

Tomislav ANĐELIĆ\*, Ranko ZEKIĆ\*, Ranka ŽIŽIĆ\*,  
Nikola SVRKOTA\*, Perko VUKOTIĆ\*\*

## RADIOAKTIVNOST U EKOSISTEMU SKADARSKOG JEZERA

**Sažetak:** Centar za ekotoksikološka ispitivanja realizuje od 1999. godine Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore, koji uključuje i uzorke vode i ribe (krap) Skadarskog jezera, kao i uzorke tla iz okoline Jezera. U ovom radu prikazani su rezultati najnovijih gama-spektrometrijskih analiza tih uzoraka, iz 2009. godine. Ti rezultati, kao i oni prethodni sve od 1999. godine, potvrđuju visoki radioekološki kvalitet ekosistema Skadarskog jezera.

**Ključne riječi:** *radioaktivnost, gama-spektrometrija, jezerska voda, riba, tlo*

**Abstract:** Since 1999, Center for ecotoxicological investigation of Montenegro has been carrying out monitoring of the radionuclides in the environment, which also includes water samples from the Scadar Lake, fish (carp), and soil from the Lake surroundings. The newest gamma-spectrometry analyses of these samples, from the year 2009, are presented in this paper. The results of these analyses, as well as the previous ones since 1999, show a high quality of the Scadar Lake's ecosystem from radioecological point of view.

**Key words:** *radioactivity, gamma spectrometry, lake water, fish, soil*

### UVOD

Počev od 1999. godine, Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore realizuje Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore [1]. Sastavni dio Programa su i analize uzoraka sa područja Skadarskog jezera. U ovom radu prikazani su rezultati tih analiza iz 2009. godine.

### METODA MJERENJA

Svi uzorci su ispitivani metodom gama-spektrometrije na sistemu sa dva HP-Ge detektora efikasnosti 36% i 41% i rezolucije (FWHM na 1.33 MeV<sup>60</sup>Co) 1.75 keV

---

\* Tomislav Anđelić, Ranko Zekić, Ranka Žižić, Nikola Svrkota, Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore, Podgorica

\*\* Perko Vukotić, Univerzitet Crne Gore, Prirodno-matematički fakultet, Podgorica

i 1.83 keV, respektivno. Energetska kalibracija detektora urađena je pomoću tačkastih kalibracionih izvora  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{152}\text{Eu}$ . Kalibracija efikasnosti registracije fotona je urađena pomoću multi-standarda (Czech Metrological Institute)  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ , čiji je matrics silikonska smola u Marineli posudi zapremine 1 litar.

U uzorcima su mjerene aktivnosti sljedećih radioizotopa:  $^{40}\text{K}$  (preko pika na 1460.75 keV),  $^{232}\text{Th}$  (preko pikova na 338.32 keV, 911.20 keV),  $^{235}\text{U}$  (143.76 keV, 163.33 keV),  $^{238}\text{U}$  (1001.03 keV),  $^{226}\text{Ra}$  (295.22 keV, 351.93 keV, 609.31 keV, 1120.2 keV, 1764.4 keV) i  $^{137}\text{Cs}$  (661.62 keV).

U slučajevima kada u analiziranom uzorku nijesu otkriveni analitički pikovi za kvantitativnu analizu, korišćenjem metode 3 sigma MDA data je procjena donje granice detekcije datog radionuklida u uzorku.

Uzorci su snimani u Marineli posudama od 1 litra, a vremena snimanja su varirala od 50000 s do 100000 s.

## REZULTATI I DISKUSIJA

### *Voda Skadarskog jezera*

Ispitivanje sadržaja radionuklida u vodi Skadarskog jezera radi se na zbirnim tromjesečnim uzorcima zapremine po 60 litara, uzetim sa lokacija prema državnoj granici Crne Gore. Rezultati analize uzoraka vode dati su u Tabeli 1 u vidu aktivnosti po litru neuparenog uzorka.

U zakonodavstvu Crne Gore ne postoje norme za radiološku ispravnost jezerske vode. Zato je za procjenu kvaliteta jezerske vode sa radioekološkog aspekta jedino moguće uporediti vrijednosti dobijenih koncentracija aktivnosti radionuklida u njoj sa izvedenim vrijednostima graničnih koncentracija radionuklida propisanih za vodu za piće [2], koje su date u Tabeli 2.

Tabela 1. Koncentracije aktivnosti radionuklida u vodi Skadarskog jezera – 2009. godina

Voda Jezera	40 K (mBq/l)	137 Cs (mBq/l)	226 Ra (mBq/l)	232 Th (mBq/l)	235 U (mBq/l)	238 U (mBq/l)
I kvartal	66.4 ± 5.3	≤ 2.04	8.1 ± 1.1	≤ 7.97	≤ 14.3	≤ 200
II kvartal	74.1 ± 6.4	≤ 2.35	≤ 4.07	≤ 9.07	≤ 15.9	≤ 270
III kvartal	35.1 ± 3.6	≤ 2.17	≤ 3.80	≤ 7.10	≤ 14.1	≤ 250
IV kvartal	41.8 ± 5.5	≤ 2.49	32.8 ± 2.3	≤ 8.95	≤ 17.2	≤ 280

Tabela 2. Maksimalne dozvoljene koncentracije aktivnosti radionuklida u vodi za piće

40 K (mBq/l)	137 Cs (mBq/l)	226 Ra (mBq/l)	232 Th (mBq/l)	238 U (mBq/l)
2200	1000	200	100	400

Iz navedenih tabela je očigledno da voda Skadarskog jezera, sa stanovišta radiološke ispravnosti, sasvim zadovoljava čak i veoma stroge uslove koji važe za vodu za piće.

### *Riba (šarana) iz Skadarskog jezera*

Sadržaj radionuklida u mesu riba iz Skadarskog jezera rađen je na uzorcima šarana. Šaran je izabran zato što je zbog načina ishrane dobar bioindikator, kao i zato što je to vrsta ribe koja je najzastupljenija u ishrani stanovništva koje gravitira Skadarskom jezeru. Uzorkovanje šarana se obavlja jednom u šest mjeseci svake godine, po standardnoj metodologiji [3], a rezultati analiza u 2009. godini dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Koncentracije aktivnosti radionuklida u mesu šarana – 2009. godina

Uzorak šarana	40 K (Bq/kg)	137 Cs (Bq/kg)	226 Ra (Bq/kg)	232 Th (Bq/kg)
I polugodište	81.5 ± 2.0	0.36 ± 0.03	0.10 ± 0.01	0.07 ± 0.01
II polugodište	112.9 ± 4.0	0.25 ± 0.05	< 0.27	< 0.15

Tabela 4. Granice godišnjeg unosa radionuklida

40 K (Bq/god)	137 Cs (Bq/god)	226 Ra (Bq/god)	232 Th (Bq/god)
1613	769	36	44

Ocjena radiološke ispravnosti mesa šarana ne može se dati direktno. Domaćim propisima [2] date su vrijednosti za granice unosa radionuklida u čovjekov organizam ingestijom na godišnjem nivou (za radionuklide od interesa za ovaj rad prikazane u Tabeli 4), koje bi zatim trebalo podijeliti sa prosječnim količinama potrošnje namirnica po glavi stanovnika, pa tek nakon toga uporediti sa vrijednostima dobijenim analizom radioaktivnosti uzoraka mesa šarana. Nažalost, statistika prosječne godišnje potrošnje namirnica ne radi se u Crnoj Gori. Međutim, upoređivanjem vrijednosti iz Tabela 3 i 4 može se zaključiti da je sadržaj <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra i <sup>232</sup>Th u uzorcima šarana takav da dozvoljava praktično neograničeno korišćenje šarana u ishrani (više stotina kilograma godišnje po stanovniku), ali da je sadržaj kalijuma kritičan jer sa aspekta radioloških propisa dozvoljava sasvim bezbjednu prehrambenu potrošnju samo do 20 kg mesa šarana godišnje po stanovniku.

### *Zemljište okoline Skadarskog jezera*

Zemljište okoline Skadarskog jezera, kako nekultivisano tako i obradivo, uzorkovano je na lokacijama Podhum, Bukovik i Boljevići. Uzorkovanje je urađeno standardnim metodama EML „Trench Sampling” i „Core samling” [4].

Rezultati analize radioaktivnosti uzoraka nekultivisanog zemljišta prikazani su u Tabelama 5, 6 i 7, a obradivog zemljišta u Tabeli 8.

Tabela 5. Koncentracije aktivnosti radionuklida u nekultivisanom zemljištu – 2009. godina (*Core sampling* metoda uzorkovanja)

Lokalitet	40 K (Bq/kg)	137 Cs (Bq/kg)	226 Ra (Bq/kg)	232 Th (Bq/kg)	235 U (Bq/kg)	238 U (Bq/kg)
Bukovik	2329 ± 75	5.6 ± 0.2	31.2 ± 1.1	51.2 ± 1.8	2.3 ± 0.9	64.8 ± 13.1
Podhum	294 ± 9	43.2 ± 1.4	59.6 ± 1.9	51.7 ± 1.7	4.26 ± 0.56	43.6 ± 8.9

Tabela 6. Koncentracije aktivnosti radionuklida u nekultivisanom zemljištu Podhuma – 2009. godina (*Trench sampling* metoda uzorkovanja).

Dubina (cm)	40 K (Bq/kg)	137 Cs (Bq/kg)	226 Ra (Bq/kg)	232 Th (Bq/kg)	235 U (Bq/kg)	238 U (Bq/kg)
0–5	349 ± 8	40.0 ± 0.9	79.0 ± 2.1	53.7 ± 1.4	4.0 ± 1.1	41.0 ± 13.1
5–10	310 ± 7	29.1 ± 0.7	83.9 ± 2.2	56.4 ± 1.4	4.4 ± 0.9	34.8 ± 17.4
10–15	396 ± 9	11.0 ± 0.3	124 ± 4	67.0 ± 1.6	3.7 ± 1.1	40.9 ± 18.0

Tabela 7. Koncentracije aktivnosti radionuklida u nekultivisanom zemljištu Boljevića – 2009. godina (*Trench sampling* metoda uzorkovanja)

Dubina (cm)	40 K (Bq/kg)	137 Cs (Bq/kg)	226 Ra (Bq/kg)	232 Th (Bq/kg)	235 U (Bq/kg)	238 U (Bq/kg)
0–5	492 ± 16	19.2 ± 0.7	19.3 ± 0.7	30.1 ± 1.2	≤ 1.9	≤ 37.9
5–10	526 ± 17	21.3 ± 0.7	22.0 ± 0.8	31.8 ± 1.3	≤ 1.9	47.5 ± 16.0
10–15	520 ± 17	21.7 ± 0.7	20.3 ± 0.7	31.8 ± 1.1	1.7 ± 0.5	≤ 23.6

Tabela 8. Koncentracije aktivnosti radionuklida u obradivom zemljištu – 2009. godina (*Core sampling* metoda uzorkovanja)

Lokalitet	40 K (Bq/kg)	137 Cs (Bq/kg)	226 Ra (Bq/kg)	232 Th (Bq/kg)	235 U (Bq/kg)	238 U (Bq/kg)
Podhum	577 ± 12	11.0 ± 0.3	132 ± 2	74.4 ± 1.7	5.3 ± 1.1	66.8 ± 18.3
Boljevići	519 ± 17	27.3 ± 0.9	19.7 ± 0.7	32.0 ± 1.1	1.5 ± 0.5	24.1 ± 10.8

Vrijednosti sadržaja radionuklida u analiziranim uzorcima zemljišta okoline Skadarskog jezera mogu se razmotriti naspram vrijednosti sadržaja radionuklida u tlu na teritoriji Crne Gore, dobijenih tokom sistematskog istraživanja fona terestrijalnog gama-zračenja u Crnoj Gori 1994. godine [5]. Maksimalne i srednje vrijednosti sadržaja radionuklida u tlu Crne Gore, iz tog istraživanja, prikazane su u Tabeli 9.

Tabela 9. Koncentracije aktivnosti radionuklida u tlu Crne Gore [5]

Vrijednosti	40 K (Bq/kg)	137 Cs (Bq/kg)	238 U (Bq/kg)	232 Th (Bq/kg)
srednje	246	227	29.3	23.7
maksimalne	481 ± 37	740 ± 74	166 ± 8	74 ± 7

Uočava se da su koncentracije tehnogenog  $^{137}\text{Cs}$  u analiziranim uzorcima iz okoline Jezera sada daleko manje nego što su bile u tlu Crne Gore prije 20-ak godina, što znači da se cezijum černobiljskog porijekla značajno raspao.

Koncentracije aktivnosti torijuma su najveće u zemljištu Podhuma (do 74 Bq/kg) i dosežu do nivoa maksimima u Crnoj Gori. Koncentracije uranijuma su najveće u zemljištu Podhuma i Bukovika ( $^{238}\text{U}$  do 67 Bq/kg), ali su i najveće od njih dvostruko manje od maksimalnih u tlu Crne Gore.

Koncentracije aktivnosti kalijuma jako variraju u zemljištu okoline Jezera, od 294 Bq/kg u Podhumu do 2329 Bq/kg u Bukoviku kod Virpazara, gdje su one petostruko veće od odgovarajuće maksimalne vrijednosti iz Tabele 9. Međutim, nedavno ciljano istraživanje lokaliteta sa povećanim fonom terestrijalnog zračenja u Crnoj Gori [6] pokazalo je da je taj fon najveći upravo u Bukoviku (jačina apsorbovane doze u vazduhu na visini 1 m nad tlom je tamo 192 nGy/h) i to zbog prisustva u podlozi andezita – vulkanske stijene srednjetrojasko starosti.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata najnovijih analiza, kao i onih koji su dobijani u kontinuitetu od 1999. godine, može se zaključiti da je stanje ekosistema Skadarskog jezera veoma očuvano i kvalitetno sa radioekološkog stanovišta.

## LITERATURA

- [1] Program sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore. Izvještaji o realizaciji Programa za godine 1998. do 2009, Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore, Podgorica.
- [2] „Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije”, „Službeni list SRJ”, br. 9/99.
- [3] „Measurement of Raionuclides in Food and the Environment, A Guidebook” – IAEA Technical Reports Series No. 295.
- [4] „HASL 300 – EML Procedures Manual”, Environmental Measurements Laboratory, U. S. Department of Energy, 28 Edition, February 1997.
- [5] P. Vukotić et al.: „Background gamma-radiation in Montenegro”. In: *Proceedings of The IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe*, Prague, September 1997, 477–479.
- [6] P. Vukotić et al.: „Localities in Montenegro with elevated terrestrial radiation”, Third European IRPA Congress, Helsinki, Finland, June 2010.

