

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ**

**Београд**

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ**

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Танића, мастер физикохемичара

На X редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 11.07.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Танића, мастер физикохемичара, под насловом:

**ПРОСТОРНА ДИСТРИБУЦИЈА РАДИОНУКЛИДА И ТЕШКИХ МЕТАЛА У  
ПРОФИЛИМА ЗЕМЉИШТА ИЗ ОКОЛИНЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ  
„НИКОЛА ТЕСЛА А“**

На основу прегледа и анализе докторске дисертације кандидата, подносимо Наставно-научном већу следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**А. Приказ садржаја дисертације**

Докторска дисертација кандидата мастер физикохемичара Милана Танића је написана на двеста осамнаест (218) страна, а у складу са *Упутством за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду*. Састоји се из шест главних делова: Увод (4 стране), Теоријске основе (45 стране), Материјали и методе (30 страна), Резултати и дискусија (92 стране), Закључак (5 страна) и Литература (27 страна – 249 референци). Кандидат је уз текст докторске дисертације приложио следеће: Прилог 1 (7 страна – Скраћенице и симболи), Прилог 2 (2 стране – Параметри за процену ризика за становништво од тешких метала у земљишту), Биографију кандидата (1 страна), Научни допринос кандидата у виду списка радова проистеклих из докторске дисертације (1 страна), као и додатне прилоге прописане правилима Универзитета о подношењу докторске дисертације на одобравање (4 стране).

Дисертација садржи 33 слике (3 слике из постојеће литературе; 7 у делу Материјали и методе; 23 слике представљају властите резултате) и 41 табелу (20 са подацима из постојеће литературе и 21 са властитим резултатима).

У поглављу *Увод* укратко су описани тематика и актуелност проблематике која је била предмет истраживања, као и циљ истраживања.

У поглављу *Теоријске основе* дат је детаљан преглед путева контаминације земљишта радионуклидима и тешким металима, са посебним освртом на земљиште у непосредној близини термоелектрана које као гориво користе угаљ. Осим тога представљене су и основе геопросторног мапирања дистрибуције хемијских врста као и теоријске основе хеометријских техника помоћу којих се могу установити доминантни утицаји педолошких, физичкохемијских и метеоролошких фактора на ту дистрибуцију. На крају су представљени модели процене ризика по становништво услед излагања радионуклидима и тешким металима.

У поглављу *Материјали и методе* описани су: локалитети и начин узорковања, припрема узорака и примењене експерименталне методе анализе (гамаспектрометријска анализа и атомска апсорпциона спектрометрија). Такође су описани поступци хеометријских техника којима је вршена анализа података, те начини одређивања параметара и модели који су коришћени за евалуацију контаминације земљишта и процену ризика.

У поглављу *Резултати и дискусија* су приказани резултати експерименталних анализа сакупљених узорака на истраживаним локацијама. Осим тога, дати су и резултати корелационе анализе, идентификација порекла радионуклида и тешких метала у земљишту, њихова дистрибуција у профилима земљишта, као и зависност те расподеле од позиције у односу на ТЕ „Никола Тесла А“. Представљени су и резултати геостатистичке анализе просторне дистрибуције радионуклида и тешких метала у земљишту истраживаног простора. На крају је дата процена ризика по здравље популације услед присуства контаминације испитиваног земљишта.

У поглављу *Закључак* сумирани су сви закључци изведени на основу резултата приказаних у докторској дисертацији.

Докторска дисертација завршава поглављем *Литература*, у коме су наведене цитиране референце по редоследу појављивања у тексту.

## Б. Опис резултата дисертације

Резултати у оквиру ове дисертације су добијени су на основу анализе садржаја радионуклида ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) и тешких метала (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb и Zn) у профилима земљишта сакупљених на 30 локација на дубини 0–50 cm, у периоду од 2011. до 2013. године, у околини термоелектране „Никола Тесла А“ у Обреновцу. Физичкохемијске карактеристике земљишта (механички састав земљишта – песак, глина, прах; рН вредност; садржај укупног органског угљеника –  $c(\text{TOC})$ ; специфична електрична проводљивост –  $EC(25\text{ }^\circ\text{C})$ ; карбонати у земљишту –  $c(\text{CaCO}_3)$ ; густина чврсте фазе земљишта –  $\rho_p$ ; густина сувог земљишта –  $\rho_b$ ) су одређене помоћу стандардних педолошких процедура, укупни садржај тешких метала је анализиран атомским апсорпционим спектрометром, а специфичне активности радионуклида су измерене методом спектрометрије гама зрачења. Просторна дистрибуција радионуклида и тешких метала је анализирана геостатистичком техником обичног кригинга применом програма Golden Software Surfer 12 и Gamma Design GS+, док је њихова међусобна корелација и корелација са физичкохемијским карактеристикама земљишта анализирана применом хеометријских метода (Пирсонов коефицијент линеарне корелације, једнофакторска анализа варијансе и мутиваријационе статистичке методе – анализа главних компонената и анализа груписања). Степен загађења земљишта је евалуиран применом различитих параметара – фактора обogaђења, геоакумулационог индекса, фактора контаминације, индекса укупног загађења и депозиционог параметра. Израчунати су радиолошки параметри и извршена је процена радиолошког ризика за становништво испитиваног простора. Применом методологије Агенције за заштиту животне средине Сједињених Америчких држава извршена процена ризика од потенцијалних канцерогених и неканцерогених ефеката услед излагања тешким металима у земљишту за одрасло становништво.

Средње вредности специфичних активности ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) анализираних радионуклида у земљишту истраживаног простора износиле су:  $^{40}\text{K}$  ( $577 \pm 104$ ),  $^{226}\text{Ra}$  ( $31,3 \pm 7,8$ ),  $^{232}\text{Th}$  ( $32,8 \pm 8,5$ ) и  $^{137}\text{Cs}$  ( $13,1 \pm 9,5$ ). Средње вредности концентрација тешких метала ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) су износиле: Cd ( $0,87 \pm 0,56$ ), Co ( $17,3 \pm 4,1$ ), Cr ( $68,7 \pm 19,4$ ), Cu ( $36,4 \pm 14,7$ ), Fe ( $37600 \pm 6200$ ), Mn ( $453 \pm 130$ ), Ni ( $89,2 \pm 29,9$ ), Pb ( $61,3 \pm 20,1$ ) и Zn ( $113 \pm 44$ ). Средње вредности одређиваних физичкохемијских карактеристика земљишта су биле: рН( $\text{H}_2\text{O}$ ) ( $7,29 \pm 0,71$ ), рН(KCl) ( $6,15 \pm 0,75$ ),  $EC(25\text{ }^\circ\text{C})$  ( $184,3 \pm 97,3$ )  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ,  $c(\text{TOC})$  ( $1,5 \pm 1,1$ ) %,  $c(\text{CaCO}_3)$  ( $4,9 \pm 4,3$ ) %,  $\rho_b$  ( $1,33 \pm 0,10$ )  $\text{g cm}^{-3}$ ,  $\rho_p$  ( $2,39 \pm 0,36$ )  $\text{g cm}^{-3}$ , песак ( $20,2 \pm 18,1$ ) %, прах ( $55,1 \pm 16,4$ ) % и глина ( $24,7 \pm 8,7$ ) %.

Највиши степен статистички значајне корелације нађен је између специфичних активности природних радионуклида и текстуре земљишта, при чему је њихов садржај био најобилнији у финим фракцијама земљишта, док је  $^{137}\text{Cs}$  био најјаче позитивно корелиран са укупним органским угљеником. Концентрације тешких метала су показале велики број корелација са физичкохемијским карактеристикама земљишта, међутим вредности Пирсоновог коефицијента корелација су биле ниске. За разлику од природних радионуклида, корелација између механичких фракција земљишта и тешких метала није била изражена, а од осталих одређиваних физичкохемијских карактеристика земљишта, највећи број статистички значајних релација са тешким металима је установљен за укупни садржај органског угљеника и садржај карбоната.

