

Образац 1.

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ

35/19
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

24.02.2021.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Биоразградња антрахинонске боје пероксидазом изолованом из отпадног материјала у шаржном и континуалном систему“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**
ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

МИЛИЦА (Милан) СВЕТОЗАРЕВИЋ, мастер инжењер технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: **Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Технолошко металуршки факултет, Скопље, Република Македонија**

3. Година дипломирања: **2014.**

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

5. Година дипломирања: 2015.

Студент је уписан на докторске академске студије школске **2015/2016.** године.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће**, на седници одржаној **04.02.2021.** године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Милицу Светозаревић

Име и презиме ментора: Душан Мијин

Звање: редовни професор (датум избора у звање 09.11.2011)

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. N.Ž. Šekuljica, N.Ž. Prlainović, A.B. Stefanović, M.G. Žuža, D.Z. Čičkarić, **D.Ž. Mijin**, Zorica D. Knežević-Jugović, *Decolorization of Anthraquinonic Dyes from Textile Effluent Using Horseradish Peroxidase: Optimization and Kinetic Study*, The Scientific World Journal 2015 (2015) 1-12, Article ID 371625 (IF₂₀₁₃= 1,219, ISSN 1537-744X)
2. N.Ž. Šekuljica, N.Ž. Prlainović, S.M. Jakovetić, S.Ž. Grbavčić, N.D. Ognjanović, Z.D. Knežević-Jugović, **D.Ž. Mijin**, *Removal of Anthraquinone Dye by Cross-Linked Enzyme Aggregates From Fresh Horseradish Extract*, CLEAN – Soil, Air, Water 44 (7) (2016) 891–900 (IF₂₀₁₄= 1,945, ISSN 1863-0650)
3. N.Ž. Šekuljica, N.Ž. Prlainović, J.R. Jovanović, A.B. Stefanović, V.R. Djokić, **D.Ž. Mijin**, Z.D. Knezevic-Jugovic, *Immobilization of horseradish peroxidase onto kaolin*, Bioprocess and Biosystems Engineering 39 (3) (2016) 461-472 (IF₂₀₁₆= 1,870, ISSN 1615-7591)
4. N.Ž. Šekuljica, N.Ž. Prlainović, J.R. Jovanović, A.B. Stefanović, S.Ž. Grbavčić, **D.Ž. Mijin**, Z.D. Knežević-Jugović, *Immobilization of horseradish peroxidase onto kaolin by glutaraldehyde method and its application in decolorization of anthraquinone dye*, Hemijska industrija 70 (2) (2016) 217–224 (IF₂₀₁₆= 0,459, ISSN 0367-598X)
5. N.Ž. Šekuljica, J.R. Jovanović, S.M. Jakovetić Tanasković, N.D. Ognjanović, I.V. Gazikalović, Z.D. Knežević-Jugović, **D.Ž. Mijin**, *Immobilization of horseradish peroxidase onto Purolite® A109 and its anthraquinone dye biodegradation and detoxification potential*, Biotechnology Progress 36 (2020) e2991 (IF₂₀₁₈= 2,406, ISSN 8756-7938)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 02.02.2021.

М.П.

Проф. др Петар Ускоковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Милицу Светозаревић

Име и презиме ментора: Наташа Шекуљица

Звање: научни сарадник (датум избора у звање 25.10.2017)

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **N.Ž. Šekuljica**, N.Ž. Prlainović, A.B. Stefanović, M.G. Žuža, D.Z. Čičkarić, D.Ž. Mijin, Zorica D. Knežević-Jugović, *Decolorization of Anthraquinonic Dyes from Textile Effluent Using Horseradish Peroxidase: Optimization and Kinetic Study*, The Scientific World Journal 2015 (2015) 1-12, Article ID 371625 (IF₂₀₁₃= 1,219, ISSN 1537-744X)
2. **N.Ž. Šekuljica**, N.Ž. Prlainović, S.M. Jakovetić, S.Ž. Grbavčić, N.D. Ognjanović, Z.D. Knežević-Jugović, D.Ž. Mijin, *Removal of Anthraquinone Dye by Cross-Linked Enzyme Aggregates From Fresh Horseradish Extract*, CLEAN – Soil, Air, Water 44 (7) (2016) 891–900 (IF₂₀₁₄= 1,945, ISSN 1863-0650)
3. **N.Ž. Šekuljica**, N.Ž. Prlainović, J.R. Jovanović, A.B. Stefanović, V.R. Djokić, D.Ž. Mijin, Z.D. Knezevic-Jugovic, *Immobilization of horseradish peroxidase onto kaolin*, Bioprocess and Biosystems Engineering 39 (3) (2016) 461-472 (IF₂₀₁₆= 1,870, ISSN 1615-7591)
4. **N.Ž. Šekuljica**, N.Ž. Prlainović, J.R. Jovanović, A.B. Stefanović, S.Ž. Grbavčić, D.Ž. Mijin, Z.D. Knežević-Jugović, *Immobilization of horseradish peroxidase onto kaolin by glutaraldehyde method and its application in decolorization of anthraquinone dye*, Hemijska industrija 70 (2) (2016) 217–224 (IF₂₀₁₆= 0,459, ISSN 0367-598X)
5. **N.Ž. Šekuljica**, J.R. Jovanović, S.M. Jakovetić Tanasković, N.D. Ognjanović, I.V. Gazikalović, Z.D. Knežević-Jugović, D.Ž. Mijin, *Immobilization of horseradish peroxidase onto Purolite® A109 and its anthraquinone dye biodegradation and detoxification potential*, Biotechnology Progress 36 (2020) e2991 (IF₂₀₁₈= 2,406, ISSN 8756-7938)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 02.02.2021.

М.П.

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 31. и 32. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 04.02.2021. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Милице Светозаревић**, број индекса 4012/2015, под називом: **„Биоразградња антрахинонске боје пероксидазом изолованом из отпадног материјала у шаржном и континуалном систему“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Душан Мијин, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Наташа Шекуљица, научни сарадник, Иновациони Центар Технолошко-металуршког факултета у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Milice Svetozarević, master inženjera tehnologije, za izradu doktorske disertacije.

Odlukom br. 35/385 od 24.12.2020. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Milice Svetozarević za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme: **„Biorazgradnja antrahinonske boje peroksidazom izolovanom iz otpadnog materijala u šaržnom i kontinualnom sistemu”**.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

R E F E R A T

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Milica (Milan) Svetozarević je rođena 6.10.1990. godine u Đevđeliji, Republika Severna Makedonija. Osnovnu školu i gimnaziju je završila u Đevđeliji. Diplomirala je u julu 2014. godine, na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta Sv. Kiril i Metodij, u Skoplju, studijski program Prehrambena tehnologija i biotehnologija, sa prosečnom ocenom 9,63. Školske 2014/15. godine upisala je master studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, studijski program Biohemijsko inženjerstvo i biotehnologija. Master studije je završila u septembru 2015. godine, odbranom završnog master rada na temu „Imobilizacija peroksidaze iz svežeg rena glutaraldehydom u umrežene enzimske agregate“, sa prosečnom ocenom 9,00. Doktorske studije je upisala školske 2015/16. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, studijski program Biohemijsko inženjerstvo i biotehnologija. U februaru 2017. godine zaposlila se kao inženjer tehnološkog razvoja u profitnom centru Farmacija, „Alkaloid AD“, Skoplje, gde je radila do novembra 2018.

1.2. Stečeno naučno istraživačko iskustvo

U novembru 2018. godine Milica Svetozarević je angažovana u Inovacionom centru TMF-a. U periodu od novembra 2018. god. do decembra 2019. god. bila je na projektu „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije

proizvodnje” (TR 34009) koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Položila je sve ispite predviđene nastavnim planom i programom doktorskih studija, uključujući i završni ispit pod nazivom: „Uklanjanje antrahinonskih boja pomoću peroksidaza različitog porekla u mikoreaktorima i šaržnim sistemima”.

Spisak položenih ispita na doktorskim studijama

Redni broj	Naziv ispita	ESPB	Ocena
1.	Biohemijska kinetika	5	10
2.	Hemijska kinetika	5	8
3.	Imobilisani biokatalizatori: tehnike imobilizacije, bioreaktori i primena	6	9
4.	Hemija fiziološki aktivnih jedinjenja	5	10
5.	Organske boje i pigmenti	5	10
6.	Odabrana poglavlja biohemije-vitamini	5	10
7.	Industrijska mikrobiologija	5	10
8.	Tečna hromatografija-masena spektrometrija	5	10
9.	Organske zagađujuće supstance	4	10
10.	Odabrana poglavlja numeričke analize	5	10
11.	Engleski jezik	-	10
12.	Završni ispit	30	10
	Ukupno bodova	80	
	Prosečna ocena	9,73	

Dobijeni rezultati dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada Milice Svetozarević su prezentovani kroz radove (jedan M22 i jedan M23), saopštenja (šest – M33) i patentnu prijavu na nacionalnom nivou (jedna – M87).

Spisak objavljenih naučnih radova:

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (**M22**)

1. **Svetozarević M.**, Šekuljica N, Knežević-Jugović Z., Mijin D., *Agricultural waste as a source of peroxidase for wastewater treatment: Insight in kinetics and process parameters optimization for anthraquinone dye removal*, Environmental Technology and Innovation, Vol. 21, 2021, 101289, IF(2019)=3,356, DOI:10.1016/j.eti.2020.101289

Rad u međunarodnom časopisu (**M23**)

1. **Svetozarević M.**, Šekuljica N, Knežević-Jugović Z., Mijin D., *Optimization and kinetic study of anthraquinone dye removal from colored wastewater using soybean seed as a source of peroxidase*, Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, Vol.

39, pp. 197-206, 2020, IF(2019)=0,829, DOI:10.20450/mjcce.2020.2150, ISSN: 1857-5552

Saopštenja sa međunarodnih skupova štampana u celini (**M33**)

1. **Svetozarević M.**, Tadić J., Šekuljica N., Dajić A., Mihajlović M., Jovanović M., Mijin D., *Ekstrakcija enzima iz biljnog otpadnog materijala: primena u obezbojavanju industrijskih otpadnih voda*, 32. Međunarodni kongres o procesnoj industriji - Processing, Beograd, 2019, pp. 253-256.
2. **Svetozarević M.**, Tadić J., Mihajlović M., Dajić A., Jovanović M., *Advantages of Microreactor Technology over Conventional Methods in Enzymatic Wastewater Treatment – Environmental Application of Enzymes*, Environmental impact of illegal construction, poor planning and design IMPEDE 2019, Conference Proceedings, Belgrade 2019, pp. 89-97.
3. **Svetozarević M.**, Mihajlović M., Jovanović M., *Alternatives in Solid Waste Final Treatment and Disposal in Oil-Petrochemical Complex Pančevo*, International Scientific Conference, Environmental Impact of Illegal Construction, Poor Planning and Design IMPEDE 2019, Belgrade, 2019, p. 98-106.
4. Tadić J., **Svetozarević M.**, Dajić A., Mihajlović M., Jovanović M., Mijin D., *Development of Green Chemical Process: The Reaction of Condensation in a Continuous Flow Microreactor*, Environmental impact of illegal construction, poor planning and design IMPEDE 2019, Conference Proceedings, Belgrade 2019, pp. 129-133.
5. Dajić A., Mihajlović M., **Svetozarević M.**, Tadić J., Jovanović M., *Are the Tube Microreactors Future of Wastewater Treatment?*, Environmental impact of illegal construction, poor planning and design IMPEDE 2019, Conference Proceedings, Belgrade 2019, pp. 107-112.
6. Dajić A., **Svetozarević M.**, Tadić J., Mihajlović M., Jovanović M. (2020). *Obezbojavanje industrijskih otpadnih voda – pregled dostupnih metoda iz ugla čistije proizvodnje*. 33. Kongres o procesnoj industriji - Procesing, Beograd, 2020, pp. 81-85.

Prijavljen patent na nacionalnom nivou (**M87**)

1. Mijin D., **Svetozarević M.**, Šekuljica N., Knežević-Jugović Z., Dajić A., Mihajlović M., Jovanović M., *Novi postupak za biodegradaciju antrahinonskih boja u kontinualnom mikroreaktorskom sistemu peroksidazom izolovanom iz poljoprivrednog otpada*, Patentna prijava P-2020/1145.

1.3. Ocena podobnosti rada kandidata na predloženoj temi

Svojim dosadašnjim istraživačkim aktivnostima kandidat je ispoljio kvalitet, zainteresovanost i stručnost za naučni i istraživački rad. Iz oblasti istraživanja kojoj pripada predložena tema doktorske disertacije, kandidat je objavio jedan rad u istaknutom međunarodnom časopisu, jedan rad u međunarodnom časopisu, jednu prijavu domaćeg patenta i šest saopštenja na međunarodnim skupovima štampanih u celosti. Na osnovu biografskih podataka kandidata, njegovih stručnih i naučnih aktivnosti, kao i postignutih naučno-

istraživačkih rezultata, Komisija smatra da je kandidat podoban za efikasan teorijski i ekperimentalni rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet naučnog istraživanja u okviru predložene teme je biorazgradnja antrahinonske boje iz otpadnih voda, primenom enzima u skladu sa principima održivog razvoja i čistije proizvodnje. Enzim koji će se koristiti je peroksidaza izolovana iz otpadnog materijala: sojine ljuspice i krompirove ljuske. Ispitaće se primena enzima u biorazgradnji antrahinonske boje u šaržnom i u kontinualnom mikoreaktorskom sistemu.

