

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, održanoj 10.07.2012. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije mr Danice Brzić, dipl. inženjera tehnologije, pod naslovom "PRIMENA NELINEARNE FREKVENTNE METODE NA ISPITIVANJE RAVNOTEŽE I KINETIKE ADSORPCIONIH SISTEMA GAS-ČVRSTO".

Na osnovu pregleda dokumentacije koju je dostavio kandidat, Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

- Opšti biografski podaci , obrazovanje i usavršavanje, rad i napredovanje u struci, aktivnosti u stručnim uduženjima i dr.

Danica Brzić rođena je 22.11.1973. godine u Beogradu. Osnovnu i srednju školu završila je u Beogradu. Tehnološko-metalurški fakultet, Univerziteta u Beogradu, upisala je 1992. godine i diplomirala na odseku za Hemijsko inženjerstvo 1999. godine sa ocenom 10 na diplomskom radu i prosečnom ocenom tokom studija 9,03.

Postdiplomske studije upisala je 2000. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu na odseku za Hemijsko inženjerstvo. Položila je sve progamom predviđene ispite sa prosečnom ocenom 10. Magistarsku tezu pod naslovom "Parcijalna oksidacija etana u fluidizovanom sloju" uradila je pod rukovodstvom prof. dr Željka Grbavčića i odbranila je septembra 2004, čime je stekla zvanje magistra tehničkih nauka.

Zaposlena je kao asistent pripravnika na katedri za Hemijsko inženjerstvo Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu od septembra 2000. godine. U zvanje asistenta izabrana je 2005 godine.

U ovom periodu bila je uključena u realizaciju vežbi iz više predmeta: Mehaničke operacije i oprema, Tehnološke operacije, Fenomeni prenosa, Fenomeni prenosa u disperznim sistemima, Osnovi farmaceutskog inženjerstva i Opšta hemija. Trenutno je angažovana na vežbama iz predmeta: Mehaničke operacije, Mehaničke i toplotne operacije i Oprema za mehaničke operacije i Hemijsko inženjerska laboratorija.

Od izbora u zvanje asistent pripravnika angažovana je na naučno-istraživačkim projektima finansiranim od strane Ministarstva za nauku i razvoj republike Srbije:

1. "Fenomeni prenosa u višefaznim sistemima", osnovna istraživanja, TMF-MNT RS 2000-2002
2. "Fenomeni prenosa u višefaznim višekomponentnim sistemima", osnovna istraživanja, TMF-MNT RS 2002-2005

3. "Razvoj efikasnijih hemijsko-inženjerskih procesa zasnovan na istraživanjima fenomena prenosa i principima intenzifikacije procesa", TMF - MNT RS Projekat br. 172022, 2011-

U periodu od jula 2003 do januara 2004 boravila je na Otto-von-Guericke Univerzitetu u Magdeburgu (Nemačka), gde je bila angažovana kao saradnik na projektu "Membrane Supported Reaction Engineering" finansiranom od strane DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft).

U periodu od oktobra 2006 do aprila 2007 je kao dobitnik DAAD stipendije boravila na Tehničkom Univerzitetu u Drezdenu (Nemačka), gde se bavila eksperimentalnim ispitivanjem dinamike "trickle-bed" reaktora.

U periodu od jula 2008 do oktobra 2009 bila je angažovana na zajedničkom projektu Tehnološko-metalurškog fakulteta i nemačke kompanije BASF "Experimental investigation of mass transport limitations in adsorption, based on the Nonlinear Frequency Response method".

Govori nemački i engleski jezik.

- Spisak objavljenih radova ili drugih relevantnih rezultata i aktivnosti koje opredeljuju afinitet kandidata za rad na predloženoj temi

M21 – Radovi u vrhunskim međunarodnim časopisima

1. **D. Brzic**, D. Ahchieva, E. Piskova, S. Heinrich, Z. Grbavcic, Hydrodynamics of shallow fluidized bed of coarse particles, *Chem. Eng. J* 114 (2005), 47-54
2. **D. Brzic**, M. Schubert, H. Haring, R. Lange, M. Petkovska, Evaluation of periodic operation of a trickle-bed reactor based on empirical modeling, *Chem. Eng. Sci* 65 (2010), 4160–4165
3. **D. Brzić**, M. Petkovska, Some practical aspects of nonlinear frequency response method for investigation of adsorption equilibrium and kinetics, *Chem. Eng. Sci* 82 (2012), 62–72

M23 – Radovi u međunarodnim časopisima

4. **D. Brzic**, D. Ahchieva, M. Peglow and S. Heinrich: An experimental study of the partial oxidation of ethane to ethylene in a shallow fluidized bed reactor, *J.Serb.Chem. Soc.*, 72 (2), 183 - 192, 2007.
5. Bošković-Vragolović N., **Brzić D.**, Grbavčić Ž., Mass transfer between fluid and immersed object in liquid-solid packed and fluidized beds, *J.Serb.Chem.Soc.*, 70 (11), 1373-1379, 2005
6. Ahchieva, D., **Brzic, D.**, Peglow, M., Heinrich, S., Moerl, L., Theoretical and experimental studies on the partial oxidation of ethane in the fluidized bed membrane reactor (Theoretische und experimentelle Untersuchungen der partiellen Oxidation von

Ethan im Wirbelschicht-membranreaktor), *Chemie Ingeineur Teknik*, 76(9), 1295 - 1296, 2004

M33 – Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u celini

7. **D. Brzic**, D. Ahchieva, E. Piskova, Hydrodynamic regime determination and characterisation in shallow fluidized bed, in: *Transport Phenomena in Science and Technology – 2005*, v.2., Proceedings of 5th Symposium of South East European Countries (SEEC), J. Hristov (Ed.), pp-19-28, Sunny Beach, Sept.2005, Bulgaria

8. **D. Brzic**, M. Schubert, H. Häring, R. Lange, M. Petkovska, Empirical modeling as a new tool for evaluation of periodic processes - Case study: Periodic operation of a trickle-bed reactor, 2nd European Process Intensification Conference, EPIC 2009, 14-17 June 2009 - Venice (Italy), Proceedings on CD.

M34 - Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u izvodu

9. Ahchieva, D., **Brzic, D.**, Peglow, M., Mörl, L., Effekte bei der oxidativen Dehydrierung von Ethan zu Ethylen im Wirbelschichtreaktor, Fachausschuss „Technische Reaktionsführung“ Weimar, Mart 2004

10. Ahchieva, D., **Brzic, D.**, Peglow, M., Heinrich, S., Mörl, L., Application of Fluidized Bed Membrane Reactor in Partial Oxidation of Ethane to Ethylene, ICCMR6, Lahnstein, Juli 2004

11. Ahchieva, D., **Brzic, D.**, Peglow, M., Heinrich, S., Mörl, L.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen der partiellen Oxidation von Ethan im Wirbelschicht-Membranreaktor GVC Jahrestagung, Karlsruhe, Oktobar 2004

12. **D. Brzic**, D. Ahchieva, M. Peglow, Experimental Investigation of Partial Oxidation of Ethane to Ethylene in Fluidized Bed Reactor, in: *SEEChE 1 Book of Abstracts*, Faculty of Technology and Metallurgy, pp. 23, Belgrade, Sept. 2005, Serbia and Montenegro

13. **D. Brzic**, H. Häring, M. Schubert, M. Petkovska, R. Lange, An empirical non-linear model of a trickle-bed reactor, Jahrestreffen Reaktionstechnik 2008, 18. – 20. Mai 2008, Würzburg, Germany

14. **Danica Brzic**, Frank Poplow, and Menka Petkovska, Nonlinear Frequency Response Experiments for Investigation of Adsorption of Pure Gases, 10th International Conference on Fundamentals of Adsorption, FOA-10, Awaji Hyogo, Japan, 23-28 May 2010, Book of Abstracts

15. **D. Brzić**, M. Petkovska, Some practical aspects of nonlinear frequency response method for investigation of adsorption equilibrium and kinetic, ECCE 8th European

Congress of Chemical Engineering ECAB 1st European Congress of Applied Biotechnology, 25-29 September 2011 – Berlin (Germany)

16. **D. Brzić**, M. Petkovska, Numerical experiments for studying the applicability of nonlinear frequency response method for investigation of gas adsorption, XXII Congress of Chemists and Technologists of Macedonia, 5-9 September 2012 - Ohrid (Macedonia), Book of Abstracts

