

## LOKALNOSTI SA POVEĆANIM FONOM GAMA ZRAČENJA U ZONI VISOKI KRŠ U CRNOJ GORI

*Perko Vukotić<sup>1</sup>, Ranko Svrkota<sup>2</sup>, Tomislav Anđelić<sup>3</sup>,  
Ranko Zekić<sup>3</sup> i Nevenka Antović<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, Crna Gora

<sup>2</sup>Republički zavod za geološka istraživanja, Podgorica, Crna Gora

<sup>3</sup>Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

<sup>4</sup>Prirodno-matematički fakultet, Podgorica, Crna Gora

[pvukotic@yahoo.com](mailto:pvukotic@yahoo.com)

### UVOD

Tokom 2008. i 2009. godine, u okviru projekta Crnogorske akademije nauka i umjetnosti (CANU), sprovedeno je istraživanje koje je imalo za cilj da otkrije mjesta u Crnoj Gori sa povećanim terestrijalnim gama zračenjem.

U Crnoj Gori jasno se izdvajaju četiri geotektonske ili strukturno-facijalne jedinice [1,2]: Jadransko-Jonska zona (JZ), Budva-Cukali zona (BZ), zona Visoki krš (VK) i Durmitorska tektonska jedinica (DTJ). Jedinici Visoki krš pripadaju središnji i južni dijelovi Crne Gore, a izgrađena je od permskih i donjetrijaskih klastita, karbonatnih sedimenata trijasa, jure i krede, sa rudonosnim formacijama crvenih i bijelih boksita, vulkanita i vulkanoklastita srednjeg trijasa, trijaskih i paleogenih flišnih sedimenata i kvartarnih sedimenata.

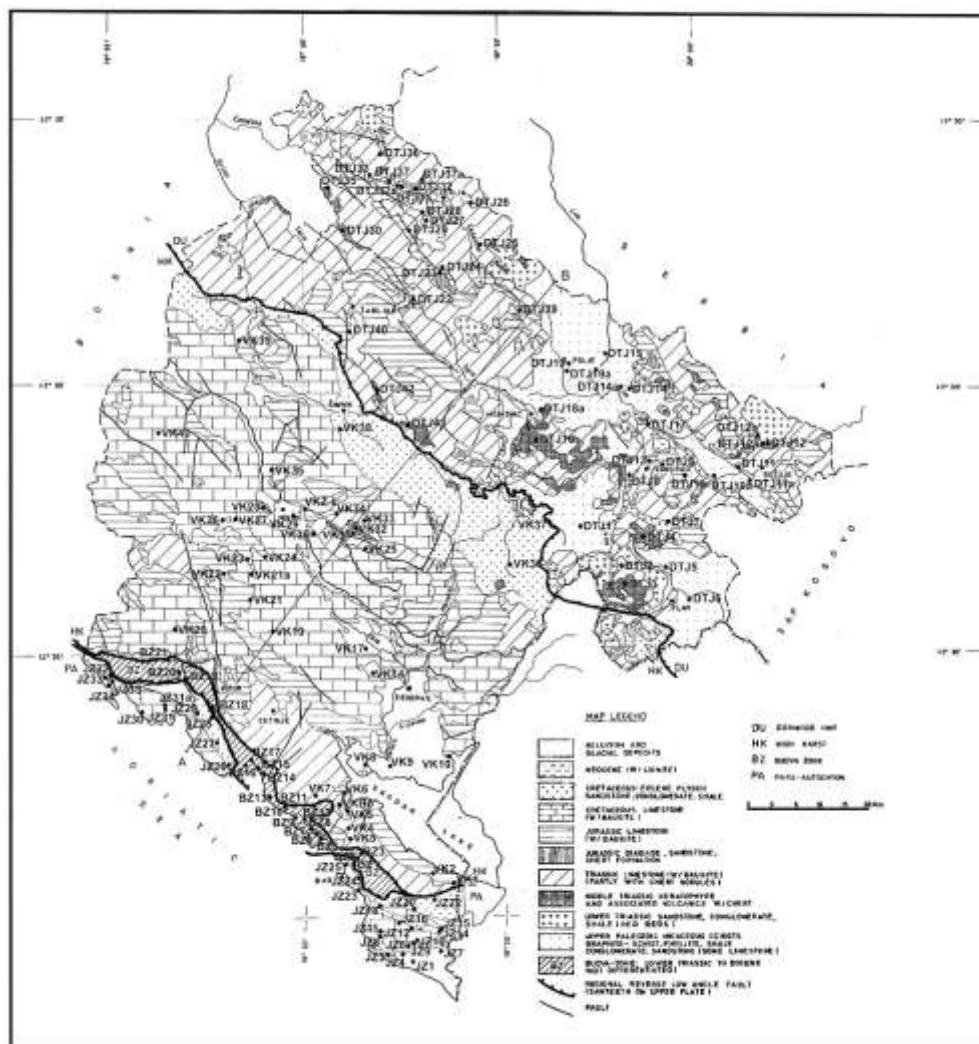
Pored literature o geologiji Crne Gore [1,2], kao osnov ovog projekta korišćeni su i rezultati ranijeg sistematskog istraživanja fona gama zračenja u Crnoj Gori [3,4]. Ono je pokazalo da u Crnoj Gori srednja jačina apsorbovane doze zračenja u vazduhu, 1 m iznad tla, ima vrijednost 55 nGy/h (srednja vrijednost za zemlje Južne Evrope je 62 nGy/h [5]). Stoga je arbitrarno usvojeno da se kao lokalnosti sa povećanim fonom gama zračenja u Crnoj Gori smatraju one na kojima je jačina doze u vazduhu najmanje za 50 % veća od srednje za Crnu Goru, tj. mjesta na kojima je  $D \geq 80$  nGy/h.

U ovom radu prikazuju se rezultati projekta CANU koji se odnose na istraživanje fona gama zračenja terestrijalnog porijekla u zoni Visoki krš.

### MATERIJAL I METODE

Pristup izboru lokalnosti za mjerenja doze zračenja prilagođen je cilju istraživanja – "avorizovane" su geološke formacije sa stijenama/mineralima

za koje je indikovana mogućnost povećanog sadržaja radionuklida. Ukupno je u Crnoj Gori odabrano 138 lokalnosti i one su prikazane na Slici 1.



Slika 1. Geološka karta Crne Gore sa označenim ispitivanim lokalnostima

U zoni Visoki krš izabrano je 38 lokalnosti za terenska mjerenja: 9 na kvartarnim sedimentima (glina, fluvio-glacijal, treset, aluvijum), 4 na flišnim sedimentima (anizijski, kredno-paleogeni i eocenski fliš), 9 na karbonatnim

sedimentima (krečnjaci i krečnjaci sa rožnacima, bitumenozni sedimenti), 3 na vulkanitima, 11 na boksitima i 2 na paleozojskim pješčarima.

Za mjerenja doze zračenja korišćen je uređaj VICTOREEN 190 SI sa NaI 2"×2" sondom, a za povremena kontrolna mjerenja THERMO RadEye. Mjerenja su rađena po suvom vremenu, na visini 1 m iznad tla. U cilju pokrivanja što veće površine ispitivane lokalnosti i time veće reprezentativnosti rezultata mjerenja, na svakoj lokalnosti rađeno je na različitim mjestima 10 mjerenja, iz kojih su određivani opseg rezultata i srednja jačina apsorbovane doze  $D_{sr}$ .

Od 38 ispitanih lokalnosti u zoni Visoki krš, na 12 je izmjereno  $D_{sr} \geq 80$  nGy/h: osam u oblasti boksititnih ležišta (crveni boksiti: VK-25, 33, 35; bijeli boksiti: VK-21a, 23, 24, 26, 27), dvije na fluvio-glacijalnim nanosima – pijesak i šljunak (VK-20, 22), jedna na bankovitim krečnjacima (VK-28) i jedna na vulkanitu andezitskog tipa (VK-7a). Sa tih lokalnosti, po standardnoj "Core Sampling" proceduri, uzeti su uzorci tla za gama-spektrometrijsku analizu. Uzorkovani materijal je drobljen i mljeven, sušen 8 sati na 100 °C, prosijavan na situ prečnika 2 mm i potom pakovan u Marineli posude od 1 L. Ovako pripremljeni analitički uzorci snimani su tek nakon 40 dana, kada je uspostavljena radioaktivna ravnoteža  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$ .

Uzorci su analizirani na niskofonskom sistemu sa dva HPGe detektora efikasnosti 36 % i 41 % i rezolucije (FWHM 1,33 MeV  $^{60}\text{Co}$ ) 1,72 keV i 1,80 keV respektivno, čiji fon na energetskom području 40 – 2700 keV je 0,98 imp s<sup>-1</sup> i 1,22 imp s<sup>-1</sup> respektivno. U uzorcima su određivane koncentracije aktivnosti radionuklida  $^{40}\text{K}$  (1460,75 keV),  $^{232}\text{Th}$  (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).

## REZULTATI

Jačine doze u vazduhu i koncentracije aktivnosti radionuklida u tlu za 12 lokalnosti sa povećanom radioaktivnošću prikazane su u Tabeli 1.

U zoni Visoki krš nađeno je pet lokalnosti sa najvećim uopšte, u ovom istraživanju, izmjerenim dozama zračenja u Crnoj Gori. Najveća doza, 192 nGy/h, izmjerena je u Bukoviku kod Virpazara (VK-7a), gdje je u podlozi andezit, a ostale četiri lokalnosti, sa dozama 131 – 149 nGy/h, u području su Cetinja i Nikšića i karakterišu ih izdanci boksita. U poređenju sa poznatim područjima u svijetu sa visokim fonom prirodnog zračenja [5], ove lokalnosti u Crnoj Gori spadaju u red onih sa umjerenim povećanjem fona.

*Tabela 1.* Jačine apsorbovane doze u vazduhu i koncentracije aktivnosti radionuklida u tlu na lokalnostima u zoni Visoki krš sa relativno povećanim fonom gama zračenja.

<b>Oznaka lokalnosti</b>	<b>Dsr</b> (nGy/h)	<sup>40</sup> <b>K</b> (Bq/kg)	<sup>226</sup> <b>Ra</b> (Bq/kg)	<sup>232</sup> <b>Th</b> (Bq/kg)	<sup>235</sup> <b>U</b> (Bq/kg)	<sup>238</sup> <b>U</b> (Bq/kg)	<sup>137</sup> <b>Cs</b> (Bq/kg)
VK-7a	192	2329 ± 75	31,2 ± 1,1	51,2 ± 1,8	2,3 ± 0,9	64,8 ± 13,1	5,6 ± 0,2
VK/20	125	27,4 ± 1,8	73,0 ± 2,3	194 ± 6	4,12 ± 1,23	113 ± 14	20,2 ± 0,65
VK/21a	131	159 ± 5	92,3 ± 3	126 ± 4	7,8 ± 0,8	137 ± 13	20,2 ± 0,7
VK/22	96	343 ± 11	210 ± 7	62,2 ± 2,1	8,43 ± 1,03	89,4 ± 23,7	60,4 ± 1,9
VK/23	137	109 ± 4	76,1 ± 2,4	129 ± 4	4,08 ± 0,71	73,5 ± 15,5	< 0,43
VK/24	134	164 ± 6	151 ± 5	169 ± 5	9,44 ± 1,32	151 ± 20	5,24 ± 0,26
VK/25	149	173 ± 6	48,8 ± 1,6	196 ± 6	2,71 ± 0,54	66,0 ± 9,5	0,79 ± 0,11
VK/26	101	95,4 ± 3,6	138 ± 5	133 ± 4	8,24 ± 0,92	172 ± 18	0,64 ± 0,16
VK/27	115	145 ± 5	239 ± 7	166 ± 5	16,2 ± 1,1	285 ± 190	1,40 ± 0,15
VK/28	91	390 ± 12	167 ± 5	91 ± 3	7,89 ± 1,07	66,0 ± 18,8	255 ± 8
VK/33	110	109 ± 4	66,8 ± 2,2	201 ± 6	4,92 ± 0,7	114 ± 13	2,95 ± 0,17
VK/35	112	146 ± 5	43,4 ± 1,4	198 ± 6	2,01 ± 0,53	38,0 ± 9,6	4,3 ± 0,2

Srednje vrijednosti koncentracija radionuklida u tlu za Crnu Goru su [3]: 246 Bq/kg za  $^{40}\text{K}$ , 24 Bq/kg za  $^{232}\text{Th}$  i 29 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ , a za zemlje Južne Evrope [5]: 433 Bq/kg za  $^{40}\text{K}$ , 35 Bq/kg za  $^{232}\text{Th}$  i 52 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ . U svjetlu tih vrijednosti, iz Tabele 1 slijedi da je uzrok povećane doze zračenja na lokalnosti VK-7a, gdje je u podlozi prisutan andezit, visoka koncentracija K (2329 Bq/kg) i donekle U u tlu, a na ostalim lokalnostima, gdje su prisutni izdanci boksita, znatno povećane koncentracije U i Th ( $^{238}\text{U}$  do 285 Bq/kg i  $^{232}\text{Th}$  do 201 Bq/kg).

Koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  su na većini ispitivanih lokalnosti manje od 20 Bq/kg, što je bio nivo kontaminacije našeg šireg područja prije akcidenta u Černobilju. Međutim, u Kusidama (VK-28, slojeviti i bankoviti krečnjaci) i Grahovu kod Nikšića (VK-22, fluvio-glacijalni nanos), tehnogeni  $^{137}\text{Cs}$  još uvijek je prisutan u značajnoj mjeri u površinskom sloju tla.

## ZAKLJUČAK

Upravo u zoni Visoki krš nađeno je pet lokalnosti sa najvećim dozama zračenja u Crnoj Gori (iznad 130 nGy/h). Najveća jačina doze (192 nGy/h) izmjerena je na lokalnosti kod Virpazara, kojoj je u osnovi vulkanit andezitskog tipa, a uzrok joj je veoma visoka koncentracija K u tlu. Ostale četiri lokalnosti karakterišu izdanci boksita, gdje su relativno visoki sadržaji U i Th u tlu uzrok povećanog fona prirodnog zračenja.

Sve ove lokalnosti, u poređenju sa drugim poznatim područjima u svijetu sa visokim prirodnim fonom zračenja, spadaju u red onih sa umjerenim vrijednostima povećanja fona.

## REFERENCE

- [1] Mirković M, et al. Geološka karta SR Crne Gore, 1:200 000. Republička samoupravna zajednica za geološka istraživanja SRCG, Titograd, 1985.
- [2] Živaljević M. Tumač geološke karte SR Crne Gore, 1:200 000. Posebna izdanja Geološkog glasnika, Knjiga VIII. Zavod za geološka istraživanja SRCG, 1989.
- [3] Vukotić P, et al. Fon gama-zračenja u Crnoj Gori. Softverski program. MENEKO, Podgorica 1996.
- [4] Vukotić P, et al. Background gamma-radiation in Montenegro. Proceedings of the IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe; Prague, September 1997, p. 477-479.
- [5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly of the United Nations with Scientific Annexes, New York, 2000.

## LOCALITIES WITH ELEVATED RADIATION BACKGROUND IN THE HIGH KARST ZONE OF MONTENEGRO

*Perko Vukotić<sup>1</sup>, Ranko Svrkota<sup>2</sup>, Tomislav Anđelić<sup>3</sup>,  
Ranko Zekić<sup>3</sup> and Nevenka Antović<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Montenegrin Academy of Sciences and Arts, <sup>2</sup>Geological Survey of  
Montenegro, <sup>3</sup>Centre for Ecotoxicological Research, <sup>4</sup>Faculty of  
Mathematics and Natural Sciences, Podgorica, Montenegro  
[pvukotic@yahoo.com](mailto:pvukotic@yahoo.com)

Research aimed to find localities in Montenegro with an elevated terrestrial gamma background was conducted during the period 2008-2009. For this purpose, 138 localities which have geological formations known to contain minerals with potentially high concentrations of U, Th and K, were selected throughout the country for a dosimetric survey.

There are four distinctive geotectonic units in Montenegro: the Adriatic-Ionian Zone (JZ), the Budva-Cukali Zone (BZ), the High Karst Zone (VK), and the Durmitor Tectonic Unit (DTJ). The central and southern parts of Montenegro belong to the VK zone, whose geological structure is predominated by Mesozoic carbonate sediments, with occurrences of red and white bauxite formations, Triassic volcanic rocks, Paleogene flysch sediments and Quaternary sediments. In total, 38 localities belonging to the VK zone were selected for field investigations of terrestrial radiation.

Knowing from earlier investigations that in Montenegro the average absorbed dose-rate in the air, 1 m above the ground, is 55 nGy/h, it was arbitrarily adopted that only localities with absorbed doses at least 50 % above this average value would be considered as having a relatively elevated radiation background. Field measurements have shown that 12 of the surveyed localities in the VK zone have such elevated dose values, five of them being with the highest dose rates in Montenegro. Among these five sites, the highest dose rate (192 nGy/h) was found at a locality which lies on andesite volcanic rock, while the other four localities (131 – 149 nGy/h) lie on bauxite deposits. Compared to the other areas in the world known to have a high natural radiation background, all of these localities in Montenegro have a moderately elevated radiation level.

From the 12 localities with a relatively elevated radiation background, soil samples have been collected and analyzed by gamma spectrometry to determine activity concentrations of <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra and <sup>137</sup>Cs. Gamma spectrometry has revealed that a high content of <sup>40</sup>K (2329 Bq/kg) was the main source of elevated radiation at the site over andesite rocks, and high U and Th contents (up to 285 Bq/kg of <sup>238</sup>U, and up to 201 Bq/kg of <sup>232</sup>Th) at the sites over bauxite deposits.