

**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**Fakultet za fizičku hemiju**  
**B e o g r a d**

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

**Predmet:** Izveštaj komisije za ocenu i odbranu urađene doktorske disertacije kandidata diplomiranog fizikohemičara Danijele Maksin

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju, sa VII redovne sednice održane 13. aprila 2017. godine, imenovani smo za članove komisije za ocenu i odbranu urađene doktorske disertacije kandidata **diplomiranog fizikohemičara Danijele Maksin**, pod naslovom: **Amino-funkcionalizacija polimera na bazi metakrilata i njihova interakcija sa oksianjonima Cr(VI), Tc(VII), Re(VII) i Mo(VI) u vodenim sistemima.**

Pošto smo pregledali doktorsku disertaciju podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

### **IZVEŠTAJ**

#### **A. Prikaz sadržaja disertacije**

Doktorska disertacija diplomiranog fizikohemičara Danijele Maksin napisana je na 200 strana kucanog teksta formata A4, proreda 1,5 i fonta Times New Roman (veličina 12) i sadrži sledeće celine: *Uvod* (3 strane), *Teorijski deo* (55 strana), *Eksperimentalni deo* (11 strana), *Rezultati i diskusija* (103 strane), *Zaključak* (3 strane), *Literatura - 308 referenci* (17 strana), *Biografija* (1 strana), *Prilozi* (3 strane), *Izjava o autorstvu* (1 strana), *Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada* (1 strana), *Izjava o korišćenju* (2 strane). Disertacija sadrži 72 slike (od toga su 12 slika iz literature, a 60 slika predstavljaju vlastite rezultate) i 32 tabele (od toga su 2 tabele sa podacima iz literature, a 30 tabela sa vlastitim rezultatima).

U poglavlju *Uvod* kandidat je istakao prednosti adsorpcije pomoću funkcionalizovanih poroznih polimernih sorbenata na bazi metakrilata kao postupka prečišćavanja otpadnih, podzemnih i površinskih voda u odnosu na ostale uobičajene metode. *Uvod* takođe sadrži predmet i cilj istraživanja doktorske disertacije.

U poglavlju *Teorijski deo* opisana su svojstva i načini dobijanja umreženih makroporoznih kopolimera, uz posebno isticanje značaja proučavanja i primene kopolimera na bazi glicidilmetakrilata (GMA) u sorpciji zagađujućih supstanci (teških i plemenitih metala, tekstilnih boja itd.) iz vodenih rastvora. Detaljno je opisana tehnika suspenzione

kopolimerizacije kao načina dobijanja makroporoznih kopolimera. Izložen je mehanizam nastajanja porozne strukture u makroporoznim kopolimerima u prisustvu inertne komponente (porogena), kao i uticaj umreživača i inertne komponente na parametre porozne strukture. Ukratko su izloženi i načini karakterisanja porozne strukture. Posebno poglavlje posvećeno je hemijskoj modifikaciji tj. funkcionalizaciji umreženog makroporoznog kopolimera na bazi GMA, otvaranjem epoksidnog prstena nukleofilnom adicijom, sa naročitim osvrtom na reakcije sa aminima.

U ovom delu su izložene karakteristike ispitivanih zagađivača (teških metala i radionuklida hroma, tehnecijuma-99, renijuma i molibdena) s posebnim osvrtom na njihovu toksičnost. Posebno je istaknuta njihova toksičnost i opisani su načini njihovog uklanjanja iz vodenih rastvora.

U zasebnom poglavlju *Teorijskog dela* dat je pregled fizičko-hemijskih metoda korišćenih za karakterizaciju sintetizovanih amino-funkcionalizovanih kopolimera i metoda korišćenih za praćenje procesa sorpcije metala iz vodenih rastvora na ovim sorbentima.

Teorijske osnove adsorpcije kao pojave, njene kinetike (reakcioni i difuzioni kinetički modeli) i adsorpcione ravnoteže (Langmirov, Frojndlihov i Temkinov model) su takođe date u ovom delu.

Na kraju *Teorijskog dela* navedeni su primena funkcionalizovanih kopolimera u sorpcionim procesima sa posebnim akcentom na makroporoznim amino-funkcionalizovanim kopolimerima GMA i etilenglikoldimetakrilata (EGDMA), njihovoj prednosti nad ostalim sorbentima i faktore koji utiču na proces sorpcije.

U poglavlju *Eksperimentalni deo* detaljno je opisana postupak sinteze suspenzionom (ko)polimerizacijom homopolimera GMA, homopolimera EGDMA, kopolimera GMA i EGDMA (PGME), kao i funkcionalizacija odabranih uzoraka dietilentriaminom (PGME-deta). Opisane su korišćene metode karakterizacije nefunkcionalizovanih i funkcionalizovanih kopolimera i uzoraka sa vezanim metalima i metode praćenja procesa sorpcije metala. Osim toga, opisan je i postupak određivanja sadržaja epoksidnih grupa, amino grupa i slabo baznog jonoizmenjivačkog kapaciteta polimera. Takođe je opisana sorpcija ispitivanih zagađivača na kopolimerima funkcionalizovanim dietilentriaminom.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* dati su prikaz i diskusija rezultata proisteklih iz eksperimentalnog rada i njihovo poređenje sa literaturnim podacima. Na početku je diskutovan uticaj udela umreživača na sintezu neporoznih i makroporoznih metakrilatnih homopolimera i kopolimera, kao i uticaj funkcionalizacije odabranih kopolimera dietilentriaminom. Zatim su diskutovani rezultati karakterizacije sintetizovanih homopolimera i kopolimera GMA i EGDMA sa različitim poroznim strukturama i odabranih amino-funkcionalizovanih uzoraka. U ovom delu su takođe tabelarno i grafički prikazani rezultati sorpcije oksianjona teških metala i radionuklida, Cr(VI), <sup>99</sup>Tc(VII), Re(VII) i Mo(VI) iz vodenih sistema pomoću PGME-deta.

Diskutovan je uticaj pH vrednosti rastvora, prisustva i vrste pufera ili elektrolita, početne koncentracije metala, vremena kontakta, parametara porozne strukture PGME-deta i temperature na sorpciju ispitivanih zagađivača. Na osnovu dobijenih rezultata sorpcionih merenja, analizirana je sorpciona kinetika pomoću reakcionih (model pseudo-prvog reda, model pseudo-drugog reda i Elovičev model) i difuzionih kinetičkih modela sorpcije (model unutarčestične difuzije, Bangamov, Bojđov i Mek Kejev model). Određeni su termodinamički

parametri sorpcije oksianjona na makroporoznom PGME-deta, kao i ravnotežne izoterme (Langmirov, Frojndlihov i Temkinov model).

U poglavlju *Zaključak* kandidat je na osnovu dobijenih rezultata izložio najbitnije.

## **B. Opis rezultata teze**

U ovoj doktorskoj disertaciji postupkom suspenzione (ko)polimerizacije dobijeni su neporozni homopolimeri nPGMA i nPEGDMA i neporozni kopolimer GMA i EGDMA (nPGME), kao i makroporozni kopolimeri PGME sa različitim udelom umreživača.

Svi sintetizovani uzorci, kao i odabrani kopolimeri funkcionalizovani reakcijom sa dietilentriaminom, okarakterisani su fizičko-hemijskim metodama.

Utvrđeno je da se parametri porozne strukture se mogu regulisati izborom odgovarajućih uslova sinteze. U zavisnosti od pH, amino-funkcionalizovani kopolimeri mogu koordinativno vezati jone metala ili se ponašati kao bazni jonoizmenjivači.