M51 – Radovi u vodećim nacionalnim časopisima

17. **D.V.Brzić**, N.M.Bošković-Vragolović, Ž.B.Grbavčić, "Prenos mase zid-fluid u partikulativno fluidizovanim slojevima ", *Hemijska industrija*, Vol 58 (2), 2004, str. 69-73

M64 – Saopštenja na domaćim skupovima štampana u izvodu

18. **Brzić D**, Bošković-Vragolović N., Grbavčić Ž., Prenos mase zid-fluid u partikulativno fluidizovanom sloju inertnih sfernih čestica, XLI savetovanje SHD-a, Beograd, 2003

19. **D. Brzić**, M. Petkovska, Application of nonlinear frequency response method for investigation of gas adsorption, Symposium Non-linear Dynamics with Multi and Interdisciplinary Applications (SNDMIA 2012), Belgrade, October 2012

- Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Kandidat se u okviru svog naučno-istraživačkog rada na domaćim i međunarodnim projektima bavio istraživanjima fenomena prenosa i dinamike višefaznih hemijsko-inženjerskih sistema. Rezultati dosadašnjeg rada objavljeni su kroz 6 radova u međunarodnim časopisima i 12 saopštenja na međunarodnim i domaćim naučnim skupovima. Na osnovu dosadašnje saradnje sa kandidatom kao i objavljenih naučnih radova, Komisija smatra da kandidat ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi.

2. Predmet i cilj istraživanja

- Prikaz predmeta istraživanja i hipotetičkih stavova o problemu koji se istražuje

Adsorpcija zauzima veoma značajno mesto među tehnologijama korišćenim u industrijskim procesima razdvajanja i prečišćavanja gasova. Ona predstavlja dominantnu tehnologiju za procese: i) proizvodnje vodonika iz različitih gasova, ii) proizvodnje vazduha obogaćenog kiseonikom i azotom iz atmosferskog vazduha, iii) sušenja, i iv) uklanjanja tragova nečistoća iz kontaminiranih gasova. Sa fenomenološke tačke gledišta procesi adsorpcije predstavljaju složene procese koji uključuju više istovremenih transportnih i sorpcionih mehanizama. Za uspešno projektovanje, kao i sve značajniju intenzifikaciju i optimizaciju procesa adsorpcije, neophodno je poznavanje kako

ravnotežnih podataka (adsorpcione izoterme) tako i kinetičkog mehanizma i kinetičkih parametara. U tom smislu, razvijen je i u literaturi opisan veliki broj različitih metoda za eksperimentalno određivanje ravnotežnih i kinetičkih parametara (uglavnom koeficijenta difuzije). Većina objavljenih metoda je zasnovana na određivanju parametara unapred predpostavljenog modela.

Jedna od metoda za određivanje kinetičkih parametara je frekventna metoda, koja se zasniva na merenju odziva sistema na sinusnu promenu neke ulazne promenljive. Za dovoljno malu amplitudu ulazne promene, odgovor sistema sadrži samo jedan harmonik, odnosno u frekventnom domenu jednu (linearnu) prenosnu funkciju, na osnovu koje se, njenim poređenjem sa teorijski izvedenom za predpostavljeni model, određuju kinetički parametri. Budući da su adsorpcioni sistemi gas-čvrsto po svojoj prirodi nelinearni, primena opisanog linearnog matematičkog aparata dovodi do gubitka dela informacija, budući da frekventne funkcije prvog reda (linearne) za pojedine mehanizme imaju isti oblik. Jedan od mogućih načina prevazilaženja ovog problema je i primena novorazvijene nelinearne frekventne metode koja predstavlja proširenje klasične frekventne metode na nelinearnu oblast uvođenjem koncepta frekventnih prenosnih funkcija višeg reda. Postojeće teorijske studije pokazuju da frekventne prenosne funkcije drugog reda za različite mehanizme imaju različit oblik i na taj način omogućavaju nedvosmislenu identifikaciju kinetičkog mehanizma. Takođe, prednost nelinearne frekventne metode je i mogućnost određivanja ravnotežnih i kinetičkih parametara iz istih eksperimentalnih podataka. Međutim, praktična primena nelinearne frekventne metode podrazumeva kompleksan matematički aparat potreban za izvođenje teorijskih frekventnih prenosnih funkcija kao i sofisticiran eksperimentalni sistem koji omogućava dobijanje tačnih eksperimentalnih frekventnih funkcija. U literaturi postoje teorijski izvedene frekventne prenosne funkcije drugog reda za jednostavne i nekoliko nešto složenijih mehanizama. Eksperimentalne primene nelinearne frekventne metode na ispitivanje adsorpcije gas-čvrsto, međutim, još uvek nisu rađene.

U ovom radu biće izvršena analiza primenljivosti nelinearne frekventne metode za ispitivanje ravnoteže i kinetike adsorpcije gas-čvrsto u šaržnom sistemu, na osnovu rezultata numeričkih simulacija frekventnog odziva šaržnog adsorbera. Takođe, biće razvijena eksperimentalna procedura za merenje nelinearnog frekventnog odziva u šaržnom adsorberu kao i postupak određivanja frekventnih prenosnih funkcija višeg reda u cilju eksperimentalne verifikacije nelinearne frekventne metode. Metoda će biti primenjena na ispitivanje adsorpcije čistih gasova.

- Ciljevi istraživanja, naučno predviđanje ciljeva u funkciji nivoa naučnog saznanja

Naučni ciljevi ove disertacije su: doprinos razvoju nelinearne frekventne metode za ispitivanje adsorpcije gas-čvrsto kao i njena eksperimentalna verifikacija na primeru adsorpcije čistih gasova. Ovi ciljevi biće ostvareni kroz sledeće korake:

- teorijski razvoj procedura za određivanje optimalnih parametara (mase adsorbenta, ulazne amplitude i opsega frekvencija) za eksperimentalno merenje nelinearnog frekventnog odziva u šaržnom sistemu
- proširenje postojeće baze teorijskih frekventnih prenosnih funkcija višeg reda

- razvoj eksperimentalnog sistema, eksperimentalne procedure i načina dobijanja tačnih frekventnih prenosnih funkcija višeg reda iz eksperimentalnog nelinearnog frekventnog odziva

- Osvrt na relevante bibliografske izvore i ostvarene rezultate (citirati) koji su u vezi sa predmetom istraživanja

Frekventnu metodu prvi put su upotrebili za ispitivanje kinetike adsorpcije gas-čvrsto Naphtali i Polinski (*Naphtali and Polinski, 1963*). Oni su ustanovili da frekventna metoda pruža mogućnost određivanja vremenskih konstanti različitih procesa koji se istovremeno odvijaju tokom složenog procesa adsorpcije. Od tada pa do danas, veliki broj autora se bavio teorijskim (*Yasuda et al., 1991; Jordi and Do, 1993; Sun et al. 1994*) i eksperimentalnim (*Yasuda, 1994; Song and Rees, 1997; Onyestyak, 2011; Lai et al., 2011*) aspektima primene frekventne metode za ispitivanje kinetike adsorpcije gas-čvrsto.

Budući da su adsorpcioni sistemi po svojoj prirodi nelinearni, primena klasične frekventne metode (linearne) nije uvek opravdana jer ne daje informacije o nelinearnosti sistema. U težnji da obezbede adekvatan matematički aparat za ispitivanje nelinearnih sistema, Petkovska i Do (*Petkovska and Do, 1998*) su razvili nelinearnu frekventnu metodu kao proširenje klasične frekventne metode na nelinearnu oblast, primenom koncepta frekventnih prenosnih funkcija višeg reda (*Weiner and Spina, 1980*).

Opsežna teorijska istraživanja (*Petkovska and Do, 1998, 2000; Petkovska, 1999, 2000, 2001, 2005; Petkovska and Petkovska., 2003*) su pokazala da nelinearna frekventna metoda predstavlja veoma pouzdanu metodu za tačno utvrđivanje kinetičkog mehanizma na osnovu oblika frekventne prenosne funkcije drugog reda. U okviru teorijskih istraživanja Petkovska i saradnici izveli su teorijske frekventne prenosne funkcije prvog i drugog reda za jednostavne mehanizme, kao što su Langmuir-ov model, model filma, model difuzije kroz mikropore i model difuzije kroz makropore u kombinaciji sa površinskom difuzijom (*Petkovska and Do, 2000*), kao i za neke složenije mehanizme: difuzija kroz mikro- i makropore (*Petkovska, 2005*), dva nezavisna difuzionog procesa i neizotermna difuzija kroz mikropore (*Petkovska and Petkovska, 2003*). Pokazalo se da frekventne prenosne funkcije prvog reda mogu imati isti oblik za različite mehanizme (npr. za difuziju kroz mikropore i površinsku difuziju), dok frekventne prenosne funkcije drugog reda imaju različit oblik, što predstavlja osnovu za utvrđivanje kinetičkog mehanizma. Dodatna prednost nelinearne frekventne metode je i mogućnost određivanja kinetičkih i ravnotežnih parametara iz istih eksperimentalnih podataka. Procedure za određivanje ravnotežnih i kinetičkih parametara za pojedine mehanizme takođe su objavljene (*Petkovska, 2005*).

Literatura

1. Naphtali, L.M., Polinski, L.M., 1963., Journal of Physical Chemistry 67, 369-375.
2. Yasuda Y., Suzuki Y., Fukada H., 1991., Journal of Physical Chemistry 95, 2486-2492.
3. Jordi, R. G., Do, D. D., 1993, Chemical Engineering Science 48, 1103–1130.

4. Sun L.M., Meunier F., Grenier Ph., Ruthven D.M., 1994., Chemical Engineering Science 49, 373-381.
5. Yasuda, Y., 1994. , Heterogeneous Chemistry Reviews 1, 103–124.
6. Song L., Rees, L. V. C., 1997., Journal of the Chemical Society Faraday Transactions 93, 649-657.
7. Onyestyák, G., 2011., Helvetica Chimica Acta 94, 206-217.
8. Lai, J., Song, L., Liu, D., Qin, Y., & Sun, Z., 2011., Applied Surface Science 257, 3187-3191.
9. Petkovska, M., Do, D. D., 1998. Chemical Engineering Science 53, 3081-3097.
10. Weiner, D. D., Spina, J. F., 1980. Sinusoidal Analysis and Modeling of Weakly Nonlinear Circuits. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
11. Petkovska, M., Do, D., 2000., Nonlinear Dynamics 21, 353-376.
12. Petkovska M., 1999., Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia 18, 149.
13. Petkovska, M., 2000., Journal of the Serbian Chemical Society 65, 939-961.
14. Petkovska, M., 2001., Nonlinear Dynamics 26, 351-370.
15. Petkovska, M., 2005., In: Spasic, A.M., Hsu, J.P.(Eds.), Adsorption Systems in Finely Dispersed Particles: Micro Nano and Atto-Engineering. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 283–327.
16. Petkovska, M., Petkovska, L. T., 2003., Adsorption 9, 133-142.

3. Polazne hipoteze

Pošto su adsorpcioni sistemi nelinearni, očekuje se, da se predstavljanjem njihovih modela u obliku niza frekventnih prenosnih funkcija prvog i višeg reda može u potpunosti opisati njihova složena dinamika.

Osnovne hipoteze na kojima se bazira izrada predložene disertacije su:

- moguće je odrediti frekventnu prenosnu funkciju drugog reda na osnovu eksperimentalno merenog nelinearnog odziva adsorbera
- moguće je na osnovu eksperimentalno dobijene frekventne funkcije drugog reda utvrditi kinetički mehanizam adsorpcije gas-čvrsto i odrediti nelinearne parametre sistema

4. Naučne metode istraživanja

Za izvođenje teorijskih frekventnih prenosnih funkcija biće korišćen koncept Voltera redova i višedimenzionalne Furijeove transformacije.

Matematičko modelovanje šaržnog adsorbera i numeričke simulacije u standardnim softverima biće korišćene za optimizaciju eksperimentalnih parametara.

U eksperimentalnom delu biće meren nelinearni frekventni odziv šaržnog adsorbera i to: promena pritiska (pomoću veoma brzog i tačnog Baratron merača pritiska), temperature adsorbenta (infra-crvenim termometrom) i temperature gasa

(termoelementom), pri sinusnoj promeni zapremine adsorbera. Izmereni vremenski signali biće prebačeni u frekventni domen primenom Furijeove transformacije i dalje obrađivani u kompleksnom domenu.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se da rezultati predložene doktorske disertacije doprinesu razvoju nelinearne frekventne metode kao i da potvrde njenu primenljivost za određivanje ravnoteže i kinetike adsorpcije gas-čvrsto, kroz sledeće korake:

- utvrđivanje konkretnih procedura za izbor optimalnih parametara za eksperimente, eksperimentalnog postupka i postupka obrade podataka će omogućiti tačno određivanje frekventnih prenosnih funkcija višeg reda
- teorijsko izvođenje frekventnih prenosnih funkcija višeg reda za složene mehanizme će proširiti postojeću bazu teorijskih funkcija.

Najznačajniji naučni doprinos predložene disertacije je razvoj jedne veoma pouzdane metode za utvrđivanje složenih kinetičkih mehanizma i određivanje nelinearnih parametara modela, što je od ključnog značaja za projektovanje i optimizaciju procesa adsorpcije.

Takođe se očekuje da procedure razvijene u okviru ove doktorske disertacije mogu da posluže kao polazna osnova za primenu nelinearne frekventne metode za ispitivanje dinamike drugih procesa u hemijskom inženjerstvu.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Realizacija ciljeva ove disertacije planirana je kroz sledeće aktivnosti:

- Literaturni pregled dosadašnjih istraživanja koja se odnose na:
 - primenu linearne frekventne metode za istraživanje kinetike adsorpcije gas-čvrsto sa akcentom na postojećim eksperimentalnim sistemima
 - razvoj nelinearne frekventne metode
- Projektovanje, izgradnja i testiranje eksperimentalnog sistema za merenje nelinearnog frekventnog odziva
- Utvrđivanje eksperimentalne procedure i procedure obrade podataka
- Teorijsko određivanje optimalnih parametara za eksperimente
- Izvođenje eksperimenata i obrada dobijenih podataka
- Izvođenje teorijskih frekventnih prenosnih funkcija višeg reda za pojedine složene mehanizme
- Kritički osvrt na dobijene rezultate i predlog daljih istraživanja

Predložena disertacija bi imala sledeću strukturu:

UVOD

1. Adsorpcija gas-čvrsto
 - 1.1. Fenomen adsorpcije gas-čvrsto
 - 1.2. Metode za određivanje adsorpcionih izoterma
 - 1.3. Metode za određivanje kinetičkih parametara
2. Nelinearna frekventna metoda za ispitivanje ravnoteže i kinetike adsorpcije gas-čvrsto
 - 2.1. Nelinearni frekventni odziv i koncept frekventnih prenosnih funkcija višeg reda
 - 2.2. Frekventne prenosne funkcije višeg reda (na nivou adsorbera i na nivou čestice) za šaržni adsorber
 - 2.3. Procedura za primenu nelinearne frekventne metode
 - 2.4. Teorijske frekventne funkcije višeg reda na nivou čestice
 - 2.5. Određivanje ravnotežnih i kinetičkih parametara
3. Numeričke simulacije stepenastog i frekventnog odziva šaržnog adsorbera
 - 3.1. Matematički model šaržnog adsorbera
 - 3.2. Određivanje frekventnih prenosnih funkcija višeg reda iz numeričkih eksperimenata
 - 3.2.1. Uticaj stacionarnog stanja
 - 3.2.2. Uticaj ulazne amplitude
 - 3.2.3. Uticaj šuma
 - 3.3. Određivanje optimalnih parametara za nelinearne frekventne eksperimente
 - 3.3.1. Određivanje optimalne mase adsorbenta
 - 3.3.2. Određivanje potrebnog opsega frekvencija
 - 3.3.3. Izbor ulazne amplitude
4. Eksperimentalni deo
 - 4.1. Eksperimentalni sistem
 - 4.2. Materijali i radni uslovi
 - 4.3. Eksperimentalna procedura
 - 4.4. Postupak obrade podataka

5. Prikaz dobijenih rezultata i njihova diskusija

ZAKLJUČCI

7. Zaključak i predlog

Na osnovu izložene analize teme doktorske disertacije, Komisija smatra da je predložena tema mr Danice Brzić pod naslovom **"Primena nelinearne frekventne metode na ispitivanje ravnoteže i kinetike adsorpcionih sistema gas-čvrsto"** naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da kandidatu odobri izradu ove doktorske disertacije. Za mentora se predlaže prof. dr Menka Petkovska, redovni profesor

Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Predložena tema pripada naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija.

Beograd, 11.10.2012.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Menka Petkovska, red. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Željko Grbavčić, red. prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Nikola Nikačević, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Zorana Arsenijević, viši naučni saradnik
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd