

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
HEMIJSKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na sednici Nastavno-naučnog veća Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, održanoj 09.10. 2014. godine izabrani smo u Komisiju za ocenu i odbranu doktorske disertacije Rade Krgović, diplomiranog hemičara- mastera prijavljene pod naslovom

**Mobilizacija i biodostupnost makro i mikro elemenata iz pepela termoelektrane
„Kolubara“**

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

IZVEŠTAJ

A) Prikaz sadržaja doktorske disertacije

Doktorska disertacija Rade Krgović pod navedenim naslovom napisana je na 128 strana kucanog teksta A4 formata (prored 1,5) i podeljena na sedam poglavlja: Uvod (2 strane), Teorijski deo (39 strana), Cilj rada (1 strana), Eksperimentalni deo (6 strana), Rezultati i diskusija (67 strana), Zaključak (2 strane) i Literatura (11 strana, 128 citata). Rad takođe sadrži izvod na srpskom i engleskom jeziku, 27 tabele, 25 slika, sadržaj, zahvalnicu i biografiju kandidata sa spiskom radova i saopštenja.

U **Uvodu** je dat kraći osvrt na oblast istraživanja i temu rada. Kao osnovni cilj ove doktorske disertacije navedeno je određivanje mobilnosti i biodostupnosti metala sa deponije pepelišta termoelektrane Kolubara A. Posebna pažnja je usmerena na sadržaj toksičnih mikro elemenata kako bi se procenila njihova biodostupnost biljkama pod različitim ekohemijskim

uslovima. U radu su ispitani procesi koji utiču na migraciju i njihov uticaj na sadržaj u biljnom materijalu odnosno na korovsku vrstu *Conyza canadensis* L. (staro ime za ovu biljku je *Erigeron canadensis* L.), koja raste na deponiji pasivne kasete. Ispitani su mogući putevi apsorpcije, odnosno akumulacije ovih elemenata u pojedine delove biljke i njihove dalje pokretljivosti.

U **Teorijskom delu** kandidat je objasnio nastanak i podelu ugljeva kao i njihov energetski značaj. Detaljno je opisan proces sagorevanja uglja u termoelektranama gde se znatan deo neorganske komponente ovog energenta koncentruje u pepelu i šljaci. Objasnjeno je put elektrofilterskog pepela koji se izdvaja u elektrofilterima, potom se kvasi sa rečnom vodom i kroz cevi transportuje do deponije. Opisani su elektrostatički filteri koji su se pokazali kao najbolja tehnologija za ograničenje emisije teških metala osim žive. Takođe su opisane fizičke i hemijske osobine pepela kao i njegova višestruka primena u građevinarstvu kao i prednosti tehnološkog postupka hidrotransporta i deponovanja pepela u vidu hidrosmeše. Zatim su detaljno opisane interakcije makro i mikroelemenata sa zemljištem deponije pepela, procesi koji utiču na migraciju elemenata u zemljištu. Kandidat je posebno istakao značaj fitoremedijacije za remedijaciju deponija elektrofilterskog pepela.

U delu **Cilj rada** kandidat je jasno definisao zadatke i ciljeve ovog rada. Ispitivanje sadržaja elemenata u uzorcima elektrofilterskog pepela, pepela aktivne kasete i pepela pasivne kasete i poređenje raspodele metala po frakcijama u uzorcima. Zatim, procena biodostupnosti i migracije mikroelemenata u pasivnoj kaseti kroz dubinski profil. I na kraju akumulaciju metala od strane biljke (*Conyza Canadensis* L) koja raste na tim odlagalištima u uslovima koji vladaju u ispitivanoj sredini deponije pepela pasivne kasete termoelektrane Kolubara A.

U poglavlju **Eksperimentalni deo** dat je detaljan opis pripreme uzoraka koji je obuhvatio uzorkovanje pepela, zemlje i biljke sa zemljišta deponije termoelektrane, određivanje koncentracije ispitivanih makro i mikro elemenata. Dat je pregled i opis sekvencijalne ekstrakcije pepela u pet faza. Navedeni su uslovi pod kojima su eksperimenti i analize rađene, kao i referentni uzorci koji su korišćeni u validaciji metode. Predstavljani su i eksperimentalni uslovi određivanja primenom ICP-OES tehnike.

U poglavlju **Rezultati** dat je prikaz dobijenih rezultata. U tabelama su prikazani sadržaji elemenata: As, Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb i Zn po fazama sekvencijalne ekstrakcije, ukupan sadržaj ekstrahovanih elemenata u uzorcima delova biljke *Conyza*

*canadensis*L, (koren, stablo i cvet). Zatim je prikazan ukupan sadržaj elemenata dobijen primenom metode totalnog razaranja zemljišta, tabele sa izračunatim srednjim vrednostima BCF i TF faktora za svaki metal (koren, stablo i cvet) i grafici sa rezultatima PCA analize.

U poglavlju **Diskusija** kandidat obrazlaže i diskutuje dobijene rezultate sadržaja mikro i makro elemenata pojedinačno po fazama svake sekvencijalne ekstrakcije. Posebno su diskutovani rezultati koji su dobijeni statističkom obradom podataka tj PCA analizom. Raspodela sadržaja mikro i makro elemenata po delovima biljke *Conyza canadensis*L,(koren, stablo i cvet), razmatrana je u cilju uočavanja i shvatanja mehanizama akumulacije i transporta pojedinih metala do nadzemnih delova. Jedan od modela za procenjivanje dinamike i intenziteta usvajanja metala iz zemljišta jeste i izračunavanje biokoncentracionih faktora (BCF). Izračunati su bioakumulacioni faktori i to u odnosu na prve tri faze koje su dostupne biljci. Ovaj faktor daje informaciju o biodostupnosti, načinu usvajanja i mogućnosti akumulacije tog elementa u biljci. Pored toga izračunati su translokacioni faktori koji ukazuju na raspodelu usvojenih metala u određenim delovima biljke (nadzemni deo biljke).

U poglavlju **Zaključak** kandidat je, na osnovu analiziranih i prodiskutovanih rezultata, predstavio najznačajnije rezultate do kojih je došao u toku realizacije doktorske disertacije u vidu zaključaka.

Navedena **Literatura** sadrži listu od 130 citiranih radova.

B) Kratak opis postignutih rezultata

U cilju dobijanja adekvatnih podataka potrebnih za ispunjenje postavljenih ciljeva ove doktorske disertacije primenjena je sekvencijalna ekstrakciona procedura. Navedena ekstrakcija omogu

ila je identifikaciju interakcija mikro i makro elemenata sa supstratima i na osnovu toga procenu njihove mobilnosti u ispitivanim uzorcima. Analizom rezultata dobijenih primenom sekvencijalne ekstrakcije pokazano je da jonska sila transportne vode ima veliki uticaj na ispiranje pepela, pogotovu za gvožđe, aluminijum, magnezijum arsen, kobalt, kadmijum, hrom i olovo što može povećati verovatnoću njihove pokretljivosti i dovesti do “oslobađanja” ovih metala u ispitivanu životnu sredinu, odnosno do njenog zagađenja. U drugom delu teze, ispitivan je sadržaj elemenata u delovima biljke *Conyza Canadensis* L (koren, stablo i cvet) kako utvrdilo da li se ova biljka pogodna da se koristi u fitoremedijaciji. Kao vrsta korova njena dominacija je intezivna samo tokom prvih nekoliko godina vegetacije. Igra odlučujuću

ulogu u prvim fazama vegetacije i u procesu formiranja zemljišta na golim pešćanim deponijama i nasipima, zahvaljujući sintezi sekundarnih fenolnih metabolita. Sprečava eroziju i istovremeno uklanjanja toksične metale iz zemljišta. Biljka se pokazala efikasnom za fitoekstrakciju cinka, bakra i kadmijuma zagađenog zemljišta. Uklonjena (pokošena) biljna tkiva, bogata akumuliranim toksičnim mikroelementima se lako i bezbedno obrađuju sušenjem, spaljivanjem ili kompostiranjem. Neki od ovih elemenata mogu da budu ponovo ekstrahovani iz pepela, što dodatno smanjuje generisanje opasnog otpada što može da ima izuzetan ekonomski značaj.

C) Uporedna analiza rezultata kandidata sa rezultatima iz literature

Kandidat Rada Krgović je u okviru ove doktorske disertacije odredio sadžaje makro i mikro elemenata u različitim vrstama pepela termoelektrane Kolubara A: elektrofilterskom pepelu, pepelu aktivne kasete i pepelu pasivne kasete. Poređenje ispitivanih vrsta pepela je doprinelo shvatanju uticaja pepela na stanje zemljišta i vodenih tokova. Kandidat je u svojim istraživanjima po prvi put ispitao usvajanje i nagomilavanje pojedinih metala u biljci *Conyza canadensis L.* i to u nadzemnim delovima ove biljke. Na osnovu rezultata moguće je predložiti biološku rekultivaciju površina deponije pepelišta. U literaturi i pravnim regulativama standarda kvaliteta u svetu su dati vrlo široki opsezi dozvoljenih koncentracija metala i metaloida u industrijskim zemljištima. Vrlo retko ti propisi i preporuke, koji se odnose na kvalitet zemljišta za razvoj i rast biljaka, uzimaju u obzir ponašanje, toksičnost i uticaj zagađenja teškim metalima vezanih za rast i razvoj samoniklih biljaka, kao što je *Conyza canadensis L.* Rezultati nesumljivo pokazuju da biljka *Conyza canadensis L.* koja raste na ispitivanoj lokaciji pokazuje značajan fitoremedijacioni potencijal, i to prvenstveno za metale Cd, Cu i Zn ali ne treba zanemariti ni njen potencijal koji se odnosi na druge toksične mikroelemene. Kandidat predlože kao mogućnost smanjenja koncentracije toksičnih mikroelemenata u zemljištu deponije pepela, korišćenje ove biljke za akumulaciju metala u nadzemnim delovima biljke koji bi bili žetvom ili košenjem trajno uklonjeni. Uzimajući u obzir invazivnost ove biljke neophodan je krajnji oprez prilikom njene primene u bioremedijaciji.

O aktuelnosti proučavane problematike i njenom širem značaju, kao i aktuelnosti u svetu relevantno govore dva naučna rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21) koji su

poblikovani na osnovu rezultata prezentovanih u ovoj doktorskoj disertaciji kao i 4 naučna saopštenja na međunarodnim naučnim skupovima i na skupovima nacionalnog značaja.

D) Objavljeni ili saopšteni radovi koji čine deo teze

Radovi objavljeni u vrhunskim časopisima međunarodnog značaja (M21)

1. Rada Krgović, Jelena Trifković, Dušanka Milojković-Opsenica, Dragan Manojlović, Marijana Marković, Jelena Mutić, "Phytoextraction of metals by *Erigeron canadensis* L. from fly ash landfill of power plant "Kolubara" Environmental Science Pollution Research, 2015, 10506-10515, (IF2013=2,951)
2. R. Krgović, J. Trifković, D. Milojković-Opsenica, D. Manojlović, J. Mutić, "Leaching of major and minor elements during the transport and storage of coal ash obtained in power plant", Sci. World J. 2014, 2014:212506. (IF 2013=1.219)

E) Zaključak

Komisija je na osnovu detaljnog pregleda doktorske disertacije Rade Krgović, diplomiranog hemičara- mastera pod naslovom **Mobilizacija i biodostupnost makro i mikro elemenata iz pepela termoelektrane „Kolubara“** zaključila da je kandidat kvalitetnim definisanjem teme, savremenim eksperimentalnim pristupom, kao i detaljnim teorijskim razmatranjima dobijenih rezultata, realizovao postavljene ciljeve ove disertacije. Eksperimentalni pristup je sistematično obuhvatio sve faze, počev od uzorkovanja pepela i biljaka, pripreme uzoraka, primene savremenih instrumentalnih analitičkih metoda (ICP-OES i ICP-MS) kao i sistematskog tumačenja rezultata. Ispitani su i određeni ukupni sadržaji mikro i makro elemenata u pepelu u elektrofilterskom pepelu, pepelu aktivne kasete i pepelu pasivne kasete po različitim dubinama. Primenom sekvencijalne ekstrakcione procedure kandidat je odredio i definisao raspodelu makro i mikro elemenata u pepelu i utvrdio biodostupnost i mogućnost njihove mobilizacije na zagađenim odlagalištima- deponijama. Kandidat se posebno bavio mogućnošću korišćenja samonikle biljke *Conyza canadensis* L u svrhu njene primene za fitoekstrakciju metala sa deponije. Kandidat posebno navodi, da bez obzira na neosporno dokazanu efikasnost u bioremedijaciji ove biljne vrste, treba biti veoma oprezan zbog invazivnosti ove vrste, što zahteva multidisciplinarni pristup. U okviru svog rada, kandidat je odredio raspodelu mikroelemenata u pojedinim ekstrakcionim frakcijama pepelišta

termoelektrane kao i u nadzemnim delovima biljke *Conyza canadensis* L (koren, stablo i cvet). Izračunati su biokoncentracioni i translokacioni faktori koji su dali kvantitativnu informaciju o biodostupnosti, načinu usvajanja i akumulaciji mikro i makro elementa u biljci. Rezultati ove doktorske disertacije predstavljaju značajan naučni doprinos istraživanjima u oblasti hemodinamike, migracije i mobilizacije toksičnih mikroelemenata u životnu sredinu, nakon spaljivanja fosilnih goriva u termoelektanama. Pored toga, rezultati ove doktorske disertacije pružaju značajan doprinos u sagledavanju biogeochemijskih ciklusa mikro i makro elemenata iz pepela, uključujući njihov uticaj na zemljište, biljke deponija, njihov transport u dublje slojeve zemljišta, procese koncentrovanja, fiksacije kao i rizike zagađenja podzemnih i ambijentalnih voda.

Rezultati proistekli iz ove disertacije su publikovani u dva rada u vrhunskim međunarodnim časopisima, kategorije M21.

Na osnovu svega izloženog Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, da podnetu doktorsku disertaciju Rade Krgović, diplomiranog hemičara- mastera pod naslovom **Mobilizacija i biodostupnost makro i mikro element iz pepela termoelektrane „Kolubara“** prihvati i odobri njenu odbranu za sticanje zvanja doktora hemijskih nauka.

Komisija:

Beograd,
2.10. 2015.

dr Jelena Mutić, docent
Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu,
mentor

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

dr Dragan Čakmak, viši naučni saradnik,
Institut za zemljište, Beograd