Вертикална расподела природних радионуклида и тешких метала је била хомогена, што је и потврђено једнофакторском анализом варијансе која није установила статистички значајну зависност специфичних активности природних радионуклида и концентрација тешких метала са дужином узорковања. Једина испитивана величина која је показала значајну зависност од дубине земљишта је била специфична активност  $^{137}\text{Cs}$ .

На основу израчунатих показатеља загађења, земљиште истраживаног простора спада у категорије без обogaђења до минималног обogaђења тешким металима, односно неконтаминираног до умерено контаминираног земљишта, осим за садржаје Cd и Pb, за које је израчунато постојање средње до значајне контаминације. На основу вредности показатеља загађења, поред ова два метала може се претпоставити антропогено порекло и Ni, Zn и Cu. Средња вредност депозиционог параметра за све природне радионуклиде је износила 1,04 указала је да на истраживаном простору нема повећаног садржаја њихових специфичних активности у површинском слоју земљишта.

Просторна анализа дистрибуције је показала да се највеће средње вредности за већину анализираних тешких метала налазе у источном и југоисточном делу истраживаног простора. Статистичка значајност разлика средњих вредности установљена једнофакторском анализом варијансе нађена је за све концентрације тешких метала осим Mn. Ови делови истраживаног простора се налазе низ смер дувања западних и северозападних ветрова који имају најјачи утицај на ширење полутаната из смера термоелектране и депонија пепела, нарочито током лета, када су они доминантни ветрови. За специфичне активности радионуклида није установљена статистички значајна разлика њихових специфичних активности у наведеним деловима истраживаног простора.

Поређењем средњих вредности установљено је испитивани тешки метали и природни радионуклиди најчешће имају највеће средње вредности концентрација и специфичних активности по целом профилу у тачкама које се налазе у непосредној околини термоелектране (до 1 km удаљености) у односу на локације које су приближно удаљене 2 km од термоелектране што се може сматрати индикатором негативног утицаја рада термоелектране на околну земљиште.

Применом анализе главних компонената у сврху идентификације извора радионуклида у истраживаном земљишту издвојено је пет главних компонената, од којих су две објединиле природне радионуклиде са механичким фракцијама земљишта, доказујући на тај начин да је њихов садржај природног порекла, а да је текстура земљишта фактор који претежно контролише њихову расподелу, док је  $^{137}\text{Cs}$  сврстан у посебну главну компоненту са физикохемијским карактеристикама од највећег утицаја на његову расподелу (укупни органски угљеник и дубина узорковања). Анализа главних компонената примењена на физикохемијске карактеристике земљиште и концентрације тешких метала је резултовала компримовањем улазног сета података у седам главних компонената од којих је четири имало велике вредности линераних коефицијената комбинације за концентрације тешких метала. Само једна главна

компонента је приписана утицају ТЕНТ А и била је повезана са модификацијом физикохемијских карактеристика земљишта услед депозиције летећег пепела пореклом из ТЕ. Анализа главних компонената, иако је то од ове методе очекивано, није омогућила потпуно раздвајање утицаја сагоревања угља од других антропогених или природних извора тешких метала у истраживаном земљишту, али је открила да је најзначајнији извор тешких метала на истраживаном земљишту примарни стенски материјал. Иако је једна главна компонента идентификована као чиста компонента утицаја термоелектране, дубљи увид у резултате анализе главних компонената је довео до тога да се три главне компоненте, примарно препознате као природни фактори, повежу са утицајем ТЕ, потврђујући на тај начин да је сагоревање угља један од најважнијих фактора за повећање садржаја тешких метала у околини термоелектране. Саобраћај и пољопривреда су идентификовани кроз једну главну компоненту као разлог повећања концентрација Cd и Pb у земљишту истраживаног простора. Примена анализе главних компонената за идентификацију извора загађења на истраживаном простору са примарним циљем да се раздвоји утицај термоелектране од других утицаја се није показала ефикасном, пре свега због комплексности истраживаног простора у смислу постојања више просторних и тачкастих извора загађења (саобраћај, пољопривреда, урбано загађење, и сл.)

Средња вредност јачине апсорбоване дозе гама зрачења на 1 m висине од тла од спољашњег озрачивања природних радионуклида на отвореном простору је износила  $60,3 \text{ nGy h}^{-1}$ , средња вредност годишње ефективне дозе на отвореном за истраживани простор је била  $73,9 \text{ }\mu\text{Sv}$ , а средње вредности еквивалентне специфичне активности радијума и индекс ризика од спољњег озрачења су износиле  $126,3 \text{ Bq kg}^{-1}$  и  $0,34$ , редом. Како су вредности наведених параметара радијационог ризика биле мање од препоручених вредности од стране релевантних међународних тела, те како су биле на нивоу светских вредности, процена ризика од радионуклида у земљишту је показала да не постоји повећани ризик од спољњег озрачивања гама-зрачењем природних радионуклида у земљишту.

Вредност укупног ризика од канцерогенезе за становништво истраживаног простора услед излагања тешким металима у земљишту се кретала у границама од  $1,29 \times 10^{-4}$  до  $3,94 \times 10^{-4}$ , а средња вредност је била  $2,25 \times 10^{-4}$ . Међутим, како је примењен врло конзервативни приступ процене и како су вредности ризика добијене на овај начин биле за ред величине мање од званичних вредности публикованих у Републици Србији, закључак је да загађење земљишта тешким металима није значајно, али није занемарљиво са аспекта процењеног канцерогеног ризика. Средња вредност индекса неканцерогеног ризика мања од јединице ( $0,192$ ) је показала да је ризик од развоја системске токсичности за одрасле готово занемарљив.

## **В. Упоредна анализа резултата дисертације са подацима из литературе**

У последњих неколико деценија публикован је велики број радова чија је тематика утицај ТЕ на животну средину у смислу загађења радионуклидима, тешким металима и истовремене контаминације са обе ове врсте елемената (Y. M. Amin, M. U. Khandaker, A. K. S. Shyen, R. H. Mahat, R. M. Nor and D. A. Bradley, Radionuclide emissions from a coal-fired power plant, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 80, pp. 109-116, 2013; U.

Cevik, N. Damla and S. Nezir, Radiological characterization of Cayırhan coal-fired power plant in Turkey, *Fuel*, vol. 86, no. 16, pp. 2509-2513, 2007; E. Charro and V. Peña, Environmental Impact of Natural Radionuclides from a Coal-Fired Power Plant in Spain, *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 153, no. 4, pp. 485-495, 2013; Z. Papp, Z. Dezső and S. Daróczy, Significant radioactive contamination of soil around a coal-fired thermal power plant, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 59, no. 2, pp. 191-205, 2002; H. V. Papaefthymiou, M. Manousakas, A. Fouskas and G. Siavalas, Spatial and vertical distribution and risk assessment of natural radionuclides in soils surrounding the lignite-fired power plants in Megalopolis basin, Greece, *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 156, no. 1, pp. 49-58, 2013; A. Baeza, J. A. Corbacho, J. Guillén, A. Salas, J. C. Mora, B. Robles and D. Cancio, Enhancement of natural radionuclides in the surroundings of the four largest coal-fired power plants in Spain, *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 14, no. 3, pp. 1064-1072, 2012; A. Mandal and D. Sengupta, Radioelemental study of Kolaghat, thermal power plant, West Bengal, India: possible environmental hazards, *Environmental Geology*, vol. 44, no. 2, pp. 180-186, 2003; X. Lu, C. Zhao, C. Chen and W. Liu, Radioactivity level of soil around Baqiao coal-fired power plant in China, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 81, no. 12, pp. 1827-1832, 2012; P. Agrawal, A. Mittal, R. Prakash, M. Kumar, T. B. Singh and S. K. Tripathi, Assessment of Contamination of Soil due to Heavy Metals around Coal Fired Thermal Power Plants at Singrauli Region of India, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 85, no. 2, pp. 219-223, 2010; C. D. Stalikas, C. I. Chaidou and G. A. Pilidis, Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignite-fired power plants of West Macedonia (Greece), *Science of The Total Environment*, vol. 204, no. 2, pp. 135-146, 1997; T. Keegan, M. Farago, I. Thornton, B. Hong, R. Colvile, B. Pesch, P. Jakubis and M. Nieuwenhuijsen, Dispersion of As and selected heavy metals around a coal-burning power station in central Slovakia, *Science of the Total Environment*, vol. 358, no. 1, pp. 61-71, 2006; B. Jankiewicz and D. Adamczyk, Assessing Heavy Metal Content in Soil Surrounding a Power Plant, *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 19, no. 4, pp. 849-853, 2010; L. I. Tsikritzis, S. S. Ganatsios, O. G. Duliou, C. V. Kavouridis and T. D. Sawidis, Trace elements distribution in soil in areas of lignite power plants of Western Macedonia, *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, vol. 20, no. 2, pp. 269-282, 2002; O. O. Okedeyi, S. Dube, O. R. Awofolu and M. M. Nindi, Assessing the enrichment of heavy metals in surface soil and plant (*Digitaria eriantha*) around coal-fired power plants in South Africa, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 21, no. 6, pp. 4686-4696, 2014; A. Çayır, M. Belivermiş, Ö. Kuliç, M. Coşkun and M. Coşkun, Heavy metal and radionuclide levels in soil around Afsin-Elbistan coal-fired thermal power plants, Turkey, *Environmental Earth Sciences*, vol. 67, no. 4, pp. 1183-1190, 2012; D. Karamanis, K. Ioannides and K. Stamoulis, Environmental assessment of natural radionuclides and heavy metals in waters discharged from a lignite-fired power plant, *Fuel*, vol. 88, no. 10, pp. 2046-2052, 2009. X. Lu, W. Liu, C. Zhao and C. Chen, Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around coal-fired power plant in China, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 295, no. 3, pp. 1845-1854, 2013).

Методи мултиваријационе анализе података се интензивно користе у великом броју научних области, чему је у многоме допринео развој информатичких технологија и комплексност истраживања која захтева анализу истовремене међузависности више варијабли. Анализа главних компонената и анализа груписања су једни од најшире примењиваних метода у истраживањима животне средине. Ови хеометријски методи су успешно коришћени за идентификацију и карактеризацију извора загађења, за идентификацију фактора који значајно утичу на дистрибуцију и мобилност тешких метала и радионуклида у испитиваној средини, али и за класификацију земљишта на

основу садржаја микроелемената и радионуклида (O. Abollino, M. Aceto, M. Malandrino, E. Mentasti, C. Sarzanini and F. Petrella, Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment, *Chemosphere*, vol. 49, no. 6, pp. 545-557, 2002; . Buccolieri, G. Buccolieri, A. Dell'Atti, G. Strisciullo and R. Gagliano-Candela, Monitoring of total and bioavailable heavy metals concentration in agricultural soils, *Environmental monitoring and assessment*, vol. 168, no. 1-4, pp. 547-560, 2010; A. Facchinelli, E. Sacchi and L. Mallen, Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils, *Environmental Pollution*, vol. 114, no. 3, pp. 313-324, 2001; C. Micó, L. Rectalá, M. Peris and J. Sánchez, Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis, *Chemosphere*, vol. 65, no. 6, p. 863-872, 2006; J. A. Rodríguez Martín, J. J. Ramos-Miras, R. Boluda and C. Gil, Spatial relations of heavy metals in arable and greenhouse soils of a Mediterranean environment region (Spain), *Geoderma*, Vols. 200-201, pp. 180-188, 2013; S. Dragović and A. Onjia, Classification of soil samples according to their geographic origin using gamma-ray spectrometry and principal component analysis, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 89, no. 2, pp. 150-158, 2009).

Геостатистичка анализа повезана са географским информационим системима, а посебно са неким од метода мултиваријационе анализе представља веома моћан алат у еколошким истраживањима, јер омогућава квантификацију просторне димензије загађења и помаже у идентификацији загађивача (E. E. Golia, A. Dimirkou and S. A. Floras, Spatial monitoring of arsenic and heavy metals in the Almyros area, Central Greece. Statistical approach for assessing the sources of contamination, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 187, no. 7, p. 399, 2015; J. A. Rodríguez Martín, M. L. Arias and J. M. G. Corbí, Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations, *Environmental Pollution*, vol. 144, no. 3, pp. 1001-1012, 2006; E. Charro, R. Pardo and V. Peña, Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 142, pp. 84-92, 2013; L. Dai, H. Wei and L. Wang, Spatial distribution and risk assessment of radionuclides in soils around a coal-fired power plant: A case study from the city of Baoji, China, *Environmental Research*, vol. 104, no. 2, pp. 201-208, 2007; A. Kapička, E. Petrovský, S. Ustjak and K. Macháčková, Proxy mapping of fly-ash pollution of soils around a coal-burning power plant: a case study in the Czech Republic, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 66, no. 1-2, pp. 291-297, 1999; D. Zacháry, G. Jordan, P. Völgyesi, A. Bartha and C. Szabó, Urban geochemical mapping for spatial risk assessment of multisource potentially toxic elements — A case study in the city of Ajka, Hungary, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 158, pp. 186-200, 2015; N. Nanos, T. Grigoratos, J. A. R. Martín and C. Samara, Scale-dependent correlations between soil heavy metals and As around four coal-fired power plants of northern Greece, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 29, no. 6, pp. 1531-1543, 2015; A. Mihailović, L. Budinski-Petković, S. Popov, J. Ninkov, J. Vasin, N. Ralević and M. Vučinić Vasić, Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 150, pp. 104-114, 2015; X. Li and L. Feng, Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China, *Atmospheric Environment*, vol. 47, pp. 58-65, 2012).

Процена здравственог ризика за људе је врло комплексан процес, па се за њега користе различити модели. Такви модели су најразвијени у Европи и Америци. Иако су

ови модели компатибилни, много практичнији је модел развијен од стране Агенције за заштиту животне средине Сједињених Америчких Држава који је доступан преко платформе Информационог система за процену ризика (US Department of Energy, "RAIS The Risk Assessment Information System," URS CH2M Oak Ridge LLC and The University of Tennessee, 2009). Овај модел подразумева бројне сценарије који обухватају процену ризика од супстанци које се налазе у различитим срединама преко различитих експозиционих рута и омогућава процену ризика од канцерогенезе и развоја неканцерогених ефеката, како за радионуклиде тако и за остале агенсе, укључујући и тешке метале, присутне у средини од интереса, па је као такав примењен у великом броју истраживања (I. Gržetić and A. Ghariani, Potential health risk assessment for soil heavy metal contamination in the central zone of Belgrade (Serbia), *Journal of the Serbian Chemical Society*, vol. 73, no. 8-9, pp. 923-934, 2008; Q. Tang, G. Liu, C. Zhou, H. Zhang and R. Sun, Distribution of environmentally sensitive elements in residential soils near a coal-fired power plant: potential risks to ecology and children's health, *Chemosphere*, vol. 93, no. 10, pp. 2473-2479, 2013; J. George, R. E. Masto, L. C. Ram, T. B. Das, T. K. Rout and M. Mohan, Human Exposure Risks for Metals in Soil Near a Coal-Fired Power-Generating Plant, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 68, no. 3, pp. 451-461, 2015; M. Qiao, C. Cai, Y. Huang, Y. Liu, A. Lin and Y. Zheng, Characterization of soil heavy metal contamination and potential health risk in metropolitan region of northern China, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 172, no. 1, pp. 353-365, 2011).

Специфичне активности природних радионуклида у околини термоелектране „Никола Тесла А“ су биле сличне вредностима за читаву територију Републике Србије и за регионе у Србији у којима не постоје термоелектране. Компаративни литературни подаци за земљишта која окружују ТЕ широм света показују веће вредности специфичних активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  од оних утврђеним предметним истраживањем за термоелектране у Кини, Индији, Малезији и Бразилу. Слични резултати су публиковани за земљиште у околини термоелектрана на тлу Европе – Пољској, Турској, Шпанији, Грчкој, са изузетком Мађарске где су измерене значајно веће специфичне активности  $^{226}\text{Ra}$ .

Компарација резултата из овог истраживања са доступним подацима за друге регионе и градове у Србији показује да су измерене концентрације сличне у односу на регионе које су угрожене индустријским активностима и земљишту урбаног простора у централној Србији. Опсежи концентрација тешких метала измерени у земљишту истраживаног простора су конзистентни са вредностима садржаја тешких метала у земљиштима у околини термоелектрана у другим државама. Земљишта у околини једне од најзначајнијих термоелектрана у Словачкој и термоенергетског комплекса у Бразилу имала су мањи садржај тешких метала од оног утврђеним овим истраживањем. У околини једне од највећих термоелектрана у Турској, у земљишту које је било сличних вредности рН и садржаја органске материје, измерен је скоро једнак садржај Ni и Cr и два и седам пута веће концентрације Cu и Cd, редом. Истраживање животне средине спроведено у Грчкој, на подручју које под утицајем рудника лигнита и две термоелектране, нађене су знатно веће концентрације Fe, Mn, Cr и Ni него у овом раду. Повећане концентрације Pb, Ni, Cr и Cu у односу на фонске концентрације метала од интереса су извештене за земљиште у околини термоелектране у Јужноафричкој



Републици, али су само концентрације Cr и Cu биле веће од вредности у овој дисертацији. Међу анализираним тешким металима, само концентрације Ni и Pb у овој дисертацији су биле веће од одговарајућих вредности извештеним за земљиште у околини ТЕ у Кини.

Резултати везани за анализу просторне и дубинске дистрибуције радионуклида и тешких метала указују на висок степен поклапања са резултатима других студија спроведених у околини термоелектрана, како у Србији, посебно у вези налаза да су повишене концентрације испитиваних елемената измерене у непосредној околини термоелектране и у смеру доминантних ветрова.

Израчунати параметри радијационог ризика се налазе у оквирима вредности за читаву територију Србије и регионе у Србији који нису под утицајем рада термоелектрана. У поређењу са просторима у Србији који су угрожени радом термоелектрана, процењени радијациони ризик за истраживани простор је нешто мањи што се поклапа са резултатима студије у којој су измерене мање вредности специфичне активности природних радионуклида у околини термоелектране „Никола Тесла А“ у поређењу са другим термоелектранама у Србији. Добијени резултати се у доброј мери поклапају са индикаторима радијационог ризика добијеним за земљиште које окружује термоелектране у другим европским државама, осим за Мађарску. Литертурни подаци за земље ван европског континентна попут Кине, Индије и Малезије, показују значајно већи радијациони ризик од спољашњег озрачивања од стране терестријалних радионуклида у околини термоелектрана, што је приписано већем нивоу природне активности ових радионуклида у земљишту или већем садржају радионуклида у угљу које користе дате термоелектране.

Резултати процене кумулативног ризика од испитиваних тешких метала нису директно упоредиви са другим истраживањима због анализе различитих елемената, али се добро слажу на нивоу појединачних тешких метала, посебно у истраживањима која су спроведена у земљама које се у великој мери ослањају на производњу електричне енергије сагоревањем фосилних горива.

До данас по нашем сазнању на основу доступних литературних података није извршена свеобухватана анализа профила земљишта на садржај радионуклида, тешких метала и физичкохемијских карактеристика, већ је фокус био на површинским, евентуално потповршинским узорцима. У оквиру ове дисертације примењене су методе мултиваријационе статистичке анализе – анализа главних компонената и анализа груписања које су указале на неке латентне корелације и понашање испитиваних елемената у земљишту истраживаног простора, што ће допринети већем разумевању миграције ових елемената у животној средни. Извршена је и процена радијационог ризика, и по први пут у нашој земљи, потпуна процена ризика од тешких метала за становништво које насељава простор под утицајем сагоревања угља у термоелектранама, применом једне свеобухватне методологије каква је методологија Агенције за заштиту животне средине Сједињених Америчких Држава.

Истраживање доприноси бољем разумевању расподеле радионуклида и тешких елемената у земљишту у околини термоелектрана и може допринети унапређењу мера заштите животне средине и мониторинга загађујућих супстанци на просторима угроженим радом термоенергетских постројења. У конкретном случају добијени резултати могу послужити као основа за процену утицаја великих поплава које су се десиле 2014. године на истраживаном простору, с обзиром на то да је истраживање извршено непосредно пре њих.

## **Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације**

Кандидат Милан Танић је из резултата дисертације публиковала 2 рада у научним часописима међународног значаја и 2 саопштења у зборницима међународних научних скупова:

### **М23 – Рад у међународном часопису**

1. Tanić, M. N., Momčilović, M. Z., Kovačević, J. R., Dragović, S. D. & Bačić, G. G. Assessment of radiation exposure around abandoned uranium mining area of Stara planina Mt., Serbia. *Nuclear Technology and Radiation Protection* **29**, 58–66 (2014).
2. Tanić, M. N., Janković-Mandić, Lj., Gajić, B., Daković, M., Dragović, S. D. & Bačić, G. G. Natural radionuclides in soil profiles surrounding the largest coal-fired power plant in Serbia. *Nuclear Technology and Radiation Protection* **31**, 247–259 (2016).

### **М34 – Саопштење са међународног скупа штампано у изводу**

1. Tanić M., Bačić G., Janković-Mandić LJ., Spatial and depth distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in soil around “Nikola Tesla A” coal-fired power plant, Serbia, The Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2016), Niš, Serbia, May 23-27, 2016, Book of Abstracts, p. 454
2. Tanić M., Janković-Mandić LJ., Daković M., Assessment of the potential risk to human health due to natural radionuclides in surface soil around “Nikola Tesla A” coal-fired power plant, Serbia, The Fifth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2017), Budva, Montenegro, June 12-16, 2017, Book of Abstracts, p. 299

## Д. Закључак Комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата мастер физикохемичара Милана Танића, приказани у овој докторској дисертацији представљају оригиналан и значајан научни допринос области физичке хемије, нарочито радиохемије и нуклеарне хемије, као и контроле животне средине. Постоје и практични доприноси изражени кроз процењени радијациони ризик и карактеризацију ризика од излагања тешким металима у земљишту у околини термоелектране „Никола Тесла А“ у Обреновцу.

Део резултата из дисертације кандидата је публикован у 2 (два) рада у међународним часописима, као и у виду саопштења у зборницима апстракта међународних научних скупова (2 саопштења).

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију мастер физикохемичара Милана Танића под насловом: **ПРОСТОРНА ДИСТРИБУЦИЈА РАДИОНУКЛИДА И ТЕШКИХ МЕТАЛА У ПРОФИЛИМА ЗЕМЉИШТА ИЗ ОКОЛИНЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ „НИКОЛА ТЕСЛА А“** и предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати и одобри њену јавну одбрану, чиме би били испуњени сви услови да кандидат стекне звање *доктор физикохемичких наука*.

У Београду, 08.09.2017.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

---

др Марко Даковић, доцент  
Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду

---

др Снежана Драговић, научни саветник  
Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

---

др Мирослав Кузмановић, ванредни професор  
Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду

---

др Љиљана Јанковић Мандић, научни сарадник  
Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду