

DOI: 10.7251/VETJ1401007M

UDK 539.16:504.5(497.11Копаноник)

B. M. Mitrović,<sup>1</sup> G. Č. Vitorović,<sup>1</sup> M. Lazić<sup>1</sup>

### *Originalni rad*

## SPECIFIČNA AKTIVNOST <sup>40</sup>K I <sup>137</sup>Cs U UZORCIMA ZEMLJE, SENA, MAHOVINE I MLEKA PRIKUPLJENIH SA PODRUČJA KOPAONIKA

### Kratak sadržaj

Kopaonik je najviša planina Srbije sa odličnim uslovima za gajenje malih i velikih preživara. Obiluje brojnim prirodnim i kulturnim bogatstvima i jedan je od najvećih turističkih centara u Srbiji. Cilj istraživanja je bio da se odredi specifična aktivnost radionuklida <sup>137</sup>Cs i <sup>40</sup>K u životnoj sredini Kopaonika i da se dobijene vrednosti uporede sa rezultatima dobijenim godinu dana posle černobiljskog akcidenta. Uzorci zemlje, mahovine, sena i mleka su prikupljeni na različitim nadmorskim visinama, sa šest lokacija u opštinama Raška i Brus. Rezultati istraživanja su pokazali da je radioaktivni <sup>137</sup>Cs i dalje prisutan u životnoj sredini Kopaonika, i to u uzorcima zemljišta i mahovina. U zemljištu je najviša specifična aktivnost <sup>137</sup>Cs detektovana na lokalitetu Jošanička banja (142 Bq/kg), a u mahovinama na lokalitetu Lisina (228 Bq/kg). U najvećem broju ispitivanih uzoraka zemljišta, specifična aktivnost <sup>137</sup>Cs je bila duplo manja u odnosu na vrednosti izmerene 1987. godine, što se podudara sa njegovim fizičkim vremenom poluraspada (30 godina). U uzorcima sena i mleka, specifična aktivnost <sup>137</sup>Cs je bila ispod praga detekcije, što ukazuje na to da ovaj radionuklid nije uključen u lanac ishrane.

**Ključne reči:** radioaktivnost, Kopaonik, <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K, zemljište, mahovine.

---

<sup>1</sup> Katedra za radiologiju i radijacionu higijenu Fakulteta veterinarske medicine Univerziteta u Beogradu, Bulevar oslobođenja 18, Beograd, Srbija.  
Department of radioalogy and radiation hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Bulevar oslobodjenja 18, Belgrade, Serbia.  
E-pošta korespondentnog autora/ E-mail of the corresponding author: marko.lazic.ue@gmail.com

B. M. Mitrović<sup>1</sup>, G. Č. Vitorović<sup>1</sup>, M. Lazić<sup>1</sup>

*Original paper*

## SPECIFIC CONCENTRATION OF $^{40}\text{K}$ AND $^{137}\text{Cs}$ IN SAMPLES OF SOIL, HAY, MOSS AND MILK COLLECTED ON KOPAONIK MOUNTAIN

### Abstract

Kopaonik is the highest mountain in Serbia with excellent conditions for breeding large and small ruminants. It has many natural and cultural opulences and it's one of largest tourist center in Serbia. The aim of our research was to analyse specific concentration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in enviroment of Kopaonik mountain, and to compare results with those mesured one year after the chernobyl accident on a same locations. Samples of soil, mosses, hay and milk were collected on a diferent altitude from six locations in townships Raška and Brus. Results have show that radioactive  $^{137}\text{Cs}$  is still present in enviroment of Kopaonik in samples of soil and mosses. The highest specific concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in a soil has been mesured in Jošanička banja (142 Bq/kg), and in a mosses in Lisina (228 Bq/kg). In most samples of soil specific concentration of  $^{137}\text{Cs}$  was half lower compared with obtained values from 1987. and it matches its physical half-life period of 30 years. In the samples of hay and milk specific concentration of  $^{137}\text{Cs}$  was below detection limit, and it indicate that this radionuclide is not included in the food chain.

**Key words:** radioactivity, Kopaonik mountain,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , soil, mosses.

---

### UVOD/ INTRODUCTION

Ubrzani tehnološki razvoj čovečanstva u poslednjih nekoliko decenija prošlog veka iziskivao je potrebu za većom proizvodnjom električne energije. Nuklearne elektrane predstavljaju jedan od najefikasnijih i najčistijih postupaka za dobijanje električne energije i danas su u upotre-

bi širom sveta. Međutim, potencijalni nuklearni akcidenti mogu predstavljati veliku opasnost po životnu sredinu i sva živa bića.

Poslednji nuklearni akcident na području Evrope se dogodio 1986. godine u Ukrajini, u nuklearnoj elektrani u Černobilju. Tada je usled eksplozije došlo

do oslobađanja velike količine fisionih produkata u atmosferu. Smatra se da je ovaj akcident najveća ekološka katastrofa u istoriji korišćenja nuklearne energije (Dobrić i sar., 2006). Padavinama koje su nosile nuklearne čestice kontaminirana su ogromna prostranstva širom sveta. Akcident koji se dogodio 2011. godine u Japanu, zbog velike udaljenosti, nije doveo do značajne kontaminacije životne sredine Republike Srbije (Vitorović i sar., 2013).

Godinu dana posle nuklearnog akcidenta u Černobilju, urađeno je ispitivanje

prisustva radioaktivnih kontaminenata u životnoj sredini planine Kopaonik. Specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu je bila i do sedam puta veća u odnosu na onu pre akcidenta (Mičić i sar., 1989). Područje Kopaonika je poznato kao turistički centar sa brojnim prirodnim i kulturnim bogatstvima, a zbog velikog prostranstva pod pašnjacima i livadama veoma je pogodno za gajenje malih i velikih preživara. Takođe, treba spomenuti i prirodna bogatstva flore i faune u okviru Nacionalnog parka Kopaonik.

**Tabela 1.** Specifična aktivnost 40K i 137Cs u uzorcima iz životne sredine sa različitih područja Kopaonika (Bq/kg) (Mičić i sar., 1989)

Lokalitet	Nadmorska visina (m)	40K	137Cs
<b><u>Zemlja</u></b>			
Brus	429	430±26	48±2,3
Jošanička banja	557	380±13	62±2,1
Đerekare	950	580±19	31±1,3
Brzeće	980	435±22	83±2,4
Lisina	1300	640±31	88±1,8
Gobelja	1934	402±15	192±1,8
<b><u>Seno</u></b>			
Brus	429	710±21	22±2,3
Jošanička banja	557	410±21	19±1,7
Đerekare	950	980±48	27±2,9
Brzeće	980	790±21	21±2,9
Lisina	1300	883±18	162±7,8
Gobelja	1934	761±75	1112±2,8
<b><u>Kravlje mleko</u></b>			
Jošanička banja	557		/
Đerekare	950		/
Brzeće	980		8±0,9
Lisina	1300		40±5,0

Radioekološka istraživanja određenog područja podrazumevaju sakupljanje uzoraka iz životne sredine, koji na najbolji način mogu da ukažu na potencijalnu opasnost po zdravlje stanovništva. U tu svrhu se obično uzimaju uzorci zemljišta, biljne mase i proizvoda domaćih životinja (Grdović i sar., 2010; Mitrović i sar., 2008; Strand i sar., 1996), meso divljih životinja, mahovine i gljive (Iurian i sar., 2011; Čučulović i sar., 2011).

Cilj našeg istraživanja je bio da se utvrdi specifična aktivnost radionuklida, i to prirodnog ( $^{40}\text{K}$ ) i proizvedenog ( $^{137}\text{Cs}$ ), u zemljištu, mahovinama, senu i mleku, kako bi se dobijeni rezultati uporedili sa literaturnim podacima objavljenim neposredno posle černobiljskog akcidenta.

## MATERIJAL I METODE/ MATERIAL AND METHODS

Uzorci neobradivog zemljišta, mahovina, sena i mleka prikupljeni su u jesen 2013. godine sa šest lokaliteta na području Kopaonika, u opštinama Raška i Brus, i to: Brus (429 m), Brzeće (980 m), Đerekare (950 m), Jošanička banja (557 m), Lisina (1300 m) i Gobelja (1934 m).

Uzorci zemljišta su sakupljeni sa dubine do 10 cm, a na istom terenu su sa-

kupljeni uzorci mahovina i sena. Sa četiri od šest navedenih lokaliteta su prikupljeni uzorci kravljeg mleka u količini od 1,5 l. Uzorci mleka nisu uzeti na Gobelji (jer je to ruralna sredina, koja se samo u toku leta koristi za ispašu) i Brusu (gradska sredina).

Po dopremanju u laboratoriju, uzorci zemlje su bili sušeni na temperaturi od  $105^{\circ}\text{C}$  do konstantne mase, usitnjeni, a zatim zapakovani u standardne Marineli posude zapremine 1 l. Uzorci mahovine i sena su sušeni na temperaturi od  $105^{\circ}\text{C}$  do konstantne mase, usitnjavani i pakovani u plastične posude zapremine 250 ml. Uzorci mleka su pakovani u Marineli posude od 1 l.

Za merenje svih uzoraka su korišćeni HPGe detektori (Ortec, USA), relativne efikasnosti 30% i 35%, sa energetsom rezolucijom 1,83KeV/1332,5 keV  $^{60}\text{Co}$ , a dužina merenja uzorka bila je 60 000 s za mleko i zemljište i 250 000 s za mahovinu i seno.

## REZULTATI I DISKUSIJA/ RESULTS AND DISCUSSION

Rezultati gamaspektrometrijskih analiza uzoraka zemlje, sena, mahovina i kravljeg mleka prikupljenih sa područja planine Kopaonik prikazani su u tabeli 2.

**Tabela 2.** Specifična aktivnost 40K i 137Cs u uzorcima iz životne sredine sa različitih područja Kopaonika (Bq/kg)

Lokalitet	Nadmorska visina (m)	40K	137Cs
<b>Zemlja</b>			
Brus	429	526±16	30,6±0,9
Jošanička banja	557	269±8	142±4
Đerekare	950	920±27	6,0±0,2
Brzeće	980	620±19	32,3±0,9

Lisina	1300	730±21	79,4±2,3
Gobelja	1934	722±21	29,8±0,9
<b><u>Seno</u></b>			
Brus	429	244±9	0,5±0,2
Jošanička banja	557	220±8	0,5±0,1
Đerekare	950	518±16	<0,3
Brzeće	980	564±18	0,9±0,2
Lisina	1300	499±18	<0,7
Gobelja	1934	244±10	1,7±0,3
<b><u>Mahovina</u></b>			
Brus	429	386±12	141±4
Jošanička banja	557	104±4	21,4±0,7
Đerekare	950	158±6	9,4±0,4
Brzeće	980	348±12	143±4
Lisina	1300	222±9	228±7
<b><u>Kravlje mleko</u></b>			
Jošanička banja	557	49,4±1,7	< 0,1
Đerekare	950	50,7±1,8	< 0,1
Brzeće	980	45,4±1,7	< 0,1
Lisina	1300	62,2±2,2	< 0,1

Još od početka nuklearne ere, čovek je svojim delovanjem doveo do kontaminacije biosfere proizvedenim, fisionim radionuklidima. Radioaktivni  $^{137}\text{Cs}$  prisutan u zemljištu je glavni izvor kontaminacije biljaka, jer se preko korenovog sistema resorbuje iz zemljišta i akumulira u biljkama. Usvajanje i migracija  $^{137}\text{Cs}$  zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika samog zemljišta, ali i od fizioloških karakteristika biljaka. Lanac zemljište–biljka–čovek predstavlja glavni put kontaminacije ljudi radionuklidima (IAEA, 2009).

U uzorcima ispitivanih zemljišta najviša specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  (142 Bq/kg) i najniža specifična aktivnost  $^{40}\text{K}$  (269 Bq/

kg) detektovana je u podnožju planine, na području Jošaničke banje (tabela 2). Na ostalim ispitivanim lokalitetima, specifična aktivnost  $^{40}\text{K}$  je bila daleko veća u odnosu na specifičnu aktivnost  $^{137}\text{Cs}$ , i to od 17 do 280 puta.

Na lokalitetu Gobelja, koji predstavlja najvišu nadmorsku visinu na kojoj smo prikupljali uzorke, specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  je posle černobiljskog akcidenta iznosila 192 Bq/kg (Mičić i sar., 1989), a 2013. je bila manja za oko šest puta. Na najvećem broju ispitivanih lokacija, specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  je u proseku duplo niža, što se objašnjava njegovim vremenom poluraspada (30 godina) i

geološkim karakteristikama ispitivanog zemljišta. Istraživanjima sprovedenim na području planina Tare i Maljen utvrđeno je da sa porastom nadmorske visine dolazi do povećanja specifične aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu (Mitrović i sar., 2009), što nije potvrđeno na području Kopaonika, a može se objasniti različitim geološkim sastavom stena na ispitivanim lokacijama.

Rezultati koje su objavili Mičić i sar. (1989) posle černobiljskog akcidenta pokazali su da se u senu sa područja Kopaonika specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  kretala u opsegu od 19 Bq/kg (Jošanička banja) do 1112 Bq/kg (Gobelja), a u uzorcima kravljeg mleka od 8 Bq/kg (Brzeće) do 40 Bq/kg (Lisina), što je bilo posledica direktnog taloženja radiocezijuma putem radioaktivnih padavina. Rezultati gamaspektrometrijske analize iz 2013. godine pokazuju da je u svim ispitivanim uzorcima sena i mleka sa područja Kopaonika specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  bila niska. Prema važećem pravilniku Republike Srbije („Sl. glasnik RS“ br. 86/11), granica sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  u mleku, kao osnovnoj životnoj namirnici, iznosi 15 Bq/kg, pa je ispitivano mleko bezbedno za ljudsku upotrebu. Takođe, treba istaći i da posle nuklearnog akcidenta 2011. u Japanu (Fukušima) nije došlo do kontaminacije životne sredine u Srbiji, što je potvrđeno analizom ovčijeg i kravljeg mleka sa različitih lokaliteta na teritoriji Republike Srbije (Vitorović i sar., 2013).

Mahovine predstavljaju dobre bioindikatore radioaktivnosti u životnoj sredini, jer u poređenju sa biljkama imaju veću sposobnost akumulacije radionuklida (Čučulović i sar., 2011; Grdović i sar., 2010; Iurian i sar., 2011). Brzina

akumulacije teških metala, radionuklida, pesticida i ostalih zagađivača može biti vrlo visoka, a sposobnost akumulacije zavisi od vrste i starosti mahovina i staništa na kojima se nalaze (Iurian i sar., 2006; Čučulović i sar., 2011). Apsorpciju hranjivih materija mahovine vrše preko cele površine tela, na listovima nemaju kutikulu ni stomu, a utvrđena je i jasna korelacija između njihovog rasta i brzine akumulacije (Grdović, 2005). Na području Kopaonika, najveća specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u mahovinama je zabeležena na lokalitetu Lisina (228 Bq/kg), a najniža na području Đerekare (9,4 Bq/kg), gde je u zemljištu specifična aktivnost ovog radionuklida bila niska (6 Bq/kg).

Specifična aktivnost  $^{40}\text{K}$  u mahovinama je bila od 2,5 do 17 puta veća u odnosu na sadržaj  $^{137}\text{Cs}$ , osim na lokalitetu Lisine, gde je specifična aktivnost oba ispitivana radionuklida bila približna. Poređenjem nivoa kontaminacije u mahovinama i zemljištu utvrdili smo da je u svim ispitivanim uzorcima mahovina specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  bila veća u odnosu na zemljište, i to od 1,6 do 4,6 puta. Izuzetak su uzorci mahovina prikupljenih sa područja Jošaničke banje, gde je nivo specifične aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  bio sedam puta manji nego u zemljištu, što se može objasniti starošću i vrstom ispitivanih mahovina.

## ZAKLJUČAK/ CONCLUSION

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da je radioaktivni  $^{137}\text{Cs}$  i dalje prisutan u životnoj sredini Kopaonika, i to u zemljištu i mahovinama. Nizak nivo aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$ , skoro trideset godina posle černobiljskog akcidenta, posledica je njegovog fizičkog vremena poluraspada, geoloških karakte-

ristika zemljišta, kao i uključivanja ovog elementa u procese kruženja materije.

U ispitivanim uzorcima sena i mleka dokazan je nizak sadržaj radioaktivnog Cs-137, odnosno ispod praga detekcije. Takođe je dokazano da posle nuklearnog akcidenta u Fukušimi (2011) nije došlo do nove kontaminacije ovog regiona.

## ZAHVALNICA/ ACKNOWLEDGEMENT

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS, koje je finansiranjem projekta TR 31003 omogućilo realizovanje ovog rada.

## LITERATURA/ REFERENCES

1. Čučulović, A.; Čučulović, R.; Cvetić-Antić, T.; Veselinović, D. (2011): *Mosses as biomonitors for radioactivity following the Chernobyl accident*. Arch Biol Sci, 63: 1117–1125.
2. Dobrić, S.; Đurović, B. (2006): *Nuklearni akcidenti u svetu od 1950. do 2005. godine*. Vojnosanitetski pregled, 63: 465–469.
3. Grdović, S. (2005): *Mahovine šireg područja Beograda i njihov bioindikatorski značaj*. Monografija, Zadužbina Andrejević, Beograd.
4. Grdović, S.; Vitorović, G.; Mitrović, B.; Andrić, V.; Petrujkić, B.; Obradović, M. (2010): *Natural and anthropogenic radioactivity of feedstuffs, mosses and soil in Belgrade environment, Serbia*. Arch Biol Sci, 62: 301–307.
5. International Atomic Nuclear Agency (2009): *Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, IAEA-TCDOC-1616*, Vienna.
6. Iurian, A.R.; Hofmann, W.; Lettner, H.; Turk, R.; Cosma, C. (2011): *Long term study of Cs-137 concentrations in lichens and mosses*, Rom Journ Phys, 56: 983–992.
7. Mičić, G.; Drašković, M.; Bošnjak, H.; Draganović, B.; Benderać, R. (1989): *Radijacioni gama-FON i njegov značaj za stočarsku proizvodnju na Kopaoniku*. Vet. glasnik 43: 1113–1236.
8. Mitrović, B.; Vitorović, G.; Vitorović, D.; Pantelić, G.; Adamović, I. (2009): *Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of mountain region of Serbia*. J Environ Monit 11: 383–388.
9. Strand, P.; Howard, B. J.; Averin, V. (1996): *Transfer of radionuclides to animals, their comparative importance under different agricultural ecosystems and appropriate countermeasures. International scientific collaboration on the consequences of the Chernobyl accident*. Experimental Collaboration Project No. 9 EUR 16539 EN157-193. ECSC-EC-EAEC, Brussels.
10. Službeni glasnik RS, 86/11. (2011): *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*.
11. Vitorović, G.; Mitrović, B.; Pantelić, G.; Vitorović, D.; Stojanović, M.; Grdović, S.; (2013): *Radioaktivnost mleka u Srbiji od Černobilja 1986. do Fukušime 2011. godine*. Vet. glasnik 67: 237–244.