

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На деветој седници Наставно научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 26. јуна 2019. године одређени смо да будемо чланови комисије за преглед и оцену докторске дисертације под називом: “Зависност дистрибуције радионуклида U– и Th–серије, ^{40}K и ^{137}Cs од физичко–хемијских особина земљишта у систему земљиште–биљка”, из научне области Примењена физика, коју је Физичком факултету у Београду предала кандидат Ивана Вукашиновић, дипломирани физичар дана 21. Јуна 2019. године. На основу ове одлуке подносимо следећи

РЕФЕРАТ

1 Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Ивана Вукашиновић рођена је 9.9.1969. године у Београду где је завршила основну школу и гимназију. Основне студије уписала је на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Општа физика и дипломирала 1998. године са просечном оценом 8,20. Дипломски рад под називом „Одређивање изотопског састава урана методом спектрометрије гама–зрачења“ одбранила је са оценом 10.

Магистарске студије завршила је 2010. године на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Метрологија, одбранивши тезу „Зависност ефикасности Ge детектора од густине узорака у спектрометрији гама зрачења” пред комисијом у саставу проф. др Иван Аничин, проф. др Љубиша Зековић и др Драгана Тодоровић, ментор.

Тренутно је студент треће године докторских студија, студијска група Примењена физика, које је уписала на Физичком факултету Универзитета у Београду 2016/2017. године. На докторским студијама признати су испити са магистарских студија које је положила са просечном оценом 9,83.

Кандидат је пријавила и одбранила тему доктората пред Колегијумом докторских студија Физичког факултета 16. Маја 2018. године. На седници Наставно научног већа одржаној 30. Маја 2018. године одобрена је израда тезе и за ментора је изабрана др Драгана Тодоровић, научни саветник ИНН „Винча“.

Од 1999. године кандидат Ивана Вукашиновић је запослена на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду као приправник за стручно оспособљавање за предмет Физика, где изводи рачунске и лабораторијске вежбе. На Пољопривредном факултету Универзитета у Београду изабрана је 1.7.2004. године у звање асистент-приправник, а затим 27.10.2011. године и у звање асистента за ужу научну област Физика. Од новембра 2017. запослена је као стручни сарадник без сарадничког звања на истом факултету.

Почев од 2014. године, након стеченог сертификата JEOL о завршеној обуци за рад на електронском микроскопу, учествује и у раду Лабораторије за електронску микроскопију Пољопривредног факултета. Лабораторија је опремљена скенирајућим (JEOL JSM-6390) и трансмисионим (JEOL JEM-1400) електронским микроскопом.

1.2 Научна активност

Кандидат се у својим радовима бави темама које припадају области заштите животне средине од јонизујућег зрачења. Истраживања је изводила у Институту за нуклеарне науке „Винча“ у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине и на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду.

Од 2011. учествовала је на пројекту под називом „Истраживање климатских промена на животну средину–праћење утицаја, адаптација и ублажавање“ (ИИИ 43007) које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Као први аутор, Ивана Вукашиновић је објавила 5 радова на SCI листи категорија M22 (3) и M23 (2). Објавила је радове других категорија M51 (2), M52 (1), M33 (2), M63 (1), као и поглавље у монографији националног значаја M45 (1). Као коаутор објавила је радове категорија M21 (1), M28 (1), M34 (4). У бази података *Scopus* радови кандидата цитирани су 24 пута.

2 Опис предатог рада

2.1 Основни подаци

Ова докторска дисертација урађена је под руководством др Драгане Тодоровић, научног саветника Института за нуклеарне науке „Винча“ у Београду. У области заштите животне средине од јонизујућег зрачења Др Драгана Тодоровић има дугогодишње искуство, као и у примени метода мерења које су коришћене приликом израде ове дисертације. Значајан допринос изради тезе и публикацијама дали су чланови Лабораторије за заштиту од зрачења и заштиту животне средине др Јелена Крнета Николић и др Милица Рајачић. У експерименталном раду учествовали су и чланови Катедре за педологију и геологију Пољопривредног факултета у Београду.

Дисертација садржи 160 страна почев од Увода и искључујући насловне стране, садржај, литературу и биографију. Текст садржи 36 слика, 35 табела и 111 референци. Теза својом тематиком и методама припада научној области Примењена физика.

2.2 Предмет и циљ рада

Тема ове докторске дисертације припада широј области истраживања Примењена физика, а у ужем смислу тема обједињује подобласти Заштите животне средине од јонизујућих зрачења и Метрологије јонизујућих зрачења.

Природно радиоактивно зрачење (основно зрачење или фон) потиче од радиоактивних елемената терестријалног и космогеног порекла. Више од 80% укупне годишње дозе јонизујућег зрачења којој је изложено становништво потиче из природних извора, а више од 50% те вредности потиче из земљишта. Према томе је са становишта заштите животне средине од јонизујућих зрачења од велике важности изложеност терестријалним радионуклидима члановима три радиоактивна низа чији су родоначелници ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th заједно са распрострањеним изотопом ^{40}K .

Познато је да концентрације терестијалних радионуклида зависе од природе стена односно композиције минерала које су учествовале у генези датог земљишта. Као саставни делови компонената земљишта или земљишних

раствора радионуклиди учествују у биогеохемијским процесима при чему на њихову дистрибуцију у земљишту утичу механизми миграције и ретенције који у одређеној мери доводе до варијабилности концентрација активности.

Међутим, изложеност природним радионуклидима под називом NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) последњих се деценија постепено мањала захваљујући технолошким процесима који имају за последицу додатну редистрибуцију њихових концентрација у животној средини. С обзиром да је у радиоеколошком смислу земљиште главни извор терестијалних радионуклида онда ће земљишна структура и композиција, односно физичко-хемијске особине које земљиште карактеришу играти главну улогу у контроли потенцијалне покретљивости, а тиме и доступности радионуклида биолошким системима.

Циљ овог истраживања је да се на основу анализе узорака из животне средине (земљишта и биљака) добију сазнања о потенцијалној редистрибуцији природних радионуклида терестијалног порекла (^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K) и произведеног ^{137}Cs која је последица различитих антропогених активности, а затим процени могућност описивања варијација њихових концентрација активности физичко-хемијским особинама које то земљиште карактеришу.

У ту сврху су коришћене експерименталне методе истраживања које су обухватиле методе сакупљања узорака и методе лабораторијских мерења које су се односиле на мерење концентрација активности радионуклида и одређивање физичко-хемијских својстава земљишта.

Овакво експериментално истраживање доприноси новом увиду у понашање значајних радионуклида у животној средини која је била изложена антропогеном дејству у дужем временском периоду, а резултати истраживања могу бити од користи у студијама које се баве проценама радијационог ризика коме је изложено становништво и живи свет.

2.3 Публикације

У овој докторској тези представљени су резултати који су објављени у пет радова у међународним часописима [А1, А2, А4, А5, А6]. Радови [А1, А2] су објављени у категорији М22 и имају импакт фактор већи од 1. Радови [А4, А5] су категорије М23 и рад [А6] категорије М22. Резултати су презентовани у оквиру три постера на две међународне [В1, В3] и једној националној конференцији [Г1]. Објављен је и један рад [Б1] категорије М45 (рад у тематском зборнику националног значаја). На свим горе поменутих радовима Ивана Вукашиновић је први аутор.

2.4 Преглед научних резултата изложених у тези

Текст докторске дисертације је подељен на пет глава, од који прво поглавље представља Увод.

У другом поглављу изложена су најважнија сазнања о пореклу природне радиоактивности у животној средини, а затим је представљен теоријски увод везан за детекцију гама зрачења и начину рада и калибрације детектора гама зрачења. Детаљније је описан метод гама-спектрометрије који се примењује када се ради о узорцима из животне средине ниског нивоа гама зрачења. Дат је кратак преглед понашања природних радионуклида и произведеног ^{137}Cs у земљишном окружењу.

У трећем поглављу наведене су експерименталне методе истраживања које су обухватиле методе сакупљања и припреме узорака, методе калибрације

детектора у циљу гамаспектрометријског мерења концентрација активности испитиваних радионуклида. Укратко су представљене и методе одређивања основних физичко–хемијских својстава земљишта. Такође, дат је осврт на статистичке методе које су примењене у циљу анализе резултата мерења.

У првом делу четвртог поглавља, а у засебним подпоглављима, представљени су резултати анализе утицаја сваког појединачног антропогеног извора на дистрибуцију радионуклида у земљишту. Затим су анализом обухваћени сви испитивани узорци земљишта и предложени модели којима се дистрибуције испитиваних радионуклида у земљишту могу предвиђати на основу физичко–хемијских особина земљишта.

У другом делу четвртог поглавља представљени су резултати анализе концентрација активности радионуклида измерених у узорцима биљног материјала и вредности њихових трансфер фактора из земљишта у биљке.

Закључци ове докторске тезе представљени су 5. поглављу.

2.4.1 Експериментални подаци и методе

Истраживање је реализовано на локацијама које су претходно биле изложене антропогеном дејству које представља извор потенцијалне модификације основног зрачења и прерасподеле природних радионуклида како у земљишту тако и у ткивима биљних врста. Изабрана су три таква извора: а) земљиште третирано фосфатним ђубривима, б) урбано земљиште, в) земљиште у непосредној близини термоелектрана на фосилна горива на којима је узорковање извршено.

Концентрације активности испитиваних радионуклида који потичу из животне средине одређени су полупроводничким коаксијалним HPGe детекторима високе резолуције применом методе спектрометрије гама зрачења. За испитивање физичко-хемијских својстава земљишта (гранулометријски састав, рН реакција, садржај органске материје и садржај калцијум-карбоната) коришћене су стандардне лабораторијске методе.

У циљу одређивања активности узорковане су и две врсте биљног материјала: а) узорци лишћа листопадног дрвећа (врсте *Aesculus hippocastanum* и *Tilia* spp.) у сезонама пролеће, лето, јесен и б) узорци самоникле вегетације (траве и лековите траве) сакупљене у близини термоелектрана на угаљ у сезони јесен, на крају вегетационог периода.

2.4.2 Анализа појединачних група података

Првобитно је утицај сваког антропогеног извора на дистрибуцију радионуклида у земљишту анализиран појединачно. Резултати анализе показали су неке сличности и разлике у описивању дистрибуција концентрација активности природних радионуклида физичко–хемијским особинама у земљишту третираном фосфатним ђубривом [А6] и у непоредној близини термоелектрана на угаљ [А4]. Студија зависности расподеле вредности односа концентрација активности $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$, $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra}$, $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ и $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ по дубини од основних особина земљишта је први пут изведена и односила се на земљиште урбаног подручја [А2]. Дистрибуција произведеног ^{137}Cs испитивана је у култивисаном земљишту [А5].

2.4.3 Вишеструка линеарна регресија

Анализирајући све мерене вредности концентрација активности у земљишту уочено је да је значајно већа вредност сваког испитиваног радионуклида увек одређена у интервалу ниже рН реакције (рН у КСl: 4,6–7,0) у односу на вредност у вишем интервалу (рН у КСl: 7,1–7,6). Након тога, применом методе вишеструке линеарне регресије у оба карактеристична рН интервала, добијени су модели којима се на основу испитиваних физичко–хемијских особина земљишта могу предвиђати нивои концентрација активности природних радионуклида. При томе, показано је да моделовање не зависи од врсте антропогеног дејства.

Овом анализом није могла бити обухваћена дистрибуција ^{137}Cs као произведеног радионуклида већ је повезаност са испитиваним особинама земљишта постојала само на појединачним локацијама. Резултат је указивао да дистрибуција ^{137}Cs није функција само земљишних параметара, јер за разлику од природних радионуклида који су учествовали у процесу формирања земљишта, произведени ^{137}Cs потиче из атмосфере и бива депонован на површину већ формираног земљишта.

2.4.4 Проста линеарна регресија

И концентрација активности радионуклида измерених у узорцима биљног материјала и вредности њихових трансфер фактора из земљишта у биљке су анализирани у овом истраживању. У условима нормалног нивоа позадинског гама зрачења успешно су измерене ниске и често недетектабилне концентрације активности природних радионуклида ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K у узорцима лишћа виших биљака применом методе гама-спектрометрије [A1].

Пирсоновом корелационом анализом успостављене су релације између трансфер фактора и физичко–хемијских особина земљишта и резултати су се односили на интегралне узорке лишћа [A1] и самоникле вегетације сакупљене у близини термоелектрана на угаљ [B1].

Вредности трансфер фактора свих радионуклида зависили су од испитиваних физичко-хемијских особина земљишта, при чему су значајније релације одређене са механичким саставом земљишта. Овим истраживањем је указано да у трансферу из супстрата у биљке не учествује укупна активност неког радионуклида у супстрату, већ само део те активности доступан биљкама, а резултати анализе су упућивали да тај део потенцијално потиче од одређене механичке фракције супстрата.

