

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Vojislava Antića, dipl. el. inž. za izradu doktorske disertacije

Odlukom 5060/10-1 br. od 16.04.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Vojislava Antića, dipl. el. inž. za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme **Uticaj izbora scintilacionog kristala na odziv detektora kod PET uređaja**.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

I Z V E Š T A J

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Vojislav Antić je rođen 08.06.1973. godine. Osnovnu školu i Matematičku gimnaziju je završio u Beogradu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu 2003. godine. Vojislav Antić je zaposlen na Kliničkom centru Srbije, u Centru za nuklearnu medicinu, od 2003. godine do sada, na poziciji rukovodioca kontrole kvaliteta nuklearno-medicinskih uređaja i poslova zaštite od jonizujućih zračenja. Redovan učesnik simpozijuma i seminara iz nuklearne medicine i radiologije, kao povremeni predavač. Član je državne komisije za zaštitu od zračenja, pri Agenciji za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost. Posедуje sledeće licence: licenca za poslove odgovornog lica pri sprovođenju mera zaštite od jonizujućih zračenja u medicini; licenca za održavanje opreme i sprovođenje mera zaštite u medicinskoj primeni jonizujućih zračenja; licenca za obavljanje prometa radioaktivnih materija; "Cisco" sertifikat – CCNA (Cisco Certified Network Associate); sertifikat za službenika za javne nabavke; sertifikat za odnose sa javnošću i poslovnu komunikaciju.

Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu upisao je školske 2010/2011. godine na Modulu za nuklearnu, medicinsku i ekološku tehniku i zaključno sa školskom 2011/2012. godinom ispunio je sve obaveze predviđene planom i programom doktorskih studija, a 09.04.2013. godine podneo je zahtev za odobrenje disertacije.

Poseduje aktivno znanje engleskog i ruskog jezika.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu upisao je školske 2010/2011. godine na Modulu za nuklearnu, medicinsku i ekološku tehniku i zaključno sa školskom 2011/2012. godinom ispunio je sve obaveze predviđene planom i programom doktorskih studija.

Tokom doktorskih studija položio je sledeće predmete:

R.br.	Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1	Engleski jezik	8	6
2	Radijaciona i elektromagnetna kompatibilnost elektrotehničkih komponenti i uređaja	10	9
3	Kompleksni fenomeni u fizici plazme	10	9
4	Matematičko modelovanje fizičko-tehničkih procesa	10	9
5	Numerička simulacija radijacionih i nuklearnih reaktora	10	9
6	Dozimetrija, zaštita od zračenja i nuklearni otpad	10	9
7	Odbrana poglavlja iz nuklearne fizike	10	9
8	Merne metode u nuklearnoj, medicinskoj i ekološkoj tehnici	10	9
9	Prostiranje optičkih talasa u kompleksnim sredinama	10	9
10	Merenje jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja	10	9

kao i sledeće obaveze:

R.br.	Tip obaveze	ESPB
1	Studijski istraživački rad I	15
2	Studijski istraživački rad II	15
3	Naučno stručni rad	3

Tokom dosadašnjeg naučnoistraživačkog rada Vojislav Antić je objavio sledeće radove:

- [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* (2013), Vol. 154, No. 2, pp. 245-249, [ISSN 0144-8420], [IF: 0.909] **M22**.
- [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* (2012) doi:10.1093/rpd/ncs236, [ISSN 0144-8420], [IF: 0.909] **M22**.
- [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*, [ISSN 1451-3994] [IF: 1.156] **M22**, accepted for publication.
- [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*, [ISSN 0144-8420], [IF: 0.909] **M22**, accepted for publication.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu objavljenih naučnih radova i stručne biografije vidi se kontinuitet istraživačkog i stručnog rada Vojislava Antića, dipl. el. inž. u oblastima nuklearne tehnike, nuklearne-medicinske tehnike, dozimetrije i zaštite od zračenja. Publikacije objavljene u međunarodnim časopisima sa *SCI* liste ukazuju da se kandidat bavi istraživanjem u oblasti nuklearne tehnike i dozimetrije i zaštite od zračenja kojima pripada predložena tema doktorske disertacije **Uticaj izbora scintilacionog kristala na odziv detektora kod PET uređaja**, pa na osnovu toga Komisija ocenjuje da se radi o mladom naučnom radniku koji će uspešno i u roku realizovati ciljeve koji su postavljeni u prijavi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Pozitronsko emisiona tomografija (PET - Positron Emission Tomography) je tehnologija koja pruža jedinstvene i izuzetne mogućnosti u domenu nuklearne medicinske tehnike, tačnije u funkcionalnoj medicinskoj dijagnostici, u smislu da se pomoću do sada najefikasnije i najpouzdanije metode dolazi do informacije o metaboličkim procesima, određivanjem tačne lokalizacije i vršenjem semikvantitativne procene distribucije radioaktivne supstance u tkivu. Radiofarmaci, koji se koriste kao izvor zračenja u PET tehnici, sadrže kratkoživeće β^+ emitere čija energija usled Kulonovih interakcija opada, sa inicijalnih energija (koje su u opsegu od 0.63 MeV (^{18}F) do 3.35 MeV (^{82}Rb)) na 511 keV, kada pozitroni „zahvataju” elektrone i mehanizmom pozitronsko-elektronske anihilacije proizvedeni parovi gama fotona se rasejavaju pod uglom od 180° (tačnije $180^\circ \pm 0.5^\circ$, zbog rezidualnog momenta pozitrona). Koincidentna detekcija ovih fotona, u zadatom vremenskom intervalu, putem naspramno postavljenih scintilacionih detektora, duž linije odziva (LOR – line of response), predstavlja osnovnu detektorsku informaciju. Aktuelni detektorski sistemi su konceptualno sastavljeni od 140-300 blokovskih celina, sa preko trideset hiljada individualnih kristala, konstruisanih u prstenastoj geometriji. U zadatim vremenskim intervalima prikupljaju se informacije iz regije od interesa (ROI), koja se nalazi u „vidnom polju“ detektora (tzv. „field of view“ (FOV)). Sa više stotina miliona bazičnih podataka rekonstruiše se distribucija radioaktivnosti u tkivu. Pored pravih koincidentnih događaja, usled različitih mehanizama interakcije zračenja sa materijalom, javljaju se i neželjeni događaji: rasejanje (kada se jedan ili oba anihilirana γ -fotona raseju pre nego što se detekuju) i slučajni događaji (kada se dva fotona nastala iz dva različita događaja detektuju u koincidentnom vremenu) koje treba u što većoj meri neutralisati. Sa druge strane, neophodno je smanjiti posledice nesavršenosti samih detektorskih kristala i njihove geometrije, u cilju postizanja što veće efikasnosti detekcije.

Kao detektor kod PET uređaja koristi se BGO kristal (bizmut-orto-germanat, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), koji se pojavio još ranih 70-tih, i koji ima odličan odziv u delu energetskog spektra koji pripada PET emiterima. Značaj ove nuklearne dijagnostičke metode forsira tehnološki progres, zbog čega se razvijaju i implementiraju novi detektorski kristali. Ispitivanja novih materijala, na putu ka „idealnom” scintilatoru, su trenutno zasnovana na lutecijumu (Lu) sa cerijumom (Ce) kao aktivatorom. Postoje dve aktuelne verzije ovog kristala - LSO (lutecijum oksido-orto-silikat, $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$) i LYSO (lutecijum-itrijum oksido-orto-silikat, $\text{Lu}_{0.6}\text{Y}_{1.4}\text{SiO}_5:\text{Ce}$).

Cilj rada je da se izvrši uporedno ispitivanje performansi kristala na bazi lutecijuma (LSO i LYSO) sa karakteristikama BGO scintilatora, polazeći od glavnih aspekata koji utiču na kvalitet formiranja medicinske slike: prostorna i energerska rezolucija, parametri odziva detektorskog sistema i algoritam rekonstrukcije, sa posebnim akcentom na konkretne fizičke i radne uslove pod kojima se vrši medicinska procedura, kao i na eksplicitan uticaj na rezultujuću detektorsku informaciju, koja primarno određuje pravac daljeg razvoja scintilacionih detektora u PET tehnologiji.

Ispitivanja koja će biti izvršena u predloženoj doktorskoj disertaciji biće nastavak već publikovanih naučnih rezultata:

- [1] Chang T. et. al., Effects of Injected Dose, BMI and Scanner Type on NECR and Image Noise in PET imaging, *Physic in Medicine and Biology* 56 (2011) 5275–5285 [ISSN 0031-9155], [IF: 3.57], M21
- [2] Humm J. L., Rosenfeld A., Del Guerra A., From PET detectors to PET scanners, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 30 (2003), 11, 1574–1597, [ISSN 1619-7070], [IF: 3.935], M21
- [3] Liu H., Hangzhou Z., Shi P., Performance Results of BGO Block Detectors Based on Flat Panel PS-PMT for PET, *IEEE Trans Nucl Sci*, 54 (2007) 4, 1298 – 1301, [ISSN 0018-9499], [IF: 1.497], M21
- [4] Foudray A. M. K., Habte F., Levin C. S., Olcott P. D., Positioning Annihilation Photon Interactions in a Thin LSO Crystal Sheet With a Position-Sensitive Avalanche Photodiode, *IEEE Trans Nuclear Science* 53 (2006) 5, 2549-2556 [ISSN 0018-9499], [IF: 1.497], M21

- [5] Boellaard R. et. al., FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 37 (2010), 1, 181–200 [ISSN 1619-7070], [IF: 5.036], M21
- [6] Moses W. W. et. al. Design of a High-Resolution, High-Sensitivity PET Camera for Human Brains and Small Animals, *IEEE Trans Nuclear Science* NS-44 (1997), 1487–1491, [ISSN 0018-9499], [IF: 1.219], M21
- [7] Bailey D. L., Jones T., Spinks T. J., A method for measuring the absolute sensitivity of positron emission tomographic scanners, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 18 (1991), 6, 374–379 [ISSN 1619-7070], [IF: 3.568], M21
- [8] Scheuermann J. S., Saffer J. R., Karp J. S., Levering A. M., Siegel B. A., Qualification of PET Scanners for Use in Multicenter Cancer Clinical Trials, *Journal of Nuclear Medicine* 50 (2009), 7, 1187–1193 [ISSN 0161-5505], [IF: 7.022] M21
- [9] Karp J. S., Surti S., Daube-Witherspoon M. E., Muehllehner G., Benefit of Time-of-Flight in PET: Experimental and Clinical Results, *Journal of Nuclear Medicine* 49 (2008) 3 462-470 [ISSN 0161-5505], [IF: 6.662]
- [10] Etard C., Celier D., Roch P., Aubert B., National Survey of Patient Doses from Whole-body FDG PET/CT Examinations in France in 2011, *Radiation Protection Dosimetry* 152 (2012), 4, 334-338, [ISSN: 0144-8420], [IF: 0.909], M22
- [11] Lois C. et. al., An Assessment of the Impact of Incorporating Time-of-Flight Information into Clinical PET/CT Imaging, *Journal of Nuclear Medicine* 51 (2010) 237-245 [ISSN 0161-5505], [IF: 7.022] M21
- [12] Wierst R. et. al., Influence of High-Definition and Time-of-Flight Reconstruction Techniques on Recovery Coefficients of PET Images, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 37 (Suppl. 2) (2010) S335, [ISSN 1619-7070], [IF: 5.036], M21
- [13] Adams M. C. et. al., A Systematic Review of the Factors Affecting Accuracy of SUV Measurements, *American Journal of Roentgenology* 195 (2010) 2 310-320, [ISSN: 0361-803X], [IF: 2.797], M21
- [14] Lewellen T. K., The Challenge of Detector Designs for PET, *Nuclear Medicine and Molecular Imaging American Journal of Roentgenology* 195 (2010), 2, 301-309 [ISSN 1619-7070], [IF: 5.036], M21
- [15] Del Guerra A. et. al., Silicon Photomultipliers (SiPM) as novel photodetectors for PET, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 648 (2011) 232–S235 [ISSN: 0168-9002], [IF: 1.207], M22

3. Polazne hipoteze

Polazeći od poznatih karakteristika BGO (bizmut-orto-germanat, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) scintilacionog kristala koji se konvencionalno koristi kao detektor kod PET uređaja, u radu će biti ispitani sledeći parametri LSO i LYSO scintilacionih kristala: osetljivost, svetlosni prinos, sopstvena rezolucija, spektralna prostorna i vremenska rezolucija i scintilaciono vreme raspada nastalog kvanta zračenja, zatim analiza Molijerovog radijusa, refrakcionog indeksa optičkog medijuma i fizičkog aksijalnog vidnog polja koji je direktno zavisao od upotrebljenog kristala. Na osnovu ovih parametara, kao i ostalih već poznatih fizičkih osobina, biće izvršena komparativna analiza karakteristika BGO, LSO i LYSO scintilacionih kristala i na osnovu toga će biti moguće odrediti eksplicitan uticaj izbora scintilacionog kristala na rezultujući odziv detektorskog sistema, koji primarno određuje pravac daljeg razvoja scintilacionih detektora u PET tehnologiji. Ispitivanja koja će biti izvršena u radu predstavljaju nadogradnju na već publikovane naučne i stručne rezultate u međunarodnim okvirima.

4. Naučne metode istraživanja

U cilju ispitivanja karakteristika scintilacionih detektorskih kristala koji imaju primenu u PET uređajima (BGO, LSO i LYSO) biće izvršena eksperimentalna merenja i kvalitativna analiza parametara: osetljivost, svetlosni prinos, sopstvena rezolucija, spektralna prostorna i vremenska rezolucija i scintilaciono vreme raspada nastalog kvanta zračenja, zatim analiza Molijerovog radijusa, refrakcionog indeksa optičkog medijuma i fizičkog aksijalnog vidnog polja koje je direktno zavisno od upotrebljenog kristala.

Pored toga, biće izvršen numerički i realni eksperiment za procenu debljine strukturalnih zaštitnih barijera na PET instalaciji, kao i procena radijacionog rizika u okviru dva postojeća PET centra u Srbiji, na osnovu rezultata dozimetrijskih merenja.

5. Očekivani naučni doprinos

Dosadašnja istraživanja pokazuju da je za praksu najvažnija prednost BGO kristala u odnosu na lutecijumske kristale značajno veća efikasnost detekcije za fotone od 511 keV. Pretpostavlja se da će ispitivanja koja će biti izvršena u radu pokazati pravac daljeg razvoja detektorskih sistema u PET tehnologiji zasnovanih na BGO i lutecijumskim kristalima, sa aspekta svetlosnog prinosa, zadržavanja svetlosnog impulsa, koji determiniše vremensku rezoluciju i mrtvo vreme, kao i energetska rezoluciju. Imajući u vidu poslednje aktuelno komercijalno unapređenje BGO kristala, kojim je postignuta vrednost od 10.2% za energetska rezoluciju, kod lutecijumskih detektora veća energetska rezolucija ne bi trebalo da značajnu prednost u daljem tehnološkom razvoju u odnosu na BGO kristale. Naime, jedan od izotopa lutecijuma je prirodno radioaktivan (^{176}Lu (2,6%)) a pri raspadu se emituju β^- i γ zraci energija od 88 do 400 keV, pa se pretpostavlja da ova osobina lutecijumskih kristala utiče na brzinu nuklearnog brojanja prisutnu u merenjima specifičnih procedura kontrole kvaliteta, kada se koriste Ge-68 fantomi aktivnosti reda 5 kBq. Bez obzira na nisku koncentraciju, imajući u vidu izuzetno dugo vreme poluraspada od $(3.56 \pm 0.07) \times 10^{10}$ godina radioaktivnog izotopa ^{176}Lu , nakon zamene detektorskog bloka, odnosno prestanka eksploatacije uređaja sa lutecijumskim kristalima, neophodno je izvršiti odgovarajuće odlaganje detektorskog sistema, kao radioaktivnog otpada. Takav problem ne postoji kod BGO kristala.

Uparenost svih analiziranih parametara, kao i dimenzionisanje detektorskih kristala koji omogućavaju korišćenje veće akvizicione matrice, a samim tim bolju spektralnu rezoluciju, daje doprinos daljem razvoju detektorskih kristala instalisanih u PET uređaje, uporedo sa razvojem geometrije detektorskih blokova i aktuelnim istraživanjima o kombinovanju različitih scintilacionih kristala u jedan blok detektor.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Doktorska disertacija kandidata Vojislava Antića sa predloženom temom **Uticaj izbora scintilacionog kristala na odziv detektora kod PET uređaja** sadržaće teorijska razmatranja, eksperimentalni deo rada, u okviru koga će biti vršeni i realni i numerički eksperimenti, diskusiju dobijenih rezultata i zaključna razmatranja. U okviru teorijskog dela rada biće prikazane fizičke osnove interakcije zračenja sa materijalom koje su od interesa u oblasti nuklearne medicinske tehnike, zatim koncept proizvodnog sistema za proizvodnju radiofarmaka koji se koriste u PET tehnologiji, kao i razvoj hibridne PET/CT tehnologije u poslednjih deset godina, zajedno sa međunarodnim preporukama o kontroli kvaliteta ovih uređaja. U okviru eksperimentalnog dela rada biće vršena ispitivanja sledećih parametara: osetljivost, sopstvena rezolucija, spektralna prostorna i vremenska rezolucija i scintilaciono vreme raspada nastalog kvanta zračenja, uticaj veličine kristala na svetlosni prinos i vreme preleta, zatim analiza Molijerovog radijusa, refrakcionog indeksa optičkog medijuma i fizičkog aksijalnog vidnog polja koje je direktno zavisno od upotrebljenog kristala. Na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka biće izvršena komparacija performansi kristala na bazi lutecijuma (LSO i LYSO) i karakteristikama BGO scintilatora i ispitan njihov uticaj na odziv detektora kod PET uređaja. Očekuje se da će uparenost svih analiziranih parametara, kao i dimenzionisanje detektorskih kristala koji omogućavaju korišćenje veće akvizicione matrice, a samim tim bolju spektralnu rezoluciju, dati doprinos daljem razvoju detektorskih kristala instalisanih u PET uređaje, uporedo sa razvojem geometrije detektorskih blokova i aktuelnim istraživanjima o kombinovanju različitih scintilacionih kristala u jedan blok detektor.

Pored toga, u prilogu disertacije, biće prikazan numerički i realni eksperiment za procenu debljina strukturalnih zaštitnih barijera na PET instalaciji, kao i procena radijacionog rizika u okviru dva postojeća PET centra u Srbiji, na osnovu rezultata dozimetrijskih merenja.

7. Zaključak i predlog

Vojislav Antić, diplomirani inženjer elektrotehnike, prijavio je svoju doktorsku disertaciju pod naslovom **Uticaj izbora scintilacionog kristala na odziv detektora kod PET uređaja** u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, podnevši na uvid sva, pomenutim pravilnikom, predviđena dokumenta. Na osnovu podnesenih dokumenata konstatovano je da je Vojislav Antić diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu upisao je školske 2010/2011. godine na Modulu za nuklearnu, medicinsku i ekološku tehniku i zaključno sa školskom 2011/2012. godinom ispunio je sve obaveze predviđene planom i programom doktorskih studija. Ne postoje nikakve zakonske smetnje da prijavi doktorsku disertaciju. Iz dostavljene dokumentacije, koja uključuje i bibliografiju do sada objavljenih naučnih i stručnih radova Vojislav Antić, može se zaključiti da se radi o uspešnom mladom naučnom radniku od kojeg se očekuje da će ciljeve postavljene u prijavi svoje disertacije uspešno realizovati u roku koji je predviđen zakonom.

Na osnovu obrazloženja predmeta i cilja istraživanja, polaznih hipoteza istraživanja, očekivanih naučnih doprinosa i plana istraživanja, može da se zaključi da tema prijavljene doktorske disertacije pod naslovom **Uticaj izbora scintilacionog kristala na odziv detektora kod PET uređaja** omogućava da se u okviru nje ostvare značajni naučni i stručni doprinosi iz oblasti nuklearne tehnike, nuklearne medicinske tehnike i dozimetrije i zaštite od zračenja. Predloženi mentor, doc. dr Koviljka Stanković, ima veći broj naučnih radova iz oblasti kojoj pripada prijavljena doktorska disertacija kandidata Vojislava Antića, te u tom smislu smatramo da je kompetentna da obavlja funkciju mentora ove disertacije. Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću da odobri izradu doktorske disertacije kandidata Vojislava Antića pod naslovom **Uticaj izbora scintilacionog kristala na odziv detektora kod PET uređaja**, pod mentorstvom doc. dr Koviljke Stanković.

U Beogradu,
15.06.2013. godine

ČLANOVI KOMISIJE

Doc. dr Koviljka Stanković
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Prof. dr Predrag Marinković
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Prof. dr Vladimir Obradović
Univerzitet u Beogradu – Medicinski fakultet