaciteta pri deinterkalaciji jednog litijumovog jona. Od ostalih jedinjenja iz ove grupe sintetisana su i ispitana jedinjenja:  $\text{LiFe}_{1.5}\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Li}_{4+x}\text{Co}_{2-x}(\text{P}_2\text{O}_7)_2$ ,  $\text{FeH}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Li}_9\text{V}_3(\text{P}_2\text{O}_7)_3(\text{PO}_4)_2$ .

Još jedan tip katodnih materijala na bazi fosfata je i NASICON tip koji su veoma široko ispitivani kroz mnogo različitih jedinjenja, a od kojih su najviše pažnje privukla jedinjenja na bazi gvožđe-fosfata  $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$  i vanadijum-fosfata  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ .  $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$  nije pokazao tako dobre osobine kao olivin, tako da pored početnih fundamentalnih studija nije dobio mnogo istraživačkog interesovanja, posebno zbog nižeg kapaciteta. S druge strane,  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$  je mnogo više ispitivan, s tim što se NASICON tip (romboedarska struktura) ovog materijala nije tako dobro pokazao, pa je istraživanje usmjereno ka njegovoj monocikličnoj formi. Njegova 3D mreža je omogućila brzu, izotropnu jonsku difuziju. Međutim,  $\text{VO}_6$  oktaedri koji su odvojeni  $\text{PO}_4$  tetraedrima u rešetki, dovode do niske elektronske provodljivosti, što je osnovna mana i ovog materijala, slično olivinu. Dalje istraživanje je bilo usmjereno i u ovom slučaju ka modifikaciji površine nekim provodnim materijalom ili dopiranje drugim jonima ( $\text{Mn, Al, Sc, Ti, Cr, Mg, Fe, Co}$ ). Međutim, imao je značajan pad kapaciteta usled dekompozicije elektrolita na površini elektrode, što se ispoljilo u njegovim lošim elektrohemijskim performansama [13,14].

Pored navedenih polianjonskih jedinjenja na bazi fosfata, veoma dobre elektrohemijske osobine su pokazali i materijali opšte formule  $\text{LiMPO}_4\text{F}$ , kao što su  $\text{LiVPO}_4\text{F}$  i  $\text{LiFePO}_4\text{F}$ . Kombinacija anjona je rezultovala dobrim osobinama ovih jedinjenja, koje se odnose na mogućnost postizanja visokog radnog potencijala, zbog visoke vrijednosti elektronegativnosti fluoridnog jona, a samim tim i jakih jonskih veza između ovog anjona i metala.

Budući da katodni materijali dominantno određuju gustinu energije kako litijum-jonskih, tako i natrijum-jonskih baterija, jasno je zašto su postali glavni izazov za istraživače i kada su u pitanju natrijum-jonske baterije. Dakle, bilo je potrebno pronaći katodni materijal koji ima mogućnost dobre interkalacije jona natrijuma unutar svoje strukture, a da uz to pokaže dobar kapacitet i dobru cikličnost. Tako nastaje veliki broj katodnih materijala čiji pravac istraživanja teče analogno istraživanju za primjenu u litijum-jonskim baterijama, dok se i u ovom slučaju na osnovu strukture svi materijali mogu svrstati u nekoliko grupa: oksidni katodni materijali,



organska jedinjenja i polianjonski katodni materijali [15]. Oksidi prelaznih metala imaju visok reverzibilni kapacitet i visok radni napon, što predstavlja njihove povoljne karakteristike. Međutim, većina njih pati od nepovratnog faznog prelaza, nestabilnosti na vazduhu i nedovoljne performanse baterije. Njihova opšta formula može da se napiše u obliku  $\text{Na}_x\text{MO}_2$  (gdje je  $x$  između 0 i 1, a M može da bude Fe, Cr, Co, Mn, Ni, V, Cu, kao i njihova kombinacija). Posebno, ova grupa jedinjenja, može da se svrsta u dvije grupe i to tunnelske i slojevite okside prelaznih metala. Interesantna je činjenica da su neka od ovih jedinjenja pokazala bolje performanse od njihovih litijumskih oblika tipa,  $\text{Li}_x\text{MO}_2$ , što je objašnjeno većom razlikom u radijusu jona natrijuma i nekog od ovih metala, kada neće doći do miješanja katjona i do propadanja strukture. Od slojevitih oksida najviše su ispitivani:  $\text{NaFeO}_2$  kao zaseban ili u kombinaciji sa Mn, Co, Cu i Mn zajedno u različitim odnosima i jedinjenja na bazi mangana i njegovoj kombinaciji sa Mg, Li, Ti, kao i na bazi Ni, Co, V i Cr. Oksidi tunnelskog tipa, kao što je  $\text{Na}_{0.44}\text{MnO}_2$  imaju tunele u obliku slova S kroz koje se  $\text{Na}^+$  joni mogu reverzibilno kretati i jedan manji pentagonalni tunel. [16]. Katodni materijali na bazi organskih jedinjenja imaju povoljan radni napon i dosta su stabilni tokom cikliranja, dok su glavne prepreke za njihovu praktičnu primjenu kontrola defekata rešetke i toplotna nestabilnost [17].

Olivinska struktura materijala  $\text{NaFePO}_4$  je analogno  $\text{LiFePO}_4$ , takođe zaokupljala pažnju istraživača zbog visokog teorijskog specifičnog kapaciteta ( $154 \text{ mAh g}^{-1}$ ) i relativno visokog radnog potencijala (oko 2,8 V u odnosu na  $\text{Na}^+/\text{Na}$ ) [18]. Međutim,  $\text{NaFePO}_4$  olivinske strukture se za sada jedino može dobiti niskotemperaturnom jonskom izmjenom  $\text{LiFePO}_4$ . Dakle, direktna visokotemperaturna sinteza ne može da proizvede  $\text{NaFePO}_4$  olivinske strukture, dok favorizuje formiranje maricit faze ovog materijala koja je termodinamički stabilna, ali nema kanale za difuziju natrijumovih jona i stoga je smatrano da je elektrohemijski neaktivna. Ove ograničavajuće performanse skraćuju interesovanje istraživača za strukturu maricita za primjenu u baterijama, ali s druge strane dokazano je da maricit  $\text{NaFePO}_4$  pokazuje odlične performanse skladištenja energije, pa se može koristiti kao superkondenzator. Međutim, novija istraživanja ipak ukazuju da je ova faza isto elektrohemijski aktivna, pa samim tim može da bude pogodan katodni materijal. Veliki je broj radova koji ukazuju na strukturne i elektrohemijske razlike olivinskih struktura  $\text{NaFePO}_4$  i  $\text{LiFePO}_4$ , gdje se  $\text{NaFePO}_4$  pripisuje sporija difuzija jona, odnosno niži difuzioni koeficijent natrijumovih jona, kao i veća otpornost na process punjenja u odnosu na  $\text{LiFePO}_4$ . Takođe je pronađeno da se  $\text{NaFePO}_4$  razlikuje strukturno (površinski) od  $\text{LiFePO}_4$ . Međutim, metodom DFT-a (Density functional theory) je utvrđeno da se elektronska, kao i jonska migracija oba jona u rasutom materijalu ne razlikuju značajno između  $\text{NaFePO}_4$  i  $\text{LiFePO}_4$ .

Analogno litijum-jonskim baterijama, pomenuti NASICON-tip materijali na bazi fosfata su takođe bili predmet istraživanja u oblasti natrijum-jonskih baterija. Ova jedinjenja opšte formule  $\text{Na}_x\text{M}_2(\text{PO}_4)_3$  ( $M = \text{V, Ti, } 1 \leq x \leq 3$ ) su dobro poznati materijali koje karakteriše značajna provodljivost jona natrijuma [19,20]. Materijal  $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$  (NVP) je pokazao reverzibilni kapacitet od  $117 \text{ mAh g}^{-1}$  sa potencijalom od 3.4 V. Mehanizam ekstrakcije/umetanja natrijumovih jona iz/u strukturu ovog materijala je takođe ispitivan, a za to su korišćene razne spektroskopske, elektrohemijske i kompjutacione tehnike. Uočeno je da kako NVP, tako i ostali NASICON-tipovi često pate od niske unutrašnje električne provodljivosti, što ograničava njihove praktične elektrohemijske performanse, posebno sposobnost dužeg cikliranja. Kako bi se riješio ovaj problem i u ovom slučaju su primjenjivane razne strategije kao što su: smanjenje veličine čestica, dopiranje ugljenikom, zamjena Na ili V nekim drugim metalnim elementima, kao i zamjena dijela  $(\text{PO}_4)^{3-}$  polianjona nekim drugim anjonom ili polianjonskom grupom. Dopiranje metalnih jona, bilo umjesto natrijuma ili vanadjuma se takođe pokazalo kao efikasna

strategija za povećanje efikasnosti i ukupnih performansi baterija ovog tipa. Pokazano je da zbog veće atomske veličine kalijumovog od natrijumovog jona, dopiranje  $K^+$  umjesto  $Na^+$  može znatno poboljšati performanse NVP-a, zahvaljujući povećanju zapremine kristalne rešetke, čime se direktno povećava difuzija jona  $Na^+$ . Zamjenom  $(PO_4)^{3-}$  polianjonske grupe, sa  $F^-$  ili  $O^{2-}$  jonima dobijaju se miješano-polianjonska jedinjenja, o čemu više riječi u pregledu miješanih-polianjonskih jedinjenja.

Još jedan tip polianjonskih materijala na bazi fosfata jeste i NASICON-tip opšte formule  $NaTi_2(PO_4)_3$ , koji se strukturno slaže sa NVP, a pokazuje teorijski kapacitet od  $133 \text{ mAh g}^{-1}$  [19]. Ono što je karakteristično za oba materijala jeste da se mogu koristiti i kao anoda i kao katoda, u zavisnosti od pomoćne elektrode, s tim što je  $NaTi_2(PO_4)_3$  pokazao performanse koje više odgovaraju za primjenu u funkciji anode.

Kako je  $Li_2FeP_2O_7$  pronađen kao potencijalni katodni materijal za litijum-jonske baterije, tako su analogno sintetisali jedinjenja za primjenu u natrijum-jonskim baterijama. Analogna pirofosfatna jedinjenja su opšte formule  $Na_xMP_2O_7$  ( $M = Co, Mn, Ni, V, Fe$ ) ( $1 \leq x \leq 2$ ), čija je struktura sačinjena od  $MO_6$  oktaedara i  $P_2O_7$  jedinica (dva  $PO_4$  tetraedra), što formira snažniju strukturu u odnosu na pojedinačne fosfate.  $Na_2CoP_2O_7$  se javlja u više strukturnih oblika i to triciklični, ortorombični i tetragonski. Triciklični i ortorombični postižu prosječan kapacitet od  $80 \text{ mAh g}^{-1}$ , ali zbog visoke cijene i toksičnosti Co, ispitan je analog ovog materijala sa Mn, opšte formule  $Na_2MnP_2O_7$ , koji kristališe u dvije različite faze. Obje faze mogu da se koriste kao katodni materijali za natrijum-jonske baterije, pri čemu postižu kapacitet od  $90 \text{ mAh g}^{-1}$ , na  $\sim 3.8 \text{ V}$ . I ovdje se izdvajaju pirofosfati na bazi gvožđa jer posjeduju najnižu cijenu sinteze i najveću bezbjednost među svim drugim 3D tranzicionim metalima, zbog čega su poslednjih godina privukli veliku pažnju [21].  $Na_2FeP_2O_7$  je pokazao reverzibilni kapacitet od  $82 \text{ mAh g}^{-1}$ . Takođe su kombinovani i različiti odnosi Na i Fe, pa su tako dobijena jedinjenja  $Na_{4-a}Fe_{2+a}/2(P_2O_7)_2$  ( $2/3 \leq a \leq 7/8$ ), kao i  $Na_{3.12}Fe_{2.44}(P_2O_7)_2$ , koja su postigla kapacitet oko  $\sim 110 \text{ mAh g}^{-1}$ , sa dobrim zadržavanjem i nakon 3000 ciklusa.

Nova grupa jedinjenja zasnovana na miješanju polianjonske grupe  $(PO_4)^{3-}$  sa nekim anjonom ( $F^-$ ,  $N^-$ ;  $O^{2-}$ ) ili drugom polianjonskom grupom ( $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $P_2O_7^{4-}$ ) je privukla veliku pažnju poslednjih nekoliko godina. Miješanje anjona i/ili polianjona ne samo da obezbjeđuje različite strukture za ekstrakciju/umetanje jona, već sama interakcija između različitih anjona može imati veliki uticaj na elektrohemijske karakteristike, prvenstveno na povećanje radnog potencijala. Posebno poboljšanje su pokazala jedinjenja supstituisana  $F^-$  i  $P_2O_7^{4-}$  jonima, gdje je materijal poboljšan u smislu povećanja radnog potencijala (zbog jakog induktivnog efekta  $F^-$ ), samim tim i poboljšanja elektrohemijskih performansi. Multielektronske reakcije  $V^{3+}/V^{4+}$  i  $V^{4+}/V^{5+}$ , kao i rad na visokom potencijalu su značajni za postizanje visoke gustine energije materijala kod kojih se kao metal koristi vanadijum. Tako, uvođenje  $F^-$  u natrijum-vanadijum fosfatne materijale donosi novu klasu materijala miješanih polianjonskih jedinjenja, tzv. fluorofosfata, koji imaju 3D okvir sa velikim intersticijskim prostorima za difuziju jona, čime se dobija visok reverzibilni kapacitet i gustina energije od preko  $500 \text{ Wh kg}^{-1}$ .  $NaVPO_4F$  i  $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$  i  $Na_3(VO_{1-x}PO_4)_2F_{1+2x}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) spadaju u ovu grupu materijala [22].  $NaVPO_4F$  je pokazao prosječan radni napon od  $3.6 \text{ V}$  uz postizanje kapaciteta od  $80 \text{ mAh g}^{-1}$ . Međutim, problem koji se javlja kod ovog materijala je njegova identifikacija, jer se podaci dobijeni difraktogramom dobro poklapaju sa NASICON tipom  $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ , pa je više pažnje usmjereno u pravcu ispitivanje strukture. Drugi materijal slične strukture,  $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ , privlači veliko interesovanje za natrijum-jonske baterije zbog svog velikog kapaciteta (teorijski specifični kapacitet  $192 \text{ mAh g}^{-1}$ ) i dobre stabilnosti tokom cikliranja. Takođe, ima i veliku teorijsku gustinu energije  $\approx 507 \text{ Wh}$

$\text{kg}^{-1}$ , što je uporedivo sa komercijalnim  $\text{LiFePO}_4$  ( $\approx 530 \text{ Wh kg}^{-1}$ ). S druge strane, kao i kod većine materijala i ovaj material pati od loše elektronske provodljivosti što svakako onemogućava dobijanje visokih vrijednosti kapaciteta, koje bi odgovarale, ili bar u većoj mjeri bile blizu teorijskog kapaciteta. Stoga je jasno da i dalje postoji prostor za poboljšanje performansi ovog materijala, a sve u cilju da se dobije što veća vrijednost teorijskog kapaciteta, posebno zbog svih ostalih dobrih osobina koje karakterišu ovaj materijal. U novije vrijeme,  $\text{Na}_7\text{V}_4(\text{P}_2\text{O}_7)_4\text{PO}_4$  sa tetragonalnom strukturom ima izuzetne elektrohemijske osobine predstavljene dobro definisanim platoima visokog napona na 3.88 V uz značajno zadržavanje kapaciteta preko 1000 ciklusa.

Miješana polianjonski katodni materijali na bazi fosfata, koji u svojoj strukturi kao metalni jon sadrže  $\text{Co}^{2+}$  pokazuju visokonaponske performanse. Takvi su  $\text{Na}_2\text{CoPO}_4\text{F}$  sa postignutim kapacitetom od oko  $100 \text{ mAh g}^{-1}$  kao i  $\text{Na}_4\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  koji postiže reverzibilni kapacitet od  $95 \text{ mAh g}^{-1}$ . Analogno  $\text{Na}_2\text{CoPO}_4\text{F}$ , jedinjenje  $\text{Na}_2\text{MnPO}_4\text{F}$  je takođe postalo aktuelno sa sličnim performansama. Formiranjem nanokompozita ovog materijala i nekog provodnog aditiva može se postići kapacitet i od  $178 \text{ mAh g}^{-1}$  [23].

Jasno su prikazane dobre performanse materijala koji sadrže vanadijum, kobalt i mangan u svojoj strukturi, ali nažalost ono što znatno ograničava upotrebu ovih materijala jeste njihova visoka cijena (posebno vanadijuma i kobalta). Zbog toga su fluorofosfatna polianjonska jedinjenja u čijem sastavu se nalazi gvožđe, kao lako dostupan i netoksičan 3D element, definitivno uticala na smanjenje ukupnih troškova elektroda [23]. Činjenica je da  $\text{NaFePO}_4$  pokazuje veoma nizak radni napon od 2.6 V, što dosta smanjuje njegovu konkurentnost u poređenju sa drugim polianjonskim jedinjenjima. Pa je jedan od načina za njegovo poboljšanje bilo dopiranje  $\text{F}^-$  anjonom, gdje je prvi put sintetisani  $\text{Na}_2\text{FePO}_4\text{F}$  pokazao kapacitet od  $111 \text{ mAh g}^{-1}$  pri brzini od 0.05 C, ali sa porastom struje na 8 C vrijednost kapaciteta je pala na  $20 \text{ mAh g}^{-1}$ . Dalje je istraživanje usmjereno ka poboljšanju kapaciteta i njegove stabilnosti.

Na kraju, jedva veoma aktuelna oblast poslednje nekoliko godina je zasnovana na kombinaciji prelaznog metala sa  $\text{PO}_4^{3-}$  i  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$  grupama, čime nastaju jedinjenja opšte formule  $\text{Na}_4\text{M}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  ( $\text{M} = \text{Mn, Co, Ni i Fe}$ ) [21,24]. Jedinstvene fizičke i hemijske osobine ove grupe polianjonskih materijala na bazi fosfata se ogledaju u kombinaciji metalnih ili polimetalnih slojeva  $\text{MO}_6$  oktaedara sa  $\text{PO}_4^{3-}$  jedinicama. Kada se izolovane  $\text{PO}_4^{3-}$  jedinice kombinuju sa  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$  pirofosfatnim jedinicama, nastaju ovi miješani fosfati-pirofosfati.  $\text{Na}_4\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)$  materijal je pokazao najveći  $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$  redoks potencijal od 3,84 V i reverzibilni kapacitet od  $109 \text{ mAh g}^{-1}$ , čak sa dobrim zadržavanjem kapaciteta tokom cikliranja. Sa druge strane  $\text{Na}_4\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  je pokazao nešto manji reverzibilni kapacitet od  $97 \text{ mAh g}^{-1}$ , ali dodatkom Mn ovom jedinjenju javljaju se dva redoks procesa na 4.2 i 4.6 V sa kapacitetom od  $110 \text{ mAh g}^{-1}$ . Međutim, zbog već navedenih nedostataka kobalta, pravac istraživanja nije išao ka ovom materijalu.

Na kraju, fosfatni materijali zasnovani na gvožđu su se i kod ove grupe materijala izdvojili zbog same prednosti gvožđa. Nedavno, materijal  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  (NFPP) je veoma privukao pažnju istraživača zahvaljujući strukturi koja sadrži 3D jonske kanale za difuziju jona natrijuma, što predstavlja ključni preliminarni faktor za dugotrajnu cikličnost i mogućnost rada pri niskim temperaturama. Ono što je takođe primećeno za ovaj materijal jeste jako mala promena zapremine tokom cikliranja, svega 4.4 %.

NFPP kao katodni materijal iz grupe miješanih-polianjonskih jedinjenja na bazi fosfata je do sada obuhvaćen kroz nekoliko rada u kojima je ispitivana kako njegova struktura, tako i

elektrohemijske performanse [25-28]. Autori su kroz sinteze ovog materijala raznim metodama ukazali na značajan uticaj odabira odgovarajućih prekursora, odnosno na bitnost odnosa Na:Fe:P. Pokazano je da sinteza ide u pravcu dobijanja čiste faze ovog materijala isključivo kada je navedeni odnos 4:3:4. Zbog toga je jako bitno voditi računa o uslovima sinteze, posebno o odabiru i količinu dodatog prekursora, jer je u suprotnom primjećeno nastajanje drugih faza zasebno, ili kao nečistoća uz ovu fazu. Ono što takođe utiče na dobijanje čiste faze NFPP jeste odabir temperature žarenja. Pokazano je da je NFPP stabilan u veoma uskom temperaturnom opsegu, svega od 400 do 600 °C. Ukoliko bi temperatura bila ispod 400 °C ne bi bilo moguće nastajanje ove faze, dok bi materijal iznad 600 °C pretrpio faznu transformaciju, gdje su obično produkti raspada  $\text{NaFePO}_4$  i  $\text{Na}_2\text{FeP}_2\text{O}_7$ . Obično se ove faze mogu javiti i na nižim temperaturama, ali samo kao dodatna faza koja predstavlja nečistoću. Kako je gore navedeno ovi produkti su takođe elektrohemijski aktivne faze, pa samim tim raste izazov za utvrđivanjem koja je faza dobijena, odnosno od koje potiče elektrohemijska aktivnost sintetisanog materijala. Ovaj materijal je isporučio oko 88 % teorijskog kapaciteta pri snimanju u organskom elektrolitu, sa prosječnim naponom oko 3.2 V u odnosu na  $\text{Na}^+/\text{Na}$ , ali pri sporijoj brzini od C/40. Povećanjem kapaciteta se bavilo nekoliko grupa istraživača, pokušavajući da na to utiču smanjenjem veličine čestica, dopiranjem nekim provodnim aditivima, ali još uvijek nisu postigli vrijednost kapaciteta koja je dovoljno bliska teorijskoj a da pokaže dobro zadržavanje tokom cikliranja.

Literaturni podaci o elektrohemijskom ponašanju ovog materijala u vodenim elektrolitima su veoma oskudni i ukazuju na izuzetno nizak radni napon koji iznosi skoro polovinu vrijednosti dobijene u organskom elektrolitu. Pored toga, dostignuta je niža vrijednost kapaciteta uz slabo zadržavanje tokom cikliranja.

