

VEĆU DEPARTMANA ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE
UNIVERZITETA SINGIDUNUM

Beograd
Danijelova 32

Odlukom Veća Departmana za poslediplomske studije Univerziteta Singidunum, broj 4-163/2022 od 28.10.2022.godine, određeni smo za članove Komisije za pregled, ocenu i usmenu odbranu doktorske disertacije Mine Seović, pod nazivom: *“Energetski i ekonomski aspekti elektrolitičkog dobijanja vodonika – unapređenje procesa njegovog dobijanja u cilju smanjenja troškova proizvodnje i zaštite životne sredine”*.

Posle pregleda dostavljene Disertacije i pratećih materijala, Komisija je sačinila sledeći

REFERAT

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Mina Seović je upisala doktorske studije na Univerzitetu Singidunum školske 2016/2017. godine i položila je sve ispite predviđene programom. Zahtev za odobravanje teme za izradu doktorske disertacije podnela je 2020. godine. Na osnovu pozitivnog izveštaja Komisije za ocenu teme i podobnosti kandidata, Senat Univerziteta Singidunum je 2020. godine odobrio rad na izradi doktorske disertacije pod nazivom: *“Energetski i ekonomski aspekti elektrolitičkog dobijanja vodonika – unapređenje procesa njegovog dobijanja u cilju smanjenja troškova proizvodnje i zaštite životne sredine”*. Odlukom Veća Departmana za poslediplomske studije Univerziteta Singidunum, broj 4-163/2022 od 28.10.2022. godine, obrazovana je Komisija u izmenjenom sastavu, za ocenu i odbranu disertacije:

1. dr Miroslav Popović, vanredni profesor, Univerzitet Singidunum, Beograd (mentor)
2. dr Dragan Cvetković, redovni profesor, Univerzitet Singidunum, Beograd
3. dr Ivana Perović, naučni saradnik, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd.

Za mentora je imenovan prof. dr Miroslav Popović, umesto prethodno imenovanog prof. dr Predraga Popovića, kome je prestao radni odnos.

1.2. Naučna oblast disertacije

Tema disertacije kandidatkinje je u domenu naučnih oblasti 'obnovljivi izvori energije' i 'zaštita životne sredine', za koje je studijski program Životna sredina i održivi razvoj (ŽSOR) Univerziteta Singidunum matičan.

1.3. Biografski podaci o kandidatkinji

Mina Seović rođena je 08.11.1974. god. u Beogradu, gde je završila osnovnu školu i XV beogradsku gimnaziju prirodno-matematičkog smera. Diplomirala je (prosečnom ocenom 8.18)

na katedri za embriologiju Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, u septembru 2001. godine. Radnu karijeru započela je na institutu za molekularnu genetiku i genetičko inženjerstvo, gde je bila zaposlena kao istraživač u periodu 2003-2007. u okviru projekta „*Humani Sox geni: proučavanje strukture i funkcije*“ finansiranog od Ministarstva za nauku i životnu sredinu Republike Srbije. U periodu 2007-2015. povremeno radi u prosveti kao nastavnik biologije u više beogradskih gimnazija i osnovnih škola. Od 2016. godine zaposlena je na mestu istraživača u Laboratoriji za fizičku hemiju pri Institutu za nuklearne nauke „Vinča“, a paralelno učestvuje i u radu grupe koja se bavi zaštitom životne sredine.

Naučni radovi kandidatkinje Mine Seović su u oblasti vodonične energije i zaštite životne sredine.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom: *“Energetski i ekonomski aspekti elektrolitičkog dobijanja vodonika – unapređenje procesa njegovog dobijanja u cilju smanjenja troškova proizvodnje i zaštite životne sredine”* ima ukupno 81 stranu. Disertacija ima šest poglavlja i spisak literature. Poglavlja su:

1. Uvod, 17 strana,
2. Vodonik i vodonična energija, 31 strana,
3. Ciljevi istraživanja, 2 strane,
4. Eksperimentalni dizajn, 4 strane,
5. Rezultati eksperimenata i diskusija, 15 strana,
6. Zaključak, 2 strane.

U disertaciji ima ukupno 32 slika i 7 tabela. Literatura sadrži 132 bibliografske jedinice, pobrojane na 10 strana.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U prvom, uvodnom delu data je energetska slika sveta današnjice. Navedeni su negativni efekti upotrebe fosilnih goriva – efekat staklene bašte, globalno zagrevanje i klimatske promene, kao i posledice klimatskih promena i njihov uticaj na ekosisteme i biodiverzitet. Dat je pregled najaktuelnijih obnovljivih izvora energije, kao i osvrt na važnije međunarodne regulative i regulative Republike Srbije u domenu zaštite životne sredine.

U drugom poglavlju opisane su metode dobijanja vodonika (gasifikacija, reforming-proces, dobijanje iz biomase i elektroliza) uz poseban osvrt na in situ metodu alkalne elektrolize, kao i principi proizvodnje energije iz vodonika. Daje se i podela prema izvoru i načinu dobijanja vodonika (‘sivi’, ‘plavi’ i ‘zeleni’), i objašnjava porast interesovanja za zeleni vodonik - čija upotreba je esencijalni deo puta dekarbonizacije - naročito poslednjih godina s obzirom na tehnološko unapređivanje gorivnih ćelija. Poslednje potpoglavlje ovog poglavlja donosi ekonomska razmatranja upotrebe zelenog vodonika iz perspektive nastojanja da se postigne smanjenje emisije CO₂ do 2050. godine i smanjenje troškova dobijanja.

U trećem poglavlju je definisan cilj istraživanja i doprinos ove disertacije, i ukratko opisana struktura ostalih poglavlja u disertaciji.

Četvrto poglavlje donosi detaljan opis eksperimentalnih sistema (uređaja) i procedura korišćenih u ovom istraživanju za praćenje potrošnje energije i efikasnosti elektrolitičkog procesa u posebno kreiranim elektrohemijskim ćelijama, kao i putem fundamentalnih elektrohemijskih tehnika.

U petom poglavlju su najpre predstavljene, analizirane i interpretirane rezultati dobijeni u eksperimentima, a potom je data analiza ekonomskih faktora i mogućih scenarija vezanih za tranziciju na novi energetska poredak.

U šestom poglavlju su dati zaključci.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Predmet istraživanja ove disertacije je novi pristup u elektrolitičkoj metodi dobijanja vodonika sa ciljem optimizacije energetske efikasnosti (veće uštede energije), uz propratnu analizu ekonomske isplativosti povećavanja proizvodnje 'zelenog' vodonika na svetskom nivou.

Troškovi proizvodnje vodonika unapređenim procesom elektrolize, opisanim u ovom radu, su značajno smanjeni. Eksperimentalnim merenjima utvrđen je mehanizam reakcije izdvajanja H₂ koji je doveo do uštede energije samog procesa. Razvijena metoda sa ekološkog stanovišta spada u čiste tehnologije, te ne predstavlja faktor ugrožavanja životne sredine.

Metoda koju je kandidatkinja razvila, opisala i proučavala u disertaciji ima značajnu prednost u odnosu na druge slične metode u pogledu jednostavnosti izvođenja, pristupačnosti materijala, energetske efikasnosti i ekonomičnosti.

Nakon interpretacije eksperimentalnih rezultata, predstavljen je opsežan pregled ekonomskih faktora i analiza mogućih scenarija tranzicije na novi vodonični energetska poredak. Pored ekoloških benefita 'zeleni' vodonik se uklapa u integrisani energetska sistem, cirkularnu ekonomiju i stvaranje novih radnih mesta

Najveća prednost razvijenog metoda dobijanja vodonika je postignuta i potvrđena energetska efikasnost, tj ušteda energije, od čak 15% u odnosu na konvencionalne pristupe, što daje mogućnost komercijalizacije metode.

U ovom kontekstu, kandidatkinja je svoju originalnost potvrdila na korektan i uverljiv način - objavljivanjem radova u međunarodnim naučnim časopisima (3 rada u časopisima sa impakt faktorom), u zbornicima sa međunarodnih naučnih konferencija (4 rada) i domaćih naučnih konferencija (3 rada). Stepem plagijarizma u disertaciji je manji od osam procenata.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U izradi disertacije korišćena je obimna literatura iz oblasti obnovljivih izvora energije - naročito gorivnih ćelija, zaštite životne sredine, održivog razvoja, energetske ekonomije, uključujući i najnovije radove u vrhunskim međunarodnim naučnim časopisima (među njima i

sopstvene reference). Na osnovu tih referenci, originalni naučni rezultati do kojih je kandidatkinja došla u disertaciji su stavljeni u korektan kontekst.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Kandidatkinja je u izradi svoje disertacije upotrebila različite metode naučnoistraživačkog rada kako bi bili zadovoljeni osnovni metodološki zahtevi – objektivnost, pouzdanost, opštost i sistematičnost.

U skladu sa izabranom tematikom, definisanim ciljevima istraživanja i postavljenim naučnim hipotezama radi formiranja validnih zaključaka upotrebljena je teorijska analiza uz korišćenje rezultata istraživanja iz međunarodne naučne literature, odnosno saznanja šire naučne zajednice u domenu problematike kojom se bavi ovaj rad.

Radna hipoteza osmišljena je tako da se na osnovu nje dokaže da postoji bolja aktivnost ispitivanih katalitičkih materijala za reakciju izdvajanja H_2 u odnosu na komercijalno dostupne i tako elektrolizu, kao ekološki najbolji proces dobijanja vodonika, učini ekonomski opravdanom.

Da bi se ispitivani način dobijanja mogao što bolje analizirati i proučavati, korišćena je komparativna naučna metoda, te su osmišljene i izvedene dve grupe eksperimenata: jedna grupa pomoću kojih se pratila potrošnja energije za elektrolitičko dobijanje vodonika u specijalno dizajniranim elektrolitičkim ćelijama (sa i bez dodanih jonskih aktivatora), i druga grupa kojom se ispitivala kinetika elektrodnih procesa primenom fundamentalnih elektrohemijskih tehnika (kao što su Tafelova analiza i elektrohemijska impedansna spektroskopija). Upoređivani su rezultati unutar svake grupe, kao i tačnost i pouzdanost merenja, poređeno u odnosu na literaturne vrednosti i opservacije.

U cilju provere efikasnosti i ekonomske isplativosti tehnološkog rešenja, izvršena je ekonomska analiza hipoteziranih scenarija postupnog prelaska na vodonični energetski poredak, u slučaju postojanja sprege sa proizvodnjom vodonika iz OIE ili bez nje, čime se potvrđuje inicijalna hipoteza disertacije da unapređenje elektrolitičkih postupaka otvara vrata ubrzanju tranzicije ka čistim energijama.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Praktični cilj ove disertacije je otvaranje mogućnosti za supstituciju dosadašnjih zastarelih, nečistih tehnologija dobijanja vodonika, naprednom, ekološki održivom i opravdanom tehnologijom koja će imati direktan uticaj na mitigaciju efekata klimatskih promena. Energetska efikasnost elektrolize (tj. ekvivalentna ušteda energije) povećava se za 15% u procesu dobijanja vodonika in situ dodavanjem jonskih aktivatora standardnom elektrolitu, što je kandidatkinja razvila i potvrdila u svojoj disertaciji, čime se dobija na ekonomičnosti i isplativosti, i otvara mogućnost primene u industriji.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidatkinja je u svom dosadašnjem radu pokazala zavidne kvalitete neophodne za uspešan istraživački rad: sposobnost uočavanja i definisanja problema, postavljanje jasnog i dostižnog cilja istraživanja, shvatanje i proširivanje teorijskih koncepata, originalnost,

metodološku doslednost, sposobnost da samostalno osmisli, kreira i sprovede istraživanje, postavi hipoteze i proverih ih, kao i da kritički analizira dobijene rezultate.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Originalni naučni doprinosi disertacije su sledeći:

- Dokazano je da se ušteda energije u procesu proizvodnje vodonika alkalnom elektrolizom postiže mehanizmom aktivacije katode.
- Dokazano je da aktivnost izdvajanja vodonika zavisi od koncentracije elektroaktivnih vrsta, kao i od gustine struje taloženja depozita na elektrodama i radne temperature.
- Višestrukim ponovljenim merenjima potvrđeno je da se troškovi proizvodnje vodonika procesom proučavanjem u ovom radu (unapređena alkalna elektroliza putem *in situ* jonske aktivacije) smanjuju za čak do 15% u odnosu na konvencionalne elektrolitičke procese.
- Dokazano je da je postignuto povećanje energetske efikasnosti rezultat sinergije više efekata: katalitičkog efekta, efekta površine i efekta liganda.
- Analizom ekonomskih faktora i mogućih scenarija vezanih za tranziciju na novi vodonični energetski poredak, utvrđeno je da je za povećanje njegove konkurentnosti potrebna mreža za transport vodonika, kombinovanje elektrolitičkog procesa dobijanja vodonika sa njegovim dobijanjem iz OIE, i unapređivanje efikasnosti elektrolize. Istraživanja i eksperimentalni rezultati *in situ* unapređene elektrolize u ovoj disertaciji uklapaju se u ovaj scenario.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

U prvoj fazi kandidatkinja je razmatrajući raspoloživu literaturu u oblasti teme disertacije izvršila kritičku analizu dostupnih informacija i korektno definisala cilj istraživanja.

