

**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.

## PRIMENA MONTE-KARLO SIMULACIJA ZA

### IN-SITU GAMA SPEKTROMETRIJU

**Dušan MRĐA, Kristina BIKIT, Sofija FORKAPIĆ, Ištvan BIKIT, Jaroslav SLIVKA**

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija,  
mrdjad@df.uns.ac.rs*

#### **SADRŽAJ**

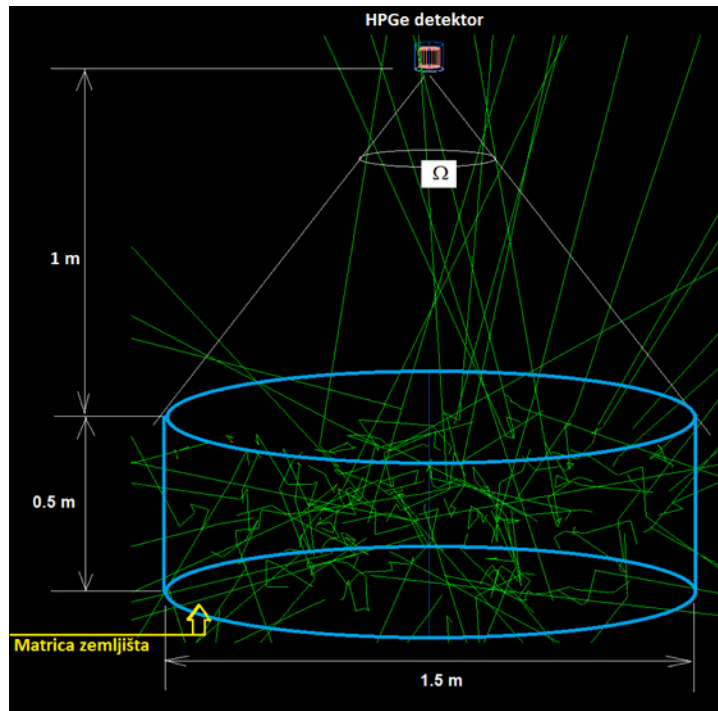
*Kako bi se dobile krive efikasnosti detekcije za In-situ merenja gama zračenja poreklom iz zemljišta, potrebno je izvršiti odgovarajuće Monte-Karlo simulacije. U simulacijama je korišćena gustina zemljišta od  $1,046 \text{ g/cm}^3$ , dok je elementalni sastav zemljišta u kojem se generiše gama zračenje bio: O - 47%, Si - 35%, Al - 8%, Fe - 3,9%, C - 2,1%, Ca - 1,4%, K - 1,3%, N - 0,6%, Mg - 0,6%, N - 0,1%. Matrica zemljišta je predstavljena cilindričnom zapreminom prečnika 1,5 m i debljine 0,5 m, iznad koje je na visini od 1 m postavljen germanijumski detektor. Razmatrane su homogene distribucije različitih radionuklida (Ra-226, Th-232, K-40) u matrici zemljišta. U simulacijama su dobijeni i analizirani odgovarajući gama spektri, koji uz podatke o simuliranim efikasnostima detekcije, omogućuju poređenje sa realnim eksperimentalnim merenjima i praktičnu primenu simulacionih rezultata.*

#### **1. UVOD**

Razvoj i primena metoda In-situ gama spektrometrije otvara mogućnost brze, detaljne i pouzdane karakterizacije određene lokacije sa aspekta distribucije radioaktivnosti, uključujući vertikalnu distribuciju radionuklida u zemljištu, koja se može koristiti za kvantifikovanje stepena erozije. U poređenju sa konvencionalnom gama spektrometrijom u laboratorijskim uslovima, na ovaj način se dobijaju reprezentativniji rezultati detekcijom gama zračenja koje potiče iz neuporedivo veće količine materijala u odnosu na tipičnu masu uzorka za laboratorijska merenja od oko 0,5 kg, čime se minimizira uticaj heterogenosti analiziranog materijala [1].

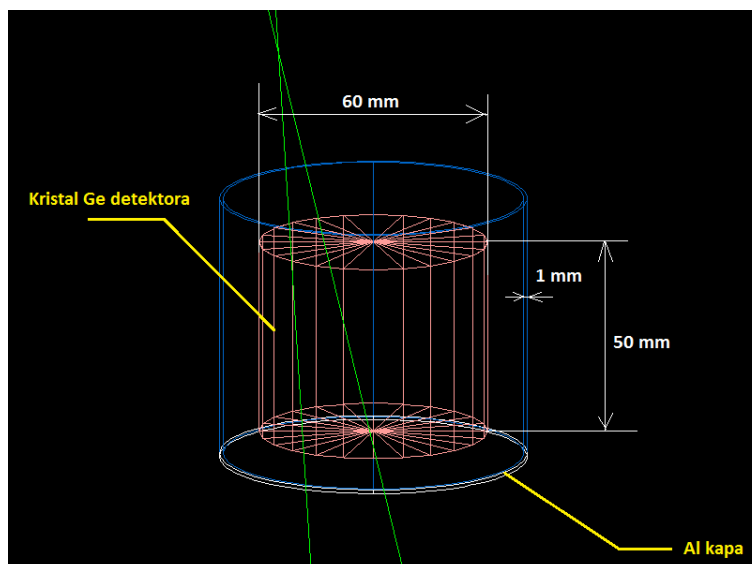
#### **2. SIMULACIJA POSTAVKE HPGE DETEKTORA ZA IN-SITU MERENJA**

Monte-Karlo simulacije realizovane su pomoću softverskog paketa Geant4 (v.9.5.0) [2]. U cilju pojednostavljenja izvršenja simulacija, matrica zemljišta iz koje se emituju gama kvanti različitih energija ograničena je na cilindričnu zapreminu prečnika 1.5 m i debljine 0,5 m, čija je gustina  $1.046 \text{ g/cm}^3$  i elementalni sastav: O 47%, Si 35%, Al 8%, Fe 3,9%, C 2,1%, Ca 1,4%, K 1,3%, N 0,6%, Mg 0,6%, N 0,1%. Pri tome je pretpostavljeno da je distribucija radionuklida (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137, Pb-210) u matrici zemljišta uniformna. HPGe detektor sa Al kapom je smešten na visinu od 1 m iznad matrice zemljišta (sl. 1).



**Slika 1. Simulirana geometrija postavke HPGe detektora za In-Situ gama spektrometriju**

Pri ovakvoj geometriji detektorom je u simulacijama „pokriven“ prostorni ugao od približno  $\Omega = \frac{1}{10} (4\pi \text{ sr})$ , što se u praksi može realizovati pomoću odgovarajućeg prenosnog modularnog štita, montiranog oko portabilnog detektora. Kristal HPGe detektora je imao prečnik 60 mm i visinu 50 mm (sl. 2).



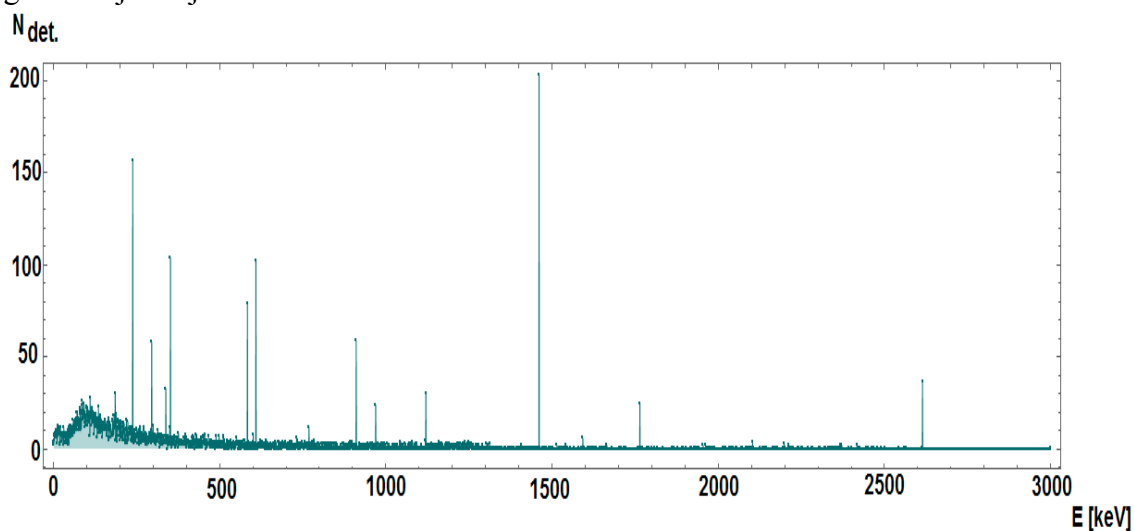
**Slika 2. Dimenzije simuliranog germanijumskog detektora**

### 3. REZULTATI SIMULACIJA

Jednostavnosti radi, pretpostavljeno je da su koncentracije aktivnosti Th-232 i Ra-226 u zemljištu iste, dok je koncentracija aktivnosti K-40 bila  $\sim 13$  puta veća u odnosu na koncentracije pomenuta dva radionuklida. Smatrano je da su svi potomci Th-232, odnosno potomci Ra-226 u radioaktivnoj ravnoteži sa Th-232, tj. sa Ra-226. Uz ove pretpostavke simulirano je  $2 \cdot 10^7$  radioaktivnih raspada Ra-226, kao i  $2 \cdot 10^7$  raspada Th-232, dok je broj raspada K-40 bio  $26.4 \cdot 10^7$ . Ovi raspad i su simulirani generisanjem odgovarajućeg broja gama kvanata različitih energija, na bazi njihovih verovatnoća emisije. To npr. podrazumeva da broj izotropno generisanih gama kvanata u  $4\pi$  sr poreklom od K-40 sa energijom 1460 keV ( $p_\gamma = 10.55\%$ ) iznosi:

$N_{\gamma 4\pi} = 26.4 \cdot 10^7 \times 0.1055 = 27,8 \cdot 10^6$  (to dalje znači da se u hemisferu prostora u kojoj je HPGe detektor emituje polovina, tj.  $13,9 \cdot 10^6$  gama kvanata).

Simulirani spektar germanijumskog detektora pri navedenim uslovima i opisanoj In-Situ geometriji dat je na sl. 3.



**Slika 3. Simulirani gama spektar germanijumskog detektora**

### 4. KRIVA EFIKASNOSTI ZA IN-SITU MERENJA

Dobijeni spektar poslužio je da se odredi kriva efikasnosti detekcije za In-Situ merenja pomoću HPGe detektora. Naime fotopik-efikasnosti na pojedinim energijama se mogu dobiti kao količnik broja detektovanih događaja ( $N_{det.}$ ) pod datim fotopikom i ukupnog broja generisanih gama kvanata određene energije ( $N_{\gamma 4\pi}$ ) u matrici zemljišta u prostorni ugao  $4\pi$  sr:  $\varepsilon = \frac{N_{det.}}{N_{\gamma 4\pi}}$ . Iz poslednje relacije je jasno da će dobijene efikasnosti detekcije

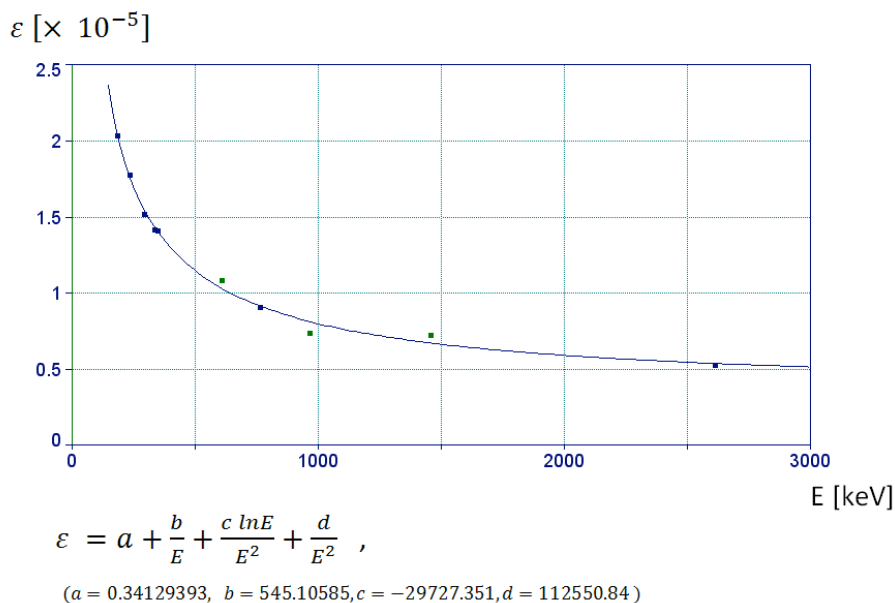
je važiti univerzalno za određivanje bilo koje uniformne koncentracije radionuklida u zemljištu, bez obzira što su efikasnosti dobijene konkretno iz gornjeg spektra koji reprezentuje neki pretpostavljeni fiksni odnos koncentracija radionuklida.

Simulirane efikasnosti na različitim energijama za In-Situ merenja prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Vrednosti simuliranih efikasnosti

| Redni broj | $E_\gamma$ [keV] | $\varepsilon$ -Efikasnost [ $\times 10^{-5}$ ] |
|------------|------------------|--|
| 1.         | 186              | 2,03   |
| 2.         | 238,6            | 1,77   |
| 3.         | 295,2            | 1,51   |
| 4.         | 338              | 1,41   |
| 5.         | 351,9            | 1,40   |
| 6.         | 609,3            | 1,08   |
| 7.         | 768,4            | 0,90   |
| 8.         | 969,1            | 0,73   |
| 9.         | 1460,8           | 0,72   |
| 10.        | 2614,5           | 0,52   |

Relativne nesigurnosti dobijenih efikasnosti kreću se u opsegu 10%-20%. Na sl. 4 prikazana je kriva efikasnosti detekcije za In-Situ merenja, dobijena fitovanjem diskretnih vrednosti iz tabele 1, odgovarajućom funkcionalnom zavisnošću oblika:  $\varepsilon = a + b/E + c \ln E/E^2 + d/E^2$ , gde je vrednost energije  $E$  data u keV. Odgovarajuće vrednosti parametara  $a, b, c$  i  $d$  date su ispod grafika.

Slika 4. Simulaciona kriva efikasnosti detekcije za *In-Situ* merenja

#### 4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Dobijena kriva efikasnosti omogućuje određivanje srednjih koncentracija aktivnosti radionuklida u zemljištu primenom *In-situ* gama spektrometrije ukoliko su ispunjeni određeni uslovi merenja koji odgovaraju simuliranim uslovima: izbor odgovarajućeg HPGe detektora i geometrija njegove postavke iznad zemljišta kao u simulaciji, izbor odgovarajućeg prostornog ugla pod kojim detektor „vidi” matricu zemljišta, kao i važenje pretpostavke o homogenoj distribuciji radionuklida u zemljištu.

### 5. LITERATURA

- [1] A. Tyler. *In situ* and airborne gamma-ray spectrometry. In: Analysis of Environmental Radonuclides, edited by P. Povinec, Elsevier Science, 2008, pp. 407-448.
- [2] Geant4 User's Guide for Application Developers, Version: geant4 9.5.0, 2nd December, 2011, Geant4 Collaboration.

### APPLYING OF MONTE-CARLO SIMULATIONS FOR IN-SITU GAMMA SPECTROMETRY

**Dušan MRĐA, Kristina BIKIT, Sofija FORKAPIĆ, Ištvan BIKIT,  
Jaroslav SLIVKA**

*University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia, mrdjad@df.uns.ac.rs*

#### **ABSTRACT**

*In this work, the Monte-Carlo simulations for In-Situ gamma spectrometry of soil were performed. The simulated gamma spectrum, originated from K-40, as well as from members of Th-232 chain, and daughters of Ra-226, was obtained. We obtained the corresponding detection efficiency curve for HPGe detector, which can be applied for In-Situ measurement of radionuclide concentration in soil, assuming uniform radionuclide distribution.*