

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FAKULTETA ZA FIZIČKU HEMIJU**

**Predmet:** Izveštaj komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije studenta doktorskih studija **Aleksandre (Mihail) Tasić**

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju, sa IX redovne sednice održane 16. 06. 2016. god., imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Aleksandre (Mihail) Tasić, pod naslovom:

**„Unapređenje metoda ekstrakcije i određivanja konstituentnih i zagađivačkih elemenata u uglju i elektrofilterskom pepelu”**

Kandidat Aleksandra (Mihail) Tasić, diplomirani hemičar i diplomirani fizikohemičar-master, i student na doktorskim studijama Fakulteta za fizičku hemiju, je temu pod navedenim naslovom prijavila na Fakultetu za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu 12. 11. 2013. godine. Ova tema je odobrena odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju na IV redovnoj sednici, održanoj 16.01.2014. godine. Na osnovu te odluke Veće naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu je 30.01.2014. god. dalo saglasnost da se prihvati predložena tema doktorske disertacije.

Aleksandra Tasić je položila sve planom i programom predviđene ispite na doktorskim studijama i urađenu doktorsku disertaciju predala je Fakultetu za fizičku hemiju. Nakon pregleda i analize ove disertacije podnosimo Veću sledeći

**I Z V E Š T A J**

**A. Prikaz sadržaja doktorske disertacije**

Doktorska disertacija Aleksandre Tasić je napisana na 155 strana formata A4, sa proredom 1,5. Podeljena je u 7 delova i sadrži 48 slika (od čega 45 kao rezultat istraživanja kandidata), 32 tabele (od čega je 19 sa sopstvenim rezultatima) i 187 literaturnih navoda. Disertacija sadrži sledeća poglavlja: *Uvod* (jedna strana), *Teorijski deo* (65 strana), *Predmet i cilj istraživanja* (1 strana), *Eksperimentalni deo* (6 strana), *Rezultati i diskusija* (69 strana), *Zaključak* (3 strane), *Literatura* (10 strana), *Biografija autora sa spiskom radova* (3 strane), kao i: *Naslovnu stranu na srpskom jeziku,*

*Naslovnu stranu na)na engleskom jeziku, Stranu sa informacijama o mentorima i članovima komisije, Stranu sa podacima o doktorskoj disertaciji na srpskom jeziku, Stranu sa podacima o doktorskoj disertaciji na engleskom jeziku, Sadržaj, Izjavu o autorstvu, Izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada, Izjavu o korišćenju.*

U delu *Rezime*, na srpskom i engleskom jeziku, predstavljeni su problematika kojom se disertacija bavi i najvažniji zaključci.

U poglavljima *Uvod* i *Predmet i Cilj istraživanja* ukratko je opisana aktuelnost problematike koja je bila predmet istraživanja kao i cilj doktorske disertacije.

U poglavlju *Teorijski deo* je dat prikaz nastanka i klasifikacije uglja, sa posebnim osvrtom na lignit Kostolačkog basena i na mineralne primese uglja, klasifikaciji pepela poreklom iz termoelektrana, kao i prikaz faktora koji utiču na ispiranje elemenata iz uglja i pepela i uticaj na životnu sredinu. U ovom delu rada dat je i pregled metoda i tehnika za ekstrakciju konstituentnih i zagađivačkih elemenata iz uzoraka uglja i pepela: predstavljene su mehanička, ultrazvučna i mikrotalasna ekstrakcija anjona i katjona iz ispitivanih materijala, kao i sekvencijalna ekstrakcija katjona vezanih za određene faze materijala. Takođe, prikazane su tehnike i metode analize katjona i anjona ekstrahovanih iz uglja i pepela, koje su u istraživanju i korišćene: jonoizmenjivačka hromatografija i induktivno spregnuta plazma – optička emisiona spektrometrija.

U poglavlju *Eksperimentalni deo* su opisani metodologija i procedura rada, uslovi merenja, kao i korišćeni aparati, pribori i materijali. Prikazana je detaljna procedura i uslovi izvođenja mehaničke, ultrazvučne, mikrotalasne i sekvencijalne ekstrakcije.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* su prikazani i diskutovani rezultati do kojih je u svom radu kandidat došao: jednostepena mehanička, ultrazvučna i mikrotalasna ekstrakcija anjona i katjona iz uzoraka uglja i elektrofilterkog pepela, modifikovana mikrotalasna sekvencijalna ekstrakcija katjona iz uglja i elektrofilterkog pepela, kao i validacija primenjenih metoda ekstrakcije i analize korišćenjem referentnih materijala. Mehanizmi i uslovi ekstrakcije su detaljno proučeni i diskutovani. Ovde su komentarisani i objašnjeni eksperimentalno dobijeni rezultati, koji su sumirani u delu *Zaključak*.

U delu *Literatura* je dat spisak citiranih radova.

Na kraju doktorske disertacije je prikazana *Biografija sa Spiskom radova* koji su objavljeni iz dela rezultata sprovedenih istraživanja.

## **B. Opis postignutih rezultata**

Istraživanja u okviru ove disertacije koncipirana su s ciljem da se pronađu naučno i stručno primenljiva rešenja za unapređenje metoda ekstrakcije elementa iz uglja i elektrofilterkog pepela. Istraživanja obuhvataju primenu mehaničke, ultrazvučne i mikrotalasima potpomognute ekstrakcije u cilju za određivanja konstituentnih i

zagađivačkih elemenata, kao i razvoj modifikovane mikrotalasne sekvencijalne ekstrakcione procedure. Naučni cilj doktorske disertacije bio je usmeren unapređenju metoda ekstrakcije i što potpunijem određivanju dostupnih, mobilnih elemenata iz odgovarajućih matriksa koji usled dejstava različitih izvora energija, a simuliranjem uslova životne sredine bivaju dostupni. Paralelnim ispitivanjem i određivanjem koncentracija elemenata potvrđena je pouzdanost instrumentalnih metoda kao i efikasnost primenjenih ekstrakcionih metoda. Sva ispitivanja imaju za krajnji cilj da se pronađu ekonomičnije i efikasnije alternative za skladištenje pepela na deponijama i izračunavanja potencijalnog zagađenja iz uglja i pepela.

Uzorci uglja su poreklom iz Kostolačkog basena, a elektrofilterski pepeo je jedan od proizvoda sagorevanja uglja u Kostolačkoj termoelektrani. Inetrakcije matriksa sa vodom ispitane su promenom ekstrakcionih vremena i temperature mikrotalasne ekstrakcije. Ekstrahovanje podpomognuto dejstvom mikrotalasa primenjeno je na različitim temperaturama, odnosno 50, 100 i 150 °C. Nakon ekstrakcije ultrazvukom ekstraktima je određena pH vrednost i električna provodljivost. Nakon navedenih ekstrakcija ispitana je mobilnost i dostupnost metala, a takođe i neorganskih anjona iz uglja i elektrofilterskog pepela. Velika pažnja posvećena je ukazivanju na direktnoj vezi sadržaja mikroelemenata u uglju i pepelu i zagađenja životne sredine. Poznato je da je veći broj mikroelemenata u uglju vezan sa neorganskim materijalom, a samo neki sa organskom materijom. Kada je u pitanju zagađenje životne sredine, uticaj neorganskih materija, premašuje uticaj organskih materija obzirom da ove prve ne podležu razgradnji kao organski zagađivači. Određivanjem koeficijenata korelacije između pojedinih elemenata i sadržaja pepela dobijene su prve indicije i podaci o asocijaciji elemenata u uglju. Elementi koji imaju visoku pozitivnu korelaciju sa pepelom ukazuju na neorganski afinitet, odnosno da se nalaze u mineralnim materijama u uglju, kao što su glina, pirit, karbonati i drugi. S druge strane, analiza neorganskih elemenata iz uglja i pepela predstavlja problem zbog kompleksnosti matriksa i niskih koncentracija.

U ekstraktima su određivane koncentracije sledećih elemenata: Na, K, Ca, Mg, Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb, Sb i Se metodom indukovano spregnute plazme sa optičkom emisionom spektrometrijom (ICP-OES). Neki od konstituentnih elemenata (K, Na, Ca i Mg) paralelno su određivani metodom jonske hromatografije (IC).

Validacija primenjivanih metoda za određivanje dostupnih elemenata urađena je korišćenjem sertifikovanih referentih rastvora (CRM). Procena (evaluacija) rezultata određivanja elemenata izvršena je izračunavanjem statističkih pokazatelja. Iz kalibracionih dijagrama dobijeni su sledeći parametri: nagib, odsečak i korelacioni koeficijenti. Na osnovu standarnih devijacija određeni su limiti detekcije ispitivanih elemenata (najniža koncencracija analita u uzorku koja može biti detektovana, ali ne uvek i kvantifikovana), kao i limiti kvantifikacije (minimalna količina analitita koja omogućava kvantitativna merenja tragova u matriksu sa prihvatljivom preciznošću i tačnošću). Koncentracioni nivoi na kojima je ispitana procena bili su u opsegu od interesa, odnosno blizu limita kvantifikacije, na sredini opsega i viših koncentracija kalibracione krive. Preciznost metode je određena proverom stepena slaganja

individualnih rezultata serije merenja. Za proveru tačnosti metoda ekstrakcije (rotacione, ultrazvučne i mikrotalasno podpomognute) za ICP-OES merenja korišćena je metoda standardnog dodatka. Različite koncentracije CRM-a su dodavane u realne uzorke uglja. Standardne devijacije i „recovery” su izračunate za svaki element. Tačnost ekstrakcione metode je ispitivana pod optimalnim analitičkim uslovima.

Utvrđeno je optimalno vreme trajanja rotacione i ultrazvučne ekstrakcije, posle kojeg produžavnje ekstrakcije nema značajnog uticaja na povećanje ekstrahovanih količina katjona i anjona. Generalno, rotaciona ekstrakcija se pokazala efikasnijom za određivanje konstituentnih, dok je primena ultrazvučne ekstrakcije bila efikasnija za ekstrahovanje zagađivačkih elemenata. Efikasnost rotacionog mućkanja i ultrazvuka je bila približno ista, osim u sličaju ekstrakcije olova iz pepela gde se rotaciona ekstrakcija pokazala kao najefikasnija metoda od sve tri korišćene. Ekstrakcija podpomognuta dejstvom mikrotalasa pri različitim temperaturama, odnosno 50, 100 i 150 °C, ukazala je na linearni porast količine ekstrahovanih elemenata sa povećanjem temperature ekstrakcije. Na osnovu rezultata optimizacionih eksperimenata, definisani su optimalni uslovi izvođenja metode mikrotalasne ekstrakcije i određivanja elemenata u uglju, a potom je ista procedura primenjena i za određivanje elemenata u elektrofilterskom pepelu.

Takođe, i dostupni konstituentni i zagađivački neorganski anjoni iz uglja i pepela su određeni jonskom hromatografijom. Tačnost i pouzdanost rezultata proverena je merenjem koncentracije fluorida jon selektivnom elektrodom (ISE), kao i korišćenjem sertifikovanog referentnog materijala. Granica detekcije i granica kvantifikacije je procenjena i za IC metodu, kao i standardne devijacije određivanja jona u mešovitom standardnom rastvoru najniže koncentracije. Limit detekcije (LOD) za određivanje hloridnih jona je  $0,4 \mu\text{g g}^{-1}$ , fluoridnih jona je  $1,3 \mu\text{g g}^{-1}$  i sulfatnih jona je  $0,022 \mu\text{g g}^{-1}$ . Limit kvantifikacije (LOQ) je:  $1,32 \mu\text{g g}^{-1}$  za hloridne jone;  $4,29 \mu\text{g g}^{-1}$  za fluoridne jone i  $0,073 \mu\text{g g}^{-1}$  za sulfatne jone.

Ponovljivost i opravdanost metode ekstrakcije uglja dejstvom mikrotalasa na 150°C je proverena korišćenjem sertifikovanog referentnog materijala (proizvođača LGC, broj NCSFC82007 za fluoridne jone i NIST-2692C za sumpor i hloridne jone). Standardna ASTM D2361-02 metoda je korišćena za određivanje hlorida i u sertifikovanim referentnim materijalima i u uglju. Za određivanje fluorida i sumpora korišćena je ASTM D3761-96 metoda sagorevanja uglja u kiseoničnoj bombi.

Budući da se mikrotalasna ekstrakcija pokazala bržom i efikasnijom od druge dve tehnike, u daljem radu je uticaj mikrotalasa primenjen za sprovođenje sekvencijalne ekstrakcije. Za ekstrakciju je korišćena modifikovana mikrotalasna BCR sekvencijalna procedura. Sekvencijalna ekstrakcija se sastojala od ekstrakcija 0,11 M sirćetnom kiselinom (faza I); 0,1 rastvorom hidroksiamin-hlorhidrata (faza II); 0,1M rastvorom oksalatnog pufera (pH = 3) (faza III); potom rastvorom 30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i 1M amonujim-acetatom (pH = 2) (faza IV) i na kraju pomoću carske vode (faza V). Uticaj efekata jonske izmene, koprecipitacije, adsorpcionih procesa, koordinativnog vezivanja, odnosno hemijska stabilnost i rastvorljivosti minerala ispitana je primenom navedene

ekstrakcije i dejstva mikrotalasa nakon svake faze sekvencijalne ekstrakcije na temperaturama 50, 100 i 150 °C. Provera efikasnosti unapredene metode sprovedena je poređenjem dobijenih rezultata za uglj i pepeo sa rezultatima dobijenim standardnom ASTM D6349-01 metodom.

Najmanji „recovery“ je postignut za konstituentne elemente uglja, odnosno aluminijum, kalijum i natrijum, a najveći za arsen, berilijum, kalcijum i mangan. Mikrotalasna ekstrakcija pepela na 50 °C pokazala je slaganje sa rezultatima ASTM D6349-01 metode između 9 i 98,5 %, na 100 °C je između 17 i 87 %, i očekivano na 150 °C je bio najveći procenat slaganja, odnosno između 24 i 91 %.

Kao što je očekivali, povećanje temperature sekvencijale mikrotalasno-popomognute ekstrakcije, na 150 °C dolazi do povećanja rasprostranjenosti u fazama I, II i III, u poređenju sa 50 °C, ali je i dalje znatno prisustvo u fazama IV i V. Znatno udeo analiziranih elemenata je pronađen u rezidualnoj frakciji. Prisustvo Fe u drugoj fazi sekvencijalne ekstrakcije uglja je indikator amorfno, visoko mobilnog hidroksida gvožđa. Očekivano je prisustvo gvožđa iz uglja u fazi III prilikom ekstrakcije amorfni i kristalnih oksida i najveća količina gvožđa je ekstrahovana tokom ove faze, dok je porastom temperature na 100 i 150°C, postao dominantan element u fazi V.

Najveći deo gvožđa iz pepela ekstrahovan je u trećoj fazi sekvencijalne ekstrakcije što ukazuje da je dominantno prisutan u obliku amorfni oksida. Razaranjem oksida gvožđa iz pepela u trećoj fazi ekstrakcije oslobođena je najveća količina zagađivačkih elemenata.

Sadržaj ispitivanih elemenata u svim analiziranim realnim uzorcima je reda veličine svetskog proseka. Anjoni i katjoni, koji su predmet istraživanja ovog rada, u zavisnosti od koncentracije i mobilnosti u uglju i pepelu imaju dvostruku ulogu, ulogu konstituenta i ulogu zagađivača. Rezultati ne daju samo koncentracije elemenata, već ukazuju na različitu asocijaciju i mobilnost konstituentni i zagađivački elemenata. Važni neorganski anjoni u uglju i pepelu, fluoridi, hloridi i sulfati su pronađeni kao konstituenti, koji su i od interesa za životnu sredinu. Varijacije u ekstrahovanim količinama, upotrebom različitih ekstrakcionih metoda, bile su minimalne kod fluoridni jona.

### **C. Uporedna analiza rezultata kandidata sa rezultatima iz literature**

Najveći broj metoda za analizu uglja i pepela podrazumeva primenu konvencijalni procedura ekstrakcije koje za pojedinačnu fazu ekstrakcije zahtevaju mućkanje ekstrakta u trajanju i do 16 časova. Jedan od osnovni problema u određivanju elemenata u čvrstim uzorcima je izdvajanje ovih elemenata iz kompleksnog matriksa. Osim ekstrakcija, kao priprema uzoraka uglja i pepela, koriste se različite metode suve i mokre digestije koje su dugotrajne i ne dovode do potpunog razaranja uzorka ili dovode do gubitka supstance isparavanjem usled primene visoke temperature. Procedure koje se najčešće koriste za digestiju uglja su: suvo spaljivanje uglja,

sagorevanje u atmosferi vodonika, mokra mikrotalasna digestija u zatvorenim sudovima, pirohidroliza i sagorevanje u kiseoničnoj bombi. Na samom početku razvoja sekvencijalne ekstrakcije gotovo svaki istraživač je imao svoju ekstrakcionu proceduru, ali su se vremenom izdvojile procedure koje se najviše koriste i time omogućile bolje poređenje rezultata raznih autora. Najveći broj sekvencijalnih ekstrakcionih procedura izvodi se u od 3 do 8 ekstrakcionih koraka. Ova varijabilnost u primenjenim šemama ima za posledicu da je za isti uzorak nemoguće uporediti podatke o sadržaju frakcija metala dobijenih u različitim istraživanjima. Tokom kasnijih 80-ih godina prošlog veka European Community Bureau of Reference (BCR), a sada Standards, Measurements and Testing Programme of the European Commission, inicirao je program istraživanja čiji cilj je bila izrada standardizovane sekvencijalne ekstrakcione procedure čiji rezultat bi omogućio izradu sertifikovanih standarda za fracionisanje metala. Kandidat je upravo ovu metodu modifikovao uvođenjem dodatnog koraka, odnosno korišćenjem trećeg koraka Förstner-ove procedure, kao i primenom mikrotalasa nakon svake faze ekstrakcije pri različitim temperaturama.

Pregledom literature može se naći veliki broj primenjenih konvencijalnih sekvencijalnih procedura kojima je ispitivana raspodela elementa u zemljištu za čije ispitivanje se i prvo koristila sama sekvencijalna ekstrakcija, a potom je primena proširena za određivanje elemenata u uglju, pepelu i sličnim matriksima (A.J. Zimmermann, D.C. Weindorf, 2010, *International Journal of Analytical Chemistry*, 2010, id 387803). Kombinaciju više ekstrakcionih sredstava, odnosno njihovu sukcesivnu primenu na istom uzorku, primenjivao je čitav niz autora, među kojima su najpoznatiji A. Tessier (A. Tessier, P.G.C. 1979, *Analytical Chemistry*, 51, 7) i U. Förstner (W. Calmano, U. Förstner, 1983, *The Science of the Total Environment*, 28, 77) čije se metode uz razne modifikacije i usavršavanja najviše istražuju.

Pregledom istraživanja nailazi se na brojne nedostatke sekvencijalnih procedura koje su između ostalog sledeće: ne postoji način za razdvajanje organske od sulfidne faze, nedovoljna selektivnost ekstrakcionih sredstava, mogućnost readsorpcije metala koja zavisi od vremena trajanja ekstrakcije, temperature i faktora razblaženja, kao i relativno komplikovana i dugotrajna procedura. Međutim, i pored navedenih nedostataka ova metoda je vrlo značajna zbog velikog broja zaključaka koji se pažljivim razmatranjem rezultata mogu izvesti na osnovu podataka o sadržaju, obliku i načinu vezivanja metala za pojedine supstrate uglja i pepela.

Razvojem tehnologije i instrumentacije ultrazvučnih talasa i mikrotalasa, došlo je do njihove primene najpre za pojedinačne jednostepene ekstrakcione procedure (A. Ilander, A. Väisänen, 2009, *Ultrasonic Sonochemistry*, 16, 763). U ovom radu je primenom ultrazvuka i mikrotalasa pokazana efikasnost ekstrakcije elemenata iz pepela primenom carske vode i fluorovodonične kiseline. U istraživanjima pomenutih autora upotreba ultrazvuka se pokazala efikasnijom metodom za ekstrahovanje hroma i nikla u poređenju sa mikrotalasnom digestijom. Pregled poređenja efikasnosti, tačnosti i preciznosti primene mikrotalasa na BCR i Tessier ekstrakcione procedure i poređenje rezultata sa konvencijalnom procedurom (M.K. Reid, K.L. Spencer, L. Shotbolt, 2011,

*Journal of Soils and Sediments*, 11, 518) primenjeno za analizu metala iz sedimenta i zemljišta, na osnovu čega je kandidat primenio dejstvo mikrotalasa za ispitivanje elemenata iz uglja i pepela. Autori su ispitivanjem potvrdili tačnost i preciznost rezultata dobijenih mikrotalasnoum procedurom, a takođe i izneli prednost mikrotalasnoum procedure jer je brža i smanjuje troškove analize. Tokom pomenutih ekstrakcija, mikrotalasnoum procedurom je u reducibilnoj, odnosno drugoj fazi ekstrakcije, ekstrahovana manja količina metala koja je vezana za okside gvožđa i mangana, što je za posledicu imalo veću količinu ekstrahovanih metala u narednim fazama ekstrakcije. Koncentracije elemenata u ekstrakcionim rastvorima određene su tehnikama kao što su AAS, ICP-OES i ICP-MS.

Istraživanja primene mikrotalasnoum digestije za povećanja brzine i efikasnosti modifikovane i unapređene sekvencijalne procedure je uradio kandidat, utvrđeno je da se povećanjem temperature mikrotalasnoum ekstrakcije povećava ekstrahovana količina elemenata iz uglja i pepela, a efikasnost ekstrakcije je poređena i potvrđena sa rezultatima dobijenim primenom ASTM D6349-01 metode na ispitivanim uzorcima. Kandidat je za jednostepenu ekstrakciju uglja i pepela primenio ekstrakciju u destilovanoj vodi dejstvom mikrotalasa na različitim temperaturama. Pregledom literature jednostepena kisela digestija uz dejstvo mikrotalasa je uspešno korišćena za određivanje konstituentnih elemenata i elemenata u tragovima iz pepela i pokazala zadovoljavajuće rezultata pri određivanju aluminijuma, kalcijuma, gvožđa i magnezijuma (A. Iwashita, T. Nakajima, H. Takanashi, A. Ohki, Y. Fujita, T. Yamashita, 2006, *Fuel*, 85, 257).

Najveći broj predloženih metoda za određivanje halogenih elemenata i sumpora, odnosno sulfatnog jona, iz uglja i pepela koristi destilaciju, pirohidrolizu, alkalno topljenje, sagorevanje u otvorenim ili zatvorenim sistemima. Merenja koncentracija elemenata se izvode spektrofotometrijskim, hromatografskim i potenciometrijskim metodama, a u poslednje vreme sve više ICP-OES tehnikom. Simultano određivanje fluorida, hlorida, fluorida i sulfata jonskom hromatografijom nakon ekstrakcije u slabo kiselim i slabo alkalnim rastvorima izvedeno je na matrkisima kao što su zemljište i otpadni materijal (S.E.J. Buykx, M.A.G.T. van der Hoop, P. de Joode, 2004, *Journal of Environmental Monitoring*, 6, 552). Za određivanje halogenih elemenata u literaturi je predložena metoda ekstrakcije u vodi i rastvoru amonijum-karbonata, a za digestiju su korišćeni mikrotalasi snage 1400W u trajanju od 60 sekundi do 20 minuta (E.M.M. Flores, M.F. Mesko, D.P. Moraes, J.S.F. Pereira, P.A. Mello, J.S. Barin, G. Knapp, 2008, *Analytical Chemistry* 80, 1865). Sadržaj halogenih elemenata u ispitivanim ekstraktima određen je jonskom hromatografijom, ali su za poređenje rezultata korišćene i sledeće tehnike: ICP-MS, ICP-OES i određivanje fluorida jon selektivnom elektrodom. Kandidat je ekstrakcijom destilovanoum vodom odredio dostupne anjone iz uglja i elektrofilterskoum pepela primenom jonske hromatografije i paralelnim određivanjem koncentracije fluorida jon selektivnoum elektrodom potvrdio preciznost instrumentalne metode.

Rezultati ove doktorske disertacije predstavljaju poseban naučni doprinos u ispitivanju mobilnosti elemenata i primene mikrotalasne sekvencijalne ekstrakcije. Izvori energije korišćeni u ovom radu, odnosno ultrazvučni talasi i mikrotalasi, simuliranjem i ubrzavanjem uslova životne sredine, mogu dati sliku o asocijaciji elemenata i njihovih supstrata u uglju i pepelu.

#### **D. Naučni radovi i saopštenja iz oblasti teze**

Deo rezultata istraživanja iz oblasti problematike ove teze autor je već publikovao u naučnim časopisima i materijalima naučnih skupova, a spisak tih publikacija je sledeći:

##### **D1. Radovi u međunarodnim naučnim časopisima (M23):**

1. S. Stanišić, Lj. Ignjatović, I. Anđelković, M. Stević, **A. Tasić**, M. Savić Biserčić, "Ultrasound assisted extraction of matrix elements and heavy metal fractions associated with Fe, Al and Mn oxyhydroxides", J. Serb. Chem. Soc., **77**(9) (2012) 1287-1300.
2. **A.M. Tasić**, I.D. Sredović Ignjatović, Lj.M. Ignjatović, I.B. Anđelković, M.P. Antić, Lj.V. Rajaković, „Investigation of different extraction procedures for the determination of major and trace elements in coal by ICP-AES and ion chromatography“, J. Serb. Chem. Soc., **81**(4) (2016) 403-417, S133-S136.
3. **A.M. Tasić**, I.D. Sredović Ignjatović, Lj.M. Ignjatović, M.A. Ilić, M.P. Antić, „Comparison of sequential and single extraction in order to estimate environmental impact of metals from fly ash“, J. Serb. Chem. Soc., (2016) doi: 10.2298/JSC160307038T

##### **D2. Saopštenja sa skupova međunarodnog značaja štampana u izvodu (M34):**

1. S.M. Stanišić, Lj.M. Ignjatović, M.M. Marković, U.D. Jovanović, A.M. Tasić, „Comparison of conventional, ultrasound and microwave assisted single extraction methods for anion determination in solid sample“, Euroanalysis 16, September 11-15, 2011, Belgrade, Abstracts, p. 549.

##### **D3. Saopštenja sa skupova nacionalnog značaja štampana u celini (M63):**

1. S. Stajić, **A. Tasić**, Lj. Ignjatović, „Uslovi izokratskog eluiranja dvovalentnih katjona“, 5. simpozijum „Hemija i zaštita životne sredine“ sa međunarodnim učešćem, 27-30. maj 2008, Tara, Knjiga radova, str. 64-65.



## **E. Zaključak**

Na osnovu izložene analize doktorske disertacije Aleksandre (Mihail) Tasić, komisija je došla do zaključka da postoji originalan i značajan naučni doprinos u oblasti fizičko-hemijskih nauka, posebno u domenu Kontrole i zaštite životne sredine. Deo rezultata istraživanja iz oblasti problematike ove teze kandidat je publikovao u vidu 3 naučna rada u međunarodnim časopisima, i 2 saopštenja da domaćim i međunarodnim naučnim skupovima.

Imajući u vidu rezultate do kojih je kandidat došao u svom istraživanju, kao i njihov naučni i praktični značaj, predlažemo Nastavno-naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju da disertaciju Aleksandre (Mihail) Tasić, diplomiranog hemičara i diplomiranog fizikohemičara-master, pod naslovom:

### **„Unapređenje metoda ekstrakcije i određivanja konstituentnih i zagađivačkih elemenata u uglju i elektrofilterskom pepelu”**

prihvati i da odobri njenu javnu odbranu čime bi bili ispunjeni uslovi da kandidat stekne zvanje *doktor fizičko-hemijskih nauka*.

## **Članovi komisije:**

1) dr Ljubiša Ignjatović, vanredni profesor, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu

2) dr Nikola Vukelić, redovni profesor, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu

3) dr Mališa Antić, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

4) dr Dragan Manojlović, redovni profesor, Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Beograd, 11.7.2016.