

UTICAJ RADA TERMOELEKTRANE NA SADRŽAJ RADIONUKLIDA U ZEMLJIŠTU

J. Krneta Nikolić^{*1}, M. Janković¹, M. Rajačić¹, N. Sarap¹, I. Vukanac¹, D. Todorović¹ and G. Pantelić¹

¹*Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Institut za nuklearne nauke “Vinča” – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija*

Sažetak: Termoelektrane, kao potencijalni zagađivači koji imaju veliki uticaj na životnu okolinu, između ostalog imaju i obavezu sprovođenja redovne kontrole radioaktivnosti u životnoj i radnoj sredini. Radionuklidi koji su prirodno prisutni u uglju koji se koristi za proizvodnju električne energije, bivaju koncentrisani u produktima sagorevanja (pepeo, šljaka, otpadne vode itd.). Kako se ovi produkti odlažu u životnu sredinu, potrebno je redovno vršiti merenja kojima se kontroliše prisustvo prirodnih radionuklida u uzorcima iz životne okoline u blizini termoelektrana.

U ovom radu će biti prikazani rezultati ispitivanja sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu uzorkovanom na više lokacija u okolini TE “Nikola Tesla” A i TE “Kolubara” u periodu od 2016-2020. godine. Merenja su izvršena u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke “Vinča”, standardnom metodom gama spektrometrije nakon adekvatne pripreme uzoraka. Lokacije uzorkovanja su odabrane na osnovu Programa kontrole radioaktivnosti, tako da pokrivaju neposrednu okolinu termoelektrana, gde bi eventualni uticaj rada termoelektrane bio najuočljiviji. Takođe, uzorkovanje je vršeno i na lokacijama koje su udaljene od same termoelektrane, najčešće u naseljenim mestima, da bi se obezbedilo poznavanje lokalnog prirodnog nivoa sadržaja radionuklida u zemljištu. Izmerene koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u zemljištu su praćene tokom niza godina i vršeno je poređenje između uzoraka uzetih u blizini i onih uzetih dalje od termoelektrane, kao i sa uzorcima zemljišta iz drugih krajeva Srbije i podacima iz literature. Na taj način, obezbeđeno je optimalno praćenje uticaja rada termoelektrane na životnu sredinu.

Ključne reči: prirodna radioaktivnost, zemljište, gama spektrometrija

1. UVOD

Kontaminacija prirodne okoline radionuklidima i teškim metalima predstavlja jedan od većih i ozbiljnijih globalnih problema današnjice. Najveći doprinos količini radionuklida koji se prirodno nalaze u zemljištu potiče od osnovnog supstrata površinskog sloja Zemljine kore. Prirodni radioaktivni materijali (Naturally occurring radioactive materials (*NORM*)), koji sadrže prirodne radionuklide uranijumovog i torijumovog niza i kalijumov izotop ^{40}K , čine deo prirodnog nivoa zračenja [1]. Usled ubrzanog tehnološkog razvoja industrijskih procesa koji se primenjuju svuda oko nas, velika količina nus proizvoda industrije, rudarstva i energetike ulazi u životnu sredinu. Naročito se može uočiti degradacija zemljišta u modernom dobu, koja je uzrokovana ne samo širenjem urbanih sredina, izgradnjom industrijskih kompleksa i puteva, nego i deponovanjem otpadnih materija, pri čemu velike površine zemljišta bivaju izložene zagađenju i eroziji. Takođe, mnogi industrijski procesi kao rezultat imaju i tehnološki povišenu prirodnu radioaktivnost, odnosno situaciju gde se radionuklidi prirodno prisutni u sirovinama, dodatno koncentrišu u krajnjem proizvodu ili u otpadu. Ovo koncentrisanje prirodnih radionuklida može za posledicu imati izloženost stanovništva povišenim nivoima jonizujućeg zračenja [2]. Zbog ovih razloga, potencijalni zagađivači moraju biti identifikovani da bi se mogle preduzeti eventualne mere sprečavanja kontaminacije zemljišta.

Termoelektrane na uglj su prepoznate kao jedan od potencijalnih izvora kontaminacije zemljišta prirodnim radionuklidima. Sagorevanjem uglja u termoelektranama dolazi do oslobađanja i preraspodele niza zagađivača, sumpordioksida, azotnih oksida, ugljenmonoksida, toksičnih i teških metala, organskih čestica, radionuklida uranijumovog i torijumovog niza i kalijuma-40. Sagorevanjem uglja nastaje procentualno najveća emisija zagađujućih materija u poređenju sa bilo kojim drugim gorivom, što je posledica visokog sadržaja pepela u uglju. Svaka vrsta uglja sadrži određeni udeo uranijuma i torijuma, kao i potomke proizvedene njihovim radioaktivnim raspadom. Prilikom sagorevanja uglja u termoelektranama, dolazi do koncentrisanja prirodnih radionuklida tako da faktor obogaćenja za pepeo i šljaku može biti veliki. Ponašanje prirodnih radionuklida u procesu sagorevanja uglja zavisi od niza faktora, kao što su vrsta i karakteristike uglja, procenat pepela u uglju, kalorična vrednosti uglja, temperatura sagorevanja, hemijski i fizički oblik u kome se radionuklidi nalaze u uglju i drugi. Takođe u procesu sagorevanja dolazi do eliminacije organske komponente, tako da dolazi do povećanja koncentracije radionuklida u pepelu u odnosu na uglj [3]. Promena prirodne radioaktivnosti kao posledica rada termoelektrana, može da utiče i na lanac ishrane, zemljište - biljka - životinja - čovek. Zavisno od tipa zemljišta i hemijskog oblika radionuklida koji se nalazi u njoj, biljka

različito vezuje radionuklide. S obzirom na to, da u procesu rada termoelektrana na ugalj dolazi do značajnog zagađenja životne sredine, odnosno do tehnološkog povećanja prirodne radioaktivnosti, neophodna je redovna kontrola, kako bi se sistematski pratile promene prirodne radiaktivnosti i pružila mogućnost da se proceni uticaj termoelektrana na povećanje nivoa osnovnog zračenja u okolini [4].

Kontrola radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini termoelektrana, propisana je Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti (Sl. Glasnik R. S. 97/2011), kojim se uređuje način i uslovi sistematskog ispitivanja radioaktivnosti u životnoj sredini i u životnoj sredini u okolini nuklearnog objekta. [5]. Na osnovu ove zakoncke regulative i ugovora koji se potpisuje između Javnog preduzeća „Elektroprivreda Srbije“ u okviru redovnog monitoringa radioaktivnosti u radnoj i životnoj okolini termoelektrana „Nikola Tesla“ A i „Kolubara“, tokom dužeg perioda vršena su merenja različitih uzoraka radi procene spoljašnje izloženosti jonizujućem zračenju stanovništva, kao i zaposlenih u termoelektrani.

U ovom radu će biti prikazani rezultati ispitivanja sadržaja prirodnih radionuklida u zemljištu uzorkovanom na više lokacija u okolini TE “Nikola Tesla” A i TE “Kolubara” u periodu od 2016-2020. godine. Merenja su izvršena u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke “Vinča”.

2. METOD MERENJA

2.1. Uzorkovanje

Lokacije uzorkovanja su definisane Programom kontrole radioaktivnosti u životnoj i radnoj okolini za dve termoelektrane, TE “Nikola Tesla” A i TE “Kolubara” i iste su za ceo posmatrani period od 5 godina. Lokacije uzorkovanja su odabrana tako da pokrivaju neposrednu okolinu termoelektrana, gde bi eventualni uticaj rada termoelektrane bio najuočljiviji. Takođe, uzorkovanje je vršeno i na lokacijama koje su udaljene od same termoelektrane, najčešće u naseljenim mestima, da bi se obezbedilo poznavanje lokalnog prirodnog nivoa sadržaja radionuklida u zemljištu. U okolini TE “Nikola Tesla” A, uzorkovano je zemljište na 2 lokacije u blizini termoelektrane na lokaciji Topolice i na 12 lokacija na razlilitim udaljenostima od termoelektrane, u naseljima Urovci, Krtinska, Zabrežje i gradu Obrenovcu. U okolini TE “Kolubara”, uzeto je ukupno 4 uzorka zemljišta, od toga 1 u neposrednoj blizini termoelektrane, lokacija Veliki Cerljeni i 3 u naseljima Sokolovo, Stepojevac i Junkovac.

Pre uzorkovanja, površina sa koje se uzorak uzima je očišćena od rastinja, kamenčića ili drugih otpadaka koji se mogu naći na gornjem sloju. Uzorkovanje se izvršeno lopatom i ašovom. Najpre je ašovom ili lopatom zasečeno u zemljište tako da se ograniči površina terena sa koje će se uzeti

uzorak. U tu svrhu može da se koristi metalni ram određenih dimenzija. S obzirom na to da se uzorkovanje odnosilo na površinski sloj zemljišta, uzorci su uzeti sa dubine do 5 cm. Uzorci su zatim spakovani u kese i adekvatno obeleženi.

2.2. Gama spektrometrija uzoraka

Postupak merenja uzoraka zemljišta započinje adekvatnom pripremom. Postupak pripreme se sastoji od čišćenja ukupne količine uzorka od prisutnih kamenčića, biljaka i drugih nečistoća, zatim sušenja na 105°C, prosejavanja i odmeravanja u geometriju merenja – marineli posude od 0,5 l. Ovaj postupak se vrši u skladu sa metodom IAEA Technical Report Series No.295 – Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - Section 5. Collection and Preparation of Samples- page 27 (5.2.3 Soil) [6]. Uzorci se zatim zatapaju pčelinjim voskom i ostavljaju u laboratoriji na period od najmanje 28 dana, da bi se postigla radioaktivna ravnoteža između radona i njegovih potomaka.

Nakon isteka roka za uspostavljanje ravnoteže, uzorci se stavljaju na merenje. Merenje je izvršeno na poluprovodničkim High Purity Germanium (HPGe) detektorima relativne efikasnosti 18% i 20% proizvođača Canberra. Rezolucija detektora je 1,8 keV na energiji od 1332 keV koja potiče od ^{60}Co . Kalibracija efikasnosti detekcije je urađena korišćenjem sertifikovanog standarda u marineli geometriji, proizvođača CzechMetrology Institute Praha, Type CBSS 2, Cert. No.1035-SE-40845-17, ukupne aktivnosti 80.63 kBq na 22.12.2017.godine sa mešavinom radionuklida čije gama energije pokrivaju ceo opseg energija u kojem se merenje vrši (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{51}Cr , ^{210}Pb). Spektri merenih uzoraka su snimani i analizirani pomoću programa Genie2000 (Canberra). Merenje uzoraka je trajalo 60 000 s. Radionuklidi koji su detektovani su prirodni radionuklidi uranijumovog i torijumovig niza (^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra i ^{232}Th), prirodni radionuklid ^{40}K i proizvedeni radionuklid ^{137}Cs .

Koncentracija aktivnost pojedinačnih radionuklida, izražena u Bq/kg, određena je na osnovu sledeće jednačine:

$$A = \frac{N}{t \cdot m \cdot \varepsilon \cdot P_{\gamma}} \quad (1)$$

gde je N broj detektovanih fotona na određenoj energiji E , umanjen za doprinos prirodnog nivoa zračenja, t je dužina trajanja merenja, m je masa uzorka, ε je efikasnost detekcije na određenoj energiji E i P_{γ} je verovatnoća emisije fotona energije E .

Merna nesigurnost merenja je izražena kao proširena merna nesigurnost sa faktorom $k=2$, koji za normalnu raspodelu rezultata odgovara nivou poverenja od 95%. Proširena merna nesigurnost definisana je sledećom jednakošću [7]:

$$u(A) = 2 \cdot \sqrt{(\delta N)^2 + (\delta \varepsilon)^2 + (\delta m)^2} \quad (2)$$

gde je δN relativna merna nesigurnost broja detektovanih fotona, $\delta \varepsilon$ je relativna merna nesigurnost efikasnosti detekcije i δm je relativna merna nesigurnost izmerene mase uzorka. Doprinosi mernoj nesigurnosti koje potiču od merenja vremena i verovatnoće za emisiju fotona su zanemarljivi. Za sve uzorke i sve detektovane radionuklide, merna nesigurnost je bila reda veličine 5%, osim za ^{238}U i ^{235}U gde su merne nesigurnosti bile veće u nekim slučajevima.

Na osnovu dobijenih vrednosti koncentracije aktivnosti detektovanih radionuklida, određena je i jačina apsorbovane doze i na osnovu ovog rezultata, godišnja efektivna doza koja potiče od aktivnosti radionuklida u zemljištu. Jačina apsorbovane doze na 1 m visine iznad tla, određena je na osnovu sledeće jednakosti [8]:

$$\dot{D}(\text{nGyh}^{-1}) = 0.462 \cdot A_{Ra} + 0.604 \cdot A_{Th} + 0.0417 \cdot A_K \quad (3)$$

gde su A_{Ra} , A_{Th} i A_K koncentracije aktivnosti radijuma, torijuma i kalijuma u zemljištu, respektivno. Na osnovu ovog podatka, određena je godišnja efektivna doza, korišćenjem sledeće jednakosti [8]:

$$D_E(\text{mSv}) = 0.7 \text{ SvGy}^{-1} \times 0.2 \times 365 \times 24 \times \dot{D} \quad (4)$$

Takođe, da bi se što bolje sagledala distribucija radionuklida u zemljištu, određen je i odnos $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ i $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$. Kvantitativna mera radioaktivne ravnoteže u jednom radioaktivnom nizu koji je prisutan u prirodi se opisuje koeficijentom ravnoteže. Koeficijent ravnoteže je odnos aktivnosti nekog radionuklida i radionuklida koji mu prethodi ili sledi u nizu [9]. Ako ravnoteža u nizu nije narušena, ovaj odnos će biti jednak ili blizak jedinici. Na osnovu toga, odnos koncentracije aktivnosti $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ bi trebalo da bude jednak ili blizak 1. Ipak ovaj odnos je često narušen usled geohemijskih procesa u zemljištu [10]. Prosečna vrednost ovog odnosa prema UNSCEAR 2000 iznosi 1,03 [8].

Prirodni odnos aktivnosti $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ iznosi 0,046 i ne sme biti narušen značajno ni u jednom procesu koji ne podrazumeva obogaćivanje uranijuma ili eksploataciju uranijumove rude.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Raspon izmerenih vrednosti koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida i proizvedenog radionuklida ^{137}Cs u svim uzorcima zemljišta za ceo period od 5 godina je dat u Tabeli 1. Takođe, u tabeli 1 su predstavljene maksimalne vrednosti koncentracije radionuklida izmerene u svim

uzorcima uzetim u blizini termoelektrane i maksimalne vrednosti izmerene u uzorcima uzetim sa udaljenih lokacija.

Tabela 1. Maksimalne i minimalne vrednosti koncentracije aktivnosti svih radionuklida i maksimalne vrednosti izmerene u uzorcima zemljišta uzetim u blizini i udaljeno od termoelektrane. Vrednosti se odnose na ceo period od 2016. do 2020. godine.

	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³⁵ U	¹³⁷ Cs
Minimalna vrednost svih uzoraka [Bq/kg]	18	18,6	230	17	0,73	0,5
Maksimalna vrednost svih uzoraka [Bq/kg]	65	62	740	72	4,7	197
Maksimalna vrednost izmerena u blizini TE [Bq/kg]	65	57	690	72	4,7	197
Maksimalna vrednost izmerena u dalje od TE [Bq/kg]	53	62	740	61	3,6	55

Kako se može videti iz Tabele 1, raspon koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida je u rangu izmerenih vrednosti u drugim krajevima Srbija i ne odstupa od vrednosti iz literature [8, 11]. U slučaju prirodnih radionuklida, maksimalne izmerene vrednosti blizu i daleko od termoelektrana su približno jednake i ne može se ustanoviti da je rad termoelektrane značajnije uticao na sadržaj radionuklida u zemljištu. U slučaju ¹³⁷Cs, maksimalna vrednost od 197 Bq/kg je izmerena 2020. godine na lokaciji Veliki Crljeni, u blizini termoelektrane „Kolubara“. Varijacije u vrednostima koncentracije ovog radionuklida se i očekuju s obzirom na to da je njegovo poreklo posledica akcidenta na nuklearnom postrojenju u Černobilju, koje nije vezano za tehnološki proces u termoelektranama. Na istoj lokaciji u prethodnim godinama, kao i na drugim lokacijama u istom periodu, nije detektovana visoka vrednost koncentracije aktivnosti ovog radionuklida