Tokom istraživačkog rada kritički je proveravala dobijene rezultate, upoređivala ih sa literaturnim vrednostima dobijenim iz sličnih/srodnih metoda i iznalazila pogodne načine unapređenja postupka, dajući svoj doprinos kroz realizaciju i proveru novorazvijene metode.

Primećena ušteda energije u procesu dobijanja vodonika alkalnom elektrolizom objašnjena je mehanizmom aktivacije katode, a teorija koja stoji iza ovog mehanizma u skladu je sa eksperimentalno dobijenim rezultatima, što daje potvrdu postavljenim hipotezama.

Pored prednosti, uočeni su i pojedini nedostaci izučavanog načina dobijanja vodonika i ukazano na moguće načine njihovog prevazilaženja i unapređivanja metoda (unapređivanje pripreme/obrade aktivne površine elektroda), kao i mogućih daljih istraživanja.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Naučni doprinosi disertacije verifikovani su sledećim radovima kandidata:

Objavljeni radovi u časopisima kategorije M21:

- [1] S. Miulovic, S. Maslovara, M. Seovic, B. Radak, M. Marceta-Kaninski, „Energy saving in electrolytic hydrogen production using Co-Cr activation“ (part I), *International journal of hydrogen energy*, 37 (2012) 16770-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.075>
- [2] M. Marceta-Kaninski, M. Seovic, S. Miulovic, D. Zugic, G. Tasic, Đ. Saponjic, „Co-Cr activation of the nickel electrodes for the HER in alkaline water electrolysis“(part II), *International journal of hydrogen energy*, 3 (2013) 1758-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.11.117>
- [3] M. Seović, D. Milovanović, G. Tasić, N. Zdošek, S. Mitrović, S. Brković, I. Perović, „On the green path of innovation – hydrogen from laser-assisted alkaline electrolysis“, *Ecologica*, 29, 107 (2022), 359-363 <https://doi.org/10.18485/ecologica.2022.29.107.9>

Objavljeni radovi u časopisima kategorije M23:

- [1] B. G. Savić, I. J. Mihajlović, S. M. Milutinović, M. M. Seovic, Ž. M. Nikolic, M. S. Tošić, T. P. Brdaric, „Validation and uncertainty estimation of an analytical method for the determination of phenolic compounds in concrete“, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 84/1 (2019) 55-68 <https://doi.org/10.2298/JSC180518106S>

5. MIŠLJENJE KOMISIJE I PREDLOG

Na osnovu izloženog, komisija konstatuje da doktorska disertacija kandidatkinje Mine Seović pod naslovom „*Energetski i ekonomski aspekti elektrolitičkog dobijanja vodonika – unapređenje procesa njegovog dobijanja u cilju smanjenja troškova proizvodnje i zaštite životne sredine*” ispunjava sve formalne i suštinske uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, kao i propisima Univerziteta Singidunum u Beogradu. Doktorska disertacija Mine Seović sadrži naučne doprinose koji se sastoje u tehnološkom unapređenju ekološki održivog postupka za dobijanje vodonika alkalnom elektrolizom putem *in situ* jonske aktivacije, čime se energetska efikasnost postupka značajno uvećava, vreme i troškovi izvođenja redukuju, što sve doprinosi porastu ekonomske isplativosti i konkurentnosti postupka, kao i tranziciji na novi vodonični energetska poredak.

Tokom celokupne izrade doktorske disertacije, kandidatkinja je pokazala nesumnjivu sposobnost za samostalni naučnoistraživački rad. Stoga članovi Komisije sa zadovoljstvom predlažu Veću departmana za poslediplomske studije da se doktorska disertacija pod naslovom „*Energetski i ekonomski aspekti elektrolitičkog dobijanja vodonika – unapređenje procesa njegovog dobijanja u cilju smanjenja troškova proizvodnje i zaštite životne sredine*” kandidatkinje Mine Seović prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Senatu univerziteta Singidunuma u Beogradu.

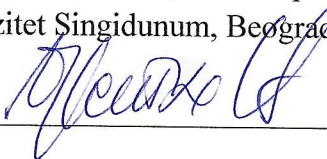
Beograd, 28. 02. 2023. godine

Članovi komisije:

dr Miroslav Popović, vanredni profesor,
Univerzitet Singidunum, Beograd



dr Dragan Cvetković, redovni profesor,
Univerzitet Singidunum, Beograd



dr Ivana Perović, naučni saradnik,
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd