

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

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, održanoj 24.11.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za podnošenje Izveštaja o ispunjenosti uslova za izbor u naučno zvanje NAUČNI SARADNIK kandidata dr **Nataše Ž. Šekuljice**, master inženjera tehnologije, a prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvalitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata i shodno statutu Tehnološko-metalurškog fakulteta.

O navedenom kandidatu Komisija podnosi sledeći:

IZVEŠTAJ

1.1.BIOGRAFSKI PODACI

Dr Nataša (Željko) Šekuljica rođena je 02.10.1987. godine u Zadru. Osnovu školu "Boško Palkovljević Pinki" završila je u Staroj Pazovi, a srednju medicinsku školu je završila u Zemunu 2006. godine. Studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisala je školske 2006/2007. godine. Diplomirala je na Tehnološko-metalurškom fakultetu, na Katedri za biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju 24.09.2010. godine, sa prosečnom ocenom studiranja 8,42. Završni rad na temu "Proizvodnja proteaze iz *Pseudomonas san-ai* i njena primena u detergentima" pod rukovodstvom mentora prof. Dr Zorice Knežević-Jugović odbranila je ocenom 10. Master rad na temu "Karakterizacija lipaza iz *Rhizopus oryzae* gajenim submerznim postupkom fermentacije" pod rukovodstvom istog mentora odbranila je 19.07.2011. godine ocenom 10. Po završetku redovnih studija, 25.10.2011. godine upisala je doktorske studije Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu na Katedri za biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju. Položila je sve ispite predviđenim planom i programom doktorskih studija sa prosečnom ocenom 9,45, kao i završni rad sa temom "Uklanjanje sintetičkih boja iz otpadnih voda peroksidazom iz rena" ocenom 10. Doktorsku disertaciju pod nazivom "Enzimsko obezbojavanje antrahinonskih boja iz otpadnih voda" odbranila je 30.09.2016. godine pod rukovodstvom mentora prof. Dr Zorice Knežević-Jugović. Na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu u maju 2013. godine položila je ispit i stekla licencu Savetnik za hemikalije.

Od marta 2012. godine do oktobra 2014. godine angažovana je kao stipendista na projektu Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije br. III 46010, pod nazivom "Razvoj novih inkapsulacionih i enzimskih tehnologija za proizvodnju biokatalizatora i biološki aktivnih komponenata hrane u cilju povećanja njene konkurentnosti, kvaliteta i

bezbednosti". Od oktobra 2014. godine zaposlena je u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta kao istraživač pripravnik na projektu "Elektrohemijska sinteza i karakterizacija nanostruktuiranih funkcionalnih materijala za primenu u novim tehnologijama" (ON 172046). U zvanje istraživač saradnik izabrana je 09.04.2015. godine. Školske 2015/2016 godine angažovana je na izvođenju eksperimentalnih vežbi iz predmeta Enzimsko inženjerstvo na osnovnim studijama, a školske 2016/2017 godine je angažovana na izvođenju esperimentalnih vežbi iz predmeta Biotehnoški praktikum 2 na osnovnim studijama.

1.2.NAUČNO-ISTRAŽIVAČKI RAD

Dr Nataša Šekuljica je kao istraživač saradnik angažovana 12 istraživač-meseci od oktobra 2014. na projektu "Elektrohemijska sinteza i karakterizacija nanostruktuiranih funkcionalnih materijala za primenu u novim tehnologijama" (ON 172046) kojim rukovodi Dr Branimir Grgur, red. prof. Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Svojim istraživanjima značajno je doprinela uspešnoj realizaciji ovog projekta.

Dr Nataša Šekuljica se u toku dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada bavila ispitivanjem novih biotehnoških postupaka uklanjanja sintetičkih boja iz otpadnih voda. Posebna pažnja je usmerena na razvoj imobilisanih biokatalizatora koji imaju veliki aplikativni potencijal za primenu u tretmanu sintetičkim bojama obojenih otpadnih voda. Uklanjanje obojenosti u visokom procentu, povećanje ekonomičnosti procesa, smanjenje toksičnosti tretiranih voda su glavne teme dosadašnjeg rada. Primena imobilisanih biokatalizatora u različitim konfiguracijama bioreaktora su poseban fokus naučno-istraživačkog rada dr Nataše Šekuljice. Naučno-istraživački rad Nataše Šekuljice je dao poseban doprinos razvoju ekološki prihvatljivih metoda primene enzima u tretmanu otpadnih voda u sistemu enzimskih gorivnih ćelija, gde se pored efikasnog uklanjanja zagađujućih materija kolektuje i električna energija iz procesa.

Kandidatkinja je svoju istraživačku kompetentnost potvrdila objavljivanjem devetnaest bibliografskih jedinica i doktorske disertacije. Rezultati njenog dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada prikazani su u četiri rada objavljena u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21), četiri rada u istaknutim međunarodnim časopisima (M22), dva rada u časopisima međunarodnog značaja (M23), jedan rad u časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom (M24), tri saopštenja na skupovima međunarodnog značaja štampana u celini (M33), tri saopštenja na skupovima međunarodnog značaja štampana u izvodu (M34), jednog rada u časopisu nacionalnog značaja (M52), jednog saopštenja na nacionalnom skupu štampanog u celini (M63), kao i dva saopštenja sa nacionalnog skupa štampana u izvodu (M64).

2. NAUČNA KOMPETENTNOST

2.1. Naučni radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja (M20)

2.1.1. Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti-M_{21a}

1. Abdalla Ali Salim, Sanja Ž. Grbavčić, **Nataša Ž. Šekuljica**, Andrea B. Stefanović, Sonja M. Jakovetić Tanasković, Nevena D. Luković, Zorica D. Knežević-Jugović, "Production of enzymes by a newly isolated *Bacillus* sp. TMF-1 in solid state fermentation on agricultural by-products: The evaluation of substrate pretreatment methods", *Bioresource Technology*, vol. 228, 2016, pp. 193–200, IF (2015)=4,917; ISSN: 0960-8524.

2.1.2. Radovi u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21)

- 2.1.2.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Andrea B. Stefanović, Milena G. Žuža, Dragana Z. Čičkarić, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Decolorization of anthraquinonic dyes from textile effluent using horseradish peroxidase: Optimization and kinetic study", *The World Scientific Journal*, vol. 2015, Article ID 371625, 12 pages, 2015, IF (2013)=1,219, ISSN: 2356–6140.
- 2.1.2.2. **Nataša Ž. Šekuljica**, Milica M. Gvozdenović, Zorica D. Knežević-Jugović, Branimir Z. Jugović, Branimir N. Grgur, "Biofuel cell based on horseradish peroxidase immobilized on copper sulfide as anode for decolorization of anthraquinone AV 109 dye", *Journal of Energy Chemistry*, vol. 25, 2016, pp. 403–408, IF (2014)=2,352, ISSN: 2095–4956.
- 2.1.2.3. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Sonja M. Jakovetić, Sanja Ž. Grbavčić, Nevena D. Ognjanović, Zorica D. Knežević-Jugović, Dušan Ž. Mijin, "Removal of anthraquinone dye by cross-linked enzyme aggregates from fresh horseradish extract", *Clean Soil Air Water*, vol. 44, 2016, pp. 891–900, IF (2014)=1,945, ISSN: 1863-0650.

2.1.2. Radovi u istaknutim međunarodnim časopisima (M22)

- 2.1.2.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Veljko R. Đokić, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Immobilization of horseradish peroxidase onto kaolin", *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 39, pp. 461–472, 2016, IF (2014)=1,997, ISSN: 1615–7605.
- 2.1.2.2. Andrea B. Stefanović, Jelena R. Jovanović, Sanja Ž. Grbavčić, **Nataša Ž. Šekuljica**, Verica B. Manojlović, Branko M. Bugarski, Zorica D. Knežević-Jugović, "Impact of ultrasound on egg white proteins as a pretreatment for functional hydrolysates production", *European Food Research and Technology*, vol. 239, 2014, pp. 979–993, IF (2014)=1,559, ISSN: 1438–2377.

- 2.1.2.3. Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, **Nataša Ž. Šekuljica**, Sonja M. Jakovetić Tanasković, Marina B. Dojčinović, Branko M. Bugarski, Zorica D. Knežević-Jugović, "Ultrasound pretreatment as an useful tool to enhance egg white protein hydrolysis: kinetics, reaction model and thermodynamics", *Journal of Food Science*, vol. 81 (11), 2016, pp. C2664-C2675, IF(2015)=1,649, ISSN: 1750-3841.
- 2.1.2.4. Ana M. Dugandžić, Anđelka V. Tomašević, Marina M. Radišić, **Nataša Ž. Šekuljica**, Dušan Ž. Mijin, Slobodan D. Petrović, "Effect of inorganic ions, photosensitisers and scavengers on the photolytic degradation of nicosulfuron", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 336, 2017, pp. 146–155, IF (2015)=2,477; ISSN: 1010–6030.

2.1.3. Radovi u međunarodnim časopisima (M23)

- 2.1.3.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Sanja Ž. Grbavčić, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović: "Immobilization of horseradish peroxidase by glutaraldehyde method and its application in decolorization of anthraquinone dye" *Hemijska industrija*, vol. 70, 2016, pp. 217–224, IF (2014)=0,364, ISSN: 2217–7426.
- 2.1.3.2. Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Milena G. Žuža, Sonja M. Jakovetić, **Nataša Ž. Šekuljica**, Branko M. Bugarski, Zorica D. Knežević-Jugović, "Improvement of antioxidant properties of egg white protein enzymatic hydrolysates by membrane ultrafiltration", *Hemijska industrija*, vol. 70, 2015, pp. 419-428, IF (2014) =0,364, ISSN: 2217–7426.

2.1.4. Radovi u nacionalnim časopisima međunarodnog značaja (M24)

- 2.1.4.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Nevena M. Lukić, Aleksandra M. Jakovljević, Sanja Ž. Grbavčić, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Immobilization of peroxidase from fresh horseradish extract for anthraquinone dye decolorization", *Zaštita Materijala*, vol. 56, 2015, pp. 335–339, IF (2014)=0,688, ISSN: 0351–9465.

2.2. Zbornici međunarodnih naučnih skupova (M30)

2.2.1. Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u celini (M33)

- 2.2.1.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Kaolin as a support for the immobilization of horseradish peroxidase: Application in anthraquinonic dyes decolorization from wastewater", IV INTERNATIONAL CONGRESS,

ENGINEERING, ECOLOGY AND MATERIALS IN THE PROCESSING INDUSTRY, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 04.03.-06.03. 2015, Proceedings, p. 287–292, ISBN 978-99955-81-18-3.

- 2.2.1.2. Zorica D. Knežević-Jugović, Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Milena G. Žuža, **Nataša Ž. Šekuljica**, Verica B. Manojlović, Branko M. Bugarski, "Antioxidant activity of peptide fractions obtained by membrane ultrafiltration of egg white protein enzymatic hydrolysates", IV INTERNATIONAL CONGRESS, ENGINEERING, ECOLOGY AND MATERIALS IN THE PROCESSING INDUSTRY, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 04.03.-06.03. 2015, Proceedings, p. 278–286, ISBN 978-99955-81-18-3.
- 2.2.1.3. Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Sanja Ž. Grbavčić, **Nataša Ž. Šekuljica**, Elmalimadi, M., Branko M. Bugarski, Zorica D. Knežević-Jugović, "Peptides with improved antimicrobial activity screened by membrane ultrafiltration from egg white protein hydrolysates", Editor: Markoš, J., In *Proceedings of the 42nd International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranske Matliare, Slovakia, May 25-29, 732–739*, 2015, ISBN: 978-80-89475-14-8.

2.2.2. *Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u izvodu (M34)*

- 2.2.2.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Andrea B. Stefanović, Jelena J. Jovanović, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Dekolorizacija antrahinonskih boja iz otpadnih voda imobilisanom peroksidazom iz rena", XI simpozijum "Savremene tehnologije i privredni razvoj", Zbornik izvoda radova str.67, 22-24.10.2015, Leskovac.
- 2.2.2.2. Nevena D. Luković, Sonja M. Jakovetić, Sanja Ž. Grbavčić, Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, **Nataša Ž. Šekuljica**, Zorica D. Knežević-Jugović, "Production of antioxidative egg-white hydrolysates in a circle batch membrane reactor", 7th *Central European Congress Food-CEFood, Food Chain Intergadion*, Ohrid, Macedonia, 21-24 May 2014, Book of Abstract, page 220, ISBN 987-608-4565-05-5.
- 2.2.2.3. Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Sonja M. Jakovetić, Nevena D. Luković, **Nataša Ž. Šekuljica**, Milena G. Žuža, Zorica D. Knežević-Jugović, "Antioxidant activity and functional properties of peptides derived from egg white proteins by two-step enzymatic hydrolysis", *Food Quality & Safety, Health & Nutrition 1st Conference*, 27-29 November 2014, Skopje, Macedonia, Book of Abstract, page 76, ISBN 978-608-4565-06-2.

2.3. Rad u časopisu nacionalnog značaja-M52

- 2.3.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Andrea B. Stefanović, Jelena R. Jovanović, Sonja M. Jakovetić, Zorica D. Knežević-Jugović, Dušan Ž. Mijin, "The oxidation of anthraquinone dye using HRP immobilized as a cross-linked enzyme aggregates", *Savremene Tehnologije*, 2016, UDC 577.152.3:66.098:667.283.6.

2.4. Zbornici skupova nacionalnog značaja (M60)

2.4.1. Saopštenje sa nacionalnog skupa štampano u celini (M63)

- 2.4.1.1. Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Milena G. Žuža, **Nataša Ž. Šekuljica**, Sonja M. Jakovetić, Nevena D. Luković, Zorica D. Knežević-Jugović, "Empirijski kinetički model hidrolize proteina belanceta pretretiranih ultrazvučnim talasima visoke frekvencije", *XIX Savetovanje o biotehnologiji*, Čačak 07-08. Mart 2014. Zbornik radova, Vol. 19, str. 281-285, ISBN 987-86-87611-31-3.

2.4.2. Saopštenja na nacionalnim skupovima štampana u izvodu (M64)

- 2.4.2.1. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Dekolorizacija antrahinonskih boja peroksidazom iz rena imobilisanom na kaolin", 51. Savetovanje Srpskog Hemijskog društva, Niš 5-7. Juni 2014, Kratki izvodi radova, str. 69, ISBN 978-86-7132-054-2.
- 2.4.2.2. **Nataša Ž. Šekuljica**, Nevena Ž. Prlainović, Andrea B. Stefanović, Jelena R. Jovanović, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, Obezbojavanje antrahinonskih boja peroksidazom izolovanom iz svežeg ekstrakta rena, 52. Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Novi Sad, 29. i 30. maj 2015. Kratki izvodi radova, str. 100, ISBN 978-86-7132-056-6.

2.5. Magistarske i doktorske teze (M70)

2.5.1. Odbranjena doktorska disertacija (M71)

- 2.5.1.1. Nataša Ž. Šekuljica, „Enzimsko obezbojavanje antrahinonskih boja iz otpadnih voda“, Beograd, 30. septembar 2016.

2.6. Naučna saradnja i saradnja sa privredom (M100)

- 2.6.1. *Učešće u projektima, studijama, elaboratima i sl. sa privredom; učešće u projektima finansiranim od strane nadležnog Ministarstva (M105)*

- 2.6.1.1. Projekat integralnih i interdisciplinarnih istraživanja III 46010 za period 2011/2016 godine "Razvoj novih inkapsulacionih i enzimskih tehnologija za proizvodnju biokatalizatora i biološki aktivnih komponenata hrane u cilju povećanja njene konkurentnosti, kvaliteta i bezbednosti".
- 2.6.1.2. Elektrohemijska sinteza i karakterizacija nanostrukturiranih funkcionalnih materijala za primenu u novim tehnologijama (ON 172046).

3. ANALIZA PUBLIKOVANIH RADOVA

U cilju ispitivanja efikasnosti peroksidaze iz rena (komercijalni preparat) ispitan je uticaj parametara procesa na stepen uklanjanja sintetičkih boja. Kao model korišćene su dve sintetičke boje koje pripadaju grupi antrahinonskih boja, odnosno imaju antrahinonsko jezgro kao hromofornu grupu. Publikacija 2.1.2.1. je posvećena ispitivanju uticaja procesnih parametara: vremena kontakta, koncentracije boje, vodonik-peroksida, enzima, pH i temperature na kojoj se izvodi reakcija na stepen uklanjanja sintetičkih boja C. I. Acid Violet 109 (AV 109) i C. I. Acid Blue 225 (AB 225). Rezultati dobijeni nakon prve eksperimentalne serije ukazuju na veliki potencijal primene peroksidaze u obezbojavanju sintetičkih, konkretno antrahinonskih boja. Ova serija eksperimenata je pokazala koji su to značajni parametri koje je potrebno pratiti u narednom toku istraživanja što je u velikoj meri pomoglo u planiranju i izvođenju naredne serije eksperimenata.

Za procese katalizovane enimima je karakteristično da su izuzetno skupi. Shodno tome, u okviru publikacija 2.1.2.3., 2.1.4.1. i 2.4.2.2. ispitana je mogućnost primene neprečišćene peroksidaze iz sirovog ekstrakta u cilju povećanja ekonomičnosti procesa. Izvor peroksidaze, ren (*Armoracia rusticana*) je lako dostupan po prihvatljivoj ceni zbog čega je ispitana efikasnost neprečišćenog enzima u tretmanu voda obojenih sintetičkim bojama sa ciljem povećanja ekonomičnosti procesa. U okviru navedenih publikacija potvrđeno je da se postiže uklanjanje ispitivanih boja u visokom procentu (~75 %) u reakciji katalizovanoj peroksidazom iz sirovog ekstrakta. U okviru navedenih publikacija ispitana je početna kinetika koja daje uvid o inhibitornom uticaju supstrata i ko-supstrata na peroksidazu. Poređenjem vrednosti konstanti inhibicije boje za reakciju katalizovanu komercijalnom peroksidazom (0,0080 mM) i za reakciju katalizovanu neprečišćenom peroksidazom (0,0325 mM) jasno je da boja ispoljava znatno jači inhibitorni uticaj na komercijalnu peroksidazu. Na osnovu navedenih podataka može se zaključiti da je peroksidaza iz ekstrakta zahvaljujući prisutnim nečistoćama zaštićenija od inhibitornog uticaja boje. Pored toga, sirovi ekstrakt sadrži preko četrdeset izoenzima peroksidaze dok komercijalni preparat sadrži uglavnom izoenzim C, tako da iako se inaktivira izoenzim C pod datim uslovima postoje drugi brojni oblici ovog enzima koji mogu da katalizuju reakciju obezbojavanja. Vrednosti konstanti inhibicije peroksida potvrđuju isto. Manji stepen obezbojavanja postignut u reakciji katalizovanoj neprečišćenom peroksidazom može biti posledica prisustva nečistoća u ekstraktu. Nečistoće prisutne u ekstraktu izazivaju sterne smetnje, smanjuju brzinu reakcije (1,026 mM min⁻¹) ali i umanjuju

inhibitorni uticaj oba supstrata na peroksidazu. Navedeni podaci daju prednosti primeni neprečišćene peroksidaze u posmatranoj reakciji.

Pored ispitivanja efikasnosti peroksidaze sa aspekta stepena obezbojavanja ispitana je efikasnost ovog enzima u konkretnoj reakciji i sa aspekta toksičnosti enzimski tretiranog rastvora. Praćenjem osnovnih parametara toksičnosti, hemijske potrošnje kiseonika (HPK) i ukupnog organskog ugljenika (UOU) potvrđeno je da je nastali efluent ekološki prihvatljiv, odnosno da je toksičnost enzimski tretiranog rastvora sintetičkih boja značajno umanjena. Obezbojavanje otpadnih voda peroksidazom iz rena nije samo efikasan već i ekološki prihvatljiv proces. Dobijeni efluent je znatno niže toksičnosti u poređenju sa polaznim uzorkom pre enzimskog tretmana što je potvrđeno testom toksičnosti *A. salina* cistama. Uzorak pre enzimskog tretmana se na osnovu dobijene EC_{50} vrednosti klasifikuje kao toksičan ($25 > EC_{50} < 75$ %), dok je uzorak nakon enzimskog tretmana niske toksičnosti ($100 > EC_{50} > 75$ %). Takođe, ispitivanjem je utvrđeno da se optimalni parametri obezbojavanja rastvora dve navedene sintetičke boje (koje se u strukturi razlikuju samo po položaju i vrsti supstituenata vezanih za antrahinonsko jezgro) neznatno razlikuju, tako da se optimalni uslovi za obezbojavanje katalizovano peroksidazom iz rena mogu uspešno primeniti na celokupnu grupu antrahinonskih boja sa malim varijacijama u postignutom stepenu obezbojavanja.

Dalje istraživanje bilo je usmereno u pravcu povećanja stabilnosti peroksidaze kako bi se otvorila mogućnost za primenu ovog biokatalizatora u nekoj od konfiguracija bioreaktora. Publikacije 2.1.2.1., 2.1.3.1., 2.3.1., 2.2.1.1., 2.2.2.1. i 2.4.2.1. se odnose na imobilizaciju peroksidaze iz rena (komercijalnog preparata) različitim tehnikama imobilizacije, sa i bez primene nosača. U okviru publikacije 2.1.2.1. komercijalni preparat peroksidaze iz rena imobilisan je adsorpcijom na termički tretiran kaolin, metakaolin. Ispitani su optimalni uslovi imobilizacije (pH, koncentracija enzima), imobilisani preparat je okarakterisan korišćenjem SEM, BET i FT-IR analiza i primenjen u konkretnoj reakciji obezbojavanja antrahinonskih boja. Prednost primene imobilisane peroksidaze na metakaolin je evidentna, ali je za industrijsku primenu pored stabilnosti biokatalizatora, cena postupka od izuzetne važnosti. Shodno tome, pored stabilnosti i efikasnosti nosač koji se primenjuje u industriji mora da bude pristupačne cene. Grubom analizom cena kataloških nosača za imobilizaciju enzima, potvrđeno je da je kaolin upotrebljen kao nosač za imobilizaciju peroksidaze jeftiniji od komercijalnih nosača Diaion[®], 2-hidroksietilmetakrilat (HEMA) ili Eupergit C (8,6, 21,1 i 1464,5 puta redom). Pored toga, pri ovoj analizi nisu uračunati troškovi vezani za rad u laboratoriji, cene laboratorijske opreme, hemikalija za imobilizaciju enzima što je izuzetno važan parametar kada je u pitanju tretman otpadnih voda na industrijskom nivou, jer je na ovaj način umanjen trošak zbog nepotrebnih aktivacija nosača ili enzima. U poređenju sa pojedinim podacima kovalentne imobilizacije peroksidaze dostupnim u literaturi, peroksidaza imobilisana na metakaolin ima potencijala u tretmanu obojenih otpadnih

voda zbog jednostavnosti proizvodnje, niske cene, efikasnog uklanjanja boje i operativne stabilnosti.

Modifikacijom metakolina glutaraldehidom dobijen je novi imobilisani preparat čiji je postupak dobijanja opisan u publikaciji 2.1.3.1. Imobilisani preparat se pokazao kao preparat koji je moguće primeniti u četiri ciklusa obezbojavanja ispitivane antrahinonske boje. Nakon četvrtog ciklusa primene imobilizat zadržava svega 15 % početne aktivnosti. Iako se slobodna peroksidaza pokazala efikasnijom u prvom ciklusu primene, kroz 4 ciklusa imobilisana peroksidaza ipak može da ukloni znatno više ispitivane boje. Naime, slobodnom peroksidazom je uklonjeno $27,7 \text{ mg L}^{-1}$ dok je imobilisanom peroksidazom uklonjeno $55,7 \text{ mg L}^{-1}$ ispitivane boje sa istom količinom enzima, odnosno 0,1 U.

Publikacije 2.1.2.3. i 2.3.1. se odnose na imobilizaciju peroksidaze iz svežeg ekstrakta i komercijalnog preparata u obliku umreženih enzimskih agregata. U okviru ovih publikacija ispitani su optimalni uslovi imobilizacije i uklanjanja AV 109 boje. Na ovaj način dobijen je imobilisani biokatalizatora unapređenih svojstava bez primene skupih nosača sa velikim stepenom zadržane aktivnosti i bez katalitički neaktivne mase koja potiče od prisustva nosača. Pored toga, operativna stabilnost ovako dobijenog biokatalizatora je bila izuzetno visoka kako u šaržnom tako i u pakovanom reaktoru sa recirkulacijom reakcione smeše. Operativna stabilnost umreženih agregata komercijalne peroksidaze ispitana je u reakciji obezbojavanja AV 109 boje pod optimalnim uslovima: pH 4, koncentracija boje 40 mg L^{-1} , koncentracija H_2O_2 1 mM, temperatura $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Pored toga, operativna stabilnost imobilisane peroksidaze je ispitana i u standardnoj reakciji, sa pirogalolom kao supstratom. U okviru publikacije 2.1.4.1. ispitana je mogućnost imobilizacije peroksidaze iz svežeg ekstrakta na silikatne čestice. U okviru ove publikacije potvrđeno je da imobilizacija neprečišćene peroksidaze metodom adsorpcije ne daje zadovoljavajuće rezultate zbog većeg afiniteta nečistoća prisutnih u ekstraktu prema nosaču nego same peroksidaze, što se ogleda u dobijanju imobilisanih preparata smanjenih aktivnosti.