Otpadne vode iz tekstilne industrije sadrže različite zagađujuće materije. Boje, kao zagađivači karakterišu se kao toksična, mutagena i kancerogena jedinjenja. Njihovo prisustvo u otpadnim vodama dovodi do narušavanja pH, eutrofikacije, otežane apsorpcije sunčeve svetlosti i ometanja procesa fotosinteze. Usled toga dolazi do smanjenja rasta, razvoja i reprodukcije akvatičnog sveta^[1,2]. Posle azo boja, antrahinonske boje su najzastupljenije u tekstilnoj industriji i koriste se za bojenje vune, poliamida i svile. Uklanjanje antrahinonskih boja iz otpadnih voda predstavlja izazov zbog njihove strukture koja sadrži kondenzovane aromatične prstenove što ih čini stabilnim i veoma teško razgradljivim^[3]. Zbog toga su razvijene različite fizičke, hemijske, biološke i kombinovane metode u cilju uklanjanja boja iz otpadnih voda. U fizičke metode spadaju adsorpcija, taloženje, membranska filtracija i flotacija. Između ovih tehnika, adsorpcija je najrasprostanjenija zbog efikasnosti, jednostavnosti i cene. Najčešće korišćeni adsorbens je aktivni ugalj zbog njegove mehaničke i hemijske stabilnosti, kao i velike specifične površine. Kao prekursor za dobijanje aktivnog uglja koristi se piljevina, otpad nastao nakon prerade šećerne trske, bambus, kora od voća, ostaci kafe, pirinčane ljuske i slično^[4]. Nedostatak ove metode je stvaranje sekundarnog čvrstog otpada koji se dalje deponuje. U hemijske tretmane se svrstavaju napredni oksidacioni procesi, kao što su Fenton procesi i ozonizacija. Jako su efikasni, ali kratak vek radikala, slaba rastvorljivost ozona u vodi i energetska potrošnja su nedostaci koji otežavaju njihovu industrijsku primenu^[5]. Mikroorganizmi *Bacillus sp.*, *Pseudomonas*, *Shewanella sp.*, *Aeromonas* and *Klebsiella sp.* uspešno razgrađuju antrahinonske boje^[6,7]. Međutim, mikroorganizmi su osetljivi na veliku koncentraciju boje, zahtevaju određeno vreme za prilagođavanje i dovode do formiranja aktivnog mulja. Korišćenjem enzima, ovi problemi se prevazilaze. Enzimi su aktivni u širem pH i temperaturnom opsegu nego mikroorganizmi i jednostavniji su za primenu u tretmanu otpadnih voda. Peroksidaza je jedan od enzima koji se najčešće koristi u razgradnji boja zbog velikog redoks potencijala i efikasnog uklanjanja zagađujućih materija iz otpadnih voda. Pored rena, drugi izvori peroksidaze su krompir, kupus, banane, soja i slično^[8-10]. Izolacija i prečišćavanje enzima je dug i komplikovan proces koji povećava cenu enzima i svrstava ih u skupe reagense za industrijsku primenu. Alternativno rešenje koje smanjuje troškove dobijanja enzima je njihova izolacija iz otpadnog materijala i njihova upotreba u obliku sirovog ekstrakta, bez prečišćavanja. Mogućnost primene enzima za degradaciju različitih boja u šaržnim sistemima je intenzivno proučavana^[11-14]. Međutim, problem kod enzimskog tretmana otpadnih voda u šaržnim sistemima je njihova otežana primena

na industrijskom nivou. Da bi se prevazišao ovaj problem, a i u cilju poboljšanja efikasnosti procesa, za biorazgradnju boja se može koristiti kontinualni mikoreaktorski sistem. Mikoreaktore karakteriše velika specifična površina, bolje mešanje i prenos mase, laminarni protok, intenzifikacija procesa^[15]. Još jedna karakteristika mikoreaktora je mogućnost njihovog paralelnog povezivanja, a samim tim i uvećanje razmera procesa. Na ovaj način postiže se veliki proizvodni kapacitet bez optimizacije transfera sa laboratorijskih uslova na industrijski nivo^[15-17].

U okviru disertacije, izvršiće se optimizacija procesnih parametara biorazgradnje antrahinonske boje Acid Violet 109 peroksidazom izolovanom iz krompirovih ljuski i sojinih ljuspica. Upotrebom enzima dobijenog iz otpada u obliku sirovog ekstrakta, bez dodatnog prečišćavanja, naglašena je ekonomičnost i jednostavnost postupka. Procesni parametri biorazgradnje AV 109 boje u šaržnom sistemu na koje će se staviti akcenat su: pH, vreme kontakta, koncentracija enzima, koncentracija boje, koncentracija vodonik-peroksida i temperatura. Pored toga, ispitaće se i kinetika reakcije u cilju dobijanje kinetičkih parametara za oba enzima. Na dobijene eksperimentalne rezultate primeniće se kinetički model dvosupstratnih reakcija koje se odvijaju po ping-pong mehanizmu. Na taj način, odrediće se vrednosti Mihaelisove konstante i maksimalne brzine reakcije za oba enzima. Takođe, ispitaće se inhibitorni uticaj supstrata na enzim u šaržnom sistemu utvrđivanjem vrednosti konstanti inhibicije za boju i vodonik-peroksid. Glavna prepreka za industrijsku primenu enzimskih procesa je njihova cena i operativna stabilnost. Pored izolacije enzima iz otpadnog materijala i njegove upotrebe kao sirovog ekstrakta u šaržnom sistemu, uvođenjem kontinualnog postupka, primenom mikoreaktorskog sistema, znatno se povećava celokupna efikasnost procesa, sa ekonomskog, ekološkog i energetskog aspekta. Male dimenzije mikoreaktora omogućavaju laminarno strujanje fluida što pojednostavljuje postupak postavljanja modela procesa. Izrazito veliki kontakt međufazne površine i zapremine reaktora dovodi do poboljšani prenos mase i toplote, a smanjenje količine i broja otpadnih procesnih struja u odnosu na procese u šaržnim sistemima. Reakcija se može pratiti i kontrolisati jednostavno i precizno, što omogućava bezbedno vođenje procesa u željenom smeru. Zbog toga, postiže se veliki stepen biorazgradnje sa manjom koncentracijom reaktanata. Poboljšano mešanje, manja zapremina reaktanata i poboljšana kontrola procesa doprinosi bezbednijem procesu i čistijoj proizvodnji. Stoga, sledeći korak naučnog istraživanja biće razvoj kontinualnog procesa biorazgradnje antrahinonske boje u mikoreaktoru peroksidazom iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica.

Primenom mikoreaktorskih sistema postiže se značajan stepen poboljšanja efikasnosti procesa u odnosu na šaržne sisteme^[17]. Promena dužine mikoreaktora i brzine protoka rezultira promenom vremena zadržavanja reakcione smeše u sistemu i intenziteta mešanja. Intenzivnije mešanje doprinosi efikasnosti reakcije te se uklanjanje rastvorene boje u mikoreaktorskim sistemima odigravaju sa više uspeha. Parametri koji utiču na produktivnost i efikasnost procesa su: vreme zadržavanja, protoci reagenasa kao i dužina i prečnik mikoreaktora. Shodno tome ispitaće se uticaj različitih početnih koncentracija enzima, vodonik-peroksida i boje, vreme

zadržavanja smeše u sistemu, kao i dužina i prečnik mikroreaktorskog sistema na procenat biorazgradnje antrahinonske AV 109 boje.

Na osnovu dobijenih rezultata, uporediće se oba sistema – kontinualni i šaržni, i oba enzima – iz sojinih ljuspica i krompirove ljuske. Poređenjem, utvrdiće se koji sistem i enzim je efikasniji i poseduje bolje karakteristike. Faktori koji utiču na efikasnost konkretnog sistema su stepen obezbojavanja, najveća koncentracija boje koja se može koristiti, a da ne deluje inhibitorno na enzim, vreme kontakta i najmanja koncentracija enzima potrebna da se postigne zadovoljavajući stepen biorazgradnje.

Naučni ciljevi istraživanja u okviru ove disertacije su:

- Proučavanje enzimski katalizovanog tretmana voda obojenih antrahinonskim bojama,
- Optimizacija procesnih parametara biorazgradnje antrahinonske boje primenom peroksidaze izolovane iz otpadnog materijala: sojine ljuspice i krompirove ljuske, u šaržnom sistemu,
- Ispitivanje početne kinetike bisupstratne reakcije biorazgradnje antrahinonske boje u šaržnom sistemu katalizovane peroksidazom izolovanom iz otpadnog materijala: sojine ljuspice i krompirova ljuska.
- Utvrđivanje vrednosti kinetičkih konstanti modelovanjem eksperimentalnih podataka odgovarajućim matematičkim modelom bisupstratnih reakcija,
- Utvrđivanje mehanizma odvijanja reakcije na osnovu dobijenih kinetičkih rezultata i hemijske strukture dobijenih proizvoda,
- Optimizacija biorazgradnje antrahinonske boje peroksidazom iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica u kontinualnom sistemu,
- Proučavanje toksičnosti otpadnih voda pre i posle enzimskog tretmana.

