

**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.

## POREĐENJE METODA ZA ISPITIVANJE $^{226}\text{Ra}$ U VODI

**Nataša TODOROVIĆ<sup>1</sup>, Jovana NIKOLOV<sup>1</sup>, Ivana STOJKOVIĆ<sup>2</sup>, Jan HANSMAN<sup>1</sup>, Predrag KUZMANOVIĆ<sup>1</sup>, Andrej VRANIČAR<sup>1</sup>**

1) *Univerzitet u Novom sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija,*  
*natasa.todorovic@df.uns.ac.rs*

2) *Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija,*  
*[ivana\\_st@uns.ac.rs](mailto:ivana_st@uns.ac.rs)*

### SADRŽAJ

*U radu je prikazano poređenje različitih metoda i tehnika za određivanje  $^{226}\text{Ra}$  u vodi: tečna scinitlaciona spektrometrija (LSC), alfa spektrometrija i gama spektrometrija. Tehnikom LSC određen je sadržaj  $^{226}\text{Ra}$  u vodi korišćenjem sledećih metoda: standardne test metode ASTM D 7283-06 i EPA metode 913.0. Gama spektrometrijom je sadržaj  $^{226}\text{Ra}$  određen direktnom metodom u Marineli geometriji. Alfa spektrometrom RAD 7 određena je koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u vodi korišćenjem protokola Wat250. Izvršeno je poređenje rezultata dobijenih ovim metodama i dat je pregled prednosti i nedostataka svake metode i tehnike. Dobijene eksperimentalne vrednosti za sve metode su date sa odgovarajućim korekcijom.*

### 1. UVOD

Pijaće vode mogu da sadrže radioaktivne izotope koji predstavljaju potencijalni rizik po zdravlje ljudi. Radioaktivnost u pijaćim vodama može biti antropogenog porekla (ispuštanjem radioaktivnog otpada ili kao posledica nuklearnih testova) ili prirodna (nastaje rastvaranjem gasova i minerala i uključuje izotope urana, torijuma i njihove potomke. Radionuklidi koji priradaju nizu uranijuma-238 dominantno doprinose radijacionom riziku usled ingestije pijaće vode [1] (UNSCEAR, 2000). Određivanje sadržaja  $^{226}\text{Ra}$  u prirodnim vodama je potrebno zbog procene doza usled ingestije i osobine  $^{226}\text{Ra}$  da se deponuje u kostima i mokraćnoj bešici [2]. Pokazano je [3] da je stopa smrtnosti usled raka kostiju značajno povišena u mestima gde voda iz vodovoda sadrži  $^{226}\text{Ra}$  u koncentracijama većim od  $110 \text{ mBq l}^{-1}$ . U studiji [4] zabeležene su povećane stope oboljenja od karcinoma bešike kod muškaraca, raka dojke kod žena i raka pluća kod oba pola sa povećanjem koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  u pijaćim vodama. Istraživanja [5] incidence leukemije pokazuje povezanost ovog oboljenja sa povećanom koncentracijom aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  (većom od  $185 \text{ mBq l}^{-1}$ ) u podzemnim vodama. Zbog toga je veoma važno razviti tačne i precizne metode za ispitivanje sadržaja  $^{226}\text{Ra}$  u vodama za piće. Dozvoljena koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u pijaćoj vodi prema zakonskoj regulativi Republike Srbije iznosi  $0,49 \text{ Bq l}^{-1}$ [6].

### 2. EKSPERIMENTALNI DEO

#### 2.1. PRIPREMA UZORAKA

Standardni rastvor  $^{226}\text{Ra}$  (Czech Metrology Institute, Inspectorate for Ionizing Radiation, deklarisanе aktivnosti  $A_0=39,67 \text{ Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$  na dan 1.10.2013) korišćen je za pripremu uzoraka, tabela 1. Uzorci su zakišeljani sa  $\text{HNO}_3$  i sačekano je uspostavljanje radioaktivne ravnoteže između  $^{222}\text{Rn}$  i  $^{226}\text{Ra}$ .

**Tabela 1. Koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u pripremljenim uzorcima**

Broj uzorka	$C_0[\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$
1.	0,3970(20)
2.	1,587(8)
3.	3,966(20)
4.	5,95(3)
5.	7,93(3)
6.	9,92(5)

## 2.2. METODE MERENJA

Tehnike koje su korišćene za ispitivanje  $^{226}\text{Ra}$  u vodi su:  $\gamma$ -spektrometrija,  $\alpha$ -spektrometrija detektorom RAD7 i spektrometrija tečnim scintilacionim (LSC) spektrometrom Quantulus 1220<sup>TM</sup>. U okviru LSC tehnike za određivanje  $^{226}\text{Ra}$  su korišćene dve metode: EPA 913.0 [7] i ASTM D 7283-06 standardna metoda za određivanje ukupne  $\alpha/\beta$  aktivnosti [8].

