

**PRIRODNI RADIONUKLIDI U MINERALNIM ĐUBRIVIMA I  
OBRADIVOM ZEMLJIŠTU\***  
*NATURAL RADIONUCLIDES IN MINERAL FERTILIZERS AND  
FARMLAND*

Mitrović M. Branislava, Vitorović Gordana, Andrić V., Stojanović Mirjana,  
Vitorović D., Grdović Svetlana, Vićentijević M.\*\*

*Savremena poljoprivredna proizvodnja se bazira na upotrebi mineralnih đubriva, koja mogu imati visoke aktivnosti prirodnih radionuklida i uslovi pojave tehnološki povišene radioaktivnosti. U cilju određivanja uticaja primene mineralnih đubriva na koncentraciju radionuklida u obradivom zemljištu, gamaspektrometrijskom metodom određivana je aktivnost prirodnih radionuklida ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) u mineralnim đubrivima iz uvoza, obradivom i neobradivom zemljištu sa područja prigradskih opština grada Beograda. Dobijeni rezultati su pokazali da se u ispitivanim mineralnim đubrivima izmerena aktivnost  $^{40}\text{K}$  kretala od 70 do 4590 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  od 18 do 1400 Bq/kg i  $^{226}\text{Ra}$  od 15 do 999 Bq/kg. U obradivom zemljištu prosečne aktivnosti prirodnih radionuklida su 626 Bq/kg za  $^{40}\text{K}$ , 54 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ , 55 Bq/kg za  $^{226}\text{Ra}$  i 55 Bq/kg za  $^{232}\text{Th}$ , a u neobradivom zemljištu 596 Bq/kg za  $^{40}\text{K}$ , 54 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ , 54 Bq/kg za  $^{226}\text{Ra}$  i 53 Bq/kg za  $^{232}\text{Th}$ . Srednje vrednosti radijumskog ekvivalenta aktivnosti (175 Bq/kg) i indeksa radijacionog rizika (0,48) ukazuju na to da na ispitivanim lokacijama ne postoji značajni radijacioni rizik za stanovništvo usled terestrijalnog izlaganja. Ova istraživanja su pokazala i da dosadašnja upotreba mineralnih đubriva nije uzrokovala povišenje prirodne radioaktivnosti na ispitivanim oranica-*

*Ključne reči: gamaspektrometrija, mineralna đubriva, zemljište, prirodni radionuklidi*

\* Rad primljen za štampu 07. 12. 2012. godine

\*\* Dr sc. vet. med. Branislava M. Mitrović, asistent, dr sc. vet. med. Gordana Vitorović, profesor, Velibor Andrić, stručni saradnik, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; dr sc. Mirjana Stojanović, naučni savetnik, ITNMS, Beograd; dr sc. vet. med. Duško Vitorović, profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu; dr sc. Svetlana Grdović, profesor, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; mr sc. vet. med. Mihajlo Vićentijević, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd

## Uvod / Introduction

Nivo radioaktivnosti u zemljištu varira u zavisnosti od sadržaja prirodnih i proizvedenih radioaktivnih elemenata prisutnih u njemu i razlikuje se širom Zemlje (UNSCEAR 2000). Pojam tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti (engl. *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials, TENORM*) je relativno novijeg datuma i označava povišenu prirodnu radioaktivnost nastalu kao rezultat ljudskih aktivnosti tokom kojih je došlo do premeštanja prirodnih radionuklida i njihovog koncentrisanja u užem području životne sredine čoveka. Upotreba fosfatnih mineralnih đubriva u poljoprivredi predstavlja najveći antropogeni izvor uranijuma i pratećih radionuklida (Ra i Th) u zemljištu (Hamamo i sar., 1995; Adel i sar., 2005; Bolca i sar., 2007), jer postoji direktna veza između sadržaja uranijuma i  $P_2O_5$  u đubrivima (Akhtar i sar., 2005a, b). Usvajanje uranijuma od strane biljaka zavisi od biljne vrste, fizičko-hemijskih osobina zemljišta i mikroklimatskih uslova (Stojanović, 1999). Same biljke poseduju različitu sposobnost akumuliranja uranijuma, koji po unosu u organizam biljke sledi iste metaboličke i biohemijske puteve kao i njegov hemijski analog kalcijum (Matijašević i sar., 2004; Mitrović i sar., 2011).

