

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

Мр АНДРЕЈА (Милан) СТАНИМИРОВИЋА

КАНДИДАТ: **Мр АНДРЕЈ (Милан) СТАНИМИРОВИЋ**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

**„Експериментално одређивање топлотне проводности бинарних течних смеша
применом нестационарне методе топле жице“**

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

Универзитет је дана **23.11.2015.** године, својим актом **02 број: 61206-5058/2-15**, дао сагласност на
предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**„Експериментално одређивање топлотне проводности бинарних течних смеша
применом нестационарне методе топле жице“**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

Мр АНДРЕЈА (Милан) СТАНИМИРОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **24.11.2016.** године Одлуком Факултета под бр. **35/520** у
саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Емила Живковић	Ванредни професор	Хемијско инжењерство
2. Др Мирјана Кијевчанин	Редовни професор	Хемијско инжењерство
3. Др Ненад Милошевић	Виши научни сарадник	Техничко-технолошке науке-електротехника

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске
дисертације на седници одржаној дана **29.12.2016.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 1. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању од 2.11. 2016. године и чл. 40. Статута Технолошко-металуршког факултета, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 29.12.2016. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Емила Живковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Мирјана Кијевчанин, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ненад Милошевић, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Експериментално одређивање топлотне проводности бинарних течних смеша применом нестационарне методе топле жице“** коју је поднео **мр АНДРЕЈ СТАНИМИРОВИЋ** 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 Андреја Станимировића, под називом **„Експериментално одређивање топлотне проводности бинарних течних смеша применом нестационарне методе топле жице“** Одлуком 02 број: 61206-5058/2-15 од 23.11.2015. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M22:

1. A. M. Stanimirović, E. M. Živković, N. D. Milošević, M.Lj. Kijevčanin, Application and testing of a new simple experimental setup for thermal conductivity measurements of liquids, *Thermal Science*, accepted for publication (doi reference: 10.2298/TSCI160324219S) (IF(2014)=1.222, ISSN: 0354-9836)

Kategorija M23:

1. A. M. Stanimirović, E. M. Živković, D. M. Majstorović, M.Lj. Kijevčanin, Transport properties of binary liquid mixtures - candidate solvents for optimized flue gas cleaning processes, *J. Serb. Chem. Soc.* accepted for publication (doi reference: 10.2298/JSC160623083S) (IF(2015)=0.970, ISSN:0352-5139)

Kategorija M33:

1. A. Stanimirović, E. Živković, D. Majstorović, M. Kijevčanin, New Solvents for regenerative flue gas cleaning processes, International Conference Power Plants 2016, Book of Abstracts, P.002, p. 153, pun tekst CD Rom, ISBN 978-86-7877-027-2, Zlatibor, Serbia, 2016.

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, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Mr **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike.

Odlukom br. 35/520 od 24.11.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, pod naslovom:

“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”.

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

09.09.2015. Kandidat **Andrej M. Stanimirović**, dipl. inž. mašinstva i magistar elektrotehnike prijavio je temu doktorske disertacije pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”.**

17.09.2015.Nastavno-naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu je usvojilo sastav Komisije za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme odlukom br. 35/378.

22.10.2015. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, na osnovu izveštaja Komisije, doneta je Odluka br. 35/499 o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”.** Za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Emila Živković, vanredni profesor TMF-a.

23.11.2015. doneta je Odluka Univerziteta, 02 broj: 61206-5058/2-15, o saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”**

24.11.2016. Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, doneta je Odluka br. 35/520 o imenovanju članova komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”.**

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Mentor ove doktorske disertacije je dr Emila Živković, vanredovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koja je objavila 30 radova u međunarodnim naučnim časopisima.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Andrej M. Stanimirović rođen je 07.05.1965. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju takođe je završio u Beogradu. Diplomirao je 1992. god. na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Automatsko upravljanje. Diplomski rad pod nazivom „Stabilizacija višestruko prenosnih sistema automatskog upravljanja datih objekata“ odbranio je sa ocenom 10. Magistrirao je elektrotehniku 1995. god. na Drexel Univerzitetu u Filadelfiji (Pensilvanija), odbranivši magistarski rad pod naslovom “A Study of Nonlinear Adaptive Control of Continuous-Stirred Tank Reactor”. Rad je odbranjen na Tehničkom fakultetu (College of Engineering) Odseka za elektrotehniku i kompjutersko inženjerstvo (School of Electrical and Computer Engineering) Drexel Univerziteta u Filadelfiji (SAD), pod mentorstvom Dr Allona Gueza, vanrednog profesora Tehničkog fakulteta.

U periodu 1992. – 2002. godine Mr Andrej M. Stanimirović bio je zaposlen u Institutu za nuklearne nauke “Vinča” u Laboratoriji za termotehniku i energetiku kao istraživač-saradnik. U okviru angažovanja u radu laboratorije za termofizičku karakterizaciju materijala radio je na uspostavljanju i korišćenju eksperimentalnih aparatura za određivanje više termofizičkih osobina (toplotna provodnost, termička difuzivnost, specifična toplota, specifična električna provodljivost, emisivnost) inženjerskih materijala, uglavnom metala i legura u čvrstom stanju, u debelom sloju (bulk): Molibden, Volfram, Vanadijum, Hasteloy X, Nihrom 5, AISI321, Inconel 625 i Zircalloy 2. Eksperimentalne metode korišćene u karakterizaciji predominantno su bile nestacionarne, sa impulsnim grejanjem uzorka. Takođe je radio na uspostavljanju aparatura za eksperimentalno određivanje osobina materijala u tankom sloju, korišćenjem metoda periodičnog grejanja slobodnostojećih tankoslojnih uzoraka i prevlaka. U okviru angažovanja u laboratoriji za termometriju učestvovao je u razvoju nacionalnog etalona temperature – aparature za reprodukovanje niza fiksnih temperaturnih tačaka topljenja i očvršćavanja izuzetno čistih supstanci. Pored učešća u projektima osnovnih istraživanja finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u dva navrata je bio gost-istraživač u Nacionalnom institutu za etalone i tehnologiju SAD (NIST) u Gejtersburgu, država Merilend.

Od 2002. god. zaposlen je u JP Elektroprivreda Srbije. Trenutno je angažovan u Sektoru za ključne investicione projekte kao Šef službe za upravljanje projektima.

Mr Andrej Stanimirović je koautor deset (10) radova objavljenih u časopisima međunarodnog značaja, jedne (1) monografije nacionalnog značaja, kao i više saopštenja na naučnim skupovima. Kao koautor monografije “Primarna termometrija” dobitnik je Oktobarske nagrade grada Beograda za tehničko-tehnološke nauke 1996. god.

Koristi engleski i nemački jezik.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata, **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, napisana je na 156 strana, uključuje 33 tabele, 74 slika, kao i 137 literaturnih navoda. Doktorska disertacija sadrži devet poglavlja: Uvod, Zakonska regulativa u pogledu smanjenja ispuštanja zagađivača, Pregled tehnoloških postupaka za prečišćavanje dimnih gasova, Pregled metoda za eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti tečnosti, Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti tečnosti, prikaz aparature i postupka merenja, Rezultati eksperimentalnih merenja, Modelovanje toplotne provodnosti, Zaključak i Literatura.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U okviru doktorske disertacije kandidat **Andrej M. Stanimirović** je radio na uspostavljanju nove aparature i uvođenju procedure za merenje toplotne provodnosti čistih tečnosti i višekomponentnih tečnih smeša na atmosferskom pritisku. Nakon konstruisanja aparature, izvršena je provera rezultata merenja poređenjem sa literaturnim vrednostima za čiste supstance, vodu i toluol, čije su vrednosti toplotne provodnosti poznate sa visokom tačnošću. Nakon što je utvrđena pouzdanost podataka dobijenih na novoj aparaturi, izmerene su toplotne provodnosti čistih supstanci i binarnih smeša sa primenom u regenerativnim postupcima prečišćavanja dimnih gasova elektroenergetskih postrojenja. Eksperimentalni podaci su dodatno obrađeni odgovarajućim korelativnim modelima.

U prvom poglavlju disertacije, ***Uvod***, istaknut je značaj prečišćavanja dimnih gasova koji nastaju kao rezultat rada termoelektrana na lignit, ali i drugih industrijskih postrojenja u kojima dolazi do sagorevanja fosilnih goriva. Napravljen je pregled rastvarača koji su već našli primenu u regenerativnim postupcima za uklanjanje ugljen dioksida i sumpornih oksida, kao i alternativnih organskih rastvarača, za koje je utvrđeno da imaju značajan afinitet ka vezivanju štetnih komponenata dimnih gasova, pa su potencijalno interesantni za industrijsku primenu. Predstavljani su osnovni principi nestacionarne metode tople žice na osnovu kojih je konstruisana aparatura za merenje toplotne provodnosti. Dat je prikaz osnovnih delova aparature i objašnjen princip rada. Aparatura je testirana na fluidima za koje već postoje pouzdani literaturni podaci (voda, toluol), a dalja merenja su obavljena na čistim supstancama i binarnim smešama koje imaju potencijal za prečišćavanje dimnih gasova. Ni za jednu od ispitivanih binarnih smeša toplotna provodnost nije ranije određivana.

Drugo poglavlje disertacije, ***Zakonska regulativa u pogledu smanjenja ispuštanja zagađivača***, u svom prvom potpoglavlju daje pregled zakonske regulative u Evropskoj Uniji u pogledu smanjenja emisije zagađivača i zaštite životne sredine. Trenutno stanje u Republici Srbiji i postojeća zakonska regulativa predstavljani su u drugom potpoglavlju. Treće potpoglavlje daje prikaz tekućih aktivnosti u JP Elektroprivreda Srbije usmerenih na smanjenje emisije zagađujućih materija u vazduh.

Treće poglavlje disertacije, ***Pregled tehnoloških postupaka za prečišćavanje dimnih gasova***, podeljeno je na 4 potpoglavlja. U prvom je dat pregled regenerativnih postupaka za odsumporavanje dimnih gasova sa posebnim akcentom na postupke i rastvarače koji su već našli komercijalnu primenu. U drugom potpoglavlju opisan je u praksi najzastupljeniji metod za uklanjanje oksida azota, dok je u trećem pažnja posvećena postupcima za uklanjanje ugljen dioksida. U četvrtom potpoglavlju predstavljani su novi postupci koji, uz odgovarajući izbor rastvarača, omogućavaju istovremeno uklanjanje i sumpornih oksida i ugljen dioksida.

Četvrto poglavlje disertacije, ***Pregled metoda za eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti tečnosti***, podeljeno je na 3 potpoglavlja, pri čemu je svako potpoglavlje posvećeno

detaljnem opisu određene grupe metoda za merenje toplotne provodnosti tečnih fluida. U prvom potpoglavlju prikazane su stacionarne merne metode, u drugom periodične, dok je treće potpoglavlje posvećeno impulsnim metodama u koje spada i nestacionarna metoda tople žice primenjena u ovoj disertaciji.

Peto poglavlje, ***Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti, prikaz aparature i postupka merenja***, sadrži 5 potpoglavlja. U prvom je objašnjen osnovni princip nestacionarne metode tople žice, uključujući i matematički postupak kojim se na osnovu direktno izmerenih veličina izračunava toplotna provodnost uzorka. U drugom potpoglavlju dat je detaljni prikaz konstruktivnog rešenja aparature za merenje toplotne provodnosti tečnih uzoraka i objašnjen princip rada. Aparatura se sastoji iz hardverskog i softverskog dela. Hardver obuhvata mehaničke delove i elektroniku merne aparature, zasnovanu na akvizicionom sistemu National Instruments NI 6009, dok se softver sastoji od programa za upravljanje hardverom i prikupljanje sirovih podataka, razvijenog u okruženju National Instruments LabView, kao i softvera za obradu podataka i prezentaciju rezultata. Za ovo potpoglavlje vezan je i proračun merne nesigurnosti, pri čemu je detaljna procedura proračuna data u Prilogu disertacije. U trećem potpoglavlju predstavljene su karakteristike i način rada viskozimetra Anton Paar SVM 3000 koji je korišćen za merenje viskoznosti izabranih uzoraka. U četvrtom potpoglavlju su date karakteristike analitičke vage korišćene prilikom pripremanja uzoraka i objašnjena procedura pripreme ispitivanih binarnih smeša, dok su u petom predstavljene supstance koje su korišćene u radu na ovoj doktorskoj disertaciji.

Šesto poglavlje disertacije, ***Rezultati eksperimentalnih merenja***, podeljeno je na 2 potpoglavlja. U prvom potpoglavlju su dati rezultati eksperimentalnih merenja toplotne provodnosti i viskoznosti izabranih čistih supstanci i izvršeno poređenje dobijenih vrednosti sa literaturnim podacima. U drugom potpoglavlju, tabelarno i grafički su predstavljene izmerene vrednosti toplotne provodnosti i viskoznosti binarnih smeša, kao i izračunate vrednosti promene ovih osobina pri mešanju. Promene toplotne provodnosti i viskoznosti pri mešanju su dalje korelisane Redlih-Kisterovim polinomom, čije su vrednosti parametara takođe tabelarno prikazane u ovom potpoglavlju.

Sedmo poglavlje ove doktorske disertacije, ***Modelovanje toplotne provodnosti***, sastoji se od 3 potpoglavlja. U prvom je prikazano modelovanje viskoznosti ispitivanih čistih uzoraka, dok su u drugom potpoglavlju prikazani literaturni modeli, a u trećem predstavljeni rezultati modelovanja toplotne provodnosti ispitivanih binarnih smeša. Svi rezultati modelovanja, vrednosti optimizovanih parametara, kao i procentualna odstupanja od eksperimentalnih vrednosti tabelarno su prikazani u ovom poglavlju.

U osmom poglavlju doktorske disertacije, ***Zaključak***, dat je pregled rezultata do kojih se došlo tokom rada na disertaciji. Ukratko je navedeno koje veličine su merene i pod kojim uslovima, kao i koji su uzorci ispitivani. Uspostavljena je nova aparatura koja je u potpunosti zadovoljila zahteve postavljene na početku rada: merna nesigurnost je zadovoljavajuća, zapremina uzorka je relativno mala, aparatura je lako prenosiva i primenljiva kako na elektroizolacione, tako i na elektroprovodne tečnosti, merna procedura je automatizovana i zahteva minimum angažovanja korisnika tokom merenja. Na kraju je istaknut značaj dobijenih rezultata za primenu ispitivanih smeša u regenerativnim postupcima prečišćavanja dimnih gasova.

U devetom poglavlju disertacije, ***Literatura***, dat je pregled literature korišćene pri izradi disertacije.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Višedecenijski dinamičan razvoj na globalnom nivou rezultirao je povećanom potrošnjom svih vidova energije, a za posledicu između ostalog ima povećanje emisije štetnih gasova, posebno ugljen-dioksida, sumpornih i azotnih oksida (CO_2 , SO_x i NO_x).

Ugljen-dioksid koji potiče iz fosilnih goriva svoj štetni uticaj ispoljava kroz pojavu tzv. efekta staklene bašte. Ubrzan rast koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi, kao i uticaj atmosferskog CO_2 na klimu i klimatske promene, podstakao je pokretanje brojnih programa naučnog istraživanja. Kjoto protokol i drugi međunarodni sporazumi postavljaju ambiciozne ciljeve za smanjenje emisije ugljen-dioksida i drugih gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Drugi ozbiljan problem u oblasti zaštite životne sredine trenutno predstavljaju tzv. kisele kiše. Oksidi sumpora (SO_x), među kojima je najzastupljeniji sumpor-dioksid, su glavni uzročnik ove pojave. Za razliku od azotnih oksida, čija se koncentracija u dimnom gasu termoelektrane na lignit smanjuje na dopušteni nivo primarnim merama, koje uključuju modifikacije mlinova za ugalj i geometrije gorionika, smanjenje koncentracije ugljen-dioksida i oksida sumpora zahteva izgradnju dodatnih postrojenja za hemijski tretman dimnog gasa korišćenjem određenih hemijskih jedinjenja.

U ovoj doktorskoj disertaciji akcenat je stavljen na regenerativne postupke prečišćavanja dimnih gasova, među kojima novija rešenja, uz adekvatan izbor rastvarača omogućavaju istovremeno uklanjanje CO_2 i SO_x . Za istraživanje su odabrani rastvarači već primenjeni u industrijskim postrojenjima (na primer dimetilanilin i tetraetilenglikol dimetiletar za uklanjanje SO_2 ili monoetanol amin za uklanjanje CO_2) u smeši sa tečnim polietilenglikolima, PEG 200 i PEG 400, za koje je ustanovljeno da imaju povoljne apsorpcione i desorpcione karakteristike za kisele gasove u industrijskim procesima. S obzirom da su nedavno publikovana istraživanja pokazala da se pored organskih rastvarača i neke jonske tečnosti mogu primeniti u regenerativnim postupcima prečišćavanja dimnog gasa, ispitana je mogućnost korišćenja odabranih smeša jonske tečnosti 1-etil-3-metilimidazolijum etimsulfat, $[\text{EMIM}][\text{EtSO}_4]$, sa organskim rastvaračima. Modelovanje i simulacija industrijskih procesa, kao i projektovanje odgovarajućih postrojenja za tretman dimnog gasa, kao ulazne podatke koriste termofizičke osobine primenjenih rastvarača, pa je od interesa poznavanje transportnih osobina, između ostalog toplotne provodnosti i viskoznosti, korišćenih rastvarača u opsegu radnih temperatura postrojenja. Za merenje viskoznosti korišćen je komercijalni aparat Stabinger SVM 3000/G2 viskometar, dok je određivanje toplotne provodnosti tečnosti, zahtevalo razvoj odgovarajuće aparature bazirane na nestacionarnoj metodi tople žice. Nakon uspostavljanja aparature, njen rad i tačnost merenja su verifikovani merenjem toplotne provodnosti tečnosti za koje u literaturi postoje pouzdane vrednosti, a zatim se pristupilo merenju toplotne provodnosti navedenih organskih rastvarača i njihovih smeša za koje do sada nisu postojali literaturni podaci.

Savremenost i originalnost istraživanja predstavljenih u ovoj doktorskoj disertaciji potvrđena je i objavljivanjem radova u međunarodnim časopisima, kao i saopštenjem na skupu od međunarodnog značaja.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Tokom izrade doktorske disertacije kandidat je izvršio pregled naučne i stručne literature iz relevantnih naučnih oblasti vezanih za problematiku doktorske disertacije. Većina pregledane literature su bili radovi objavljeni u vodećim međunarodnim časopisima. Time je kandidat stekao uvid kako u metode određivanja toplotne provodnosti tečnih fluida, tako i u do sada objavljene rezultate ispitivanja transportnih osobina rastvarača koji se u praksi već koriste ili imaju potencijal za korišćenje u regenerativnim postupcima prečišćavanja otpadnih dimnih gasova. Nakon sticanja

kompletnog uvida u objavljene rezultate, kandidat je za ispitivanje odabrao organske rastvarače čije transportne osobine do sada nisu bile određivane ili su određivane u užem temperaturnom opsegu. Za smeše ispitivane u okviru ove doktorske disertacije podaci o toplotnoj provodnosti i viskoznosti nisu pronađeni u literaturi.

U ovoj doktorskoj disertaciji ukupno je navedeno 137 referenci, koje uključuju istraživanja iz oblasti termofizike, termodinamike i hemijskog inženjerstva, ali i statističke izveštaje o količini emitovanih štetnih gasova, kao i zakonsku regulativu u pogledu uklanjanja ugljen dioksida i sumpor dioksida iz smeše gasova.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Naučne metode koje su primenjene tokom rada na ovoj doktorskoj disertaciji su eksperimentalna merenja transportnih svojstava, toplotne provodnosti i viskoznosti, odabranih uzoraka u temperaturnom opsegu. U daljem toku rada izvršeno je modelovanje dobijenih rezultata korišćenjem različitih literaturnih modela i programskih paketa, kao i proračun i korelisanje izvedenih termodinamičkih veličina.

Uspostavljena je aparatura za merenje toplotne provodnosti tečnosti, zasnovana na nestacionarnoj metodi tople žice, koja se sastoji iz hardverskog i softverskog dela. Hardverski deo uključuje mernu ćeliju sa toplom žicom, generator strujnog impulsa i elektroniku merne aparature, zasnovanu na akvizicionom sistemu National Instruments NI 6009. Materijal tople žice je legura alumel (negativni vod termopara tipa K) presvučen teflonom. Softver se sastoji iz programa za upravljanje hardverom i prikupljanje sirovih podataka, razvijenog u okruženju National Instruments LabView i softvera za obradu podataka i prezentaciju rezultata, razvijenog u standardnoj aplikaciji za numeričke proračune Microsoft Excel. Viskoznosti na atmosferskom pritisku su merene komercijalnim Stabinger SVM 3000/G2 viskometrom, proizvođača Anton Paar, preciznosti 0.1% od merene vrednosti.

Eksperimentalno određene vrednosti toplotne provodnosti i viskoznosti iskorišćene su za izračunavanje promene ovih veličina pri mešanju, koje su dalje korelisane Redlich – Kister-ovim polinomom. Za izračunavanje toplotne provodnosti upotrebljene su, za čiste supstance literaturne metode Latini i Sastri, odnosno Filippov, Jamieson, Baroncini i Rowley za korelisanje toplotne provodnosti tečnih smeša. Poređenje eksperimentalnih rezultata sa vrednostima izračunatim pri njihovom korelisanju je omogućilo procenu primenljivosti modela na obradu podataka prikazanih u disertaciji.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji imaju višestruku primenu, kako na polju ekologije tako i na polju projektovanja procesa i opreme koji zahtevaju precizne podatke o transportnim osobinama fluida u različitim uslovima. Prečišćavanje otpadnih dimnih gasova iz elektroenergetskih postrojenja, rafinerija nafte, livnica, čeličana, tj. svih industrija u kojima dolazi do sagorevanja fosilnih goriva, je od izuzetnog značaja za zaštitu životne sredine pri čemu se neprekidno rade istraživanja u cilju pronalazjenja novih rastvarača i efikasnijih procesa. Za svaki od novih rastvarača potrebno je uraditi detaljna ispitivanja koja uključuju ne samo određivanje afiniteta ka vezivanju određenih komponenata dimnog gasa, već i kompletnu termofizičku karakterizaciju, uključujući i određivanje transportnih osobina. Osim u procesima vezanim za prečišćavanje dimnih gasova, poznavanje toplotne provodnosti i viskoznosti fluida potrebno je i za projektovanje adekvatne opreme (npr. razmenjivača toplote) i procesa i u svim drugim oblastima industrije.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat **Andrej M. Stanimirović** se aktivno bavio naučno-istraživačkim radom od trenutka zaposlenja u Laboratoriji za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke „Vinča” 1992. godine, do odlaska u JP Elektroprivreda Srbije 2002. godine. U ovom periodu učestvovao je u projektima finansiranim od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja, završio magistarske studije na Drexel Univerzitetu u Filadelfiji (Pensilvanija) i u dva navrata boravio kao gost-istraživač u Nacionalnom institutu za etalone i tehnologiju SAD (NIST) u Gejtersburgu. Samostalno bavljenje istraživačkim radom nastavio je odmah po odlasku u EPS, najpre kroz novi dizajn i konstruktivno rešenje peći na čvrsta goriva, a zatim od 2012 godine radom na konstrukciji aparature za određivanje toplotne provodnosti tečnih uzoraka, iz čega je proizašla i ova doktorska disertacija.

U toku izrade doktorske disertacije pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”** kandidat je iskazao stručnost i samostalnost u svim fazama izrade teze, pružajući značajan naučni doprinos u naučnim oblastima koje do sada nisu bile istraživane ili su bile samo delimično istraživane.

Na osnovu iznetih činjenica, Komisija je mišljenja da je Kandidat kvalifikovan i da poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Doktorska disertacija kandidata **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”** pruža značajan naučni doprinos u okviru određivanja transportnih svojstava novih organskih rastvarača za tretman dimnih gasova elektroenergetskih i industrijskih postrojenja, pri čemu se može izdvojiti sledeće:

- Napravljena je aparatura za merenje toplotne provodnosti tečnih fluida, pri čemu su zadovoljeni zahtevi postavljeni na početku rada: zapremina uzorka je relativno mala (25 ml), merna nesigurnost je oko 4%, što odgovara vrednosti za većinu komercijalnih aparata, aparatura je lako prenosiva i primenljiva na elektroprovodne tečnosti. Merna procedura je automatizovana, a obrada podataka je interaktivna, uz vizuelizaciju podataka.
- Aparatura je testirana i procedura merenja i obrade podataka usavršena i uhodana merenjem toplotne provodnosti destilovane, dejonizovane vode i toluena, čije su vrednosti toplotne provodnosti, određene sa visokom tačnošću, poznate u literaturi.
- Dat je doprinos proširenju baze podataka transportnih karakteristika, toplotne provodnosti i viskoznosti, novih rastvarača i njihovih binarnih smeša koji imaju potencijal za prečišćavanje otpadnih dimnih gasova. Za analizu su odabrani sledeći rastvarači: monoetanol amin (MEA), tetraetilenglikol dimetiletar (TEGDME), 1-metil-2-pirolidon (NMP), polietilenglikol 200 (PEG 200), polietilenglikol 400 (PEG 400), jonska tečnost 1-etil-3-metilimidazolijum etil sulfat ([EMIM][EtSO₄]), kao i njihove binarne smeše.
- Dobijeni podaci o toplotnoj provodnosti čistih rastvarača i njihovih binarnih smeša korelisani su odgovarajućim literaturnim korelacijama (Latini, Sastri, Filippov, Jamieson, Baroncini i Rowley) i utvrđena njihova primenljivost na ispitivane sisteme.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Značajan doprinos ove doktorske disertacije je u konstruisanju aparature i uspostavljanju procedure merenja toplotne provodnosti tečnih fluida. Poređenje dobijenih vrednosti toplotne provodnosti test supstanci, destilovane, dejonizovane vode i toluola, sa literaturnim podacima, je dalo veoma dobre rezultate što potvrđuje ispravnost principa merenja, pa se rezultati dobijeni merenjem na ovoj aparaturi mogu smatrati pouzdanim. Pored toga, uspostavljena je i metodologija proračuna toplotne provodnosti na osnovu direktno merenih veličina i data detaljna analiza merne nesigurnosti.

Važan doprinos predstavljene disertacije je i u proširenju baze termofizičkih podataka rastvarača, čistih tečnosti i njihovih binarnih smeša, koji imaju potencijal za primenu u regenerativnim procesima prečišćavanja dimnih gasova. Eksperimentalna ispitivanja su vršena u temperaturnom opsegu 298,15 K - 333,15 K i u celokupnom koncentracionom opsegu. Na ovaj način je utvrđen uticaj temperature i sastava na transportne karakteristike ispitivanog rastvarača.

Naučni doprinosi ove doktorske disertacije otvaraju put za mnoga slična istraživanja, kako u oblasti termofizičke karakterizacije novih, ekološki prihvatljivijih rastvarača za primenu u različitim oblastima industrije, tako i za dalje produbljivanje problematike prečišćavanja otpadnih dimnih gasova u smislu određivanja rastvorljivosti ugljen dioksida i oksida sumpora u ispitivanim smešama, projektovanja odgovarajuće opreme i procesa, kao i optimizacije procesa na bazi energetske efikasnosti i tehnoekonomske analize.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat **Andrej M. Stanimirović** je objavio ili prezentovao tri naučna rada tokom izrade doktorske disertacije to: 1 rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22), 1 rad u međunarodnom časopisu (M23) i 1 saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33), čime je verifikovao naučni doprinos svoje doktorske teze.

Kategorija M22:

1. A. M. Stanimirović, E. M. Živković, N. D. Milošević, M.Lj. Kijevčanin, Application and testing of a new simple experimental setup for thermal conductivity measurements of liquids, *Thermal Science*, accepted for publication (doi reference: 10.2298/TSCI160324219S) (IF(2014)=1.222, ISSN: 0354-9836)

Kategorija M23:

1. A. M. Stanimirović, E. M. Živković, D. M. Majstorović, M.Lj. Kijevčanin, Transport properties of binary liquid mixtures - candidate solvents for optimized flue gas cleaning processes, *J. Serb. Chem. Soc.* accepted for publication (doi reference: 10.2298/JSC160623083S) (IF(2015)=0.970, ISSN:0352-5139)

Kategorija M33:

1. A. Stanimirović, E. Živković, D. Majstorović, M. Kijevčanin, New Solvents for regenerative flue gas cleaning processes, International Conference Power Plants 2016, Book of Abstracts, P.002, p. 153, pun tekst CD Rom, ISBN 978-86-7877-027-2, Zlatibor, Serbia, 2016.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu prethodno navedenog, mišljenje Komisije je da doktorska disertacija kandidata **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, pod naslovom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”** predstavlja originalan naučni doprinos predmetne oblasti istraživanja. Originalnost doktorske disertacije kandidata je potvrđena objavljivanjem više radova u časopisima međunarodnog značaja. Postavljeni predmet i ciljevi doktorske disertacije u potpunosti su ostvareni, na osnovu čega Komisija iznosi svoje mišljenje da doktorska disertacija pod nazivom **“Eksperimentalno određivanje toplotne provodnosti binarnih tečnih smeša primenom nestacionarne metode tople žice”** u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume, kao i da je kandidat tokom izrade disertacije pokazao samostalnost i originalnost u naučno-istraživačkom radu. Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih i prikazanih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, da prihvati ovaj Referat, pruži na uvid javnosti podnetu doktorsku disertaciju kandidata **Andreja M. Stanimirovića**, dipl. inž. mašinstva i magistra elektrotehnike, u zakonom predviđenom roku, kao i da Referat uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu i da nakon završetka procedure pozove Kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

ČLANOVI KOMISIJE

.....
Dr Emila Živković, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Dr Mirjana Kijevčanin, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Dr Nenad Milošević, viši naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke “Vinča”