Na osnovu izmerenih vrednosti koncentracije aktivnosti, određen je i odnos ²³⁸U/²²⁶Ra. Ovaj odnos se kretao u rasponu od 0,67 do 1,59. Srednje vrednosti po godinama su iznosile 1,04, 1,01, 1,13, 1,13 i 1,02 za 2016., 2017., 2018., 2019. i 2020. godinu respektivno. Kako se može uočiti, srednje vrednosti odnosa ²³⁸U/²²⁶Ra ne odstupaju značajno od srednje vrednosti ovog odnosa koji se nalazi u [8]. Maksimalna vrednost ovog odnosa u uzorcima uzetim u blizini elektrane je bio 1,33, dok je maksimalna vrednost u uzorcima sa lokacija udaljenih od termoelektrane bila 1,59. Minimalna vrednost odnosa ²³⁸U/²²⁶Ra u uzorcima uzetim u blizini elektrane je bio 0,87 dok je minimum za udaljene lokacije bio 0,66. Ustanovljeno je da vrednosti odnosa ²³⁸U/²²⁶Ra zavise od sadržaja vode u zemljištu. Visok sadržaj vode dovodi do intenzivnog ličinga uranijuma iz površinskog u dublje slojeve zemljišta, dok je radijum relativno stabilan i dugo se zadržava u konstantnoj koncentraciji u površinskom sloju [10]. Na osnovu toga se može zaključiti da su vrednosti odnosa ²³⁸U/²²⁶Ra koje su < 1 uzrokovane viskim saržajem vode u površinskom sloju zemljišta, dok su vrednosti koje su iznad 1, uzete sa lokacija sa manjom količinom vode i sa manje izraženom erozijom zemljišta.

Na osnovu izmerenih vrednosti koncentracije aktivnosti, određen je odnos $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$. Ovaj odnos se kretao u rasponu od 0,035 do 0,075. Uzimajući u obzir i merne nesigurnosti rezultata korišćenih za dobijanje ovog odnosa, može se zaključiti da prirodni odnos uranijumovih izotopa ne odstupa značajno od teorijske vrednosti od 0,046 te se može smatrati da nije narušen.

U Tabeli 2 predstavljene su izračunate godišnje efektivne doze na svim lokacijama i u svim godinama od 2016. do 2020.

Tabela 2. Godišnja efektivna doza na svim lokacijama u periodu od 2016. do 2020. godine.

Lokacija		Godišnja efektivna doza [mSv]				
		2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
U blizini TE "Nikola Tesla" A	Topolice1	0,092	0,082	0,074	0,075	0,052
	Topolice2	0,045	0,092	0,087	0,082	0,077
Dalje od TE "Nikola Tesla" A	Urovci1	0,087	0,071	0,068	0,075	0,089
	Urovci2	0,073	0,065	0,076	0,105	0,067
	Krtinska1	0,1	0,088	0,089	0,078	0,086
	Krtinska2	0,063	0,073	0,07	0,097	0,084
	Rvati1	0,07	0,096	0,069	0,071	0,092
	Rvati2	0,057	0,076	0,08	0,069	0,083
	Obrenovac1	0,064	0,093	0,053	0,073	0,067
	Obrenovac2	0,079	0,058	0,07	0,078	0,07
	Obrenovac3	0,061	0,083	0,049	0,079	0,067
	Obrenovac4	0,051	0,053	0,069	0,089	0,087
	Zabrežje1	0,039	0,098	0,081	0,101	0,086
	Zabrežje2	0,073	0,057	0,046	0,04	0,061
U blizini TE "Kolubara"	Veliki Crljeni	0,091	0,072	0,072	0,092	0,101
Dalje od TE "Kolubara"	Sokolovo	0,076	0,086	0,086	0,102	0,086
	Stepojevac	0,092	0,073	0,073	0,085	0,091
	Junkovac	0,095	0,088	0,088	0,099	0,103
Min		0,039	0,053	0,046	0,04	0,052
Max		0,1	0,098	0,089	0,105	0,103

Kako vidimo iz Tabele 2, ne uočavaju se značajne razlike u godišnjoj efektivnoj dozi na različitim lokacijama. Maksimalna godišnja efektivna doza, na lokacijama u blizini termoelektrane je iznosila 0,101 mSv, dok je maksimalna vrednost efektivne doze na lokacijama udaljenim od termoelektrane iznosila 0,105 mSv. Kako je na osnovu Pravilnika granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i mernjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima (Sl. Glasnik R. S. 86/2011 i 50/2018) propisano maksimalno godišnje izlaganje stanovništva spoljašnjem jonizujućem zračenju od 1 mSv za godinu dana [12], vidimo da je doprinos ovoj vrednosti od izlaganja jonizujućem zračenju koje potiče od radionuklida prisutnih u zemljištu, približno samo 10%. I na osnovu ovog podatka se ne može uočiti značajan uticaj rada termoelektrane na životnu okolinu.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani rezultati merenja sadržaja prirodnih radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U i proizvedenog radionuklida ^{137}Cs u zemljištu u okolini termoelektrana “Nikola Tesla” A i “Kolubara”, koja su izvršena u period od 2016. do 2020. godine. Koncentracije aktivnosti svih detektovanih radionuklida bile su u granicama koje su uobičajene za zemljište u Srbiji kao i za zemljište u drugim delovima Evrope. Na osnovu rezultata merenja, određena je jačina apsorbovane doze na 1 m iznad tla i godišnja efektivna doza. Godišnja efektivna doza nije premašila približno 10% ukupne dozvoljene efektivne doze od 1 mSv za godinu dana. Takođe, nisu uočena značajna odstupanja u koncentraciji aktivnosti radionuklida niti godišnje efektivne doze na lokacijama blizini i daleko od termoelektrane. Na osnovu svega prikazanog, možemo zaključiti da rad posmatrane dve termoelektrane ne utiče značajno na kvalitet zemljišta u okolini, sa stanovišta zaštite od zračenja. Takođe, s obzirom na to da se ovakav vid monitoringa vrši redovno svake godine, podaci prokipljeni u prethodnom period mogu da posluže kao baza sa kojom se sva buduća merenja mogu upoređivati. Konstantno praćenje radioaktivnosti u životnoj i radnoj sredini termoelektrana je vrlo koristan metod na osnovu koga se može u svakom trenutku pratiti eventualno zagađenje prirodno radioaktivnim materijalima koje bi bilo prouzrokovano radom termoelektrane.

5. ZAHVALNICA

Istraživanje je finansireno od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na osnovu Aneksa ugovora, čiji je evidencioni broj 451-03-9/2021-14/ 200017.

LITERATURA

- [1] Maxwell, O., Wagiran, H., Ibrahim, N., Lee, S., Sabri, S., Comparison of activity concentration of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in different Layers of subsurface Structures in Dei-Dei and Kubwa, Abuja, north central Nigeria. *Radiation Physics and Chemistry*, 91 (2013) pp. 70-80
- [2] Montaña, M., Camacho, A., Devesa, R., Vallés, I., Céspedes, R., Serrano, I., Blázquez, S., Barjola, V., The presence of radionuclides in waste water treatment plants in Spain and their effect on human health. *J Clean Prod.* 60 (2013) pp. 77-82
- [3] Kathren R. L., Radioactivity in the environment, Sources, Distribution and Surveillance, Harwood academic publishers, New York, 1986.
- [4] Sarap N., Krneta Nikolic J. Meseldzija S., Quantification of Radioisotopic Pollution of Soil from Coal Fired Power Plant Surrounding, *Romanian Journal of Physics* 60 (2020) pp. 802
- [5] Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti, Službeni Glasnik Republike Srbije 97/2011
- [6] IAEA Technical Reports Series No.295 – Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - Section 5. - Collection and Preparation of Samples, IAEA, 1989. Vienna, Austria

- [7] IAEA-TECDOC-1401, Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements IAEA, 2004. Vienna, Austria
- [8] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes, UN, 2000, New York
- [9] Vertman E. G., Karatayev V. D., Levitskiy V. M., Ergashev D. E., A study of the surface distribution of uranium isotopes over the territory of Tomsk District. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo Universiteta*, 305(3), (2002) pp. 45–55
- [10] Mehra, R., Singh, M., Estimation of radiological risk due to concentration of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soils of different geological origins in northern India, *Turkish Journal of Physics* 36 (2012), pp. 289 –297
- [11] Izveštaj o realizaciji sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u zemljištu u Republici Srbiji, Institut Vinča, 2018., Beograd
- [12] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima i mernjima radi procene nivoa izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni Glasnik Republike Srbije 86/11 i 50/18