

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/192
(Број захтева)

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

18.04. 2016.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Примена агроиндустријског отпада за издвајање катјонских боја и биолошких молекула из воденог раствора процесом биосорпције“.
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

АНЕТА (Вилко) БУНТИЋ, дипл.биолог заштите животне средине

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: Универзитет у Београду, Биолошки факултет

3. Година дипломирања: 2010.

Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2011/2012. године.

6. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /

Година одбране магистарске тезе: /

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће,
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 14.04.2016. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

Додатак уз образас 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Анету Бунтић, дипл. биолог

Име и презиме ментора: Сузана Димитријевић-Бранковић

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Pavlović M., Buntić A., Mihajlovski K., Šiler-Marinković S., Antonović D., Radovanović Ž., **Dimitrijević-Branković S.**: Rapid Cationic Dye Adsorption On Polyphenol-Extracted Coffee Grounds—A Response Surface Methodology Approach. *Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers*, 45 (4) **2014**, pp. 1691-1699. (ISSN 1876-1070, IF 3.000).
2. Marija Ranic, Marina Nikolic, Marija Pavlovic, AnetaBuntic, Slavica Siler-Marinkovic and **Suzana Dimitrijevic-Brankovic**, Optimization of microwave-assisted extraction of natural antioxidants from spent espresso coffee grounds by response surface methodology, *Journal of Cleaner Production*, 80, **2014**, pp. 69-79 (ISSN 0959-6526, IF 3.398)
3. Lazić, Va, Radoičić, M., Šaponjić, Z., Radetić, T., Vodnik, V., Nikolić, S., **Dimitrijević, S.**, Radetić, M., Negative influence of Ag and TiO₂ nanoparticles on biodegradation of cotton fabrics, *Cellulose*, 22 (2) **2015**, pp. 1365-1378 (ISSN 0969-0239, IF 3.573)
4. Mihajlovski K., Radovanović N., Miljković M., Šiler-Marinković S., Rajilić-Stojanović M., **Dimitrijević-Branković S.**: β -amylase production using packaging-industry wastewater by a novel strain *Paenibacillus chitinolyticus* CKS 1, *RSC Adv.*, 5 (110) **2015**, pp. 90895-90903 (ISSN 2046-2069, IF 3.840)
- 5 Buntić A., Pavlović M., Mihajlovski K., Randjelović M., Rajić N., Antonović D., Šiler-Marinković S., **Dimitrijević-Branković S.**: Removal of a Cationic Dye from Aqueous Solution by Microwave Activated Clinoptilolite—Response Surface Methodology Approach, *Water, Air and Soil Pollution*, 225, **2014**, pp. 1816-1828, ISSN: 0049-6979, IF (2014) = 1,554.

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

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничкотехнолошких, 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: 18.03.2016

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 14.04.2016. 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 **АНЕТЕ БУНТИЋ**, дипл. биолога, под називом: **„Примена агроиндустријског отпада за издвајање катјонских боја и биолошких молекула из воденог раствора процесом биосорпције“**.

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

За ментора се одређује др Сузана Димитријевић Бранковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

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

Predmet: Podobnost teme i kandidata **Anete Buntić, diplomirani biolog zaštita životne sredine**, za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta br. 35/20 od 28.01.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata **Anete (Vilko) Buntić, diplomirani biolog zaštita životne sredine**, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme pod nazivom:

Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

REFERAT

1. PODACI O KANDIDATU

1.1. Biografski podaci

Kandidat **Aneta (Vilko) Buntić**, diplomirani biolog zaštita životne sredine, je rođena 27. marta 1985. godine u Pirotu, Republika Srbija. Osnovnu školu „Sveti Sava” u Pirotu je završila 2000. godine kao nosilac Vukove diplome, nakon čega je upisala gimnaziju matematičkog smera „Gimnazija Pirot” u Pirotu u kojoj je maturirala 2004. godine.

Školske 2004/2005. godine upisala se na Biološki fakultet, Univerziteta u Beogradu, na studijski program: Ekologija i zaštita životne sredine. Diplomirala je 4. juna 2010. godine, sa prosečnom ocenom 8.91, odbranom Diplomskog rada pod nazivom: „Fauna zemljišta: krpelji (Arthropoda, Arahnida, Acari)”, pod rukovodstvom prof. Dr Slobodana Makarova.

Oktobra 2011. godine upisala je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, u Beogradu, na odseku za Inžinjerstvo zaštita životne sredine.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Ispite na doktorskim studijama položila je sa prosečnom ocenom 9.1, a 10. oktobra 2013. godine odbranila je sa ocenom 10 i Završni ispit pod nazivom: „Iskorišćenje nusproizvoda agroindustrije za dobijanje funkcionalno aktivnih peptida” pred komisijom u sastavu: Dr Suzana Dimitrijević-Branković, Dr Slavica Šiler-Marinković, Dr Dušan Antonović.

Spisak predmeta položenih na doktorskim studijama:

Naziv predmeta	ESPB	Ocena
Hemijska kinetika	5	9
Matematička obrada eksperimentalnih podataka	5	10
Viši kurs termodinamike	5	9
Industrijska ekologija	5	9
Ekonomija životne sredine i održivi razvoj	4	9
Sanitarna mikrobiologija	4	10
Strukturna analiza organskih molekula	6	10
Tečna hromatografija - masena spektrometrija	4	9
Odabrana poglavlja instrumentalne analize	7	8
Upravljanje čvrstim i opasnim otpadom	5	9
Engleski jezik	/	10
Završni ispit	30	10
Zbir ESPB 80		Prosečna ocena 9,27

U periodu od novembra 2010. – aprila 2011. godine učestvovala je u projektu pod nazivom „Dijalog EU i Srbije o primenjenoj ekologiji” pod rukovodstvom UNECO-a (Unija ekologa Srbije) i ERTC-a (Ekoremedijacijski tehnološki centar, Slovenija).

U periodu od februara 2011. – maja 2011. godine učestvovala u AIESEC-ovom projektu „Ekocikliram”, koji je realizovan sa ciljem edukacije učenika nižih razreda osnovnih škola na temu ekologije i reciklaže.

Od 27. marta 2012. godine angažovana je kao Stipendista Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, pri naučnoistraživačkoj organizaciji Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, na projektu: Primena biotehnoloških metoda u održivom iskorišćenju nus-proizvoda agroindustrije (TR 31035), pod mentorstvom i rukovodiocem projekta prof. Dr Suzane Dimitrijević-Branković.

Spisak objavljenih naučnih radova i saopštenja

Radovi u vrhskom međunarodnom časopisu (M21):

1. Pavlović M. D., **Bunčić A. V.**, Šiler-Marinković S. S., Dimitrijević-Branković S. I. (2013): Ethanol Influenced Fast Microwave-Assisted Extraction for Natural Antioxidants Obtaining from Spent Filter Coffee, ***Separation and Purification Technology***, 118, 503–510, ISSN: 1383-5866, IF (2013) = 3,065.
2. Pavlović M. D., **Bunčić A. V.**, Mihajlovski K. R., Šiler-Marinković S. S., Antonović D. G., Radovanović Ž., Dimitrijević-Branković S. I. (2014): Rapid

cationic dye adsorption on polyphenol-extracted coffee grounds - A response surface methodology approach, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45:4, 1691-1699, ISSN: 1876-1070, IF (2014) = 3,000.

3. Ranić M., Nikolić M., Pavlović M., **Bunčić A.**, Šiler-Marinković S., Dimitrijević-Branković S. (2014): Optimization of microwave-assisted extraction of natural antioxidants from spent espresso coffee grounds by response surface methodology, *Journal of Cleaner Production*, 80, 69-79, ISSN: 0959-6526, IF (2014) = 3,844.

Radovi u istaknutom međunarodnom časopisu (M22):

1. Pavlović M. D., **Bunčić A. V.**, Šiler-Marinković S. S., Antonović D. G., Dimitrijević-Branković S. I. (2015): Recovery of (–)-epigallocatechingallate (EGCG) from aqueous solution by selective adsorption onto spent coffee grounds, *European Food Research and Technology*, 241, 399-412, ISSN: 1438-2377, IF (2014) = 1,559.
2. **Bunčić A.**, Pavlović M., Mihajlovski K., Randjelović M., Rajić N., Antonović D., Šiler-Marinković S., Dimitrijević-Branković S. (2014): Removal of a Cationic Dye from Aqueous Solution by Microwave Activated Clinoptilolite—Response Surface Methodology Approach, *Water, Air and Soil Pollution*, 225, 1816-1828, ISSN: 0049-6979, IF (2014) = 1,554.

Rad u međunarodnom časopisu (M23):

1. **Bunčić A. V.**, Pavlović M. D., Šiler-Marinković S. S., Dimitrijević-Branković S. I. (2016): Biological treatment of colored wastewater by *Streptomyces fulvissimus* CKS7, *Water Science and Technology*, DOI: 10.2166/wst.2016.078, ISSN: 1606-9749, IF (2014) = 1.106.

Saopštenja sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

1. **Bunčić A.V.**, Pavlović M.D., Šiler-Marinković S.S., Dimitrijević Branković S.I.: Biological Treatment of Colored Wastewater by *Streptomyces fulvissimus* CKS 7. 7TH Eastern European Young Water Professionals Conference, Beograd, Srbija, 17-19 Septembar, 2015, The International Water Association (IWA), 2015, 429-435.
2. **Bunčić A. V.**, Pavlović M. D., Šiler-Marinković S. S., Miljković M. G., Davidović S. Z., Mihajlovski K. R., Dimitrijević Branković S. I.: Screening for factors affecting cellulose adsorption from solutions by modified coffee residues. International conference on civil, biological and environmental engineering (CBEE), Istanbul, Turska, 27-28 maj, 2014, International Institute of Chemical, Biological and Environmental Engineering, Kuala Lumpur, Malezija, 2014, 54-59, ISBN: 978-93-82242-94-9.