U prethodnim publikacijama prikazani su rezultati dobijeni nizom eksperimenata, koji dokazuju efikasnost peroksidaze iz rena u reakciji obezbojavanja sintetičkih, u konkretnom slučaju antrahinonskih boja. Kada se enzim kao što je peroksidaza iz rena, primeni u sistemu gorivnih ćelija, nastaje dvostruka korist. Oksidoredukциони enzimi katalizuju obezbojavanjem sintetičkih boja, pri čemu se oslobađaju elektroni koji na kraju ciklusa daju izvesni električni signal. Na osnovu dobijenih rezultata obezbojavanja ispitivane boje peroksidazom iz rena, nastaje mogućnost da se peroksidaza iz rena primeni u enzimskoj gorivnoj ćeliji u kojoj se kao gorivo koristi AV 109 boja u svrhu dobijanja električne struje što je prikazano u publikaciji 2.1.2.2. Komercijalna peroksidaza imobilisana na bakar–sulfidnu elektrodu je uspešno primenjena u enzimskoj gorivnoj ćeliji. Kao gorivo iskorišćen je rastvor AV 109 boje pripremljen u kalijum–biftalatnom puferu (pH 4,1), koncentracije 30 mg L^{-1} . Korišćenjem $\sim 0,08\text{--}0,1 \text{ U}$ imobilisane peroksidaze u gorivnoj ćeliji postignuto je obezbojavanje $\sim 40 \%$, specifična

energija ćelije $\sim 5 \text{ mWh m}^{-2}$, maksimalna specifična snaga $\sim 1 \text{ } \mu\text{W cm}^{-2}$ i napon otvorenog strujnog polja 0,51 V.

Dalje istraživanje kandidata bilo je usmereno ka razvoju novih enzimskih procesa za proizvodnju hidrolizata proteina belanceta kao visokokvalitetnih proteinskih dodataka hrani i napicima sa novim funkcionalnim vrednostima. Ispitivanje uticaja ultrazvuka na proizvodnju funkcionalnih hidrolizata belanceta je tema publikacije 2.1.2.2. Ultrazvučni pretretman je ispitana i sa aspekta kinetike, reakcionog modela i termodinamike na proizvodnju funkcionalnih hidrolizata i to u okviru publikacija 2.1.2.3. i 2.4.1.1. Hidroliza proteina belanceta i izdvajanje frakcija antioksidativnih svojstava tehnikama membranske ultrafiltracije i dvostepene enzimske hidrolize je tema publikacija 2.1.3.2. i 2.2.2.3., dok je u okviru publikacije 2.2.1.3. opisan postupak izdvajanja frakcija antimikrobnih svojstava. Mogućnost dobijanja antioksidativnih frakcija hidrolizata proteina belanceta enzimskom hidrolizom u membranskom reaktoru ispitana je u okviru publikacije 2.2.2.2.

Istraživanje u oblasti proizvodnje enzima (amilaze, pektinaze, celulaze i proteaze) prikazana su u okviru publikacije 2.1.1. U okviru ove publikacije ispitana je mogućnost proizvodnje navedenih enzima gajenjem *Bacillus subtilis sp.* soja na čvrstom agroindustrijskom otpadu (suncokretova, sojina sačma, pšenične mekinje). Ispitan je uticaj različitih pretretmana čvrstog otpada (mikrotalasi, ultrazvuk, hemijski pretretman) na proizvodnju enzima.

Fotokatalitička degradacija nikosulfurona (herbicid) uz TiO_2 kao katalizator korišćenjem UV svetlosti (315–400 nm) je tema publikacije 2.1.2.4. U okviru publikacije ispitana je optimalna koncentracija katalizatora i herbicida kao i pH reakcione smeše. Pored toga, ispitana je i uticaj anjona (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- i F^-) i katjona (Na^+ , Ca^{2+} i Al^{3+}), izopropanola, acetona i vodonik-peroksida. Intermedijari u reakciji određeni su korišćenjem HPLC-MS analize, dok je mineralizacija praćena IC, TOC analizama. Fitotoksičnost uzorka pre i nakon degradacije ispitana je korišćenjem mungo pasulja (*Mung bean*).

4. CITIRANOST RADOVA

Ukupna citiranost kandidata iznosi 8 (bez autocitata), izvor Scopus i ISI Web of Science, decembar 2016. Citirani su sledeći radovi:

Nataša Ž. Šekuljica, Nevena Ž. Prlainović, Andrea B. Stefanović, Milena G. Žuža, Dragana Z. Čičkarić, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Decolorization of anthraquinonic dyes from textile effluent using horseradish peroxidase: Optimization and kinetic study", *The World Scientific Journal*, vol. 2015, Article ID 371625, 12 pages, 2015, IF (2013)=1,219, (ISSN: 2356–6140)

1. Sinosh Scariyachan, Apoorva Prasanna, Sirisha P. Manjunath, Ambika Nazre, "Environmental assessment of the degradation potential of mushroom fruit bodies of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr) P. Kumm. towards synthetic azo dyes and contaminating effluents collected from textile industries in Karnataka, India", *Environmental Monitoring and Assessment*, 188:121, 2016.

2. Shazia Nouren, 2015, "815 Recent developments in the biodegradation of synthetic dyes by plant peroxidases: A review", pp. 383–412.

Nataša Ž. Šekuljica, Nevena Ž. Prlainović, Jelena R. Jovanović, Andrea B. Stefanović, Veljko R. Đokić, Dušan Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, "Immobilization of horseradish peroxidase onto kaolin", *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 39, pp. 461–472, 2016, IF (2014)=1,997, (ISSN: 1615–7605)

1. Felix Monteiro Pereira, Samuel Oliveira, "Occurrence of dead core in catalytic particles containing immobilized enzymes: analysis for the Michaelis-Menten kinetics and assessment of numerical methods", *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39 (11), 2016, pp. 1717–1727.

2. Barbara Janović, Milica Lj. Mičić Vićovac, Zoran M. Vujčić, Miroslava T. Vujčić, "Tailor-made biocatalysts based on scarcely studied acidic horseradish peroxidase for biodegradation of reactive dyes", *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, DOI: 10.1007/s11356-016-8100-4.

Andrea B. Stefanović, Jelena R. Jovanović, Sanja Ž. Grbavčić, Nataša Ž. Šekuljica, Verica B. Manojlović, Branko M. Bugarski, Zorica D. Knežević-Jugović, "Impact of ultrasound on egg white proteins as a pretreatment for functional hydrolysates production", *European Food Research and Technology*, vol. 239, 2014, pp. 979–993, IF (2014)=1,559, (ISSN: 1438–2377)

1. Surangna Jain, Anil Kumar Anal, "Optimization of extraction of functional protein hydrolysates from chicken egg shell membrane (ESM) by ultrasonic assisted extraction (UAE) and enzymatic hydrolysis", *LWT- Food Science and Technology*, vol. 69, 2016, pp. 295–302.

2. Chamila Nimalaratne, Jianping Wu, "Hen egg as an antioxidant food commodity: A Review", *Nutrients*, vol. 7, 2015, pp. 8274–8293.

3. Cezar Ozuna, Ingrid Paniagua-Martinez, Eduardo Castano-Tostado, Lech Ozimek, S. M. Amaya-Llano, "Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides", *Journal of Food Research*, 2015, DOI: 10.1016/j.foodres.2015.10.015.

4. Mohammed Adam Y. Adbualrahman, Haile Ma, Cunshan Zhou, Abu ElGasim A. Yagoub, Jiali Hu, Xue Yang, "Thermal and single frequency ultrasound pretreatments of sodium caseinate: Enzymolysis kinetics and thermodynamics, amino acids composition, molecular weight distribution and antioxidant peptides", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 96, 2016, pp. 4861–4863.

5. ELEMENTI ZA KVALITATIVNU OCENU NAUČNOG DOPRINOSA KANDIDATA I MINIMALNI KVANTITATIVNI USLOVI ZA IZBOR

5.1. Pokazatelji uspeha u naučnom radu

Pokazatelji uspeha u naučnom radu koji kvalifikuju dr Natašu Ž. Šekuljicu za izbor u zvanje naučni saradnik su:

- učestvuje na istraživanjima u okviru domaćeg naučno-istraživačkog projekta finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije;
- autor je ili koautor ukupno dvanaest naučnih radova štampanih u celini u međunarodnim i domaćim naučnim časopisima, kao i tri saopštenja na međunarodnim skupovima i četiri saopštenja na nacionalnim naučnim skupovima;
- odbranila je doktorsku disertaciju;
- tokom izrade doktorske disertacije pokazala je visok stepen inventivnosti i samostalnosti u naučnim istraživanjima.

5.2. Razvoj uslova za naučni rad, obrazovanje i formiranje naučnih kadrova

Dr Nataša Ž. Šekuljica je školske 2015/2016 godine angažovana na izvođenju eksperimentalnih vežbi iz predmeta Enzimsko inženjerstvo na osnovnim studijama, a školske 2016/2017 godine angažovana na izvođenju eksperimentalnih vežbi iz predmeta Biotehnološki praktikum 2 na Katedri za biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Učestvovala je u izradi 6 završnih, 5 master rada studenata Tehnološko-metalurškog fakulteta, kao i IAESTE programu realizacije praksi studenata iz inostranstva na katedri za Biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju.

5.3. Kvalitet naučnih rezultata

5.3.1. Uticajnost, pozitivna citiranost, ugled i uticajnost publikacija u kojima su kandidatovi radovi objavljeni

U svom dosadašnjem naučno-istraživačkom radu dr **Nataša Ž. Šekuljica** je, kao autor ili koautor, objavila četiri rada u međunarodnim časopisima kategorije M21, tri rada u časopisima M22, dva rada u časopisima kategorije M23, jedan rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja kategorije M24. Radovi su do sada citirani u naučnoj periodici 8 puta (bez autocitata i citata koautora). Kako se radi o nedavno objavljenim radovima, pozitivna citiranost radova ukazuje na aktuelnost i uticajnost objavljenih radova u polju istraživanja i trenutnim svetskim trendovima, što predstavlja potvrdu njihovog kvaliteta i značaja.

Međunarodni časopisi iz kategorije M20 u kojima su objavljeni radovi dr **Nataše Ž. Šekuljice** su: *Bioresource Technology* (M21_a; IF (2015)=4,917; *Biotechnology & Applied Microbiology* 11/88), *The World Scientific Journal* (M21; IF(2013)=1,219; *Multidisciplinary Sciences* 16/55), *Journal of Energy Chemistry*, (M21; IF(2014)=2,352; *Engineering, Chemical*, 38/135), *Clean Soil Air Water* (M21; IF(2014)=1,945; *Water Resources*, 23/83), *Bioprocess and Biosystems Engineering* (M22; IF(2014)=1,997; *Engineering, Chemical*, 51/135), *European Food Research and Technology* (M22; IF(2014)=1,559; *Food Science & Technology*, 53/122), *Journal of Food Science* (M22; IF(2015)=1,649; *Food Science & Technology*, 49/125), *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* (M22; IF(2015)=2,477; *Chemistry, Physical* 63/144), *Hemijska Industrija* (M23; IF(2013)=0,562; *Engineering, Chemical*, 103/133).

5.3.2. Efektivan broj radova i broj radova normiran na osnovu broja koautora, ukupan broj kandidatovih radova, udeo samostalnih i koautorskih radova u njemu, kandidatov doprinos u koautorskim radovima

Dr **Nataša Ž. Šekuljica** je u dosadašnjem naučno-istraživačkom radu publikovala 21 bibliografskih jedinica i to: 12 naučnih radova i 6 saopštenja na međunarodnom nivou, kao i 3 saopštenja na nacionalnom nivou. Na šest radova i četiri saopštenja bila je prvi autor. Prosečan broj autora po radu za ukupno navedenu bibliografiju iznosi 6,51 i to:

- M20 autor 6 i koautor 5 radova prosek autora 6,73
- M30 autor 2 i koautor 4 rada prosek autora 6,67
- M50 autor 1 rada prosek autora 7
- M60 autor 2 i koautor 1 rada prosek autora 5,67

5.3.3. Stepen samostalnosti u naučno-istraživačkom radu i uloga u realizaciji radova u naučnim centrima u zemlji i inostranstvu

Dr **Nataša Ž. Šekuljica** je tokom dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada pokazala visok stepen samostalnosti u kreiranju i realizaciji eksperimenata. Rezultate svojih istraživanja je sistematski analizirala, objasnila i potom publikovala u uticajnim

međunarodnim i domaćim časopisima i saopštila na domaćim i međunarodnim skupovima. Kandidatkinja je pokazala sklonost ka timskom radu, o čemu govore zajedničke publikacije kako sa kolegama sa Tehnološko-metalurškog fakulteta, tako i sa kolegama iz drugih naučno-istraživačkih institucija.

Sumarni prikaz dosadašnje naučno-istraživačke aktivnosti **dr Nataše Ž. Šekuljice**:

Kategorija rada	Koeficijent kategorije	Broj radova u kategoriji	Zbir
Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti, M21a	10	1	10
Radovi u vrhunskim međunarodnim časopisima, M21	8	3	24
Radovi u istaknutim međunarodnim časopisima, M22	5	4	20
Radovi u časopisima međunarodnog značaja, M23	3	2	6
Radovi u nacionalnim časopisima međunarodnog značaja, M24	3	1	3
Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u celini, M33	1	3	3
Radovi saopšteni na skupovima međunarodnog značaja štampani u izvodu, M34	0,5	3	1,5
Radovi saopšteni na skupovima nacionalnog značaja štampani u celini, M63	1,5	1	1,5
Rad u časopisu nacionalnog značaja, M52	1,5	1	1,5
Radovi saopšteni na skupovima nacionalnog značaja štampani u izvodu, M64	0,2	2	0,4
Odbranjena doktorska disertacija, M70	6	1	6
UKUPAN KOEFICIJENT			76,9

Uslov za izbor u zvanje Naučni saradnik za tehničko-tehnološke i biotehničke nauke, koji propisuje *Pravilnik o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača*, je da kandidat ima ukupno najmanje 16 poena koji treba da pripadaju sledećim kategorijama:

Minimalni kvantitativni zahtevi za sticanje zvanja naučni saradnik	Minimalno potrebno	Ostvareno
Ukupno	16	60,4
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M51+M80+M90+M100	9	63
M21+M22+M23	5	60

ZAKLJUČAK

Na osnovu detaljne analize dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada i ostvarenih rezultata **dr Nataše Ž. Šekuljice**, Komisija smatra da ona ispunjava sve potrebne uslove za izbor u zvanje naučni saradnik i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da ovaj izveštaj prihvati i isti prosledi odgovarajućoj Komisiji Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na konačno usvajanje.

U Beogradu, 24.01.2017. godine

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Zorica Knežević-Jugović, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Dušan Mijin, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Radivoje Prodanović, vanredni profesor
Hemijski fakultet u Beogradu

