

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Николе Кржановића, мастер инж. електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5015/15-1 од 26.04.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Николе Кржановића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Испитивање активних електронских дозиметара у циљу хармонизације мерења оперативних дозиметријских величина у области заштите од зрачења"

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Подаци о кандидату

##### 1.1. Биографски подаци

Никола Кржановић је рођен 02.10.1991. године у Београду. Завршио је XV београдску гимназију као носилац Вукове дипломе и ученик генерације. Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, Одсек за физичку електронику, уписао је 2010. године где је дипломирао јула 2014. године на Смеру за биомедицински и еколошки инжењеринг, са просечном оценом 9,00 и одбрањеним завршним радом на тему "Микродозиметријски приступ биолошким ефектима зрачења", под менторством доц. др Милоша Вујисића. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Биомедицинско и еколошко инжењерство, уписао је 2014. године. Јула 2015. године је завршио мастер академске студије, са просечном оценом 10,00 и одбрањеним завршним радом на тему "Значај интеркомпарације полупроводничких детектора у дијагностичкој радиологији", под менторством доц. др Ковиљке Станковић. Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Нуклеарна, медицинска и еколошка техника уписује новембра 2015. године. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 и испунио све обавезе прописане студијским програмом сакупивши предвиђених 120 ЕСПБ.

Од 2015. године запослен је у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине Института за нуклеарне науке Винча.

Научно-истраживачки рад обавља у области дозиметрије и заштите од зрачења, у вези са испитивањем карактеристика различитих врста активних и пасивних дозиметара који се користе у области заштите од зрачења за мерење оперативних дозиметријских величина, и посебно јонизационих комора које налазе примену у дијагностичкој радиологији (укључујући и посебне типове комора за модалитете медицинског сликања попут

флуороскопије и компјутеризоване томографије), и радиотерапији. Посебна пажња је посвећена развоју међународних стандарда у области метрологије јонизујућег зрачења.

Поред научно-истраживачког рада активно учествује у активностима акредитоване Лабораторије за радијациона мерења, и то у пословима у оквиру Секундарне дозиметријске лабораторије за метрологију јонизујућег зрачења, према овлашћењима Лабораторије за заштиту од зрачења и заштиту животне средине Института за нуклеарне науке Винча. Ови послови укључују еталонирање и испитивање дозиметара за примену у области заштите од зрачења, радиотерапији и дијагностичкој радиологији, а који се користе у медицини, индустрији, војсци итд. Члан је Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе. Учесник је следећих међународних пројеката:

1. 14RPT Absorb - "Absorbed dose in water and air" - EURAMET, Horizon
2. 16ENV Preparedness - "Metrology for mobile detection of ionising radiation following a nuclear or radiological incident" - EURAMET, Horizon
3. SRB6012 - "Upgrading of calibration service for medical applications of ionising radiation" - IAEA

## 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Никола Кржановић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства је уписао Докторске студије на Електротехничком факултету 2015. године на модулу за Нуклеарну, медицинску и еколошку технику.

Преглед положених испита:

1. Радијациона и електромагнетна компатибилност електротехничких компоненти и уређаја (Оцена: 10, ЕСПБ: 9);
2. Нуклеарне методе у технолошким процесима (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
3. Дозиметрија, заштита од зрачења и нуклеарни отпад (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
4. Одабрана поглавља из нуклеарне физике (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
5. Мерење јонизујућег и нејонизујућег зрачења (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
6. Пројектовање интегрисаних кола (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
7. Биомедицински сензори и претварачи (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
8. Мерне методе у нуклеарној, медицинској и еколошкој техници (Оцена: 10; ЕСПБ: 9);
9. Увод у научни рад (Оцена: 10, ЕСПБ: 6);
10. Теорија нуклеарних реактора (Оцена: 10; ЕСПБ: 9).

Преглед завршених обавеза током студија:

1. Студијски истраживачки рад I (ЕСПБ: 15);
2. Студијски истраживачки рад II (ЕСПБ: 15);
3. Научно стручни рад (ЕСПБ: 3).

Кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова са просечном оценом 10. Такође, кандидат је положио испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) са оценом "задовољно", при чему је јавно усмено излагање одржано 10.05.2018. године, са комисијом за усмену јавну одбрану у саставу:

1. др Оливера Цирај-Бјелац, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
2. др Драгана Тодоровић, научни саветник, Институт за нуклеарне науке „Винча“,
3. др Предраг Пејовић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
4. др Јован Цветић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду.

Списак објављених научних радова кандидата:

#### **M22 - Истакнути међународни часопис**

1. **N. Kržanovic**, M. Zivanovic, O. Ciraj-Bjelac, D. Lazarevic, S. Ceklic, S. Stanković, Performance Testing Of Selected Types of Electronic Personal Dosimeters in X- and Gamma Radiation Fields, HEALTH PHYSICS, Vol. 113, No. 4, pp. 252-261, 2017, IF= 1.308, DOI: 10.1097/HP.0000000000000704. ISSN: 0017-9078. Online ISSN: 1538-5159.

#### **M33 - Саопштења са међународних скупова штампаних у целини**

1. F. H. Apostolakopoulos, **N. Kržanović**, L. Perazić, M. Živanović, K. Stanković. Comparison of the Energy and Angular Responses of Thermoluminescent and Electronic Personal Dosimeters. Proceedings of 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2016, pp. NT11.4.1-4, Zlatibor, Serbia, June 13 – 16, 2016. ISBN 978-86-7466-618-0
2. F. H. Apostolakopoulos, **N. Kržanović**, L. Perazić, K. Stanković. Comparison of the Angular Dependence of Thermoluminescent (TL) and Optically Stimulated Luminescent (OSL) Personal Dosimeters. Proceedings of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, June 5 – 8, 2017. ISBN 978-86-7466-692-0
3. **N. Kržanović**, F. H. Apostolakopoulos, M. Živanović, M. Vujisić, K. Stanković, Đ. Lazarević. Establishing Standard X-ray Narrow-beam Radiation Qualities in SSDL. Proceedings of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, June 5 – 8, 2017. ISBN 978-86-7466-692-0
4. M. Živanović, **N. Kržanović**, Đ. Lazarević, O. Ciraj-Bjelac, S. Čeklić, S. Stanković. Suitability of using active personal dosimeters in diagnostic radiology. Proceedings of 8th ALPE-Adria Medical Physics (AAMP) Conference, Novi Sad, Serbia, May 25 – 27, 2017.

#### **M63 - Саопштења са националних скупова штампаних у целини**

1. S. Stanković, A. Jakšić, N. Vasović, B. Lončar, **N. Kržanović**, M. Živanović. Razlika između odziva RADFET u statičkom i dinamičkom online mernom sistemu prilikom izlaganja gama zračenju Co-60. XXIX Simpozijum Društva a zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Srebrno jezero, 27- 29. 09. 2017.
2. Đ. Lazarević, M. Živanović, **N. Kržanović**. Provera apsorbovanih doza u vodi u radioterapijskim ustanovama Srbije u 2016. godini. XXIX Simpozijum Društva a zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Srebrno jezero, 27- 29. 09. 2017.
3. F. H. Apostolakopoulos, **N. Kržanović**, K. Stanković. Važenje eksponencijalnog zakona atenuacije snopa gama zračenja u zavisnosti od debljine i vrste materijala apsorbera. Zbornik 58. konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo i automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN 2014, Vrnjačka Banja, 2 - 5. juna 2014. godine, ISBN 978-86-80509-69-3

#### 4. 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходно наведеног научно-истраживачког рада и постигнутих резултата, Комисија сматра да кандидат Никола Кржановић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, задовољава потребне услове, односно да је спреман за рад на предложеној теми докторске дисертације "Испитивање активних електронских дозиметара у циљу хармонизације мерења оперативних дозиметријских величина у области заштите од зрачења".

### 2. Предмет и циљ истраживања

Дозиметрија и заштита од зрачења су научне дисциплине које се баве метрологијом јонизујућих зрачења, у циљу квантификовања њихових ефеката на материју. Величине у дозиметрији и заштити од зрачења се деле на радиометријске величине (карактеришу примарно поље зрачења, нпр. флуенс), дозиметријске величине (квантификују меру интеракције јонизујућег зрачења са материјом, нпр. керма и апсорбована доза), величине у заштити од зрачења (описују биолошке ефекте јонизујућег зрачења на ткиво, нпр. ефективна доза), и оперативне дозиметријске величине (представљају апроксимацију величина у заштити од зрачења директно мерљивим величинама). У области заштите од јонизујућег зрачења се дефинишу физичке величине које се користе за квантификовање ефеката јонизујућег зрачења на ткиво. Ефекти свих врста јонизујућег зрачења на одређено ткиво се квантификују еквивалентном дозом за то ткиво. Услед различите радиосензитивности ткива, вероватноћа за стохастичке ефекте изазваних одређеном еквивалентном дозом ће зависити од структуре и врсте озраченог ткива или органа. Ефективна доза дефинише ризик од појаве стохастичких ефеката излагања целог тела свим врстама јонизујућег зрачења. Еквивалентна и ефективна доза нису директно мерљиве физичке величине, већ се могу проценити мерењем оперативних дозиметријских величина или одредити методама рачунарске дозиметрије. За потребе оцене дозиметријских величина од значаја за заштиту од зрачења, Међународна комисија за радијационе јединице и мерења (*енг.* The International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) је у складу са тим увела оперативне дозиметријске величине, које су као последица одговарајућег еталонирања дозиметара директно мерљиве.

За процену ефективне и еквивалентне дозе користе се оперативне дозиметријске величине дефинисане за потребе индивидуалног и амбијенталног мониторинга. Лични дозни еквивалент  $H_p(d)$ , представља дозни еквивалент у меком ткиву на дубини  $d$  испод одређене тачке на површини тела. Амбијентални дозни еквивалент  $H^*(d)$ , представља дозни еквивалент произведен у одговарајућем проширеном и усмереном пољу зрачења ICRU сфере на дубини  $d$  дуж пречника радијалног поља зрачења супротно од смера простирања поља. Процена нивоа излагања јонизујућем зрачењу услед спољашњег излагања професионално изложених лица се остварује помоћу личних дозних еквивалената измерених пасивним и активним личним дозиметрима и/или мерењем јачине амбијенталног дозног еквивалента преносним монитормима зрачења.

За потребе оперативне заштите од зрачења, у све већој мери се користе активни електронски лични дозиметри (*енг.* EPD), поред већ распрострањених пасивних дозиметријских система попут термолуминесцентних дозиметара за процену ефективне дозе, изражене помоћу личног дозног еквивалента  $H_p(10)$ . Основна предност електронских личних дозиметара јесте могућност праћења промена у јачини дозе зрачења у реалном времену, што је од великог значаја за заштиту од јонизујућег зрачења при применама у индустријске, медицинске, војне и научно-истраживачке сврхе. Електронски лични дозиметри се најчешће користе у медицини, редом: у интервентној радиологији и кардиологији; у нуклеарној медицини; у радиотерапији. Због повећања учесталости примене електронских личних дозиметара, и неопходности да њихова метролошка својства буду у складу са пољима зрачења

у којима се користе, неопходно их је испитивати у пољима фотонског јонизујућег зрачења, за различите енергије фотона и различите упадне углове зрачења, не би ли се утврдило њихово понашање у реалним фотонским пољима зрачења која су мултидирекциона и полиенергетска.

У области заштите од зрачења је поред индивидуалног мониторинга од значаја и амбијентални мониторинг, односно мерење оперативне дозиметријске величине амбијентални дозни еквивалент  $H^*(10)$ . За потребе амбијенталног мониторинга, користе се различити преносни или фиксни инструменти који по типу могу бити полупроводнички, сцинтилациони, гасни, и сл., а засновани су на различитим механизмима интеракције јонизујућег зрачења са активном запремином дозиметра. Најчешће коришћени уређаји за амбијентални мониторинг јесу уређаји на бази гасних детектора зрачења који раде у високонапонском радном режиму, који карактерише појава Гајгер-Милеровог пражњења. Да би се гасни детектор зрачења могао прогласити дозиметром, неопходно је да његов енергетски одзив буде у складу са поменутиим међународним стандардима који се односе на дозиметријске величине у области заштите од зрачења. Релативни одзив ових детектора зрачења је, оклапањем различитим материјалима (најчешће оловом и/или калајем), могуће довести у жељени опсег. При нижим енергијама фотона долази до пораста релативног одзива, услед повећања вероватноће за интеракцију фотона са честицама радног гаса детектора, у поређењу са високоенергетским фотонима. Оклапањем уређаја се уноси одговарајућа корекција на мерење нискоенергетских фотона, односно врши се енергетска компензација гасног детектора. Амбијенталним мониторинга зрачења је такође неопходно одредити угаону зависност одзива, и пожељно је да буду изотропни.

Циљ истраживања биће одређивање прикладности различитих дозиметара за примену у заштити од зрачења, односно испитивање метролошких својстава активних електронских личних дозиметара за одређивање личног дозног еквивалента, и метролошких својстава енергетски компензованог гасног детектора за мерења јачине амбијенталног дозног еквивалента. Прикладност примене ових дозиметара за процену ефективне дозе, путем мерења оперативних дозиметријских величина ће бити одређена испитивањем типа дозиметара, које обухвата испитивање низа метролошких релевантних својстава као што су линеарност, енергетска и угаона зависност, у широком опсегу енергија, од нискоенергетских X-фотона до високоенергетских  $\gamma$ -фотона чија се поља зрачења срећу у медицинским и индустријским применама јонизујућег зрачења.

Значај планираног истраживања у оквиру докторске дисертације ће бити хармонизација електронских личних дозиметара и преносних амбијенталних дозиметара са захтевима за испитивања типа дозиметара у оквиру међународних стандарда у области заштите од зрачења (IEC 61526 и IEC 60846).

Релевантне референце у вези са темом:

1. Ankerhold U, Hupe O, Ambrosi P. Deficiencies of Active Electronic Radiation Protection Dosimeters in Pulsed fields. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 135, No. 3, pp. 149-153; 2009.
2. Bolognese - Milsztajn T, Ginjaurme M, Vanhavere F. Active methods and instruments for personal dosimetry of external radiation: present situation in Europe and future needs. Current Trends in Radiation Protection, EDP Sciences, Les Ulis, France, pp. 65-82; 2004.
3. Boziari A, Hourdakos CJ. Calibration, Performance and Type Testing of Personal Dosimeters Used in Ionising-Radiation Applications in Greece. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 125, No. 1-4, pp. 79-83; 2007.

4. Ceklic S, Arandjic D, Zivanovic M, Ciraj-Bjelac O, Lazarevic Dj. Performance of Radiation Survey Meters in X- and gamma radiation fields. *Radiation Protection Dosimetry* Vol. 162, No. 1-2, pp. 139-143; 2014.
5. Chiriotti S, Ginjaume M, Vano E, Sanchez R, Fernandez JM, Duch MA, Sempau J. Performance of several active personal dosimeters in interventional radiology and cardiology. *Radiation Measurements* 46, pp. 1266-1270, Elsevier Ltd; 2011.
6. Clairand I, Bordy JM, Carinou E, Daures J, Debroas J, Denoziere M, Donadille L, Ginjaume M, Itie C, Koukorava C, Krim S, Lebacq AL, Martin P, Struelens L, Sans-Merce M, Vanhavere F. Use of active personal dosimeters in interventional radiology and cardiology: Tests in laboratory conditions and recommendations - ORAMED project. *Radiation Measurements* 46, pp. 1252-1257, Elsevier Ltd; 2011.
7. Ginjaume M, Bolognese-Milsztajn T, Luszik-Bhadra M, Vanhavere F, Wahl W, Weeks A. Overview of Active Personal Dosimeters for Individual Monitoring in the European Union. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 125, No. 1-4, pp. 261-266; 2007.
8. International Atomic Energy Agency. Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Safety report series No. 16; 2000.
9. International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, Bethesda, MD:ICRU; Report No. 51; 1993.
10. International Electrotechnical Commission. Radiation protection instrumentation - Measurement of personal dose equivalents  $H_p(10)$  and  $H_p(0,07)$  for X, gamma, neutron and beta radiations - Direct reading personal dose equivalent meters, IEC 61526; 2010.
11. International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics and production methods, ISO 4037-1; 1996.
12. International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence, ISO 4037-3; 1999.
13. Lee YoungJu, Won Yuho, Kang Kidoo. Performance Test Results of Active Personal Dosimeters (APDs) used in Nuclear power plant in Korea: A comparison with Thermoluminescence dosimeters (TLDs). *Radiation Protection Dosimetry*, 1-7; 2016.
14. Ortega X, Ginjaume M, Hernandez A, Vilanueva I, Amor I, Aran J. Comparison of the Performance of a Set of nine Electronic Personal Dosimeters. 10th International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA-10, Hiroshima, Japan; 14-19 May 2000.
15. Struelens L, Carinou E, Clairand I, Donadille L, Ginjaume M, Koukorava C, Krim S, Mol H, Sans-Merce M, Vanhavere F. Use of active personal dosimeters in interventional radiology and cardiology: Tests in hospitals - ORAMED project. *Radiation Measurements* 46, pp. 1258-1261, Elsevier Ltd; 2011.
16. Suliman II, Yousif EH, Beineen AA, Yousif BE, Hassan M. Performance testing of selected types of electronic personal dosimeters used in Sudan. *Radiation Measurements* 45, pp. 1582-1584, Elsevier Ltd; 2010.
17. Texier C, Itie C, Serviere H, Gressier V, Bolognese-Milsztajn T. Study of the Photon Radiation Performance of Electronic Personal Dosimeters. *Radiation Protection Dosimetry* Vol. 96, No. 1-3, pp. 245-249; 2001.

18. Zutz H, Hupe O, Ambrosi P, Klammer J. Determination of Relevant parameters for the use of Electronic Dosimeters in Pulsed fields of Ionising Radiation. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 151, No. 3, pp. 403-410; 2012.
19. Peng Wang, Xiao-Bin Tang, Pin Gong, Xi Huang, Liang-Sheng Wen, Zhen-Yang Han, Jian-Ping He. Design of a portable dose rate detector based on a double Geiger-Mueller counter. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 879, pp 147-152, 2018.
20. Ciraj-Bjelac O, Carinou E, Vanhavere F. Use of active personal dosimeters in hospitals: EURADOS survey. Journal of Radiological Protection, Vol 38, No. 2, pp. 702-715.

### 3. Полазне хипотезе

- ❖ У циљу ефикасне заштите од зрачења, неопходно је мерење оперативних дозиметријских величина у реалном времену, у зонама у којима је јачина амбијенталног дозног еквивалента у простору у ком се налазе професионално изложена лица већа од 25  $\mu\text{Sv/h}$ , на начин који подразумева употребу активних личних дозиметара поред широкораспрострањених пасивних дозиметријских система.
- ❖ Активне личне дозиметре на бази различитих материјала и механизма интеракције са јонизујућим зрачењем је неопходно типски испитати ради могућности хармонизације њихових метролошких својстава са стандардима у области заштите од зрачења.
- ❖ Амбијентални монитори зрачења засновани на Гајгер-Милеровим цевима морају имати униформни енергетски и ангуларни одзив, због чега је неопходна њихова адекватна енергетска компензација.
- ❖ Гасни детектори зрачења са Гајгер-Милеровим цевима се у одређеним условима могу користити за лични и амбијентални мониторинг.

### 4. Научне методе истраживања

Испитивање личних дозиметара обухвата испитивање њихове прецизности, линеарности, зависности одзива дозиметара од енергије и упадног угла снопа јонизујућег зрачења. Одзив дозиметра представља однос показивања дозиметра и тачне вредности физичке величине (одређене помоћу примарног или секундарног дозиметријског еталона, који се налазе у врху ланца метролошке следљивости). Испитивањем ће бити обухваћени различити електронски лични дозиметри, укључујући оне на бази Гајгер-Милерових гасних детектора, силицијумских полупроводничких детектора, и сцинтилационих детектора зрачења, различитих произвођача. Ради одређивања енергетске зависности дозиметри ће бити излагани јонизујућем зрачењу у опсегу енергија од 33 keV до 1,3 MeV, док ће за одређивање угаоне зависности бити испитан одзив дозиметара за упадне углове у опсегу од 0° до 80°. Ради испитивања угаоне и енергетске зависности коришћен је релативни одзив, при чему је референтни одзив одређен за квалитет зрачења S-Cs (енергије 662 keV), при упадном углу од 0°. Квалитети зрачења ће бити успостављени у складу са ISO 4037 стандардом, укључујући квалитете X-зрачења уског енергетског спектра (*eng.* Narrow-beam X-ray radiation qualities), као и S-Cs (радиоизотоп Cs-137) и S-Co (радиоизотоп Co-60) квалитете. Референтне вредности ће бити одређене помоћу дозиметријског стандарда (литарске сферне јонизационе коморе са шупљином, PTW 32002 са електрометром PTW Unidos), након чега ће се електронски лични дозиметри постављати на стандардни ISO фантом испуњен водом, са зидовима од полиметил-метакрилата (чија је улога да симулира торзо човека). Тачност дозиметара ће бити испитана за S-Cs квалитет зрачења, који произвођачи најчешће дефинишу као референтни, док ће линеарност бити испитивана у S-Co квалитету зрачења, због највећег распона јачина доза радионуклида  $^{60}\text{Co}$  у Лабораторији за радијациона мерења.

Амбијентални дозиметар на бази Гајгер-Милерових цеви ће најпре бити енергетски компензован, варирањем дебљине и променом геометрије компензационог материјала цеви. За различита подешавања енергетске компензације ће бити одређени енергетски и угаони одзив дозиметра, у горе поменутом опсегу енергија, док ће угаони одзив бити испитан за углове у опсегу од  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , уз углове од  $180^\circ$  и  $-45^\circ$ , ради провере изотропности одзива. Ради провере перформанси амбијенталног дозиметра у развоју, карактеристике добијене испитивањем типа ће бити поређене са карактеристикама комерцијално доступних амбијенталних дозиметара на бази јонизационе коморе под притиском, полупроводничког детектора итд.

## 5. Очекивани научни допринос

- ❖ Резултати ће омогућити развој и примену метода испитивања типа дозиметара који се користе у заштити од зрачења за мерење оперативних дозиметријских величина, у циљу њихове примене за потребе различитих радијационих делатности.
- ❖ Резултати ће омогућити развој и оптимизацију енергетски компензованих уређаја за амбијентални мониторинг.
- ❖ Резултати ће допринети хармонизацији особина активних електронских дозиметара и амбијенталних дозиметара са међународним стандардима који се тичу постојећих оперативних дозиметријских величина у области заштите од зрачења.
- ❖ Резултати ће допринети оптимизацији заштите од зрачења у оквиру различитих примена јонизујућег зрачења, попут тачности одређивања дозе.

## 6. План истраживања и структура рада

- ❖ У првој фази, биће извршен преглед литературе, и преглед искустава из праксе, везан за електронске персоналне дозиметре и преносне инструменте за амбијентални мониторинг ради процене ефективне дозе, односно мерење одговарајућих оперативних дозиметријских величина у сврху персоналног и амбијенталног мониторинга јонизујућег зрачења.
- ❖ У другој фази, биће извршено испитивање типа електронских личних дозиметара различитих механизма детекције и различитих произвођача, и то одређивањем енергетске и угаоне зависности, линеарности и тачности.
- ❖ У трећој фази, биће извршена енергетска компензација гасног детектора на бази Гајгер-Милерове цеви, након чега ће уследити испитивање типа овог гасног детектора и других дозиметара за амбијентални мониторинг, различитих произвођача, одређивањем енергетске и угаоне зависности (укључујући изотропност угаоног одзива).

## 7. Закључак и предлог

На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи научно-истраживачки рад кандидата Николе Кржановића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија је закључила да кандидат испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације под називом "Испитивање активних електронских дозиметара у циљу хармонизације мерења оперативних дозиметријских величина у области заштите од зрачења". Истраживање се одвија у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја број 43009 под називом "Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних хемијских супстанци и радијационог оптерећења". Предложена тема је научно заснована, уз могућност практичне примене у области дозиметрије и заштите од јонизујућег зрачења, као и метрологије јонизујућег зрачења. Тема

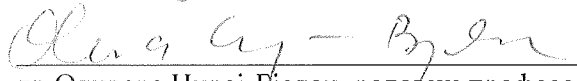
припада ужој научној области Нуклеарна техника, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матични факултет. За ментора рада је предложена др Ковиљка Станковић, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

У Београду, 16.5.2018. године

**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**



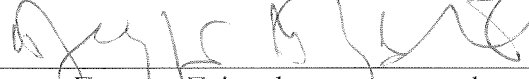
др Ковиљка Станковић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Оливера Цирај-Бјелац, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Драгана Тодоровић, научни саветник  
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча



др Предраг Пејовић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јован Цветић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет