

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Војислава Антића, дипломираног инжењера електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5060/10-3 од 14.7.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Војислава Антића под насловом

"Утицај избора сцинтилационог кристала на одзив детектора код *PET* уређаја"

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

4.4.2013. године кандидат Војислав Антић је пријавио тему под насловом "Утицај избора сцинтилационог кристала на одзив детектора код *PET* уређаја" за израду докторске дисертације.

9.4.2013. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду на усвајање.

16.4.2013. године Наставно-научно веће на седници број 761 (бр. одлуке 5060/10-1 од 16.4.2013.) именovalo је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Ковиљка Станковић, доцент (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Предраг Маринковић, редовни професор (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Владимир Обрадовић, редовни професор (Универзитет у Београду-Медицински факултет).

11.7.2013. године Наставно-научно веће на седници број 764 (број одлуке 5060/10-2 од 11.7.2013) је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

16.9.2013. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом "Утицај избора сцинтилационог кристала на одзив детектора код *PET* уређаја" (61206-3929/2-13 од 16.9.2013. године) и за ментора је одређена др Ковиљка Станковић, доцент на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 24.06.2014. године. Комисија за студије трећег степена је 01.07.2014. потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

08.07.2014. године Наставно-научно веће на седници број 776 (број одлуке 5060/10-3 од 14.07.2014. године) је именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Ковиљка Станковић, доцент (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Предраг Маринковић, редовни професор (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Владимир Обрадовић, редовни професор (Универзитет у Београду-Медицински факултет), др Оливера Цирај-Бјелац, ванредни професор (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ, редовни професор (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет). Кандидат Војислав Антић је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011 године.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација Војислава Антића припада научној области Техничке науке - Електротехника, ужа научна област Нуклеарне технике. За ментора дисертације одређена је др Ковиљка Станковић, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, чија ужа научна област нуклеарна техника.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Војислав Антић је рођен 08.06.1973. године. Основну школу и Математичку гимназију је завршио је Београду. Дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2003. године на смеру Нуклеарна медицинска техника. Дипломски рад урадио је под менторством проф. Предрага Маринковића из предмета Ситеза снимака у нуклеарној медицини са темом: „Примена магнетне резонанце у медицинској дијагностици“. Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је школске 2010/2011. године на Модулу за нуклеарну, медицинску и еколошку технику и закључно са школском 2011/2012. годином испунио је све обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија.

Војислав Антић је од 2003. године запослен на Клиничком центру Србије, у Центру за нуклеарну медицину, на месту водећег инжењера контроле квалитета нукларно-медицинских уређаја и послова заштите од јонизујућих зрачења. Редован учесник симпозијума и семинара из нуклеарне медицине и радиологије. Члан је државне комисије за заштиту од зрачења, при Агенцији за заштиту од зрачења и нуклеарну сигурност. Поседује лиценцу за послове одговорног лица при спровођењу мера заштите од јонизујућих зрачења у медицини; лиценцу за одржавање опреме и спровођење мера заштите у медицинској примени јонизујућих зрачења; лиценцу за обављање промета радиоактивних материја; “Cisco” sertifikat – CCNA (Cisco Certified Network Associate); сертификат за службеника за јавне набавке; и сертификат за односе са јавношћу и пословну комуникацију.

Током свог досадашњег стручног и научно – истраживачког рада Војислав Антић је објавио, у својству аутора и коаутора, 5 радова у часописима међународног значаја, 4 рада на међународним конференцијама и 6 радова на националним конференцијама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на српском језику, латиничним писмом, и садржи 115 страна, 33 слике и 15 табела. Дисертација је подељена у осам поглавља (1. Увод; 2. Примена јонизујућег зрачења у нуклеарној медицини; 3. Савремене медицинско-дијагностичке дисциплине; 4. Карактеристике сцинтилатора за PET детекцију; Мерне методе; 6. Експериментални поступци; 7. Резултати и дискусија; 8. Закључак), референце и садржи два прилога. Листа референци садржи 142 публикације. У првом прилогу

приказан је нумерички и реални експеримент за процену дебљина структуралних баријера за заштиту од зрачења при инсталацији PET/CT уређаја. У другом прилогу приказана је процена радијационог ризика у два постојећа PET центра у Републици Србији.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дефинисан је предмет и циљ рада, значај истраживања и полазне хипотезе.

У другом поглављу објашњене су примене јонизујућег зрачења у нуклеарној медицини, примене сцинтилационих детектора у нуклеарној медицини и дозиметријске величине које су у употреби у области медицинске физике.

У трећем поглављу обрађени су принципи рада и тенденције развоја савремених медицинско-дијагностичких дисциплина: позитронске емисионе томографије (PET) – уз концепт производног система за производњу PET радиофармака, компјутеризоване томографије (CT) и магнетне резонанце (MR), хибридних PET/CT и PET/MR система, као и протоколи за контролу квалитета PET/CT уређаја.

У четвртном поглављу дефинисане су и објашњене карактеристике сцинтилатора за PET детекцију: описан је механизам сцинтилационог процеса, дат је преглед доминантних PET сцинтилатора који су у комерцијалној примени, објашњен је утицај физичко-хемијских особина сцинтилатора на процес детекције, утицај енергетске резолуције, светлосног приноса, својствене енергетске резолуције сцинтилатора, времена гашења светлосног импулса у сцинтилационом кристалу, време прелета (TOF), Молијеровог радијуса сцинтилационог детектора на одзив PET детектора, као и утицај сцинтилационог кристала на максималну величину аксијалне компоненте области која се снима. На крају овог поглавља дат је преглед PET блок детектора и PET фотомултипликатора који су у комерцијалној употреби.

Експериментални део рада односи се на испитивање карактеристика сцинтилационих кристала које су од интереса у процесу детекције сигнала са PET уређаја. У петом поглављу су описане методе мерења енергетске резолуције, времена гашења светлосног импулса и светлосног приноса, као методологија израчунавања коефицијената атенуације и радијационе дужине за PET сцинтилаторе.

У шестом поглављу приказани су експериментални поступци одређивања енергетске резолуције, времена гашења светлосног импулса, светлосног приноса и рефракционог индекса.

Резултати рада и њихова дискусија, као и њихов збирни утицај на одзив PET детектора, приказани су у седмом поглављу. Дискутоване су тенденције у развоју PET сцинтилатора.

У закључном, осмом поглављу, на основу добијених резултата рада, указује се на правац даљих истраживања PET сцинтилационих кристала са акцентом на њихову практичну примену у PET дијагностици. Дат је збирни приказ осталих техничких аспеката који доприносе развоју позитронско емисионе томографије.

У прилозима дисертације су представљене различите методологије одређивања структуралних баријера за заштиту од зрачења приликом инсталације PET/CT уређаја и могућности за смањивање радијационог излагања професионално изложених лица у PET/CT дијагностичким центрима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Позитронска емисиона томографија (PET) је неинвазивна медицинско-дијагностичка метода која омогућава визуелни приказ и процену дистрибуције позитронских

радиоизотопа у органима и ткивима чиме се добијају информације о биохемијској активности, ћелијском метаболизму и евентуалним патофизиолошким процесима у телу. Радиофармаци, који се користе као извор зрачења у PET техници, садрже краткоживеће β^+ емитере, те механизмом позитронско-електронске анихилације произведени парови гама фотона се детектују коинцидентно путем наспрамно постављених сцинтилационих детектора, дуж линије одзива, чиме се добија основна детекторска информација. Значај ове нуклеарне дијагностичке методе, поред фундаменталног значаја за онкологију, проширује се и на друге гране медицине, због чега се развијају и имплементирају нови детекторски кристали.

Први и још увек стандардни детекторски материјал код PET уређаја је BGO сцинтилатор (бизмут-орто-германат, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$). Испитивања нових материјала детектора су тренутно заснована на лутецијуму (Lu) са церијумом (Ce) као активатором. Постоје две актуелне верзије овог кристала - LSO (лутецијум окси-орто-силикат, $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$) и LYSO (лутецијум-итријум окси-орто-силикат, $\text{Ce}_{2x}(\text{Lu}_{1-y}\text{Y}_y)_{2(1-x)}\text{SiO}_5$).

Тема докторске дисертације је значајна и актуелна, с обзиром да је PET дијагностика изузетно софистицирана нуклеарно-медицинска метода која је ефикаснија и поузданија у односу на остале дијагностичке методе, с обзиром да је, уз примену одговарајућих алгоритама за реконструкцију медицинске слике, могућа визуелизација малигних лезија изузетно малих промера. PET техника је савремена дијагностичка метода, која се тек последњих пет година у Србији примењује у дијагностичке сврхе.

У раду се испитују сцинтилационе карактеристике PET кристала (BGO, LSO и LYSO). На основу извршене компарације испитиваних параметара конвенционалних BGO сцинтилационих детектора према актуелним LSO и LYSO детекторима, у раду се закључује да LSO и LYSO детектори немају потпуну предност у односу на конвенционалне BGO детекторе. У раду се предлаже комбиновање различитих сцинтилатора у вишеслојној структури, који сачињавају један детекторски ансамбл.

У раду је на оригиналан начин разматран утицај избора сцинтилационог кристала на одзив детектора код PET уређаја, при чему су анализирани ефекти избора сцинтилационог кристала на целокупан PET систем, почев од физичко-хемијских особина сцинтилатора, све до ефеката сцинтилатора на реконструкцију медицинске слике и висине пацијентних доза зрачења, па сам тим и на пројектовање структуралних физичких баријера за заштиту од зрачења у PET дијагностичким центрима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је истражио постојећу релевантну литературу и навео референце које су од значаја за тему дисертације. Литература обухвата широк опсег доступних публикација, од фундаменталних до савремених. Литература укључује и публикације на којима је Војислав Антић аутор, а које су директно проистекле из рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру дисертације укључује:

- Проучавање развоја савремених медицинско-дијагностичких дисциплина од комјутеризоване томографије (СТ), нуклеарне-магнетне резонанце (MR) и позитронско емисионе томографије (PET) до хибридних PET/СТ и PET/MR система.
- Проучавање постојећих решења за контролу квалитета хибридних PET/СТ система.
- Проучавање карактеристика сцинтилационих детектора за PET детекцију на бази њихових физичко-хемијских и електричних особина.

- Дефинисање и успостављање мерних метода и експерименталних поступака за одређивање енергетске резолуције, времена гашења светлосног импулса, светлосног приноса и рефракционог индекса сцинтилационих детектора.
- Дефинисање нумеричких поступака за израчунавање коефицијената атенуације, радијационе дужине и рефракционог индекса.
- Анализирање експерименталних резултата са аспекта клиничке примене сцинтилатора у PET/CT системима.
- Анализирање тенденција у развоју PET сцинтилатора.
- Успостављање нумеричког и реалног експерименталног поступка за процену дебљина структурних заштитних баријера при инсталацији PET/CT уређаја.
- Евалуација радијационог ризика за професионално изложена лица у два постојећа PET дијагностичка центра у Србији.

3.4. Применљивост остварених резултата

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Научни доприноси приказани у овирu тезе су следећи:

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Досадашња истраживања показују да је за праксу најважнија предност BGO кристала у односу на лутецијумске кристале значајно већа ефикасност детекције за фотоне енергије 511 keV, који су од интереса за детекцију у PET дијагностици. Имајући у виду последње актуелно комерцијално унапређење BGO кристала, којим је постигнута вредност од 10.2% за енергетску резолуцију, код лутецијумских детектора, који су предмет изучавања у оквиру тезе, боља енергетска резолуција им не даје значајну предност у даљем технолошком развоју у односу на BGO кристале. Испитивања карактеристика детекторских система која су извршена у раду показују да правац даљег развоја детекторских система у PET технологији, са аспекта светлосног приноса, задржавања светлосног импулса, који детерминише временску резолуцију и мртво време, као и енергетску резолуцију, треба да буде усмерен ка комбиновању BGO и лутецијумских кристала у један блок детектор. У раду је предложено димензионисање таквих, комбинованих, детекторских кристала који омогућавају коришћење веће аквизиционе матрице, а самим тим бољу спектралну резолуцију.

Резултат приказан у раду који се односи на поступак за процену дебљина структуралних баријера за заштиту од зрачења при инсталацији PET/CT уређаја је прихваћен у пракси. Решења за минимизацију радијационог ризика за професионално изложена лица у два постојећа PET дијагностичка центра у Србији (Национални PET центар у оквиру Центра за нуклеарну медицину Клиничког центра Србије и регионални PET центар у Институту за онкологију Војводине у Сремској Каменици) успешно су имплементирани у праксу.

Наведени резултати истраживања кандидата су публиковани у часописима и саопштени на националним и међународним конференцијама.

4.3. Верификација научних доприноса

Током свог досадашњег стручног и научно – истраживачког рада Војислав Антић је објавио, у својству аутора и коаутора, 5 радова у часописима међународног значаја, 4 рада на међународним конференцијама и 6 радова на националним конференцијама, од чега су из уже области дисертације: 4 рада из категорије M22, 2 рада из категорије M33, 2 рада из категорије M34 и 5 радова из категорије M63.

Категорија M22

- [1] **V. Antić**, K. Stanković, M. Vujisić, P. Osmokrović, Comparison of various methods for designing the shielding from ionizing radiation at PET—CT instalations, *Radiation protection dosimetry*, Vol. 154, No. 2, pp. 245-249, 2013, (IF₂₀₁₃: 0.861), (ISSN 0144-8420), doi: 10.1093/rpd/ncs173.
- [2] **V. Antić**, O.Ciraj-Bjelac, M. Rehrani, S. Aleksandrić, D. Arandić, M. Ostojić, Eye lens dosimetry in interventional cardiology: results of staff dose measurments and link to patient dose levels, *Radiation protection dosimetry*, Vol. 154, No. 2, pp. 245-249, 2013, (IF₂₀₁₃: 0.861), (ISSN 0144-8420), doi: 10.1093/rpd/ncs236.
- [3] **V. Antić**, K. Stanković, M. Vujisić, P. Osmokrović, Influence of the scintilation crystal option on the detection information of PET devices, *Nuclear technology and radiation protection*, Vol. 29, No. 1, pp. 40-45, 2014, (IF₂₀₁₂: 1.000), (ISSN 1451-3994), doi::10.2298/ntrp1401040A.
- [4] **V. Antić**, O.Ciraj-Bjelac, J. Stanković, D. Arandić, N. Tomašević, S.Lučić, Radiation exposure to nuclear medical staff involved in PET, *Radiation protection dosimetry* (2014), (IF₂₀₁₃: 0.861), (ISSN 0144-8420), doi: 10.1093/rpd/ncu001.
- [5] M. M. Janković, B. Pijetlović, A. Koljević, Marković, M. V. Todorović-Tirnanić, S. Lj. Beatović, **V. Antić**, S. Odalović, S. Sekulić, N. Jorgovanović, D. B. Popović,

GammaKey system for improved diagnostics with gamma cameras, *Computers in Biology and Medicine* Vol. 50, pp. 97-106, (IF₂₀₁₃: 1.475), (ISSN 0010-4825) doi: 10.1016/j.combiomed.2014.04.016, 2014.

Kategorija M33

- [1] **V. Antic**, O. Ciraj-Bjelac, S. Aleksandrić, M. Ostojić, Results of eye lens dose measurements for interventional cardiology staff, World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering; Beijing; China; 26 - 31 May 2012, IFMBE Proceedings, Vol. 39, pp. 1139-1141, ISBN 978-364229304-7
- [2] **V. Antic**, O. Ciraj-Bjelac, M. Drljević, Radiation risk for the eyes of the staff during the interventional radiology procedures, 9th International Conference Risk and Safety Engineering, Kopaonik, Serbia, February 1-8, 2014, Proceedings pp. 1-6, ISBN 978-86-6211-091-6

Kategorija M34

- [1] **V. Antic**, O. Ciraj-Bjelac, J. Stankovic, D. Arandjic, Radiation exposure of patients from PET/CT procedures using 18F-FDG, 2nd Balkan Congress of Nuclear Medicine, Belgrade, Serbia, May 8-12, 2013, Abstract Book pp. 116, ISBN 978-86-7117-375-9.
- [2] Beatovic S., Jaksic E., Dragas M., Marinkovic J., Rebic R., **Antic V.**, Blagic M., Obradovic V. Deconvolution analysis of angiotensin converting enzyme inhibitors enhanced ^{99m}Tc-MAG3 renography: the role of parenchymal transit time, 2nd Balkan Congress of Nuclear Medicine, Belgrade, Serbia, May 8-12, 2013., Abstract Book 156, ISBN 978-86-7117-375-9.

Kategorija M63

- [1] O. Ciraj-Bjelac, **V. Antic**, D. Arandjic, P. Bozovic, Influence of ceiling suspended screen positioning to the scatter radiation levels in interventional cardiology, 9th Symposium of the Croatian Radiation Protection Association, pp. 283-288, April 10-12, 2013, ISBN 978-953-96133-8-7.
- [2] **V. Antic**, O. Ciraj-Bjelac, D. Arandjic, J. Stankovic, N. Todorovic, S. Lucic, Radiation exposure to nuclear medicine staff involved in PET/CT practice in Serbia, XXVII Symposium of the Serbian and the Montenegrin Radiation Protection Society, Vrnjacka Banja, Serbia, October 2-4, 2013, pp. 226-229, ISBN 978-96-7306-115-3.
- [3] D. Arandjic, O. Ciraj-Bjelac, P. Božović, **V. Antić**, J. Stanković, Influence of magnification of scattered dose level around patient in interventional radiology, XXVII Symposium of the Serbian and the Montenegrin Radiation Protection Society, Vrnjacka Banja, Serbia, October 2-4, 2013, pp. 189-192, ISBN 978-96-7306-115-3.
- [4] J. Stankovic, J. Kaljevic, O. Ciraj-Bjelac, D. Arandjic, P. Bozovic, **V. Antic**, Occupational doses in interventional cardiology, 58. konferencija za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN, 2-5 Jun, Vrnjacka Banja, Srbija, 2014, u štampi.
- [5] M. M. Janković, M. Petrovic, **V. Antić**, GammaKey system validation, 58. konferencija za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN, 2-5 Jun, Vrnjacka Banja, Srbija, 2014, u štampi.
- [6] **V. Antic**, Quality management audits in nuclear medicine practice, 2nd Serbian Symposium on Hybrid Imaging and Molecular Therapy (with International Participation), Novi Sad, Serbia, 2014, u štampi.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

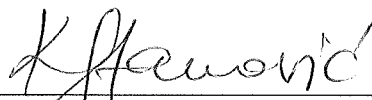
Комисија констатује да на основу претходног школовања и публикованих резултата **Војислав Антић** испуњава услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду-Електротехничког факултета.

Докторска дисертација представља научни допринос у области нуклеарне медицинске технике. Дисертација показује десетогодишње стеченог стручно искуство кандидата у области нуклеарне медицинске технике. Спроведена истраживања Војислава Антића указују на способност кандидата да инжењерска знања имплементира у област дијагностичких грана медицинских наука.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Електротехничког факултета у Београду, да се докторска дисертација под називом **"Утицај избора сцинтилационог кристала на одзив детектора код PET уређаја"** кандидата Војислава Антића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и одобри јавна усмена одбрана.

Београд, 14. новембар 2014.

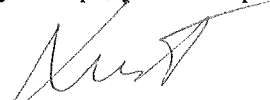
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Ковиљка Станковић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Владимир Обрадовић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Медицински факултет



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



др Дејан Б. Поповић, редовни професор, дописни члан САНУ
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет