

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

**Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji** kandidatkinje Zorice Lopičić, dipl. ing.tehnologije.

Odlukom br. 35/93 Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, od 20.04.2017. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidatkinje Zorice Lopičić, dipl. ing.tehnologije, pod nazivom:

**„PROUČAVANJE SORPCIONOG I ENERGETSKOG POTENCIJALA OTPADNE  
BIOMASE *Prunus persica* L.”**

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatkinjom, Komisija je sačinila sledeći

**REFERAT**

**1. UVOD**

1.1 Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Školske 2007/2008. god. kandidatkinja Zorica Lopičić, dipl. ing. tehnologije, je upisala doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu na smeru Inženjerstvo zaštite životne sredine.

Rešenjem br. 05-8/10, kandidatkinji je odobreno mirovanje prava i obaveza šk. 2008/2009. god. zbog održavanja trudnoće.

Rešenjem br. 05-23/10, kandidatkinji je odobreno mirovanje prava i obaveza šk. 2009/2010. god. zbog održavanja trudnoće.

Rešenjem br. 05-10/42 Zorici Lopičić je odobreno mirovanje za negu deteta do godinu dana u školskoj 2013/2014.god.

16.05.2016. – Kandidat Zorica Lopičić, dipl. ing, predložila je temu doktorske disertacije pod nazivom: „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.“.

26.05.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/271 o imenovanju Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidatkinje Zorice Lopičić, dipl. ing. za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.“.

23.06.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/331 o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidatkinje i odobravanju izrade doktorske disertacije Zorice Lopičić, dipl. ing, pod nazivom: „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.“, a za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Mirjana Kijevčanin, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

04.07.2016. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, Odlukom br. 61206-3389/2-16, data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Zorice Lopičić, dipl. ing, pod nazivom: „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.“.

Rešenjem broj 05-10/29 od 24.09.2016. god., Zorici Lopičić je produžen rok za završetak studija za dva semestra.

20.04.2017. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/93 o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Zorice Lopičić, dipl. ing, pod nazivom: „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.“.

## 1.2 Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo, uža naučna oblast Inženjerstvo zaštite životne sredine, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet, Univerziteta u Beogradu. Za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Mirjana Kijevčanin, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, koja je na osnovu objavljenih publikacija i iskustva kompetentna da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

## 1.3 Biografski podaci o kandidatkinji

Zorica Lopičić, dipl. ing. tehn., rođena je 10. januara 1977. godine u Požarevcu, gde je i završila Osnovnu školu i gimnaziju. Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu upisala je 1995, odsek za hemijsko inženjerstvo. Diplomirala je sa ocenom 10 (deset) i prosečnom ocenom u toku studija 8,73.

Kao stipendista Vlade Republike Francuske 2004. godine upisala je francuske master studije na Univerzitetu u Parizu, *École Centrale de Paris*, i 2006. godine stekla zvanje Master inženjerstva industrijskih sistema.

Doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, studijski program Inženjerstvo za zaštitu životne sredine, upisala je školske 2007/2008. godine.

Od 18.01.2002. godine zaposlena je u Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina u Centru za hemijsko inženjerstvo i zaštitu životne sredine.

Od septembra 2002. godine angažovana je na sledećim Projektima Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj:

- *Razvoj tehnoloških postupaka za dobijanje staklokeramičkih i staklastih materijala (Projekat MHT.2.07.0026.B)*
- *Tehničko-tehnološka rešenja u razvoju čistijih tehnologija kao osnov strategije održivog industrijskog razvoja (Projekat TR 6707)*
- *Rekultivacija deponije isplake i mogućnost remedijacije i bioremedijacije zemljišta, otpadnih voda i teških taloga akcidentno i incidentno kontaminiranih naftom i njenim derivatima (Projekat TD 7032)*
- *Istraživanje, razvoj i primena metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije građevinskih proizvoda u skladu sa zahtevima međunarodnih standarda i propisa (Projekat TD 7024B)*

- *Razvoj postupaka, metoda i materijala za prečišćavanje otpadnih industrijskih gasnih tokova i prećenje uticaja na životnu sredinu (TR 21020)*
- *Razvoj tehnologija i proizvoda na bazi mineralnih sirovina i otpadne biomase u cilju zaštite resursa za proizvodnju bezbedne hrane (TR 31003)*

U zvanje istraživača saradnika je izabrana 2008. godine. Zorica Lopičić je koautor većeg broja naučnih radova objavljenih u časopisima međunarodnog značaja i prezentovanih na međunarodnim konferencijama.

## 2. OPIS DISERTACIJE

### 2.1 Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Zorice Lopičić pod naslovom „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.” napisana je na 173 strane i sadrži 45 slika, 18 tabela i 203 literaturna navoda. Tekst disertacije obuhvata sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultate i diskusiju, Zaključak i Literaturu.

### 2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U **Uvodu** je dat osvrt na oblast istraživanja, predmet i cilj ove doktorske disertacije koji podrazumevaju ispitivanje sorpcionih i energetskih karakteristika otpadne biomase koštica breskve, lignoceluloznog otpada poreklom iz prehrambene industrije. Istaknut je značaj ovih ispitivanja sa osvrtom na rastući globalni trend u ovoj oblasti. Takođe, ukratko je predstavljen i plan istraživanja.

**Teorijski deo** disertacije je podeljen na šest tematskih celina: Ligno-celulozna biomasa, Upotreba lignocelulozne biomase u sorpcione svrhe, Sorpcija-pojam i definicija, Desorpcija, Fizičko-hemijski tretmani otpadne biomase u cilju njene modifikacije, Upotreba otpadne biomase u energetske svrhe - termalna degradacija otpadne biomase. U prvoj celini prikazana je kompleksna struktura lignocelulozne (LC) biomase sa osvrtom na njene osnovne strukturne komponente. Takođe, opisane su osnovne karakteristike LC biomase koje se najčešće uzimaju u razmatranje prilikom određivanja njenih sorpcionih i energetskih svojstava. U ovoj celini prikazan je i pregled literature dosadašnjih ispitivanja vezanih za otpadnu biomasu *Prunus persica* L., koji je ukazao je da ova biomasa poseduje potencijal čiju je primenu potrebno detaljnije ispitati. U drugoj celini pažnja je posvećena upotrebi lignocelulozne biomase u sorpcione svrhe, sa naročitim akcentom na teške metale, odnosno na bakar. Treća celina detaljno opisuje proces sorpcije, uključujući kinetiku, ravnotežu i termodinamiku sorpcionih procesa. U četvrtoj celini opisan je značaj procesa desorpcije, koji ukazuje na mogućnost regeneracije sorbenta, odnosno njegove primene u više sorpciono-desorpcionih ciklusa. Peta celina ukazuje na značaj modifikacije sorbenata i sadrži pregled nekih od fizičko-hemijskih postupaka koji su korišćeni u cilju poboljšanja sorpcionih ili energetskih karakteristika lignocelulozne biomase. Šesta celina teorijskog dela sadrži opis termičkih analiza (TG, DTG i DTA) koje se najčešće koriste pri ispitivanju termičkih osobina materijala; u ovom poglavlju prikazani su osnovni principi modelovanja kinetike reakcija termičke degradacije materijala u čvrstom stanju, kao i neke od *model free* metoda koje se u tu svrhu koriste.

**Eksperimentalni deo** sadrži plan eksperimentalnog rada koji je podeljen u četiri celine. Prva celina odnosi se na opisivanje postupka pripreme uzoraka odnosno mehaničku aktivaciju lignocelulozne biomase *Prunus persica* L. U drugoj celini sumirane su i detaljno opisane metode i instrumentalne tehnike primenjene za karakterizaciju ispitivane biomase, u koje

spadaju: određivanje hemijskog sastava, gustine, kontaktne pH i tačke nultog naelektrisanja, raspodela veličina čestica i karakteristike površine sorbenta FTIR i BET tehnikama, kristaliničnost, morfologija i analiza termičke degradacije. U trećoj celini dat je detaljan prikaz izvođenja šaržnih eksperimenata, kao i ispitivanja pojedinačnih operativnih parametara koji su od značaja za sorpcione procese; opisana je metodologija eksperimenata izvođenih u svrhu kinetičkih, ravnotežnih i termodinamičkih analiza; takođe je dat detaljan prikaz desorpcionih eksperimenata kao i načina hemijske modifikacije materijala. Eksperimentalni uslovi izvođenja analiza termičke degradacije opisani su u četvrtoj tematskoj celini.

Poglavlje **Rezultati i diskusija** sastoji se iz devet celina u kojima su prikazani i detaljno analizirani eksperimentalno dobijeni rezultati kao i modeli primenjeni u svrhu njihovog korelisanja. U prvoj celini opisane su opšte fizičko hemijske osobine otpadne biomase *Prunus Persica* L. koje ne zavise od načina pripreme materijala, u koje, između ostalih, spadaju i elementarna organska i tehnička analiza materijala, a koje su korišćene za izračunavanje toplotne moći biomase. Termička stabilnost KB, kao i promene karakteristika materijala u zavisnosti od temperature utvrđene su metodom termogravimetrijske analize (TGA) sa diferencijalnom termogravimetrijom (DTA). U drugom poglavlju dati su rezultati ispitivanja karakteristika koje nastaju kao posledica različitog tipa mehaničke aktivacije materijala. Raspodela veličine dobijenih čestica urađena metodom difrakcije laserske svetlosti ukazala je da ne postoji značajna razlika u uzorcima tretiranih u vibracionom i centrifugalnom mlinu. Morfološke karakteristike materijala ispitane su metodom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM) i energijsko-disperzivne rendgenske analize (EDS), dok su sastav površinski aktivnih funkcionalnih grupa kao i strukturne promene ispitane metodama infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR). XRD difraktogrami uzoraka imaju iste pozicije i lokacije difrakcionih pikova, što ukazuje da različit mehanički tretman nije doveo do promene kristalne forme prirodne celuloze, ali je doveo do promene u kristaliničnosti i debljini kristaliniteta ispitivanih uzoraka.

Treće poglavlje odnosi se na rezultate ispitivanja operativnih parametara koji utiču na sorpciju jona Cu(II), pri čemu je na kraju svakog potpoglavlja data preporuka za dalje eksperimente. Ispitivani operativni parametri su sledeći: veličina čestica sorbenta, pH vrednost rastvora, odnos mase sorbenta i zapremine rastvora sorbata, inicijalna koncentracija jona Cu(II), vreme kontakta i temperatura. Optimizovani rezultati korišćeni su u opisivanju kinetike, ravnoteže i termodinamike sorpcije jona Cu(II) na mehanički tretiranim KB. Eksperimentalni rezultati obrađeni su Langmuir-ovim, Freundlich-ovim, Sips-ovim, Toth-ovim i Dubinin-Radushkevich-evim modelom izoterma, kao i kinetičkim modelima pseudo-prvog, pseudo-drugog reda i modelom Elovich-a. U cilju opisivanja fenomena prenosa mase u sistemu Cu(II) – KB, kao i radi određivanja limitirajućeg faktora brzine sorpcije, kinetički podaci analizirani su primenom Boyd-ovog, Weber Morris-ovog i modela Urano-Tachikawa. Na osnovu dobijenih rezultata pretpostavljen je mehanizam odgovoran za proces sorpcije jona bakra na mehanički aktiviranim KB. U okviru šeste celine koja se odnosila na termodinamiku procesa sorpcije Cu(II) otpadnom biomasom KB, određena je i izosterična toplota sorpcije, koja je potvrdila heterogenost površine sorbenta KB, kao i postojanje lateralnih interakcija među sorbovanim vrstama. Rezultati desorpcionih eksperimenata opisani u sedmoj celini, odnosili su se na izbor desorpcionog sredstva kao i njegove koncentracije, a mogućnost ponovne upotrebe regenerisanog sorbenta KB i nakon završenog ciklusa desorpcije, potvrđena je u narednih 5 sorpciono-desorpcionih ciklusa. Rezultati ispitivanja hemijske modifikacije na sorpciona svojstva KB prikazani su u osmoj celini, pri čemu je najveći stepen sorpcije postignut sorbentom modifikovanim smešom sumporne i azotne kiseline (KB-S+N). Osmo celina sadrži FTIR analizu modifikovanog uzorka KB-S+N, kao i rezultate ispitivanja kinetike uklanjanja jona Cu(II) na pomenutom uzorku. Ispitivanje kinetike termičke degradacije opisano u devetoj celini, urađeno je u neizoternskim uslovima, pri čemu se brzina zagrevanja

menjala od 5 do 20 °/min. Sagorevanje je izvedeno u struji kiseonika, a rezultati dobijeni TG analizama modelovani su primenom tri *model free* metoda: Kissinger, FWO i KAS. Dobijene vrednosti energije aktivacije koje su u rangu literaturnih opsega variraju sa napredovanjem konverzije i ukazuju na postojanje kinetički složenog procesa koji se odvija u više uzastopnih stupnjeva.

U poglavlju **Zaključak** su sumirani zaključci proistekli iz rada na ovoj doktorskoj disertaciji, i izveden je generalni zaključak na osnovu svih prikazanih rezultata.

Navedena **Literatura** obuhvata relevantne radove iz oblasti istraživanja i pokriva sve delove disertacije.

### 3. OCENA DISERTACIJE

#### 3.1 Savremenost i originalnost

Porast industrijske proizvodnje i sve prisutnije smanjenje energetske resursa doveli su do potrebe za razvojem novih tehnologija koje bi obezbedile primenu obnovljivog, lako dostupnog, otpadnog materijala sa višestrukim namenom: najpre u smanjenju zagađenja prouzrokovanog industrijskim aktivnostima, a potom i u energetske svrhe.

Prema podacima Organizacije za hranu i poljoprivredu UN, svetska potražnja, a samim tim i proizvodnja svežeg voća neprestano se povećava. Ovo uslovljava nastanak velike količine različitih otpadnih materijala koji se uglavnom odlažu na otvorene deponije. Poslednjih decenija, sve više se pažnje obraća na lignoceluloznu (LC) otpadnu biomasu iz različitih tipova industrija, usled velikih količina koje neprestano nastaju i koje zbog široke dostupnosti, niske cene, kao i fizičko-hemijskih osobina, predstavljaju važan obnovljiv resurs. U tom smislu, valorizacija i modifikacija ovog otpada sa ciljem dobijanja proizvoda novih upotrebnih vrednosti potpuno se uklapa u preporuke održivog industrijskog razvoja.

Zbog svega navedenog, naučna javnost se intenzivno bavi novim mogućnostima iskorišćenja agroindustrijskih nus-proizvoda kako bi se razvili ekonomski isplativi alternativni sorbenti, koji bi zamenili skup komercijalni aktivni ugalj u njenoj primeni za adsorpciju različitih tipova zagađujućih materija. Poslednjih godina objavljen je veliki broj radova koji se bave ispitivanjem upotrebe različite otpadne biomase u svrhu uklanjanja zagađujućih materija sorpcijom, uglavnom iz vodenih rastvora, pri čemu sorpcija teških metala zauzima prvo mesto.

Rasprostranjenija upotreba LC biomase kao izvora obnovljive energije predstavlja jedan od globalnih svetskih ciljeva, koji bi trebalo da doprinese povećanju sigurnosti snabdevanja energijom, manjoj zavisnosti od uvoznih izvora, kao i smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte. Na svom putu ka Evropskoj uniji, Srbija je preuzela obavezu da do 2020. godine poveća udeo energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji, ali na žalost, ostaci u voćarstvu, vinogradarstvu i preradi voća i dalje predstavljaju u potpunosti neiskorišćeni energetski potencijal koji iznosi 0,605 miliona ten godišnje.

U okviru doktorske disertacije Zorice Lopičić pod nazivom „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.“ detaljno je okarakterisana lignocelulozna otpadna biomasa poreklom iz prehrambene industrije. Potom je ispitana mogućnost revalorizacije ovog otpadnog materijala najpre kao sorbenta bakra, a potom i u energetske svrhe. Dobijeni rezultati ukazali su na dobre sorpcione i energetske karakteristike ovog otpadnog materijala.

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 literaturu

U ovoj doktorskoj disertaciji citirana su 203 literaturna navoda. Citirani literaturni radovi su omogućili da se predstavi stanje u ispitivanoj naučnoj oblasti, kao i da se sagleda aktuelna problematika iskorišćenja otpadnih materijala, kako u tretmanu kontaminiranih voda, tako i u energetske svrhe. Kandidat je pregledao obimnu literaturu vezanu za proces sorpcije i primenu komercijalnih i alternativnih sorbenata (pre svega poreklom od nus-proizvoda agroindustrije). Pregledana je i obimna literatura koja se odnosi na različite instrumentalne metode za karakterizaciju ovog tipa materijala, kao i literatura koja se odnosi na ispitivanje termičke degradacije lignocelulozne biomase.

Iz spiska literature koja je korišćena u istraživanju, od čega je veliki broj radova objavljenu poslednjih 10 godina, kao i objavljenih radova kandidatkinje Zorice Lopičić, može se zaključiti da kandidatkinja na adekvatnom nivou poznaje predmetnu oblast istraživanja i aktuelno stanje istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

### 3.3 Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U ovoj disertaciji je za realizaciju predloženog ispitivanja korišćena kombinacija detaljne analize prethodno objavljenih literaturnih podataka, teorijske analize i eksperimentalnih ispitivanja.

Analiza literaturnih podataka i teorijska analiza sprovedene su u cilju pripreme podloga za definisanje ispitivanja sorpcionih i energetskih karakteristika lignocelulozne otpadne biomase, kao i kriterijuma na osnovu kojih je ocenjivan kvalitet dobijenog sorbenata/energenta.

U okviru eksperimentalnih ispitivanja uzorci su najpre mehanički aktivirani, a potom je utvrđen njihov hemijski sastav, kao i fizičko-hemijska, morfološka i strukturna svojstva primenom odgovarajućih instrumentalnih metoda. Identifikacija aktivnih površinskih grupa urađena je primenom infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Za izvođenje kvantitativne mikrostrukturne analize i određivanje prosečne veličine kristalita korišćena je metoda difrakcije rendgenskog zračenja (XRD), a morfologija uzoraka je ispitivana metodama skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM). Poroznost i specifična površina materijala određivani su primenom Brunauer-Emmett-Teller (BET) metode, dok je termička degradacija uzoraka praćena odgovarajućim termogravimetrijskim analizama (TG, DTG, DTA). U radu je takođe korišćena energijsko-disperzivna rendgenska analiza (EDS).

Optimizacija procesa sorpcije bakra mehanički tretiranim košticama breskve urađena je za različite operativne parametre, dok je stepen uklanjanja jona bakra praćen atomskom adsorpcionom spektroskopijom (AAS). Kinetička analiza, izoterme i ravnoteža procesa kao i ispitivanje termodinamičkih veličina stanja sorpcije zasnovane su na eksperimentalnom planu koji se sastojao u variranju jednog parametra (koncentracije ili temperature) pri konstantnim optimizovanim vrednostima ostalih parametara sa vremenom.

Ispitivanje kinetike termičke degradacija biomase vršeno je na osnovu termičkih analiza uzoraka sprovedenih pri neizotermnim uslovima u atmosferi vazduha, u definisanom opsegu temperatura. Eksperimentalno dobijeni termogrami korišćeni su za modelovanje termičke degradacije primenom *model free* metoda, od kojih su najpoznatije Kissinger-ova metoda kao i dve izokonverzije metode: Flynn –Wall –Ozava (FWO) i Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) metoda.

Uporednom analizom kao i tumačenjem eksperimentalnih podataka dobijen je uvid u sorpciona i energetska svojstva ispitivanog otpadnog materijala *Prunus persica* L. Polazeći od teorijske osnove i načela primenjenih procesa i uočenih fenomena formulisana su zapažanja i doneti zaključci.

### 3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Tematika ove doktorske disertacije je savremena. Rezultati istraživanja proistekli iz ove doktorske disertacije imaju izuzetan doprinos kako u oblasti ispitivanja i karakterizacije otpadne LC biomase, tako i sa aspekta primene dobijenog sorbenta kao efikasnog materijala za uklanjanje jona bakra iz vodenih rastvora.

Mehanički modifikovane koštice breskve uspešno su korišćene u sorpciji jona bakra, pri čemu je optimizacijom operativnih reakcionih parametara, postignut visok sorpcioni kapacitet, koji ukazuje na razvoj novog, jeftinog i efikasnog sorbenta bakra iz vodenih rastvora. Hemijskom modifikacijom postignuto je poboljšanje sorpcionih karakteristika, koje se u prvom redu ogledaju u smanjenoj osetljivosti na promenu pH rastvora sorbata. Temeljni desorpcioni eksperimenti potvrdili su pozitivan uticaj kiselinog tretmana na sorpcione karakteristike KB, čime je ne samo potvrđena, već i opravdana mogućnost primene dobijenog sorbenta u više sorpciono-desorpcionih ciklusa. Osim toga, tokom hemijske modifikacije ili desorpcije, dolazi do smanjenja sadržaja metala u samom uzorku, čime se eliminiše problem koji se javlja tokom sagorevanja, a vezan je za prisustvo metala u otpadnoj biomasi. Na osnovu kinetičke analize termičke degradacije uspostavljeni su odnosi između brzine degradacije, stepena konverzije i temperature, što posebno doprinosi praktičnoj primeni ostvarenih rezultata. Kombinovanje procesa sorpcije na otpadnoj lignoceluloznoj biomasi, procesa desorpcije/modifikacije sorbenta i finalnog sagorevanja u cilju iskorišćenja energetskog potencijala biomase, daje mogućnost razvoja integrisanog postupka primene ovog tipa otpadnog materijala na održiv način, netoksičan po životnu sredinu.

Sve ovo je ukazalo na opravdanost ispitivanja u okviru ove doktorske disertacije, čime se rešava problem nekontrolisanog odlaganja ovakvog tipa otpada na otvorene deponije.

### 3.5 Ocena dostignutih sposobnosti kandidatkinje za samostalni naučni rad

Kandidat Zorica Lopičić, dipl. ing tehn. je u okviru izrade ove doktorske disertacije tokom pripreme i realizacije eksperimenata, analize i obrade dobijenih rezultata, 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 kandidatkinja poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

## **4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS**

### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati do kojih se došlo u okviru ove disertacije prvenstveno daju naučni doprinos proširenju fundamentalnih znanja u oblasti uticaja mehaničke aktivacije lignocelulozne biomase na kinetiku sorpcionih procesa, ali i sveobuhvatne primene otpadne lignocelulozne biomase poreklom iz prehrambene industrije u sorpcione i energetske svrhe.

Specifični naučni doprinosi rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije se ogledaju u:

- Uspostavljanju metodologije za održivo upravljanje otpadnom lignoceluloznom biomasom koja zaostaje u prehrambenoj industriji;

- Optimizovanju operativnih parametara procesa sorpcije jona bakra mehanički tretiranom otpadnom biomasom lignoceluloznog porekla;
- Proširenju saznanja u oblasti sorpcione kinetike i mehanizama sorpcione ravnoteže razmatranjem izosterične toplote sorpcije;
- Boljem razumevanju strukturnih, fizičko-hemijskih svojstava lignocelulozne biomase koja se dalje reflektuju na njene sorpcione i energetske karakteristike;
- Sticanju uvida u kvalitet dobijenih sorbenata u svetlu njihove dalje primene;
- Zatvaranje životnog ciklusa lignocelulozne otpadne biomase kroz njenu integralnu primenu kao sorbenta, efikasnu aktivaciju upotrebljenog sorbenta desorpcijom i termalnu degradaciju istrošenog sorbenta sa ciljem iskorišćenja energetskog potencijala.

#### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja kojima se bavi ova doktorska disertacija su koncipirana na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti iskorišćenja otpadnih materijala agroindustrije za izdvajanje zagađujućih materija (bakra) iz vodenih rastvora, na osnovu kojih je izvedena metodologija istraživanja primenjena tokom izrade ove doktorske disertacije. Može se primetiti da se dobijeni rezultati nadovezuju ili u značajnoj meri nadopunjuju postojeće literaturne navode. Prilikom izrade ove disertacije primenjen je veliki broj instrumentalnih tehnika kojima su analizirani sastav, strukturna i morfološka svojstva dobijenih uzoraka, ali je takođe primenjen veliki broj modela kojima su opisani ravnotežni procesi sorpcije, kao i kinetika sorpcije i termičke degradacije. Na osnovu dobijenih rezultata sagledana je i potencijalna primena detaljno okarakterisane otpadne lignocelulozne biomase, kojom bi se zaokružio njen životni ciklus i u potpunosti iskoristio sav sorpcioni i energetski potencijal. Može se konstatovati i da su korišćene metode u skladu sa savremenim metodama kao i da su dobijeni rezultati značajni ne samo sa naučnog, već i praktičnog aspekta.

#### 4.3 Verifikacija naučnih doprinosa

Rezultati proistekli iz ove disertacije potvrđeni su kroz objavljene radove u vrhunskim i međunarodnim časopisima, nacionalnim časopisima i saopštenjima na međunarodnim naučnim konferencijama. Iz rezultata ove doktorske disertacije proizašli su sledeći naučni radovi i saopštenja:

##### Rad u međunarodnim časopisima kategorije M20

Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti, M<sub>21a</sub>

1. **Zorica R. Lopičić**, Mirjana D. Stojanović, Tatjana S. Kaluđerović Radoičić, Jelena V. Milojković, Marija S. Petrović, Marija L. Mihajlović, Mirjana LJ. Kijevčanin (2017), Optimization of the process of Cu(II) sorption by mechanically treated *Prunus persica* L. - Contribution to sustainability in food processing industry, Journal of Cleaner Production, 156, 95-105, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.041> (IF(2015)=4,959 (5/50 Engineering, Environmental); ISSN 0959-6526)

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu, M<sub>21</sub>



1. **Zorica R. Lopičić**, Mirjana D. Stojanović, Smilja B. Marković, Jelena V. Milojković, Marija L. Mihajlović, Tatjana S. Kaluđerović Radoičić, Mirjana LJ. Kijevčanin (2016), Effects of different mechanical treatments on structural changes of lignocellulosic waste biomass and subsequent Cu(II) removal kinetics, Arabian Journal of Chemistry, In press, Corrected Proof, doi: 10.1016/j.arabjc.2016.04.00 (IF(2015)=3,613 (42/163, Chemistry, Multidisciplinary); ISSN 1878-5352)

Rad u međunarodnom časopisu, M<sub>23</sub>

1. **Zorica R. Lopičić**, Jelena V. Milojković, Tatjana D. Šoštarić, Marija S. Petrović, Marija L. Mihajlović, Časlav M. Lačnjevac, Mirjana D. Stojanović (2013), Uticaj pH vrednosti na biosorpciju jona bakra otpadnom lignoceluloznom masom koštice breskve, Hemijska Industrija 67 (6)1007–1015 <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0367-598X/2013/0367-598X1300018L.pdf> (IF(2015)=0,437 (118/135, Engineering, Chemical); ISSN 0367-598X)

Rad u međunarodnom časopisu koji se nalazi na KOBSONU ali nije kategorisan

- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Mirjana Kijevčanin, Lignocellulosic waste material – from landfill to sorbent and fuel (2017), European Journal of Sustainable Development, 6 (2) 193-200 doi:10.14207/ejsd.2017.v6n2p193 (ISSN 2239-5938)

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja kategorije M30

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja štampan u celini – M<sub>33</sub>

- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Tatjana Šoštarić, Marija Mihajlović, Jelena Avdalović, Agricultural waste materials as potential adsorbent for removing copper from water solutions, The 43rd international october conference on mining and metallurgy - IOC 2011, October 12-15, 2011, Kladovo, Serbia, Proceedings, p. 465-468. Ed. Desimir Marković, Dragana Živković, Svetlana Nestorović. ISBN 978-86-80987-87-3.
- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Mirko Grubišić, Jelena Avdalović, The effect of sorbate pH on biosorption of Cu(II) ions by wasted biomass, The 44th International October Conference On Mining And Metallurgy, October 1-3, 2012, Bor, Serbia, Proceedings, p.633-636, ISBN 978-86-7827-042-0
- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Jelena Milojković, Tatjana Šoštarić, Jelena Avdalović, Waste biomass-assisting agent in apatite fertilization, The 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, October 16-19, 2013, Proceedings, p.212-216, Ed. Nada Štrbac, Dragana Živković, Svetlana Nestorović, ISBN 978-86-6305-012-9
- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Jelena Avdalović, Mirjana Kijevčanin, Functional groups determination by FT-IR analysis, The 46<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy,

October 01-04, 2014, Bor, Serbia, p. 265-268. Ed. Nada Štrbac, Dragana Živković, ISBN 978-86-6305-026-6

- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Tatjana Šoštarić, Jelena Petrović, Influence of particle size on biosorption kinetic parameters, Eco-Ist'15, Ecological Truth, June 17-20,2015., Kopaonik, Serbia, Proceedings, p. 301-307. Ed. Radoje Pantović, ISBN 978- 86-6305-032-7
- **Zorica Lopičić**,Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Tatjana Šoštarić, Mirjana Kijevčanin, Effects of temperature on copper sorption by mechanically treated LCW particles, The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, September 28 - October 01, 2016, Bor Serbia, Proceedings, p. 245-248. Ed. Nada Štrbac, Dragana Živković. ISBN 978-86-8305-047-1
- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Petrović, Marija Mihajlović, Tatjana Šoštarić, Jelena Petrović, Application of Elovich equation in analysis of adsorption kinetics in Cu-LCW system, XXV International Conference "Ecological truth" ECO-IST '16, June 12-15, 2016, Vrnjačka Banja, Serbia, Proceedings, p. 223-229. Ed. Radoje V. Pantović, Zoran S. Marković, ISBN 978-86-6305-043-3

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja štampan u izvodu – M<sub>34</sub>

- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Mirjana Kijevčanin, Lignocellulosic waste material – from landfill to sorbent and fuel,4th International Conference on Sustainable Development, ICSD 2016, September 16 – 17, 2016, Rome, Italy,Book of abstracts, p.164, Ed. Pierangelo Magnini, ISBN 978-12-200-11-198
- **Zorica Lopičić**, Tatjana Šoštarić, Jelena Milojković, Jelena Petrović, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Mirjana Stojanović, Revalorization of food industry waste, Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, MME SEE 2017, June 01-03, 2017, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, p.56, Ed. Karlo Raić, Dragomir Glišić, ISBN 978-86-87183-39-2

Rad u časopisu nacionalnog značaja M<sub>52</sub>

- **Zorica Lopičić**, Mirjana Stojanović, Časlav Lačnjevac, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Tatjana Šoštarić (2011). The copper biosorption using unmodified agricultural waste materials, Zaštita materijala, 52 (3), 189-193. ISSN 0351-9465, COBISS.SR-ID 4506626 [http://www.sitzam.org.rs/zm/2011/No3/ZM\\_52\\_3\\_189.pdf](http://www.sitzam.org.rs/zm/2011/No3/ZM_52_3_189.pdf)

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu izloženog materijala može se zaključiti da doktorska disertacija kandidatkinje Zorice Lopičić, dipl. ing, pod naslovom „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.” predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u oblasti izučavanja fenomena sorpcije na lignoceluloznoj biomasi, kao i karakterizacije sadržanog energetskog potencijala. Originalnost doktorske disertacije kandidatkinje je potvrđena objavljivanjem više radova u časopisima međunarodnog značaja. Postavljeni predmet i ciljevi doktorske disertacije u potpunosti su ostvareni, na osnovu čega Komisija iznosi svoje mišljenje da doktorska disertacija pod nazivom „Proučavanje sorpcionog i energetskog potencijala otpadne biomase *Prunus persica* L.” u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume, kao i da je kandidatkinja tokom izrade disertacije pokazao samostalnost i originalnost u naučno-istraživačkom radu.

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih i prikazanih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj Referat, pruži na uvid javnosti podnetu doktorsku disertaciju kandidatkinje Zorice Lopičić, dipl. ing, u zakonom predviđenom roku, kao i da Referat uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu i da nakon završetka procedure pozove Kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

Beograd, 20.06.2017.

### ČLANOVI KOMISIJE

.....  
Dr **Mirjana Kijevčanin**, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....  
Dr **Tatjana Kaluderović-Radojičić**, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....  
Dr **Ivona Radović**, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....  
Dr **Mirjana Stojanović**, naučni savetnik  
Institut za tehnologiju nukleranih i drugih mineralnih  
sirovina, Beograd

.....  
Dr **Jelena Milojković**, naučni saradnik  
Institut za tehnologiju nukleranih i drugih mineralnih  
sirovina, Beograd