3. Pavlović M. D., **Buntić A. V.**, Šiler-Marinković S. S., Antonović D. G., Milutinović M. D., Radovanović N. R., Dimitrijević Branković S. I.: Spent coffee grounds as adsorbents for pesticide paraquat removal from its aqueous solutions. International conference on civil, biological and environmental engineering (CBEE), Istanbul, Turska, 27-28 maj, 2014, International Institute of Chemical, Biological and Environmental Engineering, Kuala Lumpur, Malezija, 2014, 60-65, ISBN: 978-93-82242-94-9.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34)

1. **Buntić A. V.**, Pavlović M. D., Šiler-Marinković S. S., Antonović D. G., Dimitrijević-Branković S. I.: Adsorption of green tea polyphenols onto spent coffee grounds, 8TH International onference of the Chemical Societies of the South-East European Countries - ICOSECS 8, Belgrade, Serbia, 27-29 June 2013, p. 265. ISBN 978-86-7132-053-5.

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

1. Dimitrijević Branković S., Pavlović M., **Buntić A.**, Randelović M., Mihajlovski K., Rajić N., Antonović D., Šiler-Marinković S.: Determination of the natural zeolite capacity for the adsorptive removal of crystal violet dye from aqueous solution using response surface method, 50. Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Beograd, Srbija, 14-15. juni 2012, Serbian Chemical Society, 132-136, ISBN 978-86-7132-049-8.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i postignutih rezultata tokom doktorskih studija i u okviru naučnoistraživačkog rada na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Primena biotehnoloških metoda u održivom iskorišćenju nusproizvoda agroindustrije (TR 31035), kandidat Aneta Buntić je pokazala izrazitu sklonost i sposobnost za bavljenje naučnoistraživačkim radom. Takođe, iz same predložene teme disertacije, do sada je objavila kao prvi autor, jedan rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22) i jedan rad u međunarodnom časopisu (M23), pet saopštenja na međunarodnim i domaćim skupovima (3 saopštenja sa međunarodnih skupova štampanih u celini (M33), jedno saopštenje sa međunarodnih skupova štampano u izvodu (M34) i jedno saopštenje sa skupova nacionalnog značaja štampanog u celini (M63)), što ukazuje na njen veoma kvalitetan rad, pa tako ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet ove doktorske disertacije je valorizacija nus-proizvoda agroindustrije: otpadne šećerne repe (repini rezanci), koja zaostaje nakon proizvodnje šećera, i otpadne kafe, koja zaostaje nakon pripreme napitaka u industrijskim uslovima. Cilj je da se repini rezanci upotrebe kao adsorbent za toksične katjonske boje iz otpadnih voda industrija korisnika boja, radi njihovog pečišćavanja, a otpadna kafa kao nosač za biološke molekule (enzime iz grupe celulaza) iz vodenih rastvora u cilju njihove dalje profitabilne primene u industrijskom sektoru.

U agroindustriji, na godišnjem nivou, nastaje velika količina različitih nus-prizvoda biljnog ili životinskog porekla, više od 320 milijardi tona. Otpadni materijal iz ovih industrija je okarakterisan kao visoko specifičan otpad i korišćenje i odlaganje ovog specifičnog otpada je teško. Smatraju se veoma zagađujućim i eko-toksičnim zbog sadržaja teško razgradivih organskih materija. Ekonomski gledano, ovi otpadni materijali imaju i nisku cenu koštanja. Efektivnim iskorišćenjem nus-proizvoda može se postići ostvarivanje višestruke dobiti. U tom smislu, pristupa se valorizaciji otpada i njegovoj modifikaciji u vredne materijale, po preporuci održivog industrijskog razvoja. Agroindustrijski nus-proizvodi su najčešće sirovine koje su razmatrane i proučavane za razvoj jeftinih alternativnih adsorbenata koji bi zamenili skup komercijalni aktivni ugalj u njegovoj primeni. Ovaj tip otpada je obnovljiv, obično dostupan u velikim količinama i potencijalno jeftiniji od drugih materijala za proizvodnju različitih adsorbenata [1-5].

Ostaci nakon obrade šećerne repe i ostaci od kafa se mogu koristiti kao adsorbenti, o čemu postoje brojni dokazi u literaturi [6-12]. Mogu da se koriste u nativnom stanju, što je ekonomski isplativije, ali je kapacitet adsorbenta relativno mali. Da bi se povećala adsorptivnost, ovi otpadni materijali se aktiviraju termički ili korišćenjem oksidacionih sredstava. Novija tehnika aktiviranja je korišćenjem mikrotalasa [13-15]. U okviru ovih istraživanja, ispitaće se i različite tehnike aktivacije otpadnih repinih rezanaca i otpadne kafe. Otpadni repini rezanci kao adsorbent mogu naći svoju primenu u brojnim procesima, pre svega u prečišćavanju otpadnih voda, posebno onih nastalih u tekstilnoj industriji ili drugih industrija korisnika boja.

Pojava obojenih otpadnih voda je posledica serije procesa, kako u proizvodnji samih boja, tako i u industrijama korisnika boja. Iz dana u dan, iz časa u čas, tip boja i njihova količina u otpadnim vodama varira. Zbog teškog predviđanja njihove prosečne koncentracije i teške razgradivosti, boje su jedan od zagađivača koji se najteže uklanja iz otpadnih voda. Većina sadrže aromatične prstenove, što ih čini mutagenim i kancerogenim. Opšta podela postupaka, za uklanjanje boja iz otpadnih voda, je izvršena na tri kategorije: fizičke, hemijske i biološke metode. Ne postoji jedinstven i adekvatan proces sposoban da izvrši kompletnu obradu obojenih otpadnih voda u današnje vreme. S tim u vezi, u praksi se daje prednost primeni tretmana sa integrisanim procesima. Dakle, koriste se kombinacije različitih fizičkih, hemijskih i bioloških procesa, kako bi se postigli željeni rezultati kvaliteta obrade vode na što ekonomičniji način. U tom smislu, kombinovanje procesa adsorpcije i biorazgradnje za uklanjanje boja iz vodenih rastvora predstavlja primamljivu alternativu [2, 4, 16-21].

Na otpadnim repinim rezancima sa manje ili više uspeha mogu se adsorbovati boje, teški metali, pesticidi, fenoli, i drugi zagađivači i na taj način prečistiti industrijske otpadne vode. Zbog toga je potrebno definisati karakteristike ovog otpadnog materijala kao adsorbenata i odrediti kinetiku adsorpcije katjonskih boja, korišćenjem model supstance i uporediti uspešnost procesa sa kontrolom, korišćenjem neorganskog adsorbeta za istu model supstancu. Za kompletnu obradu otpadnih voda, nakon adsorpcije boja, potrebno je uključiti bar još jedan postupak obrade, koji u ovom slučaju podrazumeva korišćenje mikroorganizama sposobnih za razgradnju ove vrste zagađivača. Dakle, potrebno je definisati uslove procesa u kome će mikrobiološke kulture biti sposobne da transformišu molekule boje u neškodljive razgradne proizvode.

Otpadna kafa zaostala iz konzumiranja napitaka je još jedan nus-proizvod agroindutrije koji se može valorizovati na različite načine. Moguća iskorišćenja obuhvataju procese ekstrakcije zaostalih biološki aktivnih polifenola (kao antioksidansi) kao i procese pripreme aktivnog uglja za adsorpciju različitih tipova zagađivača. Pored toga, otvaraju se i nove mogućnosti primene otpadne kafe kao adsorbenata za imobilizaciju različitih bioloških molekula, kao što su enzimi [22]. S obzirom na hemijski sastav otpadne kafe, u kojoj je pretežno zastupljena hemiceluloza i celuloza, enzimi za koje bi kafa bila potencijalno pogodan nosač su iz grupe celulaza. Radi povećanja adsorptivnosti potrebno je modifikovati nosač korišćenjem različitih vrsta aktivatora (oksidacionih sredstava) i definisati promene na njegovoj površini. Cilj je povećati stabilnost i produktivnost dobijenog preparata – celulaze imobilisane na otpadnoj kafi, u poređenju sa nativnim enzimom, što otvara širok spektar mogućnosti njegove industrijske primene. Takođe, ovakav pristup doprinosi još jednoj primeni, koja se odnosi na direktno izdvajanje i prečišćavanje enzima iz složenih medijuma u kojima su produkovani. S tim u vezi, predmet istraživanja u ovoj tezi biće ispitivanje kinetike adsorpcije model supstance na nosač poreklom od otpadne kafe i praćenje promene njene stabilnosti na nosaču.

Literatura:

1. Gupta S., Babu B. V. (2009): Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies, ***Chemical Engineering Journal***, 150, 352-365.
2. Crini G. (2006): Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review, ***Bioresource Technology***, 97, 1061-1085.
3. Franca A. S., Oliveira L. S., Ferreira M. E. (2009): Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds, ***Desalination***, 249, 267-272.
4. Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A. (2010): Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review, ***Journal of Hazardous Materials***, 177, 70-80.
5. Murthy P. S., Madhava Naidu M. (2012): Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review, ***Resources, Conservation and Recycling***, 66, 45-58.

6. Esquivel P., Jiménez V. M. (2012): Functional properties of coffee and coffee by-products, ***Food Research International***, 46, 488-495.
7. Safarik I., Horska K., Svobodova B., Safarikova M. (2012): Magnetically modified spent coffee grounds for dyes removal, ***European Food Research and Technology***, 234, 345-350.
8. Azouaou N., Sadaoui Z., Djaafri A., Mokaddem H. (2010): Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium, kinetics and thermodynamics, ***Journal of Hazardous Materials***, 184, 126-134.
9. Aksu Z., Işoğlu İ. A. (2005): Removal of copper(II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp, ***Process Biochemistry***, 40, 3031-3044.
10. Reddad Z., Gerente C., Andres Y., Le Cloirec P. (2002): Adsorption of several metal ions onto a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies, ***Environmental science & technology***, 36, 2067-2073.
11. Pehlivan E., Yanık B. H., Ahmetli G., Pehlivan M. (2008): Equilibrium isotherm studies for the uptake of cadmium and lead ions onto sugar beet pulp, ***Bioresource Technology***, 99, 3520-3527.
12. Vučurović V. M., Razmovski R. N., Tekić M. N. (2012): Methylene blue (cationic dye) adsorption onto sugar beet pulp: equilibrium isotherm and kinetic studies, ***Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers***, 43, 108-111.
13. Ching S. L., Yusoff M. S., Aziz H. A., Umar M. (2011): Influence of impregnation ratio on coffee ground activated carbon as landfill leachate adsorbent for removal of total iron and orthophosphate, ***Desalination***, 279, 225-234.
14. Hirata M., Kawasaki N., Nakamura T., Matsumoto K., Kabayama M., Tamura T., Tanada S. (2002): Adsorption of dyes onto carbonaceous materials produced from coffee grounds by microwave treatment, ***Journal of Colloid and Interface Science***, 254, 17-22.
15. Oliveira L. C., Pereira E., Guimaraes I. R., Vallone A., Pereira M., Mesquita J. P., Sapag K. (2009): Preparation of activated carbons from coffee husks utilizing FeCl₃ and ZnCl₂ as activating agents, ***Journal of Hazardous Materials***, 165, 87-94.
16. Doble M., Kumar A., *Biotreatment of Industrial Effluents* 2005, Burlington, MA, USA: Butterworth-Heinemann.
17. Sohrabi M. R., Ghavami M. (2008): Photocatalytic degradation of Direct Red 23 dye using UV/TiO₂: Effect of operational parameters, ***Journal of Hazardous Materials***, 153, 1235-1239.
18. Mittal A., Mittal J., Malviya A., Kaur D., Gupta V. (2010): Adsorption of hazardous dye crystal violet from wastewater by waste materials, ***Journal of Colloid and Interface Science***, 343, 463-473.
19. Evangelista-Barreto N. S., Albuquerque C. D., Vieira R. H. S., Campos-Takaki G. M. (2009): Cometary decolorization of the reactive azo dye orange II by *Geobacillus stearothermophilus* UCP 986, ***Textile Research Journal***, 79, 1266-1273.

20. Yagub M. T., Sen T. K., Afroze S., Ang H. M. (2014): Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 209, 172-184.
21. Ali H. (2010): Biodegradation of synthetic dyes—a review, *Water, Air, & Soil Pollution*, 213, 251-273.
22. Chen K.-I., Lo Y.-C., Liu C.-W., Yu R.-C., Chou C.-C., Cheng K.-C. (2013): Enrichment of two isoflavone aglycones in black soymilk by using spent coffee grounds as an immobiliser for β -glucosidase, *Food Chemistry*, 139, 79-85.

3. POLAZNE HIPOTEZE:

Prva polazna hipoteza je da se otpadni repini rezanci, zaostali nakon proizvodnje šećera, mogu iskoristiti kao adsorbent za izdvajanje boja iz otpadnih voda. Za to je potrebno definisati njegov adsorptivni potencijal i karakteristike površine i testirati adsorpciju neke od boja, koja se uobičajeno može naći u otpadnim vodama industrija korisnika boje. Ukoliko nativni adsorbent od otpadne šećerne repe ne pokaže dovoljno dobre sposobnosti adsorpcije, potrebno je razraditi metode aktivacije adsorbenta, nekom od metoda transformacije. U literaturi postoje podaci o njihovoj primeni za adsorpciju boja: metilensko plavo i gemazol tirkizno plava-G, kao i jona: Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, i drugih teških metala. Takođe, potrebno je optimizovati proces adsorpcije, ispitivanjem uticaja različitih parametara (količine adsorbenta, početna koncentracija adsorbata, početna pH rastvora adsorbata, dužine trajanja procesa adsorpcije i sl.).

Druga polazna hipoteza je da aktivni ugalj poreklom od repinih rezanaca poseduje kapacitet vezivanja boje koji je srazmeran adsorbentu neorganskog porekla, kao što je prirodan zeolit. S tim u vezi, ispitaće se kapacitet vezivanja boje na ova dva tipa adsorbenta pod identičnim procesnim uslovima i uporediti njihova efikasnost.

Treća polazna hipoteza je da se boja koja je zaostala u vodenom rastvoru nakon adsorpcije može potpuno ukloniti dodatnom obradom i bezbedno otpustiti u vodotokove. Za to je potrebno pronaći mikrobiološke kulture koje poseduju biorazgradni potencijal i definisati optimalne procesne parametre, koji uključuju temperaturu reakcione smeše, vreme trajanja procesa, dinamiku odigravanja procesa, koncentraciju polaznog medijuma sa bojom, i sl. Takođe, potrebno je utvrditi i toksičnost nastalih razgradnih proizvoda sa ciljem da se proceni njihov uticaj na životnu sredinu.

Četvrta polazna hipoteza je da se otpadna kafa može iskoristiti kao nosač za biološke molekule, kao što su enzimi. Prethodno je u literaturi zabeležena primena otpadne kafe kao adsorbenta za boje, jone teških metala, polifenole, pesticide i druge hemijske vrste iz vodenih rastvora. Izdvajanje i koncentrisanje enzima na otpadnoj kafi predstavlja jeftinu alternativu u odnosu na upotrebu skupih, komercijalnih adsorbenata. Pretežno celulozni sastav otpadne kafe čini ovaj materijal potencijalno pogodnim nosačem za enzime iz grupe celulaza. U cilju povećanja efikasnosti adsorpcije, a zatim i produktivnosti i stabilnosti

imobilisanog enzima, potrebno je prilagoditi nosač tretiranjem sa različitim oksidacionim sredstvima. Takođe, treba ispitati da li je adekvatno pripremljen nosač podjednako efikasan kako za imobilizaciju komercijalne celulaze, tako i celulaze produkovane iz prirodnog izolata zemljišta. Na taj način, omogućilo bi se direktno izdvajanje i prečišćavanje enzima iz složenih medijuma u kojima su produkovani.

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanja u ovom radu se mogu podeliti na dva dela.

U prvom delu rada će se ispitati primena kombinovanja procesa adsorpcije i biorazgradnje za potrebe uklanjanja boja iz vodenih rastvora. S tim u vezi, ispitaće se adsorpcioni potencijal repinih rezanaca i zeolite, u njihovom nativnom stanju i nakon mikrotalasne aktivacije. Određivaće se sastav površinskih funkcionalnih grupa FTIR tehnikom i površinskog naelektrisanja pomoću tačke pH_{pzc} . Na ovako definisan adsorbent će se u šaržnom sistemu adsorbovati katjonska boja- kristal violet. Pratiće se tok reakcija i postizanje ravnoteže, adsorpciona kinetika, odrediti adsorpcione izoterme i pretpostaviti mehanizam adsorpcije. Za potrebe biorazgradnje, koristiće se vrste iz roda *Streptomyces*, gde će se ispitati potencijal njihove razgradnje molekula kristal violet boje u cilju njegove konačne mineralizacije. Odrediće se kvalitativnim metodama enzimski profil korišćenih kultura pomoću API-ZIM testa, testa za peroksidaze, lignin-peroksidaze i lakaze. Utvrdiće se uslovi maksimalne biorazgradnje kristal violet boje izraženih preko procenata uklanjanja boje iz vodenog rastvora, kao i fitotoksičnost nastalih razgradnih proizvoda, kao i pretpostaviti mehanizam biorazgradnje.

U drugom delu rada analiziraće se otpadna kafa, kao adsorbent, odnosno nosač, za izdvajanje bioloških molekula - enzima celulaze (komercijalno dostupne iz *Trichoderma reesei* i celulaze iz prirodnog izolata *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1). Modifikacija nosača će se postići korišćenjem jakih oksidacionih sredstava, i to: glutraldehida, hlor-dioksida i vodonik-peroksida. Određivaće se sastav površinskih funkcionalnih grupa FTIR tehnikom i površinskog naelektrisanja pomoću tačke pH_{pzc} . Definišaće se prinos i efikasnost imobilizacije enzima na kafi i njegova stabilnost, kao i kinetičke konstante procesa adsorpcije.