Ispitivanjem termičke stabilnosti navedenih homopolimera i kopolimera utvrđeno je da se termička degradacija dešava depolimerizacijom do monomera i oligomera i dekompozicijom estera koje se odvijaju jednovremeno. Termička stabilnost kopolimera nPGME je između termičke stabilnosti dva homopolimera, nPGMA i nPEGDMA. Veći stepen umreženja i funkcionalizacija dietilentriaminom poboljšavaju termičku stabilnost modifikovanih kopolimera.

Na osnovu rezultata dobijenih ispitivanjem sorpcije Cr(VI), <sup>99</sup>Tc(VII), Re(VII) i Mo(VI) na amino-funkcionalizovanim kopolimerima utvrđeno je da na količinu adsorbovanih oksianjona utiču njihove početne koncentracije u vodenom rastvoru, pH rastvora, vreme kontakta i temperature. Optimalna pH vrednost za sorpciju svih oksianjona nalazi se u opsegu pH ~ 1,0–5,0, tj. u kiselj sredini. U slučaju tehnecijuma-99, efikasnost uklanjanja je iznosila više od 90 % za pH = 1,0–9,0, nakon samo 3 h, za početnu koncentraciju pertehnetata koja se nalazi u slabo zagađenim površinskim i podzemnim vodama. Ispitivanjem sorpcije hroma na PGME-deta na pH = 1,8 došlo se do zaključka da je za postizanje ravnoteže dovoljno takođe 3 h, dok je za Mo(VI) potrebno 24 h. Eksperimentalni rezultati su ukazali na to da se neaktivni hemijski analog tehnecijuma-99, <sup>75</sup>Re, najefikasnije sorbuje na PGME-deta iz acetatnog pufera na pH = 5,0 u iznosu od čak 97 % nakon 24 h.

Kinetika sorpcije se može uspešno prikazati kinetičkim modelom pseudo-drugog reda, kao i Elovičevim modelom. Na ukupnu brzinu sorpcije utiče i unutarčestična difuzija.

Iz rezultata koji su proistekli iz ove teze može se zaključiti da se makroporozni kopolimeri na bazi GMA funkcionalizovani dietilentriaminom potencijalno mogu veoma uspešno primeniti za sorpciju ispitivanih teških metala i radionuklida u realnim uslovima, u cilju očuvanja životne sredine i remedijacije.

## C. Usporedna analiza rezultata prikazanih u disertaciji sa već postojećim rezultatima dostupnim iz literature

Među najopasnijim za zdravlje ljudi i najrasprostranjenijim zagađivačima u životnoj sredini su toksični teški metali, zahvaljujući njihovoj učestaloj upotrebi u industriji (V. M. Nurchi, I. Villaescusa, *Coord. Chem. Rev.*, 252 (10-11) (2008) 1178.; G. Bayramoğlu, M. Y. Arica, *Chem. Eng. J.*, 139 (1) (2008) 20.). Nakon nuklearne havarije TESCO reaktora u Fukušimi u martu 2011. god., posle 25 god. nakon akcidenta u Černobilu ponovo su dobili na značaju monitoring i remedijacija dugoživećih radionuklida, koji su opasni zbog specifičnog štetnog uticaja na zdravlje ljudi, (S. Endo, S. Kimura, T. Takatsuji, K. Nanasawa, T. Imanaka, K. Shizuma, *J. Environ. Radioact.*, 111 (2012) 18.; A. Rosen., [http://www.fukushima-disaster.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/english/ippnw\\_health-effects\\_fukushima.pdf](http://www.fukushima-disaster.de/fileadmin/user_upload/pdf/english/ippnw_health-effects_fukushima.pdf)).

Zbog svoje hidrofilnosti, jednostavne upotrebe, velikog kapaciteta i velike brzine sorpcije u kombinaciji sa hemijskom stabilnošću, funkcionalizovani kopolimeri na bazi GMA imaju danas veliku primenu za uklanjanje katjona i anjona teških metala iz vodenih rastvora. Dodatna prednost ovih kopolimera u odnosu na komercijalne jonoizmenjivačke smole za selektivno uklanjanje i regeneraciju jona teških metala iz otpadnih voda leži u činjenici da, u zavisnosti od pH, mogu koordinativno vezati jone metala ili se ponašati kao bazni jonoizmenjivači, vezujući ih u obliku hlora kompleksa (E. Kalalova, P. Thuy, *Angew. Makromol. Chem.*, 180 (1990) 159.).

Zbog velike reaktivnosti epoksidne grupe, GMA se smatra najpogodnijim monomerom za direktno dobijanje reaktivnih homopolimera i kopolimera (J. Lukaš, M. Bleha, F. Švec, J. Kalal, *Angew. Makromol. Chem.*, 95 (1) (1981) 129.). Kopolimeri na bazi GMA su se pokazali kao izuzetno interesantni za hemijsku modifikaciju, jer se epoksidna grupa može reakcijama sa nukleofilnim i elektrofilnim reagensima relativno lako prevesti u amino, keto, karboksilnu, hidroksilnu, tiolnu, amidnu ili neku drugu funkcionalnu grupu, što omogućuje njihovu primenu u različite svrhe (D. C. Sherrington, *Reactions of Polymers*, pp. 101–169, in *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, 2nd ed., Vol. 14, Wiley: New York, 1988.). Upravo zahvaljujući reaktivnosti epoksi grupe GMA i odličnim karakteristikama kopolimera sa EGDMA, oni se mogu koristiti za vezivanje enzima (S. Sun, L. Dong, X. Xu, S. Shen, *Kinet. Catal.* 52 (2) (2011) 330.).

Uvođenjem amina u makroporozne kopolimere na bazi GMA dobijaju se specifični sorbenti čija svojstva se mogu prilagoditi različitim oblastima primene, od kojih će ovde biti pomenute samo neke, kao što su sorpcija jona metala iz vodenih rastvora (G. Bayramoğlu, M. Y. Arica, *Sep. Purif. Technol.*, 45 (3) (2005) 192.; C. Liu, R. Bai, Q. S. Ly, *Water Res.*, 42 (2008) 1511.), sorpcija tekstilnih boja (K. Z. Elwakeel, M. Rekaby, J. Hazard. Mater. 188 (2011) 10.) itd.

Za kontrolisanje sastava i morfologije makroporoznih kopolimera koristi se variranje sadržaja i sastava inertne komponente, promena vrste i količine umreživača, kao i optimizovanje njihovog međusobnog odnosa u reakcionoj smeši. Švec i saradnici su među prvima izučavali sintezu umreženog makroporoznog kopolimera GMA i EGDMA (PGME), suspenzionom kopolimerizacijom, pri čemu su u smešu monomera i inicijatora dodali inertnu komponentu (D. Horák, F. Švec, M. Bleha, J. Kalal, *J. Angew. Makromol. Chem.*, 95 (1981)

109.). Jovanović i saradnici su pokazali da se dodekanol u inertnoj komponenti može uspešno zameniti drugim alifatičnim alkoholom (*S. M. Jovanović, A. Nastasović, Hem. Ind. 58 (11) (2004) 487.*). Ispitan je uticaj različitih umreživača na poroznost umreženih kopolimera na bazi GMA (*H. Kuroda, Z. Osawa, Eur. Polym. J., 31 (1) (1995) 57.; M. Walenius, L. I. Kulin, P. Flodin, React. Polym., 17 (3) (1992) 309.*).

Kada su u pitanju parametri porozne strukture, dobijene vrednosti u ovoj disertaciji za makroporozne kopolimere su u saglasnosti sa literaturnim (*C. Liu, R. Bai, Q. S. Ly, Water Res., 42 (2008) 1511.; M. Maciejewska, J. Therm. Anal. Calorim. 126 (2016) 1777.*). Specifična površina PGME se povećava, a srednji prečnik pora smanjuje s povećanjem udela umreživača. Rezultati dobijeni u okviru ove doktorske disertacije su pokazali da se amino-funkcionalizacijom menjaju parametri porozne strukture, odnosno smanjuje se specifična površina i povećava srednji prečnik pora.

Termička degradacija polimera na bazi GMA i EGDMA nije dovoljno izučena (*A. Piracha, The Thermal Degradation Studies Of Glycidyl Methacrylate Copolymers, PhD thesis, Quaid-i-Azam University, Department of Chemistry, Islamabad, 1994.; C. N. Caşcaval, N. Hurduc, Ig. C. Poinescu, J. Therm. Anal., 34 (1) (1988) 311.*). Prisustvo mnoštva produkata pronađenih putem masene spektrometrije u ovoj disertaciji sugeriše da su glavni mehanizmi termičke degradacije depolimerizacija do monomera i oligomera, i dekompozicija estera, što je u skladu sa literaturnim podacima (*A. Piracha, The Thermal Degradation Studies Of Glycidyl Methacrylate Copolymers, PhD thesis, Quaid-i-Azam University, Department of Chemistry, Islamabad, 1994.*). Amino-funkcionalizacija je povećala početnu temperaturu degradacije, dok je gustina umreženja makroporoznih kopolimera imala manje izražen uticaj (*M. Maciejewska, J. Therm. Anal. Calorim. 126 (2016) 1777.*).

Uklanjanje oksianjona iz vodenih rastvora sorpcijom pomoću funkcionalizovanih PGME kopolimera nije dovoljno izučeno. Poznati su radovi vezani za sorpciju oksianjona Cr(VI) iz kiselih rastvora korišćenjem amino-funkcionalizovanog PGME (*Lj. Malović, A. Nastasović, Z. Sandić, J. Marković, Dragana Đorđević, Z. Vuković, J. Mater. Sci., (42) (2007) 3326.*). Sorpcija oksianjona teških metala i radionuklida  $^{99}\text{Tc(VII)}$ ,  $\text{Re(VII)}$  i  $\text{Mo(VI)}$  iz vodenih rastvora na PGME-deta je malo proučavana.

U literaturi su opisani brojni sorbensi za uklanjanje Cr(VI) jona iz vodenih rastvora kao što su aktivni ugalj, jeftini prirodni sorbensi, industrijski otpad, biosorbensi itd. (*D. Mohan, C. U. Pittman, J. Hazard. Mater., B137 (2) (2006) 762.*). Za ispitivane uzorke PGME-deta dobijen je maksimalan kapacitet sorpcije  $Q_{maks} = 143 \text{ mg g}^{-1}$  što je uporedivo sa podacima iz literature. Velika količina sorbovanog Cr(VI) na početku eksperimenta i dostizanje  $Q_{maks}$  u roku od 15 min, karakteristični su za komercijalne bazne makroporozne anjonske izmenjivačke smole koje sadrže tercijarne amino grupe (*E. Pehlivan, S. Cetin, J. Hazard. Mater., 163 (1) (2009) 448.*). Za umreženi magnetični PGME sintetizovan u prisustvu nano-praha  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , sa imobilisanim poli(etileniminom), takođe je zapažena velika brzina sorpcije, a  $Q_{maks} = 137,7 \text{ mg g}^{-1}$  (*G. Bayramoğlu, M. Y. Arica, Chem. Eng. J., 139 (1) (2008) 20.*). Za PGME-deta, vreme postizanja ravnoteže bilo je 180 min, ali ovi kopolimeri imaju veći maksimalni kapacitet sorpcije u odnosu na neke komercijalne jonoizmenjivačke smole (*A. Baran, E. Bıçak, Ş. H. Baysal, S. Önal, Bioresour. Technol., 98 (3) (2006) 661.*). U

literaturi se na većini matarijala proces sorpcije Cr(VI) opisuje se kinetičkim modelom pseudo-drugog reda i modelom Langmirove izoterme.

Literaturni podaci vezani za sorpciju tehnećijuma-99 pokazuju da je za postizanje ravnotežne vrednosti sorpcije  $^{99}\text{TcO}_4^-$  na smolama Dowex-SRB-OH i Reillex bilo potrebno više od 6 nedelja (G. D. del Cul, W. D. Bostick, D. R. Trotter, P. E. Osborne., *Sep. Sci. Technol.*, 28 (1-3) (1993) 551.). Za aktivni ugalj ravnotežna vrednost sorpcije dostignuta je za oko 5 h (E. Holm, T. Gäfvert, P. Lindahl, P. Roos., *Appl. Radiat. Isot.*, 53 (1-2) (2000) 153.), dok je poluvreme sorpcije u slučaju PGME-deta bilo 21–24 min, a efikasnost uklanjanja nakon 180 min u zavisnosti od pH je dostigla  $\approx 98\%$ . Dobijene su karakteristične linearne izoterme za PGME-deta (L. Liang, B. Gu., X. Yin, *Sep. Technol.*, 6 (1996) 111.) U literaturi je opisano uklanjanje pertehnetata iz otpadne vode pomoću sintetičkih jako baznih jonoizmenjivačkih smola sa particionim koeficijentima  $K_d = 902\text{--}2370\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$  (W. D. Bostick, P. E. Osborne, D. E. Beck, D. H. Bunch, R. L. Fellows, G. F. Sellers, J. L. Shoemaker, K. T. Bowser, D. T. Bostick, *Oak Ridge K-25 Site, Martin Marietta Energy Systems, Inc. for the U. S. D. O. E.*, 1995.). Za sorpciju  $^{99}\text{Tc}$  na PGME-deta  $K_d$  je u opsegu  $1698\text{--}2130\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$ , čime je pokazano da ovaj sorbens ima slične performanse kao pomenute smole. U jednoj od retkih studija koja opisuje modelovanje kinetike zaključuje se da se sorpcija  $^{99}\text{Tc}$  na makroporoznom polimeru impregnisanom 2-nitrofeniloktiletrom može opisati modelom pseudo-prvog reda (J. Chen, J. C. Veltkamp, *Solvent Extr. Ion Exch.*, 20 (4-5) (2002) 515.).

Tehnećijum-99 ( $^{99}\text{Tc}$ ) je jedna od glavnih komponenti nuklearnog otpada. Karakteristike  $^{99}\text{Tc}$  mogu se predvideti izučavanjem renijuma ( $_{75}\text{Re}$ ), njegovog hemijskog analoga (E. Kim, M. F. Benedetti, J. Boulègue, *Water Res.*, 38 (2) (2004) 448.).  $Q_{maks}$  za sorpciju perrenata na kvaternizovanom kopolimeru 4-vinilpiridina i divinilbenzena iznosi  $60\text{ mg g}^{-1}$  (D. Jermakowicz-Bartkowiak, B. N. Kolarz, *React. Funct. Polym.*, 71 (2) (2011) 95.), a na ugljeničnom materijalu modifikovanom hitozanom  $85,7\text{ mg g}^{-1}$  (L. A. Zemskova, A. V. Voit, Y. M. Nikolenko, V. I. Sergienko, I. D. Troshkina, A. V. Plevaka, S. B. Maiborod, A. M. Chekmarev, *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, 6 (3) (2005) 221.), u poređenju sa  $Q_{maks}$  PGME-deta za sorpciju  $\text{ReO}_4^-$  u acetatnom puferu od  $111\text{ mg g}^{-1}$  dobijenim u ovoj disertaciji. Prema našem saznanju nema publikacija koji se bave modelovanjem kinetike sorpcije perrenata.

Za uklanjanje Mo(VI) jona iz vodenih rastvora u literaturi su opisani različiti materijali. Vrednosti maksimalnog kapaciteta za različite sorbense kreću se u širokom rasponu od  $0,2\text{ mmol g}^{-1}$  za ugljenične nanocevi (Y. C. Chen, C. Lu, *J. Ind. Eng. Chem.*, 20 (4) (2014) 2521.) do  $7,6\text{ mmol g}^{-1}$  za magnetični kopolimer GMA i *N,N*-metilenbisakrilamida funkcionalizovan sa tetraetilenpentaminom (A. A. Atia, A. M. Donia, H. A. Awed, *J. Hazard. Mater.*, 155 (1-2) (2008) 100.). Maksimalan kapacitet PGME-deta za Mo(VI) dobijen u ovoj disertaciji iznosio je  $4,02\text{ mmol g}^{-1}$  na  $\text{pH} = 2,0$ .

## **D. Naučni radovi i saopštenja u kojima su publikovani rezultati iz doktorske disertacije**

Iz oblasti teze Danijele Maksin su publikovani:

### **Monografska studija/poglavlje u knjizi M12 međunarodnog značaja (M14)**

1. A. B. Nastasović, Z. P. Sandić, D. D. Maksin, A. E. Onjia, A. D. Milutinović-Nikolić, D. M. Jovanović, *Macroporous and non-porous amino-functionalized glycidyl methacrylate based copolymers for hexavalent chromium sorption*, M. P. Salden (Ed.), *Chromium: Environmental, Medical and Materials Studies*, Ch. 8, pp.155–172, Nova Science publishers: New York, 2011.

### **Radovi objavljeni u međunarodnim časopisima izuzetne vrednosti (M21a)**

1. A. Nastasović, Z. Sandić, Lj. Suručić, D. Maksin, D. Jakovljević, A. Onjia, J. Hazard. Mater., 171(1–3) (2009) 153.
2. D. D. Maksin, A. B. Nastasović, A. D. Milutinović-Nikolić, Lj. T. Suručić, Z. P. Sandić, R. V. Hercigonja, A. E. Onjia, J. Hazard. Mater., 209–210 (2012) 99.

### **Radovi objavljeni u istaknutim međunarodnim časopisima (M22)**

1. R. V. Hercigonja, D. D. Maksin, A. B. Nastasović, S. S. Trifunović, P. B. Glodić, A. E. Onjia, J. Appl. Polym. Sci., 123 (2012) 1273.
2. D. D. Maksin, R. V. Hercigonja, M. Ž. Lazarević, M. J. Žunić, A. B. Nastasović, Polym. Bull., 68 (2) (2012) 507.

### **Saopštenja sa skupa međunarodnog značaja štampana u celini (M33)**

1. D. Maksin, A. Nastasović, Z. Sandić, Lj. Suručić, Hexavalent chromium sorption by glycidyl methacrylate based copolymer, Physical Chemistry 2010, - 10th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, 21-24 September 2010, Proceedings, Vol. 1, pp.176-178.
2. D. Maksin, A. Nastasović, R. Hercigonja, V. Rakić, A. Onjia, Thermal behavior of some nonporous methacrylate polymers, Physical Chemistry 2010, - 10th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, 21-24 September 2010, Proceedings, Vol. 2, pp. 512-514.
3. B. Ekmešćić, D. Maksin, Lj. Suručić, J. Marković, D. Marković, Z. Vuković, A. Onjia, A. Nastasović, Thermodynamics of molybdenum adsorption onto porous copolymer, Physical Chemistry 2012, - 11th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of

Physical Chemistry, Belgrade, 24-28 September 2012, Proceedings Vol. 1, C-18-P, pp. 206-209.

4. B. Ekmešćić, T. Tomković, S. Vidojković, D. Maksin, M. Žunić, J. Marković, A. Nastasović, Kinetics study of molybdenum sorption on macroporous copolymer, Physical Chemistry 2014, - 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, 22-26 September 2014, Proceedings Vol. II, J-07-P, pp. 783-786.

5. Z. Sandić, D. Maksin, A. Nastasović, J. Marković, R. Hercigonja, S. Milutinović, A. Onjia, Perrhenate sorption by amino-functionalized glycidyl methacrylate copolymer: Investigation of Rhenium as an analogue of radioactive Technetium, Physical Chemistry 2014, - 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, 22-26 September 2014, Proceedings Vol. 2, J-16-P, pp. 819-822.

6. B. Ekmešćić, D. Maksin, A. Onjia, J. Marković, Z. Sandić, Lj. Suručić, A. Nastasović, Perrhenate anions sorption by macroporous methacrylate copolymer, Eighth International Scientific Conference Contemporary Materials 2016, Banja Luka, 4-5 September 2016, Proceedings Book 29, pp. 367-379.

#### **Saopštenja sa skupa međunarodnog značaja štampana u izvodu (M34=0,5)**

1. B. Ekmešćić, D. Maksin, Lj. Suručić, J. Marković, Z. Sandić, M. Žunić, A. Nastasović, Adsorptive removal of molybdate onto porous copolymer: Kinetics and thermodynamics, Fifth International Scientific Conference Contemporary Materials 2012, Banja Luka, 5-7 July, 2012. Programme and Book of Abstracts, p. 119.

2. B. M. Ekmešćić, D. D. Maksin, J. P. Marković, Z. M. Vuković, A. E. Onjia, A. B. Nastasović, Molybdenum Sorption By Porous Copolymer, The 12th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Beograd, 11-13 Decembar, 2013. Program and the Book of Abstracts, XI/2, p. 38.

3. Z. Sandić, D. Maksin, B. Ekmešćić, D. Janković, A. Vukadinović, Lj. Suručić, A. Nastasović, Technetium-99 removal by amino-functionalized macroporous copolymer, The 13th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Beograd, 10-12 December, 2014. Program and the Book of Abstracts, XII/2, p. 38.

#### **E. Zaključak komisije**

Na osnovu izloženog može se zaključiti da rezultati kandidatkinje Danijele Maksin predstavljaju originalan i značajan naučni doprinos u proučavanju procesa amino-funkcionalizacije polimera na bazi metakrilata i njihovoj primeni za uklanjanje teških metala i radionuklida iz vodenih sistema.



Ova problematika je danas vrlo aktuelna, posebno sa ekološkog aspekta, uslovljenog povećanjem prisutnosti zagađivača u vodenim sredinama. Delovi teze publikovani su u 1 poglavlju u knjizi M12 (M14), 2 naučna rada iz kategorije međunarodnih časopisa izuzetnih vrednosti (M21a), 2 rada u istaknutim međunarodnim časopisima (M22) i više saopštenja na skupovima međunarodnog značaja štampanih značaja u celini i štampanih u izvodu.

Na osnovu svega navedenog, Komisija pozitivno ocenjuje doktorsku disertaciju dipl. fizikohemičara Danijele Maksin pod naslovom "Amino-funkcionalizacija polimera na bazi metakrilata i njihova interakcija sa oksianjonima Cr(VI), Tc(VII), Re(VII) i Mo(VI) u vodenim sistemima" i predlaže Nastavno-naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju da prihvati i odobri njenu javnu odbranu disertacije, čime bi bili ispunjeni svi uslovi da kandidat stekne zvanje doktor fizičkohemijских nauka.

#### ČLANOVI KOMISIJE :

---

Dr Radmila Hercigonja, vanredni profesor u penziji  
Fakultet za fizičku hemiju  
Univerzitet u Beogradu

---

Dr Aleksandra Nastasović, naučni savetnik  
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju  
Univerzitet u Beogradu

---

Dr Borivoj Adnađević, redovni profesor  
Fakultet za fizičku hemiju  
Univerzitet u Beogradu

U Beogradu, 04.05.2017. god.