

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Иване Николић (2009/5022) за израду докторске дисертације

Одлуком Наставног већа Електротехничког факултета у Београду бр.797 од 22.03.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Иване Николић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Одређивање специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности чврстих електропроводних материјала струјно-импулсном методом у широком опсегу температура“

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Подаци о кандидату

##### 1.1. Биографски подаци

Ивана Николић је рођена 06.06.1984. године у Новом Пазару. Математичку гимназију у Београду завршила је 2003. године. Основне академске студије је уписала 2003. године на Електротехничком факултету у Београду, на смеру Микроелектроника, оптоелектроника и ласерска техника. Дипломирала је 30.10.2007. са општим успехом 8,53 и оценом 10 на завршном раду под насловом „Карактеристике луминозности ТЦС модела повратних удара муња и грома“. Дипломске академске студије завршила је 09.07.2009. на Електротехничком факултету у Београду, са општим успехом 10.00 и оценом 10 на завршном, мастер, раду под насловом „Одређивање топлотне дифузивности цинка применом ласерске импулсне методе у широком температурном опсегу“. Докторске академске студије је уписала у октобру 2009. године на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за наноелектронику и фотонику. Од 17.03.2008. године запослена је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ у Лабораторији за термотехнику и енергетику, где од децембра 2008. године ради на пројектима основних истраживања одобреног од стране Министарства науке. Од 2015. године ангажована је на међународном пројекту EURA-THERMAL.

##### 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У циљу реализације програма усавршавања на докторским студијама Ивана Николић, мастер инж. електротехнике и рачунарства је положила следеће предмете:

| Р.Бр | Предмет    |                                                                                                 | Оце<br>на | ЕС<br>ПБ | Рок                    | Датум        | Потписао               |
|------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------------------|--------------|------------------------|
|      | Акроним    | Назив                                                                                           |           |          |                        |              |                        |
| 1    | 13Д061КО   | Квантна<br>оптика                                                                               | 10        | 9        | 2014/2015<br>септембар | 11.09.2015   | Тадић Милан            |
| 2    | 13Д061НО   | Нелинеарна<br>оптика                                                                            | 10        | 9        | 2012/2013<br>септембар | 24.08.2013.  | Елазар Јован           |
| 3    | 13Д081СФ   | Специјалне<br>функције                                                                          | 9         | 9        | 2012/2013<br>јун       | 10.06.2013.  | Цакић Ненад            |
| 4    | 13Д091УНР  | Увод у<br>научни рад                                                                            | 10        | 9        | 2012/2013<br>јануар    | 15.01.2013.  | Поповић Зоран          |
| 5    | 13Д061ПИК  | Пројектовање<br>интегрисаних<br>кола                                                            | 10        | 9        | 2012/2013<br>јануар    | 15.01.2013.  | Петричевић<br>Слободан |
| 6    | 13Д061ОПНФ | Одабрана<br>поглавља из<br>нуклеарне<br>физике                                                  | 10        | 9        | 2011/2012<br>септембар | 22.08.2012.  | Осмокровић<br>Предраг  |
| 7    | 13Д061ФО   | Фуријеова<br>оптика                                                                             | 10        | 9        | 2011/2012<br>јун       | 11.06.2012.  | Елазар Јован           |
| 8    | 13Д061ОММ  | Оптоелектрон<br>ске мерне<br>методе                                                             | 10        | 9        | 2011/2012<br>фебруар   | 30.01.2012   | Михаиловић<br>Пеђа     |
| 9    | 13Д061ЕОКМ | Електричне и<br>оптичке<br>карактеристик<br>е материјала у<br>наноелектрон<br>ици и<br>фотоници | 9         | 9        | 2011/2012<br>јануар    | 17.01.2012.. | Ромчевић<br>Небојша    |
| 10   | 13Д061ПОТС | Простирање<br>оптичких<br>таласа у<br>комплексним<br>срединама                                  | 10        | 9        | 2011/2012<br>јануар    | 16.01.2012.  | Цветић Јован           |

Током докторских студија Ивана Николић, мастер инж. је постигла следећи успех:

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| Просечна оцена<br>(обавезни и изборни предмети)                         | 10,0 |
| Укупна просечна оцена<br>(обавезни и изборни предмети, завршни рад)     | 10,0 |
| Збир ЕСПБ<br>(обавезни и изборни предмети)                              | 87   |
| Укупан збир ЕСПБ<br>(обавезни и изборни предмети, завршни рад, обавезе) | 120  |

Резултати стеченог научноистраживачког рада из области експерименталне физике и метрологије објављени су у следећим радовима и техничким решењима и презентовани су на наведеним конференцијама:

**M21:** N.D. Milošević, I.D. Aleksić, Thermophysical properties of solid phase Ti-6Al-4V alloy in a wide temperature range, *International Journal of Materials Research*, Vol. 103, No. 6, p.p. 707-714, 2012, ISSN 1862-5282, doi 10.3139/146.110678, IF 0.816 (2012)

**M22:** Nenad Milošević, Ivana Nikolić, Thermophysical properties of solid phase ruthenium measured by the pulse calorimetry technique over a wide temperature range, *International Journal of Materials Research*, Vol. 106, No. 4, p.p. 361-367, 2015, ISSN 1862-5282, doi: 10.3139/146.111192, IF 0.731 (2015).

**M51:** I.D. Aleksić, N.D. Milošević, Eksperimentalno određivanje toplotne difuzivnosti cinka u opsegu od -20 do 400 °C, *Termotehnika*, Vol. 36, No. 2, p.p. 225-231, 2010, ISSN 0350-218X, doi, UDC 546.47:536.24:621.375.826

**M63:** I.D. Nikolić, N.D. Milošević, Eksperimentalno određivanje toplotne difuzivnosti Ti-6Al-4V u opsegu od 190 do 1530K primenom laserske impulsne metode, *Zbornik radova LVI Konferencije ETRAN 2012*, jun 2012, Zlatibor, Srbija, NM1.1-1-4, Zlatibor 11-14., ISBN 978-86-80509-67-9

**M63:** I.D. Nikolić, N.D. Milošević, Primena standardnog crnog tela realizovanog u Institutu Vinča za testiranje užnog infracrvenog termometra, *Zbornik radova 57. Konferencije ETRAN 2013*, jun 2013, Zlatibor, Srbija, NM3.8.1-4, ISBN 978-86-80509-68-6, Izdavač Društvo za Etran, Beograd, 2013.

**M84:** N.D. Milošević, I.D. Aleksić, Proširenje temperaturnog opsega laserske impulsne metode za određivanje toplotne difuzivnosti čvrstih materijala na niskim temperaturama, *NIV-ITE 418/ML*, Beograd-Vinča, novembar 2009.

Кандидаткиња је 22.04.2016. пред комисијом у саставу др Пеђа Михаиловић, др Јован Елазар, др Зоран Радаковић и др Ковиљка Станковић успешно одбранила предложену тему докторске дисертације о чему је сачињен и потписан записник.

### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Тематика до сада публикованих радова указују на усмереност кандидата на истраживања из области инструментације у термотехници као и експерименталној анализи својстава материјала. Кандидаткиња је више година у континуитету запослена у реномираној научно-истраживачкој институцији и то у лабораторији која је ангажована на истраживањима из уже области израде дисертације. Узела је учешће у реализацији математичког моделовања поступка за одређивање специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности чврстих електропроводних материјала струјно-импулсном методом у широком опсегу температура. Иницијални резултати рада на предложеној теми објављени у међународним научним часописима.

## 2. Предмет и циљ истраживања

Квалитативно и квантитативно познавање термофизичких величина као што су специфична топлота и специфична електрична отпорност електропроводних материјала има изузетан значај како у многим областима научних истраживања, тако и у различитим индустријским и технолошким процесима. Познавање специфичне топлотне капацитивности и специфичне електричне отпорности електропроводних материјала игра велику улогу у пројектовању топлотних заштита, смањења топлотних губитака и акумулацији топлоте. Такође је познавање ових величина неопходно на местима где се јављају проблеми одвођења топлоте као што су електронске компоненте, високо-напонски енергетски уређаји или индустријски генератори.

Промена специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности материјала са температуром значајно утиче на дистрибуцију и пренос топлотне и електричне енергије кроз материјал. Стога је познавање ових величина у потребном температурном опсегу такође од великог значаја. Поред тога што се у литератури или доступним базама података могу наћи вредности ових величина за многе различите материјале, за већину постојећих, а нарочито нових електропроводних материјала и даље не постоје подаци о специфичној топлоти и специфичној електричној проводности у температурном опсегу у којима се користе у пракси.

Једна од најефикаснијих техника за одређивање специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности чврстих електропроводних материјала је динамичка струјно-импулсна метода путем које се ове величине могу одредити у веома широком температурном опсегу, тачније од око 0 °C па све до температуре приближне тачки топљења испитиваног материјала. Принцип рада ове методе заснива се на загревању узорка услед пропуштања краткотрајног струјног импулса кроз испитивани материјал при чему се претпоставља да централни део узорка поседује униформну расподелу температуре. Облик струјног импулса који се пропушта кроз испитивани узорак зависи од промене електричне отпорности материјала узорка са температуром. Током грејања и у почетном периоду хлађења узорка врши се истовремено снимање електричних сигнала сразмерних протеклој струји и паду напона на централном делу узорка, као и температуре централног дела узорка. Из ових података се применом једначине енергетског биланса и одговарајуће обраде сигнала долази до вредности поменутих термофизичких величина испитиваног материјала.

У свету постоји неколико лабораторија које користе струјно-импулсну методу и једна од њих је и Лабораторија за термотехнику и енергетику Института „Винча“. У њој је током 90-их година прошлог века развијена и израђена експериментална поставка за примену ове методе и током година коришћења установљена је потреба њеног унапређења ради повећања поузданости добијених резултата. У том смислу, предмет овог истраживања биће развој теоријског модела струјно-импулсне методе инсталиране у Институту „Винча“ уз помоћ које ће бити могуће постићи оптималне услове рада и праћења различитих ефеката који се јављају током мерења. Крајњи циљ је поуздано израчунавање утицаја компонената мерне несигурности у буџету мерне несигурности на основу кога се добија најбоља процена добијених вредности специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности испитиваних материјала. Валидација теоријског модела ће бити извршена на основу експерименталних података добијених коришћењем референтних материјала чије су вредности ових величина познате. Поред теоријског модела, предмет истраживања ће бити и развој новог софтвера за обрађивање експерименталних података.

Циљ овог рада је унапређење струјно-импулсне методе који се огледа у већој поузданости одређивања поменутих термофизичких особина чврстих електропроводних материјала и успостављању оптималних услова рада експерименталне поставке.

Значај предложене дисертације заснива се на изражавању вредности специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности чврстих електропроводних материјала у широком температурском опсегу на високом нивоу статистичке сигурности.

Основна литература коју кандидат треба да проучи у вези предвиђених истраживања је следећа:

1. F. Righini, A. Rosso, "A pulse technique for the measurement of thermophysical properties", *Measurement*, Vol. 1, pp. 79-84, 1983.
2. K.D. Maglić, A. Cezairlian, V.E. Peletsky. (eds.), *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods*, Vol. 1 – Survey of Measurement Techniques, 1984.
3. F. Righini, G. C. Bussolino, A. Rosso, R. B. Roberts, "Thermal conductivity by a pulse-heating method: theory and experimental apparatus", *Intern. J. Thermophys.*, Vol. 11, pp. 629-641, 1990.
4. K.D. Maglić, A. Cezairlian, V.E. Peletsky (eds.), *Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods*, Vol. 2 – Recommended Measurement and Practices, 1992.
5. J. Spišiak, F. Righini, "Differential equations for a dynamic thermal conductivity experiment", *Intern. J. Thermophys.*, Vol. 13, pp. 29-37, 1992.
6. G.C. Bussolino, J. Spišiak, F. Righini, P. C. Cresto, R. B. Roberts, A. Rosso; "Evaluation of thermal conductivity from temperature profiles", *Intern. J. Thermophys.*, Vol. 14, pp. 525-539, 1993.
7. G. Lohöfer, "Nonuniform Electric Field in Pulse Heated Wires", *Intern. J. Thermophys.*, Vol. 14, pp. 471-483, 1993.
8. F. Righini, F. Scarpa, G. Milano, "Kalman filtering applied to thermal conductivity estimation in pulse experiments", in K. Wilkes (Ed.), *Thermal Conductivity 23*, Tecnomio Publishing Co., Lancaster Pa., 1996, pp. 85-94.
9. F. Righini, J. Spišiak, G. C. Bussolino, F. Scarpa, "Computational methods for the determination of thermophysical properties in pulse-heating experiments", *High Temp. High Press.*, Vol. 29, pp. 473-480, 1997.
10. T. Matsumoto, A. Cezairliyan, "A combined transient and brief steady-state technique for measuring hemispherical total emissivity of electrical conductors at high temperatures: application to tantalum" *Int. J. Thermophys.*, Vol. 18, pp. 1539-1556, 1997.
11. F. Righini, J. Spišiak, G. C. Bussolino, "Pulse calorimetry at high temperatures", *Thermochimica Acta*, Vol. 347, pp. 93-102, 2000.
12. J. Spišiak, F. Righini, G. C. Bussolino, "Mathematical models for a pulse-heating experiments", *Intern. J. Thermophys.*, Vol. 22, pp. 1241-1251, 2001.
13. F. Righini, T. Matsumoto, "The role of National Measurement Institutes in subsecond current-heating methods" *Int. J. Thermophys.*, Vol. 26, pp. 941-955, 2005.
14. H. Watanabe, T. Matsumoto, "New analysis for determination of hemispherical total emissivity by feedback-controlled pulse-heating technique" *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 76, p. 043904, 2005.
15. E. Kaschnitz, P. Supancic, "Three-dimensional finite-element analysis of high-speed (millisecond) measurements", *Intern. J. Thermophys.*, Vol. 26, pp. 957-967, 2005.
16. Francesco Righini "The World in the Subsecond Thermophysics" XVIII IMEKO WORLD CONGRESS Metrology for a Sustainable Development, September, 17 – 22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil.
17. V.Ya. Chekhovskoi, V.E. Peletskii, "Problems in Measuring the Temperature of Conductors Heated by an Electric Current Pulse", *High Temperature*, Vol. 47, No. 3, pp. 352-358, 2009.
18. G. C. Bussolino, G. Annino, C. Ferrari, F. Righini, "Virtual Experiments by Pulse Heating Techniques: Cilindar Tungsten Specimens", *Int J Thermophysics*, Vol. 32, pp. 2716-2726, 2011.
19. G. C. Bussolino, F. Righini, "Virtual Experiments by Pulse Heating Techniques: Tubular Tungsten Specimens", *Int J Thermophysics*, Vol 34, pp. 78-92, 2013.

### 3. Полазне хипотезе

Принцип рада струјно-импулсне методе заснива се на пропуштању кратког струјног импулса кроз испитивани материјал, који може бити облика танке дугачке жице, шупље цеви или траке, услед кога се централни део узорка у веома кратком времену (реда величине 1 s) загрева до високих температура. Облик пропуштеног струјног импулса кроз узорак зависи од промене електричне отпорности материјала са температуром. Измерене вредности експерименталних величина (пропуштене струје кроз узорак, пада напона на узорку и температуре централног дела узорка) које се мере током грејања узорка и у почетним тренуцима хлађења врше се у милисекундном домену. Пад напона и температура централног дела узорка се мере на ефективном делу узорка, тј. оном делу узорка на којем се претпоставља униформна температурна расподела по аксијалној оси узорка. Из добијених вредности температуре испитиваног материјала се применом једначине енергетског баланса за период грејања и почетног тренутка хлађења и Штефан-Болцмоновог закона долази до израза за укупну хемисферну емисивност и специфичну топлоту испитиваног материјала. Такође се преко пада напона на ефективном делу узорка долази до специфичне електричне отпорности на измереној температури тог дела узорка.

Температура централног дела узорка се може мерити бесконтактним путем или употребом термопара што мањег пречника. У Лабораторији за термотехнику и енергетику Института „Винча“ температура централног дела узорка се мери контактном методом, интринстично завареним термопаровима различитих типова у зависности од потребног температурског опсега.

Иако је ова експериментална метода принципијелно једноставна, поставка, мерења и обрада експерименталних података су најчешће временски захтевни и сложени процеси. Што се обраде података тиче, да би се поједноставио процес обраде резултата, до сада су усвајане следеће апроксимације:

1. аксијална и радијална температурска расподела централног дела узорка се сматра униформном,
2. губици кондукцијом који се повећавају од центра ка крајевима узорка се занемарују у односу на губитке топлоте зрачењем дуж аксијалне и радијалне осе узорка,
3. утицај површинског или „скин“ ефекта се не узима у обзир.

Основна идеја ове дисертације је стога израда теоријског модела којим ће се анализирати утицаји реалних експерименталних услова на укупну мерну несигурност добијених величина. Развијени теоријски модел ће подразумевати да ће све “a priori” задате величине као што су специфична топлота, електрична проводност, топлотна проводност, емисивност узорка и коефицијент линеарног ширења материјала бити дефинисане као температурно зависне величине, док ће струја, пад напона и температура узорка бити временски променљиве величине. Просторним моделовањем разматраће се како промена различитих параметара узорка и експерименталних услова утичу на температурску расподелу ефективног дела узорка по аксијалној и радијалној оси узорка. Квалитативном и квантитативном анализом тих утицаја одредиће се како оптимални услови експерименталног поступка, тако и одговарајући коефицијенти осетљивости који ће ући у буџет мерне несигурности. Оптимални услови добијени теоријским моделом ће се применити за експериментални део рада, док ће формиран буџет мерне несигурности омогућити већу поузданост, тј. статистичку сигурност, добијених резултата. Сви резултати добијени употребом теоријског модела биће верификовани експерименталним мерењима на узорцима стандардног референтног материјала (метал високе чистоте).

### 4. Научне методе истраживања

Током истраживања у оквиру рада на дисертацији користиће се математичко моделовање преноса топлотне и електричне енергије кроз узорак чврстог електропроводног материјала у нестационарном режиму рада. Нумеричке симулације и анализа резултата ће бити извршени употребом FEM (finite element method) поступка и коришћењем нумеричког софтвера. У експерименталном делу истраживања користиће се постојећа поставка за примену струјно-импулсне методе, као и посебно развијен софтвер за контролу и мерење експерименталних сигнала. По завршеном експерименталном делу рада биће развијен посебан софтвер за обраду добијених експерименталних података.

## **5. Очекивани научни допринос**

- Развој теоријског модела описане методе коришћењем FEM поступка, Оптимизација експеримента испитивањем утицаја топлотних губитака кондукцијом и зрачењем на температурску расподелу по аксијалној и радијалној оси узорка, затим одређивање оптималне дужине ефективног дела узорка, тј. дела узорка на коме се може тврдити да је расподела температуре униформна, као и испитивање утицаја линеарног ширења материјала и површинских ефеката, Одређивање коефицијената осетљивости специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности применом теоријског модела који ће ући у формирање буџета мерне несигурности поменутих величина,
- Развој одговарајућег софтвера за контролу експерименталног поступка и мерење експерименталних сигнала, као и софтвера за обраду добијених резултата,
- Формирање буџета мерне несигурности и анализа доприноса компонената мерне несигурности коришћењем развијеног теоријског модела и експерименталних података,
- Валидација развијеног теоријског модела и мерне процедуре коришћењем узорака стандардног референтног материјала (метала високе чистоће) са познатим вредностима специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности.

## **6. План истраживања и структура рада**

Истраживање везано за реализацију предложене дисертације одвијаће се у неколико фаза. У првој фази истраживања приступиће се упознавању теорије преноса топлоте кондукцијом и зрачењем. Друга фаза истраживања биће посвећена детаљном прегледу литературе која се односи на динамичку струјно-импулсну методу и даће се пресек досадашњег, како теоријског, тако и експерименталног истраживања коришћењем поменуте методе. У трећој фази приступиће се моделовању струјно-импулсне апаратуре инсталиране у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института „Винча“. Развијеним теоријским моделом струјно-импулсне методе и постојеће експерименталне поставке испитаће се губици топлоте зрачењем и кондукцијом, површински ефекат и ефекат линеарног ширења испитиваног материјала. Симулације ће се изводити на узорцима различитих дебљина и ширина кроз које ће бити пропуштани временски зависни струјни импулси. Све почетне задате величине у теоријском моделу биће температурски зависне. Испитивањем температурских расподела по аксијалној и радијалној оси узорка и пада напона на ефективном делу узорка добијених из модела одредиће се оптимални услови рада поменуте методе (дужина ефективног дела узорка на коме је температурска расподела приближно униформна, идеални однос дужине и дебљине узорка и сл.) који ће бити примњени у експерименталној фази рада. Такође из резултата симулација приступиће се анализи и квантативном одређивању добијених температурских расподела и њихових промена дуж

аксијалне и радијалне осе ефективног дела узорка из којих ће се одредити одговарајући коефицијенти осетљивости који улазе у формирање буџета мерне несигурности мерених величина. У четвртој фази ће бити развијен софтвер за контролу, мерење и обраду експерименталних сигнала, док ће се у петој фази реализовати валидација развијеног теоријског модела, односно експериментални поступак коришћењем развијеног модела и узорка стандардног референтног материјала у широком температурском опсегу. Поређењем добијених резултата специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности са припадајућом укупном мерном несигурношћу и референтних вредности извршиће се коначна евалуација истраживачког рада у оквиру ове дисертације.

## 7. Закључак и предлог

На основу претходно изложеног, Комисија сматра да кандидаткиња Ивана Николић, мастер инж. електротехнике и рачунарства испуњава све законске, формалне и суштинске услове као и критеријуме који се примењују приликом оцене подобности кандидата и теме на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Тема дисертације је научно заснована и актуелна, а иницијални резултати истраживања су већ верификовани објављивањем у часописима међународног значаја.

Предложена тема докторске дисертације припада ужој научној области Физичка електроника за коју је Електротехнички факултет матичан. Комисија за ментора докторске дисертације предлаже ванредног професора др Слободана Петричевића запосленог на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

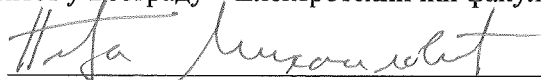
Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да одобри кандидаткињи Ивани Николић израду докторске дисертације под насловом „Одређивање специфичне топлоте и специфичне електричне отпорности чврстих електропроводних материјала струјно-импулсном методом у широком опсегу температура“ и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду  
17.05.2016.године

## ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Слободан Петричевић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Пеђа Михаиловић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јован Елазар, ванредни професор  
Државни универзитет у Новом Пазару – Депарتمان за  
техничке науке



др Ковилјка Станковић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Радаковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет