

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

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 20.09.2012. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Daliborke Nikolić Paunić, dipl. inž. tehnologije pod naslovom:

**PERIODIČNE OPERACIJE HEMIJSKIH REAKTORA – EVALUACIJA I ANALIZA
PRIMENOM METODE NELINEARNOG FREKVENTNOG ODZIVA**

O predloženoj temi i njenoj naučnoj zasnovanosti podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. PODACI O KANDIDATU

Opšti biografski podaci

Daliborka Nikolić Paunić, dipl. inž. tehnologije, rođena je 12. aprila 1978. godine u Beogradu. Osnovnu školu i Petu beogradsku gimnaziju završila je sa odličnim uspehom u Beogradu. Diplomirala je na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu na Katedri za hemijsko-inženjerstvo 2003. godine. Odbranila je diplomski rad na temu „*Teorijska analiza nelinearnog frekventnog odziva hromatografske kolene za slučaj binarne adsorpcije*“. Prosečna ocena u toku osnovnih studija je 9,24. Govori, čita i piše engleski jezik. Doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu je upisala školske 2005/2006. godine na Katedri za Hemijsko inženjerstvo i do sada položila sve ispite sa prosečnom ocenom 10. Spisak položenih ispita na doktorski studijama je dat u sledećoj tabeli:

Predmet
1. Fenomeni prenosa
2. Odabrana poglavlja matematičke analize
3. Specijalna poglavlja prenosa mase
4. Hemijska kinetika
5. Viši kurs termodinamike
6. Industrijska ekologija
7. Analiza i razvoj nestacionarnih preocesa i tehnika
8. Prenos toplote i energetska integracija
9. Viši kurs dinamike i upavljanja procesima
10. Završni ispit

Od februara 2005. do decembra 2005. godine bila je zaposlena u Gradskoj upravi grada Beograda, u Upravi za vode Sekretarijata za komunalno-stambene poslove, na poslovima zaštite i praćenja kvaliteta voda na teritoriji grada Beograda. Od decembra 2005. godine do januara 2007. godine je bila zaposlena u Istraživačkoj jedinici za tehnološki razvoj Instituta za hemiju,

tehnologiju i metalurgiju (IHTM –ITR), a od januara 2007. godine je zaposlena u Naučnoj ustanovi IHTM u Beogradu.

Daliborka Nikolić Paunić je koautor rada u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i u časopisu nacionalnog značaja (M52), učesnik u izradi tehničkih i razvojnih rešenja (M84, M86). Učesnik je i više međunarodnih skupova (M34) kao i skupova nacionalnog značaja (M63).

Spisak objavljenih naučnih radova

M21. Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. M.Petkovska, **D.Nikolić**, A. Marković, A. Seidel-Morgenstern, *Fast Evaluation of Periodic Operation of a Heterogeneous Reactor Based on Nonlinear Frequency response Analysis*, Chemical Engineering Science 65 (2010) 3632 – 3637.

M34. Radovi saopšteni na međunarodnim skupovima štampani u izvodu

1. M. Petkovska, **D. Nikolić**, A. Marković, A. Seidel-Morgenstern, *Fast Evaluation of Periodic Operation of a Heterogeneous Reactor Based on Nonlinear Frequency response Analysis*, Second European Process Intensification Conference, EPIC 2009, 14-17 Jun 2009 – Venice (Italy).
2. **D. Nikolić Paunić**, M.Petkovska, *Evaluation of periodic processes with two modulated inputs based on nonlinear frequency response analysis*, EPIC 2011, 3rd European Process Intensification Conference, 20-23 June 2011 – Manchester, UK.
3. **D. Nikolić Paunić**, M. Petkovska, A. Seidel Morgenstern, *Analysis of forced periodic operations of non-isothermal CSTR with modulation of inlet concentration and temperature*, ECCE 2011, 8th European Congress of Chemical Engineering, Septembar 25-29 2011, Berlin, Germany.

M52. Rad u časopisu nacionalnog značaja

1. Z. Popović, Đ. Milosavljević, **D. Nikolić**, *Formiranje cena prirodnog gasa za velike industrijske potrošače u Srbiji prema standardima Evropske unije*, Naučno-stručni časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, (2006), 29-38. (ISSN 1451-4117, IF 0.136).

M63. Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini

1. Z. Popović, Đ. Milosavljević, **D. Nikolić**, *Usaglašavanje cena prirodnog gasa za vrlo velike potrošače u hemijskoj industriji Srbije i efekti kašnjenja*, Naučno-stručno savetovanje sa međunarodnim učešćem – Racionalno korišćenje energije u metalurgiji i procesnoj industriji, Monografija, Beograd (2006), 159-166
2. M. Vidović, **D. Nikolić Paunić**, J. Krstić, I. Trajković, *Karakteristike flaširanih voda sa područja Srbije*, Deveta međunarodna konferencija ‘Vodovodni i kanalizacioni sistemi’, Jahorina, Pale, 28-30. maj 2009. god. Zbornik radova str 66-72. (ISBN 978-86-82931-29-4, COBISS.SR-ID 158530316).
3. D. Marinković, P. Milanović, Z. Popović, **D. Nikolić Paunić**, *Budućnost alternativnih goriva u transportnom sektoru u Srbiji*, Četvrti međunarodni kongres o pravno-ekonomskim i ekološkim aspektima sistema upravljanja zaštitom životne sredine u hemijskoj, petrohemijskoj i naftnoj industriji, Chymicus IV, Tara 2012.

M84 – Bitno poboljšan postojeći proizvod ili tehnologija, novo rešenje mikroekonomskog, socijalnog i problema održivog prostornog razvoja recenzovano i prihvaćeno na nacionalnom nivou

1. Grupa autora IHTM-a, **D. Nikolić**, „Analiza opravdanosti urgentnog uvođenja diferenciranih cena prirodnog gasa za vrlo velike potrošače (VLU) u hemijskoj industriji Srbije“, Relizator: IHTM- Istraživačka jedinica za tehnološki razvoj, Beograd, decembar 2005.
2. Grupa autora IHTM-a, **D. Nikolić** Program ostvarivanja strategije razvoja energetike u Republici Srijbi do 2010 godine, Modul: Transnafta, Naručioc: Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije (za JP Transnafta), Realizator: IHTM – Istraživačka jedinica za tehnološki razvoj 2006.

M86 Kritička evaluacija podataka, baza podataka, prikazani detaljno kao deo međunarodnih projekata, publikovani kao interne publikacije ili prikazani na Internetu

1. Z.Popović, **D. Nikolić Paunić**, D. Marinković, G. Nešić, S. Marinković, Studija izvodljivosti proizvodnje i/ili skladištenja i distribucije tržišno atraktivnih organskih rastvarača, “EKO'-DUNAV” d.o.o, Beograd, Jul 2009.

M105. Učešće u projektima finansiranim od strane nadležnog Ministarstva

Kao istraživač i/ili istraživač saradnik

2004-2005

1. Ev.br. 1700 “Istraživanje fenomena prenosa relevantnih za razvoj procesa i opreme u oblasti kontaktora fluid-čestice i separacionih procesa”, Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

2005-2007

2. Ev.br.TR-6721, “Razvoj procesa i postrojenja za proizvodnju specijalnih hemijskih derivata glacijalne sirćetne kiseline”, Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine, IHTM-ITR, Beograd.

2007-2009

3. Ev.br. 146021, “Geološka i ekotoksikološka istraživanja u identifikaciji geopatogenih zona toksičnih elemenata i prirodne radioaktivnosti u akumulacijama vode za piće u Republici Srbiji”, Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj, NU IHTM, Beograd.

2009-2010

4. Ev. br. 19059, “Razvoj modela za izradu programa optimalne valorizacije raspoloživih viškova olefina u Pančevu kroz osvajanje tržišno atraktivnih proizvoda više faze dorade u uslovima ekoloških ograničenja”, Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj, NU IHTM, Beograd.

2010-2011

5. Analiza periodičnih procesa zasnovana na nelinearnom frekventnom odzivu, Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Maks-Plank institut za dinamiku složenih tehničkih sistema u Magdeburgu (Nemačka).

2010-

6. Ev. br. 45001, “Nanostrukturni materijali u katalitičkim i sorpcionim procesima”, Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj,NU IHTM, Beograd.

Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i pokazanih rezultata Nikolić Paunić Daliborka je pokazala interes, sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačim radom. Tema doktorske disertacije pripada oblasti iz koje je do sada objavila jedan naučni rad i tri saopštenja na međunarodnim skupovima, što ukazuje da je podobna za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja predložene teme doktorske disertacije bi bila evaluacija performansi hemijskih reaktora pri periodičnom režimu rada primenom nove, nelinearne metode frekventnog odziva (NMFO). Cilj istraživanja je razvoj nelinearne metode za brze proračune periodičnih procesa i njena primena na analizu periodičnog rada hemijskih reaktora sa realnim reakcionim mehanizmima koji imaju praktičan značaj za hemijsku industriju.

Periodični režim rada podrazumeva periodičnu promenu jedne ili više ulaznih promeljivih sistema oko izabrane stacionarne vrednosti. Kada se ulazna/e promeljiva/e kod nelinearnog sistema periodično menja/ju, izlazi iz sistema će se takođe periodično menjati, a srednja vrednost izlaza se razlikuje od vrednosti izlaza pri stacionarnom režimu. Od prirode samog procesnog sistema zavisi na koji način će se menjati izlazi. Analizom izlaza iz sistema i upoređivanjem sa izlazom iz sistema pri stacionarnom režimu rada određuje se uticaj periodičnih operacija na performanse procesnog sistema [1,2]. U nekim slučajevima, periodični režim rada može biti superiorniji od rada u optimalnom stacionarnom stanju [12], dok u drugim slučajevima periodični režim rada može da bude nepovoljan.

Postoji veliki broj mogućnosti pri primeni periodičnog režima rada, pre svega u zavisnosti od izbora ulaza koji se periodično menjaju (npr. protok, sastav, temperatura, pritisak, temperatura rashladnog/grejnog fluida, pravac toka itd.), od broja manipulisanih ulaza kao i od načina njihove promene i ostalih parametara koje određuju periodični režim rada.

Periodične operacije procesa u hemijskom inženjerstvu, posebno hemijskih reaktora su predmet istraživanja mnogih istraživačkih grupa u poslednjih 50 godina [1-14], [17,18,19]. Mnoga teorijska i eksperimentalna ispitivanja su pokazala da je primenom nestacionarnog režima rada kod hemijskih reaktora moguće ostvariti povećanje konverzije, selektivnosti, prinosa, efikasnosti kao i bolju raspodelu proizvoda, bolju katalitičku aktivnost itd [12].

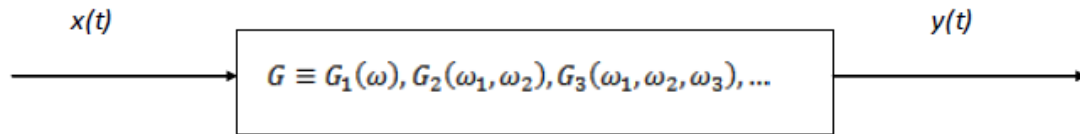
Iako postoje različiti optimizacioni i kontrolni kriterijumi za evaluaciju mogućeg poboljšanja procesa pri periodičnom režimu rada, oni nisu u širokoj primeni. Razlog za to leži u kompleksnosti njihove primene i neizvesnosti u vezi njihove pouzdanosti. Iz ovih razloga još uvek postoji potreba za razvijanjem jednostavne i pouzdane metode za kvantitativnu evaluaciju mogućeg poboljšanja procesa, brzo i u ranijim fazama istraživanja kao i metode za izbor optimalnih parametara periodičnog režima rada [17].

U ovoj doktorskoj disertaciji će biti prezentovan nov, brz i jednostavan koncept za evaluaciju performansi sistema pri periodičnom režimu rada tzv. nelinearna metoda frekventnog odziva (NMFO). Ovaj koncept je zasnovan na frekventnim prenosnim funkcijama (FPF) višeg reda, Voltera redovima i na generalizovanoj Furijeovoj transformaciji i predstavlja vrlo povoljan alat za analizu blago nelinearnih sistema [15,17,18]. Primenom NMFO će biti ispitivano koji režim rada je superiorniji kod hemijskih reaktora, a dobijene rezultate za svaki od posmatranih sistema će biti urađena i verifikacija predložene metode poređenjem sa rezultatima koji su dobijeni numeričkim rešavanjem, kao i sa eksperimentalnim rezultatima koji su dostupni u literaturi.

Frekventni odziv blago nelinearnog sistema, pored osnovnog harmonika, sadrži i neperiodični član (DC) i beskonačan broj harmonika višeg reda:

$$y(t) = y_s + y_{EC} + y_I + y_H + y_{HI} + \dots = y_s + y_{DC} + B_I \cos(\omega t + \varphi_I) + B_H \cos(2\omega t + \varphi_H) + B_{HI} \cos(3\omega t + \varphi_{HI}) + \dots$$

Nelinearni model (G) može biti zamenjen beskonačnim nizom frekventnih prenosnih funkcija različitih redova ($G_1(\omega_1), G_2(\omega_1, \omega_2), G_3(\omega_1, \omega_2, \omega_3), \dots$) koje su u direktnoj vezi sa DC komponentom i višim harmonicima odziva sistema (Slika 1).



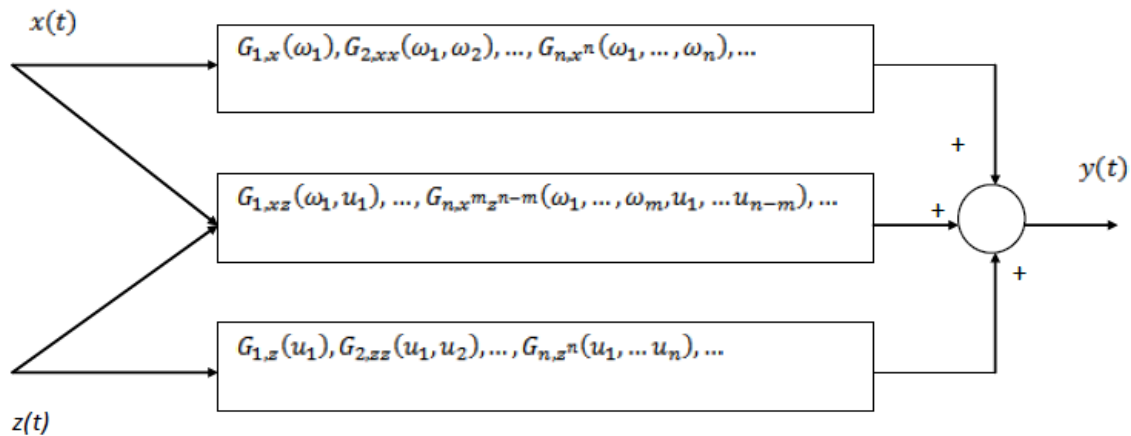
Slika 1 – Blok dijagram blago nelinearnog sistema

Važno je napomenuti da DC komponenta određuje usrednjen odziv pri periodičnom režimu rada. Dok je sa druge strane, dominantni član DC komponente proporcionalan asimetričnoj frekventnoj prenosnoj funkciji drugog reda $G_2(\omega, -\omega)$, te se približna vrednost DC komponente može odrediti određivanjem vrednosti ove funkcije

$$y_{DC} \approx 2 \left(\frac{A}{2} \right)^2 G_2(\omega, -\omega)$$

Znak asimetrične FPF-je drugog reda određuje znak DC komponente na osnovu čega se dolazi do zaključka da li rad je rad u nestacionarnom, periodičnom režimu superiorniji od rada u stacionarnom režimu [17,18].

Nelinearna metoda frekventnog odziva se može primeniti i kod procesnog sistema kod kog se periodično menja više ulaznih promenljivih. Da bi definisali ovakav sistem potrebno je definisati više serija FPF-ja koje povezuju svaki izlaz iz sistema sa svakim pojedinačnim ulazom i serije unakrsnih FPF-ja koje povezuju svaki izlaz sa nekoliko ulaza. Npr., na Slici 2 je prikazan blok dijagram nelinearnog sistema koji ima jednu izlaznu promenljivu kada se periodično menjaju dva ulaza. Za ovaj sistem je potrebno definisati tri serije FPF-ja: dve serije koje povezuju izlaz sa svakom ulaznom promenljivom pojedinačno i jednu seriju unakrsnih FPF-ja koja povezuje izlaz sa obe ulazne promenljive. Serija unakrsnih FPF-ja sadrži samo funkcije drugog i višeg reda [20].



Slika 2 – Blok dijagram nelinearnog sistema sa dva manipulisana ulaza i jednim izlazom

Na Slici 2 korišćene su sledeće oznake: $G_{n,x}^n$ i $G_{n,z}^n$ su FPF-je n -tog reda koje povezuju izlaz sa pojedinačnim ulazima x i z , dok je $G_{n,xmzn-m}^n$ unakrsna FRF-ja n -tog reda, m -tog reda u odnosu na ulaz x i $n-m$ -tog reda u odnosu na ulaz z . Za ovako definisan sistem, DC komponenta izlaza zavisi od asimetričnih FPF-ja drugog reda koje povezuju izlaz sa pojedinačnim ulazima ali i od

unakrsne asimetrične FPF-je $\{G_{1,xx}(\omega, -\omega), G_{2,xx}(\omega, -\omega), G_{1,xz}(\omega, -\omega)\}$ i od faznog ugla φ izmedju ovih periodičnih promena.

$$y_{2C} \approx 2\left(\frac{A}{2}\right)^2 G_{2,xx}(\omega, -\omega) + 2\left(\frac{B}{2}\right)^2 G_{2,zz}(\omega, -\omega) + \left(\frac{A}{2}\right)\left(\frac{B}{2}\right) \cos(\varphi) (G_{2,xz}(\omega, -\omega) + G_{2,xz}(-\omega, \omega))$$

Da bi odredili koji je režim rada superiorniji za izabrani procesni sistem kod koga se periodično menjaju dva ulaza potrebno je odrediti vrednost ovih FPF-ja.

Stoga, u cilju odredjivanja da li je periodičnih režim rada hemijskih reaktora superiorniji i za koje vrednosti parametara periodičnog režima rada, primenom nelinearne metode frekventnog odziva, potrebno je izvesti i analizirati asimetrične FPF-je drugog reda.

- [1] Douglas, J.M., Rippin, D.W.T. (1966). Unsteady state process operation, *Chemical Engineering Science*, 21, p. 305-315.
- [2] Douglas, J.M. (1967). Periodic reactor operation, *I and EC process Design and Development* 6(1), p. 43-48.
- [3] Horn, F.J.M., Lin, R.C. (1967). Periodic Processes: A variational approach, *I and EC process Design and Development* 6(1), p. 20-30.
- [4] Ritter A.B., Douglas J.M. (1970). Frequency Response of Nonlinear Systems, *I&EC Fundamentals*, Vol. 9 No.1.
- [5] Bailey, J.E., Horn, J.M. (1971). Comparison Between Two Sufficient Conditions for Improvement of an Optimal Steady-State Process by Periodic Operation, *Journal of Optimization Theory and Applications* 7(5), p.378-384.
- [6] Renken, A. (1972). The use of periodic operation to improve the performance of continuous stirred tank reactors, *Chemical Engineering Science* 27, p. 1925-1932.
- [7] Bailey, J. E. (1973). Periodic operation of chemical reactors: A review, *Chem. Eng. Commun.*, 1, pp. 111-124.
- [8] Silveston, P.L. (1987). Periodic operation of chemical reactors - a review of the experimental literature *Sadhana*, Vol. 10, Part 1&2, p.217-246.
- [9] Sterman L.E., Ydstie B.E. (1990) Unsteady-state multivariable analysis of periodically perturbed systems, *Chemical Engineering Science*, 45(3), p.737-749.
- [10] Sterman L. E., Ydstie B.E (1991)., Periodic forcing of the CSTR: an Application of the Generalized II-Criterion, *AIChE Journal*, Vol. 37, No. 7, p. 986-996.
- [11] Silveston, P., Hudgins, R., Renken, A. (1995). Periodic operation of catalytic reactors – introduction and overview, *Catalysis Today* 25, p. 91-112.
- [12] Silveston, P.L. (1998). *Composition Modulation of Catalytic Reactors*. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- [13] Silveston, P. L., Hudgins, R. R. (2004). Periodic temperature forcing of catalytic reactions, *Chemical Engineering Science*, 59, p. 4043-4053.
- [14] Aida, T., Silveston, P. L. (2005). *Cyclic Separation Reactors*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- [15] Petkovska, M. i Seidel-Morgenstern, A. (2005). "Nonlinear frequency response of a chromatographic column. Part I: Application to estimation of adsorption isotherms with inflection points." *Chem. Eng. Commun.* 192, p.1.
- [16] Weiner D.D., Spina J.F., *Sinusoidal analysis and modelling of weakly nonlinear systems*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1980
- [17] Markovic A., Seidel Morgenstern A., Petkovska M., Evaluation of the potential of periodically operated reactors based on the second order frequency response function, *Chemical Engineering Research and Design*, 86 (2008), pp. 682-691.
- [18] M.Petkovska, D.Nikolić, A. Marković, A. Seidel-Morgenstern, *Fast Evaluation of Periodic Operation of a Heterogeneous Reactor Based on Nonlinear Frequency response Analysis*, *Chemical Engineering Science* 65 (2010) 3632 – 3637.

- [19] Parulekar S.J. , Systematic performance analysis of continuous processes subject to multiple input cycling, *Chemical Engineering Science* 58 (2003) 5173-5194.
- [20] Petkovska, M. i Markovic, A. (2006). "Fast Estimation of Quasi-Steady states of Cyclic Nonlinear Processes Based on Higher-Order Frequency Response Functions. Case study: Cyclic Operation of an Adsorption Column." *Ind. Eng. Chem. Res.* 45, p.266.

3. POLAZNE HIPOTEZE

Polazna hipoteza predložene doktorske disertacije je da se promena performansi kod proizvoljno izabranih reaktora u kojima se odigravaju različiti reakcioni mehanizmi pri nestacionarnim operacijama, može odrediti pouzdano i brzo, primenom nelinearne frekventne metode. Za različite tipove reaktora u kojim se odigravaju proizvoljno izabrane hemijske reakcije, će biti izvedene FPF-je pri periodičnoj promeni jedne ili više ulaznih promenljivih. Iz vrednosti asimetričnih FPF-ja ćemo određivati vrednost DC komponente izlaza za definisane parametre ulazne promene. Očekujemo da ovako određena vrednost bude približna vrednosti koja je dobijena numeričkim rešavanjem jednačina modela. NMFO će biti testirana i na realnim sistemima koji su relevantni za hemijsku industriju. Pored predviđanja mogućeg poboljšanja performansi hemijskih reaktora pretpostavlja se da će primenom NMFO biti moguće izvršiti i optimizaciju periodičnog režima rada.

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Za izvođenje asimetričnih frekventnih prenosnih funkcija drugog reda koristićemo se analizom nelinearnog frekventnog odziva kao i analitičkim matematičkim alatima kao što su Voltera redovi i generalizovana Furijeova transformacija.

Za teorijsku verifikaciju predložene metode procesa će se koristiti osnovni principi matematičkog modelovanja i simulacije. Matematički modeli ovog procesa koji se najčešće dobijaju u obliku spregnutih sistema nelinearnih običnih i/ili parcijalnih diferencijalnih jednačina koji će biti rešavani numeričkom integracijom za izabrani set parametara i ulaznih funkcija do postizanja cikličnog stacionarnog stanja korišćenjem programskog paketa MATLAB.

Postoji mogućnost da će u saradnji sa Maks Plank institutom biti rađena eksperimentalna ispitivanja periodičnih operacija hemijskih reaktora koja bi bila pogodna za verifikaciju dobijenih teorijskih rezultata, ali u ovom trenutku ne postoje tačne informacije koji bi to eksperimentalni sistem bio.

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Periodične operacije predstavljaju jedan od osnovnih pravaca intenzifikacije procesa, dok intenzifikacija procesa predstavlja jedan od osnovnih trendova savremenog hemijskog

inženjerstva. Obzirom da je primenom periodičnog režima moguće ostvariti znatno poboljšanje performansi procesnog sistema ovaj režim rada ima dobre predispozicije za industrijsku primenu. Razvoj nove metode čijom primenom bi na brz i jednostavan način bio moguć proračun periodičnih procesa predstavlja direktan doprinos u oblasti intenzifikacije procesa, zbog čega je ova oblast veoma aktuelna.

Trenutno veliki broj istraživačkih grupa u svetu se bavi ispitivanjem periodičnih operacija i optimizacije periodičnog režima rada u cilju poboljšanja performansi procesnih sistema. Uobičajene metode koje se koriste u ovoj oblasti su zasnovane na dugotrajnim numeričkim rešavanjima nelinearnih jednačina modela. Za eksperimentalno ispitivanje periodičnih operacija je, kao i za numeričke simulacije, uglavnom potrebno dosta vremena i sredstava. Iz tog razloga je razvoj teorijskih pristupa i metoda za određivanje efekata periodičnog režima rada hemijskih procesa kao i izbor optimalnih parametara, veoma aktuelno pitanje.

Očekuje se da rezultati ove doktorske disertacije doprinesu razvoju metode nelinearnog frekventnog odziva i da potvrde njenu primenjivost za određivanje performansi hemijskih reaktora pri periodičnom režimu rada. Izvođenjem asimetričnih frekventnih prenosnih funkcija drugog reda za različite reakcione mehanizme i različite modele reaktora će se kreirati neka vrsta baze ovih funkcija, koje kasnije mogu biti primenjivane za optimizaciju rada industrijskih reaktora i realnih sistema koji su relevantni za hemijsku industriju. Procedure koje će biti razvijene mogu poslužiti kao polazna osnova za ispitivanje dinamike nekih drugih procesa u hemijskom inženjerstvu, primenom nelinearne metode frekventnog odziva.

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Primenom metode nelinearnog frekventnog odziva biće urađena analiza za koje hemijske reaktore i pod kojim uslovima je nestacionarni, periodični režim rada povoljniji od stacionarnog režima rada tj. koji režim rada obezbeđuje bolje performanse (konverziju, selektivnost, prinos, brzinu hemijske reakcije itd.) i pod kojim uslovima. Za svaki pojedinačni sistem promena performansi će biti određena i numeričkim rešavanjem jednačina modela za izabrani set parametara i ulaznih funkcija, čime će se testirati primenjivost NMFO.

Planirana je fazna teorijska analiza periodičnih operacija:

- reaktora sa koncentrisanim parametrima (protočnog reaktora sa mešanjem) i,
 - reaktora sa raspoređenim parametrima (cevnog reaktora sa klipnim strujanjem i cevnog reaktora sa disperznim mešanjem),
- pri
- izotermnim ili
 - neizotermnim uslovima,
- kada se u njima odigravaju
- jednostavne nepovratne hemijske reakcije različitih redova ,
 - paralelne i uzastopne hemijske reakcije,
 - povratne hemijske reakcije,
 - ili uzastopno-paralelne hemijske reakcije

kada se periodično menja

- jedna
- ili više ulaznih, manipulisanih promeljivih

u obliku

- kosinusne funkcije i/ili
- kvadratne promene

za različite

- parametre ulazne promene (amplitude, frekvencije, fazne razlike itd.)

Znak asimetrične FPF-je drugog reda, iz kog se može izvesti zaključak da li periodični režim rada superorniji, će biti analiziran za svaki pojedinačni slučaj, u zavisnosti od različitih parametara (reda reakcije, frekvencije ulazne promene, amplitude, fazne razlike između dve ulazne promenljive koje se periodično menjaju itd.).

Neki od teorijskih rezultata koji su dobijeni primenom NMFO, biće upoređivani sa eksperimentalnim rezultatima koji su dostupni u literaturi. Ukoliko budu rađena eksperimentalna ispitivanja periodičnih operacija hemijskih reaktora u saradnji sa Maks Plank institutom, rezultati će biti korišćeni za verifikaciju dobijenih teorijskih rezultata NMFO.

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu izložene analize podobnosti teme doktorske disertacije Komisija smatra da je predložena tema **“Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog frekventnog odziva”** naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Za mentora se predlaže prof. Menka Petkovska, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija.

U Beogradu, 25.10.2012.

ČLANOVI KOMISIJE

Beogradu

Dr Menka Petkovska, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u

Dr Irena Žižović, vanredni profesor

Beogradu

Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u

Beogradu

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

Dr Vladimir Panić, savetnik
NU Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju,
Univerzitet u Beogradu