3 Списак публикација кандидата

А. Радови у међународним часописима (M20)

Радови у водећим међународним часописима (импакт фактор >1)

[A1] **Vukašinović, I.**, Todorović, D., Krneta–Nikolić, J., Rajačić, M., Životić, Lj., Seasonal variations of naturally occurring radionuclides and ^{137}Cs in the leaves of deciduous tree species at sites of background radioactivity levels, Romanian Journal of Physics 64 (2019) 812-823. ISSN: 1221-146X [M22, IF=1,460]

[A2] **Vukašinović, I.**, Todorović, D., Životić, Lj., Kaluđerović, L., Đorđević, A., An analysis of naturally occurring radionuclides and ¹³⁷Cs in the soils of urban areas using gamma-ray spectrometry. *International Journal of Environmental Science and Technology* 15 (2018) 1049–1600. ISSN: 1735–1472 [**M22, IF= 2,031**]

[A3] Kostić, A. Ž., Mačukanović-Jocić, M. P., Trifunović, B. D. Š., **Vukašinović, I. Ž.**, Pavlović, V. B., Pešić, M. B., Fatty acids of maize pollen–Quantification, nutritional and morphological evaluation. *Journal of Cereal Science* 77 (2017) 180–185 [**M21, IF= 2,251**]

Радови у осталим међународним часописима

[A4] **Vukašinović, I.Ž.**, Todorović, D.J., Nikolić, N.S., Mihajlović–Radosavljević, A.S., Nenadović, S.S., Eremić Savković, M.M., Radioactivity measurements in soils surrounding four coal–fired power plants in Serbia by gamma–ray spectrometry and associated dose. *Nuclear Technology & Radiation Protection* 29 (2014) 296–306. ISSN: 1451–3994 [**M23, IF= 0,560**]

[A5] **Vukašinović, I.**, Todorović, D., Đorđević, A., Rajković, M.B., Pavlović, V.B., Depth distribution of ¹³⁷Cs in anthrosol from the experimental field “Radmilovac” near Belgrade, Serbia. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology* 64 (2013) 425–430. ISSN: 0004–1254 [**M23, IF= 0,727**]

[A6] **Vukašinović, I.Ž.**, Todorović, D.J., Rajković, M.B., Đorđević, A.R., Pavlović, V.B. Distribution of natural radionuclides in anthrosol–type soil. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 34 (2010) 539–546. ISSN: 1300–011X [**M22, IF= 0,675**]

Б. Монографије

Поглавље у књизи или рад у тематском зборнику националног значаја (M45)

[B1] **Vukašinović, I.Ž.**, Rajković, M.B., Todorović, D.J. Distribucija ¹³⁷Cs u kultivisanom zemljištu, Monografija: ČERNOBILJ: 30 godina posle, urednik Gordana Pantelić–Beograd: Institut za nuklearne nauke “Vinča”, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine “Zaštita”, Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore (2016) 195–206. ISBN: 978–86–7306–138–2

В. Рад у зборницима међународних конференција

Рад у зборницима међународних конференција штампан у целини (M33)

[B1] **Vukašinović, I.**, Todorović, D., Nikolić, N., Nikolić, J., Rajačić, M., Janković, M., Influence of soil properties on soil–to–plant transfer factors of natural radionuclides in the vicinity of coal fired power plants in Serbia. *Proceedings of the The Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research (RAD 2014)*, 27–30. Maj, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering (2014) 267–270. ISBN: 978-86-6125-101-6

[B2] Rajković, M.B., **Vukašinović, I.**, Đorđević, A., Todorović, D., Pavlović, V., ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K distribution with soil depth in agricultural soil rigosol type and its relation with main soil properties”, PHYSICAL CHEMISTRY Proceedings of the 9th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Septembar 24, Belgrade, Serbia (2008) 418-420.

Рад у зборницима међународних конференција штампан у изводу (М34)

[B3] **Vukašinović, I.**, Todorović, D., Nikolić, J., Popović, D., Ajtić, J., Contents of radionuclides in soils of urban area (Belgrade city parks). Book of abstracts from the 6th Symposium Chemistry and Environmental Protection-EnviroChem 2013 with international participation, 21-24 May 2013, Vršac, Serbia (2013) 128-129.

[B4] Đorđević, A., Tomić, Z., Životić, Lj., Kaluđerović, L., Nikolić, N., **Vukašinović, I.**, 2013. Basic chemical and physical characteristics of soils in four Belgrade parks. Book of abstracts from the 6th Symposium Chemistry and Environmental Protection - EnviroChem 2013 with international participation, 21-24 May 2013, Vršac, Serbia (2013) 80-81.

[B5] **I.Vukašinović**, D.Todorovic, A.Djordjevic, M.Rajkovic, M.Stojanovic, V.Pavlovic., Distribution of radionuclides in agricultural soil samples of southeast Belgrade, Serbia, 2008 – International Year of Planet Earth, EUROSIL 2008, Soil – Society – Environment, 25-29 August 2008, Vienna, Austria. Book of Abstracts, Winfried E.H.Blum, Martin H.Gerzabek and Manfred Vodrazka (Eds.), Session S10: Advances in Soil monitoring P527 (2008) 310.

Г. Рад у зборницима домаћих конференција штампан у целини

Рад у зборницима домаћих конференција штампан у целини (М63)

[Г1] **Vukašinović, I.**, Todorović, D., Nikolić, J., Rajačić, M., Ajtić, J., Sezonske promene aktivnosti prirodnih radionuklida i proizvedenog ^{137}Cs u uzorcima lišća listopadnog drveća, XXIX Simpozijum DZZSCG, Srbija, Srebrno jezero, Septembar 27–29, Zbornik radova, Institut za nuklearne nauke "Vinča" i Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore (2017) 117–123. ISBN: 978-86-7306-144-3

Д. Радови у домаћим часописима

[Д1] **Vukašinović, I.Ž.**, Todorović, D. J., Đorđević, A.R., Rajković, M.B. and Pavlović, V.B., Depth distribution of available micronutrients in cultivated soil. Journal of Agricultural Sciences (Belgrade) 60 (2015) 177-187.

[Д2] **Ivana Ž. Vukašinović**, Dragana J. Todorović, A.R. Đorđević, M.B. Rajković, Mirjana D. Stojanović, V.B. Pavlović, Natural Isotopes ^{238}U and ^{40}K content in Rigosol from the area of school estate good “Radmilovac” of Faculty of Agriculture, Zemun. Journal of Agricultural Sciences 2 (2009) 143-151.

[Д3] Vukašinović, I., Todorović, D., Popović, D., The dependence of Ge detectors efficiency on the density of samples in gamma-ray spectrometry. Nuclear Technology & Radiation Protection XXII (2007) 58-63.

4 Провера оригиналности

Провером оригиналности докторске дисертације Иване Вукашиновић, спроведене 7.1.2019. године од стране Универзитетске библиотеке Светозар Марковић, Београд, на основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (http://valtez.rcub.bg.ac.rs/Files/Pravilnik_o_postupku_provere_originalnosti-dok_disert.pdf) помоћу програма “iThenticate”, утврђено је да дисертација садржи 4% текста који се јавља у другим текстовима доступним библиотеци (базе свих часописа са SCI листе, базе докторских дисертација и мастер теза у свету и код нас). Поклапања су нађена са укљученим опцијама: “Quotes Excluded” (изоставља из провере цитирани текст) и “Bibliography Excluded” (изоставља из провере референце).

Највећи део поклапања односи се на речи у тексту као и математичке формуле које се јављају у публикованим радовима докторанда (којих има 5), док је остатак грешка програма попут случајних речи у радовима ван области овог истраживања (нпр. спорта и медицине). Сва остала преклапања су са <1% укључујући и радове коришћене у дисертацији [A1, A2, A4, A5, A6], као и у раду [Г1], у којима су пронађене сличне речи при описивању метода и коришћене математичке формуле.

Стога сматрамо да је утврђено да је докторска дисертација Иване Вукашиновић у потпуности оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања и навођења, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Закључак

На основу актуелности теме и значаја добијених резултата у докторској дисертацији, као и досадашњег истраживачког рада кандидата, сматрамо да докторски рад „Зависност дистрибуције радионуклида U– и Th–серије, ^{40}K и ^{137}Cs од физичко–хемијских особина земљишта у систему земљиште–биљка” који је предала кандидат Ивана Вукашиновић даје значајан допринос научној области Примењена физика и да су задовољени сви законом прописани услови за одобравање јавне одбране дисертације. Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да ову докторску дисертацију прихвати и одобри њену јавну одбрану.

У Београду, _____

Комисија у саставу:

Проф др Јован Пузовић
Физички факултет,
Универзитет у Београду

Проф др Милош Вићић
Физички факултет,
Универзитет у Београду

Др Драгана Тодоровић
Институт за нуклеарне науке Винча
Универзитет у Београду
