

*Mr Budimir Fušić, dr Velizar Velimirović  
Poljoprivredni institut, Podgorica  
Prof. dr Perko Vukotić, Stanko Dapčević, dipl. fiz.  
Prof. dr Labud Vukčević, Prof. dr Slobodan Jovanović  
Prirodnomatemički fakultet, Podgorica*

## NEKI PODACI O KONTAMINACIJI ZEMLJIŠTA U CRNOJ GORI RADIOAKTIVNIM CEZIUMOM

### Abstrakt

Korišćenje nuklearne energije i sve veća primjena radioaktivnih izotopa, pored progressa, sobom nosi potencijalnu opasnost radioaktivnog zagađenja atmosfere i biosfere. U sklopu ovoga, kontaminacija zemljišta, a time i poljoprivrednih proizvoda je neizbježna.

U ovom radu razmatraju se prvi - preliminarni rezultati mjerenja specifične radioaktivnosti sa  $^{137}\text{Cs}$  u zemljištu Crne Gore i pojedini problemi njegove migracije u zemljište i biljke.

### SOME DATA ABOUT CONTAMINATION OF SOIL IN MONTENEGRO BY RADIOACTIVE CESIUM

The use of nuclear energy and the growing application of radioisotopes, besides a progress, bring a potential danger of radioactive contamination of the atmosphere and biosphere. With respect to this, the contamination of soil and agricultural products seems to be inevitable.

In this paper we present our preliminary results about specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  we have been measuring in the Montenegrins soil. Some aspects of the problem of cesium migration in the soil-plant system are discussed as well.

### Uvod

Primjena nuklearne energije u različite svrhe predstavlja moćno sredstvo za dalji naučno-tehnološki progres i privredni razvoj. Međutim, upotrebom ove energije nastali su za čovječanstvo novi i veoma opasni problemi. Jedan u nizu tih problema je povećano zagađivanje prirodne sredine radioaktivnim materijama, koje je štetno za sav biljni i životinjski svijet kao i čovjeka.

Imajući u vidu značaj i mjesto poljoprivrede u ishrani kontaminacija zemljišta i poljoprivrednih proizvoda radioaktivnim materijama i predstavlja izuzetnu opasnost. To je bio razlog da smo, nakon Černobilske katastrofe (1986), započeli ispitivanja kontaminacije radionuklidima, pesticidima, aero i hidro zagađenjima u poljoprivrednoj proizvodnji. Dio ovih ispitivanja, koja su trajala od 1989-1991. god., a odnose se na kontaminaciju zemljišta Crne Gore sa cezijumom ( $^{137}\text{Cs}$ ) iznosimo u ovom članku.

## Materijal i metoda mjerenja

Uzorci zemljišta prikupljeni su iz pedoloških profila sa dubina 0-5, 5-15, 15-30 i 30-50 cm, vodeći računa da se dubine poklapaju sa genetskim horizontima. Zajedno sa zemljom su uzimani korjenov sistem, nadzemni djelovi trave i skeletne čestice.

Uzorci su sušeni na sobnoj temperaturi, a zatim sitnjeni zajedno sa organskom materijom i prosijavani na situ od 2 mm. Uzorkom je napunjena cilindrična plastična posuda dijametra 9 cm i visine 10 cm, a zatim je uzorak vagan. Aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u uzorku mjerena je poluprovodničkim HPGe detektorom, relativne efikasnosti 21%, tokom više časova ili čak i dana. Fon detektora pod pikom energije  $\gamma$ -raspada  $^{137}\text{Cs}$  na 662 keV je 2 imp/h, odnosno 0,15 Bq.

## Izvori zagađenja radionuklidima

Do zagađenja biosfere radio aktivnim materijama može doći isprobavanjem nuklearnog naoružanja, havarijom nuklearnih postrojenja, odlaganjem otpada i primjenom radioaktivnih izotopa u poljoprivredi i veterini. Najveću opasnost svakako predstavljaju prva dva izvora, jer nakon eksplozija ili havarija nastaju fisioni proizvodi koji u vidu radioaktivnih padavina dopijevaju u biosferu.

Od radionuklida koji nastaju u ovim situacijama najopasniji su sa biološkog aspekta  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , koji se odlikuju, pored ostalog, periodima poluraspada dugim oko 30 godina. Pored njih, veoma su štetni jod ( $^{131}\text{I}$ ) i ugljenik ( $^{14}\text{C}$ ), jer se smatra da su sa genetskog stanovišta opasniji od predhodnih elemenata.

Radionuklidi dopijevaju na površinu zemlje u vidu čvrstih čestica ili rastvoreni u vodi padavina. Stroncijum i cezijum dopijevaju u rastvorljivom stanju, pa procesom filtracije ulaze u zemljište i najvećim dijelom se vežu u površinskom sloju (Meisel i sar. 1987).

## Rezultati ispitivanja i diskusija

Rezultati mjerenja specifične aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u 54 uzorka zemljišta, uzetih iz 17 pedoloških profila i iz raznih područja Crne Gore prikazani su u tabelama 1 i 2. Dobijeni podaci potvrđuju pretpostavku da je najveća specifična aktivnost u površinskom sloju, odnosno da je cezijum najvećim dijelom u njemu vezan.

Poznato je da je migracija pojedinih radionuklida u zemljištu različita, ali je na primjer za  $^{90}\text{Sr}$  utvrđeno da od njegove ukupne količine koja dopiye u zemljište oko 70-93% vezuje se, u sloju zemljišta 0-5 cm, 12% u sloju 5-10 cm i svega 3% u sloju od 10-25 cm. Pošto su stroncijum i cezijum zemnoalkalni metali i pošto se putem jonske razmjene na sličan način vezuju u površinskom sloju zemljišta, vjerovatno je da se vezuju u približno istim količinama.

Tabela 1. Rezultati mjerenja specifične aktivnosti cezijuma u zemljištu 1989. godine

| Broj profila   | Mjesto                                    | Tip zemlj.     | Oznaka horizonta ili sloja | Dubina cm | Specifična aktivnost ( $^{137}\text{Cs}$ Bq/kg) |
|----------------|-------------------------------------------|----------------|----------------------------|-----------|-------------------------------------------------|
| 1              | 2                                         | 3              | 4                          | 5         | 6                                               |
| P <sub>1</sub> | Danilovgrad, Kosić Agrokombinat „13. jul” | Smeđe na glini | A                          | 0-5       | 36,0 ± 3,0                                      |
|                |                                           |                | A                          | 5-20      | 20,0 ± 2,0                                      |
|                |                                           |                | (B)                        | 25-40     | 2,8 ± 0,5                                       |
|                |                                           |                | C                          | 52-65     | 0,5                                             |

| 1               | 2                                          | 3                             | 4   | 5     | 6           |
|-----------------|--------------------------------------------|-------------------------------|-----|-------|-------------|
| P <sub>2</sub>  | Podgorica, Golubovci, Agovića Mahala       | Aluvijum                      | /   | 0-5   | 31,0 ± 2,0  |
|                 |                                            |                               | /   | 5-15  | 31,0 ± 0,0  |
|                 |                                            |                               | /   | 15-30 | 4,0 ± 2,0   |
|                 |                                            |                               | //  | 30-50 | 0,5         |
| P <sub>3</sub>  | Podgorica, Čemovsko polje                  | Smeđe                         |     |       |             |
|                 |                                            | Skeletno                      | A   | 0-5   | 110,0 ± 3,0 |
|                 |                                            | na šljunku                    |     | 5-15  | 52,0 ± 2,0  |
| P <sub>4</sub>  | Bijelo Polje, Rasovo                       | Smeđe                         | A   | 0-5   | 86,0 ± 4,0  |
|                 |                                            | na šljunku                    | A   | 5-15  | 12,0 ± 2,0  |
|                 |                                            |                               | (B) | 20-30 | 1,9         |
| P <sub>5</sub>  | B. Polje, Zaton                            | Aluvijum                      | /   | 0-5   | 134,0 ± 5,0 |
|                 |                                            |                               | /   | 5-15  | 133,0 ± 5,0 |
|                 |                                            |                               | //  | 20-30 | 12,0 ± 2,0  |
|                 |                                            |                               | //  | 30-50 | 0,9         |
| P <sub>6</sub>  | B. Polje, Srđevac                          | Smeđe kiselo                  | A   | 0-5   | 70,0 ± 4,0  |
|                 |                                            | na škriljcima                 | A   | 5-15  | 58,0 ± 4,0  |
|                 |                                            | i pješćama                    | (B) | 15-30 | 11,0 ± 2,0  |
| P <sub>7</sub>  | Berane, Lužac „Agropolimlje”               | Smeđe zemlj. na šljunku       | A   | 0-5   | 26,0 ± 2,0  |
|                 |                                            |                               | A   | 5-15  | 61,0 ± 4,0  |
|                 |                                            |                               | (B) | 20-30 | 8,7 ± 1,5   |
|                 |                                            |                               | (B) | 30-50 | 8,3 ± 1,5   |
| P <sub>8</sub>  | Nikšić, G. Polje                           | Smeđe humu-<br>sno na šljunku |     | 0-5   | 200,0 ± 6,0 |
|                 |                                            |                               |     | 5-15  | 183,0 ± 6,0 |
|                 |                                            |                               |     | 15-30 | 44,0 ± 4,0  |
|                 |                                            |                               |     | 35-60 | 3,0         |
| P <sub>9</sub>  | Ulcinj „Agroulcinj”                        | Aluvijalno-<br>deluvijalno    | /   | 0-5   | 13,0 ± 2,0  |
|                 | Ulcinjsko polje,                           |                               | /   | 5-15  | 20,0 ± 2,0  |
|                 | Plantaža mandarina                         |                               | /   | 15-30 | 6,5 ± 1,1   |
|                 |                                            |                               | //  | 30-50 | 14,0 ± 2,0  |
| P <sub>10</sub> | Tivat, Mrčevo polje,<br>PD „Boka” Vinograd | Aluvijalno-<br>deluvijalno    | /   | 0-5   | 87,0 ± 4,0  |
|                 |                                            |                               | /   | 5-15  | 5,0 ± 0,8   |
|                 |                                            |                               | //  | 20-40 | 2,6 ± 0,7   |

Tabela 2 Rezultati mjerenja cezijuma u zemljištu 1990. godine

| Broj<br>profila | Mjesto                   | Tip<br>zemlj.          | Oznaka<br>horizonta<br>ili sloja | Dubina<br>cm | Specifična<br>aktivnost<br>(137 Cs Bq/kg) |
|-----------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------------------|
| 1               | 2                        | 3                      | 4                                | 5            | 6                                         |
| P <sub>16</sub> | Bijelo Polje, Zaton      | Aluvijum               | I                                | 0-5          | 144 ± 3,00                                |
|                 |                          | duboki                 | I                                | 5-15         | 25,4 ± 0,80                               |
|                 |                          | ilovasti               | II                               | 20-35        | 7,4 ± 1,50                                |
| P <sub>15</sub> | Berane Jasikovac         | Smeđe zem-<br>ljište n | A                                | 0-5          | 82, ± 2,00                                |
|                 |                          | laporcu                | A                                | 5-15         | 7,55 ± 0,61                               |
| P <sub>14</sub> | Berane Pobjenici         | Aluvijum               | B                                | 30-50        | 0,19 ± 0,08                               |
|                 |                          | ilovasti               | I                                | 0-15         | 47 ± 2,00                                 |
|                 |                          |                        |                                  | 5-15         | 6,22 ± 0,27                               |
|                 |                          |                        |                                  | 15-30        | 6,54 ± 0,30                               |
| P <sub>17</sub> | Bijelo Polje,<br>Sutivan | Aluvijum               | I                                | 0-5          | 151 ± 4,00                                |
|                 |                          | duboki                 | I                                | 5-15         | 8,60 ± 0,26                               |
|                 |                          | ilovasti               |                                  | 20-40        | 0,52 ± 0,07                               |

| 1                                  | 2 | 3          | 4 | 5     | 6           |
|------------------------------------|---|------------|---|-------|-------------|
| P <sub>12</sub> Nikšić Mokra Njiva |   | Smede      | A | 0-5   | 94 ± 2,00   |
|                                    |   | zemljište  | A | 5-15  | 28,1 ± 0,40 |
|                                    |   | na ilovači | A | 15-30 | 0,33 ± 0,09 |
|                                    |   |            | B | 30-50 | 0,5 ± 0,00  |
| P <sub>13</sub> Podgorica Tološi   |   | Smede zem- | A | 0-5   | 18 ± 1,00   |
|                                    |   | ljište na  | A | 5-15  | 16,5 ± 0,50 |
|                                    |   | šljunku    | A | 15-30 | 2,7 ± 0,20  |

Na osnovu podataka u tab. 1 može se objasniti da je najveći dio radioaktivnosti izmjeren u površinskom sloju 0-5 cm. Međutim, izmjerene visoke vrijednosti specifične aktivnosti cezijuma u dubljim slojevima, kao na primjer u Golubovcima (P<sub>2</sub>), Zatonu (P<sub>5</sub>), Lužcu (P<sub>7</sub>) i td., ne mogu se objasniti podacima o vezivanju 90 Sr, niti pak podatkom da ovaj elemenat u zemljištima sa srednjim kapacitetom razmjene jona i koja su prožeta vodom migrira brzinom od 1,1 - 1,3 cm na dan.

Kod izvjesnog broja uzoraka, osobito iz onih profila koji su otvoreni na prirodnoj livadi (P<sub>14</sub>, P<sub>15</sub>, P<sub>16</sub> i P<sub>17</sub>) uočljivo je da su vrijednosti specifične aktivnosti cezijuma daleko niže u dubljim slojevima nego kod profila u zasadima voća i njivskim površinama. To upućuje na zaključak da je prilikom obrade došlo do miješanja zemljišta, čak i premještanja površinskog sloja na izvjesnu dubinu, a time do premještanja i cezijuma.

Naravno, kod zemljišta lakšeg mehaničkog sastava, kao što su aluvijumi i smeđa skeletoidna zemljišta, koja su jače vodopropustljiva moglo je doći do bržeg i jačeg ispiranja u dublje slojeve.

Podaci o migraciji pojedinih radionuklida u zemljištu u edafskim i klimatskim uslovima naše zemlje su vrlo oskudni. Na osnovu rezultata nekih istraživanja u svijetu može se zaključiti da njihova migracija zavisi od brojnih činilaca.

Tu se prije svega ističu fizičke i hemijske osobine i vodno-fizička svojstva zemljišta, odnosno mineraloški i teksturni sastav, sadržaj organske materije - humusa, vrijednost pH i osobine adsorptivnog kompleksa, struktura, poroznost i vodni režim zemljišta. Znatno uticaj na migraciju imaju agrotehničke mjere - dubrenje, obrada, navodnjavanje i druge.

Radionuklidi u zemljištu, kao što je slučaj sa svim makro i mikroelemntima, nalaze se u nezamjenljivom i zamjenljivom obliku. Pošto su rastvorljivi u vodi, stroncijum i cezijum na pr. stupaju u hemijske reakcije i podliježu jonskoj razmjeni, te im adsorpcija zavisi od više činilaca. Poznato je da humusne materije sa anjonima i katjonima obrazuju organo-mineralne komplekse, pa je utvrđeno da humus može da veže jod (<sup>131</sup>I) i neke druge radionuklide.

Zahvaljujući ovoj činjenici utvrđeno je da se u humusom bogatih zemljišta radio nuklidi najviše vezuju u površinskom sloju, dok se u pjeskovitih zemljišta koja su humusom siromašna oni kreću zajedno sa zemljišnom vlagom. Za stroncijum (90 Sr) i cezijum (<sup>137</sup>Cs) je takođe utvrđeno da se najviše vezuju za mineralne grupe montmorilonita (G u l j a k i n i J u d i n c e v a 1978), kao i to da im sorpcija zavisi od količina zamjenljivog kalijuma i kalcijuma u zemljištu.

Na kraju, treba, pomenuti za cezijum (<sup>137</sup>Cs) da ga biljke usvajaju iz zemljišta najintenzivnije pri pH 4-10. Ovo je vrlo širok opseg, pa pH nema praktično ograničavajući uticaj na njegovo usvajanje. Biljke sve elemente uzimaju iz spoljašnje sredine (zemljišta, vode i vazduha) pod uslovom da se oni nalaze u pristupačnom obliku. Znači, bez obzira na značaj hemijskih elemenata za rast i razviće, biljke ih usvajaju, uključuju u metabolizam i akumuliraju u određene organe. Pretpostavlja se, mada nema i čvrstih dokaza, da se usvajanje radionuklida i drugi procesi u biljci u

vezi sa njima odvijaju putem istih mehanizama i na isti način kao kod svih drugih makro i mikro elemenata.

Biljke mogu da usvajaju radionuklide preko korijena i nadzemnih organa, prvenstveno lista. Kontaminacija biljaka, međutim, zavisi od stepena zagađenosti sredine u kojoj se biljke nalaze.

Zbog toga ove pojmove treba razlikovati. Ovom prilikom važno je naglasiti, da iako radioaktivna kontaminacija zemljišta utiče na odvijanje životnih procesa biljaka, životinja i mikroorganizama, koncentracija radionuklida u zemljištu od  $3,7 \cdot 10^2$  do  $3,7 \cdot 10^3$  Bq/kg ili Bq/l. ne izaziva značajnije promjene u rastenju i razviću biljaka. Naprotiv u nekim slučajevima utvrđeno je njihovo stimulativno dejstvo, dok je inhibitorno ispoljeno pri koncentraciji  $3,7 \cdot 10^4$  do  $3,7 \cdot 10^5$  Bq/kg ili Bq/l (K a s t o r i 1987).

U našim ispitivanjima specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  bila je u svim slučajevima veća u zemljištu nego u poljoprivrednim kulturama. Izuzetak predstavlja veća kontaminacija smeđe trave u Rasovu kod Bijelog Polja ( $160 \pm 17$  Bq/kg) u odnosu na kontaminaciju zemljišta ( $86 \pm 4$  Bq/kg u sloju 0-5 cm).

Kad se posmatraju dobijeni podaci mjerenja specifične aktivnosti ( $^{137}\text{Cs}$ ) prostorno, odnosno u različitim područjima Crne Gore, uočljivo je da su visoke vrijednosti u uzorcima zemljišta iz Gornjeg Polja kod Nikšića ( $200 \pm 6$  Bq/kg), zatim Zatonu kod Bijelog Polja ( $134 \pm 5$  Bq/kg).

Na osnovu stečenih saznanja iz prvih mjerenja radioaktivnosti, odnosno kontaminacije prirodne sredine u Crnoj Gori poslije katastrofe u Černobilu, mogla se očekivati veća kontaminacija u sjevernom dijelu Crne Gore. Dobijeni podaci za Gornje Polje i Zaton donekle potvrđuju ovu pretpostavku, ali ne potpuno, jer Srđevac je u neposrednoj blizini Zatonu, Rasovo takođe, ali su u ovim mjestima dobijene niže vrijednosti. Isto važi kad se upoređuju Rakića Kuće na Čemovskom Polju ( $110 \pm 3$  Bq/kg), Golubovci ( $31 \pm 2$  Bq/kg) i Kosić kod Danilovgrada ( $36 \pm 3$  Bq/kg) a praktično sva tri mjesta su na istoj geografskoj širini i u neposrednoj blizini.

Ni očekivanja da najmanja kontaminacija zemljišta bude duž Crnogorskog primorja ne može se podkrijepiti dobijenim podacima mjerenja specifične aktivnosti cezijuma  $^{137}\text{Cs}$ , pošto su dobijene vrijednosti za Mrčevo Polje ( $87 \pm 4$  Bq/kg) veće nego na pr. u Lužcu kod Berana.

Ovakav raspored specifičnih aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  vjerovatno bi se mogao objasniti proučavanjem uticaja ruže vjetrova i nivoa padavina na navedenim lokalitetima u vrijeme kada se radioaktivni oblak iz Černobila početkom maja 1986. godine kretao nad teritorijom Crne Gore.

### Zaključak

Dobijeni podaci mjerenja radioaktivnog cezijuma ( $^{137}\text{Cs}$ ) pokazuju da su radionuklidi poslije Černobilske havarije dospjeli i prisutni u zemljištu na našem području.

Podaci o prisustvu, sorpciji i migraciji radionuklida u našim zemljištima su veoma oskudni. Zato u daljim istraživanjima, pored praćenja prisustva i aktivnosti pojedinih radionuklida, posebnu pažnju treba posvetiti proučavanju njihove migracije i akumulacije u biosferi i činilaca od kojih ovi procesi zavise.

To je od izuzetnog teorijskog, a još više praktičnog značaja, pošto prisustvo radionuklida u zemljištu i poljoprivrednim proizvodima (biljnog i animalnog porijekla) direktno ugrožava zdravlje čovjeka.

## LITERATURA

1. Guljakin, I.V., Judinceva, E.V. (1978): K voprosu agrohimii radiaktivnih produktov deljenja. *Agrohimija*, N° 1
2. Kastori, R. (1987): Zagađenje zemljišta radionuklidima i poljoprivredna proizvodnja.
3. Meisel, S., Graller P., Kahr, G., Müller, H.J., Ninaus, W. (1987): Distribution and migration of artifical radio-nuclides in cultivated soils of styria. XIV Regional Congress of IRPA, Dubrovnik.

*Fuštić, B., Velimirović, V.  
Vukotić P., Dapčević S.,  
Vukčević L., Jovanović S.*

## SOME DATA ABOUT CONTAMINATION OF SOIL MONTENEGRO BY RADIOACTIVE CESIUM

### Conclusion

Our measurements of radioactive cesium prove that the radionuclides, which are fission products, came in our region after the Chernobil accident and remained in the soil.

Data about presence, absorption and migration radionuclides in our soils are still very scarce. Knowledge of these data and processes in biosphere, as well as the factors they are dependent on, are of the great interest with respect to the needs of human health protection. Therefore, further and intensified investigation on these topics should be planned and carried out in Montenegro.