Mineralna đubriva koja se najčešće uvoze u našu zemlju su NPK đubriva (Na:P:K), amofos (N:P), kao i superfosfati koji se međusobno razlikuju po sadržaju aktivne komponente. U zavisnosti od hemijskog sastava đubriva i porekla rude iz koje se proizvode, u njima varira aktivnost prirodnih radionuklida  $^{40}K$ ,  $^{238}U$  i  $^{232}Th$  (Becegato i sar., 2008; Boukhenfouf i Boucenna, 2011). Prilikom uvoza u Republiku Srbiju obavezna je gamaspektrometrijska analiza mineralnih đubriva, dok đubriva koja se proizvode u našoj zemlji ne podležu obaveznoj kontroli pre upotrebe (Sl. gl. RS 44/11 od 17.06.2011).

Cilj istraživanja je bio da se gamaspektrometrijskom metodom odredi aktivnost prirodnih radionuklida u uvoznim mineralnim đubrivima, kao i u obradivom i neobradivom zemljištu iz prigradskih opština grada Beograda, u cilju utvrđivanja da li je upotreba mineralnih đubriva dovela do povećanja koncentracije prirodnih radionuklida u obradivom zemljištu.

## Materijal i metode / Material and methods

U periodu od 2007-2010. godine sakupljani su uzorci zemljišta (neobradivog i obradivog) iz prigradskih beogradskih opština (1. SO Palilula – Slanci, Opovo, Besni Fok; 2. SO Grocka – Vinča; 3. SO Mladenovac – Nemenikuće; 4. SO Sopot – Zuce; 5. SO Barajevo – Rožanci; 6. SO Surčin – Jakovo; 7. SO Zemun – Batajnica; 8. SO Rakovica – Pinosava; 9. SO Obrenovac – Konatica i Ušće; 10. SO Lazarevac – Vreoci i Šopići). Uzorci zemljišta su sakupljani dva puta godišnje (proleće/jesen), na dubini 10-15 cm. Sa svake lokacije uzimana su po tri uzorka neobradivog i obradivog zemljišta. Po dopremanju u laboratoriju uzorci su homogenizovani i sušeni na  $105^{\circ}C$  do konstantne mase, odmereni i pripremljeni u

standardnim *Marineli* posudama od 1 kg. Ukupno je pripremljeno 28 uzoraka. Pre gamaspektrometrijskog merenja uzorci su zatapani i čuvani najmanje 30 dana da bi se postigla radioaktivna ravnoteža. Vreme merenja je bilo 60 000 s.

Gamaspektrometrijska analiza mineralnih đubriva je rađena na zahtev granične fitosanitarne inspekcije prilikom uvoza u našu zemlju. Uzorci đubriva su po dopremanju u laboratoriju homogenizovani i mereni u standardnim *Marineli* posudama od 1 kg.

Svi uzorci su mereni na HPGe detektoru (Ortec, relativna efikasnost 30%, energetske rezolucije 1,85 keV, (1332,5  $^{60}\text{Co}$ )). Za kalibraciju detektora korišćen je komercijalni standard firme „Amersham“ od 1 kg u *Marineli* posudi, sa mešavinom radionuklida –  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ , gustine  $(1.22 \pm 0.01) \text{ g/cm}^3$  (Mitrović i sar., 2009).

Na osnovu rezultata gamaspektrometrijske analize zemljišta određivani su radijumski ekvivalent aktivnosti ( $R_{\text{eq}}$ ) i indeks radijacionog rizika (*external hazard index* –  $H_{\text{ex}}$ ). U zemljištu, distribucija prirodnih radionuklida  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  nije podjednaka. Da bi se uporedila aktivnost materijala koji sadrže različite količine  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  definisan je radijumski ekvivalent aktivnosti ( $R_{\text{eq}}$ ) u Bq/kg. Radijumski ekvivalent aktivnosti je određivan prema sledećoj formuli (Beretka i Mathew, 1985; Yu i sar., 1992):

$$R_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1.43C_{\text{Th}} + 0.07C_{\text{K}},$$

gde su  $C_{\text{Ra}}$ ,  $C_{\text{Th}}$  i  $C_{\text{K}}$  koncentracije  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  u Bq/kg. Prilikom definisanja  $R_{\text{eq}}$  pretpostavljeno je da 370 Bq/kg  $^{226}\text{Ra}$ , 259 Bq/kg  $^{232}\text{Th}$ , odnosno 4810 Bq/kg  $^{40}\text{K}$  proizvode istu jačinu doze na 1 m iznad površine zemljišta. Vrednost  $R_{\text{eq}}$  od 370 Bq/kg odgovara maksimalno dozvoljenoj dozi za stanovništvo od 1 mSv.

Indeks radijacionog rizika ( $H_{\text{ex}}$ ) je određivan prema sledećoj formuli (Beretka and Mathew, 1985):

$$H_{\text{ex}} = C_{\text{Ra}}/370 + C_{\text{Th}}/259 + C_{\text{K}}/4810$$

gde su  $C_{\text{Ra}}$ ,  $C_{\text{Th}}$  i  $C_{\text{K}}$  aktivnosti (Bq/kg)  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$ . Radijacioni rizik usled spoljašnjeg izlaganja ne smatra se značajnim ako je vrednost parametra  $H_{\text{ex}}$  manja od jedan.

## Rezultati / Results

Aktivnosti prirodnih radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  (Bq/kg) u uzorcima mineralnih đubriva iz uvoza, merenih u laboratoriji za radijacionu higijenu Fakulteta veterinarske medicine u Beogradu su prikazani u Tabeli 1. U NPK đubrivima najzastupljeniji radionuklid je bio  $^{40}\text{K}$ , dok su u amofosfatnim ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) i superfosfatnim  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  đubrivima aktivnosti  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  bile više u odnosu na aktivnost  $^{40}\text{K}$ . Pored hemijskog sastava na radioaktivnost đubriva utiče i geografsko poreklo rude od koje se đubriva proizvode (Boukhenfouf i Boucenna, 2011).

Tabela 1. Aktivnost  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  u uzorcima mineralnih đubriva iz uvoza (Bq/kg)  
 Table 1. Activity of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$  (Bq/kg) in imported fertilizers

| Naziv đubriva /<br>Fertilizer | Broj uzoraka /<br>Number of samples | $^{40}\text{K}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{226}\text{Ra}$ |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| NPK 16:13:16                  |                                     |                 |                  |                   |
| $\bar{x} \pm \text{SD}$       | 15                                  | 4300 $\pm$ 130  | 24 $\pm$ 4       | 20 $\pm$ 3        |
| minimum                       |                                     | 3976 $\pm$ 121  | 18 $\pm$ 1       | 15 $\pm$ 1        |
| maksimum                      |                                     | 4590 $\pm$ 140  | 31 $\pm$ 10      | 32 $\pm$ 2        |
| NPK 15:15:15                  |                                     |                 |                  |                   |
| $\bar{x} \pm \text{SD}$       | 30                                  | 3900 $\pm$ 118  | 660 $\pm$ 60     | 378 $\pm$ 24      |
| minimum                       |                                     | 3650 $\pm$ 110  | 580 $\pm$ 32     | 346 $\pm$ 23      |
| maksimum                      |                                     | 4220 $\pm$ 125  | 760 $\pm$ 90     | 430 $\pm$ 25      |
| Amofosfat NP 10:46            |                                     |                 |                  |                   |
| $\bar{x} \pm \text{SD}$       | 10                                  | 160 $\pm$ 10    | 330 $\pm$ 20     | 206 $\pm$ 15      |
| minimum                       |                                     | 70 $\pm$ 6      | 146 $\pm$ 12     | 102 $\pm$ 10      |
| maksimum                      |                                     | 185 $\pm$ 11    | 980 $\pm$ 34     | 590 $\pm$ 34      |
| Superfosfat                   |                                     |                 |                  |                   |
| $\bar{x} \pm \text{SD}$       | 8                                   | 222 $\pm$ 12    | 725 $\pm$ 67     | 639 $\pm$ 37      |
| minimum                       |                                     | 128 $\pm$ 8     | 421 $\pm$ 55     | 535 $\pm$ 32      |
| maksimum                      |                                     | 294 $\pm$ 15    | 1400 $\pm$ 83    | 999 $\pm$ 54      |

U tabeli 2 prikazani su rezultati merenja aktivnosti prirodnih radionuklida  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{232}\text{Th}$  (Bq/kg) u neobradivom i obradivom zemljištu sa područja prigradskih beogradskih opština, radijumski ekvivalent aktivnosti ( $R_{\text{eq}}$ ) i indeks radijacionog rizika ( $H_{\text{ex}}$ ). U ispitivanim uzorcima zemljišta (Tabela 2) najzastupljeniji prirodni radionuklid je bio  $^{40}\text{K}$  i njegova aktivnost se kretala u opsegu od 465 do 695 Bq/kg u neobradivom zemljištu, a u obradivom od 517 do 712 Bq/kg. Najviše aktivnosti  $^{238}\text{U}$  (95 Bq/kg),  $^{226}\text{Ra}$  (93 Bq/kg) i  $^{232}\text{Th}$  (69 Bq/kg) su izmerene u neobradivom zemljištu u opštini Lazarevac, selo Vreoci.

Tabela 2. Aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{232}\text{Th}$  u neobradivom i obradivom zemljištu, radijumski ekvivalent aktivnosti ( $R_{\text{eq}}$ ) i indeks radijacionog rizika ( $H_{\text{ex}}$ )  
 Table 2. Activity of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  in both fallow and arable land, radium equivalent of the activity ( $R_{\text{eq}}$ ) and radiation risk index ( $H_{\text{ex}}$ )

| Lokalitet/vrsta zemljišta /<br>Region/soil type | $^{40}\text{K}$<br>(Bq/kg) | $^{238}\text{U}$<br>(Bq/kg) | $^{226}\text{Ra}$<br>(Bq/kg) | $^{232}\text{Th}$<br>(Bq/kg) | $R_{\text{eq}}$<br>(Bq/kg) | $H_{\text{ex}}$ |
|---|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|
| SO Paličula-Slanci                              |                            |                             |                              |                              |                            |                 |
| neobradivo / fallow                             | 505 $\pm$ 19               | 47 $\pm$ 14                 | 47 $\pm$ 7                   | 47 $\pm$ 2                   | 150                        | 0,41            |
| obradivo / arable                               | 518 $\pm$ 16               | 54 $\pm$ 4                  | 48 $\pm$ 3                   | 45 $\pm$ 2                   | 149                        | 0,41            |
| SO Paličula – Opovo                             |                            |                             |                              |                              |                            |                 |
| neobradivo / fallow                             | 612 $\pm$ 18               | 43 $\pm$ 4                  | 43 $\pm$ 3                   | 41 $\pm$ 1                   | 144                        | 0,40            |
| obradivo / arable                               | 634 $\pm$ 17               | 51 $\pm$ 6                  | 45 $\pm$ 3                   | 42 $\pm$ 2                   | 149                        | 0,42            |

nastavak tabele 1. / cont. Table 1.

| Lokalitet/vrsta zemljišta /<br>Region/soil type | <sup>40</sup> K<br>(Bq/kg) | <sup>238</sup> U<br>(Bq/kg) | <sup>226</sup> Ra<br>(Bq/kg) | <sup>232</sup> Th<br>(Bq/kg) | R <sub>aeq</sub><br>(Bq/kg) | H <sub>ex</sub> |
|---|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| SO Palilula – Besni Fok                         |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 465 ± 13                   | 47 ± 6                      | 45 ± 4                       | 43 ± 2                       | 139                         | 0,38            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 517 ± 15                   | 49 ± 4                      | 50 ± 3                       | 52 ± 2                       | 161                         | 0,44            |
| SO Grocka – Vinča                               |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 632 ± 19                   | 47 ± 6                      | 55 ± 3                       | 55 ± 2                       | 178                         | 0,49            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 676 ± 19                   | 58 ± 7                      | 58 ± 5                       | 47 ± 3                       | 173                         | 0,48            |
| SO Mladenovac – Nemenikuće                      |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 517 ± 6                    | 62 ± 7                      | 54 ± 4                       | 61 ± 2                       | 177                         | 0,49            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 594 ± 18                   | 52 ± 7                      | 58 ± 6                       | 62 ± 3                       | 188                         | 0,52            |
| SO Sopot – Zuce                                 |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 622 ± 18                   | 44 ± 5                      | 64 ± 4                       | 55 ± 2                       | 186                         | 0,51            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 650 ± 16                   | 56 ± 2                      | 58 ± 4                       | 56 ± 3                       | 184                         | 0,51            |
| SO Barajevo – Rožanci                           |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 548 ± 16                   | 62 ± 4                      | 54 ± 5                       | 56 ± 3                       | 172                         | 0,48            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 612 ± 16                   | 54 ± 8                      | 60 ± 5                       | 62 ± 3                       | 192                         | 0,53            |
| SO Surčin – Jakovo                              |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 695 ± 22                   | 54 ± 6                      | 53 ± 5                       | 50 ± 2                       | 173                         | 0,48            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 666 ± 15                   | 50 ± 5                      | 47 ± 5                       | 48 ± 3                       | 162                         | 0,45            |
| SO Zemun – Batajnica                            |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 594 ± 18                   | 53 ± 6                      | 49 ± 3                       | 49 ± 2                       | 161                         | 0,45            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 697 ± 20                   | 48 ± 7                      | 53 ± 4                       | 55 ± 2                       | 180                         | 0,50            |
| SO Rakovica – Pinosava                          |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 646 ± 19                   | 65 ± 4                      | 58 ± 3                       | 64 ± 2                       | 195                         | 0,54            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 712 ± 17                   | 65 ± 6                      | 65 ± 4                       | 66 ± 3                       | 209                         | 0,58            |
| SO Obrenovac – Konatica                         |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 602 ± 18                   | 48 ± 4                      | 47 ± 3                       | 52 ± 2                       | 164                         | 0,45            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 544 ± 19                   | 57 ± 7                      | 64 ± 4                       | 66 ± 2                       | 196                         | 0,54            |
| SO Obrenovac – Ušće                             |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 678 ± 20                   | 48 ± 7                      | 51 ± 4                       | 51 ± 2                       | 171                         | 0,48            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 616 ± 18                   | 42 ± 5                      | 44 ± 3                       | 48 ± 2                       | 156                         | 0,43            |
| SO Lazarevac – Vreoci                           |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 612 ± 19                   | 95 ± 5                      | 93 ± 5                       | 69 ± 2                       | 235                         | 0,64            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 696 ± 20                   | 61 ± 5                      | 59 ± 4                       | 62 ± 3                       | 196                         | 0,54            |
| SO Lazarevac – Šopići                           |                            |                             |                              |                              |                             |                 |
| neobradivo / <i>fallow</i>                      | 619 ± 19                   | 41 ± 5                      | 41 ± 3                       | 46 ± 2                       | 150                         | 0,42            |
| obradivo / <i>arable</i>                        | 634 ± 19                   | 59 ± 4                      | 61 ± 4                       | 61 ± 2                       | 193                         | 0,53            |

## Diskusija / Discussion

Poređenjem aktivnosti prirodnih radionuklida u mineralnim đubrivima i obradivom zemljištu ustanovili smo da je aktivnost  $^{40}\text{K}$  u NPK đubrivima (4590 Bq/kg) bila za 6 puta veća u odnosu na aktivnost  $^{40}\text{K}$  u obradivom zemljištu (712 Bq/kg). U superfosfatu aktivnost  $^{238}\text{U}$  (1400 Bq/kg) je bila 22 puta veća u odnosu na aktivnost  $^{238}\text{U}$  u obradivom zemljištu (65 Bq/kg), a  $^{226}\text{Ra}$  (999 Bq/kg) 15 puta (65 Bq/kg). Slične rezultate su objavili i Boukhenfouf i Boucenna (2011), koji su utvrdili da je koncentracija  $^{40}\text{K}$  u NPK đubrivima bila od 14 do 31 puta veća u odnosu na koncentraciju u zemljištu. Ovi podaci su značajni, jer se smatra da ovako uneti radionuklidi mogu dovesti do povećanja nivoa osnovnog zračenja (FON) u određenim regionima i mogu predstavljati značajne lokalne rizike izlaganja stanovništva jonizujućem zračenju (Mitrović i sar., 2011).

Srednje vrednosti aktivnosti prirodnih radionuklida u neobradivom zemljištu iznosile su 596 Bq/kg za  $^{40}\text{K}$ , 54 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ , 54 Bq/kg za  $^{226}\text{Ra}$  i 53 Bq/kg za  $^{232}\text{Th}$ , a u obradivom  $^{40}\text{K}$ -626 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$ -54 Bq/kg,  $^{226}\text{Ra}$ -55 Bq/kg i  $^{232}\text{Th}$ -55 Bq/kg. Dobijeni rezultati su pokazali da između aktivnosti radionuklida u ispitivanim zemljištima nema razlike, što znači da dugogodišnja upotreba mineralnih đubriva nije dovela do povećanja koncentracije prirodnih radionuklida u obradivom zemljištu. Srednje vrednosti radijumskog ekvivalenta aktivnosti u neobradivom (171 Bq/kg) i obradivom zemljištu (178 Bq/kg) su bile ispod vrednosti koja odgovara dozi od 1 mSv za stanovništvo (370 Bq/kg). Na ispitivanim lokalitetima vrednosti indeksa radijacionog rizika su bile manje od 1 (0,47 – neobradivo i 0,49 – obradivo zemljište), što ukazuje da ne postoji značajan radijacioni rizik za stanovništvo usled terestrijalnog izlaganja.

U neobradivom zemljištu sa područja opštine Lazarevac, selo Vreoci, detektovana je povišena prirodna radioaktivnost, nastala kao posledica ljudskog delovanja. Tu su izmerene više aktivnosti  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{232}\text{Th}$ , što se može objasniti time da su uzorci zemljišta uzeti u blizini rudnog kopa uglja "Kolubara" i postrojenja za preradu i sušenje uglja. Na ovom lokalitetu su vrednosti radijumskog ekvivalenta aktivnosti (235 Bq/kg) i indeksa radijacionog rizika (0,64) bile najviše, ali ukazuju na to da ne postoji rizik za stanovništvo usled terestrijalnog izlaganja.

Srednje vrednosti aktivnosti prirodnih radionuklida u zemljištu sa područja Beograda (obradivom i neobradivom) iznose 599 Bq/kg za  $^{40}\text{K}$ , 54 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ , 54 Bq/kg za  $^{226}\text{Ra}$  i 54 Bq/kg  $^{232}\text{Th}$ . Ovi rezultati su u skladu sa rezultatima koji su za grad Beograd objavili Pantelić i sar. (2009), kao i sa rezultatima dobijenim analizom zemljišta na području Vojvodine, gde su Bikit i sar. (2005) utvrdili da su prosečne aktivnosti  $^{40}\text{K}$  – 554 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  – 51 Bq/kg i  $^{232}\text{Th}$  – 53 Bq/kg. Prema podacima UNSCEAR (2000) u svetu su prosečne aktivnosti u zemljištu za  $^{40}\text{K}$  – 400 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  – 35 Bq/kg,  $^{226}\text{Ra}$  – 35 Bq/kg i  $^{232}\text{Th}$  – 30 Bq/kg. Poređenjem nivoa aktivnosti prirodnih radionuklida u zemljištu sa područja grada Beograda i Vojvodine sa rezultatima UNSCEAR (2000) možemo zaključiti da je ak-

tivnost prirodnih radionuklida u ispitivanom zemljištu Srbije nešto viša u odnosu na svetski prosek.

### **Zaključak / Conclusion**

Dosadašnja upotreba mineralnih đubriva nije dovela do povećanja koncentracije prirodnih radionuklida u ispitivanim obradivim zemljištima.

Na području opštine Lazarevac, selo Vreoci, u neobrađivom zemljištu je utvrđena tehnološki povišena radioaktivnost, koja je posledica blizine rudnog kopa "Kolubara". Iako su na ovom lokalitetu vrednosti radijum ekvivalentne aktivnosti (235 Bq/kg) i indeksa radijacionog rizika (0,64) bile najviše, ne postoji rizik za stanovništvo usled terestrijalnog izlaganja.

Na osnovu svih izmerenih i procenjenih parametara u Beogradu ne postoji radijacioni rizik za stanovništvo usled terestrijalnog izlaganja zračenju, ali je neophodno kontinuirano praćenje radioaktivnosti u cilju pravovremenog uočavanja bilo kakvih promena.

### **ZAHVALNICA / ACKNOWLEDGEMENT:**

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS, koje je finansiranjem projekta TR 31003 omogućilo realizovanje ovog rada.

*engleski*

### **Literatura / References**

1. Adel A, Uosif M, El-Taher A. Natural radioactivity and dose assesment for phosphate ock from Wadi El-Mashash and El-Mahamid Mines, Egypt. J Environ Radioactivity 2005; 84: 65-78.
2. Akhtar N, Tufail M, Ashraf M. Natural environmental radioactivity and estimation of radiation exposure from saline soils. Int J Environ Sci Technol 2005a; 1(4): 279-85.
3. Akhtar N, Tufail M, Ashraf M, Mohsin Iqbal M. Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan. Radiation Measurements 2005b; 39: 11-4.
4. Becegato VA, Ferriera FJF, Machado WCP. Concentration of Radioactive Elements (U, Th and K) Derived from Phosphatic Fertilizers in Cultivated Soils. Braz Arch Boil Technol 2008; 51(6): 1255-66.
5. Beretka J, Mathew P.J. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. Health Physics 1985; 48: 87-95.
6. Bikit I, Slivka J, Čonkić Lj, Krmar M, Vesković M, Žikić-Todorović N, Varga E, Čurčić S, Mrdja D. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). J Environm Radioact 2005; 78: 11-9.
7. Bolca M, Sac M, Cokuysal B, Karali T, Ekdal E. Radioactivity in soils and various food-stuffs from the Gediz river Basin of Turkey. Radiat Meas 2007; 42: 263-70.
8. Boukhenfouf W, Boucenna A. The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique. J Environ Radioac 2011; 102(4), 336-9.



9. Hamamo H, Landsberger S, Harbotile G, Panno S. Studies of radioactivity and heavy metals in phosphate fertilizer. *J Radioanal Chem* 1995; 194, 331-6.
10. Matijašević S, Stojanović M, Daković A, Radosavljević-Mihajlović A, Potpara D, Tomašević-Čanović M. Modifikovani zeolit – potencijalni adsorbent uranil jona. *Veterinarski glasnik* 2004; 58 (dodatak 1-2): 219-24.
11. Mitrović B, Vitorović G, Vitorović D, Pantelić G, Adamović I. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of mountain region of Serbia. *J Environ monitoring* 2009; 11(2): 383-8.
12. Mitrović B, Vitorović G, Stojanović M, Vitorović D. Radioaktivnost fosfatnih mineralnih proizvoda. *Veterinarski glasnik* 2011; 65(1-2):123-40.
13. Pantelić G, Vuletić V, Eremić-Savković M, Javorina Lj, Tanasković I. Radioekološki monitoring u Srbiji. *Arhiv veterinarske medicine* 2009; 2(2): 59-69.
14. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York, USA, 2000.
15. Stojanović M. Utvrđivanje zavisnosti između sadržaja fosfora i urana u različitim zemljištima Srbije. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 1999.
16. Sl. gl. RS 44/11 od 17.06.2011. Pravilnik o kontroli radioaktivnosti roba pri uvozu, izvozu i tranzitu.
17. Yu KN, Guan ZJ, Stoks MJ, Young EC. The assessment of natural radiation dose committed to the Hong Kong people. *J Environ Radioact* 1992; 17: 31-48.

## ENGLISH

### NATURAL RADIONUCLIDES IN MINERAL FERTILIZERS AND FARMLAND

**Mitrović M. Branislava, Vitorović Gordana, Andrić V., Stojanović Mirjana, Vitorović D., Grdović Svetlana, Vićentijević M.**

Contemporary agriculture production is based on use of mineral fertilizers, which however can have high activity of natural radionuclides and so cause the appearance of technologically elevated radioactivity. In order to determine the influence of mineral fertilizers application in arable land, there was used gamma spectrometric method for defining the activity of natural radionuclides ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) in imported mineral fertilizers as well as in arable and fallow land in the area of suburban municipalities of Belgrade. The obtained results have shown that in the tested mineral fertilizers the measured activity of  $^{40}\text{K}$  ranged from 70 to 4590 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  from 18 to 1400 Bq/kg and  $^{226}\text{Ra}$  from 15 to 999 Bq/kg. Average activities of natural radionuclides in arable land are: 626 Bq/kg for  $^{40}\text{K}$ , 54 Bq/kg for  $^{238}\text{U}$ , 55 Bq/kg for  $^{226}\text{Ra}$  and 55 Bq/kg for  $^{232}\text{Th}$ , and in fallow land 596 Bq/kg for  $^{40}\text{K}$ , 54 Bq/kg for  $^{238}\text{U}$ , 54 Bq/kg for  $^{226}\text{Ra}$  and 53 Bq/kg for  $^{232}\text{Th}$ . Average values of radium radioactivity equivalent (175 Bq/kg) and index of radiation risk (0,48), point out that in the tested areas there is no significant radiation risk for inhabitants due to terrestrial exposure. This investigation has also shown that current use of mineral fertilizers has not caused the increase of natural radioactivity in the tested arable land.

Key words: gamma spectrometry, mineral fertilizers, land, natural radionuclides



**ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЯХ И НА ЗЕМЛЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Митрович Бранислава, Виторович Гордана, Андрич В., Стоянович Мирьяна, Виторович Д., Грдович Светлана, Вичентиевич М.**

Современное сельскохозяйственное производство основывается на употреблении минеральных удобрений, имеющих высокие активности природных радионуклидов и обуславливающие технологическое повышение радиоактивности. Для того, чтобы определить влияние минеральных удобрений на содержание радионуклидов в пахотной земле, мы определили активность радионуклидов методом гамма-спектрометрии ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) в импортных минеральных удобрениях, в пахотной и необрабатываемой земле из пригородных муниципалитетов Белграда. Результаты показали, что в испытываемых минеральных удобрениях активность  $^{40}\text{K}$  варьировала с 70 по 4590 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  с 18 по 1400 Bq/kg и  $^{226}\text{Ra}$  с 15 по 999 Bq/kg. В пахотной земле средняя активность радионуклидов была  $^{40}\text{K}$  – 626 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  – 54 Bq/kg,  $^{226}\text{Ra}$  – 55 Bq/kg и  $^{232}\text{Th}$  – 55 Bq/kg. Среднее значение активности эквивалента радия (175 Bq/kg) и индекс радиационного риска (0,48) показывают, что на испытанных местах значительного риска от излучений нет. Это исследование показало, что использование минеральных удобрений до сих пор не вызывало повышение естественной радиоактивности в исследуемых местах.

Ключевые слова: гамма-спектрометрия, минеральные удобрения, природные радионуклиды

