

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ

35/92
(Број захтева)
22.05.2017.
(датум)

Образац 2
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА

(назив већа научне области коме се захтев упућује)

Београд, Студентски трг бр. 1

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

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

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

пријавила је докторску дисертацију под називом:

„Примена агроиндустријског отпада за издвајање катјонских боја и биолошких молекула из воденог раствора процесом биосорпције“

Из научне области: **ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**

Универзитет је дана **16.05.2016.** године, својим актом **02 број: 61206-2281/2-16,** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Примена агроиндустријског отпада за издвајање катјонских боја и биолошких молекула из воденог раствора процесом биосорпције“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

АНЕТЕ (Вилко) БУНТИЋ, дипл. биолог заштите животне средине,
образована је на седници одржаној **23.02.2017.** године Одлуком Факултета под бр. **35/36** у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Сузана Димитријевић-Бранковић	Редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија
2. Др Славица Шилер-Маринковић	Редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија
3. Др Душан Антоновић	Редовни професор	Инжењерство заштите животне средине
4. Др Јован Недељковић	Научни саветник	Физичка хемија

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **20.04.2017.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 20.04.2017. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Славица Шилер-Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Душан Антоновић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јован Недељковић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Примена агроиндустријског отпада за издвајање катјонских боја и биолошких молекула из воденог раствора процесом биосорпције“** коју је поднела **Анета Бунтић**, дипл. биолог и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Анете Бунтић, под називом **„Примена агроиндустријског отпада за издвајање катјонских боја и биолошких молекула из воденог раствора процесом биосорпције“** Одлуком 02 број: 61206-2281/2-16 од 16.05.2016. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a

1. **Aneta V. Buntić**, Marija D. Pavlović, Dušan G. Antonović, Slavica S. Šiler-Marinković, Suzana I. Dimitrijević-Branković (2017) *A treatment of wastewater containing basic dyes by the use of new strain Streptomyces microflavus CKS6*, Journal of cleaner production, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.164>. (IF (2015) = 4,959 (5/50); ISSN: 0959-6526)

Категорија M22

2. **Buntić 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. (IF (2014) = 1,554 (120/223); ISSN: 0049-6979)

Категорија M23

3. **Buntić 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. (IF (2015) = 1.164 (169/225); ISSN: 1606-9749)

Докторска дисертација и Реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Anete V. Buntić**, diplomirani biolog zaštita životne sredine.

Odlukom br. 35/36 od 23.02.2017.godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Anete V. Buntić**, diplomirani biolog zaštita životne sredine pod naslovom:

PRIMENA AGROINDUSTRIJSKOG OTPADA ZA IZDVAJANJE KATJONSKIH BOJA I BIOLOŠKIH MOLEKULA IZ VODENOG RASTVORA PROCESOM BIOSORPCIJE

Posle pregleda dostavljene disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

14.10. 2011. – Kandidat **Aneta V. Buntić**, diplomirani biolog zaštita životne sredine, upisana je u prvi semestar doktorskih studija na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu.

28.01.2016. – **Aneta V. Buntić** je predložila temu doktorske disertacije pod naslovom: „**Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije**“, a Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu odlukom br. 35/20 usvojilo Komisiju za ocenu naučne zasnovanosti preložene teme.

14.4.2016.– Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, na osnovu izveštaja Komisije, doneta je Odluka br. 35/192 o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije, **Anete V. Buntić**, diplomirani biolog zaštita životne sredine, pod nazivom „**Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije**“. Za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

16.05.2016.– Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije **Anete V. Buntić**, diplomirani biolog zaštita životne sredine, pod nazivom „**Primena agroindustrijskog**

otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije“.

23.02.2017. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, doneta je odluka o imenovanju članova komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije, **Anete V. Buntić** pod nazivom **„Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije“.**

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, uža naučna oblast Inženjerstvo zaštita životne sredine, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

Mentor ove doktorske disertacije, dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, objavila je preko 70 radova u časopisima na SCI listi.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Kandidat **Aneta (Vilko) Buntić** 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, Arachnida, Acari)”, pod rukovodstvom prof. dr Slobodana Makarova.

Školske 2011/2012.godine upisala je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, u Beogradu, na odseku za Inženjerstvo zaštite životne sredine. 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 nus-proizvoda agroindustrije za dobijanje funkcionalno aktivnih peptida” pred komisijom u sastavu: dr Suzana Dimitrijević-Branković, dr Slavica Šiler-Marinković, dr Dušan Antonović.

Od marta 2012.do marta 2016. godine bila je angažovana 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.

U zvanje istraživač saradnik izabrana je 14.04.2016.godine. Koautor je sedam radova u međunarodnim časopisima (dva M21a, dva M21, dva M22 i jedan M23) i pet saopštenja

nadomaćim i međunarodnim skupovima (tri M33, jedan M34 i jedan M63). Takođe je autor rada u novom časopisu (Open Acces) izdavača Elsevier, trenutno bez kategorije.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Anete V. Buntić, diplomirani biolog zaštita životne sredine, napisana je na 227 strana, sa ukupno 55 slika, 37 tabela i 232 literaturna navoda. Doktorska disertacija sadrži sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Materijali i oprema, Metode, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura. Na početku disertacije dati su izvodi na srpskom i engleskom jeziku. Disertacija sadrži i kratku biografiju kandidata i 3 obavezna priloga (izjave). Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde Univerziteta u Beogradu za doktorsku disertaciju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U **Uvodu** doktorske disertacije dat je osvrt na oblast istraživanja, predmet i cilj rada, koji podrazumeva valorizaciju čvrstih agroindustrijskih nus-proizvoda, repinih rezanaca i otpadne kafe, kao adsorbenata za izdvajanje toksičnih katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenih rastvora. Istaknut je značaj obrade otpadne vode integrisanim procesom adsorpcije i biorazgradnje. Ukratko je predstavljen i plan istraživanja.

Teorijski deo disertacije je podeljen na tri tematske celine: Adsorpcija, Industrijski obojene otpadne vode i Biološki aktivni molekuli - enzimi; gde je dat literaturni pregled predmetnih oblasti. U poglavlju *Adsorpcija* detaljno je prikazan proces adsorpcije, kroz analizu različitih modela izoterma, kao i kinetičkih i termodinamičkih modela, uz pregled komercijalnih i alternativnih adsorbenata sa posebnim naglaskom na otpadnu kafu i otpadne repine rezance. U delu *Industrijski obojene otpadne vode* istaknut je problem jednog od vodećih ekoloških problema današnjice, prečišćavanju otpadnih voda tekstilne industrije i drugih industrija korisnika boja, postupcima adsorpcije i biorazgradnje. Dat je i detaljan prikaz strukture i klasifikacije sintetičkih boja, sa posebnim osvrtom na značaj i primenu katjonskih boja: kristal violet i safranin T. U trećem delu *Biološki aktivni molekuli - enzimi* opisane su tehnike imobilizacije enzima, kao i karakteristike enzimskog kompleksa - celulaze i primena imobilisanih celulaza.

Eksperimentalni deo disertacije podeljen je na dva dela. U prvom delu *Materijali i oprema* detaljno su prikazani svi materijali, hemikalije, reagensi i oprema korišćeni u izradi disertacije. U drugom delu *Metode*, detaljno su prikazani svi postupci primenjeni tokom eksperimentalnog rada: priprema adsorbenata od otpadnih repinih rezanaca i zeolita i nosača od otpadne kafe; priprema radnih rastvora za adsorpciju i biorazgradnju, priprema bakterijskih kultura za biorazgradnju i proizvodnju enzima celulaze, kvalitativne i kvantitativne metode ispitivanja enzimske aktivnosti, određivanje fizičko-hemijskih

karakteristika adsorbenata (FTIR, pH_{pzc}, SEM), postupak adsorpcije i biorazgradnje boje u šaržnom režimu, optimizacija adsorpcije boje statističkom metodom odziva površine, primenom softverskog paketa Design Expert.

U poglavlju **Rezultati i diskusija** ove doktorske disertacije prikazani su dobijeni eksperimentalni rezultati. Prikaz dobijenih rezultata obuhvata i njihovu analizu i diskusiju koja podrazumeva objašnjenje i poređenje sa literaturnim navodima slične tematike. Ovo poglavlje je podeljeno na četiri celine: 1) Adsorpcija katjonske boje kristal violet na otpadne repine rezance, 2) Adsorpcija katjonske boje kristal violet na prirodnom zeolitu, 3) Biorazgradnja katjonske boje vrstama roda *Streptomyces* sp., 4) Adsorpcija enzima celulaze na nosač od otpadne kafe.

U okviru **prve i druge celine** prikazani su i upoređeni rezultati dobijeni ispitivanjem adsorpcije sintetičke boje kristal violet (KV, C.I. Basic Violet 3) na adsorbentima od otpadnih repinih rezanaca i zeolita. Ispitana je mogućnost primene ova dva tipa adsorbenata u njihovim nativnim i aktiviranim oblicima (pomoću mikrotalasa) u reakcijama adsorpcije boje KV u šaržnom reaktoru.. Eksperimentalni rezultati, kojima se opisuju: tok reakcije, postignute ravnoteže, adsorpcione kinetike, adsorpcione izoterme i pretpostavljeni mehanizmi adsorpcije, su prikazani u ovom delu. Optimizovan je proces adsorpcije boje KV na oba tipa adsorbenata, korišćenjem statističke metode odzivne površine, primenom Design Expert softvera, praćenjem sledećih parametara: količine adsorbenta, početna koncentracija boje, početna pH vrednost rastvora boje i vremena trajanja procesa, i verifikovani su statistički dobijeni modeli. Definisane su osnovne površinske funkcionalne grupe adsorbenata korišćenjem FTIR tehnike, a njihovo površinsko naelektrisanje pomoću tačke nultog naelektrisanja (pH_{pzc} tačka).

Nakon procesa adsorpcije boje KV, primenjen je i proces biorazgradnje u cilju potpune obrade obojene otpadne vode. U **trećoj celini** prikazani su i upoređeni rezultati dobijeni ispitivanjem biorazgradnje katjonskih boja vrstama roda *Streptomyces* (*Streptomyces microflavus* CKS 6, u daljem tekstu CKS 6 i *Streptomyces fulvissimus* CKS 7, u daljem tekstu CKS 7) praćenjem procenta uklanjanja boje KV iz vodenih rastvora. Utvrđeni su uslovi maksimalne biorazgradnje boje KV i prikazani su eksperimentalni rezultati koji se odnose na uticaj brzine mešanja smeše boje i mikroorganizama, temperature, veličine inokuluma, vremena trajanja procesa i koncentracije boje na efikasnost primenjenih mikrobioloških kultura. Njihova efikasnost se ogleda, kako u povećanju stepena obezbojavanja rastvora boje, tako i smanjenju toksičnosti obezbojenih rastvora.

Za potrebe biorazgradnje otpadne vode prikupljene nakon bojenja mikrobioloških preparata po Gramu, ispitana je i efikasnost obezbojavanja rastvora boje safranin T (ST, C.I. Basic Red 2) sojem CKS6 po istom principu.

Prikazani su i potencijaleni mehanizmi biorazgradnje katjonskih boja, delovanjem enzima lignin peroksidaze i mangan zavisne peroksidaze..

U **četvrtoj celini** su prikazani rezultati adsorpcije enzima celulaze, komercijalno dostupne iz *Trichoderma reesei*, nanosač od otpadne kafe, u nativnom i modifikovanom

obliku (korišćenjem gluteraldehida, hlor-dioksida i vodonik-peroksida), pomoću parametara: prinos i efikasnost imobilizacije enzima.

Definisane su osnovne površinske funkcionalne grupe sva četiri nosača korišćenjem FTIR tehnike, njihovo površinsko naelektrisanje pomoću tačke nultog naelektrisanja (pH_{pzc} tačka), kao i izgled i struktura površine nosača pomoću mikrografa skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM). Ispitani su uticaji procesnih promenljivih tokom modifikacije nosača: koncentracija aktivatora, vreme trajanja procesa modifikacije i odnos aktivator/nosač..

Definisani su uslovi maksimalnog prinosa i efikasnosti imobilizacije enzimacelulaze iz prirodnog izolata *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1, praćenjem uticaja mase nosača, pH rastvora enzima, koncentracije jona metala, vremena trajanja procesa i temperature. Određene su kinetičke konstante procesa adsorpcije i stabilnost imobilisanog enzima.

U poglavlju **Zaključak** su sumirani zaključci proistekli iz rada na ovoj doktorskoj disertaciji, kao i izvedeni generalni zaključak na osnovu svih sumiranih rezultata.

U poglavlju **Literatura** navedeni su relevantni radovi iz oblasti istraživanja u okviru ove disertacije.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

U agroindustriji širom sveta nastaje velika količina različitih otpadnih materijala koji se odlažu na otvorene deponije. Danas se intenziviraju istraživanja mogućnosti boljeg iskorišćenja njihovog potencijala u vidu obnovljivih izvora energije, njihovog ponovnog iskorišćenja za izolovanje bioaktivnih i visoko vrednih komponenti, kao i korišćenja kao prekursora za dizajniranje proizvoda nove upotrebne vrednosti. Otpadni materijal iz ovih industrija je okarakterisan kao visoko specifičan otpad i korišćenje i odlaganje ovog specifičnog otpada je teško. U tom smislu, pristupa se njegovoj valorizaciji i modifikaciji u vredne materijale, po preporuci održivog industrijskog razvoja. Zbog toga se poslednjih godina, naučna javnost sve više okreće novim mogućnostima iskorišćenja agroindustrijskih nus-proizvoda za razvoj jeftinih alternativnih adsorbenata koji bi zamenili skup komercijalni aktivni ugalj u njegovoj primeni za adsorpciju različitih tipova zagađujućih materija. Pored toga, otvaraju se i nove mogućnosti primene ovih nus-proizvoda kao adsorbenata za imobilizaciju različitih bioloških molekula, kao što su enzimi.

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. Takođe, mineralni sastav otpadne kafe pokazuje prisustvo značajne koncentracije kalijuma, koji je poznat kao aktivator enzima iz grupe celulaza. Uspešna imobilizacija celulaza na otpadnoj kafi, omogućila bi izdvajanje ovih enzima iz sirove fermentacione tečnosti, bez primene skupih postupaka taloženja i razdvajanja. Nutritivno vredna otpadna kafa sa imobilisanom celulazom bi mogla biti iskorišćena za proizvodnju stočne hrane

Da bi se povećala adsorptivnost, ovi otpadni materijali se aktiviraju termički ili korišćenjem oksidacionih sredstava. Jedan od aktuelnih postupaka aktivacije je korišćenjem mikrotalasa. Glavna prednost ove tehnike je kratko vreme trajanja aktivacije kao i izbegavanje korišćenja različitih toksičnih hemikalija.

Pojava obojenih otpadnih voda je posledica serije procesa, kako u proizvodnji samih boja, tako i u industrijama korisnika boja. Zbog teškog predviđanja njihove prosečne koncentracije i teške razgradljivosti, boje su jedan od zagađivača koji se najteže uklanja iz otpadnih voda, a postupci prečišćavanja su jako skupi. 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 postigao željeni kvalitet vode na što ekonomičniji način. U tom smislu, kombinovanje procesa adsorpcije i biorazgradnje za uklanjanje boja iz vodenih rastvora predstavlja jednu savremenu i primamljivu alternativu.

U okviru doktorske disertacije Anete V. Buntić pod nazivom „**Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije**“, ispitana je primena otpadnih rezanaca aktiviranih mikrotalasima kao adsorbenta boje kristal violet iz vodenih rastvora. Po prvi put je vršena optimizacija procesa adsorpcije boje kristal violet na otpadne repine rezance, kao i imobilizacija enzima celulaze (komercijalno dostupne iz *Trichoderma reesei* i celulaze iz prirodnog izolata *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1) na nosaču pripremljenom od otpadne kafe. Takođe je razvijen predlog integrisanog postupka obrade obojene otpadne vode kombinovanjem procesa adsorpcije (primenom otpadnih repinih rezanaca) i bakterijske biorazgradnje boje kristal violet, gde su po prvi put primenjeni prirodni izolati *Streptomyces microflavus* CKS 6 i *Streptomyces fulvissimus* CKS 7.

Na osnovu pregleda literature može se zaključiti da se istraživanja u okviru ove disertacije uklapaju u savremene pravce istraživanja u oblasti iskorišćenja agroindustrijskih nus-proizvoda..

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literature

U doktorskoj disertaciji citirana su 232 literaturna navoda, od kojih najveći broj čine najnoviji radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije. Citirani literaturni radovi su omogućili da se predstavi stanje u ispitivanoj naučnoj oblasti, kao i da se sagleda aktuelna problematika iskorišćenja otpadnih materijala, kao i tretmana otpadnih voda. Kandidat je pregledao obimnu literature vezanu za fenomen procesa adsorpcije, primenu komercijalnih i alternativnih adsorbenata (pre svega poreklom od nus-proizvoda agroindustrije) za izdvajanje katjonskih boja iz vodenih rastvora, imobilizaciju enzima, kao i literatura koja se odnosi na različite instrumentalne metode za

karakterizaciju materijala krišćenih za procese adsorpcije i imobilizacije. Pregledana je i literatura vezana za primenu mikroorganizama u obradi obojenih otpadnih voda procesom biorazgradnje pri aerobnim i anaerobnim ulovima, kao i o strukturi i karakteristikama katjonskih boja (kristal violet i safranin T). Iz popisa literature koja je korišćena u istraživanju, kao i objavljenih radova kandidata **Anete V. Buntić** može se uočiti da kandidat na adekvatnom nivou poznaje predmetnu oblast istraživanja, kao i aktuelno stanje istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Prikazani rezultati u ovoj doktorskoj disertaciji su dobijeni primenom odgovarajućih eksperimentalnih tehnika i savremenih analitičkih instrumentalnih metoda u originalnom ili modifikovanom obliku, kao i adekvatnom analizom i obradom podataka.

Za karakterizaciju i analizu aktivne površine korišćenih adsorbenata za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenih rastvora, pre i nakon odgovarajuće modifikacije otpadnih materijala, korišćena je infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (FTIR) i skenirajući elektronski mikroskop (SEM). Na osnovu rezultata FTIR analize dobijen je uvid o promeni funkcionalnih grupa na površini adsorbenata i nosača od otpadne biomase, dok su SEM mikrofotografije dali uvid u morfologiju i strukturu površine nosača od otpadne kafe. Površina adsorbenata je aktivirana pomoću mikrotalasa, jedne od novijih i uspešnih tehnika modifikacije.

Optimizacija procesa adsorpcije boje KV na repine rezanace i nativni zeolit, kao i statistička obrada podataka, urađena je primenom metodologije odzivne površine (engl. *Response Surface Methodology*, RSM) uz pomoć softverskog paketa *Design Expert*. Procenat obezbojavanja rastvora boje, bilo adsorpcijom ili biorazgradnjom, praćen je spektrofotometrijski na karakterističnom apsorpcionom maksimumu boje snimanjem UV spektra. Kinetička analiza, izoterme i ravnoteža procesa adsorpcije se zasnivala na eksperimentalnom planu koji se sastojao u variranju jednog parametra (koncentraciji boje) pri konstantnim vrednostima ostalih parametara sa vremenom. Enzimski profil novo izolovanih sojeva CKS6 i CKS7 je urađen korišćenjem API-ZIM testa, kvalitativnih testova za peroksidaze, lignin- i mangan-peroksidaze i lakazu. Primenjene analitičke metode za određivanje enzimske aktivnosti lignolitičkih enzima i aktivnosti imobilisanih celulaza, takođe su uključile korišćenje UV-VIS spektrofotometra. Uzorci pre i nakon biorazgradnje boje mikrobiološkim kulturama okarakterisani su i sa aspekta toksičnosti, pri čemu su primenjene dostupne publikovane metode vezane za fitotoksičnost uzoraka primenom semena pšenice *Triticum aestivum*.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Na osnovu pregleda do sada objavljenih eksperimentalnih podataka i rezultata prikazanih u okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos sa aspekta

ispitivanja i karakterisanja adsorbenata od otpadne biomase, tako i sa aspekta primene i iskorišćenja otpadnih repinih rezanaca za uklanjanje katjonske boje kristal violet iz vodenih rastvora i otpadne kafe kao pogodnog nosača za enzime iz grupe celulaza.

Mikrotalasna aktivacija adsorbenta (od repinih rezanaca i zeolita) predstavlja savremen pristup modifikacije koji je brz, efikasan i ekološki prihvatljiv. Modifikacija nosača od otpadne kafe na netoksičan način i direktno izdvajanje enzima celulaze iz složenih medijuma u kojima su produkovani, zajedno daju mogućnost njihove primene u industrijskom sektoru. Kombinovanje procesa adsorpcije na nus-proizvodima agroindustrije i biorazgradnje katjonske boje vrstama roda *Streptomyces* sp. daje mogućnost razvoja integrisanog postupka obrade obojene otpadne vode na način netoksičan po okolinu.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat **Aneta V. Buntić** je tokom izrade doktorske disertacije pokazala samostalnost, sistematičnost i stručnost u sagledavanju otvorenih problema istraživanja, kao i kritičku analizu postojećih saznanja. Prilikom izvođenja i realizacije eksperimenata, pokazala je da vlada naučnim i istraživačkim metodama, kao i kreativnost u realizaciji, analizi i obradi dobijenih rezultata. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Naučnim doprinosom rezultata ove teze može se smatrati sledeće:

- Održivo upravljanje otpadnom biomasom koja zaostaje u industrijama prerade šećerne repe i pripreme napitka od kafe u ugostiteljskim objektima;
- Optimizovan proces adsorpcije boje kristal violet iz vodenih rastvora na adsorbentima poreklom od otpadnih repinih rezanaca i zeolita;
- Definisanje sposobnosti novo izolovanih sojeva *Streptomyces microflavus* CKS 6 i *Streptomyces fulvissimus* CKS 7 za biorazgradnju katjonske boje kristal violet;
- Utvrđivanje uslova maksimalne biorazgradnje boje kristal violet ispitivanjem uticaja: temperature, koncentracije boje, veličine inokuluma i brzine mešanja smeše boje i mikroorganizama;
- Projektovanje efikasnog postupka prečišćavanja obojenih otpadnih voda, koji se sastoji od integrisanog procesa adsorpcije i biorazgradnje, sa ciljem potpune mineralizacije boje kristal violet;
- Razvijen je novi, originalni i ekonomski isplativ nosač od otpadne kafe za imobilizaciju enzima celulaze;
- Definisanje uslova za maksimalno izdvajanje enzima celulaze iz vodenih rastvora.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Definisanjem ciljeva istraživanja i detaljnom analizom literature iz oblasti iskorišćenja otpadnih materijala agroindustrije za izdvajanje adsorbata (katjonskih boja i enzima) iz vodenih rastvora, utvrđena je metodologija istraživanja primenjena tokom izrade doktorske disertacije. Može se primetiti da se dobijeni rezultati nadovezuju u značajnoj meri nadopunjuju postojeće literaturne rezultate. Pored primenjene metodologije istraživanja dostupne u literaturi, u ovoj disertaciji i po prvi put optimizovan proces adsorpcije boje kristal violet na otpadne repine rezance i zeolit. Pored toga, po prvi put je i otpadna kafa, uz adekvatnu netoksičnu modifikaciju, iskorišćena kao nosač enzima celulaze. Savremenost i originalnost ovoj doktorskoj disertaciji daje i predlog integrisanog postupka u prečišćavanju obojenih otpadnih voda na netoksičan način.

Sagledavanjem ciljeva i postavljenih hipoteza u odnosu na dobijene rezultate, može se konstatovati da prikazana istraživanja u potpunosti zadovoljavaju kriterijume jedne doktorske disertacije. Može se konstatovati i da su korišćene metode u skladu sa savremenim metodama i da su dobijeni rezultati značajni ne samo sa naučnog, već i praktičnog aspekta.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat **Aneta V. Buntić** je ostvarene rezultate istraživanja u okviru ove doktorske disertacije potvrdila objavljivanjem tri rada u vrhunskim međunarodnim i međunarodnim časopisima ili saopštenjima na međunarodnim i nacionalnim skupovima. Iz rezultata ove doktorske disertacije proizašli su sledeći naučni radovi i saopštenja:

Radovi objavljeni u naučnim časopisima međunarodnog značaja-M20

KATEGORIJA M21a

1. **Aneta V. Buntić**, Marija D. Pavlović, Dušan G. Antonović, Slavica S. Šiler-Marinković, Suzana I. Dimitrijević-Branković (2017) *A treatment of wastewater containing basic dyes by the use of new strain Streptomyces microflavus CKS6*, Journal of cleaner production, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.164>. (IF (2015) = 4,959 (5/50); ISSN: 0959-6526)

KATEGORIJA M22

2. **Buntić 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. (IF (2014) = 1,554 (120/223); ISSN: 0049-6979)

KATEGORIJA M23

3. **Buntić 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. (IF (2015) = 1.164 (169/225); ISSN: 1606-9749)

RAD BEZ KATEGORIJE

4. **Aneta V. Buntić**, Marija D. Pavlović, Dušan G. Antonović, Slavica S. Šiler-Marinković, Suzana I. Dimitrijević-Branković (2016) *Utilization of spent coffee grounds for isolation and stabilization of Paenibacillus chitinolyticus CKS1 cellulase by immobilization*, Heliyon, DOI:10.1016/j.heliyon.2016.e00146. (ISSN: 2405-8440)

Zbornici međunarodnih naučnih skupova-M30

KATEGORIJA M33

5. **Buntić 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*, Septembre 17-19, 2015, Belgrade, Serbia, CD Proceedings 429-435.
6. **Buntić 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)*, May 27-28, 2014, Istanbul, Turkey, Proceedings 54-59, ISBN: 978-93-82242-94-9.

KATEGORIJA M34

7. **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*, June 27-29, 2013, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, p. 265, ISBN 978-86-7132-053-5.

Zbornici skupova nacionalnog značaja-M60

KATEGORIJA M63

8. 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", *50th Meeting of the Serbian Chemical Society*, June 14-15, 2012, Belgrade, Serbia, Proceedings 132-136, ISBN 978-86-7132-049-8.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu svega napred iznetog Komisija smatra da doktorska disertacija **Anete V. Buntić**, diplomiranog biologa zaštite životne sredine, pod nazivom: „**Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije**“ predstavlja značajan i originalni naučni doprinos u oblasti Tehnološkog inženjerstva, uža oblast Inženjerstvo zaštita životne sredine, što je potvrđeno

objavljivanjem radova u vodećim međunarodnim časopisima i saopštavanjem radova na međunarodnim skupovima.

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj Referat i da ga zajedno sa podnetom disertacijom **Anete V. Buntić: „Primena agroindustrijskog otpada za izdvajanje katjonskih boja i bioloških molekula iz vodenog rastvora procesom biosorpcije“** izloži na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, te da nakon završetka ove procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije.

U Beogradu 10.04.2017.

Komisija:

Dr Suzana Dimitrijević-Branković, redovni
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“