Literatura

- [1] M. A. Hassan, A. E. Nemr, *Health and environmental impact of dyes: mini review*, American Journal of Environmental Science and Engineering, Vol. 3, 2014, pp. 64-67.
- [2] Environmental Control, Inc., Rockville, MD, Consumer Product Safety Commission, Anthraquinone Dye toxicological profiles, National technical information service, US department of commerce, Springfield, 1981.
- [3] E. Routoula, S. V. Patwardhan, *Degradation of anthraquinone dyes from effluents: a review focusing on enzymatic dye degradation with industrial potential*. Environmental Science and Technology, Vol. 54, 2020, pp. 647-664.
- [4] N. K. Amin, *Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith*. Desalination, Vol. 223, 2008, pp.152–161.
- [5] M. E. Lovato, M. L. Fiasconaro, C. A. Martín, *Degradation and toxicity depletion of RB19 anthraquinone dye in water by ozone-based technologies*, Water Science and Technology, Vol. 75, 2017, pp. 813-822.
- [6] S. Ren, J. Guo, G. Zeng, G. Sun, *Decolorization of triphenylmethane, azo, and anthraquinone dyes by a newly isolated Aeromonas hydrophila strain*. Applied Microbiology and Biotechnology, Vol. 72, 2006, pp. 1316-1321.

- [7] J. Wang, Y. Zhou, P. Li, H. Lu, R. Jin, G. Liu, *Effects of redox mediators on anaerobic degradation of phenol by Shewanella sp. XB*. Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol. 175, 2015, pp. 3162-3172.
- [8] Q. Husain, M. Husain, Y. Kulshrestha, *Remediation and treatment of organopollutants mediated by peroxidases: a review*. Critical Reviews in Biotechnology, Vol. 29, 2009, pp. 94-119.
- [9] F. Ghaemmaghami, I. Alemzadeh, S. Motamed, *Seed Coat Soybean Peroxidase: Extraction and Biocatalytic Properties Determination*. Iranian Journal of Chemical Engineering, Vol. 7, 2010, pp. 28-38.
- [10] P. S. Bharadwaj, *Extraction and purification of peroxidase enzyme from sweet potato*, Journal of Pharmaceutical Innovation, Vol. 8, 2019, pp. 418-422.
- [11] L. Ali, R. Algaithi, H. M. Habib, U. Souka, M. A. Rauf, S. S. Ashraf, *Soybean peroxidase-mediated degradation of an azo dye – a detailed mechanistic study*. BMC Biochemistry, Vol. 14, 2013.
- [12] E. M. Mandujano, G. M. Chavez, O. V. Rosas, G. Buitron, M. A. G. Zuniga, *Decolourization of Direct blue 2 by peroxidases obtained from an industrial soybean waste*. Water SA, Vol. 44, 2018, pp. 204-210.
- [13] N. Šekuljica, N. Prlainović, A. Stevanović, M. Žuža, D. Čičkarić, D. Mijin, Z. Knežević-Jugović, 2015, *Decolorization of anthraquinonic dyes from textile effluent using horseradish peroxidase: Optimization and kinetic study*, The Scientific World Journal, Vol. 2015, 2015, 371625.
- [14] B. M. Altahir, T.J. Al-Robaiey, Z. M. Abbaas, N. Mashhaldi, L.G. C. Villegas, K.E. Taylor, N. Biswas, 2020. *Soybean peroxidases catalyzed decoloration of acid azo dyes*. Journal of Health and Pollution, Vol. 10, 2020, 200307.
- [15] Šalić A, Zelić B. *Synergy of Microtechnology and Biotechnology: Microreactors as an Effective Tool for Biotransformation Processes*, Food Technology and Biotechnology, Vol. 56, 2018, pp. 464-479.
- [16] Costa, R.A.; Cunha, A.S.; Peres, J.C.G.; Azzoni, A.R.; Laurenti, E.; Vianna, A.S., Jr. *Enzymatic Degradation of 2,4,6-Trichlorophenol in a Microreactor using Soybean Peroxidase*. Symmetry, Vol.12, 2020, 1129.
- [17] A. Dajić, M. Mihajlović, M., S. Mandić-Rajcević, D. Mijin, M. Jovanović, J. Jovanović, *Improvement of the Textile Industry Wastewater Decolorization Process Using Capillary Microreactor Technology*. International Journal of Environmental Research, Vol. 13, 2019, pp. 213–222.

3. Polazne hipoteze

Prethodna proučavanja enzimskih tretmana otpadnih voda pokazala su da enzimi, kao biokatalizatori, uspešno razgrađuju antrahinonske boje što je ujedno ekološki prihvatljivije rešenje u poređenju sa fizičkim/hemijskim metodama. Pretpostavka je da će stepen biorazgradnje antrahinonske boje peroksidazom, izolovanom iz otpadnog materijala, biti poboljšana, i dovesti do

ekonomski isplativijeg procesa. Peroksidaza je specifičan enzim za reakciju, koja oksiduje veliki broj organskih jedinjenja pod blagim reakcionim uslovima (pH, temperatura), i transformiše ih u manje toksična i/ili netoksična jedinjenja. Izolacija peroksidaze iz otpadnog materijala kao što su krompirove ljuske i sojine ljuspice doprinosi smanjenju troškova tretmana. Takođe njena jednostavna ekstrakcija i direktna primena u obliku sirovog ekstrakta olakšava i skraćuje vreme ukupnog procesa. Dodatno poboljšanje biorazgradnje se može postići primenom kontinualnog sistema. Pomoću mikroreaktora i njihovih svojstava, kao što su bolje mešanje, bolji prenos mase i toplote, laminarni protok i velika specifična površina, očekuje se povećanje efikasnosti biorazgradnje. Navedene mikroreaktorske karakteristike su od velikog značaja jer se može postići efikasniji proces sa minimalnom koncentracijom biokatalizatora. Kontinualnim sistemom je omogućena automatska kontrola protoka, a time i lako podešavanje molskog odnosa reaktanata, što će dodatno doprineti ukupnim tehnološkim performansama procesa biorazgradnje organskih zagađujućih materija. Nakon optimizacije uslova biorazgradnje u mikroreaktorskom sistemu, prenos te tehnologije na veće razmere ne zahteva dodatna ispitivanja, što znači da poseduje potencijal za industrijsku primenu.

4. Naučne metode istraživanja

Aktivnost peroksidaze iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica određivaće se spektrofotometrijski sa pirogalolom kao standardnim supstratom i vodonik-peroksidom. Step en biorazgradnje antrahinonske boje u šaržnom i kontinualnom sistemu pratiće se spektrofotometrijski preko apsorpcionog maksimuma boje.

Toksičnost rastvora ispitivaće se pre i nakon biorazgradnje preko hemijske potrošnje kiseonika (HPK) pomoću HPK analizatora, a struktura intermedijera i proizvodi degradacije utvrdiće se HPLC-MS i GC-MS analizom.

5. Očekivani naučni doprinos

Realizacijom predviđenih istraživanja očekuje se sledeći naučni doprinos predložene doktorske disertacije:

- Ekološki prihvatljivo i ekonomski opravdano rešenje biorazgradnje antrahinonskih boja primenom peroksidaza iz otpadnog materijala,
- Utvrđivanje optimalnih procesnih parametara za biorazgradnju antrahinonske boje katalizovanu peroksidazom izolovanom iz otpadnog materijala u šaržnom sistemu,
- Potpuno definisanje kontinualnog sistema biorazgradnje antrahinonske boje u mikroreaktoru u pogledu procesnih parametara: koncentracije boje, koncentracije enzima, koncentracije vodonik-peroksida, pH, temperature, vremena zadržavanja, protoka, prečnika i dužine mikroreaktora,
- Razumevanje kinetike enzimske reakcije i utvrđivanje mehanizma reakcije na osnovu hemijske strukture intermedijera i krajnjih proizvoda reakcije biorazgradnje antrahinonske boje peroksidazom iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica u cilju primene u tretmanu otpadnih voda na industrijskom nivou,

- Povećanje ekološke prihvatljivosti otpadnih voda nakon tretmana peroksidazom iz otpadnog materijala kroz smanjenje toksičnosti.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Plan istraživanja u okviru ove doktorske disertacije obuhvata ispitivanje mogućnosti i optimizacije uslova biorazgradnje antrahinonske boje peroksidazom izolovanom iz otpadnog materijala u šaržnom i kontinualnom sistemu. Peroksidaza će se izolovati iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica. Nakon ekstrakcije i određivanja aktivnosti peroksidaze, ovaj enzim će se primeniti u šaržnom sistemu, gde će se izvršiti optimizacija procesnih parametara. Praćenje obezbojavanja izvršiće se pomoću spektrofotometra. Zatim, ispitivaće se procesni parametri od značaja u kontinualnom sistemu. Na kraju, utvrdiće se hemijska struktura intermedijera i krajnjih proizvoda biorazgradnje.

U skladu sa navedenim planom, ova doktorska disertacija će se sastojati iz 6 poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak* i *Literatura*.

1. U *Uvodu* biće definisan predmet rada, aktuelnost problematike u svetu, značaj istraživanja i doprinos
2. *Teorijskim delom* će biti obuhvaćen pregled literature relevantnih istraživanja iz pomenute oblasti:
 - Postojeći tretmani otpadnih voda, principi, prednosti i nedostaci
 - Definicija, struktura, klasifikacija i svojstva sintetičkih boja
 - Klasifikacija peroksidaza, struktura i mehanizam dejstva
 - Komercijalna primena peroksidaze
 - Kinetika enzimskih katalizovanih bisupstratnih reakcija
 - Mikroreaktori, pojam, tipovi, primena, prednosti, nedostaci
3. *Eksperimentalni deo* će sadržati:
 - Materijale korišćene za biorazgradnju antrahinonske boje
 - Opremu korišćenu za ekperimentalna istraživanja
 - Opis metoda za izvođenje eksperimenata
 - Metodu za određivanje aktivnosti peroksidaze
 - Postupak optimizacije uslova biorazgradnje antrahinonske boje peroksidazom izolovanom iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica u šaržnom sistemu: optimalna pH vrednost, vreme kontakta, koncentracija enzima, koncentracija boje, koncentracija vodonik-peroksida, temperatura
 - Postupak određivanja kinetičkih parametara reakcije katalizovane peroksidazom iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica
 - Opis postupka optimizacije biorazgradnje antrahinonske boje peroksidazom izolovanom iz krompirove ljuske i sojinih ljuspica u kontinualnim sistemu: vreme zadržavanja, protok enzima, vodonik-peroksida i boje, dužina i prečnik mikroreaktora
 - Postupak određivanja toksičnosti rastvora pre i nakon enzimskog tretmana (HPK)
 - Postupak određivanja intermedijera i krajnjih proizvoda degradacije.

4. U okviru *Rezultata i diskusije* biće predstavljeni i diskutovani rezultati istraživanja. Obuhvatiće detaljan prikaz i analizu rezultata ispitivanja uticaja procesnih parametara na efikasnost biorazgradnje u šaržnom i kontinualnom sistemu. Diskutovaće se koji sistem i enzim su efikasniji i u kom pogledu. Na osnovu dobijenih kinetičkih parametara uporediće se oba enzima različitog porekla i diskutovaće se afinitet enzima prema boji kao i inhibitorски uticaj supstrata na enzim. HPLC-MS i GC-MS analiza pomoćiće u razumevanju mehanizma biorazgradnje antrahinonske boje.
5. U poglavlju *Zaključak* biće prikazani najvažniji zaključci uz osvrt na njihovu inovativnost, važnost i potencijalnu industrijsku primenu. Takođe, biće razmotren budući plan istraživanja u cilju unapređenja procesa
6. *Literatura* će sadržati listu navoda citiranih u disertaciji kao i radove koji su proistekli istraživanjem u okviru ove doktorske disertacije.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih podataka o dosadašnjem radu i postignutim rezultatima, Komisija smatra da kandidat Milica Svetozarević, master inženjer tehnologije, ispunjava sve uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije. Takođe, Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije pod nazivom „**Biorazgradnja antrahinonske boje peroksidazom izolovanom iz otpadnog materijala u šaržnom i kontinualnom sistemu**” naučno zasnovana i predlaže Nastavno–naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da je prihvati. Predložena tema pripada naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, a užoj oblasti Biohemijско inženjerstvo i biotehnologija, za koju je Tehnološko–metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Za mentore se predlažu dr Dušan Mijin, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu i dr Nataša Šekuljica, naučni saradnik, Inovacioni Centar Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.

Beograd, 25. 01. 2021.

ČLANOVI KOMISIJE

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

Dr Nataša Šekuljica, naučni saradnik, Inovacioni Centar
Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu

Dr Zorica Knežević-Jugović, redovni profesor TMF-a,
Univerziteta u Beogradu

Dr Zoran Popovski, redovni profesor Poljoprivrednog
fakulteta, Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“, Skoplje

Dr Ana Dajić, naučni saradnik Inovacioni Centar
Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu