

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На I седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 24.10.2018. године одређени смо за чланове Комисије за припрему извештаја о докторској дисертацији „ЕМИСИОНА ЈЕДНОДИМЕНЗИОНА ТОМОГРАФИЈА ТЕМПЕРАТУРНОГ ПРОФИЛА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ КОРИШЋЕЊЕМ РАДИЈАЦИОНЕ ПИРОМЕТРИЈЕ“ из научне области ПРИМЕЊЕНА ФИЗИКА, коју је кандидат МИЛЕНТИЈЕ ЛУКОВИЋ предао Физичком факултету у Београду 18. октобра 2018.године. После прегледа дисертације подносимо следећи:

РЕФЕРАТ

1. Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Кандидат Милентије Луковић рођен је 23. 11.1975 у Чачку, где је завршио основну школу и гимназију. Дипломирао је на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер експериментална физика, 2007. године. Дипломски рад на тему „Коефицијенти побуђивања $a^3\Pi$ електронског стања молекула CO_2 “, под менторством др Горана Попарића одбранио је са оценом 10 и стекао завање: дипломирани физичар. Докторске студије на смеру Примењена и компијутерска физика уписао је 2010. године. Од 2007. до 2014. године ради као професор физике у више средњих и основних школа. Од 2014. године запослен је као асистент на Факултету техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу на Катедри за физику и материјале.

1.2 Научна Активност

Милентије Луковић је свој научноистраживачки рад започео на Катедри за примењену физику и метрологију. Бавио се истраживањима из различитих области области примењене физике, а од 2014. посветио се проблемима везаним за оптичку пирометрију и пирометарске системе-посебно решавању инверзног проблема у различитим оптичким и пирометарским методама. Резултати овог рада публиковани су у 2 рада у међународним часописима са $ИП > 1$, 3 чланка објављена у зборницима међународних конференција и 6 радова у зборницима домаћих конференција.

2. Опис предатог рада

2.1 Основни подаци

Докторска дисертација „Емисиона једнодимезиона томографија температурног профила у ложишту котла термоелектране коришћењем радијационе пирометрије“ написана је на 210 страна не рачунајући насловну страну на српском и енглеском језику, страну о ментору и комисији, захвалнице, резиме на српском и енглеском језику и садржај. Теза се састоји од 8 поглавља, литературе (219 референци), прилога и биографије аутора. У тези се налази 60 слика и 18 табела (једна у 3. поглављу, осам у 5. поглављу, две у 7. поглављу и седам у прилогу).

Руководилац докторске дисертације је др Иван Белча, редовни професор Физичког факултета, Универзитета у Београду који се више од 20 година бави метрологијом температуре у области радијационе пирометрије и више од 12 година применом пирометарских система у мерењу температуре и њене расподеле у ложиштима термоелектрана. Више од 10 пирометарских система базираних на патентима (пре свих патент) чији је он коаутор је инсталирано у термоелектранама у земљи и иностранству. Сва истраживања у овој тези спроведена су делом термоелектрани „Никола Тесла“ Б (подаци са пирометарских система и других мерила температуре коришћених у ложишти котла), а делом Лабораторији за метрологију Физичког факултета.

Његови најзначајнији радови у часописима са SCI листе у протеклих пет година су:

- [1] Kasalica Becko V, Radic-Peric Jelena B, Peric Miljenko N, Petkovic-Benazzouz Marija M, Belca Ivan D, Sarvan Mirjana Z, *The mechanism of evolution of microdischarges at the beginning of the PEO process on aluminum*, Surface & Coatings Technology, (2016), vol. 298 br., str. 24-32, ISSN , IF 2.589.
- [2] Radovic Marko B, Dohcevic-Mitrovic Zorana D, Paunovic Novica M, Boskovic Snezana B, Tomic Natasa M, Tadic Nenad B, Belca Ivan D, *Infrared study of plasmon-phonon coupling in pure and Nd-doped CeO₂-y nanocrystals*, Journal of Physics D-Applied Physics, (2015), vol. 48 br. 6, ISSN , IF 2.772.
- [3] Sarvan Mirjana Z, Radic-Peric Jelena B, Kasalica Becko V, Belca Ivan D, Stojadinovic Stevan Dj, Perice M, *Investigation of long-duration plasma electrolytic oxidation of aluminum by means of optical spectroscopy*, Surface & Coatings Technology, (2014), vol. 254 br., str. 270-276, ISSN , IF 2.374.
- [4] Stojadinovic Stevan Dj, Vasilic Rastko, Petkovic Marija M, Belca Ivan D, Kasalica Becko V, Zekovic Ljubisa D, *Galvanoluminescence of oxide films during the anodization of titanium*, Electrochemistry Communications, (2013), vol. 35 br., str. 22-25, ISSN , IF 4.287.
- [5] Kasalica Becko V Stojadinovic Stevan Dj Belca Ivan D Sarvan Mirjana Z Zekovic Ljubisa D Radic-Peric Jelena B, *The anomalous sodium doublet D-2/D-1 spectral line intensity ratio - a manifestation of CCD's presaturation effect*, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, (2013), vol. 28 br. 1, str. 92-97, ISSN , IF 3.396.

2.2 Предмет и циљ проучавања

Ова докторска дисертација припада области примењене физике и метрологије и бави се развојем нових метода да решавање инверзних проблема, посебно у оквиру томографских метода за реконструкцију температурних профила у ложишту котла термоелектрана. На бази ових метода развијене су одговарајуће мерне методе примењене и тестиране на различитим мерним местима у оквиру термоелектране.

Наиме, температура представља једну од најважнијих физичких величина чију је вредност и флукуације могуће мерити током целог процеса сагоревања угља у котлу

термоелектрана. Поседовање информације о температурној расподели у комори за сагоревање је од велике важности, пре свега због повећања ефикасности процеса сагоревања. Из еколошких разлога постоји све снажнији притисак да се уложе додатни напори у смањење експлоатације фосилних горива. То доводи до императива боље искоришћености ове врсте горива при производњи електричне енергије. Један од врло важних фактора у постизању боље искоришћености процеса сагоревања у котлу, тј. оптималног трансфера топлоте цевном систему испаривача јесте симетричност пламена у погледу температурне расподеле. Овај параметар је важан за процес оптимизације и корекције управљања процесом сагоревања угља.

Постоји велики број метода и система који могу да дају информацију о температурној расподели у пресеку котла или чак у запремини котла и обично су базирани на мрежи већег броја сензора или посебној конфигурацији CCD сензора. Свака од ових метода има своје предности и мане, а основна мана је непримењивост захтеване конфигурације сензора. У случајевима када су слободни појединачни мерни правци (чест случај у котловима) температурни профил би могла да да једнодимензиона томографија.

Зато је потребан развој другачијих мерних система које је могуће инсталирати у ограниченим просторним конфигурацијама на појединачним правцима у ложишту. Истовремено је то и разлог за развој како нових рачунских метода, тако и нових експерименталних мерних система којима ове методе могу да се имплементирају и примене у условима термоелектране.

2.3 Преглед научних резултата изложених у тези

У следећим поглављима је описана суштина ових истраживања.

1. Решавање инверзног проблема
2. Томографска метода пирометар - цев
3. Томографска метода пирометар – пирометар

2.3.1 Решавање инверзног проблема

Метода генерисања спектралног профила представља први корак у оригиналном решавању инверзног проблема који се налази у основи томографских метода за реконструкцију слике температурних профила. Основни циљ приказаног начина решавања инверзног проблема је реализација LED извора светлости, који би се користио за симулацију зрачења црног тела и калибрацију оптичких радијационих пирометара у опсегу од 800 °C до 1300 °C и спектралном интервалу од 700 nm до 1070 nm, што грубо одговара осетљивости PIN диода.

Развијена нумеричка метода за одређивање коефицијента доприноса појединачних LED у укупном симулираном спектру тестирана је на равном спектру и упоређена је са другим методама на познатим и симулираним спектрима.

Приказани поступак решавања инверзног проблема је коришћен и код утврђивања доприноса зрачења појединачних LED и у симулацији зрачења црног тела. Симулације су извршене за широки температурни и спектрални интервал, чиме је потврђена могућност спектрално подесивог калибрационог извора за оптичке радијационе пирометре са PIN диодама као сензорима у блиском инфрацрвеном домену.

Поступак одређивања појединачног доприноса зрачења LED је реализован и представљен у програмском језику C, чиме је детаљно објашњен нов модел решавања инверзног проблема. Овај принцип решавања је могуће применити и у томографији, односно у свим областима у којима постоји температурни или неки други градијент.

Резултати ових истраживања су детаљније објашњени у публикацији [A1] која је наведена у поглављу 3.

2.3.2 Томографска метода пирометар - цев

Томографска метода пирометар – цев представља прву од две нове мерне технике које су описане у дисертацији. Оне заједно са одговарајућим алгоритамским поступком врше карактеризацију пламена унутар ложишта термоелектране.

Пирометар – цев метода представља нов мерни поступак за мерење температурних профила у ложишту котла термоелектране, које као погонско гориво користе угаљ.

Описаним поступком истовремено је извршено и одређивање коефицијента пригушења у спектралном опсегу у три режима рада млина.

Као потврда исправности добијених вредности температура и коефицијента пригушења истовремено је коришћен Вентури пнеуматски пирометар. Добијени резултати мерења вредности коефицијента пригушења имају јако добро слагање приликом промена режима рада млинова.

Релативне концентрације несагорелих честица, које су узете са екстракционим поступком, имају исти тренд раста (опадања) у односу на израчунате вредности коефицијента пригушења. Из тога се може закључити да ова метода потенцијално може бити кориштена и за праћење концентрације честица. Осим тога, поседовањем информација о несагорелим честицама може се остварити боља оптимизација процеса сагоревања. Метода и описани мерни поступак могу се прилагодити и за одређивање расподеле коефицијента дотока по дубини пећи, при чему би у том случају узимање узорака честица вршило се на неколико дубина убацивањем пробе за екстракцију.

У поређењу са другим оптичким техникама, приказана метода даје директније и непосредније резултате. Код CCD сензора зрачење добија се из скоро читавог комора за сагоревање, при чему се расподела температуре добија решавањем инверзног проблема, чиме се добијају релативне, уместо стварних температура, што представља њихов главни недостатак.

Новим приступом омогућено је директно мерење температуре расподеле унутар индустријских пећи и термоелектрана које као гориво користе угља. Систем који је потребно инсталирати да би се извршио мерни поступак је мање захтеван и уз мање експлоатационе трошкове него тренутно доступних конвенционалних метода. Истовремено, наведеним поступком могу се добити додатне информације о концентрацији честица у пламену. Промена температурног профила који могу настати приликом примене описаног мерног поступка (уношење цеви у унутрашњост коморе за сагоревање), су врло мале и сразмерне су променама вредности температура конвенционалних инвазионих метода. Осим тога, калибрација двобојног пирометра далеко је једноставнија од калибрације Вентури пнеуматских или усисних пирометара.

Релативан недостатак представљеног метода је да је погоднији за примену у коморама за сагоревање нешто мањих димензија. Дугачке цеви могу бити неадекватне за употребу због високих термо-механичких напора. Такође, мерење температуре подразумева стабилан радни режим и процес сагоревања без великих осцилација у измереним ефективним температурама, што је врло тешко постићи због варијабилности у квалитету угља који се доставља у термоелектрану.

Резултати ових истраживања су детаљније објашњени у публикацији [A2] која је наведена у поглављу 3.

2.3.3 Томографска метода пирометар - пирометар

Друга предложена мерна техника заснива се на упареном пирометарском систему који се састоји од два наспрамно оријентисана двобојна пирометра. На тај начин добијен је релативно јефтин, практичан и поуздан систем који има предност у односу на до сада коришћене методе због мањих трошкова уградње и експлоатације. Поред тога, имплементирана технологија има и еколошку димензију због могућности за кориштење у побољшању ефикасности сагоревања процеса, чиме доприноси мањим испадању различитих загађивача (NO_x , CO , пепела) у околину. Прелиминарни резултати указују на то да је метод поуздан и погодан за надгледање и дијагностику процеса сагоревања у реалном времену и да се 1D профил поуздано може одредити овим системом пирометара.

Предложени алгоритам за добијање термалног фокуса и коефицијента пригушења са итеративним поступком показао се веома поузданим при добијању сегментна са максималном температуром и са малим одступањем када је реч о коефицијенту пригушења ($<7\%$). Будући рад предвиђа анализу свих режима рада у котлу и других података везаних за сагоревање. Описана метода заједно са поступком реконструкције температурног профила реализованог кроз алгоритамско рјешење представљају врло добру основу за реконструкцију 1D температуре расподеле, позиције термалног фокуса и коефицијента пригушења. То значи да се комбиновањем више упарених двобојних пирометара може добити позиционирање пламена и његова реконструкција у пећима, на потпуно нов начин.

Наредни део истраживања усмерен је на додатно усавршавање постојеће методе и остваривање будућег технолошког доприноса. Приказана 1D метода треба да служи као полазна основа за даље унапређење процеса визуелизације и реконструкције температуре расподеле у вишедимензионалним 2D и 3D системима, као и њене имплементације у различитим типовима пећи / комора за сагоревање.

3. Списак публикација кандидата

А. Радови у међународним часописима

[A1] M. Lukovic, V. Lukovic, I. Belca, B. Kasalica, I. Stanimirovic, and M. Vivic, „*LED-based Vis-NIR spectrally tunable light source - the optimization algorithm*”, Journal of the European Optical Society-Rapid Publications, vol. 12, no. 19, pp. 19, 2016, ISSN 1990-2573, Doi 10.1186/s41476-016-0021-9.

[A2] Milentije Lukovic, Milos Vivic, Zoran Popovic, Ljubisa Zekovic, Becko Kasalica, Ivan Belca, „*Two-color pyrometer-based method for measuring temperature profiles and attenuation coefficients in a coal power plant*”, Combustion Science and Technology, Volume 190, Issue 11, pages 2018-2029, 2018, ISSN: 0010-2202, DOI:10.1080/00102202.2018.1481401.

Б. Радови у зборницима међународних конференција

[B1] Milentije Lukovic, Aleksandra Kalezić-Glišović, Borivoje Nedeljković, Sanja Antić, „*A tomographic method for determining the distance between standing wave anti-nodes and the frequency of electromagnetic radiation inside a microwave oven*”, Technics and Informatics in Education 7th International Conference, pp. 334-339, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, 25-27th May 2018, ISBN: 978-86-7776-226-1, UDC: 530.1:004.42.

[B2] Milentije Lukovic, Sanja Antic, Vanja Lukovic: „*Simple electrical circuit to light up a gas discharge lamp*”, Technics and Informatics in Education 6th International Conference, pp.

57-62, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, 28-29th May 2016, ISBN 978-86-7776-192-9, UDC: 621.326.71:621.39]:371.38.

[B3] Sanja Antic, Miroslav Bjekic, Milos Bozic, Milentije Lukovic: „*Torsional Resonance Compensation in an Electro-Mechanical System*”, Proceedings of 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016, pp. AUI2.6.1-6, Zlatibor, Serbia, 13-16th June 2016, ISBN 978-86-7466-618-0, UDC: 621.

V. Радови у зборницима домаћих конференција

[B1] Milentije Luković, Ivan Belča, Vanja Luković, Milos Vicić: „*Metoda dobijanja ciljane spektralne raspodele svetlosnog zračenja iz višestrukih svetlosnih izvora*“, 21st Conference and Exhibition YU INFO 2016, Kopaonik, 28. februar - 02. mart 2016, str. 179-184, ISBN 978-86-85525-17-9.

[B2] Milentije Luković, Vanja Luković, Ivan Stanimirović, Ivan Belča, Bečko Kasalica: „*Analiza opadajućih i periodično opadajućih funkcija u cilju optimizacije zračenja LED dioda na bazi GaAs, InGaAs i AlGaAs*“, 59. ETRAN konferencija, Sekcija za nove materijale, Zbornik radova na CD-u, Srebrno jezero, 8-11. jun 2015, str.NM1.6.1-6, ISBN 978-86-80509-71-6.

[B3] Borivoje Nedeljković, Nebojša Mitrović, Vladimir Pavlović, Marko Popović, Milentije Luković, Slobodan Djukić, Herbert Danninger: „*Karakterizacija FeCoV legure dobijene tehnologijom brizganja kompozita praha sa rastopljenim vezivom*“, 59. ETRAN konferencija, Sekcija za nove materijale, Zbornik radova na CD-u, Srebrno jezero, 8-11. jun 2015, str.NM1.4.1-6, ISBN 978-86-80509-71-6.

[B4] Milentije Luković, Ivan Belča, Vanja Luković, Bečko Kasalica: „*Algoritamsko rešenje optimizacije kalibracionog izvora za luminescentna merenja na tankim oksidnim slojevima*“, 58. ETRAN konferencija, Sekcija za nove materijale, Zbornik radova na CD-u, Vrnjačka banja, 2-5. jun 2014, str.NM1.3.1-6, ISBN 978-86-80509-70-9.

[B5] Bratislav Čukić, Nebojša Mitrović, Nebojša Labus, Borivoje Nedeljković, Marko Popović, Milentije Luković, Mihai Stoica: „*Korelacija procesa kristalizacije i termičkog*

širenja amorfnе masivne metalne legure FeCrMoGaPCB“, 58. ETRAN konferencija, Sekcija za nove materijale, Zbornik radova na CD-u, Vrnjačka banja, 2-5. jun 2014, str.NM1.4.1-6, ISBN 978-86-80509-70-9.

[B6] Mirko Tadić, Milentije Luković, Ivan Belča, Bećko Kasalica, Stevan Stojadinović: „Plazma elektrolitička oksidacija aluminijuma u vodenom rastvoru amonijum tartarata i magnezijum oksida“, 57.ETRAN konferencija, Zlatibor, 3-6. jun 2013, str.NM1.2.1-6, ISBN 978-86-80509-68-6.

4. Цитати

[A1] M. Lukovic, V. Lukovic, I. Belca, B. Kasalica, I. Stanimirovic, and M. Vacic, „LED-based Vis-NIR spectrally tunable light source - the optimization algorithm“, Journal of the European Optical Society-Rapid Publications, vol. 12, no. 19, pp. 19, 2016, ISSN 1990-2573, Doi 10.1186/s41476-016-0021-9.

- Celio Pasquini, „Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review“, Analytica Chimica Acta, Volume 1026, Pages 8-36, doi.org/10.1016/j.aca.2018.04.004, Published: October 2018.
- Olivier Debauche, Said Mahmoudi, Pierre Manneback, Mathieu Massinon, Nassima Tadrist, Frédéric Lebeau, Sidi Ahmed Mahmoudi, „Cloud architecture for digital phenotyping and automation“, 3rd International Conference of Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech), DOI:10.1109/CloudTech.2017.8284718, ISBN: 978-1-5386-1116-6, Published: October 2017.

ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног комисија закључује да је кандидат МИЛЕНТИЈЕ ЛУКОВИЋ у докторској дисертацији под називом „ЕМИСИОНА ЈЕДНОДИМЕНЗИОНА ТОМОГРАФИЈА ТЕМПЕРАТУРНОГ ПРОФИЛА У ЛОЖИШТУ КОТЛА

ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ КОРИШЋЕЊЕМ РАДИЈАЦИОНЕ ПИРОМЕТРИЈЕ“ представио оригиналне научне резултате са значајним научним доприносом у области примењене физике и метрологије и да су задовољени цви прописани услови за одобравање одбране ове тезе. Делови тезе кандидата су публиковани у два међународна часописа са ИП>1 и стога предлажемо Нучно - наставном већу Физичког факултета да одобри њену одбрану.

Др Иван Белча

Редовни професор, Физички факултет, Универзитет у Београду

Др Бећко Касалица

Редовни професор, Физички факултет, Универзитет у Београду

Др Александра Калезић-Глишовић

Доцент, Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу