

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

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Jelene Petrović, master hemičara.

Odlukom br 35/643 Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, od 29.12.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Jelene Petrović, master hemičara, pod nazivom:

„Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročadi“

Komisija je pregledala doktorsku disertaciju i podnosi Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1 Hronologija odobravanja i izrade disertacije

22.03.2016. – Kandidat Jelena Petrović, master hemičar, predložio je temu doktorske disertacije pod nazivom: „Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročadi“.

14.04.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/159 o imenovanju Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Jelene Petrović, master hemičara, za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročadi“.

26.05.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/256 o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata i odobravanju izrade doktorske disertacije Jelene Petrović, master hemičara, pod nazivom: „Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročadi“, a za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Mila Laušević, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

30.06.2016. – Na sednici Veća naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Jelene Petrović, master hemičara, Odluka br. 61206-3209/2-16, pod nazivom: „Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročadi“.

29.12.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/643 o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Jelene Petrović, master hemičara, pod nazivom: „Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročađi“.

1.2 Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemijske nauke, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet, Univerziteta u Beogradu. Za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Mila Laušević, 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 kandidatu

Jelena Petrović, master hemičar, rođena je 16 aprila 1987. godine u Šapcu. Osnovnu školu i gimnaziju završila je u Šapcu. Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Univerziteta u Novom Sadu, upisala je školske 2006/2007. godine, odsek Opšta hemija. Diplomirala je 2010. godine i upisala Master studije na katedri za Analitičku hemiju školske 2010/2011. Master studije je završila 2011. godine odbranom master rada pod nazivom “Primenljivost elektrode na bazi srebro-amalgama za voltometrijsko proučavanje odabranih fotokatalitičkih sistema za razgradnju imidakloprida”, ocenom 10.

Doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, studijski program Hemija, upisala je školske 2012/2013. godine.

Tokom kratkog perioda u 2013. godini je radila u kompaniji Hemofarm STADA A. D. Od avgusta 2013. godine zaposlena je u Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina u Laboratoriji za hemijska ispitivanja. Od avgusta 2013. godine Jelena Petrović je angažovana na projektu u oblasti tehnološkog razvoja finasiranom od strane Ministarstva za nauku, prosvetu i tehnološki razvoj Republike Srbije (TR 31003): "Razvoj tehnologija i proizvoda na bazi mineralnih sirovina i otpadne biomase u cilju zaštite resursa za proizvodnju bezbedne hrane". U zvanje istraživač saradnik izabrana je u aprilu 2014. godine.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1 Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Jelene Petrović pod naslovom „Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročađi ” napisana je na 171 strani A4 formata (sa proredom 1,5) i sadrži 18 tabela i 43 slike. Tekst disertacije obuhvata sledeća poglavlja: Uvod i teorijski deo (55 strana), Eksperimentalni deo (20 strana), Rezultate i diskusiju (52 strane), Zaključna razmatranja (4 strane), Zaključak (1 strana), Literaturu (173 literaturna navoda, 16 strana), Prilog (4 strane), Radove proistekle iz doktorske disertacije (1 strana) i kratku Biografiju autora. Pored toga, postoji Izvod na srpskom i engleskom jeziku (po 2 strane), Spisak skraćenica (2 strane), Sadržaj i Zahvalnica. Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde Univerziteta u Beogradu za doktorsku disertaciju.

2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U *Uvodu* je dat osvrt na oblast istraživanja, predmet i cilj ove doktorske disertacije, koji podrazumevaju optimizaciju procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i izbor hidročađi sa najboljim adsorpcionim kapacitetom za uklanjanje jona olova iz vodenih rastvora. Istaknut je značaj konverzije otpadne biomase postupkom hidrotermalne karbonizacije i ukratko je predstavljen plan istraživanja.

Teorijski deo disertacije je podeljen na šest tematskih celina: Biomasa, Metode termohemijske konverzije biomase, Hidrotermalna karbonizacija, Adsorpcija kao fizičko-hemijski proces, Olovo u životnoj sredini i Komina grožđa.

- Prva celina sadrži podcelinu: Struktura lignocelulozne biomase u okviru koje je dat kratak prikaz strukture osnovnih gradivnih jedinica lignocelulozne biomase.
- Druga celina obuhvata metode termohemijske konverzije biomase kojom su opisane do sada korišćene metode u cilju proizvodnje električne i toplotne energije iz otpadnih biomaterijala. Istaknuti su glavni proizvodi ovih konverzija, kao i pojedini nedostaci njihovih primena.
- Treća celina sadrži pet delova: Mehanizmi hidrotermalne degradacije, Uticaj procesnih parametara, Prednosti HTC procesa, Proizvodi HTC procesa i Mogućnosti primene hidročađi. U okviru trećeg dela opisan je mehanizam degradacije i konverzije biomase tokom hidrotermalnog procesa. Takođe je detaljno opisan uticaj procesnih parametara od kojih zavise fizičko-hemijske karakteristike i struktura dobijenih proizvoda. U ovom delu su istaknute i prednosti HTC procesa u odnosu na tradicionalne načine konverzije biomase u ugljenične proizvode, a samim tim i opravdanost njene primene. Dat je detaljan opis proizvoda koji nastaju ovom konverzijom i njihove karakteristike, kao i potencijalna primena istih sa posebnim osvrtom na primenu hidročađi kao adsorbensa.
- Četvrta celina sadrži četiri dela: Adsorpcija na čvrstoj fazi, Adsorpcione izoterme, Kinetika adsorpcionog procesa i Termodinamika adsorpcionog procesa. Ovom celinom omogućen je detaljan uvid u proces adsorpcije, kroz analizu različitih modela izoterma, kao i kinetičkih i termodinamičkih modela.
- Peta celina se odnosi na Olovo u životnoj sredini, kojom je istaknut problem zagađenosti voda ovim teškim metalom.
- Šesta celina (Komina grožđa) se odnosi na proizvodnju i preradu grožđa u Srbiji, ali i otpad u vidu komine koji ovom preradom nastaje. Ovom celinom dat je prikaz strukture komine grožđa i istaknut problem njenog nekontrolisanog odlaganja.

Eksperimentalni deo sadrži plan eksperimentalnog rada i dve celine: Materijali i Metode. Planom eksperimentalnog rada prikazana je metodologija ispitivanja konverzije komine grožđa HTC postupkom i primena dobijene hidročađi za uklanjanje jona olova iz vodenih rastvora. U okviru Materijala opisana je priprema komine grožđa, postupak njene hidrotermalne karbonizacije, priprema alkalno modifikovane hidročađi i radnih rastvora koji su korišćeni za ispitivanje adsorpcionog procesa. U okviru Metoda su sumirani i detaljno opisani svi postupci kojima je vršena karakterizacija čvrstih i tečnih proizvoda dobijenih hidrotermalnom karbonizacijom komine grožđa. Ovom celinom su opisani i svi laboratorijski eksperimenti izvođeni u šaržnom sistemu kojima je ispitivan proces adsorpcije jona olova primenom izabrane hidročađi pre i posle njene alkalne modifikacije, i na osnovu kojih je izveden zaključak o mehanizmu vezivanja jona olova.

Poglavlje *Rezultati i diskusija* sastoji se iz tri celine: Karakterizacija hidročađi, Karakterizacija procesne vode i Uklanjanje Pb^{2+} jona primenom dobijenih hidročađi. U okviru ovog poglavlja su prikazani i detaljno analizirani dobijeni rezultati.

- U prvoj celini su prikazani i objašnjeni rezultati koji se odnose na fizičko-hemijsku i morfološku karakterizaciju dobijenih hidročađi. Prikazani su rezultati prinosa dobijenih hidročađi, elementarne analize u okviru koje i toplotna moć hidročađi, sadržaj vlage, isparljivih materija, vezanog ugljenika, pepela i sadržaja ispitivanih neorganskih elemenata. Termička stabilnost komine grožđa i dobijenih hidročađi, kao i promene karakteristika materijala u zavisnosti od temperature karbonizacije utvrđene su metodom termogravimetrije (TGA) sa diferencijalnom termogravimetrijom (DTA). Morfološke karakteristike materijala ispitane su metodom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM), dok su strukturne promene nastale usled hidrotermalne karbonizacije ispitane metodama infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR) i bliskom infracrvenom spektroskopijom (NIR). Kako bi se što bolje utvrdila i istakla korelacija između primenjene temperature karbonizacije i strukturnih promena u hidročađima, rezultati dobijeni FTIR i NIR analizama su statistički obrađeni i prikazani kroz analizu glavnih komponenti (PCA) i parcijalnu regresiju najmanjih kvadrata (PLSR). Promene do kojih dolazi nakon hidrotermalne karbonizacije komine grožđa ukazuju da sa povećanjem reakcione temperature dolazi do veće degradacije strukturnih vlakana komine grožđa, dok u dobijenim hidročađima raste sadržaj ugljenika, poboljšavaju se gorivne karakteristike hidročađi i istovremeno raste aromatičnost.
- U drugoj celini je prikazana karakterizacija procesnih voda i diskusija dobijenih rezultata. Izvršena je analiza sadržaja neorganskih elemenata, spektroskopska analiza primenom FTIR metode, urađeni su antioksidativni testovi koji podrazumevaju analizu ukupnog antioksidativnog kapaciteta, ukupnog sadržaja antocijana i ukupnog sadržaja fenola, kao i sadržaj pojedinačnih organskih komponenti i kiselina metodom tečne hromatografije visokih performansi sa masenim i DAD detektorom. Dobijeni rezultati pokazuju da sa porastom temperature karbonizacije dolazi do veće degradacije polisaharida iz komine grožđa, čiji su fragmenti prisutni u procesnoj vodi, takođe se poboljšava ekstrakcija polifenolnih komponenti, dok se sadržaj antocijana smanjuje.
- U trećoj celini prikazani su i prodiskutovani rezultati ispitivanja procesa adsorpcije Pb^{2+} jona iz vodenih rastvora primenom izabrane hidročađi pre i posle alkalne modifikacije 2M rastvorom kalijum-hidroksida. Ispitani su operativni parametri koji utiču na proces adsorpcije: pH vrednost rastvora, masa adsorbensa, inicijalna koncentracija Pb^{2+} jona u rastvoru, vreme kontakta i temperatura. Eksperimentalni rezultati obrađeni su Lengmirovim, Frojndlihovim i Sipsovim modelom izoterma i kinetičkim modelima pseudo-prvog, pseudo-drugog reda i modelom međučestične difuzije. Pored toga određena je tačka nultog naelektrisanja obe hidročađi (modifikovane i nemodifikovane), kao i karakterizacija pre i posle vezivanja Pb^{2+} jona skenirajućom elektronskom mikroskopijom sa energetski disperzionim sistemom (SEM-EDX) i infracrvenom spektroskopijom sa Furijeovom transformacijom (FTIR). Na osnovu dobijenih rezultata predstavljeni su mehanizmi odgovorni za proces adsorpcije jona olova na alkalno modifikovanoj hidročađi.

U poglavlju *Zaključna razmatranja* su sumirani zaključci proistekli iz rada na ovoj doktorskoj disertaciji.

U poglavlju *Zaključak* je izveden generalni zaključak na osnovu svih sumiranih rezultata.

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

Disertacija sadrži još i kratku biografiju kandidata, spisak naučnih radova proisteklih iz doktorske disertacije, izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1 Savremenost i originalnost

Mnoge zemlje otpadnu biomasu odlažu na otvorene deponije, čime se zagađuje životna sredina, umesto da bolje iskoriste njen potencijal kao obnovljivog izvora energije i perspektivne sirovine. Doduše, pojedina otpadna biomasa se danas u manjem obimu koristi kao biogorivo dobijeno tradicionalnim postupcima konverzije, kao što su gasifikacija i piroliza. Međutim direktno sagorevanje vlažne biomase snižava temperaturu gorenja i povećava emisiju CO₂, što dovodi do povećanja efekta staklene bašte i zagađenja vazduha. Osim toga, biomasu je potrebno prethodno osušiti, što dodatno poskupljuje proces konverzije. Zbog toga se poslednjih godina, naučna javnost sve više okreće ka ispitivanju novih, ekološki unapređenih tehnologija prerade otpadne biomase sa akcentom na dizajniranje proizvoda nove upotrebne vrednosti. Jedan od aktuelnih procesa je postupak hidrotermalne karbonizacije (HTC). Glavna prednost HTC je konverzija biomase sa visokim sadržajem vode, bez potrebe sušenja. Ovaj termohemijski proces konvertuje biomasu u čvrsti, ugljenikom bogat proizvod (hidročadž). Hidročadž se može koristiti kao izvor energije, adsorbens organskih i neorganskih polutanata, đubrivo, sredstvo za poboljšanje zemljišta, i dr. Pored hidročadi pri HTC procesu generišu se veće količine procesne vode, bogate fenolnim komponentama i rastvorenim organskim fragmentima. Implementacija ove tehnologije pruža veliki potencijal zemljama u razvoju u domenu upravljanja industrijskim i komunalnim otpadom i rešavanja njegovog nekontrolisanog odlaganja sa trajnim posledicama na životnu sredinu.

U Srbiji se godišnje proizvede oko 430.000 tona grožđa koje se uglavnom koristi u industrijskoj proizvodnji vina. Najveći problem vinarske industrije predstavlja generisanje otpada-komine (peteljke, semenke i ljuska), koji čini 20-25% od ukupne količine ulazne sirovine. Ukoliko se komina grožđa ne tretira propisno, može predstavljati rizik za okolinu, pa je u vinarskoj industriji neophodna sanacija ovog otpada. Poslednjih godina predložen je niz različitih metoda sanacije, koje pored svojih dobrih karakteristika imaju i izvesne nedostatke. Stoga je značajno razviti nove metode konverzije i na taj način poboljšati i ekonomski bilans proizvodnje vina. Budući da je HTC efikasan način konverzije biomase, može se zaključiti da je komina grožđa sa svojih 60% vlage idealna sirovina za primenu ovog tretmana.

U okviru doktorske disertacije Jelene Petrović, master hemičara, pod nazivom „**Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročadi**”, po prvi put je vršena optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa u cilju dobijanja proizvoda konverzije sa najboljim karakteristikama za dalju primenu. Ispitana je primena dobijenih hidročadi kao adsorbensa olova iz vodenih rastvora. Hidročadž sa

najboljim adsorpcionim karakteristikama dodatno je alkalno modifikovana i korišćena za detaljne adsorpcione eksperimente. Ustanovljeno je da se ovaj materijal može efikasno primeniti za uklanjanje olova iz vodenih rastvora.

3.2 Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao literaturu vezanu za različite termohemijske načine konverzije biomase, proces hidrotermalne karbonizacije, problem zagađenosti otpadnih voda olovom i adsorpcioni proces, sa posebnim osvrtom na adsorpcione mehanizme. Pregledana je obimna literatura koja se odnosi na postupak i mehanizme hidrotermalne konverzije, uklanjanje jona metala iz vodenih rastvora upotrebom ugljeničnih materijala i agro-industrijskog otpada, kao i literatura koja se odnosi na različite instrumentalne metode za karakterizaciju dobijenih proizvoda konverzije i materijala krišćenih za adsorpcione procese. U doktorskoj disertaciji su citirane ukupno 173 reference. Iz popisa literature koja je korišćena u istraživanju, od čega je većina radova novijeg datuma, kao i objavljenih radova kandidata Jelene Petrović može se uočiti da kandidat 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 okviru doktorske disertacije Jelene Petrović, master hemičara, za realizaciju predloženog ispitivanja korišćena je kombinacija detaljne analize prethodno objavljenih literaturnih podataka, teorijske analize i eksperimentalnih ispitivanja.

U okviru eksperimentalnih ispitivanja komina grožđa je hidrotermalno karbonizovana na tri različite temperature, nakon čega su utvrđena fizičko-hemijska svojstva dobijenih hidročađi i procesnih voda primenom odgovarajućih analitičkih metoda. Karakterizacija komine grožđa i dobijenih hidročađi izvršena je hemijskom i tehničkom analizom (određivanje prinosa, sadržaja vlage, pepela, isparljivih materija, vezanog ugljenika, elementarnog sastava i pojedinih neorganskih elemenata). Elementarni sastav je određen elementarnim analizatorom, dok je sadržaj neorganskih elemenata određen metodom atomske apsorpcione spektrometrije (AAS). Morfološke i strukturne karakteristike su ispitane skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM), dok su promene fizičkih i hemijskih osobina otpadne biomase i hidročađi u zavisnosti od temperature ispitane metodom termogravimetrije sa diferencijalnom termijskom analizom (TGA/DTA). Promene funkcionalnih grupa na površini ispitane su metodama infracrvene spektroskopije sa Furijeovom transformacijom (FTIR) i bliskom infracrvenom spektroskopijom (NIR). Na rezultate FTIR i NIR analiza primenjena je statistička obrada podataka PCA i PLSR metodama, u cilju što bolje korelacije karakterističnih IR traka u ispitivanim uzorcima sa temperaturom karbonizacije. Pored toga, karakterizacije površina aktivirane i neaktivirane hidročađi pre i posle adsorpcije su izvršene SEM-EDS i FTIR tehnikama, dok je sadržaj olova u vodenim rastvorima pre i posle uklanjanja određen AAS metodom.

Fizičko-hemijske karakteristike procesnih voda dobijenih hidrotermalnom karbonizacijom komine grožđa na različitim temperaturama određene su primenom AAS i FTIR metoda. Pojedine organske komponente su detektovane tečnom hromatografijom visokih performansi sa masenim detektorom (HPLC-MS). Antioksidativna aktivnost procesne vode, ukupni sadržaj antocijana i ukupni fenoli su određeni spektrofotometrijskom (UV-VIS) metodom.

Ispitan je proces adsorpcije jona olova iz vodenih rastvora primenom hidročađi sa najboljim adsorpcionim kapacitetom, pre i posle njene alkalne modifikacije. Izvršena je analiza i obrada eksperimentalnih rezultata i izbor modela koji najbolje opisuju proces adsorpcije jona olova na alkalno modifikovanoj hidročađi. Metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) određen je sadržaj ispitivanog elementa u vodenim rastvorima pre i posle procesa adsorpcije.

Uporednom analizom i tumačenjem dobijenih eksperimentalnih rezultata dobijen je uvid u uticaj temperature hidrotermalne karbonizacije na strukturu i karakteristike proizvoda, mogućnost upotrebe hidročađi komine grožđa za uklanjanje jona olova iz vodenih rastvora, dok je alkalnom (primenom kalijum-hidroksida) modifikacijom značajno poboljšana adsorpciona kapacitet. Polazeći od teorijske osnove i dobijenih rezultata formulisana su zapažanja i doneti zaključci.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Tematika ove doktorske disertacije je veoma aktuelna i savremena. Rezultati dobijeni tokom izrade ove teze imaju veliki značaj kako sa aspekta ispitivanja i karakterisanja biomase i proizvoda hidrotermalne karbonizacije, tako i sa aspekta primene hidročađi komine grožđa kao efikasnog materijala za uklanjanje jona olova iz vodenih rastvora.

Proces hidrotermalne karbonizacije se pokazao kao izuzetno pogodan za tretman vlažne, otpadne komine grožđa iz vinarske industrije, pri čemu se dobijaju proizvodi široke upotrebne vrednosti i obezbeđuje održivo upravljanje ovom otpadnom biomasom. Prilagođavanjem reakcionih parametara, omogućen je razvoj novog, jeftinog i efikasnog adsorbensa olova iz vodenih rastvora na bazi hidročađi od komine grožđa, dok je alkalnom modifikacijom obezbeđeno višestruko poboljšanje njegovih adsorpcionih karakteristika. Ovo potvrđuje opravdanost ispitivanja u okviru ove doktorske disertacije i ukazuje na ekonomsku isplativost predložene konverzije otpadne biomase HTC postupkom, kao i rešavanje problema nekontrolisanog odlaganja ovog otpada u vinarskoj industriji. Pored toga, rezultati postignuti za uklanjanje jona olova iz vodenih rastvora pokazuju da hidročađ komine grožđa predstavlja perspektivan adsorbens metala iz vodenih rastvora sa potencijalom za dalju primenu u tretmanu otpadnih voda.

3.5 Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Jelena Petrović je tokom izrade doktorske disertacije koja podrazumeva pripremu i realizaciju eksperimenata, analizu i obradu dobijenih rezultata, pokazala stručnost, kreativnost i sistematičnost. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Ispitivanja u okviru ove disertacije imala su za cilj konverziju otpadne komine grožđa postupkom hidrotermalne karbonizacije i primenu dobijene hidročađi za adsorpciju jona olova iz vodenih rastvora. Specifični naučni doprinosi rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije se ogledaju u:

- Održivom upravljanju otpadnom biomasom iz vinarske industrije i zatvaranju životnog ciklusa proizvoda;
- Razvoju nove tehnologije konverzije otpadne biomase u Srbiji;
- Ispitivanje uticaja različite temperature konverzije na karakteristike čvrstih (hidročad) i tečnih proizvoda (procesna voda) ovog procesa, u cilju dobijanja materijala široke upotrebne vrednosti;
- Razvoju novog, efikasnog, ekonomski isplativog adsorbensa teških metala iz vodenih rastvora na bazi hidročadi komine grožđa;
- Definisaniu ključnih parametara za primenu hidročadi i alkalno modifikovane hidročadi za uklanjanje jona olova;
- Definisaniu tipa mehanizama preko kojih joni olova reaguju sa adsorbensima.

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 konverzije biomase postupkom hidrotermalne karbonizacije i adsorpcije teških metala iz vodenih rastvora. U okviru ove disertacije je primenjena metodologija istraživanja dostupna u literaturi ali je po prvi put optimizovan proces hidrotermalne karbonizacije komine grožđa, detaljno karakterisani dobijeni čvrsti i tečni proizvodi i primenjena izabrana hidročađ kao adsorbens za uklanjanje jona olova iz vodenih rastvora. Izabrana hidročađ je alkalno modifikovana primenom 2M rastvora kalijum-hidroksida, kako bi se dodatno poboljšao njen adsorpcioni kapacitet. Na osnovu rezultata dobijenih u eksperimentalnom delu rada izvedeni su odgovarajući zaključci značajni za optimizaciju procesa u cilju dobijanja hidročadi sa određenim karakteristikama za dalju primenu, kao i objašnjenje mehanizama adsorpcije jona olova na alkalno modifikovanoj hidročadi.

Sagledavanjem ciljeva i postavljenih hipoteza u odnosu na dobijene rezultate, može se konstatovati da prikazana istraživanja u potpunosti zadovoljavaju kriterijume jedne doktorske disertacije. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti, kao i u rezultate koji su dobijeni primenom adekvatne metodologije, može se konstatovati da su korišćene metode u skladu sa savremenim metodama i da su rezultati u ovoj doktorskoj disertaciji 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 međunarodnim časopisima, vodećem nacionalnom časopisu i saopštenjima na međunarodnim naučnim konferencijama. Iz rezultata ove doktorske disertacije proizašli su sledeći naučni radovi i saopštenja:

1. Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu M₂₁

- **Jelena Petrović**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Petrović, Tatjana Šošćarić, Mila Laušević, Marija Mihajlović (2016) *Alkali modified hydrochar of grape pomace as a perspective adsorbent of Pb²⁺ from aqueous solution*, Journal of Environmental Management, 182, 292-300. (IF(2016)=3,131 (42/225); ISSN 0301-4797)
- **Jelena Petrović**, Nebojša Perišić, Jelena Dragišić Maksimović, Vuk Maksimović, Milan Kragović, Mirjana Stojanović, Mila Laušević, Marija Mihajlović (2016)

Hydrothermal conversion of grape pomace: Detailed characterization of obtained hydrochar and liquid phase, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 118, 267-277. (IF(2016)=3,652 (5/43); ISSN 0165-2370)

2. Rad u časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom M₂₄

- Marija Mihajlović, **Jelena Petrović**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Zorica Lopičić, Marija Koprivica, Časlav Lačnjevac (2016) *Hydrochars, perspective adsorbents of heavy metals: A review of the current state of studies*, Zaštita materijala, 57 (3), str. 488-495. (UDC 628.316.12:546.562, ISSN 0351-9465)
- **Jelena Petrović**, Marija L. Mihajlović, Mirjana D. Stojanović, Marija R. Stanojević, Marija S. Petrović, Jelena V. Milojković, Časlav M. Lačnjevac (2015) *Održiva konverzija otpadne biomase primenom postupka hidrotermalne karbonizacije*, Zaštita materijala, 56 (2), str. 206-213. (UDC 628.316.12:546.562, ISSN 0351-9465)

3. Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini M₃₃

- **Jelena Petrović**, Mirjana Stojanović, Jelena Milojković, Marija Petrović, Zorica Lopičić, Tatjana Šoštarić, Marija Mihajlović (2016) *Biosorption of Cu²⁺ from aqueous solution by hydrochar of grape pomace*, Natural resources, green technology and sustainable development-GREEN/2, 05-07. Oktobar, Zagreb, Hrvatska, Org.: Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatski šumarski institut, Urednici: Ivana Radojčić Redovniković, Kristina Radošević, Tamara Jakovljević, Renata Stojaković, Dina Erdec Hendrih, ISBN 978-953-6893-08-9, str. 80-90.

4. Saopštenja sa međunarodnog skupa štampano u izvodu M₃₄

- **Jelena Petrović**, Marija Mihajlović, Mirjana Stojanović, Marija Petrović, Marija Koprivica, Zorica Lopičić, Tatjana Šoštarić (2016) *Uticaj temperature hidrotermalne konverzije komine grožđa na karakteristike proizvoda*. IV Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent dr Milena Dalmacija“, 01-02. April, Novi Sad, Srbija, Org.: Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Gl. urednik: prof. dr Srđan Rončević, ISBN 978-86-7031-412-2, str. UO-1-UO-2.
- **Jelena Petrović**, Mirjana Stojanović, Marija Mihajlović, Zorica Lopičić, Jelena Milojković, Marija Petrović, Tatjana Šoštarić (2014) *Hidrotermalna karbonizacija otpadne biomase*, Međunarodna naučna konferencija: Održiva privreda i životna sredina, 23-25. April, Beograd, Srbija, Org.: Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije: „Ecologica“, Gl. urednik: prof. dr Larisa Jovanović, ISBN 978-86-89061-05-5, str. 156.

5. Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja M₅₁

- **Jelena Petrović**, Mirjana Stojanović, Marija Mihajlović, Zorica Lopičić, Jelena Milojković, Marija Petrović, Tatjana Šoštarić (2014) *Hidrotermalna karbonizacija otpadne biomase*, Održiva privreda i životna sredina-Ecologica, Beograd 2014., ISSN 0354-3285, str. 255-259.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu izloženog materijala se može zaključiti da doktorska disertacija kandidata Jelene Petrović, master hemičara, pod naslovom „**Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročađi**” predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u oblastima termohemijske konverzije biomase i adsorpcije jona teških metala iz vodenih rastvora primenom hidročađi. U okviru ove disertacije, izvršena je optimizacija postupka hidrotermalne karbonizacije komine grožđa, karakterizacija dobijenih proizvoda, kao i ispitivanje adsorpcije jona olova iz vodenih rastvora primenom izabrane hidročađi pre i posle modifikacije 2M rastvorom kalijum-hidroksida. Hidročađ komine grožđa je prvi put primenjena za uklanjanje teških metala iz njihovih vodenih rastvora u ovoj doktorskoj disertaciji. Disertacija doprinosi razvoju nove tehnologije konverzije otpadne biomase u Srbiji, kao i dobijanju novog, efikasnog, adsorbensa teških metala iz vodenih rastvora na bazi hidročađi komine grožđa. Rezultati istraživanja sadržani u ovoj doktorskoj disertaciji su do sada valorizovani u dva rada publikovana u vrhunskim međunarodnim časopisima (M₂₁), dva rada u časopisima međunarodnog značaja verifikovanih posebnom odlukom (M₂₄), jednim radom publikovanim u vodećem nacionalnom časopisu (M₅₁), jednim saopštenjem sa skupa međunarodnog značaja štampanim u celini (M₃₃) i dva saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u izvodu (M₃₄).

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da podnetu doktorsku disertaciju Jelene Petrović, master hemičara, pod naslovom „**Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđa i primena dobijene hidročađi**” prihvati, izloži na uvid javnosti i nakon isteka zakonom predviđenog roka uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu, te da nakon završetka ove procedure pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred komisijom u istom sastavu.

Beograd, 13.02.2017.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Mila Laušević, redovni profesor u penziji
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marija Mihajlović, naučni saradnik
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Dr Aleksandra Perić-Grujić, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Tatjana Đurkić, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Mirjana Stojanović, naučni savetnik
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd