

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06),
дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

ДАЛИБОРКЕ (Слободан) НИКОЛИЋ ПАУНИЋ, дипл. инж.

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ: **ДАЛИБОРКА (Слободан) НИКОЛИЋ ПАУНИЋ, дипл. инж.**

пријавила је докторску дисертацију под називом:

**„Периодичне операције хемијских реактора–евалуација и анализа применом методе
нелинеарног фреквентног одзива (Forced periodically operated chemical reactors–
evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method “**

Из научне области: **ХЕМИЈА И ХЕМИЈСКА ТЕХНОЛОГИЈА**

Универзитет је дана 08.02.2016. године, својим актом **02 број: 61206-522/2-16** дао сагласност на
предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**„Периодичне операције хемијских реактора–евалуација и анализа применом методе
нелинеарног фреквентног одзива (Forced periodically operated chemical reactors–
evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method”**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

ДАЛИБОРКЕ (Слободан) НИКОЛИЋ ПАУНИЋ, дипл. инж.

(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **03.03.2016.** године Одлуком Факултета под бр. **35/85**, у
саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Менка Петковска	Редовни професор	Хемијско инжењерство
2. Др Ирена Жижовић	Ванредни професор	Хемијско инжењерство
3. Др Никола Никачевић	Ванредни професор	Хемијско инжењерство
4. Др Владимир Панић	Научни саветник	Хемија и хемијска технологија
5. Др Andreas Seidel Morgenstern	Редовни професор	Процесно инжењерство

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске
дисертације на седници одржаној дана **14.04.2016.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 123. став 4. Закона о високом образовању и чл. 128. став 3. Статута ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 14.04.2016. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Менка Петковска, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ирена Жижовић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Никола Никачевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Владимир Панић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, проф. др Andreas Seidel-Morgenstern Otto-fon-Gerike univerzitet и Макс Планк институт за динамику сложених техничких система, Магдебург, Немачка, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Периодичне операције хемијских реактора–евалуација и анализа применом методе нелинеарног фреквентног одзива (Forced periodically operated chemical reactors–evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method)”** коју је поднела **Далиборка Николић Паунић**, дипл. инж. технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Далиборке Николић Паунић под називом „Периодичне операције хемијских реактора – евалуација и анализа применом методе нелинеарног фреквентног одзива (Forced periodically operated chemical reactors–evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method)“ Одлуком 02 број: 61206-522/2-16 од 08.02.2016. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M21:

1. Petkovska, M., **Nikolić, D.**, Marković, A., Seidel-Morgenstern A.: Fast evaluation of periodic operation of a heterogeneous reactor based on nonlinear frequency response analysis, - *Chemical Engineering Science*, vol. 65, pp. 3632-3637, 2010 (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
2. **Nikolić Paunić, D.**, Petkovska M.: Evaluation of periodic processes with two modulated inputs based on nonlinear frequency response analysis. Case study: CSTR with modulation of the inlet concentration and flow-rate, - *Chemical Engineering Science*, vol. 104, pp. 208-219, 2013 (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
3. **Nikolić D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M.: Nonlinear frequency response analysis of forced periodic operation of non-isothermal CSTR using single input modulations. Part I: Modulation of inlet concentration or flow-rate, - *Chemical Engineering Science*, vol. 117, pp.71-84, 2014 (**M21**), (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
4. **Nikolić D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M.: Nonlinear frequency response analysis of forced periodic operation of non-isothermal CSTR using single input modulations. Part II: Modulation of

inlet temperature or temperature of the cooling/heating fluid, - *Chemical Engineering Science*, vol. 117, pp.31-44, 2014 (**M21**), (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).

5. **Nikolić D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M.: Nonlinear frequency response analysis of forced periodic operation of non-isothermal CSTR with simultaneous modulation of inlet concentration and inlet temperature, - *Chemical Engineering Science* vol. 137, pp. 40-58, 2015, (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).

Докторска дисертација и Реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, докторанду, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Daliborke Nikolić Paunić

Odlukom br. 35/85 od 03.03.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Daliborke Nikolić Paunić pod naslovom

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

(FORCED PERIODICALLY OPERATED CHEMICAL REACTORS – EVALUATION AND
ANALYSIS BY THE NONLINEAR FREQUENCY RESPONSE METHOD)

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Školske 2005/2006. godine – Kandidat Daliborka Nikolić Paunić, dipl. inž. tehnol. je upisala doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, smer hemijsko-inženjerstvo, pod mentorstvom Prof. Dr. Menke Petkovske.

13.09.2012. godine - Kandidat Daliborka Nikolić Paunić je prijavila temu za izradu doktorske disertacije na Tehnološko-metalurškom fakultetu (Univerzitet u Beogradu) pod nazivom „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog freventnog odziva.“

20.09.2012. – Odlukom br. 35/319 imenovani su članovi Komisije za ocenu i podobnost teme „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog freventnog odziva“ i kandidata Daliborke Nikolić Paunić za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme.

26. 10. 2012. – Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu je, na osnovu izveštaja komisije, donelo odluku o odobrenju izrade navedene doktorske disertacije.

19.11.2012. godine - Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na održanoj sednici doneo je Odluku o davanju saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije.

28.01.2016. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, a na molbu kandidata Daliborke Nikolić Paunić, tema doktorska disertacija pod nazivom „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog freventnog odziva“ je stavljena van snage i usvojena doktorska disertacija pod nazivom „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog freventnog odziva (Forced periodically operated chemical reactors – Evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method)“, s obzirom da je kandidatkinja predala doktorsku disertaciju na engleskom jeziku.

08.02.2016. Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na održanoj sednici doneo je Odluku o davanju saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije pod nazivom „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog

freventnog odziva (Forced periodically operated chemical reactors – Evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method)“

03.03.2016. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu imenovana je Komisija za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Daliborke Nikolić Paunić.

NAPOMENA: Tokom doktorskih studija, Daliborka Nikolić Paunić je bila na jednom trudničkom bolovanju, dva porodijska bolovanja i jednogodišnjem bolovanju radi posebne nege deteta.

1.2. Naučna oblast disertacije

Rad u oblasti ove doktorske disertacije pripada naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija, uža naučna oblast Hemijsko inženjerstvo, za koju je matična ustanova Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Za mentora je izabrana Prof. Dr. Menka Petkovska, redovni profesor ovog fakulteta koja je na osnovu oblasti istraživanja, objavljenih publikacija i iskustva kompetentna da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Daliborka Nikolić Paunić je rođena u Beogradu 12. aprila 1978. godine. Osnovnu školu i Petu beogradsku gimnaziju završila je sa odličnim uspehom u Beogradu. Diplomirala je na Katedri za hemijsko inženjerstvo Tehnološko-metalurškog fakulteta (Univerzitet u Beogradu) 2003. godine prosečnom ocenom 9.24/10. Daliborka Nikolić Paunić je odbranila diplomski rad na temu: “Teorijska analiza nelinearnog frekventnog odziva hromatografska kolone za slučaj binarne adsorpcije.” Kandidatkinja je nagrađena specijalnom godišnjom nagradom Srpskog hemijskog društva 2004. godine za postignut uspeh tokom osnovnih studija.

Daliborka Nikolić Paunić je učestvovala u naučno-istraživačkom projektu kao stipendista Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine na Tehnološko-metalurškom fakultetu u periodu od 2004-2005 godine.

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).

Daliborka Nikolić Paunić je od januara 2007. godine zaposlena u Institutu za hemiju, tehnologiju i metalurgiju (Univerzitet u Beogradu), gde učestvuje u istraživanjima na naučno-istraživačkim projektima finansiranim od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, kao i na studijama održivog razvoja i tehno-ekonomskih studija.

Daliborka Nikolić Paunić je u periodu od 2010 do 2011. godine učestvovala na međunarodnom projektu Bilateralne saradnje između Republike Srbije i Nemačke pod nazivom: „Analiza periodičnih procesa zasnovana na nelinearnom frekventnom odzivu“. U tom periodu ostvarila je dva studijska boravka na Maks-Planck institutu za dinamiku složenih tehničkih sistema u Magdeburgu (Nemačka).

Učestvovala je držanju vežbi iz kursa Osnova automatskog upravljanja na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu u školskoj, 2011/2012 godini.

Daliborka Nikolić Paunić je upisala doktorske studije na Katedri za hemijsko inženjerstvo Tehnološko-metalurškog fakulteta (Univerzitet u Beogradu) školske 2005/2006 godine i položila je sve ispite prosečnom ocenom 10/10. Tokom doktorskih studija bila je na dva porodijska bolovanja, jednom trudničkom i jednogodišnjem bolovanju zbog posebne nege deteta.

Daliborka Nikolić Paunić je autor pet radova u vodećim međunarodnim časopisima (M21), od toga prvi autor na četiri rada. Učestvovala je na više međunarodnih skupova i na jednom skupu nacionalnog značaja na kojima je prikazala rezultate svojih istraživanja.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Daliborke Nikolić Paunić napisana je na 215 stranica, sa ukupno 6 poglavlja, 43 slike, 36 tabela i 69 literaturnih navoda. Disertacija je napisana na engleskom jeziku i sadrži sledeća poglavlja:

I Introduction,

II Nonlinear frequency response for fast estimation of the time-average performance of periodically operated chemical reactors

III Application of nonlinear frequency response method for evaluation of periodically operated isothermal CSTRs

IV Application of nonlinear frequency response method for evaluation of periodically operated non-isothermal CSTRs

V Application of nonlinear frequency response method for evaluation of periodically operated adiabatic non-isothermal CSTRs

VI Conclusions

Disertacija sadrži i Literaturu, Priloge, Rezime na engleskom i srpskom jeziku, Listu simbola kao i Biografiju autora.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U **prvom poglavlju** ove doktorske disertacije date su osnovne informacije o periodičnom režimu rada hemijskih reaktora. Dat je pregled literature koja analiza moguće poboljšanje performansi hemijskih reaktora periodičnom promenom jednog ili više ulaza u reaktor. Takođe, dat je i pregled literature u kojoj je dat prikaz dosadašnjih teorijskih metoda za evaluaciju mogućeg poboljšanja performansi hemijskih reaktora kroz periodične operacije. U ovom poglavlju date su i teorijske osnove metode nelinearnog frekventnog oziva (NFO) koja je korišćena u ovoj doktorskoj disertaciji.

U **drugom poglavlju** je objašnjena primena metode NFO za procenu vremenski-usrednjenih performansi hemijskih reaktora pri periodičnom režimu rada. Objašnjen je i način identifikacije potencijalnog poboljšanja kroz analizu znaka asimetričnih frekventnih prenosnih funkcija drugog reda (A-FPF-DR). Data je procedura primene NFO metode za procenu performansi reaktora kod kojih je primenjen periodični režim rada, kao i uslovi koji treba da budu zadovoljeni da bi metoda mogla da se primeni. U ovom poglavlju prikazana je i dosadašnja primena metode NFO u hemijskom inženjerstvu.

U **trećem poglavlju** dat je prikaz primene metoda NFO za evaluaciju periodičnog režima rada izotermnog protočnog reaktora sa idealnim mešanjem (PRIM) kada se pojedinačno ili simultano periodično menjaju ulazna koncentracija reaktanta i protok. Izvedene su neophodne A-FPF-DR i urađena je analiza znaka. Rezultati su testirani na dva numerička primera i rezultati metode NFO su upoređeni sa rezultatima numeričke integracije, pri čemu je postignuto vrlo dobro slaganje između njih.

U **četvrtom poglavlju** dat je prikaz primene metode NFO za evaluaciju periodičnog režima rada neizotermnog PRIM-a, kada se periodično menjaju ulazna koncentracija, protok, ulazna temperatura ili temperatura rashladnog/grejnog fluida u omotaču. Ista analiza je urađena i za simultanu promenu ulazne koncentracije i ulazne temperature, kao i ulazne koncentracije i protoka. Sve neophodne A-FPF-DR su izvedene i analizirane. Dobijeni rezultati su testirani na četiri numerička primera koji su prikazani u ovom poglavlju. Dat je uporedni prikaz rezultata metode NFO i rezultata numeričkih simulacija i izvedeni su zaključci o primenjivosti metode NFO.

U **petom poglavlju** dat je prikaz primene metode NFO u cilju evaluacije periodičnog režima rada adijabatskog PRIM-a, kada se periodično menjaju ulazna koncentracija, protok ili ulazna temperatura reakcione smeše. Ista analiza je urađena i za simultanu promenu ulazne koncentracije i ulazne temperature, kao i ulazne koncentracije i protoka. Asimetrične frekventne prenosne funkcije drugog reda su dobijene svođenjem odgovarajućih funkcija koje su bile izvedene za opšti slučaj neizotermnog PRIM-a (date u četvrtom poglavlju). Data je analiza izvedenih funkcija. Dobijeni

rezultati su testirani na primeru laboratorijskog reaktora u kome se odigrava reakcija hidrolize anhidrida sirćetne kiseline do sirćetne kiseline, pri čemu kinetički i fizički parametri sistema odgovaraju eksperimentalnom sistemu koji se razvija na Maks Plank institutu za dinamiku složenih tehničkih sistema (Nemačka), u okviru naučne saradnje između TMF i Maks-Plank instituta.

U **šestom poglavlju** su izvedeni zaključci koji su proistekli iz ove doktorske disertacije a odnose se na primenu metode NFO za evaluaciju poboljšanja periodičnog režima rada hemijskih reaktora. U zaključcima je dat i kritički osvrt na analiziranu metodu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Periodične operacije predstavljaju jedan od značajnih pravaca intenzifikacije procesa, dok intenzifikacija procesa predstavlja jedan od osnovnih trendova savremenog hemijskog inženjerstva. S obzirom da je primenom periodičnog režima, u nekim slučajevima moguće ostvariti znatna poboljšanja performansi procesnih sistema, razvoj ovakvih procesa ima dobre predispozicije za praktičnu primenu u razvoju i projektovanju procesa. Razvoj metode čijom primenom je moguće na brz i jednostavan način proceniti da li je moguće poboljšanje performansi procesa kroz periodičan rad i koliko iznosi to poboljšanje predstavlja direktan doprinos u oblasti intenzifikacije procesa, zbog čega su istraživanja i rezultati prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji veoma aktuelni.

Trenutno se veliki broj istraživačkih grupa u svetu bavi ispitivanjem periodičnih operacija i optimizacijom periodičnog režima rada u cilju poboljšanja performansi procesnih sistema. Uobičajene metode koje se koriste u ovoj oblasti su zasnovane na skupim i dugotrajnim eksperimentalnim istraživanjima ili na numeričkom rešavanju nelinearnih jednačina modela. Oba ova pristupa zahtevaju dosta vremena i sredstava. Istovremeno, ni eksperimenatna ni numerička ispitivanja periodičnih operacija ne daju kompletnu sliku i uticaj izbora periodičnih parametra na performanse sistema. Metoda nelinearnog frekventnog odziva koja je primenjena u ovom doktoratu predstavlja efikasni teorijski pristup za određivanje efekata periodičnog režima rada hemijskih reaktora koja, ne samo što daje odgovor da li postoje predispozicije za poboljšanje procesa kroz periodičan rad i kvantitativnu procenu tog povećanja, već, dajući kompletnu sliku, omogućuje izbor optimalnih vrednosti parametara periodične operacije (frekvencije, amplituda i faznog ugla između ulaznih promena). Ovo je potpuno nov i originalan pristup u projektovanju periodičnih operacija.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji citirano je ukupno 69 referenci. Veliki deo citiranih referenci predstavljaju naučni radovi publikovani u poslednjih nekoliko godina ukazujući na aktuelnost teme doktorske disertacije. Najveći broj citiranih radova čine radovi međunarodnog značaja. Među citiranim referencama, najzastupljenija je tema poboljšanja performansi hemijskih reaktora pri periodičnom režimu rada. Razmatrani su i naučni radovi koji se bave procenom poboljšanja primenom nekih drugih metoda kao i radovi u kojima je metoda NFO primenjena u hemijskom inženjerstvu, ali u neku drugu svrhu.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U izradi ove doktorske disertacije za evaluaciju mogućeg poboljšanja rada hemijskih reaktora kroz periodični režim rada korišćena je metoda nelinearnog frekventnog odziva koja je matematički zasnovana na Voltera redovima i generalizovanoj Furijevoj transformaciji, kao i na frekventnim prenosnim funkcijama (FPF) višeg reda. Metoda NFO predstavlja vrlo povoljan alat za analizu slabo nelinearnih sistema.

Frekventni odziv slabo nelinearnog sistema, pored osnovnog harmonika, sadrži i neperiodični član (DC komponentu) i beskonačan broj harmonika višeg reda. Nelinearni model sistema može biti zamenjen beskonačnim nizom frekventnih prenosnih funkcija različitih redova koje su u direktnoj vezi sa DC komponentom i različitim harmonicima odziva sistema.

Pri uvođenju periodičnog režima procesa u cilju poboljšanja njegovih performansi dovoljno je posmatrati samo vremenski usrednjene promene veličina koje su od interesa, koje su određene njihovim DC komponentama odziva. Na osnovu metode NFO približna vrednost DC komponente je proporcionalna asimetričnoj frekventnoj prenosnoj funkciji drugog reda, tako da se može odrediti određivanjem vrednosti ove funkcije.

Metoda nelinearnog frekventnog odziva se može primeniti i kod procesnih sistema kod kojih 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, kao i serije unakrsnih FPF-ja koje povezuju svaki izlaz sa nekoliko ulaza. Za sistem kod kog se simulatno periodično menjaju dva ulaza, DC komponenta izlaza zavisi od asimetričnih FPF-ja drugog reda koje povezuju izlaz sa pojedinačnim ulazima ali i od unakrsne asimetrične FPF-je, i od faznog ugla između ovih periodičnih ulaza.

Da bi se, primenom nelinearne metode frekventnog odziva, dobili odgovori na pitanja da li je moguće isprojektovati periodični režim rada hemijskog reaktora koji bi bio superiorniji od optimalnog stacionarnog režima i za koje vrednosti parametara bi se dobili najbolji rezultati periodičnog režima rada, potrebno je izvesti i analizirati asimetrične FPF-je drugog reda.

Za teorijsku verifikaciju ove metode korišćeni su osnovni principi matematičkog modelovanja i simulacije. Matematički modeli hemijskih reaktora su dati u obliku spregnutih sistema nelinearnih diferencijalnih jednačina koji su rešavani numeričkom integracijom do postizanja cikličnog stacionarnog stanja korišćenjem programskog paketa MATLAB.

Na osnovu rezultata koji su prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji, pokazalo se da je metoda NFO adekvatna i efikasna za ispitivanja periodičnog režima rada hemijskih reaktora.

Započeta su eksperimentalna ispitivanja periodičnih operacija hemijskog reaktora za koji je u okviru ovog doktorata uradjena teorijska analiza uz pomoć Metode nelinearnog frekventnog odziva. Esperimenti se izvode na Maks Plank institutu za dinamiku složenih tehničkih sistema (Magdeburg, Nemačka) i rezultati će biti korišćeni za verifikaciju dobijenih teorijskih rezultata ove doktorske disertacije.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Izvođenjem asimetričnih frekventnih prenosnih funkcija je kreirana neka vrsta baze ovih funkcija, s obzirom da su izvedene opšte funkcije za izotermni, neizotermni i adijabatski PRIM, za opštu reakciju n -tog reda. Dobijeni rezultati se mogu primenjivati za optimizaciju rada industrijskih i laboratorijskih reaktora koji su relevantni za hemijsku industriju.

Sa druge strane, metodologija za evaluaciju periodičnih operacija hemijskih reaktora, razvijena u ovoj doktorskoj disertaciji, primenljiva je i na druge, složenije tipove reakcija i reaktora, kao i na druge procese u hemijskom inženjerstvu.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Daliborka Nikolić Paunić je tokom izrade doktorske disertacije pokazala interes, sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom i postigla značajne rezultate.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U okviru ove doktorske disertacije postignut je značajan doprinos razvoju i primeni metode nelinearnog frekventnog odziva za evaluaciju performansi hemijskih reaktora pri periodičnom režimu rada, za slučaj periodične promene jednog ili dva ulaza u reaktor.

Najznačajniji naučni doprinosi ove disertacije su:

- Razvijena je jasna procedura za brzu procenu periodičnih operacija sa promenom jednog ili dva ulaza, korišćenjem metode nelinearnog frekventnog odziva.

- Ova procedura je uspešno primenjena na analizu periodičnog rada izotermnih, neizotermnih i adijabatskih protočnih reaktora sa idealnim mešanjem.
- Izvedene su asimetrične frekventne prenosne funkcije drugog reda za opšte slučajeve reakcije n -tog reda, koje omogućavaju brzu analizu za bilo koju konkretnu reakciju sa poznatim kinetičkim parametrima.
- Metoda nelinearnog frekventnog odziva daje odgovor da li je moguće postići poboljšanje performansi reaktora kroz periodični režim rada i daje procenu koliko je to poboljšanje.
- Rezultati dobijeni primenom metode nelinearnog frekventnog odziva su verifikovani poredjenjem sa rezultatima dobijenim numeričkim rešavanjem jednačina nelinearnog modela.
- Metoda nelinearnog frekventnog odziva daje kompletan pregled mogućnosti periodičnih operacija, za ceo opseg frekvencija, ulaznih amplituda i faznog ugla između promenljivih ulaza.
- Razvijena je procedura za optimizovanje ulaznih parametara periodične operacije (amplituda ulaznih promena i faznog ugla), tako da se maksimizuje ili minimizuje definisana funkcija cilja.
- S obzirom da je metoda nelinearnog frekventnog odziva približna, izvršena je kritička analiza njene primenljivosti, da bi se došlo do uslova koji moraju da budu zadovoljeni za njenu uspešnu primenu.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Performanse hemijskog reaktora pri periodičnom režimu rada je moguće odrediti numeričkim rešavanjem nelinearnih jednačina modela. Za eksperimentalno ispitivanje je, kao i za numeričke simulacije, uglavnom potrebno dosta vremena i sredstava. Istovremeno, ni eksperimentalna ni numerička ispitivanja periodičnih operacija ne daju potpunu sliku uticaja izbora periodičnih parametara na performanse sistema.

Sa druge strane, metoda NFO i rezultati koji su prikazani u doktorskoj disertaciji omogućavaju da se veoma brzo i jednostavno stekne uvid o tome da li je moguće postići poboljšanje za konkretan sistem, kao i parametre koje je potrebno koristiti i koliko poboljšanje se može očekivati.

Medjutim, metoda nelinearnog frekventnog odziva ima svoja ograničenja. Ona je primenljiva samo na stabilne sisteme. Takođe, kod jako oscilatornih sistema sa izrazitom rezonancijom, ova metoda daje loše rezultate za periodične promene ulaza sa frekvencijom bliskom rezonantnoj i sa velikim amplitudama ulaznih promena. Ova ograničenja metode su analizirana i jasno istaknuta u tekstu doktorske disertacije.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Daliborka Nikolić Paunić je u svom istraživačkom radu vezanom za doktorsku disertaciju objavila 5 radova u vrhunskim međunarodnim časopisima kategorije M21, od toga 4 kao prvi autor. Takođe, rezultate svog rada iz doktorske disertacije je prezentovala na 5 međunarodnih skupova kategorije M34 i jednom skupu nacionalnog značaja kategorije M64.

Bibliografija koja se odnosi na doktorsku disertaciju:

Kategorija M21:

1. Petkovska, M., **Nikolić, D.**, Marković, A., Seidel-Morgenstern A.: Fast evaluation of periodic operation of a heterogeneous reactor based on nonlinear frequency response analysis, - *Chemical Engineering Science*, vol. 65, pp. 3632-3637, 2010 (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
2. **Nikolić Paunić, D.**, Petkovska M.: Evaluation of periodic processes with two modulated inputs based on nonlinear frequency response analysis. Case study: CSTR with modulation

- of the inlet concentration and flow-rate, - *Chemical Engineering Science*, vol. 104, pp. 208-219, 2013 (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
3. **Nikolić D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M.: Nonlinear frequency response analysis of forced periodic operation of non-isothermal CSTR using single input modulations. Part I: Modulation of inlet concentration or flow-rate, - *Chemical Engineering Science*, vol. 117, pp.71-84, 2014 (**M21**), (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
 4. **Nikolić D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M.: Nonlinear frequency response analysis of forced periodic operation of non-isothermal CSTR using single input modulations. Part II: Modulation of inlet temperature or temperature of the cooling/heating fluid, - *Chemical Engineering Science*, vol. 117, pp.31-44, 2014 (**M21**), (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).
 5. **Nikolić D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M.: Nonlinear frequency response analysis of forced periodic operation of non-isothermal CSTR with simultaneous modulation of inlet concentration and inlet temperature, - *Chemical Engineering Science* vol. 137, pp. 40-58, 2015, (**IF=2.674**) (ISSN 0009-2509).

Kategorija M34:

1. Petkovska, M., **Nikolić D.**, Marković, A., Seidel Morgenstern, A. "Fast Evaluation of Periodic Operation of a Heterogeneous Reactor Based on Nonlinear Frequency Response Analysis", 2nd *European Process Intensification Conference EPIC 2009*, Venecija, Italija.
2. **Nikolić Paunić, D.**, Petkovska M. "Evaluation of periodic processes with two modulated inputs based on nonlinear frequency response analysis"- *European Process Intensification Conference EPIC 2011*, Mančester, Velika Britanija, 2011.
3. **Nikolić Paunić, D.**, Petkovska M., A. Seidel-Morgenstern. "Analysis of forced periodic operations of non-isothermal CSTR with modulation of inlet concentration and temperature" – *European Congress of Chemical Engineering ECCE 2011*, Berlin, Nemačka, 2011.
4. **Nikolić, D.**, Seidel-Morgenstern A., Petkovska M. Periodically operated CSTRs with simultaneous modulation of feed concentration and flow-rate – Nonlinear frequency response approach. *European Congress of Chemical Engineering ECCE 2015*, Nica, Francuska, 2015.
5. **Nikolić, D.**, Felischak M., Seidel-Morgenstern A., Petkovska M. Evaluation of possible performance improvement through periodic operation for the reaction of acetic acid anhydride hydrolysis- Nonlinear frequency response approach. *European Symposium on Chemical Reaction Engineering (ESCRE 2015)*, Furstenfeldbruk, Nemačka.

Kategorija M64:

1. **Nikolić Paunić, D.**, Petkovska M. Application of nonlinear frequency response method for investigation of periodically operated chemical reactors, *Symposium Nonlinear Dynamics Milutin Milankovic – Multidisciplinary and Interdisciplinary Applications SNDMIA 2012*, Beograd, Srbija, 2012.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu prethodno iznetih razmatranja rezultata doktorske disertacije Daliborke Nikolić Paunić, pod nazivom „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog frekventnog odziva (Forced periodically operated chemical reactors – Evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method),” smatramo da su ispunjeni svi ciljevi i zadaci rada na ovoj tezi i da ona svojim sadržajem i kvalitetom doprinosi naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija, što je i potvrđeno objavljivanjem radova u vrhunskim međunarodnim časopisima i učestvovanjem na međunarodnim skupovima. Komisija je mišljenja da je kandidatkinja ispoljila naučno-istraživačku sposobnost tokom izrade doktorske disertacije.

Imajući u vidu iznet zaključak, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da prihvati ovaj izveštaj, da se doktorska disertacija Daliborke Nikolić Paunić pod nazivom „Periodične operacije hemijskih reaktora – Evaluacija i analiza primenom metode nelinearnog frekventnog odziva (Forced periodically operated chemical reactors – Evaluation and analysis by the nonlinear frequency response method),” prihvati, izloži na uvid u javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu. Komisija predlaže da se nakon završetka ove procedure, kandidatkinja pozove na usmenu odbranu doktorske disertacije pred Komisijom u istom sastavu:

Beograd, 21.03.2016.

ČLANOVI KOMISIJE

.....
Prof. dr Menka Petkovska, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Irena Žižović, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Nikola Nikačević, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

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

.....
Prof. dr Andreas Seidel Morgenstern,
Oto-fon-Gerike univerzitet i Maks Plank institut za dinamiku složenih tehničkih
sistema, Magdeburg, Nemačka