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Naučni doprinos ove doktorske disertacije ogleda se u:

- Utvrđivanju adsorpcionih karakteristika nativnih i aktiviranih repinih rezanca i zeolita,
- Optimizaciji procesa adsorpcije boje kristal violet iz vodenih rastvora na adsorbetima poreklom od otpadnih repinih rezanca i zeolita,
- Utvrđivanju efikasne primene integrisanih tretmana adsorpcije i biorazgradnje u cilju potpune mineralizacije boje kristal violet,

- Utvrđivanju karakteristika native i modifikovane otpadne kafe za imobilizaciju enzima celulaze,
- Utvrđivanju uticaja količine nosača, temperature, vremena trajanja procesa i početne pH vrednosti na efikasnost izdvajanja celulaze iz vodenih rastvora.

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Plan istraživanja će obuhvatiti rad na definisanju karakteristika otpadnih repinih rezanaca i prirodnog zeolita kao adsorbentata model supstance - boje kristal violet, i otpadne kafe kao adsorbentata - nosača za biološke molekule - enzime celulaze, kao i definisanje kinetike adsorpcije korišćenih model supstanci. Takođe, definišće se optimalni uslovi biorazgradnje boje kristal violet, a zatim i pretpostaviti mogući mehanizam odigravanja procesa. Na kraju, ispitiće se i fitotoksičnost nastalih razgradnih proizvoda.

Očekuje se da će doktorska disertacija imati sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Zaključak, Literatura.

U poglavlju Uvod biće definisani glavni ciljevi disertacije, predmet istraživanja i doprinos disertacije.

Teorijski deo doktorske disertacije obuhvatiće analizu prethodnih istraživanja koja se odnose na mogućnosti valorizacije agroindustrijskih nus-proizvoda, kao i tehnike prečišćavanja otpadnih voda.

Struktura eksperimentalnog dela rada uključivaće sledeća poglavlja:

1. MATERIJALI I OPREMA

2. METODE

2.1. METODE ZA PRIPREMU UZORAKA

2.1.1. Priprema adsorbentata od otpadnih repinih rezanaca

2.1.2. Priprema adsorbentata od prirodnog zeolita

2.1.3. Priprema adsorbentata-nosača od otpadne kafe

2.1.3.1. Priprema otpadne kafe

2.1.3.2. Modifikacija otpadne kafe oksidacionim sredstvima

2.1.4. Priprema mikrobioloških kultura

2.1.5. Priprema radnih rastvora

2.1.5.1. Vodeni rastvor adsorbentata KV boje

2.1.5.2. Vodeni rastvor adsorbentata enzima

2.1.5.2.1. Vodeni rastvor celulaze iz *Trichoderma reesei*

2.1.5.2.2. Vodeni rastvor celulaze iz *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1

2.1.5.3. Vodeni rastvor boje za biorazgradnju

2.1.5.3.1. Rastvor KV boje u ISP1 medijumu

2.2. ANALITIČKE METODE

2.2.1. Određivanje fizičko-hemijskih karakteristika adsorbenata

2.2.1.1. Određivanje površinskih funkcionalnih grupa korišćenjem FTIR tehnike

2.2.1.2. Određivanje površinskog naelektrisanja pomoću tačke pH_{pzc}

2.2.2. Postupak procesa adsorpcije u šaržnom režimu

2.2.2.1. Adsorpcija KV boje

2.2.2.2. Adsorpcija enzima celulaze

2.2.3. Kinetika i mehanizam procesa adsorpcije

2.2.3.1. Kinetika procesa adsorpcije na otpadnim repinim rezancima

2.2.3.2. Kinetika procesa adsorpcije na prirodnom zeolitu

2.2.3.3. Kinetika procesa adsorpcije na otpadnoj kafi

2.2.3.4. Analiza kinetičkih podataka

2.2.4. Adsorpciona ravnoteža i izoterme

2.2.4.1. Adsorpciona ravnoteža i izoterme korišćenjem otpadnih repinih rezanaca

2.2.4.2. Adsorpciona ravnoteža i izoterme korišćenjem prirodnog zeolita

2.2.5. Određivanje celulazne aktivnosti

2.2.6. Kvalitativne metode za određivanje profila enzima kultura za biorazgradnju

2.2.6.1. Test za peroksidaze

2.2.6.2. Test za lignin-peroksidaze

2.2.6.3. Test za lakaze

2.2.6.4. Test API-ZIM

2.2.7. Postupak procesa biorazgradnje u šaržnom režimu

2.2.7.1. Biorazgradnja KV boje korišćenjem vrsta roda *Streptomyces*

2.2.7.1.1. *Biorazgradnja KV boje adsorbovane na otpadnim repinim rezanacima*

2.2.8. Postupak određivanja fitotoksičnosti rastvora KV boje i njenih razgradnih proizvoda nakon biorazgradnje

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. ADSORPCIJA KATJONSKE BOJE KRISTAL VIOLET OTPADNIM REPINIM REZANCIMA

3.1.1. Fizičko-hemijske karakteristike adsorbenta

3.1.1.1. Karakteristike površinskih funkcionalnih grupa

3.1.1.2. Naelektrisanje površine

3.1.2. Tok reakcije i postizanje ravnoteže

3.1.3. Adsorpciona kinetika

3.1.4. Mehanizam procesa adsorpcije

3.1.5. Adsorpcione izoteme

3.1.6. Optimizacija procesa adsorpcije korišćenjem metodologije odzivne površine

3.1.6.1. Postavljanje modela eksperimenta

3.1.6.2. Fitovanje procesnih promenljivih

3.1.6.3. Uticaj procesnih promenljivih na količinu uklonjene boje iz rastvora

3.1.6.4. Uticaj procesnih promenljivih na adsorpcioni kapacitet

3.2. ADSORPCIJA KATJONSKE BOJE KRISTAL VIOLET PRIRODNIM ZEOLITOM

3.2.1. Fizičko-hemijske karakteristike adsorbenta

3.2.1.1. Karakteristike površinskih funkcionalnih grupa

3.2.1.2. Naelektrisanje površine

3.2.2. Tok reakcije i postizanje ravnoteže

3.2.3. Adsorpciona kinetika

3.2.4. Mehanizam procesa adsorpcije

3.2.5. Adsorpcione izoteme

3.2.6. Optimizacija procesa adsorpcije korišćenjem metodologije odzivne površine

3.2.6.1. Postavljanje modela eksperimenta

3.2.6.2. Fitovanje procesnih promenljivih

3.2.6.3. Uticaj procesnih promenljivih na količinu uklonjene boje iz rastvora

3.2.6.4. Uticaj procesnih promenljivih na adsorpcioni kapacitet

3.3. BIORAZGRADNJA KATJONSKE BOJE VRSTAMA RODA *STREPTOMYCES*

3.3.1. Biorazgradnja kristal violet boje vrstom *Streptomyces fulvissimus* CKS7

3.3.1.1. Profil enzima kulture

3.3.1.2. Uticaj procesnih parametara na količinu uklonjene boje iz rastvora

3.3.1.3. Fitotoksičnost razgradnih proizvoda

3.3.2. Biorazgradnja kristal violet boje vrstom *Streptomyces microflavus* CKS6

3.3.2.1. Profil enzima kulture

3.3.2.2. Uticaj procesnih parametara na količinu uklonjene boje iz rastvora

3.3.2.3. Fitotoksičnost razgradnih proizvoda

3.3.2.4. Biorazgradnja adsorbovane kristal violet boje otpadnoim repinim rezancima

3.3.2.4.1. *Uticaj procesnih parametara na količinu uklonjene adsorbovane boje*

3.3.3. Mehanizam biorazgradnje kristal violet boje vrstama roda *Streptomyces*

3.3.4. Biorazgradnja safranin T boje vrstom *Streptomyces microflavus* CKS6

3.3.4.1. Uticaj procesnih parametara na količinu uklonjene boje iz rastvora

3.3.4.2. Mehanizam biorazgradnje

3.3.4.3. Fitotoksičnost razgradnih proizvoda

3.3.4.4. Biorazgradnja otpadne vode nastale nakon bojenja mikroorganizama

3.4. ADSORPCIJA ENZIMA NOSAČEM OD OTPADNE KAFE

3.4.1. Adsorpcija komercijalne celulaze poreklom iz *Trichoderma reesei*

3.4.1.1. Fizičko-hemijske karakteristike modifikovanih adsorbenata

3.4.1.1.1. *Karakteristike površinskih funkcionalnih grupa*

3.4.1.1.2. *Naelektrisanje površine*

3.4.1.2. Uticaj modifikacije nosača na prinos i efikasnost imobilizacije celulaze

3.4.1.3. Uticaj procesnih parametara na prinos i efikasnost imobilizacije celulaze

3.4.1.4. Adsorpciona kinetika

3.4.2. Adsorpcija produkovane celulaze poreklom iz *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1

3.4.2.1. Uticaj procesnih parametara na prinos i efikasnost imobilizacije celulaze

3.4.2.2. Adsorpciona kinetika

3.4.2.3. Stabilnost imobilisane celulaze

4. ZAKLJUČAK

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu iznetog, Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije kandidata Aneta Buntić pod nazivom „**Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije**” naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Komisija takođe smatra, da je kandidat podoban za realizaciju ove teze. Za mentora se predlaže profesor Dr Suzana Dimitrijević-Branković, vanredni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu 25.02.2016.

Komisija:

Dr Suzana Dimitrijević-Branković, vanredni profesor

Univerziteta u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Slavica Šiler-Marinković, redovni profesor Univerziteta

u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Dušan Antonović, redovni profesor

Univerziteta u Beogradu,
Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Jovan Nedeljković, Naučni savetnik

Univerziteta u Beogradu,
Institut za nuklearne nauke „Vinča“