

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije.

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, održanoj 21.11.2013. godine (odluka br. 35/363 od 21.11.2013.), imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Svojstva keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije**”.

Posle pregleda dostavljene disertacije Komisija Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu podnosi sledeći

**REFERAT
o urađenoj doktorskoj disertaciji**

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrada disertacije

- Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu br. 35/332 od 26.10.2012. godine, imenovani su članovi Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme: „Svojstva keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije”.
- Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 28.02.2013. godine, doneta je odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i odobrenju izrade doktorske disertacije „Svojstva keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije” kandidata Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije.
- Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Svojstva keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije”.
- Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu br. 35/363 od 21.11.2013. godine, imenovani su članovi Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „Svojstva keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije”.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Za komentore su izabrani dr Jelena Miladinović, vanredni profesor na Tehnološko-metalurškom fakultetu i dr Milan Žunić, naučni saradnik u Institutu za multidisciplinarna istraživanja, koji su na osnovu objavljenih naučnih radova i iskustva kompetentni da rukovode izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Kandidat Aleksandar Radojković je rođen 09. 09. 1976. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Vršcu. Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu upisao je 1995. godine i diplomirao je 2003. godine sa prosečnom ocenom 8,63. Filološki fakultet Univerziteta u Beogradu je upisao 1999. godine i diplomirao 2006. godine na Katedri za skandinavske jezike i književnosti. Doktorske studije na studijskom programu „Hemijsko inženjerstvo“ Tehnološko-metalurškog fakulteta upisao je školske 2008/2009. godine.

Od novembra 2008. godine zaposlen je u Institutu za multidisciplinarna istraživanja, na Odseku za materijale i konverziju energije, a 2010. godine je izabran u zvanje istraživač-saradnik. Odlukom Naučnog veća Instituta za multidisciplinarna istraživanja od 24.10.2013. reizabran je u zvanje istraživač-saradnik. Trenutno je angažovan na projektu III45007 „0-3D nanostrukture za primenu u elektronici i obnovljivim izvorima energije: sinteza, karakterizacija i procesiranje“. Glavna oblast istraživanja kandidata u okviru ovog projekta je ispitivanje keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije, dobijanje debeloslojnih anodnih filmova i ispitivanje drugih oksidnih elektrolita primenom elektrohemijske impedansne spektroskopije. Jedan deo istraživanja je usmeren na ispitivanje feroelektričnih materijala na bazi bizmut-ferita (BiFeO_3).

Član je Srpskog keramičkog društva od 2010. godine. Do sada je u svojstvu autora ili koautora objavio sedam radova u vrhunskim časopisima međunarodnog značaja (M21) i jedan rad u međunarodnom časopisu (M23), dva rada su saopštena na međunarodnim konferencijama i štampana u izvodu (M34), a jedan na konferenciji od nacionalnog značaja štampan u izvodu (M64).

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj doktorske disertacije

Doktorska disertacija kandidata Aleksandra Radojkovića sadrži 99 strana A4 formata, 35 slika, 9 tabela i 92 literaturna navoda. Podeljena je u šest poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak* i *Literatura*. Pored toga, sadrži kratak Izvod na srpskom i engleskom jeziku.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U *Uvodu* doktorske disertacije je istaknut značaj gorivnih ćelija na bazi oksida u čvrstom stanju, jer omogućuju efikasnu konverziju hemijske u električnu energiju bez negativnih posledica po životnu sredinu. Istaknuto je i kako se primenom odgovarajućih metoda sinteze, dopiranjem odgovarajućim elementima i procesiranjem mogu optimizovati svojstva elektrolita za gorivne ćelije na bazi barijum-cerijum-itrijum oksida.

U uvodnim podpoglavljima *Teorijskog dela* razmatraju se opšti aspekti vezani za rad uređaja na bazi gorivnih ćelija. Opisani su mogući načini slaganja jediničnih gorivnih ćelija i izvršena je njihova podela prema vrsti elektrolita i goriva koje koriste. Posebna podpoglavlja su posvećena gorivnim ćelijama na bazi oksida u čvrstom stanju (SOFC) i podtipu koji se odlikuje radom na nižim temperaturama (400–700 °C), tj. u srednjem temperaturnom opsegu (IT-SOFC). Prikazane su glavne karakteristike ovih tipova gorivnih ćelija i predstavljeni su materijali koji se koriste za njihovu izradu. Velika pažnja je posvećena elektrolitima koji se odlikuju relativno visokom protonskom provodljivošću u srednjem temperaturnom opsegu. Budući da u tu vrstu elektrolita spadaju mešoviti oksidi perovskitne strukture, a protonska provodljivost je posledica prisustva strukturnih defekata, naredna podpoglavlja su posvećena perovskitnoj strukturi, hemizmu defekata u strukturi dopiranog BaCeO_3 i mehanizmu protonske provodljivosti. U jednom od završnih podpoglavljia *Teorijskog dela* dat je osvrt na hemijsku i termičku stabilnost $\text{BaCe}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$, jednog od najboljih protonskih provodnika, pri čemu je istaknuto da je glavni nedostatak ovog elektrolita nepostojanost na uticaj CO_2 na visokim temperaturama. Kao moguć način za prevazilaženje ovog problema bilo bi dopiranje $\text{BaCe}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ elementima (Nb i Ta) koji bi povećali kiselost kristalne rešetke i na taj način inhibirali reakciju sa CO_2 . U poslednjem podpoglavlju predstavljene su različite metode sinteze keramičkih prahova koje su korišćene u eksperimentalnom radu.

Eksperimentalni deo sadrži detaljni opis sinteza, karakterizacija i procesiranja keramičkih prahova, karakterizacije sinterovanih uzoraka i ispitivanje elektrolita na uticaj CO_2 . Primenjene su dve metode sinteze za dobijanje prahova opšte formule $\text{BaCe}_{0,9-x}\text{Nb}_x\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0,01, 0,03$ i $0,05$): metoda reakcije u čvrstom stanju (SSR) i metoda reakcije samosagorevanja (ACR). Za sintezu prahova $\text{BaCe}_{0,9-x}\text{Ta}_x\text{Y}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0,01, 0,03$ i $0,05$) primenjena je samo SSR metoda. Karakterizacija dobijenih prahova je izvršena primenom: skenirajuće diferencijalne kalorimetrije u kombinaciji sa termogravimetrijskom analizom (DSC/TGA), BET analize, rendenske difrakcione analize (XRD) i skenirajuće elektronske mikroskopije visoke rezolucije (FESEM). Gusti elektroliti su dobijeni presovanjem prahova u obliku tableta i sinterovanjem na 1550 °C u toku 5 h. Sinterovani uzorci su ispitivani XRD analizom, skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) i elektrohemijom impedansnom spektroskopijom (EIS). Isti uzorci su izlagani atmosferi CO_2 na 700 °C u toku 5 h posle čega su ispitani XRD analizom.

Poglavlje *Rezultati i diskusija* je posvećeno rezultatima koji se odnose na procese dobijanja i procesiranja keramičkih prahova, a zatim na mikrostrukturu, električna svojstva i hemijsku stabilnost elektrolita.

Na osnovu DSC/TGA analize zaključeno je da se keramički prahovi mogu dobiti reakcijom u čvrstom stanju već na 1000 °C, čime je optimizovana ova metoda sinteze, jer se u literaturi navode znatno više temperature za sintezu sličnih materijala. Čistoća

dobijenih prahova je potvrđena XRD analizom. BET analizom je ustanovljeno da je specifična površina praha određenog sastava sintetisanog ACR metodom mnogostruko veća od specifične površine praha istog sastava sintetisanog SSR metodom. Veći stepen aglomeracije prahova dobijenih SSR metodom je potvrđen FESEM analizom. Na osnovu utaćnjavanja difraktograma sintetisanih prahova primenom programa *Powdercell* i *LSUCRI* izračunati su osnovni parametri jedinične kristalne ćelije i veličina kristalita na osnovu Šererove jednačine. Utvrđeno je da zapremina jedinične kristalne ćelije monotono opada sa povećanjem koncentracije dopanata, što se može objasniti manjim jonskim radiusima katjona Nb^{5+} i Ta^{5+} koji zauzimaju položaje Ce^{4+} i Y^{3+} u strukturi $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$. Pretpostavljeno je da se to može negativno odraziti na protonsku provodljivost elektrolita, jer se smanjuje slobodna zapremina koja omogućuje migraciju protona kroz strukturu elektrolita.

Prilikom optimizacije procesiranja keramičkih prahova zaključeno je da se prahovi sintetisani ACR metodom mogu presovati na nešto nižim pritiscima nego prahovi dobijeni SSR metodom u cilju dobijanja neporozne keramike nakon faze sinterovanja. XRD i SEM analizom je utvrđeno da se gusti elektroliti bez prisustva sekundarnih faza mogu dobiti sinterovanjem presovanih uzoraka na 1550 °C u toku 5 h. Na nižim temperaturama (1500 °C) se javlja značajna poroznost, dok se na višim temperaturama (1600 °C) javljaju sekundarne faze usled termičke nestabilnosti elektrolita.

Na osnovu SEM analize površine elektrolita ustanovljeno je da se mikrostruktura elektrolita menja sa koncentracijom dopanata, tako što srednja veličina zrna blago opada sa porastom koncentracije dopanata. Budući da granice zrna predstavljaju mesta koja su energetski nepovoljna za protonsko provođenje usled postojanja Šotkijeve potencijalne barijere, i da sa smanjenjem veličine zrna raste udeo granica zrna po jedinici zapremine, može se očekivati smanjenje provodljivosti sa porastom koncentracije dopanata. Ove pretpostavke su potvrđene vrednostima provodljivosti određenih primenom impedansne spektroskopije u temperaturnom intervalu od 550 °C do 750 °C u atmosferama vlažnog vodonika, vlažnog i suvog argona.

Na osnovu električnih merenja elektrolita izvedeni su sledeći zaključci:

- provodljivost svih elektrolita u svim atmosferama raste sa porastom temperature;
- provodljivost svih elektrolita je najveća u atmosferi vlažnog vodonika, a najmanja u atmosferi suvog argona;
- provodljivost u svim atmosferama opada sa porastom koncentracije dopanta;
- postoji dobra korelacija između vrednosti provodljivosti, parametara kristalne rešetke i mikrostrukture;
- dopiranje niobijumom i tantalom do 3 mol% ne dovodi do velikih promena provodljivosti, koje su porediva sa provodljivošću nedopiranog $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$;

Kada je reč o stabilnosti elektrolita na uticaj CO_2 , kod svih uzoraka se stepen degradacije smanjuje sa povećanjem koncentracije dopanata, i može se smatrati da su uzorci koji sadrže 5 mol% Nb ili Ta stabilni u atmosferi CO_2 . Relativno bliske vrednosti elektronegativnosti za Nb i Ta utiču da ne dolazi do značajne razlike u pogledu trenda stabilnosti. Elektroliti sa koncentracijom dopanata od 3 mol% poseduju zadovoljavajuće provodljivosti i značajnu stabilnost na uticaj CO_2 , za razliku od ostalih slučajeva kada se postiže ili loša stabilnost (1 mol%), ili nedovoljna provodljivost (5 mol%) elektrolita. Kada je reč o metodama sinteze, prednost metode samosagorevanja je u tome što se dobijaju elektroliti boljih karakteristika, na šta pre svega ukazuje povećanje

provodljivosti između 10% i 15% u odnosu na elektrolite istog sastava sintetisanih metodom reakcije u čvrstom stanju.

U poglavlju *Zaključak* su navedeni svi relevantni zaključci do kojih se došlo na osnovu rezultata iznetih u poglavlju *Rezultati i diskusija*. Doktorska disertacija se završava poglavljem *Literatura*, gde su navedene sve reference prema redosledu pojavljivanja u tekstu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

U vreme kada se svetske rezerve nafte i drugih fosilnih goriva smanjuju, uređajima za proizvodnju električne energije na bazi gorivnih ćelija se u poslednje vreme posvećuje sve veća pažnja, zbog visoke efikasnosti pretvaranja hemijske energije u električnu bez negativnih posledica po životnu sredinu. Izborom materijala koji se koriste za izradu gorivnih ćelija može se dodatno unaprediti njihova efikasnost i trajnost. Tema ove doktorske disertacije je zasnovana na mogućnosti optimizacije osobina čvrstog elektrolita $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, modifikovanjem njegovog sastava i primenom različitih metoda sinteze u cilju dobijanja što boljih karakteristika.

Poznato je da je glavna mana $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, kao jednog od najboljih visokotemperaturnih protonskih provodnika, nestabilnost na uticaj CO_2 u opsegu radnih temperatura gorivnih ćelija koje koriste ovaj elektrolit (550–750 °C). Do sada je pokazano da se dopiranjem elementima elektronegativnijim od Ce i Y može postići odgovarajuća stabilnost, ali sa negativnim posledicama po električna svojstva elektrolita. Na osnovu hemizma nastanka defekata u strukturi BaCeO_3 , koji je detaljno opisan u teorijskom delu doktorske disertacije, pretpostavljeno je da samo u slučaju malih koncentracija dopanata (do 5 mol% Nb^{5+} ili Ta^{5+}) neće doći do drastičnog smanjenja provodljivosti, što je i potvrđeno eksperimentalnim rezultatima. S druge strane, zapaženo je i da se značajna stabilnost na uticaj CO_2 može ostvariti čak i pri ovako malim koncentracijama dopanata.

Značaj ove doktorske disertacije se ogleda u tome što je uspostavljena korelacija između strukture, mikrostrukture i električnih osobina elektrolita. Pokazano je da električna svojstva i stabilnost ispoljavaju suprotan trend prilikom dopiranja niobijumom i tantalom, ali da se optimizacijom sastava elektrolita u opsegu malih koncentracija dopanata mogu dobiti elektroliti relativno visoke protonske provodljivosti i značajne stabilnosti na uticaj CO_2 .

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji su citirane ukupno 92 reference. S obzirom da je pojava protonske provodljivosti elektrolita u čvrstom stanju relativno skoro otkrivena, u teorijskom delu su citirani naučni radovi objavljeni u poslednjih 30 godina, fundamentalna literatura iz oblasti elektrohemije i impedansne spektroskopije, kao i uže stručna literatura iz oblasti gorivnih ćelija. U delu koji se odnosi na rezultate i diskusiju, referentnu literaturu predstavljali su dobrim delom naučni radovi objavljeni u poslednjih nekoliko godina, što je doprinelo aktuelnosti ove doktorske disertacije.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U eksperimentalnom radu doktorske disertacije urađeno je ukupno devet sinteza keramičkih prahova, od toga šest primenom metode reakcije u čvrstom stanju, a tri metodom reakcije samosagorevanja. DSC/TGA analizom je utvrđena temperatura na kojoj dolazi do reakcije u čvrstom stanju, pri čemu dolazi do stvaranja mešovitih oksida perovskitne strukture. Validnost ove metode je potvrđena XRD analizom uzoraka sintetisanih ovom metodom. Kvalitativna mineraloška analiza svih uzoraka je izvršena rendgenskom difrakcijom na prahu, a dobijeni difraktogrami su utačnjeni primenom softverskih programa *Powdercell* i *LSUCRI* u cilju dobijanja osnovnih kristalografskih podataka.

Razlika u svojstvima prahova sintetisanih različitim metodama sinteze je utvrđena BET analizom, pri čemu je ustanovljeno da se čestice mnogo veće specifične površine dobijaju primenom ACR metode. Ovaj rezultat je potvrđen i vrednostima za veličinu kristalita koje su izračunate primenom Šererove jednačine. Na osnovu FESEM analize ustanovljeno je da se veći stepen aglomeracije čestica praha javlja kod uzoraka sintetisanih SSR metodom.

Optimizacija procesa sinterovanja je omogućena kombinacijom XRD i SEM analiza. Sekundarne faze, nastale usled termičke nestabilnosti na visokim temperaturama, detektovane su primenom XRD analize. S druge strane, gustina sinterovanih uzoraka, odnosno pojava poroznosti, utvrđena je SEM analizom preloma. Na osnovu ovih metoda određen je optimalni režim sinterovanja kojim je omogućeno dobijanje gustog elektrolita bez prisustva sekundarnih faza.

Električna karakterizacija sinterovanih uzoraka je izvršena primenom EIS analize u temperaturnom intervalu koji odgovara opsegu radnih temperatura za tip gorivnih ćelija koji koristi ovaj elektrolit (550–750 °C). Merenje električne provodljivosti uzoraka u različitim atmosferama izvršeno je da bi se rasvetlili mehanizmi provođenja naelektrisanih čestica u elektrolitu. Provodljivost svih elektrolita je bila najveća u atmosferi vlažnog vodonika, što ukazuje da je udeo protonske provodljivosti u ukupnoj provodljivosti dominantan na ovim temperaturama. S druge strane, postojanje izvesne provodljivosti u atmosferi suvog argona (odsustvo protonskih defekata) svrstava $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ u mešovite jonske provodnike, koji se odlikuju kako protonskom, tako i provodljivošću kiseoničnih jona.

Za ispitivanje hemijske stabilnosti elektrolita primenjena je jedna vrsta ubrzanog testa stabilnosti u atmosferi 100 % CO_2 na 700 °C kako bi se trend stabilnosti ispoljio u relativno kratkom vremenskom periodu (5 h). Promene u strukturi elektrolita praćene su primenom XRD analize. Ovakvim postupkom je bilo moguće ostvariti različit stepen degradacije elektrolita u zavisnosti od koncentracije dopanata, što opravdava adekvatnost njene primene.

3.4. Primenjivost i verifikacija ostvarenih rezultata

Prema rezultatima prikazanim u doktorskoj disertaciji ostvaren je doprinos u nalaženju načina da se poboljšaju svojstva elektrolita koji se koriste za

srednjetemperaturne gorivne ćelije. Njihovom analizom je jasno utvrđeno na koji način se može izvršiti optimizacija osobina elektrolita za željenu primenu.

Verifikacija ostvarenih rezultata doktorske disertacije je potvrđena objavljivanjem radova u vrhunskim međunarodnim časopisima iz ove oblasti.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalan naučni rad

Kandidat Aleksandar Radojković je tokom izrade ove doktorske disertacije ispoljio neophodne sposobnosti za kvalitetno obavljanje naučno-istraživačkog rada. Pored toga, kandidat je pokazao samostalnost u istraživanju kako u eksperimentalnom radu, tako i prilikom tumačenja rezultata, pisanja naučnih radova i oblikovanja doktorske disertacije.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Na osnovu rezultata prikazanih u doktorskoj disertaciji, ostvareni su sledeći naučni doprinosi:

- metodom sinteze prahova reakcijom samosagorevanja dobijeni su finiji, u manjoj meri aglomerisani prahovi u odnosu na one koji su sintetisani reakcijom u čvrstom stanju;
- DSC-TGA analizom je utvrđena minimalna temperatura od 1000 °C pri kojoj je moguće dobiti čiste perovskitne faze reakcijom u čvrstom stanju;
- utvrđeno je da zapremina jedinične ćelije opada sa povećanjem koncentracije dopanata zbog relativno manje veličine katjona Nb^{5+} i Ta^{5+} u odnosu na Y^{3+} i Ce^{4+} ;
- veoma dobra korelacija je utvrđena kako između vrednosti zapremine jedinične ćelije i provodljivosti s jedne strane, tako i između mikrostrukture i provodljivosti s druge strane;
- mikrostrukture elektrolita sa homogenijom raspodelom veličine zrna i većom srednjom veličinom zrna dobijene su za uzorke sintetisane metodom samosagorevanja, što je rezultiralo i poboljšanjem provodljivosti u odnosu na uzorke sintetisane metodom reakcije u čvrstom stanju;
- zaključeno je da naelektrisanje, veličina katjona i elektronegativnost dopanata najviše utiču na svojstva $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ i ove vrednosti su približno iste za Ta i Nb, zbog čega se ne primećuju značajne razlike u njihovom uticaju na svojstva elektrolita;
- elektroliti sa koncentracijom dopanata od 3 mol% poseduju zadovoljavajuće provodljivosti i značajnu stabilnost na uticaj CO_2 , pa se preporučuju kao optimalani za željenu primenu kod IT-SOFC, jer su osobine takvih elektrolita poredive sa najboljim do sada poznatim visokotemperaturnim protonskim provodnicima.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Pregledom literature iz ove naučno-istraživačke oblasti može se zaključiti da ova doktorska disertacija predstavlja nastavak u nastojanjima da se svojstva elektrolita na bazi $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ poboljšaju dopiranjem i time proširi njegova primena u sistemima gorivnih ćelija gde se kao proizvod reakcije oslobađa CO_2 . Na osnovu teorijskih razmatranja i postignutih rezultata, rasvetljene su zakonitosti prema kojima se hemijska stabilnost, mikrostruktura i provodljivost elektrolita menjaju dopiranjem, što može predstavljati polaznu osnovu za neka dalja istraživanja. Imajući u vidu korišćene eksperimentalne metode, analizu i tumačenje rezultata i njihovo poređenje sa objavljenim dostignućima u toj oblasti, realizovani naučno-istraživački rad kandidata Aleksandra Radojkovića zadovoljava neophodne kriterijume za izradu doktorske disertacije.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Iz doktorske disertacije kandidata Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije proistekla su tri rada objavljana u vrhunskim međunarodnim časopisima, dva rada saopštena na međunarodnom skupu i jedan rad saopšten na skupu od nacionalnog značaja.

Radovi objavljeni u vrhunskom časopisu međunarodnog značaja (M21)

1. **Radojković A.**, Savić M.S., Pršić S., Branković Z., Branković G., *Improved electrical properties of Nb doped $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{2.95}$ electrolyte for intermediate temperature SOFCs obtained by autocombustion method*, Journal of Alloys and Compounds 583 (2014) 278–284 (ISSN: 0925–8388).
2. **Radojković A.**, Žunić M., Savić M.S., Branković G., Branković Z., *Enhanced stability in CO_2 of Ta doped $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ electrolyte for intermediate temperature SOFCs*, Ceramics International 39 (2013) 2631–2637 (ISSN: 0272–8842).
3. **Radojković A.**, Žunić M., Savić M.S., Branković G., Branković Z., *Chemical stability and electrical properties of Nb doped $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ as a high temperature proton conducting electrolyte for IT-SOFC*, Ceramics International 39 (2013) 307–313 (ISSN: 0272–8842).

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34)

1. **A. Radojković**, G. Branković, Z. Branković, M. Žunić, S.M. Savić, *The influence of synthesis method on properties of Nb doped $\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ as a proton conducting electrolyte for IT-SOFC*, Book of abstracts of First International Conference on Processing, characterization and application of nanostructured materials and nanotechnology NanoBelgrade 2012, Belgrade 2012., pp. 119 (ISBN: 978-86-7401-285-7).

2. **A. Radojković**, S.M. Savić, M. Žunić, Z. Branković, G. Branković, *Chemical stability enhancement of doped $BaCe_{0.9}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ as an electrolyte for proton conducting SOFCs*, Book of abstracts of the 2nd Conference of the Serbian Ceramic Society, Belgrade 2013. pp. 90 (ISBN: 978-86-80109-18-3).

Saopštenje sa skupa od nacionalnog značaja štampano u izvodu (M64)

1. **A. Radojković**, M. Žunić, *Chemical stability and electrical properties of Nb doped $BaCe_{0.9}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ as an electrolyte for high temperature proton conducting SOFC*, Program and the book of abstracts of 1st Conference of the Serbian Ceramic Society, Belgrade 2011., pp. 58 (ISBN: 978-86-7306-107-8).

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu izloženih razmatranja Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata Aleksandra Radojkovića, dipl. inž. tehnologije pod nazivom „**Svojstva keramike na bazi barijum-cerijum-itrijum-oksida kao elektrolita za čvrste gorivne ćelije**” predstavlja značajan doprinos u oblasti Tehnološko inženjerstvo, što je verifikovano objavljivanjem naučnih radova u vrhunskim međunarodnim časopisima.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću da prihvati Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Aleksandra Radojkovića i da ga zajedno sa priloženom disertacijom da na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku.

U Beogradu, 12.12.2013. god.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Jelena Miladinović, vanredni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet
Univerzitet u Beogradu

Dr Milan Žunić, naučni saradnik
Institut za multidisciplinarna istraživanja
Univerzitet u Beogradu

Dr Rada Petrović, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet
Univerzitet u Beogradu

Dr Snežana Grujić, vanredni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet
Univerzitet u Beogradu