

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

**DISTRIBUCIJA MASENIH KONCENTRACIJA KALIJUMA,  
TORIJUMA I URANIJUMA U ZEMLJIŠTU SA TERITORIJA  
VEĆIH GRADOVA SRBIJE**

Ljiljana JANKOVIĆ MANDIĆ, Jelena PETROVIĆ, Mirjana ĆUJIĆ,  
Snežana DRAGOVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija,  
ljmandic@vin.bg.ac.rs

**SADRŽAJ**

*U radu su prikazane masene koncentracije kalijuma, torijuma i uranijuma u uzorcima zemljišta sa teritorija 16 većih gradova Srbije sakupljenih u periodu od 2003. do 2015. godine, izračunate na osnovu gamaspektrometrijski izmerenih aktivnosti ovih radionuklida. Srednje vrednosti koncentracija analiziranih elemenata u uzorcima zemljišta iznose za kalijum 1,6% (od 0,5 do 2,6%), torijum 8,7 mg/kg (od 2,4 do 15,1 mg/kg) i uranijum 2,6 mg/kg (od 0,8 do 4,7 mg/kg). Masene koncentracije kalijuma, torijuma i uranijuma u analiziranim zemljištima pokazuju normalnu raspodelu. Analizirana je međusobna zavisnost parova radionuklida i dobijeni su Pirsonovi koeficijenti korelacije od 0,88 za K/Th, 0,89 za K/U i 0,98 za Th/U.*

**1. UVOD**

Zemljište je dinamički sistem u kome se istovremeno odvijaju različiti fizičko-hemijski i biološki procesi. Prirodna radioaktivnost zemljišta uglavnom zavisi od sadržaja uranijuma, radijuma, torijuma, kalijuma. Ponašanje radionuklida zavisi od njihove interakcije sa ostalim komponentama zemljišta, a njihovi međusobni odnosi mogu se koristiti u procenama različitih procesa u zemljištu. Od posebnog interesa su zemljišta u gradovima zbog antropogenih uticaja na životnu sredinu i mogućnosti povećanog radijacionog rizika. Cilj rada je određivanje sadržaja i distribucije prirodnih radionuklida u zemljištu većih gradova Srbije i njihove međusobne korelacije.

**2. MATERIJAL I METODA**

Uzorci neobrađivanog zemljišta su sakupljeni do dubine od 10 cm, u periodu od 2003. do 2015. godine sa teritorije 16 većih gradova Srbije. Osušeni uzorci zemljišta su mehanički usitnjeni, homogenizovani i upakovani u Marineli posude koje su zatvarane hermetički i ostavljane da odstoje 40 dana da bi se postigla ravnoteža post-radonskih članova niza  $^{238}\text{U}$ , pre gamaspektrometrijske analize. Uzorci su analizirani korišćenjem gama spektrometra ORTEC-AMETEK, rezolucije 1,85 keV, relativne efikasnosti 30%, 34% i rezolucije 1,95 keV relativne efikasnosti 49% na 1,33 MeV za  $^{60}\text{Co}$ . Za obradu spektra korišćen je softver Gamma Vision-32[1].

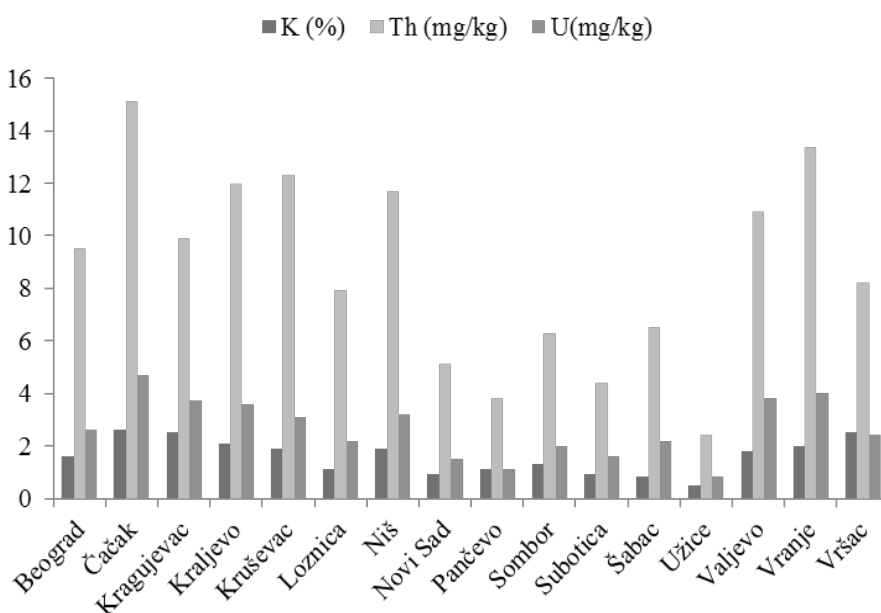
Specifične aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  konvertovane se u masene koncentracije elemenata kalijuma, torijuma i uranijuma, respektivno, primenom sledeće jednačine [2-3]:

$$F_E = \frac{M_E \times C}{\lambda_{E,i} \times N_A \times f_{E,i} A_{E,i}}$$

gde je:  $F_E$  - udeo elementa E u uzorku,  $M_E$  - atomska masa (kg/mol),  $\lambda_{E,i}$  - konstanta radioaktivnog raspada izotopa  $i$  elementa E (1/s),  $f_{E,i}$  - zastupljenost izotopa  $i$  u prirodi,  $A_{E,i}$  - izmerena specifična aktivnost (Bq/kg) radionuklida,  $N_A$  - Avogadrov broj ( $6,023 \times 10^{23}$  atoma/mol) i C - konstantna sa vrednostima  $10^6$  za U i Th (koncentracije u mg/kg) ili 100 za K (koncentracija u %).

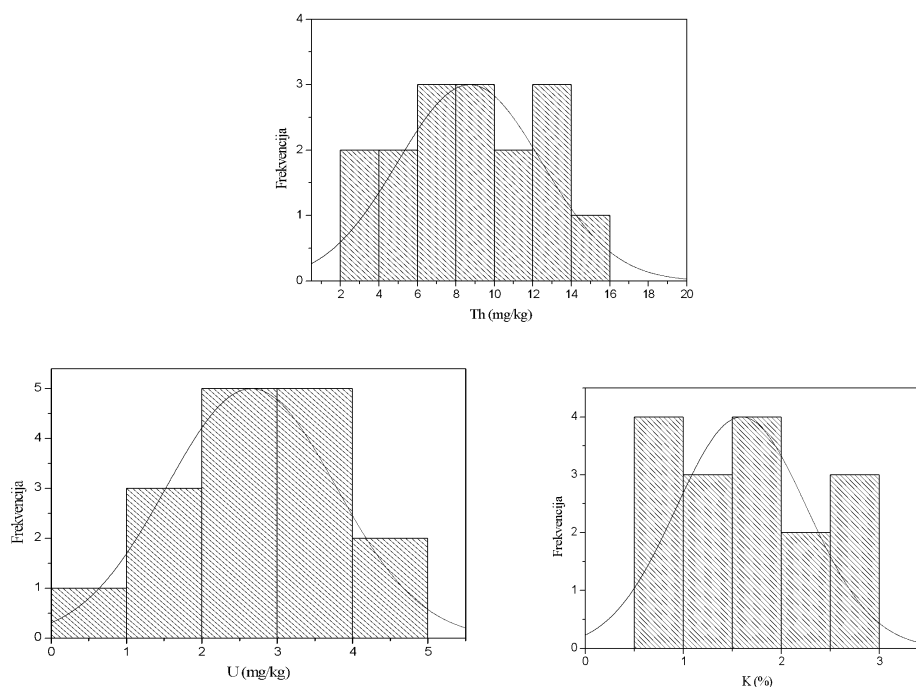
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Srednje vrednosti masenih koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u različitim gradovima Srbije prikazane su na slici 1. Najviše srednje vrednosti kalijuma (2,6%), torijuma (15,1 mg/kg) i uranijuma (4,7 mg/kg) nađene su u neobrađivanom zemljištu Čačka, dok su najniže koncentracije nađene u zemljištu sakupljenom sa teritorije grada Užice (slika 1). Srednje vrednosti masenih koncentracija za sve analizirane uzorke iznose 1,6% za kalijum, 8,7 mg/kg za torijumi, 2,6 mg/kg za uranijum.



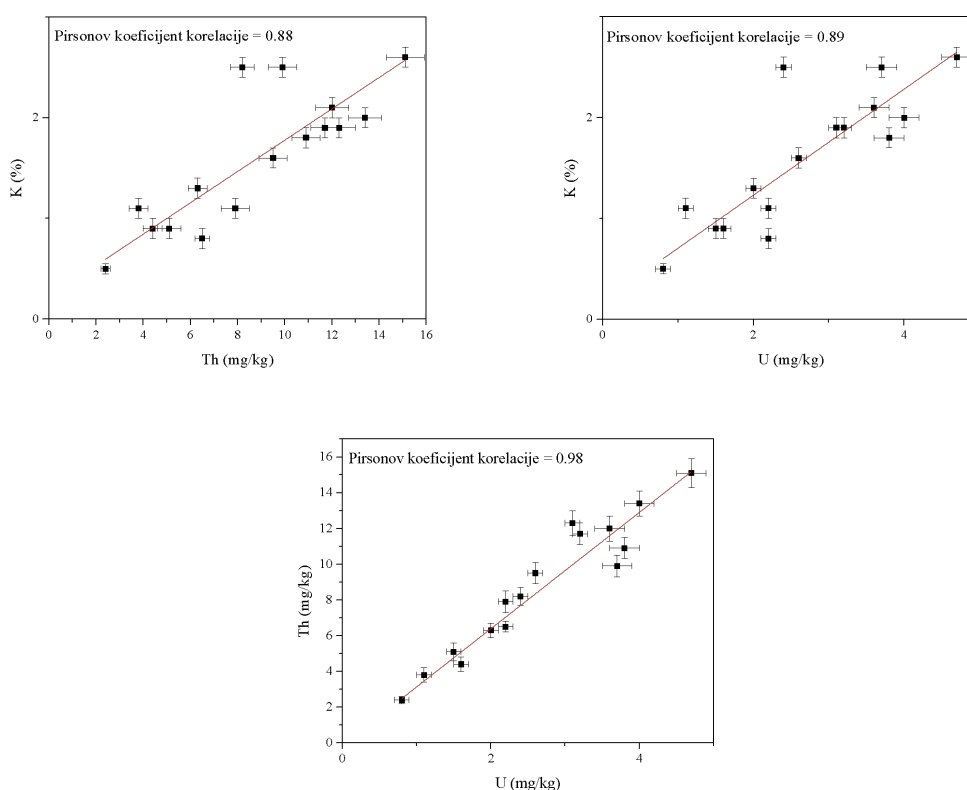
**Slika 1. Masene koncentracije kalijuma, torijuma i uranijuma u neobrađivanom zemljištu većih gradova u Srbiji**

Masene koncentracije analiziranih elemenata u uzorcima gradskog zemljišta nalaze se u širokom opsegu vrednosti, što je posledica litoloških struktura analiziranih prostora, koji pripadaju različitim geotektonskim zonama (panonskom basenu, vardarskoj zoni, srpsko-makedonskoj masi, unutrašnjim Dinaridima i karpatskoj-balkanskoj zoni) [4]. Srednje masene koncentracije analiziranih elemenata u uzorcima zemljišta slične su sa prosečnim vrednostima na svetskom nivou, odnosno 1,4% za kalijum, 7,4 mg/kg za torijum i 2,8 mg/kg za uranijum [5]. Distribucije frekvencija masenih koncentracija analiziranih elemenata su prikazane na slici 2. Šapiro-Vilkov test raspodele [6] primenjen na masene koncentracije kalijuma, torijuma i uranijuma ukazuje na normalnu raspodelu analiziranih elemenata.



**Slika 2. Distribucija frekvencija masenih koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u ispitivanim uzorcima zemljišta sa teritorija većih gradova Srbije**

Odnos masenih koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u ispitivanim uzorcima zemljišta prikazan je na slici 3. Uočava se međusobna linearna zavisnost parova radionuklida K/Th, K/U, Th/U, izražena Pirsonovim koeficijentima korelacije od 0,88; 0,89 i 0,98, redom. Odnosi koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u uzorcima zemljišta mogu poslužiti kao indikator postojanja relativnog osiromašenja ili obogaćenja koncentracija ovih elemenata. Prvobitne koncentracije radionuklida u stenama mogu se menjati usled procesa metamorfoze [7]. Koeficijenti korelacije linearnih zavisnosti parova radionuklida slični su onima dobijenim u sličnim studijama u Evropi, gde su se kretali u opsegu od 0,81 do 0,97 [8-9]. Srednja vrednost odnosa Th/U u analiziranim zemljištima iznosi 3,28 što je u skladu sa teorijski očekivanim odnosom ovih elemenata za Zemljinu koru, koji se kreće od 3,7 do 4,0 [10]. Ovo ukazuje na to da tokom vremena nije došlo do značajnijeg fracionisanja stabilnog izotopa. Vrednost odnosa K/U u ispitivanim uzorcima zemljišta je  $6,22 \times 10^3$  što je manje od vrednosti za Zemljinu koru koja se nalazi u opsegu od  $1,0 \times 10^4$  do  $1,3 \times 10^4$  [10]. Odnos K/Th u ispitivanim uzorcima zemljišta od  $1,91 \times 10^3$  je između vrednosti dobijenih za uzorke zemljišta sa Kipra [6]  $1,4 \times 10^3$  i  $2,5 \times 10^3$  za zemljišta sa Alpa [9].



**Slika 3. Odnos masenih koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u ispitivanim uzorcima zemljišta sa teritorija većih gradova Srbije**

## 4. ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da su vrednosti masenih koncentracija kalijuma, torijuma i uranijuma u analiziranim uzorcima gradskog zemljišta u Srbiji slične sa prosečnim vrednostima na svetskom nivou. Međusobni odnosi ovih koncentracija u uzorcima zemljišta mogu poslužiti kao indikator postojanja relativnog osiromašenja ili obogaćenja koncentracija ovih elemenata. U analiziranim uzorcima zemljišta uočena je međusobna linearna zavisnost parova radionuklida Th/U, K/U i K/Th i njihova normalna raspodela. Ovi odnosi ukazuju da nije došlo do značajnog obogaćenja zemljišta ovim radionuklidima.

## 5. ZAHVALNICA

Rad je finasiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekat III 43009).

## 6. LITERATURA

- [1] Gamma Vission 32, Version 5.3., ORTEC, Oak Ridge, USA, 2001.
- [2] M. Tzortzis, H. Tsertos, S. Christofides, G. Chirsodoulides, Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks, *Radiat. Measur.*, 37, 2003, 221-229.

- [3] D.M. Hamby, A.K. Tynybekov, Uranium, thorium and potassium in soils along the shore of lake Issyk -Kjol in the Kyrghyz Republik, *Environ Monit Assess*, 73, 2002, 100-108.
- [4] M.D. Dimitrijević, Geological Atlas of Serbia, The Serbian Ministry of Natural Resources and Environmental Protection, Belgrade, 2002, 187.
- [5] Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR, New York, 2008.
- [6] S.S. Shapiro, M.B. Wilk, An analysis of variance test for normality, *Biometrics*, 52 1965, 591-611.
- [7] M. Verdoya, P. Choizzi, V. Pasquale, Heat-producing radionuclides in metamorphic rocks of the Briançonnais-Piedmont Zone (Martime Alps) *Ecologae, Geological. Helve.* 94 , 2001, 1-7.
- [8] M. Tzortzis, H. Tsertos, Determination of thorium, uranium and potassium elemental concentrations in surface in Cyprus, *J. Envir. Radioa.* 77, 2004, 325-328.
- [9] P Chiozzi, V. Pasquale, M. Verdoya, Natural occurring radioactivity at the Alps-Apennines transition, *Radiat.Measur.* 35, 2002, 147-154.
- [10] W.R. Van Schmus, Natural Radioactivity of the Crust and Mantle in Ahrens, A Handbook of Physical Constants, American Geophysical Union 1, 1995, 283-291.

### THE DISTRIBUTION OF THE MASS CONCENTRATIONS OF POTASSIUM, THORIUM AND URANIUM IN SOILS FROM THE TERRITORIES OF THE CITIES OF SERBIA

Ljiljana JANKOVIĆ MANDIĆ, Jelena PETROVIĆ, Mirjana ČUJIĆ,  
Snežana DRAGOVIĆ

University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,  
ljmandic@vin.bg.ac.rs

#### ABSTRACT

*In this study, the mass concentrations of potassium, thorium and uranium in soils collected from the territories of 16 cities of Serbia collected in the period 2003-2015, were calculated based on specific activities of these radionuclides measured by gamma-ray spectrometry. The mean values of elemental mass concentrations in analyzed soil samples were found to be 1.6% for K, 8.7 mg/kg for Th and 2.6 mg/kg for U. The mass concentration of potassium, thorium and uranium in analyzed soils follows normal distribution. The relationships between pairs of radionuclides were analyzed and obtained Pearson correlation coefficients were 0.88 for K/Th, 0.89 for K/U and 0.98 for Th/U.*