Prije svega, navedene prednosti ovog materijala ga čine vrlo atraktivnim potencijalnim katodnim materijalom za punjive jonske baterije. Sa druge strane, pregled literature ukazuje da je ovaj material još uvijek nedovoljno ispitan, kao i da postoji potreba za detaljnijim istraživanjem i modifikacijom, kako u morfološkom i strukturnom, tako i u elektrohemijskom smislu. S obzirom na prednosti vodenih elektrolita u odnosu na toksične i zapaljive organske elektrolite, dalje ispitivanje u vodenim elektrolitima predstavlja otvoriće značajne mogućnosti primjene ovog materijala u budućnosti.

### Cilj i hipoteze

Na osnovu obrazloženja teme i pregleda literature primjećeno je da su postignute, sa stanovišta primjene dosta prihvatljive elektrohemijske performanse polianjonskih materijala, posebno na bazi fosfata, čija struktura i morfologija, pa samim tim i elektrohemijsko ponašanje veoma zavise od načina sinteze, zatim uslova pod kojima se odigrava sinteza, što ujedno i dalje čini veliki izazov, sa dosta prostora za istraživanje kako bi se postigao bolji kapacitet na visokim strujama punjenja i pražnjenja. Ono što je takođe karakteristično jeste na koji način poboljšati provodljivost ovih materijala, koja se odnosi na ispitivanje uticaja ugljenika (tačnije, koji prekursor izabрати kao izvor ugljenika, koliko količinu prekursora dodati u odnosu na teorijsku masu željenog katodnog materijala, uticaj dodatka prekursora u različitim masenim procentima u odnosu na željeni materijal, itd.). Poseban akcenat će biti na tome da se dostignu dobre performanse sintetisanih materijala u vodenim elektrolitima litijumovih/natrijumovih soli u cilju dobijanja ekonomski i ekološki isplativije baterije. Međutim, svakakako će dobijeni materijal biti ispitan i u organskom elektrolitu, ako se osvrnemo na činjenicu da još uvijek komercijalne baterije koriste isključivo organski elektolit. I u ovom slučaju najbitnije je dobiti visok kapacitet, njegovo dobro zadržavanje sa cikliranjem i visoku gustinu energije. U literaturi svakako jeste prikazan veliki broj sinteza za grupu polianjonskih katodnih materijala na bazi fosfata, pri čemu postoji veliki interes i značaj da se odgovarajućom metodom sinteze kao i njenom modifikacijom

pokuša uspostaviti balans između kvaliteta dobijenog materijala sa jedne strane i efikasnosti i cijene sa druge strane, što će također biti jedan od ciljeva istraživanja.

Sumarno, osnovni cilj ovog istraživanja biće usmjeren prvobitno odabiru sinteze i variranjem uslova sinteze/a kako bi se dobio željeni materijal iz grupe polianjonskih katodnih materijala na bazi fosfata. Pošto veliki broj katodnih materijala spada u ovu grupu jedinjenja, cilj je odabrati onaj materijal koji će pokazati dobre kako strukturne tako i elektrohemijske performanse, odnosno pokazati se kao potencijalni katodni materijal za primjenu u litijum/natrijum-jonskim baterijama. Za postizanje visokih elektrohemijskih performansi cilj je da se pronađe najbolji način za poboljšanje provodljivosti ovih materijala. Sa strukturnog stanovišta vodiće se računa o tome da se dobiju materijali sa jasno definisanom strukturom, čija će morfologija odgovoriti što sitnijim česticama. Na ovaj način bi se dobio materijal sa što boljom kinetikom interkalacije i deinterkalacije litijum/natrijum-ovih jona sa dobrim očuvanjem stabilne vrijednosti kulonskog kapaciteta tokom cikliranja u organskom/vodenom elektrolitu, sa posebnim osvrtom na vodene elektrolite. Nadalje, ovi materijali bi bili ekološki mnogo prihvatljiviji i znatno jeftiniji u odnosu na, do sada, proizvedene i komercijalizovane katodne materijale.

#### **Materijali, metode i plan istraživanja**

Kako je već navedeno, cilj ovog istraživanja je da se sintetiše/u polianjonski katodni materijal/i na bazi fosfata, koji bi po svojim karakteristikama (kulonski kapacitet, ciklični život i energetska gustina) mogao/li da se primijeni/e u litijum/natrijum-jonskim baterijama organskog i/ili vodenog tipa. Pravac konačnog istraživanja će u velikoj mjeri zavistiti od dobijenih rezultata preliminarnih istraživanja, ali jedan hronološki tok istraživanja se može prikazati na sledeći način:

Početak istraživanja će biti usmjeren ka sintezi polianjonskih fosfatnih katodnih materijala nanočestičnih dimenzija korišćenjem brzih i ekonomičnih metoda koje je lako kontrolisati, a koje dovode do sitnije i homogenije veličine čestica, homogenog faznog sastava pa stoga i boljih elektrohemijskih performansi. Poznat je veliki broj metoda sinteze koje se mogu koristiti, kao što su: reakcija u čvrstom stanju, mehanohemijaska metoda, metoda u mikrotalasnom polju, koprecipitacija, postprecipitacija, sol-gel metoda, gel-combustion metoda, glicin-nitratna metoda, hidrotermalna metoda, itd. Cilj je da se variranjem uslova sinteze, (u pogledu polaznog prekursora, prirode i količine metalnog oksida, tipa dopanta) optimizuju parametri sinteze kako bi se dobili materijali poželjne morfologije koja će poboljšati kinetiku interkalacije litijumovih/natrijumovih jona i obezbijediti stabilnu vrijednost kulonskog kapaciteta tokom cikličnog punjenja i pražnjenja. Takođe, obuhvatiće se poboljšanje provodljivosti materijala bilo dodavanjem prekursora koji služi kao izvor ugljenika tokom sinteze ili in-situ dodavanjem. Planirano je da se kao izvor ugljenika koriste limunska, malonska kiselina i saharoza, a zatim poredjenjem karakteristika materijala dobijenih sa razlicitim izvorom ugljenika predloži najbolji od njih.

Dalje istraživanje će obuhvatiti detaljnu fizičko-hemijsku karakterizaciju sintetisanih katodnih materijala, ispitivanjem sledećim metodama: difrakcijom rendgenskog zračenja na prahu (XRPD), skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM+EDS), transmisionom elektronskom mikroskopijom (TEM), termogravimetrijsko/diferencijalno termijskom analizom (TGA/DSC), infracrvenom (FTIR) i/ili ramanskom spektroskopijom (RAMAN). Identifikacija dobijenog uzorka vršiće se XRPD metodom. SEM metoda će dati podatke o morfologiji dobijenog materijala, a EDS metodom će se ukazati na prisustvo elemenata u dobijenom materijalu, odnosno sastav materijala. TEM metodom će se pokazati unutrašnjost čestica sintetisanog materijala. TGA i DSC metode će se koristiti kako bi se utvrdila termička stabilnost materijala kao i sadržaj ugljenika u dobijenom materijalu. FTIR i RAMAN metodama

identifikovaće se vibracije, odnosno veze između atoma, koje će ukazati na prisustvo određenih grupa unutar materijala, a sve u cilju dobijanja detaljnijih informacija o strukturi sintetisanog materijala. Dakle, cilj ove faze istraživanja je dobijanje informacija o faznim, morfološkim i strukturnim karakteristikama sintetisanih materijala, kao i količini ugljenika. Pored toga, određene metode karakterizacije će biti korišćene kako prije, tako i nakon elektrohemijskih mjerenja, kako bi se ukazalo na očuvanje strukture ili moguće promjene tokom cikliranja materijala. Napomena: pristup navedenim metodama karakterisanja materijala je omogućen na osnovu saradnje Metalurško-tehnološkog fakulteta sa Fakultetom za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu gdje će student boraviti tokom usavršavanja, kao i na osnovu saradnje Metalurško-tehnološkog fakulteta sa institutima i ostalim fakultetima u inostranstvu.

Naredna faza istraživanja će obuhvatiti elektrohemijsko ispitivanje sintetisanih materijala. Cilj elektrohemijskog ispitivanja jeste da se prevashodno utvrdi mogućnost primjene sintetisanog materijala u litijum/natrijum jonskim baterijama. U tom smislu, koristiće se sledeće elektrohemijske metode: ciklična voltometrija (CV), hronopotencijometrija (CP) i galvanostatsko punjenje/praznjenje. Za snimanja metodama CV i CP koristiće se troelektrodna elektrohemijska ćelija sastavljena od radne, pomoćne i referentne elektrode. Sintetisani materijali će se prevashodno ispitivati u vodenim elektrolitičkim rastvorima litijumove/natrijumove soli sa aspekta elektrohemijske aktivnosti, kulonskog kapaciteta i njegove stabilnosti tokom višestrukog punjenja i praznjenja. Materijali, najbolji po performansama, će se selektovati i sklapati u litijum/natrijum dvoelektrodnu ćeliju kako vodenog tako i organskog tipa i dalje testirati sa stanovišta kapaciteta, energije i broja ciklusa punjenja i praznjenja koristeći metodu galvanostatskog punjenja i praznjenja.

Poslednja faza istraživanja će obuhvatiti proučavanje mehanizma samog procesa interkalacije litijumovih/natrijumovih jona kao i njihovog skladištenja na faznoj granici elektroda/elektrolit. Biće ispitano uticaj strukture, uticaj sadržaja ugljenika, specifične površine, poroznosti i električne provodljivosti na mehanizam skladištenja litijumovih/natrijumovih jona odnosno na efikasnost konverzije hemijske u električnu energiju. Proučavanjem datih korelacija, zajedno sa kinetičkom analizom dobijenom iz elektrohemijskih mjerenja, pokušaćemo da se dođe do bolji uvida u kompleksni mehanizam skladištenja naelektrisanja na faznoj granici elektroda/elektrolit čije razumijevanje je neophodno za dizajniranje anodnih i katodnih materijala odnosno baterija visokih performansi.

Iz grupe katodnih materijala na bazi fosfata za preliminarna istraživanja ove doktorske disertacije, a u skladu sa već prikazanim pregledom dosadašnjih istraživanja, izabran je materijal  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$  (NFPP). U cilju dobijanja nanočestica ovog materijala krenulo se od sol-gel metode iz razloga što svi gel proizvodi mogu da sadrže nanočestice ili da budu nanokompoziti. S druge strane prednost ove metode jesu dobra stehiometrijska kontrola polaznih prekursora, što kako je već zapaženo ima jako bitan uticaj za dobijanje ovog materijala, zatim kratko vrijeme zagrijavanja, niske temperature sinteze, omogućeno homogeno miješanje i dobra kristalichnost sa ravnomjernim veličinama i prečnikom čestica. So gvožđa je izabrana kao polazni prekursor koji predstavlja izvor gvožđa, dok je limunska kiselina korišćena kao kompleksirajuće sredstvo i kao izvor ugljenika. Kombinacija ovih prekursora, uz amonijum dihidrogenfosfat i natrijum pirofosfat, predstavlja novinu u odnosu na već korišćene, dok sa druge strane značajno smanjuje cijenu sinteze, a takođe je opravdana i njihova upotreba sa ekološkog aspekta. Pored toga, limunska kiselina, kao izvor ugljenika dodatno utiče na povećanje provodljivosti materijala, a samim tim i na povećane vrijednosti kapaciteta. Natrijumove soli hidrogen fosfata i pirofosfata

su predstavljale izvor ovih jona. Žarenjem dobijenog prekursora na 500 °C dobijen je prah, čijom XRPD analizom je identifikovana faza  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$ , ali uz prisustvo fazne nečistoće  $\text{Na}_2\text{FeP}_2\text{O}_7$ . Prisustvo ove faze je takođe potvrđeno karakterizacijom praha FTIR-metodom. U cilju dobijanja čiste faze, planirano je da se varira odnos polaznih prekursora Fe i limunske kiseline.

Elektrohemijskim ispitivanjima, tačnije pri snimanju u vodenim elektrolitima natrijumovih/litijumovih soli, metodom ciklične voltametrije, uočena je značajna aktivnost sintetisanog materijala, uz dobijanje prihvatljivih vrijednosti kapaciteta za vodene elektrolite. U cilju poboljšanja elektrohemijjskih performansi, a poznavajući lošiju električnu provodljivost ovog materijala, uz iste uslove a u toku same sinteze dodata je saharoza kao dodatni izvor ugljenika. Očekivano povećanje kapaciteta je primjećeno nakon snimanja materijala cikličnom voltametrijom. Planirano je da se sintetisani uzorci ispituju snimanjem TGA/DSC dijagrama, na osnovu čega će se steći uvid u sadržaja ugljenika koji je nastao kalcinisanjem polaznih prekursora, kako bi se mogao odrediti kapacitet aktivnog materijala, a samim tim i procentualni porast kapaciteta nakon dodavanja saharoze. Osim variranja odnosa Fe i limunske, planirano je varirati i količinu saharoze. Planirano je da se kao izvor ugljenika koriste i drugi organski prekursori.

Dalje istraživanje će biti u skladu sa već gore navedenim planom.

#### Očekivani naučni doprinos

Tokom istraživanja u okviru doktorske disertacije planirano je da se modifikacijom postojećih i uvođenjem novih jeftinih i relativno brzih sinteza poboljšaju elektrohemijske karakteristike elektrodnih materijala kako u organskim, tako i u vodenim elektrolitičkim rastvorima. Variraće se uslovi sinteze u pogledu polaznog prekursora, prirode i količine metalnih soli, tipa dopanta, kako bi se optimizovali parametri sinteze i utvrdilo kojim tipom sinteze se dobijaju materijali željenih visokostrujnih performansi.

Detaljan uvid u mehanizam skladištenja naelektrisanja u baterijama, a koji je vrlo kompleksan, predstavlja ključni parameter za dobijanje naprednih i perspektivnih materijala litijum/natrijum jonskih baterija. U tom smislu, proučavanje mehanizma samog procesa interkalacije litijumovih/natrijumovih jona elektrohemijjskim metodama, kao i njihovog skladištenja na faznoj granici elektroda/elektrolit predstavlja značajan naučni doprinos. Vrlo važan doprinos planiranog istraživanja je i razumijevanje i detaljno objasnjenje faznih, morfoloških i strukturnih karakteristika sintetisanih materijala, koji takođe utiču na mehanizam skladištenja litijumovih/natrijumovih jona odnosno na efikasnost konverzije hemijske u električnu energiju. Rezultati istraživanja biće publikovani u časopisima koje pokrivaju Web of Science i Scopus, sa visokim impakt faktorom.

#### Spisak objavljenih radova kandidata

Rad:

V. Grudić, I. Bošković and A. Gezović, Inhibition of Copper Corrosion in NaCl Solution by Propolis Extract, CABEQ 32 (3) (2018) 299-305

Konferencije:

**Gezović Aleksandra**, Vujković Milica, Jugović Dragana, Janković Častvan Ivona, Stojković Simatović Ivana, Mentus Slavko; Synthesis, characterization and electrochemical properties of  $\text{Na}_{0.44}\text{MnO}_2$  in  $\text{NaNO}_3$  and  $\text{LiNO}_3$  aqueous solution, Physical Chemistry 2018; 14th

International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, September 24-28, Belgrade, Serbia, (2018) 407-410

**Aleksandra Gezović**, Milica Vujković, Dragana Jugović, Ivona Janković-Častvan and Ivana Stojković Simatović, "Na<sub>0.44</sub>MnO<sub>2</sub> as a cathode material for aqueous sodium-ion batteries" 3rd International Symposium on Materials for Energy Storage and Conversion-mESC-IS, September 10th-12th, Belgrade, Serbia, (2018) 89-89

Stojan Božović, Sanja Martinez, Veselinka Grudić and **Aleksandra Gezović**, "Synergistic effect of propolis, tannin and benzoate on the corrosion behaviour of metals in 0.51 M NaCl solution", 23rd International conference of materials protection and industrial finish, KORMAT 2018, Zagreb, Hrvatska

### Popis literature

1. D. Linden, T. B. Reddy, Handbook of batteries, Third Edition, McGraw-Hill (2002)
2. Languang Lu, Xuebing Han, Jianqiu Li, Jianfeng Hua, Minggao Ouyang, A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles, Journal of Power Sources, Volume 226, 2013, Pages 272-288, ISSN 0378-7753
3. Liang, Y, Zhao, C-Z, Yuan, H, et al. A review of rechargeable batteries for portable electronic devices. InfoMat. 2019, 1 6– 32
4. Naoaki Yabuuchi, Kei Kubota, Mouad Dahbi, and Shinichi Komaba, Research Development on Sodium-Ion Batteries, Chemical Reviews 2014 114 (23), 11636-11682
5. Chayambuka, K., Mulder, G., Danilov, D. L., Notten, P. H. L., Sodium-Ion Battery Materials and Electrochemical Properties Reviewed, Adv. Energy Mater. 2018, 8, 1800079
6. Tsutomu Ohzuku, Ralph J. Brodd, An overview of positive-electrode materials for advanced lithium-ion batteries, Journal of Power Sources, Volume 174, Issue 2, 2007, Pages 449-456, ISSN 0378-7753
7. Zhang, Y., Li, Y., Xia, X. et al. High-energy cathode materials for Li-ion batteries: A review of recent developments, Sci. China Technol. Sci. (2015) 58: 1809, ISSN 1674-7321
8. Li M., Lu J., Chen Z., Amine K., 30 Years of Lithium-Ion Batteries, Adv. Mater. 2018, 30, 1800561
9. Dragana Jugović, Dragan Uskoković, A review of recent developments in the synthesis procedures of lithium iron phosphate powders, Journal of Power Sources, Volume 190, Issue 2, 2009, Pages 538-544, ISSN 0378-7753
10. L.-X. Yuan, Z.-H. Wang, W.-X. Zhang, X.-L. Hu, J.-T. Chen, Y.-H. Huang, J.B. Goodenough, Development and challenges of LiFePO<sub>4</sub> cathode material for lithium-ion batteries, Energy Environ. Sci., 4 (2011) 269–284
11. Zhigao Yang, Yu Dai, Shengping Wang, and Jingxian Yu, How to make lithium iron phosphate better: a review exploring classical modification approaches in-depth and proposing future optimization methods, J. Mater. Chem. A, 2016,4, 18210-18222



12. Christian Masquelier and Laurence Croguennec, Polyanionic (Phosphates, Silicates, Sulfates) Frameworks as Electrode Materials for Rechargeable Li (or Na) Batteries, *Chemical Reviews* 2013, 113 (8), 6552-6591
13. Meng Hu, Xiaoli Pang, Zhen Zhou, Recent progress in high-voltage lithium ion batteries, *Journal of Power Sources*, Volume 237, 2013, Pages 229-242, ISSN 0378-7753
14. Xianhong Rui, Qingyu Yan, Maria Skyllas-Kazacos, Tuti Mariana Lim,  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$  cathode materials for lithium-ion batteries: A review, *Journal of Power Sources*, Volume 258, 2014, Pages 19-38, ISSN 0378-7753
15. Yongjin Fang · Lifen Xiao · Zhongxue Chen · Xinping Ai · Yuliang Cao · Hanxi Yang, Recent Advances in Sodium-Ion Battery Materials, *Electrochemical Energy Reviews*, 2018, 1:294–323
16. Yabuuchi, N., Komaba, S.: Recent research progress on iron- and manganese-based positive electrode materials for rechargeable sodium batteries. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 15, 2014, 043501
17. Long Wang, Jie Song, Ruimin Qiao, L. Andrew Wray, Muhammed A. Hossain, Yi-De Chuang, Wanli Yang, Yuhao Lu, David Evans, Jong-Jan Lee, Sean Vail, Xin Zhao, Motoaki Nishijima, Seizoh Kakimoto, and John B. Goodenough, Rhombohedral Prussian White as Cathode for Rechargeable Sodium-Ion Batteries, *Journal of the American Chemical Society* 2015, 137, (7), 2548-2554
18. Yongjin Fang, Qi Liu, Lifen Xiao, Xinping Ai, Hanxi Yang, and Yuliang Cao, High-Performance Olivine  $\text{NaFePO}_4$  Microsphere Cathode Synthesized by Aqueous Electrochemical Displacement Method for Sodium Ion Batteries, *ACS Applied Materials & Interfaces* 2015 7 (32), 17977-17984
19. Yongjin Fang, Jiexin Zhang, Lifen Xiao, Xinping Ai, Yuliang Cao, and Hanxi Yang, Phosphate Framework Electrode Materials for Sodium Ion Batteries, *Adv. Sci.* 2017, 4, 1600392
20. Xiangjun Pu, Huiming Wang, Dong Zhao, Hanxi Yang, Xinping Ai, Shunan Cao, Zhongxue Chen, and Yuliang Cao, Recent Progress in Rechargeable Sodium-Ion Batteries: toward High-Power Applications, *Small* 2019, 1805427
21. Prabeer Barpanda, Guandong Liu, Chris D. Ling, Mao Tamaru, Maxim Avdeev, Sai-Cheong Chung, Yuki Yamada, and Atsuo Yamada,  $\text{Na}_2\text{FeP}_2\text{O}_7$ : A Safe Cathode for Rechargeable Sodium-ion Batteries, *Chemistry of Materials* 2013 25 (17), 3480-3487
22. Baskar Senthilkumar, Chinnasamy Murugesan, Lalit Sharma, Shubham Lochab, and Prabeer Barpanda, An Overview of Mixed Polyanionic Cathode Materials for Sodium-Ion Batteries, *Small Methods* 2018, 1800253
23. Mingzhe Chen, Qiannan Liu, Shi-Wen Wang, Enhui Wang, Xiaodong Guo, and Shu-Lei Chou, High-Abundance and Low-Cost Metal-Based Cathode Materials for Sodium-Ion Batteries: Problems, Progress and Key Technologies, *Adv. Energy Mater.* 2019, 1803609
24. Rui Liu, Ziteng Liang, Zhengliang Gong, and Yong Yang, Research Progress in Multielectron Reactions in Polyanionic Materials for Sodium-Ion Batteries, *Small Methods* 2018, 1800221

25. Haegyeom Kim, Jongsoon Kim, Hee-Dae Lim, Won-Sub Yoon, and Kisuk Kang, Understanding the Electrochemical Mechanism of the New Iron-Based Mixed-Phosphate  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)$  in a Na Rechargeable Battery, Chem. Mater. 2013,25, 18, 3614-3622
26. Senthilkumar Baskar, Rambabu Angalakuthi, Chinnasamy Murugesan, S.B. Krupanidhi and Prabeer Barpanda, Senthilkumar Baskara, Rambabu Angalakuthia, Chinnasamy Murugesana, S.B. Krupanidhia and Prabeer Barpanda, ECS Trans.,2018, volume 85, issue 13, 227-234
27. Mingzhe Chen, Weibo Hua, Jin Xiao, David Cortie, Weihua Chen, Enhui Wang, Zhe Hu, Qinfen Gu , Xiaolin Wang, Sylvio Indris, Shu-Lei Chou 1 & Shi-Xue Dou, NASICON-type air-stable and all-climate cathode for sodium-ion batteries with low cost and high-power density, Nature. Communications, 2019, 10:1480
28. Antonio Jesus Fernández-Ropero, Maider Zarrabeitia, Marine Reynaud, Teofilo Rojo, and Montse Casas-Cabanas, Towards Safe and Sustainable Batteries:  $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)$  as Low-Cost Cathode for Rechargeable Aqueous Na-Ion Batteries, J. Phys. Chem. C, 2018, 122, 1, 133-142

**SAGLASNOST PREDLOŽENOG/IH MENTORA I DOKTORANDA SA PRIJAVOM**

Odgovorno potvrđujem da sam saglasan sa temom koja se prijavljuje.

Prvi mentor	dr Veselinka Grudić	<i>V. Grudic</i>
Drugi mentor	dr Milica Vujković	<i>M. Vujkovic</i>
Doktorand	MSc Aleksandra Gezović	<i>Gezovic Aleksandra</i>

**IZJAVA**

Odgovorno izjavljujem da doktorsku disertaciju sa istom temom nisam prijavio/la ni na jednom drugom fakultetu.

U Podgorici,  
05.06.2019.godine

Ime i prezime doktoranda

*Gezovic Aleksandra*

Aleksandra Gezović

УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ

Ул. Цетињска бр. 2  
П. фах 99  
81000 ПОДГОРИЦА  
ЦРНА ГОРА  
Телефон: (020) 414-255  
Факс: (020) 414-230  
E-mail: rektor@uc.me



UNIVERSITY OF MONTENEGRO

Ul. Cetinjska br. 2  
P.O. BOX 99  
81 000 PODGORICA  
MONTENEGRO  
Phone: (+382) 20 414-255  
Fax: (+382) 20 414-230  
E-mail: rektor@uc.me

Број: 08-1736  
Датум, 14. 06. 2015 г.

Ref: \_\_\_\_\_  
Date, \_\_\_\_\_

Na osnovu člana 72 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Službeni list Crne Gore br. 44/14) i člana 32 stav 1 tačka 9 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 24. juna 2015. godine, donio je

**ODLUKU  
O IZBORU U ZVANJE**

Dr VESELINKA GRUDIĆ bira se u akademsko zvanje **vanredni profesor Univerziteta Crne Gore** za predmete: Hemijska termodinamika, Tehnološke operacije II, Elektrohemijska, Hemijski izvori struje i Zaštitne prevlake na studijskom programu Hemijska tehnologija na Metalurško-tehnološkom fakultetu, na period od pet godina.



REKTOR

Prof. Radmila Vojvodić

## BIOGRAFIJA- Prof. dr Veselinka Grudić

Dr Veselinka Grudić rođena je 03.01.1972. godine u Pljevljima –SR Crna Gora.

Osnovnu školu sam je završila u Pljevljima, a srednju školu u Podgorici sa odličnim uspjehom. Metalurško-tehnološki fakultet-odsjek Neorganska tehnologija (opšti smjer), Univerziteta u Podgorici je upisala 1990/91. godine. Diplomirala je 1995. godine i stekla zvanje diplomirani inženjer neorganske tehnologije. Poslijediplomske studije na Fakultetu za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu upisala je 1995 godine. Magistarski rad pod naslovom: "Kinetika elektrodnih reakcija metala u aprotičnim elektrolitičkim rastvorima" odbranila je u februaru 1999. godine, Doktorsku disertaciju pod naslovom: "Oksidacija halogenidnih jona u aprotičnim elektrolitičkim rastvorima" odbranila je marta 2004. godine na Fakultetu za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu.

Zaposlila se na Metalurško-tehnološki fakultet u Podgorici 1995.godine kao asistent – stažista sa punim radnim vremenom na Katedri za fizičku hemiju i elektrohemiju. U zvanje asistenta je izabrana 12.01.2000. godine na istoj katedri sa punim radnim vremenom. Tokom rada kao asistent-stažista bila je angažovana na izvođenju vježbi iz predmeta: Elektrohemija i Zaštitne prevlake Od oktobra 2002 godine izvodila je vježbe iz predmeta Hemijska termodinamika, a od oktobra 2003 god. je angažovana u nastavi iz istog predmeta. U zvanje Višeg stručnog saradnika, za izvođenje vježbi iz predmeta: Fizička hemija i elektrohemija, Elektrohemija, Neorganska hemija i Hemija na Poljoprivrednom fakultetu izabrana je 02.11.2005. godine. U zvanje docenta izabrana je 26.11.2009. godine (bilten br. 245, odluka broj 01-2327 od 26.11.2009. god.) za predmete: Hemijska termodinamika, Tehnološke operacije, Hemijski izvori struje i Zaštitne prevlake na Metalurško-tehnološkom fakultetu. U zvanje vanrednog profesora izabrana je 24.06.2015.godine za predmete: Hemijska termodinamika, Tehnološke operacije II, Elektrohemija, Hemijski izvori struje i Zaštitne prevlake.

Profesionalna orijentacija dr Veselinke Grudić je u području elektrohemijske sinteze različitih oksida metala (metode sagorijevanja gela), elektrohemijskog ispitivanja različitih površinskih procesa na granici elektroda / elektrolita, ispitivanje mehanizma i kinetike sorpcijskih procesa, kao i zaštite metalnih materijala od korozije primjenom inhibitora. Bila je mentor velikog broja specijalističkih radova, jednog magistarskog rada, a trenutno je mentor dvije doktorske disertacije. Publikovala je više od 30 naučnih i konferencijskih radova, od kojih je 15 radova SCI indeksiranih publikacija. Aktivno je učestvovala u realizaciji 7 naučno-istraživačkih i bilateralnih projekata.

Prof. dr Veselinka Grudić- Najznačajnije reference

1. S.Mentus, D.Jelić, **V.Grudić**, "Lanthanum nitrate decomposition by both temperature programmed heating and citrate gel combustion", Journal of thermal analysis and calorimetry, Vol. 87 (2), 2007.ISSN 1388- 6150.str.393-397
2. S.V.Mentus, I. Bošković, J.M. Pješčić, **V.Grudić** and Ž. Bogdanov, "Tailoring the morphology and electrocatalytic properties of electrochemically formed Ag/TiO<sub>2</sub> composite deposits on titanium surfaces", *J. Serb.Chem.Soc.* 72 (12) (2007), pp. 1403-1418, ISSN 0352-5139
3. V.L. Vukašinović Pešić, V.N. Rajaković-Ognjanović, N.Z. Blagojević, **V.V. Grudić**, B.M. Jovanović, Lj.V. Rajaković, "Enhanced arsenic removal from water by activated red mud based on hydrated iron(III) and titan(IV) oxides", Chem. Eng. Commun., (2012), 199(7): 849-864. ISSN: 0098-6445
4. **Veselinka V. Grudić**, Dina Perić, Nada Z. Blagojević, Vesna L. Vukašinović-Pešić, Snežana Brašanac, Bojana Mugoša, "Pb(II) and Cu(II) sorption from aqueous solutions using activated red mud –evaluation of kinetic, equilibrium and thermodynamic models", Pol. J. Environ. Stud. (2013), 22(2): 377-385. ISSN: 1230-1485
5. **Grudić Veselinka V.**, Blagojević Nada Z., Vukašinović-Pešić Vesna L., Brašanac Snežana R., "Kinetics of degradation of ascorbic acid by cyclic voltammetry method", CI&CEQ, (2015), 21(2): 351-357. ISSN: 1451-9372
6. **V.Grudić**, J.Pješčić-Šćepanović, I.Bošković, "Removal of cadmium (II) from aqueous solution using fermented grape marc as a new adsorbent", CI&CEQ (2015), 21(2): 285 – 293. ISSN 1451- 9372
7. **Veselinka V. Grudić**, Snežana Brašanac, Vesna L. Vukašinović- Pešić and Nada Z. Blagojević "Sorption of cadmium from water using neutralized red mud and activated neutralized red mud " ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences (2013), 8(11): 933 - 943. ISSN: 1819 – 6608
8. **Veselinka Grudić**, Ivana Bošković, Željko Jaćimović, Sorption kinetics of Cd(II) ions on fermented grape marc, Environment Protection Engineering (2017), 43(4): 243 -252
9. **V.Grudić**, I. Bošković, A.Gezović "Inhibition of Copper Corrosion in NaCl Solution by Propolis Extract ", Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, (2018), 32 (3):299-305, ISSN 0352-9568
10. Stojan Božović, Sanja Martinez and **Veselinka Grudić**, "A Novel Environmentally Friendly Synergistic Mixture for Steel Corrosion Inhibition in 0.51 M NaCl", Acta Chimica Slovenica, (2019), 66 pp:112–122, ISSN: 1580-3155
11. **Veselinka Grudić**, Ivana Bošković, Sanja Martinez, Bojana Knežević, "Study of corrosion inhibition for mild steel in NaCl solution by propolis extract", Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, (2018) Vol. 37, No. 2, pp. 203–213, ISSN 1857-5552

Република Србија  
МИНИСТАРСТВО ПРОСВЕТЕ,  
НАУКЕ И ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА  
Комисија за стицање научних звања

Број: 660-01-00006/449

27.04.2018. године

Београд

На основу члана 22. став 2. члана 70. став 5. Закона о научноистраживачкој делатности ("Службени гласник Републике Србије", број 110/05, 50/06 – исправка, 18/10 и 112/15), члана 3. ст. 1. и 3. и члана 40. Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник Републике Србије", број 24/16, 21/17 и 38/17) и захтева који је поднео

*Факултет за физичку хемију у Београду*

Комисија за стицање научних звања на седници одржаној 25.04.2018. године, донела је

**ОДЛУКУ  
О СТИЦАЊУ НАУЧНОГ ЗВАЊА**

*Др Милица Вујковић*

стиче научно звање

*Виши научни сарадник*

у области природно-математичких наука - физичка хемија

**О Б Р А З Л О Ж Е Њ Е**

*Факултет за физичку хемију у Београду*

утврдио је предлог број 936 од 10.07.2017. године на седници Наставно-научног већа Факултета и поднео захтев Комисији за стицање научних звања од 18.07.2017. године за доношење одлуке о испуњености услова за стицање научног звања *Виши научни сарадник*.

Комисија за стицање научних звања је по претходно прибављеном позитивном мишљењу Матичног научног одбора за хемију на седници одржаној 25.04.2018. године разматрала захтев и утврдила да именована испуњава услове из члана 70. став 5. Закона о научноистраживачкој делатности ("Службени гласник Републике Србије", број 110/05, 50/06 – исправка, 18/10 и 112/15), члана 3. ст. 1. и 3. и члана 40. Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник Републике Србије", број 24/16, 21/17 и 38/17) за стицање научног звања *Виши научни сарадник*, па је одлучила као у изреци ове одлуке.

Доношењем ове одлуке именована стиче сва права која јој на основу ње по закону припадају.

Одлуку доставити подносиоцу захтева, именованој и архиви Министарства просвете, науке и технолошког развоја у Београду.

ПРЕДСЕДНИК КОМИСИЈЕ

*С. Станислава Стошић Дружичић*  
Др Станислава Стошић Дружичић,

научни саветник



## **BIOGRAFIJA – Dr Milica Vujković**

**Milica Vujković** je rođena 28.01.1983. godine u Nikšiću, gde je završila Osnovnu školu "Olga Golović" a zatim i Gimnaziju "Stojan Cerović", prirodno-matematički smer. Osnovne studije na Fakultetu za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu upisala je školske 2001/02. Diplomirala je 2006. godine sa prosečnom ocenom 9,33 i ocenom 10 za diplomski rad "Sinteza i karakterizacija karnegita sastava  $Fe_xNa_{1-x}AlSiO_4$ ", pod mentorstvom prof. dr Ljiljane Damjanović-Vasilić. Dobitnik je specijalnog priznanja Srpskog hemijskog društva za izuzetan uspeh u toku osnovnih studija. Doktorsku disertaciju pod nazivom "Uticaj uslova sinteze kompozita  $Li_4Ti_5O_{12}/C$  i  $LiFePO_4/C$  na kinetiku interkalacije litijuma u organskim i vodenim elektrolitičkim rastvorima" odbranila je 28.06.2013. godine na Fakultetu za fizičku hemiju u Beogradu, pod mentorstvom prof. dr Slavka Mentusa, redovnog člana Srpske Akademije Nauka i Umetnosti. Nagrađena je za najbolju doktorsku disertaciju na međunarodnoj konferenciji Yucomat 2013, kao i od privredne komore Beograda. Dobitnik je nagrade zadužbine "Đoke Vlajkovića", za najbolji naučni rad u 2018. godini. Od aprila 2007. godine do avgusta 2008. je radila kao instrumentalni analitičar u Centru za Ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore u Podgorici. Od januara 2009. godine zaposlena je na Fakultetu za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu, gde trenutno radi kao viši naučni saradnik, na naučno-istraživačkom projektu pod nazivom: "Litijum-jon baterije i gorivne ćelije- istraživanje i razvoj" (br. III45014), čiji je nosilac Fakultet za Fizičku hemiju a rukovodilac Akademik prof. dr Slavko Mentus, redovni član SANU-a.

## Dr Milica Vujković – najznačajnije reference

1. Z. Jovanović, D. Bajuk-Bogdanović, Sonja Jovanović, Željko Mravik, I. Holclajtner-Antunović, **M. Vujković**, The role of surface chemistry in the charge storage properties of graphene oxide, *Electrochimica Acta*, 258 (2017) 1228-1243, doi:10.1016/j.electacta.2017.11.178, 2017. IF: 4.803 (2015)
2. Z. Jovanović, I. Holclajtner-Antunović, D. Bajuk-Bogdanović, Sonja Jovanović, Željko Mravik, **M. Vujković**, Effect of thermal treatment on the charge storage properties of graphene oxide/12-tungstophosphoric acid nanocomposite, *Electrochemistry Communications*, 83 (2017) 36-40, doi: 10.1016/j.elecom.2017.08.017
3. Jelena Senčanski, Danica Bajuk-Bogdanović, Divna Majstorović, Elena Tchernychova, Jelena Papan, **Milica Vujković**, *The synthesis of Li(Co-Mn-Ni)O<sub>2</sub> cathode material from spent-Li ion batteries and the proof of its functionality in aqueous lithium and sodium electrolytic solutions*, *J. Power Sources* 342 (2017) 690-703, doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.12.115, (IF2015=6.333).
4. **M. Vujković**, S. Mentus, *Potentiodynamic and galvanostatic testing of NaFe<sub>0,95</sub>V<sub>0,05</sub>PO<sub>4</sub>/C composite in aqueous NaNO<sub>3</sub> solution, and the properties of aqueous Na<sub>1,2</sub>V<sub>3</sub>O<sub>8</sub>/NaNO<sub>3</sub>/ NaFe<sub>0,95</sub>V<sub>0,05</sub>PO<sub>4</sub>/C battery*, *J. Power Sources*, 325 (2016) 185-193, doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.06.031, (IF2015=6.333).
5. **M. Vujković**, B. Vidoeski, S. Jovanović, D. Bajuk-Bogdanović, M. Budimir, Z. Marković, V. Pavlović, B. M. Todorović-Marković, I. Holclajtner-Antunović, *Synthesis and characterization of electrochemically exfoliated graphene-molybdophosphate hybride materials for charge storage devices*, *Electrochimica Acta* 217 (2016) 34-46. doi: 10.1016/j.electacta.2016.09.067, (IF2015=4.803).
6. Vladimir Dodevski, Marija Stojmenović, **Milica Vujković**, Jugoslav Krstić, Sanja Krstić, Danica Bajuk-Bogdanović, Bojana Kuzmanović, Branka Kaluđerović, Slavko Mentus, *Complex insight into the charge storage behavior of active carbons obtained by carbonization of plane-tree seed*, *Electrochimica Acta*, 222 (2016) 156-171, doi:10.1016/j.electacta.2016.10.182, (IF2015=4.803)
7. Marija Stojmenović, **Milica Vujković**, Ljiljana Matović, Jugoslav Krstić, Anđelka Đukić, Vladimir Dodevski, Sanja M. Živković, Slavko Mentus, *Complex investigation of charge storage behavior of microporous carbon synthesized by zeolite template*, *Microporous and Mesoporous Materials*, 228 (2016) 94-106, doi:10.1016/j.micromeso.2016.03.029 (IF2015:3.349).
8. B. Šljukić, **M. Vujković**, L. Amaral, D.M.F. Santos, R.P. Rocha, C.A.C. Sequeira, J.L-Figueiredo, *Carbon-Supported Mo<sub>2</sub>C electrocatalysts for hydrogen evolution reaction*, *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (2015) 15505-15512, doi: 10.1039/C5TA02346G. (IF2015: 8.262).
9. **Milica Vujković**, Miodrag Mitrić, Slavko Mentus, *High-rate intercalation capability of NaTi<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/C*, *Journal of Power Sources*, 288 (2015) 176-186, doi:10.1016/j.jpowsour.2015.04.132, (IF2015=6.333).
10. **M. Vujković**, I. Pašti, I. Stojković Simatović, B. Šljukić, M. Milenković, S. Mentus, *The influence of intercalated ions on the cyclic stability of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/graphite composite in aqueous electrolytic solutions: Experimental and Theoretical Approach*, *Electrochimica Acta* 176 (2015) 130–140, doi:10.1016/j.electacta.2015.07.004, (IF2015=4.803).
11. **M. Vujković**, B. Šljukić Paunković, I. Stojković Simatović, M. Mitrić, C.A.C. Sequeira, S. Mentus, *Versatile insertion capability of Na<sub>1,2</sub>V<sub>3</sub>O<sub>8</sub> nanobelts in aqueous electrolyte solutions*, *Electrochimica Acta*, 147 (2014) 167-175, doi:10.1016/j.electacta.2014.08.137. (IF2014=4.504).



# УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ

Ул. Цетинска бр. 2  
П. факс 99  
81000 ПОДГОРИЦА  
ЦРНА ГОРА  
Телефон: (020) 414-255  
Факс (020) 414-230  
E-mail: rektor@ac.me



# UNIVERSITY OF MONTENEGRO

Ul. Cetinjska br. 2  
P.O. BOX 99  
81 000 PODGORICA  
MONTENEGRO  
Phone: (+383) 020 414 255  
Fax: (+383) 020 414 230  
E-mail: rektor@ac.me  
UNIVERSITY OF MONTENEGRO  
METALURŠKO TEHNOLOŠKI FAKULTET

Број: 08-419  
Датум, 25.03.2010. г.

Primijeno: 6.04.2010			
Orig. jed.	Broj	Prilog	Vrijednost
Date:			
09	244		

Na osnovu člana 75 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Sl.list RCG br. 60/03) i člana 18 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 25.03.2010. godine, donio je

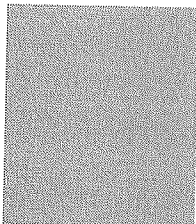
## ODLUKU O IZBORU U ZVANJE

Dr **ŽELJKO JAĆIMOVIĆ** bira se u akademsko zvanje **redovni profesor** Univerziteta Crne Gore za predmete: Neorganska hemija, Hemijska veza i struktura molekula (dio: Struktura molekula) na studijskom programu Hemijska tehnologija na osnovnim akademskim studijama, Opšta i neorganska hemija, na Samostalnom studijskom programu Farmacija na osnovnim akademskim studijama i Neorganska hemija II, na studijskom programu Hemijska tehnologija na postdiplomskim specijalističkim studijama na **Metalurško-tehnološkom fakultetu**.

REKTOR

*Prof. dr Predrag Miranović*  
Prof. dr Predrag Miranović

## LIČNE INFORMACIJE

**Jaćimović Željko**


📍 Studentska bb, Podgorica, 81100, Crna Gora.

☎ +382 69 314 358

✉ [zeljkoj@ucg.ac.me](mailto:zeljkoj@ucg.ac.me)

Pol Muški | Datum rođenja 15/08/1966 | Državljanstvo Crnogorsko

**RADNO ISKUSTVO**

- |             |  |
|-------------|--|
| 2007.-sada  | Farmaceutski fakultet, Podgorica, Univerzitet Crne Gore<br>Profesor Opše i neorganske hemije   |
| 2007.-2015. | Ispitni centar Crne Gore, Podgorica<br>Direktor<br>Ispitni centar je institucija zadužena za eksternu provjeru znanja, vještina i kompetencija učenika i za sva međunarodna testiranja douniverzitetskog nivoa                     |
| 2005.-2018  | Prirodno-matematički fakultet, Podgorica, Univerzitet Crne Gore<br>Profesor Opšte i neorganske hemija<br>Smjer: Biologija  |
| 2004.-sada  | Metalurško-tehnološki fakultet, Podgorica, Univerzitet Crne Gore<br>Profesor na predmetima: Neorganska hemija, Hemijska veza i struktura molekula, Neorganska hemija II, Hemija čvrstog stanja, Ekotoksikologija, Zagađivači hrane |
| 2000.-2004. | Metalurško-tehnološki fakultet, Podgorica, Univerzitet Crne Gore<br>Docent<br>Opšta i neorganska hemija, Kristalografija sa difraktometrijom   |
| 1992.-2000. | Metalurško-tehnološki fakultet, Podgorica, Univerzitet Crne Gore<br>Asistent<br>Opšta i neorganska hemija, Kristalografija sa difraktometrijom, Neorganska hemija II   |

**OBRAZOVANJE I  
OSPOSOBLJAVANJE**

- 12.02.1999. Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija  
Institut za opštu i neorgansku hemiju  
Doktor hemijskih nauka, Opšta i neorganska hemija  
Naziv teze: „Sinteza i strukture kompleksa Zn(II), Cd(II), Hg(II) i Cu(II) sa nekim di- i trisupstituisanim derivatima pirazola“
1996. Hemijski fakultet, Beograd, Srbija  
Magistar hemijskih nauka, Opšta i neorganska hemija
1991. Prirodno-matematički fakultet, Sarajevo, Univerzitet Sarajevo  
Diplomirani hemijski inženjer

**LIČNE VJEŠTINE**

Maternji jezik Crnogorski

Ostali jezici

Engleski jezik

RAZUMIJEVANJE		GOVOR		PISANJE
Slušanje	Čitanje	Govorna interakcija	Govorna produkcija	
B2	B2	B2	B2	B2

Stupnjevi: A1/2: Temeljni korisnik - B1/B2: Samostalni korisnik - C1/C2 Iskusni korisnik  
Zajednički europski referentni okvir za jezike

Komunikacijske vještine

Prof. Željko Jaćimović ima veoma dobru i redovnu naučnu saradnju sa više institucija međunarodnog renomea: Univerzitetom u Beču (sa Fakultetom za prirodne nauke - odsjek za neorgansku hemiju i sa Institutom za kristalografiju i mineralogiju), Univerzitetom u Durhamu - Velika Britanija, Hemijskim fakultetom iz Beograda, Institutom za nuklearne nauke - Vinča, Prirodno-matematičkim fakultetom iz Novog Sada. O uspješnosti te saradnje svjedoči značajan broj zajedničkih radova publikovanih u referentnim naučnim časopisima.

Kako na Univerzitetu Crne Gore nema matičnog hemijskog fakulteta, prof. Željko Jaćimović se više puta usavršavao u gore navedenim institucijama i radio na zajedničkim projektima sa kolegama iz tih Institucija. U tom pogledu posebno treba istaći Univerzitet u Beču (mart-jul 2001, septembar-oktobar 2001, jun 2005).

Dobitnik je granta Američkog hemijskog društva i član internacionalne delegacije - rad po pozivu koji je saopštio u Čikagu 2007. u okviru Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy.

Preko Univerziteta Crne Gore aktivni je učesnik TEMPUS projekta "Improvement of Teaching Quality in South East Europe", u okviru kojeg je imao izlaganje na zajedničkom skupu u Sarajevu 2003. godine, i projekta "Creation of Montenegro Team of Bologna Promoters", u okviru kojeg je imao dvije posjete Univerzitetu La Sapienza u Rimu

Organizacione / rukovoditeljske vještine

Prof. Željko Jaćimović daje izuzetan doprinos reformi do-univerzitetskog obrazovanja u Crnoj Gori. Bio je predsjednik Komisije za promjenu nastavnih planova i programa u osnovnoj školi (2003-2005), član Nacionalnog kurikularnog savjeta i koordinator za oblast prirodnih nauka u tom savjetu (2002-2005), član Nadzornog odbora za reformu obrazovanja pri Ministarstvu prosvjete i nauke (2006-2009) i član državnog tima za izradu Nacionalnog okvira kvalifikacija. Predsjednik je (od 2007) Komisije Zavoda za školstvo za akreditaciju programa stručnog usavršavanja nastavnika douniverzitetskog nivoa. Autor je strategije za razvoj i uspostavljanje nove institucije u obrazovnom sistemu Crne Gore – Ispitnog centra. Od 2007. obavlja funkciju direktora Ispitnog centra Crne Gore, institucije zadužene za eksternu provjeru znanja, vještina i kompetencija učenika i za sva međunarodna testiranja douniverzitetskog nivoa. Član je (od 2007) Glavnog odbora za međunarodno testiranje učenika PISA i Naučnog odbora Agency for

Cooperation in Secondary Education PACE. Učestvovao je kao predavač na brojnim seminarima vezanim za metodologiju i izradu novih programa zasnovanih na nastavno-ciljnom kurikulumu. Bio je predavač na konferenciji ERI SEE (Education Reform Initiative of South Eastern Europe) iz oblasti ocjenjivanja, Bar 2007. Ekspert je European Training Foundation (sa sjedištem u Torinu) za oblast ključnih kompetencija i ocjenjivanja. Jedan je od autora publikacije te fondacije "Key Competences for Lifelong Learning-development in the Montenegrin Education System, Project number WP 06-53-01" (2007). Recenzent je sedam i urednik četiri udžbenika za osnovnu školu i gimnaziju. Bio je član žirija za ocjenu projekata na prvom (2006) i drugom (2008) regionalnom takmičenju mladih talenata iz oblasti prirodnih nauka u Bugarskoj, finansiranog od strane UNESKO.

U periodu 2001-2004. godine, u dva mandata, obavljao je funkciju šefa Katedre za opštu i neorgansku hemiju na MTF-u, a od marta do oktobra 2015 obavljao je i funkciju višiočla dužnosti dekana MTF-a.

**Poslovne vještine**

Prof. Željko Jaćimović je član Evropske kristalografske asocijacije i Hemijskog društva Crne Gore. U periodu 2000-2006. obavljao je funkciju sekretara Hemijskog društva Crne Gore, a od 2006. je predsjednik tog društva, koje je te 2006. godine postalo punopravni član Federacije evropskih hemijskih društava. Bio je član naučnog odbora 7 inostranih hemijskih konferencija, konferencije hemije koju organizuju hemijska društva 8 zemalja (Grčka, Rumunija, Bugarska, Makedonija, Albanija, Srbija, Crna Gora, Kipar) i konferencije 1<sup>st</sup> Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry, CEEC-TAC1 2011. godine. Najzaslužniji je što je Hemijsko društvo Crne Gore dobilo i organizovalo Prvi (2007. u Miločeru) i Drugi (2009. u Baru) simpozijum hemije i životne sredine zemalja Jugoistočne Evrope, gdje su pored učesnika iz regiona učestvovali i hemičari iz Turske, Italije, Rusije i SAD, među kojima i predsjednik Američkog hemijskog društva – odjela za zaštitu životne sredine. Od 2013. godine član je Uređivačkog odbora časopisa "Glasnik hemičara i tehnologa Bosne i Hercegovine".

Učestvovao je u realizaciji više istraživačkih i razvojnih projekata, od kojih su posebnog značaja dva projekta finansirana od strane Ministarstva nauke bivše SRJ: Preparation Materials with Antibacterial Catalytic Effect on Metal Basis, i Electrochemical Disinfections of Drink Water. Bio je rukovodilac tri istraživačka projekta finansirana od Ministarstva prosvjete i nauke Crne Gore: Kompleksi serije pirazola i njegovih derivata, Kompleksi serije prelaznih metala sa pirazolom i njegovim derivatima, i Sinteza, fizičko-hemijska karakterizacija i biološka aktivnost kompleksa serije prelaznih metala sa pirazolom i njegovim derivatima.

**Digitalna kompetencija**

SAMOPROCJENA				
Obrada informacija	Komunikacija	Stvaranje sadržaja	Sigurnost	Rješavanje problema
Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Samostalni korisnik

Stepen Temeljni korisnik - Samostalni korisnik - Iskusni korisnik  
 Informacijsko-komunikacijske tehnologije - tablica za samoprocjenu

**Posjeduje ECDL IT sertifikat**
**Vozačka dozvola**

B

**DODATNE INFORMACIJE**

Po broju publikovanih naučnih radova Željko Jaćimović daleko prednjači svim kolegama sa MTF-a i svim hemičarima u Crnoj Gori. Ima 52 naučnih radova publikovanih (plus jedan nedavno prijavljen) u referentnim međunarodnim časopisima sa SCI liste, koji se bave problematikom sinteze i karakterizacije novih kompleksnih jedinjenja. Pored tih radova ima i jedan rad u drugim međunarodnim časopisima i tri rada publikovana u domaćim časopisima. Ima i 13 radova štampanih u cjelosti u zbornicima radova međunarodnih naučnih konferencija. Dio rezultata svojih istraživanja prezentovao je i u vidu 53 saopštenja na inostranim i 19 na domaćim konferencijama, od kojih značajan broj na evropskim i svjetskim kristalografskim kongresima. U knjizi "Who is Who in Thermal Analysis and Calorimetry", iz 2014. godine, renomiranog izdavača Springer International Publishing (hardcover I SBN 978-3-319-09485-4; eBook I SBN 978-3-319-09486-1), na strani 123, prikazan je kratkom biografijom i bibliografijom Željko Jaćimović kao jedan od 350 vodećih naučnika iz oblasti termičke analize i kalorimetrije.

- Projekti**
- Željko Jaćimović je, kao rukovodilac ili član tima, učestvovao u realizaciji značajnih istraživačkih i razvojnih projekata.
- Bio je rukovodilac i pet bilateralnih naučno-istraživačkih projekata Crne Gore:
1. Sa Grčkom, pod nazivom "Sinteza, struktura i biološka aktivnost novih metalnih pirazolonskih kompleksa - anti-oksidantne i biomimetičke aktivnosti kod metalnih kompleksa", (2006-2008);
  2. Sa Hrvatskom - "Structural characterization of novel complex material for broad applications", (2012-2013);
  3. Sa Slovenijom - "The use of natural and synthetic zeolites for the removal of heavy-metals (or inorganic ions) from waste-waters", (2012-2013);
  4. Sa Austrijom - "Synthesis, physico-chemical characterization and biological activity of new transition metal complexes with pyrazole based ligands and their potential application", (2013- 2016);
  5. Sa Mađarskom, pod nazivom „Synthesis, physico-chemical and biological characterization of new transition metal complexes with pyrazole derivatives and their potential application", (2016-2018).
- Bio je i član istraživačkog tima bilateralnog projekta Crne Gore sa Kinom, pod nazivom „Climate change: global challenge and national response (Chinese and Montenegro perspective)-Building business environment for European "new / green" investments and industries", (2014-2016).
- On je jedan od ključnih istraživača u inovativnom projektu „Ispitivanje biološke efikasnosti novosintetisanih jedinjenja i biljnog ekstrakta prema najznačajnijim oboljenjima vinove loze u Crnoj Gori", odobrenom od Ministarstva nauke, čiji je period realizacije 2018-2020.
- Bio je predsjedavajući naučne konferencije *14<sup>th</sup> European meeting on Environmental Chemistry* 2013. godine, čiji je domaćin bilo Hemijsko društvo Crne Gore. Bio je član naučnog odbora hemijskih konferencija 8 zemalja (Grčka, Rumunija, Bugarska, Makedonija, Albanija, Srbija, Crna Gora, Kipar) - konferencija koje organizuju hemijska društva Jugoistočne evrope, kao i konferencija *1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry, CEEC-TAC1*, 2011, 2013, 2015 i 2017 godine. Bio je član naučnog odbora *1<sup>st</sup> 6<sup>th</sup> Thermo analytical Conference*, koje organizuje Springerov časopis *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, časopis sa SCI liste.
- Priznanja i nagrade**
- Za izvanredan doprinos razvoju obrazovanja dobio je 2009. godine državnu nagradu "Oktoih".
- Dobitnik je godišnje nagrade Ministarstva nauke na najuspješnijeg naučnika starijeg od 30 godina za 2018 godinu
- Članstva**
- Prof. Jaćimović je bio timlider na 48. i 49. Međunarodnoj hemijskoj olimpijadi (Azerbejdžan, Tajland), na kojoj učestvuju pobjednici državnih takmičenja iz hemije (u prosjeku 200 najboljih učenika iz 50 država svijeta). On je predvodio ekipu naših najboljih hemičara na 50. Olimpijadi u julu 2018. godine, u Češkoj i Slovačkoj.
- U periodu 2015-2017. bio je član Naučnog odbora Univerziteta Crne Gore, a od avgusta 2016. do jula 2017. i član Upravnog odbora Univerziteta, kao predstavnik Vlade Crne Gore.
- Bio je i član pregovaračkog tima za pridruživanje Crne Gore Evropskoj Uniji, za poglavlje 26, koje se

odnosi na obrazovanje i kulturu.

Prof. Željko Jaćimović je član Odbora za obrazovanje CANU i odbora za hemijske i biološke nauke u odjeljenju prirodnih nauka. Bio je član užeg tima potprojekta Obrazovanje, u okviru projekta CANU "Crna Gora u XXI stoljeću", i autor je dva rada u Zborniku radova tog potprojekta.

Prof. dr Željko Jaćimović – Spisak najznacajnijih referenci

1. Ž.K. Jaćimović, V.M.Leovac, D.D.Francuski, B.M.Drašković, G.A.Bogdanović: "Crystal Structure of dichloro-(3,5-dimethyl-1H-pyrazole-1-carboxamide-N,N')copper(II), Cu(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>N<sub>4</sub>)Cl<sub>2</sub> ", *Zeitschrift für Kristallographie - New Crystal Structures* , (2009) 224, 4, 569 .
2. Ž.K. Jaćimović, G.A Bogdanović, B.Holló, V. M. Leovac, K. Mészáros Szécsényi, "Transition metal complexes with pyrazole-based ligands.Part 29.Reactions of zinc(II) and mercury(II)thiocyanate with 4-acetyl-3-amino-5-methylpyrazole", *Journal of Serbian Chemical Society*, (2009) , 74, 11, 1259.
3. Jaćimović Željko, Sladjana. B. Novaković, Goran G.Bogdanović, Svetlana Belošević, Anja Jokić, V.M. Leovac, "Crystal structure of chlorido-tris(3-amino-5-phenyl-1H-pyrazole-N<sub>2</sub> ) zinc(II) chloride, ZnCl(C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Cl," *Zeitschrift für Kristallographie - New Crystal Structures* (ISSN:1433-7266), Volume 226, Issue 3, Sept. 2011, Page(s) 397
4. Radović Ana, Latinović Nedeljko, Jaćimović Željko, "The Influence of Some Pyrazole Derivatives and matching Newly Synthesized Ni(II) Complexes in the Inhibition of *Phomopsis viticola*(Sacc.) Sacc.," *Research Journal of Chemistry and Environment* (ISSN:0972-0626), Volume 16, Issue 1, Mar. 2012, Page(s) 07
5. Zoran Jakšić, Zora Popović, Igor Djerdj, Željko K. Jaćimović, and Katarina Radulović" Functionalization of plasmonic metamaterials utilizing metal-organic framework thin films" *Physica Scripta* Volume 2012, Issue T149, Apr. 2012, Page(s) 01.
6. Željko Jaćimović, Nedeljko Latinović, Ivana Bošković, Zoran Tomić, " *The Influence of a Newly Synthesized Zn (II) and Cu (II) Complexes based on Pyrazole Derivatives on the Inhibition of Phomopsis Viticola Sacc. (Sacc.) under Laboratory Conditions* (ISSN:0972-0626), Volume 17, Issue 10, Sept. 2013, Page(s) 23.
7. Novakovic S.B., Rodic M.V., Jaćimović Ž.K., Ratkovic Z., Sukdolak S., "**4-Dichloromethyl-4-methyl-5-(nitromethyl)cyclohex-2-enone**," *Acta Crystallographica E* (ISSN:1600-5368), Volume 69, Issue 11, Oct. 2013, Page(s) 1638
8. M.E Karadžić, Ž.Jaćimović, D.Đurović, T.Vasiljević, M.Kosović " Determination of Pesticides and Heavy Metals in Home-made and Commercial Fruit Juices in the Montenegro Area" *Journal.of Environmental Protection and Ecology*, Vol.15, (1) , (2014).
9. Ž. K. Jaćimović, M. Kosović, S. B. Novaković, G. Giester, A. Radović," Synthesis and crystal structure of Cu(II) and Co(II) complexes with 1,3-dimethyl-pyrazole-5-carboxylic acid ligand" *J. Serb. Chem. Soc.* (2015), vol 80, 7, 867.
10. Vlatko Kastratović, Miljan Bigović, Željko Jaćimović, Milica Kosović, Dijana Đurović, Slađana Krivokapić " Levels and distribution of cobalt and nickel in the aquatic macrophytes found in Skadar Lake, Montenegro " *Environ Sci Pollut Res* , Volume 25, Issue 27, September (2018) , 26823-26830. DOI <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1388-5>
11. Željko K Jaćimović, Milica V Kosović,Vlatko R Kastratović,Berta F Barta Holló,Katalin B Mészáros Szécsényi,Imre Miklós Szilágyi,Nedeljko Latinović,Ljiljana Vojinović-Ješić, Marko Rodić „Synthesis and Characterization of Copper, Nickel, Cobalt, Zinc complexes with 4-nitro-3-pyrazolecarboxylic acid ligand“ *J. Therml. Anal. Calorim.*, (2018), 133:813-821.

12. Danijela Stešević, Željko Jaćimović, Zlatko Šatović, Aida Šapčanin, Gordan Jančan, Milica Kosović, Biljana Damjanović-Vratnica, Chemical characterization of wild growing *Origanum vulgare* population in Montenegro “ *Natural Product communications*, **2018**, Vol.13, No 10, 1357-1362.
13. Vlatko Kastratović, Željko Jaćimović, Miljan Bigović, Dijana Đurović, Slađana Krivokapić "Environmental status and geochemical assessment sediments of Lake Skadar, Montenegro" *Environmental Monitoring and Assessment* (**2016**), 188:449, DOI: 10.1007/s10661-016-5459-0
14. Jaćimović, Ž.K., Novaković, S.B., Bogdanović, G.A., Giester, G., Kosović, M. & Libowitzky, E.. *Acta Cryst.* (**2019**) C75, 225-264
15. M. V. Rodić, M. M. Radanović, Lj. S. Vojinović-Ješić, S. K. Belošević, Ž. K. Jaćimović, V. M. Leovac, *J. Serb. Chem. Soc.* (**2019**) <https://doi.org/10.2298/JSC190114008R>





UNIVERZITET CRNE GORE  
METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
HEMIJSKA TEHNOLOGIJA

Broj dosijea: 1/2018

Na osnovu člana 165 Zakona o opštem upravnom postupku ("Službeni list RCG" br. 60/03) i službene evidencije, a po zahtjevu Gezović Radovan Aleksandra, izdaje se

## POTVRDA O STUDIRANJU

Student **Gezović Radovan Aleksandra**, rođen **01-01-1995** godine u mjestu **Nikšić**, opština **Nikšić**, Republika **Crna Gora**, upisan je studijske **2018/2019** godine, u **I** godinu studija, kao student koji se **samofinansira** na **akademske doktorske studije**, studijski program **HEMIJSKA TEHNOLOGIJA**, koji realizuje **METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET** - Podgorica Univerziteta Crne Gore u trajanju od **3 (tri)** godine sa obimom **180** ECTS kredita.

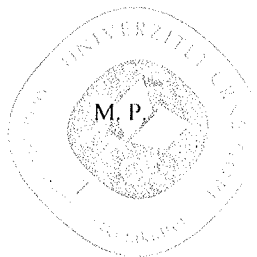
Studijske **2018/2019** godine prijavio je *da sluša* **6** predmeta sa **60.00** (šezdeset) ECTS kredita.

Po prvi put iz **I (prve)** godine, prijavio je *da sluša* **6** predmeta sa **60.00** (šezdeset) ECTS kredita, što iznosi **100.00%** od ukupnog broja ECTS kredita u **I** godinu.

Saglasno Statutu Univerziteta Crne Gore, **Gezović Radovan Aleksandra** je po prvi put prijavio *da sluša* **više od 2/3**, odnosno **66,67% (šezdesetšest 67/100 %)**, od ukupnog broja ECTS kredita sa **I** godine i studijske **2018/2019** ima status **redovnog studenta** koji se **samofinansira**.

*Uvjerenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski saobraćaj, studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).*

Broj:  
Podgorica, 05.06.2019 godine



39  
SEKRETAR,

Na osnovu člana 165 stava 1 Zakona o opštem upravnom postupku ("Službeni list RCG", broj 60/03.), člana 115 stava 2 Zakona o visokom obrazovanju ("Službeni list CG", broj 44/14.) i službene evidencije, a po zahtjevu studenta Gezović Radovan Aleksandra, izdaje se

## UVJERENJE O POLOŽENIM ISPITIMA

Student **Gezović Radovan Aleksandra**, rođen **01-01-1995** godine u mjestu **Nikšić**, opština **Nikšić**, Republika **Crna Gora**, upisan je studijske **2018/2019** godine, u **I** godinu studija, kao student koji se **samofinansira na doktorske akademske studije**, studijski program **HEMIJSKA TEHNOLOGIJA**, koji realizuje **METALURŠKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET** - Podgorica Univerziteta Crne Gore u trajanju od **3 (tri)** godine sa obimom **180 ECTS** kredita.

Student je položio ispite iz sljedećih predmeta:

Redni broj	Semestar	Naziv predmeta	Ocjena	Uspjeh	Broj ECTS kredita
1.	1	ELEKTROHEMIJA RASTOPA	"B"	(vrlodobar)	7.00
2.	1	HEMIJA ČVRSTOG STANJA	"B"	(vrlodobar)	7.00
3.	1	KINETIKA - VIŠI KURS	"A"	(odličan)	8.00
4.	1	TERMODINAMIKA - VIŠI KURS	"A"	(odličan)	8.00
5.	2	ELEKTROHEMIJSKI IZVORI STRUJE - GORIVNI SPREGOVI	"A"	(odličan)	7.00

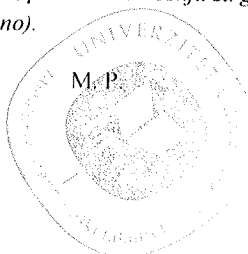
Zaključno sa rednim brojem **5**.

Ostvareni uspjeh u toku dosadašnjih studija je:

- srednja ocjena položenih ispita **"A"** (**9.62**)
- ukupan broj osvojenih ECTS kredita **37.00** ili **61.67%**
- indeks uspjeha **5.93**.

*Uvjerjenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski saobraćaj, studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).*

Broj:  
Podgorica, 05.06.2019 godine



SECRETAR.  
*Za* 