

Radioaktivnost u uzorcima mineralnog đubriva iz uvoza analiziranim tokom 2023. godine

Radioactivity in samples of mineral fertilizer from imports analyzed during 2023

Ana A. Čučulović^{1*}, Jelena N. Stanojković², Rodoljub D. Čučulović³

^{1,2}Univerzitet u Beogradu, Institut za primenu nuklearne energije - INEP, Banatska 31b, Zemun, Srbija / University of Belgrade, Institute for the Application of Nuclear Energy - INEP, Banatska 31b, Zemun, Serbia

³Univerzitet MB, Poslovni i pravni fakultet, Teodora Dražera 27, 11000 Beograd, Srbija / University of MB, Faculty of Business and Law, Teodora Dražera 27, 11000 Belgrade, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 28.03.2024, Rad prihvaćen / Accepted: 07.05.2024.

Sažetak: Tokom 2023. u Institutu za primenu nuklearne energije - INEP, granična fitosanitarna inspekcija, poslala je na gamaspektrometrijsko ispitivanje 514 uzoraka mineralnog đubriva različitog sastava. U svim izmerenim uzorcima zapaženi su različiti nivoi aktivnosti prirodnih (⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra, ²³⁸U) i veštački proizvedenog radionuklida (¹³⁷Cs), pri čemu su nivoi aktivnosti ¹³⁷Cs u izmerenim uzorcima bili veoma niski (zanemarljivi). U zavisnosti od tipa i sastava đubriva zabeleženi su različiti nivoi aktivnosti prirodnih radionuklida. Od ukupnog broja ispitanih uzoraka 48 uzorka su bila NP tipa, a od toga su četiri uzorka imala nivo aktivnosti ²³⁸U viši (1529, 1674, 1683 i 1967 Bq/kg) od dozvoljenog nivoa aktivnosti (1000 Bq/kg) koji je propisan Pravilnikom, zbog čega je zabranjen uvoz ovih uzoraka u našu zemlju.

Ključne reči: Mineralno đubrivo, Radionuklidi, Gamaspektrometrija.

Abstract: During 2023, at the Institute for the Application of Nuclear Energy - INEP were sent 514 samples of mineral fertilizers of different composition for gamma spectrometry analyzing by border phytosanitary inspection. Different activity levels of natural (⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra, ²³⁸U), and artificially produced radionuclide (¹³⁷Cs) were present in all measured samples, whereby the activity levels of ¹³⁷Cs in the measured samples were very low (negligible). Depending on the type and composition of the fertilizer, different activity levels of natural radionuclides were recorded. Out of the total number of tested samples, 48 samples were of the NP type, and of those, four samples had a ²³⁸U activity level higher (1529, 1674, 1683 and 1967 Bq/kg) than the allowed activity level (1000 Bq/kg) prescribed by the Rulebook, and the import of these samples into our country were prohibited.

Keywords: Mineral fertilizer, Radionuclides, Gamaspectrometry.

¹orcid.org/0000-0001-9315-4559, e-mail: anas@inep.co.rs

²orcid.org/0000-0003-3784-842X, e-mail: jelenas@inep.co.rs

³orcid.org/0000-0003-4472-0424, e-mail: rodoljub_cuculovic@yahoo.com

UVOD / INTRODUCTION

Čovečanstvo se u XXI veku suočava s problemom gladi i nedostatka hrane, što je posledica povećanja broja stanovnika, izraženih klimatskih promena, požara, poplava, ratova i mnogobrojnih drugih katastrofalnih pojava s kojima se društvo svakodnevno susreće.

Justus von Liebig je davne, 1840. godine prikazao rezultate svojih istraživanja o značaju nutrijenata za rast biljaka u Britanskom naučnom udruženju i postavio temelje savremene poljoprivrede, odnosno proizvodnje mineralnih đubriva. U drugoj polovini XIX veka u svetu je počela industrijska proizvodnja mineralnih đubriva.

Prva fabrika mineralnog đubriva – superfosfata (Zorka) u Srbiji s kapacitetom proizvodnje od 60.000 tona godišnje je sagrađena u Subotici 1906. godine. Potrošnja đubriva 1922. godine u Vojvodini i Slavoniji bila je veoma skromna, svega 1 kg/ha. Poslednjih 100 godina upotreba industrijski dobijenih đubriva se konstantno povećava (Janković, 1997). U Srbiji se uvozi NPK đubrivo različite formulacije i koristi se za osnovno meliorativno i predsetveno đubrenje.

Prema poreklu, đubriva se dele na: organska (sastavljena su od obogaćene organske materije, biljnog ili životinjskog porekla) i neorganska (mineralna). Neorganska đubriva su sastavljena od veštački dobijenih materija i minerala. Mogu biti: čvrsta, vodotopiva i s kontrolisanim otpuštanjem hemijskih elemenata. Neorganska đubriva se dele na prosta (azotna, fosforna i kalijumova, ređe kalcijumova) i složena (proizvode se mešanjem prostih) koja se dele na: mešana i kompleksna (Sarić i dr., 1993). Neorganska đubriva sadrže makro i mikronutrijente. Azot, fosfor i kalijum su primarni makronutrijenti, troše se u većim količinama i prisutni su u tkivu biljaka. Kalcijum, sumpor i magnezijum su sekundarni makronutrijenti, a bor, hlor, mangan, gvožđe, cink, bakar, molibden i selen su mikronutrijenti (elementi u tragovima): Mnoga mineralna đubriva ne zamenjuju elemente u tragovima koji se nalaze u zemljištu (Kastori, 1989; Sarić i dr., 1993).

Ishrana biljaka predstavlja jednu od najvažnijih agrotehničkih mera u biljnoj proizvodnji. Kalijum je biljkama neophodan za osnovne ćelijske funkcije koje indirektno podržavaju rast biljke uključujući transport vode i hranjivih materija, fotosintezu, stomalnu regulaciju i respiraciju. Azot je element koji najviše utiče na prinos biljaka, zbog toga je blagovremena, precizna i izbalansirana ishrana azotom posebno važna za sve biljne vrste. Fosfor je uključen u većinu metaboličkih procesa u biljkama. Najveća potreba za fosforom kod biljaka se javlja u

najranijim fazama njihovog razvoja, tokom formiranja korenovog sistema, kao i u fazi cvetanja i formiranja plodova (Kastori, 1989). Prekomerna ili premala količina đubriva može da bude štetna. Prekomerna količina đubriva može da dovede do sagorevanja biljnih kultura (sušenje korena, oštećenje ili čak odumiranje biljke).

Za naša istraživanja su najinteresantnija fosforna đubriva koja se upotrebljavaju u biljnoj proizvodnji u različitim količinama (od 50 do 100 kg fosfora po hektaru godišnje) u zavisnosti od snabdevenosti zemljišta fosforom i potreba biljnih vrsta. Fosforna đubriva se proizvode iz fosfornih ruda: apatita i fosforita. Navedene rude su rasprostranjene u Jordanu, Izraelu, Maroku, Togou, Zapadnoj Sahari, Ruskoj Federaciji i USA. Apatiti su minerali vulkanskog porekla opšte formule $Ca_3(PO_4)_2CaX_2$, gde je X -OH, -Cl ili -F. Deo kalcijuma može biti zamenjen stroncijumom, barijumom, magnezijumom ili nekim drugim elementom. Fosforiti su rude sedimentnog porekla opšte formule $Ca_3(PO_4)_2$ nastale taloženjem kalcijum fosfata iz morske vode. Sadrže dosta kvarca, kalcita, dolomita i alumosilikata. Fosforit se u proizvodnji mineralnog đubriva koristi kao polazna sirovina u proizvodnji fosforne kiseline i kao polazna sirovina samih đubriva različitih tipova (Dangić, 1995). U zavisnosti od geografskog porekla rude od kojih se proizvode i hemijskog sastava đubriva u njima varira nivo aktivnosti prirodnih radionuklida. Proizvodnjom fosfornih mineralnih proizvoda iz fosfornih ruda preko 90% urana ostaje u finalnim proizvodima (Ajdačić i dr., 1979; Mitrović i dr., 2011).

U zemljama gde je razvijena proizvodnja fosforne kiseline radi se na problematici izdvajanja urana iz nje, bilo iz ekonomsko-tehničkih, bilo iz ekoloških razloga. U svetu su poznata tri ekstrakciona postupka izdvajanja urana koja se koriste u komercijalnoj eksploataciji: ORRA, ORAR i DENTRA-TORO, a nazive su dobili po ekstragensima. Postupak pod nazivom DENTRA-TORO je primenjivan i kod nas u Srbiji u poluindustrijskom postrojenju koje je bilo locirano u neposrednoj blizini fabrike IHP Prahovo. Ovim postupkom uran je bio izdvajan iz fosforne kiseline s efikasnošću od 90 do 95% (Babić i dr., 1993).

Radioaktivne materije iz mineralnih đubriva koja se bacaju na zemljište, mogu biti usvojene od strane gajenih biljaka, kako nadzemnim delovima biljke, tako i korenovim sistemom. Usvajanje prirodnih radionuklida iz fosfatnih đubriva od strane biljaka zavisi od mnogo faktora: vrste biljke, fizičko-hemijskih osobina zemljišta (kapaciteta adsorpcije i sadržaja razmenljivih katjona, mehaničkog sastava i kiselosti zemljišta, sadržaja organskih materija i

radionuklida u zemljištu, temperature zemljišta, sadržaja vlage, mikrobiološkog sastava), bioloških osobina biljaka, fizičko hemijskih osobina radionuklida i karakteristika primenjenih agrotehničkih mera (Stojanović i dr., 1993; Čučulović i dr., 2022).

Upotreba fosfornih mineralnih đubriva u poljoprivredi predstavlja najveći antropogeni izvor ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{238}U u zemljištu (Stojanović i dr., 1993; Mitrović i dr., 2013; Hamamo i dr., 1995; Abbady i dr., 2005; Bolca i dr., 2007; Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida, 2018). Istraživanja su pokazala da radionuklidi koji se unesu u zemljište putem mineralnih đubriva koja sadrže fosfor, mogu dovesti do povećanja nivoa osnovnog zračenja u određenim regionima i mogu predstavljati značajne lokalne rizike izlaganja stanovništva jonizujućem zračenju (Bolca i dr., 2007).

Na osnovu podataka da se u svetu godišnje prerađuje oko 135 miliona tona fosfornih ruda, procenjuje se da se godišnje može očekivati unos od 21000 t urana u životnu sredinu, što predstavlja oko 73% od ukupnog unosa (Mitrović i dr., 2011; Babić i dr., 1993; Stojanović i dr., 1993; Mitrović i dr., 2013).

Od nekadašnjeg ozbiljnog proizvođača veštačkih đubriva, Srbija, je postala ozbiljan uvoznik, jer su mnoge fabrike veštačkog đubriva vremenom prestale da rade. Godine 2023. u Srbiji je jedini proizvođač veštačkog NPK đubriva bila kompanija Elixir Group. U Srbiju se najčešće uvoze: amofos (N-P) i NPK đubriva (N-P-K) različite formulacije.

Prilikom uvoza u Republiku Srbiju obavezna je gamaspektrometrijska analiza mineralnih i organskih đubriva koja u svom sastavu imaju makrohranjivi element fosfor. Đubriva koja se proizvode u našoj zemlji ne podležu obaveznoj kontroli pre upotrebe (Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida, 2018). Prema Pravilniku o granicama sadržaja prirodnih radionuklida u mineralnim fosfatnim đubrivima koja sadrže makrohranjivi element fosfor, a koja se kao takva stavljaju u promet dozvoljeni nivo aktivnosti za ^{238}U je 1600 Bq/kg za mineralna đubriva i 3200 Bq/kg za sirovine za proizvodnju mineralnih đubriva, a za ^{226}Ra 1000 Bq/kg. Dozvoljeni nivo aktivnosti za ^{40}K je 27.000 Bq/kg i to za mineralna đubriva koja sadrže makrohranjive elemente K i/ili P, a koja se kao takva stavljaju u promet i primenjuju kao i sirovine za njihovu proizvodnju. Prema Pravilniku uzorci đubriva u kojima je izmereni nivo aktivnosti prirodnih radionuklida bio iznad navedenih vrednosti ne mogu da se uvezu u našu zemlju (Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida, 2018).

Cilj ovog rada je da se prikaže nivo aktivnosti prirodnih (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U) i veštački proizvedenog radionuklida (^{137}Cs) u mineralnim đubrivima iz uvoza.

1. MATERIJALI I METODE RADA / MATERIALS AND METHODS

U 2023. godini u Institutu za primenu nuklearne energije INEP, praćeni su nivoi aktivnosti veštačkog (^{137}Cs) i prirodnih (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U) radionuklida u uzorcima đubriva koja sadrže makrohranjivi element fosfor i koja su uvezena iz: Ruske Federacije, Španije, Grčke, Francuske, Italije i drugih zemalja.

Uzorci đubriva (514) su bili uzorkovani od strane granične fitosanitarne inspekcije i poslani na analizu u INEP, gde su homogenizovani, upakovani u Marinelli posude zapremine 1L i mereni. Gamaspektrometrijska merenja uzoraka đubriva izvršena su prema standardnoj metodi Međunarodne agencije za atomsku energiju. Za određivanje nivoa aktivnosti radionuklida korišćen je poluprovodnički germanijumski detektor visoke čistoće n tipa, proizvođača ORTEC-AMETEK, USA. Detektor sa 8192 kanala ima rezoluciju 1,65 keV i relativnu efikasnost od 34 % na 1,33 MeV za ^{60}Co . Uzorci su mereni do 60000 sekundi i analiza spektra je vršena pomoću softvera Gamma Vision 32 (ORTEC, 2001). Nivo aktivnosti ^{238}U određen je na osnovu gama linija: ^{234}Th (63 i 93 keV) i ^{234}Pa (1000keV), ^{226}Ra na osnovu gama linija ^{214}Bi (609, 1120 i 1764 keV) i ^{214}Pb (295 i 352 keV), a ^{232}Th na osnovu gama linija ^{228}Ac (338, 911 i 969 keV). Nivo aktivnosti ^{40}K određen je na osnovu gama linije na 1460,8 keV, a ^{137}Cs na 661,6 keV (Boukhenfouf & Boucenna, 2011).

Kalibracija detektora je izvršena korišćenjem dva različita radioaktivna referentna materijala u Marinelli geometriji: silikonska smola (Češki metrološki institut Prag (CMI Praha), sertifikat br. 1035-SE-40517-17, tip MBSS 2 (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{51}Cr), 490,0 g, gustine: $0,98 \pm 0,01 \text{ gcm}^{-3}$, zapremine $500,0 \pm 5,0 \text{ cm}^3$, referentni datum 1.9.2017); silikonska smola (Češki metrološki institut Prag (CMI Praha), sertifikat br. 1035-SE-40661/14, tip MBSS 2 (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{51}Cr), 490,0 g, gustine: $0,98 \pm 0,01 \text{ gcm}^{-3}$, zapremine $500,0 \pm 5,0 \text{ cm}^3$, referentni datum 1.10.2014); silikonska smola (Češki metrološki institut Prag (CMI Praha), sertifikat br. 9031-OL-420/10, tip MBSS 2 (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{203}Hg), 985,0 g, gustine: $0,985 \pm 0,01 \text{ gcm}^{-3}$, zapremine $1000,0 \pm 10,0 \text{ cm}^3$, referentni datum 16.8.2010).

Ukupna merna nesigurnost uključuje mnoge elemente i ne iznosi više od 20%.

Kontrola kvaliteta gamaspektrometrijskog merenja na osnovu kojih je urađena analiza ispitivanih uzoraka izvršena je pomoću kalibracionog standarda i referentnih materijala, kao i redovnim godišnjim učestvovanjem u međulaboratorijskim poređenjima u organizaciji Međunarodne atomske agencije za jonizujuća zračenja.

2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

U radu su prikazani nivoi aktivnosti radionuklida u uzorcima đubriva (514) iz uvoza. U svim uzorcima bili su prisutni i prirodni (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U) i

veštački radionuklid (^{137}Cs). U INEP je tokom 2023. godine primljeno 122 uzorka sirovog fosfata, 86 uzorka NPK đubriva (27 formulacije 15-15-15, 33 formulacije 16-16-16 i 26 formulacije 20-20-20). Izmereno je i 128 uzorka NPK đubriva u kojima je izmeren visok nivo aktivnosti ^{40}K (do 8983 Bq/kg), ali nizak ^{226}Ra i ^{238}U . U 11 uzoraka đubriva nivo aktivnosti ^{40}K je bio manji od 500 Bq/kg (do 469 Bq/kg), dok je u 47 uzorka đubriva nivo aktivnosti ^{40}K bio viši od 1000 Bq/kg (do 13132 Bq/kg). Uvezeno je i 48 uzorka NP đubriva i 72 uzorka PK đubriva.

U Tabeli 1 prikazana je vrsta ispitivanog đubriva, minimalne i maksimalne vrednosti nivoa aktivnosti radionuklida (Bq/kg), srednji nivo aktivnosti radionuklida (Bq/kg), kao i standardna devijacija.

Tabela 1. Vrsta analiziranog đubriva, minimalne i maksimalne vrednosti nivoa aktivnosti radionuklida (Bq/kg), srednji nivo aktivnosti radionuklida (Bq/kg), kao i standardna devijacija (sd).

Table 1. Type of analyzed fertilizer, minimum and maximum values of radionuclide activity level (Bq/kg), mean radionuclide activity level (Bq/kg), as well as standard deviation (sd)

VRSTA ĐUBRIVA	Min Max Sr. vred.±sd	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{238}U
		Bq/kg				
Sirovi fosfat	Min	0,3	8,0	122	2,0	114
	Max	3,8	85,0	933	200	998
	Sr. vred.±sd	1,0±0,5	25,3±13,6	486±176	14,9±17,9	536±219
NPK 15-15-15	Min	0,4	1585	10,0	4,0	16,0
	Max	2,3	4065	632	17,0	604
	Sr. vred.±sd	0,8±0,5	3005±748	195±177	9,0±3,3	274±192
NPK 16-16-16	Min	0,6	2071	14,0	9,0	17,0
	Max	1,8	4810	52,0	42,0	159
	Sr. vred.±sd	0,9±0,3	3196±660	22,8±6,5	22,8±7,4	51,1±32,5
NPK 20-20-20	Min	0,3	26,0	10,0	2,0	13,0
	Max	1,6	5488	256	18,0	653
	Sr. vred.±sd	0,7±0,3	3518±1637	40,5±70,7	8,5±4,4	87,3±170
NPK s malim udelom ^{226}Ra i ^{238}U	Min	0,1	431	5,0	3,0	5,0
	Max	4,5	8983	88,0	69,0	262
	Sr. vred.±sd	0,8±0,6	3327±1939	28,8±21,4	9,5±7,9	61,5±52,2
NPK s malim udelom ^{40}K	Min	0,3	5,0	6,0	3,0	7,0
	Max	0,7	469	335	22,0	518
	Sr. vred.±sd	0,5±0,2	135±179	169±141	6,8±5,4	236±221
NPK s velikim udelom ^{40}K	Min	0,5	1098	93	5,0	5,0
	Max	3,9	13132	750	108	1332
	Sr. vred.±sd	1,1±0,6	3852±2244	200±125	18,8±20,8	331±241
NP đubrivo*	Min	0,2	5,0	5,0	2,0	5,0
	Max	3,3	102	765	24,0	1967
	Sr. vred.±sd	0,5±0,5	20,5±17,0	279±192	5,8±3,7	612±459
PK đubrivo	Min	0,2	95,0	5,0	1,0	5,0
	Max	3,4	1354	41,0	16,0	134
	Sr. vred.±sd	0,6±0,5	707±353	15,1±7,8	7,1±3,5	27,0±19,6

*Napomena: 4 uzorka su zabranjena za uvoz

Gotovo petina ispitivanih uzoraka iz uvoza su u 2023. godini bili uzorci sirovog fosfata, koji se koristi kao sirovina za proizvodnju đubriva na bazi fosfora. Sirovi fosfat se smatra neobnovljivim resursom i njegova nestašica bi mogla značajno da utiče na proizvodnju hrane (Salkunić i dr., 2023).

Iz Tabele 1 sledi da je nivo aktivnosti ^{137}Cs u svim izmerenim uzorcima sirovog fosfata nizak i zanemarljiv. Nizak je i nivo aktivnosti ^{40}K (8-85 Bq/kg). U našim prethodnim istraživanjima nivoi aktivnosti ^{40}K su bili od 355 Bq/kg do 4290 Bq/kg (Čučulović i dr., 2016). Prema Pravilniku nivoi aktivnosti ^{226}Ra (933 Bq/kg) i ^{238}U (998 Bq/kg) u uzorcima sirovog fosfata su značajni. Nivoi aktivnosti ^{226}Ra i ^{238}U u uzorcima sirovog fosfata iz uvoza 2023. godine su znatno niži od nivoa aktivnosti ^{226}Ra i ^{238}U u uzorcima uvezenim od 2009 do 2014. godine (Čučulović i dr., 2016). Maksimalni nivo aktivnosti ^{232}Th je 200 Bq/kg i u odnosu na nivo aktivnosti u uzorcima NPK, PK i NP đubriva je izrazito visok.

Najznačajnija za ova ispitivanja su NPK đubriva formulacije: 15-15-15, 16-16-16 i 20-20-20, jer se najviše bacaju na zemljište. U 2023. godini u INEP-u je analizirano 86 uzorka NPK đubriva. Nivo aktivnosti ^{137}Cs u svim izmerenim uzorcima đubriva navedenih formulacija je zanemarljiv (0,3-2,3 Bq/kg). Srednji nivo aktivnosti ^{40}K u ovim đubrivima je od 3005-3518 Bq/kg. U đubrivu formulacije 20-20-20 izmeren je maksimalni nivo aktivnosti ^{40}K (5488 Bq/kg), što je mnogo niže od maksimalne dozvoljene vrednosti određene Pravilnikom. Maksimalni nivoi aktivnosti ^{226}Ra je izmeren u đubrivu formulacije 15-15-15 (632 Bq/kg), a ^{238}U u đubrivu formulacije 20-20-20 (653 Bq/kg). Maksimalni nivo aktivnosti ^{232}Th je izmeren u đubrivu formulacije 16-16-16 (42 Bq/kg).

U Tabeli 1 prikazani su i nivoi aktivnosti prirodnih radionuklida i ^{137}Cs u NPK đubrivima s malim udelom ^{226}Ra i ^{238}U , kao i malim i velikim udelom ^{40}K (186 uzoraka). Nivo aktivnosti ^{137}Cs u svim izmerenim uzorcima đubriva navedenih formulacija je zanemarljiva (0,1-4,5 Bq/kg). Maksimalni nivo aktivnosti ^{40}K u đubrivima s velikim udelom kalijuma je 13132 Bq/kg (Čučulović i dr., 2016). Maksimalni nivoi aktivnosti ^{226}Ra , ^{238}U i ^{232}Th je izmeren u đubrivu s velikim udelom ^{40}K (750, 1332, odnosno 108 Bq/kg, respektivno).

Iz Tabele 1 sledi da su nivoi aktivnosti aktivnosti ^{137}Cs u NP đubrivima zanemarljivi (0,2-3,3 Bq/kg). Maksimalni nivo aktivnosti ^{40}K je 102 Bq/kg i sličan je nivou aktivnosti izmerenom u sirovom fosfatu. Ovi nivoi aktivnosti slični su nivoima aktivnosti izmerenim u NP 20-20 đubrivima, uvezenim u Srbiju u period 2009-2014 godine (Čučulović i dr., 2016). Maksimalni nivoi aktivnosti ^{226}Ra i ^{238}U u NP

đubrivima uvezenim 2023. godine bili su 765 Bq/kg, odnosno, 1967 Bq/kg, dok su u đubriva uvezenim u periodu 2009-2014 nivoi aktivnosti ^{226}Ra i ^{238}U bili 1600 i 2300 Bq/kg (Čučulović i dr., 2016). Od 48 ispitivanih uzoraka NP đubriva u 2023. godini, četiri uzorka su imala nivo aktivnosti ^{238}U (1529, 1674, 1683 i 1967 Bq/kg), viši od dozvoljenog. Nivoi aktivnosti ^{226}Ra su bili u opsegu dozvoljenih nivoa aktivnosti (Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida, 2018). Nivo aktivnosti ^{232}Th u vraćenim uzorcima su bili manji od 10 Bq/kg. Uzorci su bili vraćeni u zemlju iz koje su bili uvezeni. Zabranom uvoza đubriva s visokim sadržajem ^{238}U sprečena je kontaminacija zemljišta na koje bi bilo bačeno, a time je i zaštićeno stanovništvo područja na kome bi đubrivo bilo bačeno.

U Tabeli 1. prikazani su i nivoi aktivnosti radionuklida u PK đubrivu. Nivoi aktivnosti ^{137}Cs u svim izmerenim uzorcima ove vrste ispitivanih đubriva je zanemarljiva. Maksimalni nivo aktivnosti ^{40}K je 1354 Bq/kg, ^{226}Ra 41,0 Bq/kg, ^{232}Th 16,0 Bq/kg i ^{238}U je 134 Bq/kg.

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

U svim izmerenim uzorcima đubriva (514) koji su poslani u INEP na gamaspektrometrijsku analizu od strane granične fitosanitarne inspekcije, bili su izmereni prirodni radionuklidi (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U) i veštački proizveden ^{137}Cs . Nivo aktivnosti ^{137}Cs u svim izmerenim uzorcima đubriva bio je zanemarljiv. Maksimalni nivo aktivnosti ^{40}K je izmeren u NPK đubrivu (13132 Bq/kg). Maksimalni nivo aktivnosti ^{226}Ra je izmeren u uzorku sirovog fosfata (933 Bq/kg), a ^{238}U u uzorku NP đubriva (1967 Bq/kg). Četiri uzorka NP đubriva su imala nivo aktivnosti ^{238}U viši od dozvoljenog i tim uzorcima je bio zabranjen uvoz u našu zemlju, ovim zabranama uvoza kontaminiranog đubriva sprečena kontaminacija zemljišta, na koje bi đubrivo bilo bačeno i samim tim je stanovništvo zaštićeno.

Zahvalnica / Acknowledgments

Ovaj rad finansiralo je Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, kao deo finansiranja naučnog istraživanja na institutu za primenu nuklearne energije INEP, broj ugovora 451-03-66/2024-03/200019.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Abbady, A., Uosif, M., El-Taher, A. (2005). Natural radioactivity and dose assessment for phosphate rocks from Wadi El-Mashash and El-Mahamid Mines, *Egypt. Journal of Environmental radioactivity*, 84(1), 65-78.

- [2] Ajdačić, N., Gnjatović, S., Vujović, V. (1979). Kontrola radioaktivnosti u radnim sredinama fabrika za proizvodnju fosfatnih veštačkih đubriva. *X Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja (JDZZ)*, Arandjelovac, 437-441.
- [3] Babić, M., Spasić, A., Marinko, M., Đoković, N. (1993). Uran u fosforim đubrivima i mogućnost njegovog uklanjanja. Zbornik radova: *Uticaj upotrebe fosforim đubriva na kontaminaciju uranom*, SANU, Beograd, knjiga LXXII-5, 41-55.
- [4] Bolca, M., Sac, M., Cokuysal, B., Karali, T., Ekdal, E. (2007). Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz river Basin of Turkey. *Radiat Meas*, 42, 263-270.
- [5] Boukhenfouf, W., Boucenna, A. (2011). The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(4), 336-339.
- [6] Čučulović, A., Čučulović, R., Veselinović, D. (2016). Nivoi aktivnosti radionuklida u đubrivima iz uvoza, *Ecologica*, 23(83), 492-496.
- [7] Čučulović, A., Stanojković, J., Čučulović, R., Nestorović, S., Radaković, N. (2022). Masena koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u zemljištu rejonu Dobra, NP Đerdap, u periodu od 2018-2020. godine, *Ecologica*, 29(106), 209-215.
- [8] Dangić, A. (1995) *Geohemijski procesi u prirodi i radionuklidi, Jonizujuće zračenje iz prirode*, Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, 41-56.
- [9] Hamamo, H., Landsberger, S., Harbotile, G., Panno, S. (1995). Studies of radioactivity and heavy metals in phosphate fertilizer. *Journal of Radioanal Chemistry*, 194, 331-336.
- [10] Janković, V. (1997). *Hemija i hemijska industrija u Srbiji*. Srpsko hemijsko društvo, Beograd, 302-308.
- [11] Kastori, R. (1989). *Fiziologija biljaka*, Naučna knjiga, Beograd.
- [12] Mitrović, M. B., Vitorović, G., Andrić, V., Stojanović, M., Vitorović, D., Grdović, S., Vićentijević, M. (2013). Prirodni radionuklidi u mineralnim đubrivima i obradivom zemljištu, *Veterinarski glasnik*, Beograd, 67 (5-6), 359-367.
- [13] Mitrović, B., Vitorović, G., Stojanović, M., Vitorović, D. (2011). Radioaktivnost fosfatnih mineralnih proizvoda, *Veterinarski glasnik*, Beograd, 65 (1-2), 123-140.
- [14] ORTEC. (2001). Gamma Vision 32. Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulation. ORTEC. Oak Ridge. Version 5.3.
- [15] Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet. *Službeni glasnik RS* 36/11 od 10.05.2018. godine
- [16] Salkunić, A., Stanojević, Lj., Belobaba, N., Bogdanović, S., Salkunić, B. (2023). Cirkularna hemija kao odgovor na krizu izazvanu nedostatkom fosfata. *Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Procesing '23*, [S.l.], 36(1), p. 93, july 2023. Dostupno na: <https://izdanja.smeits.rs/index.php/ptk/article/view/6877>. Datum pristupa: 18 mar. 2024
- [17] Sarić, M., Jocić, B., Belić, J. (1993). *Biološki potencijal gajenih biljaka u agrofitorocenozi u zavisnosti od mineralne ishrane*, SANU, Beograd.
- [18] Stojanović, M., Radosavljević, S., Martinović, Lj. (1993). Osobine urana i njegova distribucija u zemljištu i biljkama, *Zbornik radova: Uticaj upotrebe fosforim đubriva na kontaminaciju uranom*, SANU, Beograd, knjiga LXXII-5, 1-17.