

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на VI седници Изборног и Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 24. априла 2022. године, одређени за чланове Комисије за реферат о докторској дисертацији кандидата **Милоша Мошића**, мастер физичара, који је предао докторску дисертацију под насловом „Спектрометријска метода за одређивање температурне расподеле пламена у блиско инфрацрвеној области таласних дужина“, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци о кандидату

Милош (Славољуб) Мошић је рођен **9. јула 1987.** године у Београду. Завршио је средњу школу (Политехничку академију на Новом Београду **2006.** године). Основне студије физике, смер Примењена и компјутерска физика, завршио је **2015.** године на Физичком факултету Универзитета у Београду са просечном оценом **9.50.** На Физичком факултету Универзитета у Београду похађао је и мастер студије на смеру Примењена и компјутерска физика и завршио је **2017.** године са просечном оценом **10.00** и оценом **10.00** на мастер раду под називом “Пројектовање микроконтролерског инфрацрвеног пирометра” рађеног под менторством проф. др Ивана Белче. Докторске студије уписује **2017.** године из уже научне области „Примењена физика”, на Физичком факултету Универзитета у Београду. Просечна оцена на докторским студијама, без одбране докторске дисертације, је **10.00.** Од **23. октобра 2019.** године у звању је истраживач-приправник на Физичком факултету Универзитета у Београду на пројекту Графитне и неорганске наноструктуре ниске димензионалности (ев. бр. 1701035) Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Од **26. октобра 2022.** године је у звању истраживач-сарадник на Физичком факултету Универзитета у Београду. Милош Мошић је од 2017. године до данас анагажован на извођењу наставе за студенте Физичког факултета Универзитета у Београду и то: Стандардни лабораторијски софтвер (рачунске вежбе), за студенте треће године Физичког факултета (од 2017. године до данас); Физичка електроника (рачунске вежбе), за студенте треће године Физичког факултета (од 2018. године до данас); Програмирање микроконтролера (лабораторијске вежбе), за студенте мастер студија Физичког факултета (од 2019. године до данас); Аутоматско управљање (рачунске вежбе), за студенте треће године студија Физичког факултета (од 2020. године до 2023. године).

2. Научна активност

Тема истраживања којом се бави Милош Мошић је реконструкција температурног поља пламена унутар ложишта котлова, пећи или комора за сагоревање применом спектрометријске методе, као и налажење коефицијента атунације средине у којој се врши процес сагоревања.

3. Опис предате докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Мошића, мастер физичара, је написана под менторством редовног професора на Физичком факултету, Универзитета у Београду, проф. др Ивана Белче.

Тема докторске дисертације под називом **“Спектрометријска метода за одређивање температурне расподеле пламена у блиско инфрацрвеној области таласних дужина”**, прихваћена је на Колегијуму докторских студија Физичког факултета одржаног 21. септембра 2022. на Физичком факултету Универзитета у Београду. На I седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржане 26. октобра 2022. године усвојен је Извештај Комисије за оцену испуњености услова и оправданост предложене теме за израду докторске дисертације и именован ментор истог: др Иван Белча.

Веће научних области природно-математичких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 13. децембра 2022. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Милоша Мошића.

На VI седници Наставно-Научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржане дана 24. априла 2024. године, одређени су чланови Комисије за припрему реферата на основу прегледа и оцене докторске дисертације.

Дисертација се састоји од 152 стране (без насловне стране, захвалнице, сажетка на српском и енглеском језику, садржаја, прилога, ауторове биографије и изјава) и написана је на српском језику. У тексту докторске дисертације, подељеном на 14 поглавља, се налази 70 слика и 30 табела, а као део литературе консултоване за израду докторске дисертације наведено је 149 референци.

4. Предмет и циљ докторске дисертације

Циљ истраживања ове докторске дисертације је нови концепт мерења и реконструисања температурног поља пламена у ложишту котла термоелектране на угаљ, као и истовремено одређивање коефицијената атенуације средине у којој се врши процес сагоревања.

Ефикаснији процес сагоревања горива, боље искоришћење, мања емисија штетних гасова и бољи пренос топлоте у термоелектранама захтевају добро познавање расподеле температуре и позицију њеног максимума. Превисоке температуре и асиметрична расподела могу довести до застакљивања и зашљакавања делова котла и емисије штетних гасова као што су азотни оксиди NO_x .

Многе методе за мерење температуре у пећима су развијене до сада. У пракси су најкоришћеније методе мерења температуре са контактним сондама односно са термопаровима и сукционим (усисним) пирометрима. Термопарови могу да се користе за мерења температуре и до 2000 К. Термопарови могу да издрже сурове услове у којима се врше мерења и да дају поуздане измерене вредности. Малих су димензија и релативно јефтине за употребу. Обично се постављају на зидовима ложишта котла. Контактне методе поред својих предности имају и недостатке. Предности су релативно ниска цена и једноставност употребе, док су главни недостаци локално мерење температуре (мала област пламена) и деградација инструмената у високотемпературним условима, при дужој употреби.

Оптичке бесконтактне методе за мерење температуре, које се највише користе у пракси, су двобојни пирометри и ласерске методе. Ласерска спектроскопија је метода која подразумева коришћење једног или више ласерских зрака чијим проласком кроз апсорбујућу средину долази до њиховог слабљења у зависности од састава, концентрације честица и температуре пламена.

Последњих година највише се примењује радијациона термометрија на бази CCD (Charge Couple Device) камера. Предност ове радијационе методе је у високој резолуцији CCD камере која може да се користи за посматрање пламена у видљивом и инфрацрвеном делу спектра. Недостатак ове методе је у потешкоћама приликом калибрације па се зато често мора користити уз двобојни пирометар. Двобојни пирометар има тачнија читавања температуре у инфрацрвеној области. Такође CCD камере су непрактичне и због сложеног система хлађења што повећава цену употребе, компликује систем мерења.

Добијање томографске слике, базиране на хиперспектралној апсорпционој спектроскопији, је већ истражено, у комбинацији са ласерима и мерењем преко система одашиљач-пријемника. Са повећањем броја мерења на различитим таласним дужинама је показано, да је могуће смањити овај број комбинација одашиљач-пријемника. Такође, урађена су истраживања са мултиспектралном камером у комбинацији са спектрометром (за валидацију мерења) за мерење дистрибуције температурног поља пламена свеће.

Нови приступ, који је дат у овој докторској дисертацији, показује да је могуће направити мерења, са једноставнијим мерним системом, где се максимално смањење просторне резолуције инструментално-мерног система надокнађује коришћењем високе спектралне резолуције мерног система. Овакав приступ у температурној томографији, који знатно поједностављује процес мерења, је нов и једноставнији је од сличних приступа са ласерском апсорпционом спектроскопијом и комбинацијама са скупим мултиспектралним CCD камерама.

5. Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Решавање једнодимензионалног проблема у температурној томографији, са инструментационом и мерном поставком, са применом спектрометра је истражено и публиковано у часопису *Combustion Science and Technology* под називом *1D temperature tomography of flame, based on Vis-Nir spectrometry*.

У овом раду, је описана једнодимензионална реконструкција температурне расподеле пламена унутар ложишта котла. Узето је да се честице понашају као сива тела. Као мерни инструмент коришћен је спектрометар. Инверзни проблем реконструкције температурне расподеле и коефицијента атенуације је решен методом најмањег квадрата, односно применом Levenberg-Marquardt оптимизационог метода. Прво, описана је експериментална и мерна поставка унутар термоелектране. Затим је показан алгоритам и математички модел за реконструкцију.

Мерења су обављена у термоелектрани Никола Тесла Б која има снагу од 630 MW. Млинови са горионцима су тангенцијално постављени и на тај начин омогућавају контролу позиције пламена. Примарно гориво је лигнит, а секундарно је уље за ложење. Сонде са оптиком су постављене једна насупрот другој на супротним зидовима котла. Обе сонде су направљене од нерђајућег челика и цев је била провучена кроз зидове котла. Део са фокусирајућим сочивом и светловодом у сонди налазио се ван котла. Оваква конфигурација пружа заштиту од разарајућих деловања високотемпературне средине. Две сонде су биле постављене дуж исте оптичке осе и повезане светловодима са спектрометрима.

Овде је коришћен спектрометар Aurora 4000 и мерења су вршена на 40 таласних дужина између 800 nm и 900 nm Видно поље обе сонде је уско ($<0.2^\circ$) чиме је доста смањен утицај зрачења које потиче од расејања из унутрашњости котла. На овај начин је значајно био смањен измерени сигнал. Наш циљ је био да добијемо температурни профил пламена у опсегу температура између 750 °C и 1600 °C.

Да би се мерења спектрометра упоредила са додатним независним мерењем, коришћена је сонда двобојног пирометра. Пирометар се налазио у 8 m дугачкој сонди/цеви

од нерђајућег челика. Ова дугачка цев је послужила за позиционирање сонде у пламену унутар котла. Максимална дубина на којој је могла да се позиционира сонда је била 6 m. Померањем сонде двобојног пирометра на одређене позиције било је могуће мерити температуру на тим местима. Цев за двобојни пирометар је морала да се хлади ради заштите од термомеханичких оштећења.

За мерења на 40 таласних дужина између 800 nm и 900 nm, и за мерења са леве и десне стране котла, са иницијалном вредношћу коефицијента атенуације 0.07 m^{-1} , добили смо расподеле температуре по сегментима (укупно 20 сегмената) у три режима рада млинова (три различита температурна профила пламена) као и израчунати коефицијент атенуације 0.061 m^{-1} . За реконструкцију температурног поља коришћен је Levenberg-Marquardt оптимизациони алгоритам.

Употребом великог броја симулација, услед дискретизације температуре и рачунања средње вредности коефицијента атенуације, добили смо да је највећа неодређеност температуре коју алгоритам даје $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Укупна неодређеност мерења је комбинација неодређености услед калибрације спектрометара, неодређености услед дискретизације, стандардне девијације мерења, стабилности рада котла и грешке услед нумеричких итерација алгоритма. Установили смо да је максимална неодређеност услед калибрације спектрометара $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Дискретизација, сегментација са нумеричким итерацијама уносе неодређеност од $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Максимална неодређеност методе је $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решавање дводимензионалног проблема у температурној томографији са применом спектрометара је истражено и публиковано у часопису *International Journal of Thermal Sciences* под називом *2D temperature tomography of flame, based on VIS-NIR spectrometry*.

У овом раду је дат нови приступ реконструкцији дводимензионалне расподеле температуре у ложишту котла термоелектрана које раде на угљ. Овај нови метод подразумева мерење температуре и коефицијената апсорпције и расејања преко четири сонде које су повезане са спектрометрима. Итеративна Тихоновљева регуларизација заједно са Бајесовим закључивањем омогућава решавање слабо-постављеног (енг. ill-posed) инверзног проблема. Овај метод реконструкције се показује много бржим од већ постојећих и сличних метода, што га чини погодним за мониторинг процеса сагоревања унутар котла у реалном времену. Симулација мерења и реконструкције овом спектрометријском методом заснива се на претпоставци да су честице угља и њених продуката сагоревања сива тела у довољно малом интервалу таласних дужина. Ради испитивања стабилности алгоритма вештачки је суперпониран шум на мерене вредности и показане су границе могућности реконструкције методе. Овај метод, заснива се на претходном раду у једnodимензионалном случају, и тестиран је на подацима које смо добили приликом мерења у термоелектрани.

За одређивање 2D температурне дистрибуције пламена узели смо у обзир постављање сонди за мерење по угловима котла. Све сонде су направљене од нерђајућег

челика због заштите и прогуране су кроз отворе тако да гледају у унутрашњост котла, и постављене су на истој висини. Сонде су светловодима повезане са четири иста спектрометра. За симулацију смо узели Aurora 4000 спектрометре и мерење зрачења на таласним дужинама између 700 nm и 900 nm. Оптика сонди треба да симулира мерење под специфичним видним пољем. Угао по хоризонтали треба да обухвата барем 90 °, док угао по вертикали треба да је веома мали ($< 2^\circ$).

У нашој студији за емисивност зидова узимамо вредност од 0.8. Пламен унутар описаног видног поља се понаша као сиви извор зрачења који може да апсорбује, емитује и изотропно расејава зрачење. Средина унутар котла је подељена на $M = 10 \times 10 = 100$ запреминских елемената (воксела) и зид је подељен на $N = 10 \times 4 = 40$ сегмената.

Код дводимензионалног одређивања температурног профила, за директно решавање проблема је коришћен Директни Монте Карло метод (FMC). За решавање инверзног проблема, систем једначина, који описује пренос топлоте зрачењем из средине са пламеном до детектора, ради скраћивања времена решавања, смо свели на линеаран односно матрични облик уз помоћ Бајесовог закључивања и теорије вероватноће. Овај начин захтева добро познавање очекиване температурне расподеле пламена у котлу, што може да се обави применом CFD софтверког алата за симулацију. На овај начин, конструисана матрица коваријансе формира регуларизациону матрицу. Са овим приступом, показује се да чак и веома пододређени системи (недовољно дефинисани) могу да се решавају применом Тихоновљеве регуларизације. Код овог новог начина решавања постигли смо велико убрзање решавања инверзног проблема које се креће у распону времена од неколико секунди до једне минуте. Ако се решава само температурни профил, са уношењем вредности оптичких коефицијената из литературе, постиже се време решавања од неколико десетина милисекунди.

У овој дисертацији је приказан нови начин решавања тродимензионалног проблема у температурној томографији. Директан проблем је решен применом Обрнутог Монте Карло метода (BMC). Код инверзног решавања је коришћен градијентни метод, Trust Region Reflective алгоритам. Дат је детаљан нови математичко-физички модел рачунања топлотног зрачења, за случај коришћења спектрометра, који се базира на статистичком начину одређивања излазних/мерених величина. На основу овога, конструисан је модел за инверзно решавање проблема. Грешке одређивања температуре по вокселима се крећу до 100 °C. Време израчунавања температурног профила је око 50 s.

Списак публикација

Списак публикација коришћених за израду докторске дисертације:

1. **Milos Masic**, Ivan Belca, Milos Vicic, Becko Kasalica, 1D TEMPERATURE TOMOGRAPHY OF A FLAME, BASED ON VIS-NIR SPECTROMETRY, Combustion Science and Technology, (2022), DOI: 10.1080/00102202.2022.2093608.
2. **Milos Masic**, Edib Dobardzic, Milos Vicic, Becko Kasalica, Mirjana Sarvan, Ivan Belca, 2D temperature tomography of a flame, based on VIS-NIR spectrometry, International Journal of Thermal Sciences 201 (2024) 108991, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2024.108991>.

6. Закључак

На основу изложеног, Комисија закључује да кандидат Милош Мошић својом докторском дисертацијом под називом **“Спектрометријска метода за одређивање температурне расподеле пламена у блиско инфрацрвеној области таласних дужина”**, даје значајан допринос области Примењене физике. На основу наведеног, Комисија

ПРЕДЛАЖЕ

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да кандидату Милошу Мошићу одобри јавну одбрану докторске дисертације.

У Београду, 13. 5. 2024. године

др Бећко Касалица, редовни професор
Физички факултет Универзитета у Београду

др Милентије Луковић, доцент
Факултет техничких наука у Чачку
Универзитета у Крагујевцу

др Едиб Добарцић, ванредни професор
Физички факултет Универзитета у Београду

Spektrometrijska metoda za određivanje temperaturne raspodele plamena u blisko infracrvenoj oblasti talasnih dužina

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	fedorabg.bg.ac.rs Internet	84 words — < 1%
2	repository.sustech.edu Internet	68 words — < 1%
3	uvidok.rcub.bg.ac.rs Internet	49 words — < 1%
4	nardus.mpn.gov.rs Internet	46 words — < 1%
5	fs.unm.edu Internet	27 words — < 1%
6	Roselena Sulla, Michele D'Amato, Rosario Gigliotti, Domenico Liberatore. "Modeling criteria for the seismic assessment of existing masonry buildings", <i>Procedia Structural Integrity</i> , 2023 Crossref	26 words — < 1%
7	bmw.ff.bg.ac.rs Internet	26 words — < 1%
8	Milos Masic, Edib Dobardzic, Milos Vicic, Becko Kasalica, Mirjana Sarvan, Ivan Belca. "2D	23 words — < 1%

temperature tomography of a flame, based on VIS-NIR
spectrometry", International Journal of Thermal Sciences, 2024

Crossref

9	www.ff.bg.ac.rs Internet	23 words — < 1%
10	www.igs2018.mu.edu.tr Internet	23 words — < 1%
11	dokumen.pub Internet	21 words — < 1%
12	eteze.bg.ac.rs Internet	21 words — < 1%
13	www.unm.edu Internet	21 words — < 1%
14	arxiv.org Internet	20 words — < 1%
15	George A. Kiraz. "A Computer-Generated Concordance to the Syriac New Testament, Volume 4", Brill, 1993 Crossref	19 words — < 1%
16	mpira.ub.uni-muenchen.de Internet	16 words — < 1%
17	ostad.nit.ac.ir Internet	16 words — < 1%
18	grafar.grf.bg.ac.rs Internet	15 words — < 1%
19	issuu.com Internet	

		14 words — < 1%
20	ouci.dntb.gov.ua Internet	14 words — < 1%
21	"The Bible in Aramaic, Vol. 1", Brill, 2004 Crossref	12 words — < 1%
22	M.A. Schuster. "A monolithic mosaic of photon sensors for solid-state imaging applications", IEEE Transactions on Electron Devices, 12/1966 Crossref	12 words — < 1%
23	J. T. Veal, W. E. Hatfield, D. J. Hodgson. "The crystal and molecular structure of di-μ-hydroxobis[di(1,10-phenanthroline)chromium(III)] chloride hexahydrate", Acta Crystallographica Section B Structural Crystallography and Crystal Chemistry, 1973 Crossref	11 words — < 1%
24	Michael F. Modest. "RADIATIVE PROPERTIES OF MOLECULAR GASES", Elsevier BV, 2003 Crossref	11 words — < 1%
25	ciburial.desa.id Internet	11 words — < 1%
26	Milošević, Jelena Ž.. "Изогеометријска анализа у морфогенези површинских конструктивних система", University of Belgrade (Serbia), 2023 ProQuest	10 words — < 1%
27	emineter.files.wordpress.com Internet	10 words — < 1%
28	fizika.pmf.kg.ac.rs Internet	10 words — < 1%

29	phaidravg.bg.ac.rs Internet	10 words — < 1%
30	sr.wikipedia.org Internet	10 words — < 1%
31	"Advancing Big Data Benchmarks", Springer Nature, 2014 Crossref	9 words — < 1%
32	A. O. Rodnikov, B. A. Samokish. "An estimate for the round-off error in the elimination problem", Journal of Mathematical Sciences, 2007 Crossref	9 words — < 1%
33	Mansimli, Gulshan. "Integral donusumler icin Denklikler Ve Parseval-Goldstein turu bagintilar", Marmara Universitesi (Turkey), 2020 ProQuest	9 words — < 1%
34	Senake Bandaranayake. "Sinhalese Monastic Architecture", Brill, 1974 Crossref	9 words — < 1%
35	belackrva.rs Internet	9 words — < 1%
36	ebin.pub Internet	9 words — < 1%
37	polynoe.lib.uniwa.gr Internet	9 words — < 1%
38	Trkulja, Tanja M.. "Дефинисање методолошких принципа регенерације напуштених железничких коридора у Републици Српској", University of Belgrade (Serbia), 2023	8 words — < 1%

-
- 39 Zhi-Tian Niu, Hong Qi, Si Zheng, Ya-Tao Ren, Ming-Jian He, Fei Wang, Wen-Jun Sun. "Nonlinear deflection tomography of inhomogeneous flame temperature and concentration based on topology evolution with prior smoothing", *Combustion and Flame*, 2024
Crossref 8 words — < 1%
-
- 40 acikerisim.isikun.edu.tr
Internet 8 words — < 1%
-
- 41 eteze.ni.ac.rs
Internet 8 words — < 1%
-
- 42 repository.tudelft.nl
Internet 8 words — < 1%
-
- 43 tel.archives-ouvertes.fr
Internet 8 words — < 1%
-
- 44 www.dtic.mil
Internet 8 words — < 1%
-
- 45 www.k204.ru
Internet 8 words — < 1%
-
- 46 Ταχλιαμπούρης, Κωνσταντίνος | Tachliampouris, Konstantinos-PANAGIOTIS. "Η κατανομή Lindley και οι εφαρμογές της στον αναλογισμό", *University of Piraeus (Greece)*, 2022
ProQuest 8 words — < 1%
-
- 47 Alma Riska. "Exact aggregate solutions for M/G/1-type Markov processes", *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 6/1/2002
Crossref 7 words — < 1%

48 Youliang Yang, Fei Xue, Fanwei Meng. "Molten pool temperature measurement based on multi-sensor data fusion", 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, 2011

Crossref

7 words — < 1%

49 eteze.kg.ac.rs

Internet

7 words — < 1%

50 vbs.rs

Internet

7 words — < 1%

51 "The Econometrics of Multi-dimensional Panels", Springer Science and Business Media LLC, 2024

Crossref

6 words — < 1%

52 Gao, Xu. "Simplicial Distance in Bruhat-Tits Buildings of Split Classical Type", University of California, Santa Cruz, 2023

ProQuest

6 words — < 1%

53 Guy Fayolle, Cyril Furtlehner. "Stochastic Dynamics of Discrete Curves and Multi-Type Exclusion Processes", Journal of Statistical Physics, 2007

Crossref

6 words — < 1%

54 Mhanainn Bóid, Iain Ruairidh. "Principles of Samaritan Halachah", Brill, 1989

Crossref

6 words — < 1%

55 Milos Motic, Ivan Belca, Milos Vicic, Becko Kasalica. "1D TEMPERATURE TOMOGRAPHY OF A FLAME, BASED ON VIS-NIR SPECTROMETRY", Combustion Science and Technology, 2022

Crossref

6 words — < 1%

56 SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2016.

Crossref

6 words — < 1%

57 Оравец, Јелена Чолић | Oravec, Jelena Čolić.
"Clones of Nondeterministic Operations",
University of Novi Sad (Serbia), 2022

6 words — < 1%

ProQuest

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES OFF