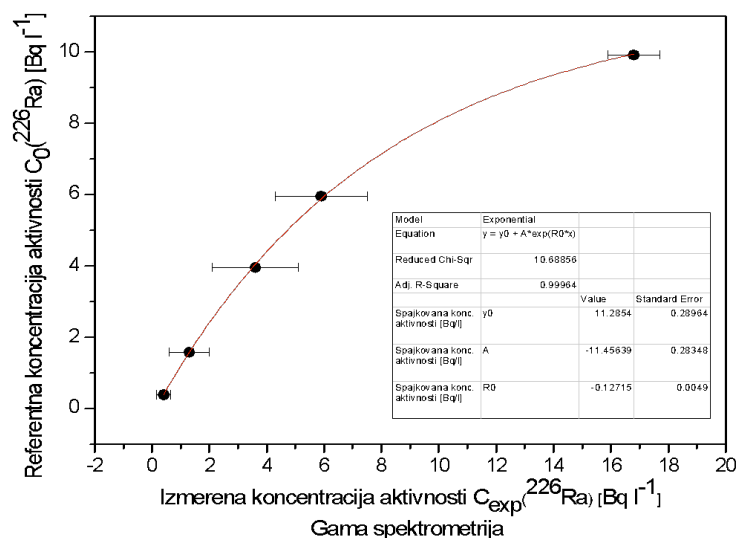
### 2.2.1. $\gamma$ -SPEKTROMETRIJA

Svi uzorci voda mereni su u Marineli geometriji metodom  $\gamma$ -spektrometrije, HPGe spektrometrom proizvođača Canberra nominalne efikasnosti 35% i rezolucije (FWHM) od 1,77 keV. Pasivna zaštita detektora je izrađena od olova debljine 12 cm, sa unutrašnjim slojem od 3 mm bakra. Gama spektri su prikupljeni i analizirani korišćenjem Canberra Genie 2000 softvera. Sve merne nesigurnosti su predstavljene na nivou poverenja od 95% [9].

U tabeli 2 su prikazane vrednosti koncentracija aktivnosti pripremljenih uzoraka dobijenih metodom  $\gamma$ -spektrometrije i odgovarajuće korekcije.

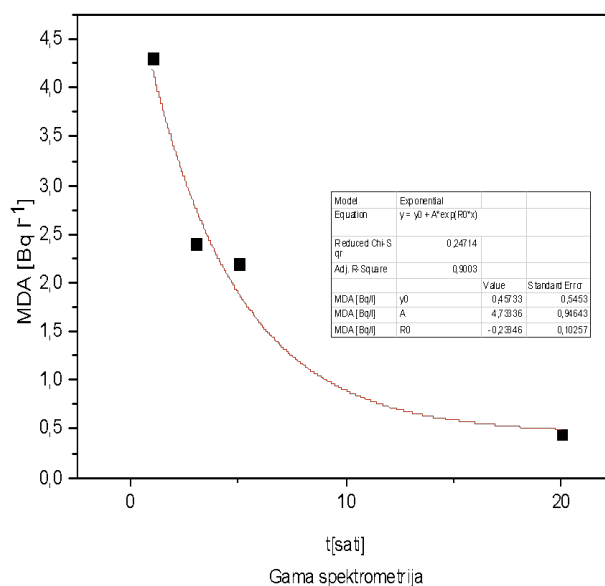
**Tabela 2. Izmerene vrednosti koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  metodom  $\gamma$ -spektrometrije i odgovarajuće korekcije**

Broj uzorka	$C_0 [\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	$C_{\text{exp}} [\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	$C_{\text{exp}}/C_0$	$C_{\text{cor}} [\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	$C_{\text{cor}}/C_0$
1.	0,397(2)	0,40(24)	1,01	0,39(20)	1
2.	1,587(8)	1,3(7)	0,82	1,6 (1,0)	0,99
3.	3,966(20)	3,6(1,6)	0,91	4,0(1,8)	1,02
4.	5,950(30)	5,9(1,6)	0,99	5,9(1,9)	0,99
5.	9,917(50)	16,8(0,9)	1,69	9,9(1,1)	1



**Slika 1. Korelacija između referentnih i izmerenih vrednosti koncentracije <sup>226</sup>Ra metodom gama spektrometrije**

Korelacija između referentnih i izmerenih vrednosti koncentracije aktivnosti <sup>226</sup>Ra metodom gama spektrometrije prikazana je na slici 1. Rezultati su fitovani korišćenjem programa Origin Pro 9. Dobijena zavisnost ima oblik:  $y = 11,2854 - 11,45639e^{-0,12715x}$ , gde  $y$  predstavlja referentnu koncentraciju aktivnosti <sup>226</sup>Ra u Bq l<sup>-1</sup>, a  $x$  dobijen eksperimentalni rezultat ovom metodom u Bq l<sup>-1</sup>. Korigovane vrednosti u odnosu na izmerene prikazane su u tabeli 2. Na slici 2 prikazana je zavisnost minimalne detektabilne aktivnosti (MDA) od vremena merenja. Uočava se da za 20 sati merenja MDA iznosi 0,45 Bq l<sup>-1</sup>. Ovaj rezultat je uporediv sa rezultatom datim za istu metodu u radu [10].



**Slika 2. Zavisnost minimalne detektabilne aktivnosti <sup>226</sup>Ra (MDA) od vremena**

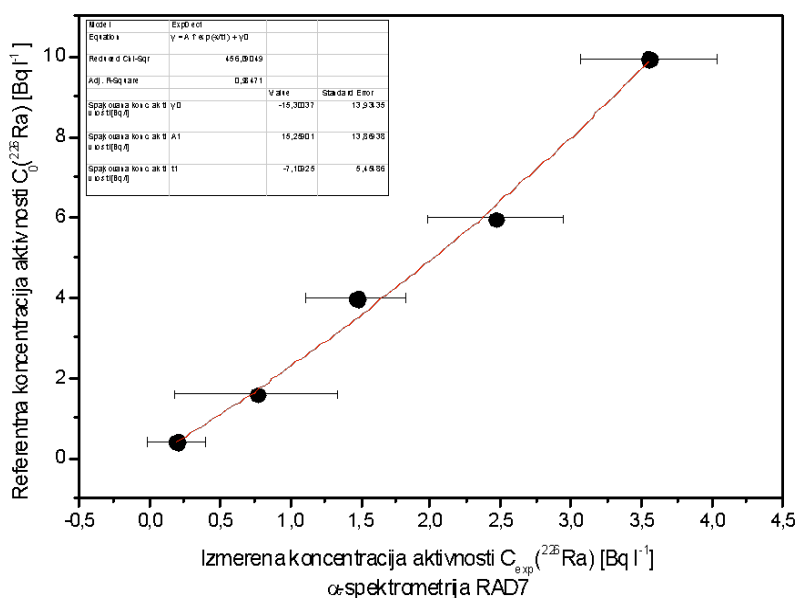
### 2.2.2. $\alpha$ -SPEKTROMETRIJA DETEKTOROM RAD7

RAD7 detektor proizvođača DurrIDGE Company je poluprovodnički alfa spektrometar koji služi za merenje radona i torona u vodi. Za ispitivanje  $^{226}\text{Ra}$  u uzorcima voda korišćene su boce zapremine 250 ml, koje se koriste za one uzorke u kojima se ne očekuje koncentracija aktivnosti veća od  $100 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$  (efikasnost ekstrakcije je 94%) [11]. Rezultati koji su dobijeni ovom mernom tehnikom prikazani su u tabeli 3.

**Tabela 3. Izmerene vrednosti koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  metodom  $\alpha$ -spektrometrije detektorom RAD 7 i odgovarajuće korekcije**

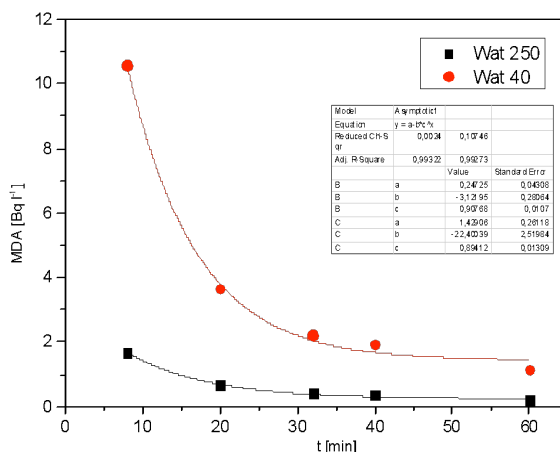
Broj uzorka	$C_0 [\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	$C_{\text{exp}} [\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	t [s]	$C_{\text{exp}}/C_0$	$C_{\text{cor}} [\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	$C_{\text{cor}}/C_0$
1.	0,397(2)	0,20(21)	1038	0,50	0,4(4)	1
2.	1,587(8)	0,8(6)		0,48	1,6(1,2)	0,99
3.	3,966(20)	1,5(4)		0,37	3,5(1,1)	0,87
4.	5,95(3)	2,5(5)		0,41	6,0(1,0)	1,02
5.	9,92(5)	3,6(5)		0,36	9,8(1,0)	0,99

Rezultati su fitovani korišćenjem softverskog programa Origin Pro 9.0 funkcijom  $y=15,25901\cdot e^{x/7,10925}-15,30037$ , gde  $y$  predstavlja referentnu koncentraciju aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u  $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , a  $x$  je izmerena koncentraciju aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ , takođe u  $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , slika 3. Korigovane vrednosti eksperimentalnih rezultata date su u tabeli 3, gde se iz odnosa  $C_{\text{cor}}/C_0$  vidi dobro slaganje referentnih i korigovanih vrednosti koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$ .



**Slika 3. Korelacija između referentnih i izmerenih vrednosti koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  metodom alfa spektrometrije RAD7 detektorom**

Za ispitivanje minimalne detektabilne aktivnosti MDA korišćena je destilovana voda. Merenja su vršena za vremena od 2, 5, 8, 10 i 15 minuta, od po četiri ciklusa za svako merenje, potom su dobijene vrednosti usrednjene. MDA je snimljena za oba protokola (Wat 250 i Wat 40). Rezultati su prikazani na slici 4.



**Slika 4. Minimalna detektabilna aktivnost (MDA) za  $^{226}\text{Ra}$  za protokole Wat-40 i Wat-250**

## 2.2.3. ALFA/BETA SPEKTROMETRIJA TEČNIM SCINTILACIONIM DETEKTOROM QUANTULUS 1220™

Za ispitivanje  $^{226}\text{Ra}$  u vodi tehnikom tečne scintilacione spektrometrije (LSC) na detektoru Quantulus 1220™ razvijene su dve metode: EPA 913.0 [7] i ASTM D 7283-06 standardna metoda za određivanje ukupne  $\alpha/\beta$  aktivnosti [8].

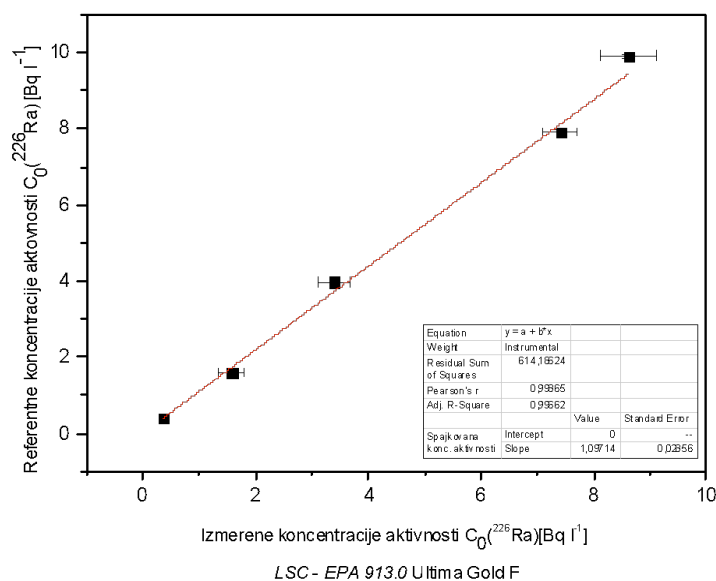
### 2.2.3.1. LSC EPA 913.0

EPA 913.0 [7] je metoda propisana od strane Agencije za zaštitu životne sredine (Environmental Protection Agency - EPA) za određivanje koncentracije aktivnosti radona na tečnom scintilacionom spektrometru (LSC). U ovom postupku se 10 ml uzorka vode (u koju je dodat standard  $^{226}\text{Ra}$ ) prenese u stakleni vial od 20 ml u koji se potom doda 10 ml scintilacionog koktela. Radon difunduje iz uzorka u mineralno ulje (scintilacioni koktel) za koji ima mnogo veći afinitet nego za vodu. Ukupno vreme merenje svakog uzorka iznosilo je 300 minuta.

**Tabela 4. Rezultati ispitivanja  $^{226}\text{Ra}$  LSC EPA 913.0 [7] metodom i odgovarajuće korekcije**

Broj uzorka	$C_0$ [Bq·l <sup>-1</sup> ]	$C_{\text{exp}}$ [Bq·l <sup>-1</sup> ]	$C_{\text{exp}}/C_0$	$C_{\text{cor}}$ [Bq·l <sup>-1</sup> ]	$C_{\text{cor}}/C_0$
1.	0.397(2)	0.35(7)	0.88	0.38(8)	0.97
2.	1.587(8)	1.57(22)	0.99	1.72(24)	1.09
3.	3.966(20)	3.39(27)	0.85	3.7(3)	0.94
4.	7.9(3)	7.4(3)	0.93	8.1(3)	1.02
5.	9.92(5)	8.6(5)	0.87	9.4(6)	0.95

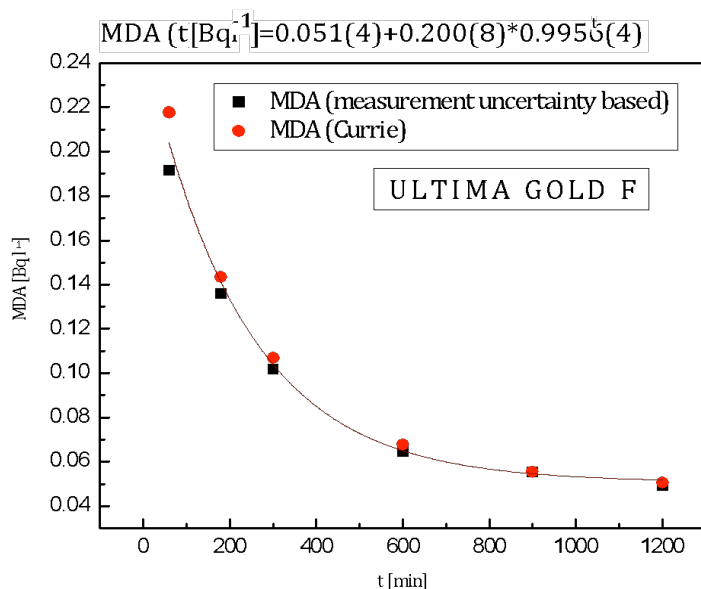




**Slika 5. Korelacija između referentnih i izmerenih vrednosti koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  metodom LSC EPA 913.0 [7]**

Dobijeni eksperimentalni rezultati prikazani su u tabeli 4. Uzorci sa Ultima Gold F scintilacionim koktelom su dali najbolje poklapanje u odnosu na referentne vrednosti. Dobro slaganje pokazuje i sam odnos  $C_{\text{exp}}/C_0$  koji se kreće u intervalu od 0,85 kod uzorka broj 3 do 0,99 za uzorak broj 2.

Korelaciona funkcija prikazana je na slici 5. Primećuje se veoma dobra saglasnost eksperimentalnih i referentnih vrednosti i bez same korekcije, a to potvrđuje i veoma mali korekcionni faktor koji iznosi 1.1.



**Slika 6. Minimalna detektabilna aktivnost (MDA) za  $^{226}\text{Ra}$  za metodu LSC EPA 913.0 [7]**

MDA za metodu EPA 913.0 [7] prikazana je na slici 6 i iznosi  $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ , za 300 minuta merenja.

### 2.2.3.1. LSC - ASTM D 7283-06 STANDARDNA METODA ZA ODREĐIVANJE UKUPNE ALFA/BETA AKTIVNOSTI

ASTM D 7283-06 [8] standardnom metodom se određuju ukupne koncentracije alfa i beta aktivnosti u homegenizovanom uzorku vode. Odmah po uzorkovanju, uzorak vode se konzervira 2 M azotnom kiselinom (5 - 10 ml 2 M azotne kiseline po litru uzorka) da bi se pH vrednost dovela do  $\leq 2$ , i da bi se eliminisao uticaj polimerizacije, stvaranja koloidnih formacija i prekoncentrovanja sporim uparavanjem. Uzorak vode se zatim filtrira kroz  $0,45 \mu\text{m}$  filter papir. Zakišeljani uzorak se čuva najmanje 16 h pre početka analiziranja (a najduže 4 dana nakon kojih je potrebno ponovo proveriti pH i eventualno ponoviti dodavanje 2 M azotne kiseline) i zatim polako uparava do suvog ostatka. Zapremina vode koja se uparava određuje se tako da masa suvog ostatka ne bude veća od najveće mase suvog ostatka kalibracionog standarda. Suvi ostatak uzorka se koristi kao QIP (*Quench Indicating Parameter*), i rastvara sa 5 ml  $0,1 \text{ M HNO}_3$  nakon čega mu se dodaje 15 ml scintilacionog koktela. Uzorak treba da bude bistar homogeni rastvor bez vidljive fazne separacije.

Ovako pripremljeni uzorci mere se u prethodno kalibrisanom tečnom scintilacionom brojaču. Merenja standarda i uzoraka trebaju vrše se na istim operativnim parametrima instrumenta i na istoj temperaturi (pri hlađenju uzoraka moguće je da se pojavi fazna separacija). Odnos zapremine uzorka prema zapremini scintilacionog koktela treba da osigura homogenost smeše.

Za merenje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti tečnih uzoraka, scintilacioni brojač se mora kalibrisati tako što se određuje efikasnost detekcije za alfa česticu u alfa regionu od interesa (ROI), efikasnost za detekciju alfa čestice u beta ROI, efikasnost detekcije beta čestice u beta ROI i efikasnost detekcije beta čestice u alfa ROI za različite mase suvog ostatka kalibracionog izvora u rasponu od 0 do 500 mg. Optimalni prozor, odnosno ROI, u alfa- i beta- višekanalnim analizatorima (MCA) postavlja se tako da faktor dobrote (*FOM*) bude što veći uz zahtev da svi radionuklidi od interesa budu uključeni u region. Za neprigušeni uzorak, većinu alfa emitera pokriva ROI od 400 - 700 keV. Za smešu 5 ml uzorka i 15 ml koktela utvrđeno je da energetski opseg 50 - 400 keV uključuje sve alfa emitere od opšteg interesa. Za beta emitere taj opseg je 0 - 2000 keV.

Efikasnost detekcije  $\alpha/\beta$  komponenti zavisi od energije alfa i beta emitera kalibracionih standarda, stoga je poželjno da se energije alfa i beta emitera prisutnih u merenim uzorcima ne razlikuju previše od energija upotrebljenih referentnih standarda radi dobijanja što preciznijih rezultata.

Tečni scintilacioni spektrometar Quantulus 1220<sup>TM</sup> je posebno pogodan za merenja ukupne alfa/beta aktivnosti jer omogućuje simultano generisanje  $\alpha/\beta$  spektara uzorka zahvaljujući analizatoru oblika impulsa PSA (*Pulse Shape Analysis*). Pravilno podešavanje PSA diskriminatora osigurava dobijanje tačnih i pouzdanih rezultata. Da bi se omogućilo razlikovanje alfa od beta događaja u spektru, i dodatno redukovali pozadinski efekti, potrebno je pre početka merenja na detektoru podesiti PSA parametar pomoću kalibracionih standarda  $^{241}\text{Am}$  i  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ . Ovi standardi pripremaju se sa scintilacionim koktelom u istoj hemijskoj kompoziciji kao i očekivani uzorci za analizu. Procedura kalibracije podrazumeva snimanje spektara standarda pri različitim PSA

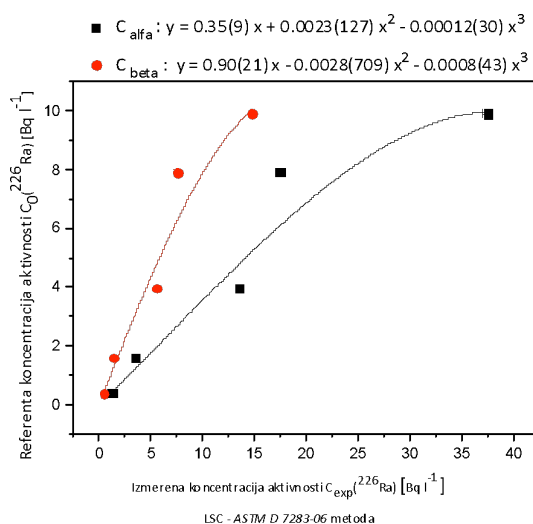
nivoima. Optimalna vrednost PSA parametra zavisi od nivoa i tipa (hemijskog ili obojenog) prigušenja prisutnog u uzorku, zatim od vrste radionuklida i (maksimalne) energije radionuklida. Dalje, optimalna vrednost PSA parametra karakteristična je za određeni tip viala, scintilacioni koktel i celokupni hemijski sastav uzorka i treba je podesiti za dati instrument na kom se vrši detekcija.

Rezultati dobijeni ovom metodom prikazani su u tabeli 5. Vreme merenja svih uzoraka je iznosilo 300 minuta.

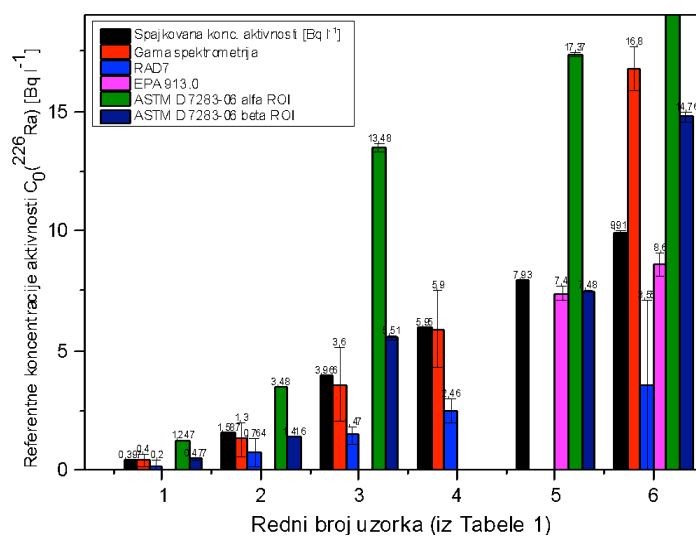
**Tabela 5. Rezultati ispitivanja  $^{226}\text{Ra}$  LSC ASTM D 7283-06 [8] metode i odgovarajuće korekcije**

Broj uzorka	$C_0$ [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	$C_{\text{exp}}$ [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	$C_{\text{cor}}$ [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	$C_{\text{cor}}/C_0$	$\text{MDA}_\alpha$ [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	$\text{MDA}_\beta$ [ $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ]
1.	0,3967(20)	$C_\alpha=1,247(20)$ $C_\beta=0,477(22)$	$C_\alpha=0,440(20)$ $C_\beta=0,429(22)$	1,11 1,08	0,04	0,03
2.	1,587(8)	$C_\alpha=3,48(3)$ $C_\beta=1,416(25)$	$C_\alpha=1,24(3)$ $C_\beta=1,267(25)$	0,78 0,80	0,06	0,03
3.	3,967(20)	$C_\alpha=13,48(17)$ $C_\beta=5,51(9)$	$C_\alpha=4,84(17)$ $C_\beta=4,74(9)$	1,22 1,19	0,13	0,03
4.	7,93(4)	$C_\alpha=17,37(10)$ $C_\beta=7,48(5)$	$C_\alpha=6,14(10)$ $C_\beta=6,24(5)$	0,77 0,79	0,15	0,03
5.	9,92(5)	$C_\alpha=37,4(4)$ $C_\beta=14,76(18)$	$C_\alpha=10,0(4)$ $C_\beta=10,10(18)$	1,01 1,02	0,21	0,03

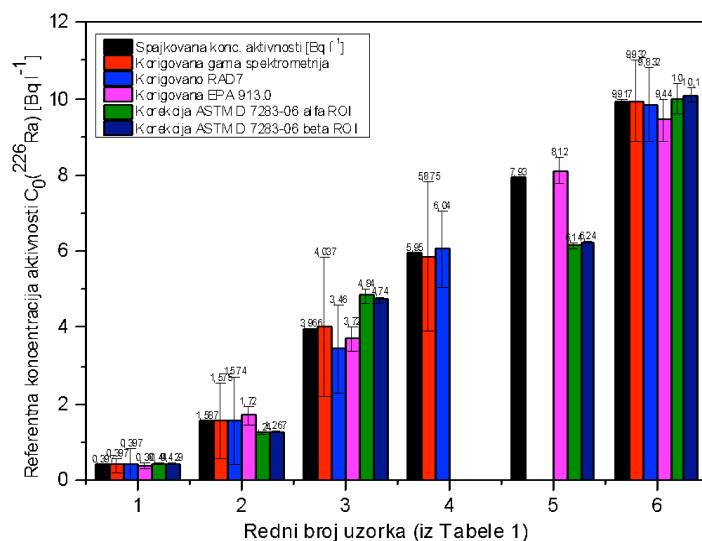
Nakon izvršene korekcije funkcijama datim na slici 7 dobijaju se vrednosti čije je slaganje sa referentnim vrednostima znatno poboljšano, što potvrđuje i odnos  $C_{\text{cor}}/C_0$  (tabela 5). Jasno se može uočiti da su izmerene vrednosti za ukupnu alfa aktivnost znatno više od referentnih, dok je mnogo bolje slaganje između izmerenih i referentnih vrednosti za ukupnu beta aktivnost. Može se zaključiti da kalibracija dektektorskog sistema sa  $^{241}\text{Am}$  i  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  daje bolje rezultate određivanjem koncentracije aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  preko potomaka  $^{214}\text{Pb}$  i  $^{214}\text{Bi}$ , koji su beta emiteri.



**Slika 7. Korelacione funkcije između referentnih i izmerenih vrednosti za koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  u alfa i beta regionu, metoda LSC ASTM D 7283-06 [8]**



Slika 8. Poređenje izmerenih koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  za sve četiri metode



Slika 9. Poređenje korigovanih koncentracija aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  optimalnim funkcijama za sve četiri metode

### 3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano poređenje različitih mernih tehnika i metoda za određivanje  $^{226}\text{Ra}$  u vodi. Poređenje rezultata prikazano je na slikama 8 i 9. MDA za  $^{226}\text{Ra}$  u vodi određen gama spektrometrijom iznosi  $0,45 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  za 20 h merenja, alfa spektrometrijom na RAD 7 detektoru granica detekcije za protokol WAT 250 iznosi  $0,21 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  za 60 minuta merenja, za LSC mernu tehniku (EPA 913.0 metoda) MDA iznosi  $0,1 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  za 300 minuta merenja, a za LSC (ASTM D 7283-06) je  $0,03 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$  u  $\beta$  ROI za 300 minuta merenja. Na osnovu dobijenih vrednosti, može se zaključiti da je najbolje rezultate dala LSC - EPA 913.0 [7] metoda na tačnom scintilacionom detektoru. Metoda je brza, uzorak ne zahteva nikakvu hemijsku pripremu, zapremina uzorka iznosi svega 10 ml, a rezultat se dobija za 300 minuta.

### 4. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju na finansijskoj pomoći Pokrajinskom Sekretarijatu za visoko obrazovanje i naučno-istraživačku delatnost u okviru projekta “Radionuklidi u pijaćoj vodi i incidenca karcinoma u Vojvodini” broj 114-451-2405/2016 i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata broj OI171002 i III43002.

### 5. LITERATURA

- [1] UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation. Vol. 1: Sources United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York 2000.
- [2] S. Konjević, M. Vukotić, R. Radovanović. Radijum 226 u pijaćim vodama u Baranji. 10. Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, 29. Maj-10. Jun 1979, Aranđelovac, 367-371.
- [3] N.J. Petersen, L.D. Samuels, H.F. Lucas, S.P. Abrahams. An epidemiologic approach to low-level radium 226 exposure. *Public Health Rep* 81(9), 1966, 805–814.
- [4] J.A. Bean, P. Isacson, W.J. Hausler, J. Kohler. Drinking water and cancer incidence in Iowa. I. Trends and incidence by source of drinking water and size of municipality. *Am J Epidemiol* 116(6), 1982, 912–923.
- [5] G.H. Lyman, C.G. Lyman, W. Johnson. Association of leukemia with radium groundwater contamination. *JAMA* 254(5), 1985, 621–626.
- [6] 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. "Sl. glasnik RS", br. 86/2011 i 97/2013.
- [7] EPA Method, 913.0, Determination of radon in drinking water by liquid scintillation counting. Radioanalysis Branch, Nuclear Radiation Assessment Division, Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Las Vegas Nevada 89119, 1991.
- [8] ASTM D 7283–06, Standard Test Method for Alpha– And Beta– Activity in Water By Liquid Scintillation Counting, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428–2959, United States, 2009.
- [9] N. Todorović, S. Forkapić, I. Bikit, D. Mrđa, M. Vesković., S. Todorović. Monitoring for exposures to TENORM Sources in Vojvodina region. *Radiat Prot Dosim* 144(1–4), 2011, 655–658.
- [10] M. Köhlera, W. Preußeb, B. Gleisberga, I. Schäfera., T. Heinrichb, B. Knobusb. Comparison of methods for the analysis of 226Ra in water samples, *Applied Radiation and Isotopes* 56, 2002, 387–392.
- [11] RAD7 RADON DETECTOR, User Manual. DURRIDGE radon instrumentation, Revision 7.4.2, DURRIDGE Company, 2017.

## DIFFERENT TECHNIQUES FOR $^{226}\text{Ra}$ DETERMINATION IN WATER SAMPLES

**Nataša TODOROVIĆ<sup>1</sup>, Jovana NIKOLOV<sup>1</sup>, Ivana STOJKOVIĆ<sup>2</sup>, Jan HANSMAN<sup>1</sup>, Predrag KUZMANOVIĆ<sup>1</sup>, Andrej VRANIČAR<sup>1</sup>**

1) *University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Srbija,*  
*[natasa.todorovic@df.uns.ac.rs](mailto:natasa.todorovic@df.uns.ac.rs)*

2) *University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Srbija,*  
*[ivana\\_st@uns.ac.rs](mailto:ivana_st@uns.ac.rs)*

### **ABSTRACT**

*The measurement of  $^{226}\text{Ra}$  in natural water samples is important because it is one of the most hazardous elements with respect to internal radiation exposure. Therefore, in the monitoring studies it is desirable to have a precise and accurate technique for the determination of the activity concentration of this radionuclide.*

*This paper presents a comparison of different techniques and methods for  $^{226}\text{Ra}$  in water samples spiked with different concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  isotope: LSC (Liquid Scintillation Counting), alpha and gamma spectrometry. An overview of the advantages and disadvantages of each techniques are presented.  $^{226}\text{Ra}$  in water samples were determined by gamma spectrometry using direct method (untreated water samples) and by RAD7 solid state detector. For  $^{226}\text{Ra}$  determination by LSC two different methods were tested: ASTM D 7283-06 Standard test method for alpha and beta activity in water by liquid scintillation and EPA Method 913.0 for radon determination in drinking water.*