

Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

**Монографија**  
**ЧЕРНОБИЉ**  
**30 година после**

Уредник  
**др Гордана Пантелић**

**Београд**  
**2016**

Монографија: **ЧЕРНОБИЉ 30 година после**

Издавач: Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За издавача: др Борислав Грубор

Рецензенти: др Оливера Цирај Бјелац  
др Иштван Бикит  
др Владимир Удовичић  
др Невенка Антовић  
др Ивана Вуканац  
др Драгослав Никезић  
др Душан Мрђа  
др Марија Јанковић  
др Јелена Крнета Николић

Уредник: др Гордана Пантелић

Лектор/коректор: Мариола Пантелић, MSc

Објављивање монографије помогли:  
Министарство просвете, науке и технолошког развоја

ISBN 978-86-7306-138-2

Штампа: Штампарија Института за нуклеарне науке „Винча“, 522,  
11001 Београд, Тел. 011-8066-746

Тираж: 150 примерака

## ODREDJIVANJE TRANSFER FAKTORA $^{137}\text{Cs}$ IZ TLA U BILJKE KOJE SE KORISTE U TRADICIONALNOJ MEDICINI

**Dragana KRSTIĆ<sup>1</sup>, Gorica DJELIĆ<sup>1</sup>, Marina TOPUZOVIĆ<sup>1</sup>, Biljana MILENKOVIĆ<sup>1</sup>, Jelena STAJIĆ<sup>1</sup>, Dragoslav NIKEZIĆ<sup>1</sup>, Milan STANKOVIĆ<sup>1</sup>, Tijana ZEREMSKI<sup>2</sup>, Dragana KOSTIĆ<sup>1</sup> i Dušica VUČIĆ<sup>3</sup>**

1) *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, Srbija, [dragana@kg.ac.rs](mailto:dragana@kg.ac.rs)*

2) *Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Serbia, [tijana.zeremski@ifycns.ns.ac.rs](mailto:tijana.zeremski@ifycns.ns.ac.rs)*

3) *Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika "NIS", Niš, [vucicdusica@yahoo.com](mailto:vucicdusica@yahoo.com)*

### Rezime

*U ovom radu su određeni transfer faktori  $^{137}\text{Cs}$  iz tla u biljke koje se koriste u tradicionalnoj medicini na teritoriji centralne Srbije. Transfer faktori (TF) su računati kao odnos aktivnosti suvog biljnog uzorka i aktivnosti suvog uzorka zemlje. Specifične aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima su merene gama spektrometrijskom metodom koristeći koaksijalni germanijumski detektor. Absalom model je primenjen za teorijsko predviđanje količine  $^{137}\text{Cs}$  koja prelazi u biljke na osnovu određenih karakteristika tla: pH vrednost, sadržaj kalijuma, humusa i gline. Vrednosti transfer faktora dobijene pomoću Absalom modela su u opsegu od 0,011 do 0,307, gde je srednja vrednost 0,071. Eksperimentalno određena srednja vrednost je 0,069, pri čemu je uočeno dobro slaganje sa teorijski predviđenom vrednošću. Prisustvo  $^{137}\text{Cs}$  u biljkama je u najvećoj meri posledica akcidenta u Černobilju, pri čemu se sadašnje izračunate vrednosti transfer faktora mogu koristiti za eventualnu procenu koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u lekovitim biljkama u vreme akcidenta u Černobilju.*

### 1. UVOD

Prirodni dugoživeći radionuklidi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  postoje na nivou traga u svim formacijama stena/zemljišta i oni predstavljaju glavni izvor spoljašnjeg ozračivanja za stanovništvo [1]. Oni takođe daju značajan doprinos unutrašnjem izlaganja zbog potrošnje hrane i vode. S druge strane, veštački radionuklidi se javljaju u prirodi kao posledica aktivnosti kao što su nuklearne probe i nuklearni akcidenti. Najveći akcident je bio u Černobilju 1986. godine kada je velika količina radioaktivnih elemenata izbačena u atmosferu i potom deponovana na vegetaciju i tlo. Radionuklidi u biljke dospevaju apsorpcijom iz zemlje preko korena, kao i direktnim taloženjem radioaktivnih čestica iz atmosfere na nadzemnim delovima biljaka [2]. Apsorpcija preko korena zavisi od mnogo faktora, kao što su koncentracija radionuklida u zemljištu, fizičko-hemijskih osobina, karakteristika tla i vrste biljaka [3]. Sadržaj prirodnih i veštačkih radionuklida u različitim jestivim biljkama je istraživan širom sveta [4-5].

Lekovite biljke obično nisu bile uključene u ove studije, jer se unošenje radioaktivnosti kroz njihovu potrošnju smatralo beznačajnim. Međutim, lekovito bilje se koristi više stotina godina i 70-80% svetske populacije i dalje se oslanja na medicinu u lečenju raznih bolesti. Osim toga, istraživanja lekovitog bilja imaju značaj, zbog široke primene u industriji medicinskih proizvoda [6].

Cilj ovog rada je da se procene faktori prenosa prirodnih radionuklida i  $^{137}\text{Cs}$  iz zemlje u neke lekovite biljke, koje se obično koriste u srpskoj tradicionalnoj medicini.

## 2. MATERIJAL I METODE

### 2.1. Oblast studije, uzorkovanje i priprema

Različite vrste biljaka koje se koriste u tradicionalnoj medicini i farmaceutskoj industriji su uzorkovane iz centralne Srbije u toku jula meseca, 2011. godine, slika 1. Izabrane lekovite biljne vrste su okarakterisane različitim oblikom života, udaljenošću lokacije, tipa staništa, vegetacije i tipa zemljišta. Spisak prikupljenih biljnih vrsta sa relevantnim podacima dat je u Tabeli 1, gde je jedna biljna vrsta uzorkovana sa jednog mesta.



Slika 1. Mapa ispitivane oblasti centralne Srbije

Uzorci su uzeti sa 28 lokacija tokom perioda cvetanja ili najreprezentativnijeg perioda za vrste drvet:

- zeljaste biljke (Hemicriptophyta, Terophyta, Geophyta), uzete su u potpunosti (podzemni i nadzemni deo biljke);
- nadzemni delovi žbunja (Hamephyta) odvojeni su cvetovi i listovi;
- sa drveća (Phanerophyta, Nanophanerophyta) grančice od 2 - 3 godine i 30 cm dužine su uzete sa cvetovima i listovima.

Analizirane su biljne vrste koje imaju veliku upotrebnu vrednost i u narodnoj ali i oficijalnoj medicini. Vrste *Prunus spinosa* L., *Sambucus nigra* L. i *Galium verum*

L. koriste se kao diuretici i laksativi. Kao spazmolitik, stomahik i holoog koriste se *Achillea millefolium* L., *Mentha piperita* L., *M. longifolia* (L.) Hudson., *Chelidonium majus* L., *Artemisia lobeli* All., *Teucrium montanum* L.; u dermatologiji se koriste *Fagus sylvestris* L., *Hedera helix* L., *Hypericum perforatum* L.; kao antipiretik *Salix caprea* L.; kao antirahitik *Rumex obtusifolius* L.; kao antiparazitik *Veratrum album* L., a kao antioksidans *Xeranthemum annuum* L.

Lokaliteti su odabrani na osnovu upotrebe zemljišta (agrarni, ruralni, prirodni ekosistem – vlažna, plitka skeletoidna, bogata humusom zemljišta) i tipa geološke podloge. Nalaze se u centralnoj (Kragujevac: N 44,017384, E 20,910351), zapadnoj (Čačak: N 43,893620, E 20,349791), predeo izuzetnih odlika „Ovčarsko-kablarska klisura”: N 43,895156, E 20,182637), jugozapadnoj (Goč: N 43,548675, E 20,834310) i južnoj Srbiji (Vranje: N 42,546566, E 21,900587).

Uzorci zemljišta su prikupljeni u skladu sa IAEA uputstvima sa 1 m<sup>2</sup> površine do dubine od 10 cm, primenom metoda [7]. Uzorci zemljišta su uzimani u zoni korena svake vrste, s tim što su ukoliko je bilo više biljnih vrsta na jednom lokalitetu, uzorci zemljišta pomešani i analiziran je kompozitni uzorak tla.

Nakon procesa uzorkovanja, biljni materijali su osušeni na vazduhu u periodu od 7 dana, zatim drobljeni i čuvani za analizu. Kamenje i biljni koreni su uklonjeni iz zemljišta pre tretmana. Uzorci zemljišta su sušeni na 105°C tokom 24 sata, mleveni, prosejani kroz sito i pripremljeni za gama spektrometriju i određivanje glavnih fizičkih i hemijskih osobina.

### **2.2 Određivanje radioaktivnosti u zemljištu i biljkama**

Uzorci tla i biljaka su hermetički zatvoreni u Marineli posude zapremine 450 ml i ostali po strani oko mesec dana da se osigura radioaktivna ravnoteža između Ra i njegovih potomaka. Koncentracije aktivnosti u uzorcima tla i biljaka su merene gama spektrometrijom korišćenjem germanijum detektora (HPGe - GC2518, Kanbera Inc.). Sistem ima relativnu efikasnost 26,7% , energetska rezoluciju (FVHM) od 1,90 keV na 1,33 MeV (<sup>60</sup>C) i odnos 56,2 peak-to-Compton. Računarski softver Genie-2000 je primenjen za analizu dobijenih spektara. Kalibracija detektora je izvršena pomoću MBSS 2 izvora za kalibraciju, koji sadrži devet radionuklida: <sup>241</sup>Am, <sup>109</sup>Cd, <sup>139</sup>Ce, <sup>57</sup>Co, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>113</sup>Sn , <sup>85</sup>Sr i <sup>88</sup>I (Czech Metrological Institute).

Koncentracija aktivnosti za veštački radionuklid <sup>137</sup>Cs je procenjena iz gama linije energije 661,6 keV, pri čemu je izvršena korekcija na raspad na dan uzorkovanja (jula, 2011). Vreme merenja uzoraka zemljišta i biljaka bilo je 18000 i 86400 s, respektivno.

### **2.3 Određivanje glavnih fizičko-hemijskih osobina zemljišta**

Ph vrednost u 1:5 (V/V) vodene suspenzije zemljišta i 1M KCl korišćenjem staklene elektrode je merena ISO metodom 10390 : 1994. Sadržaj organske materije je određen oksidacijom korišćenjem sulfochromic metode oksidacije ISO 14235 : 1998.

Raspodela veličina čestica se procenjuje metodom pipetiranja. Frakcije veličine su definisane kao krupni pesak (200-2000 μm), sitni pesak (20-200 μm), mulj (20

$\mu\text{m}$ ) i glina ( $2 \mu\text{m}$ ) prema klasifikaciji teksture zemljišta ISSS. Kapacitet razmene katjona (CEC) i sadržaj izmenjivih katjona (Ca, Mg, K, Na) u zemljištu su određeni prema standardu ISO 11260 : 1994.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati aktivnosne koncentracije  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) u biljkama i zemljištu predstavljeni su u Tabeli 1. Osnovne opisne statističke vrednosti za koncentracije merene aktivnosti u biljkama i zemljištu i transfer faktora prikazane su u tabelama 2 i 3, respektivno.

Prosečna vrednost aktivnosne koncentracije sušenog uzorka (DW)  $^{137}\text{Cs}$  je  $72 \text{ Bq kg}^{-1}$  i veća je od vrednosti prethodno izmerenih u drugim regionima Srbije od  $48,3 \text{ Bq kg}^{-1}$  [8],  $36,4 \text{ Bq kg}^{-1}$  [9] i  $40,2 \text{ Bq kg}^{-1}$  [10]. Tri uzorka tla imala su koncentraciju aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  iznad  $100 \text{ Bq kg}^{-1}$  sa najvećom vrednošću od  $236 \text{ Bq kg}^{-1}$  u uzorku br. 20 prikupljenog sa planine Goč.

**Tabela 1. Vrste lekovitih biljaka, koncentracija aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u biljkama i tlu, transfer faktori i diskriminacioni faktor**

Broj uzorka	Biljka	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) za biljke	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) za zemlju	$\text{TF}_{\text{Cs}}$	$\text{TF}_{\text{Abs}}$	DF (Cs)
1	<i>Bršljen</i> <i>Hedera helix</i> L.	$2,2 \pm 0,5$	45,0	0,049	0,079	0,045
2	<i>Bukva</i> <i>Fagus sylvestris</i> L.	$5,3 \pm 0,2$	59,0	0,090	0,041	0,096
3	<i>Vrba Iva</i> <i>Salix caprea</i> L.	$3,5 \pm 0,2$	72,0	0,049	0,026	0,051
4	<i>Breza</i> <i>Betula pendula</i> Roth.	< MDC	46,6	–	–	–
5	<i>Hajdučka trava</i> <i>Achillea millefolium</i> L.	$2,7 \pm 0,2$	39,2	0,069	0,069	0,065
6	<i>Kopriva</i> <i>Urtica dioica</i> L.	$3,1 \pm 0,9$	52,0	0,060	0,058	0,049
7	<i>Zdravac</i> <i>Geranium macrorrhizum</i> L.	$21 \pm 3$	96,0	0,216	0,050	0,131
8	<i>Maslačak</i> <i>Taraxacum officinalis</i> Web.	$1,8 \pm 0,2$	96,0	0,019	0,050	0,005
9	<i>Beli slez</i> <i>Althaea officinalis</i> L.	$0,7 \pm 0,1$	22,4	0,031	0,055	0,021
10	<i>Rusa</i> <i>Chelidonium majus</i> L.	$13 \pm 2$	96,0	0,138	0,050	0,062

**Tabela 1. Nastavak**

11	<i>Kantarion</i> <i>Hypericum perforatum</i> L.	1,0 ± 0,1	28,0	0,036	0,035	0,061
12	<i>Gavez</i> <i>Symphytum officinale</i> L.	1,7 ± 0,2	96,0	0,018	0,050	0,004
13	<i>Zelje</i> <i>Rumex obtusifolius</i> L.	4,7 ± 0,2	15,5	0,303	0,307	0,063
14	<i>Trnjina</i> <i>Prunus spinosa</i> L.	< MDC	46,6	–	–	–
15	<i>Šipurak</i> <i>Rosa canina</i> L.	0,13 ± 0,06	46,6	0,003	0,041	0,003
16	<i>Kupina</i> <i>Rubus caesius</i> L.	< MDC	69,0	–	–	–
17	<i>Pasdren</i> <i>Cornus sanguinea</i> L.	< MDC	46,6	–	–	–
18	<i>Glog</i> <i>Crataegus</i> sp.	0,22 ± 0,06	69,0	0,003	0,114	0,006
19	<i>Zova</i> <i>Sambucusnigra</i> L.	2,9 ± 0,2	61,0	0,048	0,026	0,015
20	<i>Pelin</i> <i>Artemisia lobeli</i> All.	5,9 ± 0,2	236	0,025	0,039	0,013
21	<i>Trava Iva</i> <i>Teucrium montanum</i> L.	24 ± 3	118	0,203	0, 238	0,086
22	<i>Kamilica</i> <i>Matricaria chamomilla</i> L.	1,2 ± 0,1	51,3	0,023	0,108	0,012
23	<i>Neven</i> <i>Xeranthemum annuum</i> L.	< MDC	20,5	–	–	–
24	<i>Peršun</i> <i>Pertoselinum crispum</i> (Mill.) Nym.	< MDC	52,0	–	–	–
25	<i>Nana</i> <i>Mentha piperita</i> L.	1,3 ± 0,1	57,8	0,022	0,042	0,011
26	<i>Ivanjsko cveće</i> <i>Galium verum</i> L.	0,75 ± 0,09	28,0	0,027	0,025	0,041
27	<i>Divlja nana</i> <i>Mentha longifolia</i> (L.) Hudson	3,7 ± 0,8	96,0	0,039	0,050	0,023
28	<i>Bela čemerika</i> <i>Veratrum album</i> L.	10,8 ± 0,4	206	0,052	0,011	0,020

< MDC (minimalna detektabilna koncentracija)

**Tabela 2. Deskriptivna statistika koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$ , transfer faktora i diskriminacionog faktora za Cs**

	$^{137}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	TF <sub>Cs</sub>	TF <sub>Abs</sub>	DF (Cs)
Minimum	< MDC	0,003	0,011	0,003
Maksimum	24,0	0,303	0,307	0,131
Srednja vrednost	3,98	0,069	0,071	0,401
SD	6,10	0,078	0,070	0,034
Mediana	1,75	0,044	0,050	0,032
GS	2,49	0,040	0,053	0,034
GSD	3,73	3,19	2,08	2,36

SD – standardna devijacija; GS – geometrijska srednja vrednost;  
GSD – geometrijska standardna devijacija

**Tabela 3. Deskriptivna statistika koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  i fizičko-hemijskih osobina tla**

	Minimum	Maksimum	Srednja vrednost	SD	Mediana
$^{137}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	15,5	236	72,0	60,0	54,9
pH (in KCl)	4,06	7,29	6,02	0,96	6,29
pH (in H <sub>2</sub> O)	4,97	8,01	6,86	0,81	7,07
OM (%)	1,7	10,9	4,80	2,0	4,6
Clay (%)	3,4	43,3	17,5	13,6	10,4
Silt (%)	8,5	38,7	25,8	8,8	26,4
Sand (%)	23,5	87,6	56,7	20,1	58,8
CEC (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	7,89	35,8	23,1	8,8	23,8
Mg <sup>e</sup> (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	< MDC	22,0	8,73	6,47	6,69
Ca <sup>e</sup> (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	5,19	131	38,4	35,2	24,1
Na <sup>e</sup> (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	< MDC	4,44	0,38	1,04	0,07
K <sup>e</sup> (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	0,82	10,7	4,16	3,08	3,30

<sup>e</sup> – razmena

SD – standardna devijacija

OM – organske materije

CEC – kapacitet razmene katjona

Koristeći koncentracije aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  radionuklida u biljkama i zemljištu, transfer factor (TF) je izračunat na sledeći način:

$$TF = A_{plant} / A_{soil} \quad (1)$$

gde su  $A_{plant}$  i  $A_{soil}$  koncentracije aktivnosti radionuklida u biljkama i tlu, respektivno. Transfer faktor za  $^{137}\text{Cs}$  varira u rasponu od 0,003 do 0,303 sa srednjom vrednošću od 0,069. Uzorak broj 13 (Zelje, latinski naziv, *Rumex obtusifolius* L.) imao je maksimalnu vrednost faktora transfera (tabela 1). U Tabeli 1 se vidi da su najveće vrednosti transfer faktora (TF<sub>Cs</sub>) dobijene za biljke koje su po tipu životne forme hamefite i hemikriptofite. To pokazuje da biljke sa



razvijenim korenovim sistemom i velikom površinom lišća imaju najveći afinitet za usvajanje  $^{137}\text{Cs}$  iz podloge. Analiza pokazuje da fanerofite, biljke forme drveća, koje su u evolutivnom smislu najstariji i najprimitivniji oblik života, imaju najniže vrednosti  $\text{TF}_{\text{Cs}}$ . Od drvenastih vrsta, vrste sa površina serpentina bogatih metalima (bukva, *Fagus sylvatica* L. i vrba iva, *Salix caprea* L.), imaju mnogo veću vrednost transfer faktora od biljaka uzetih sa ostalih podloga (breza, *Betula pendula* Roth.). Sličan rezultat je nađen u literaturi [11].

Cezijum ulazi u biljke uglavnom preko transportnog sistema Kalijuma. Biljke tokom usvajanja ne prave razliku između  $^{40}\text{K}$  i  $^{137}\text{Cs}$  jer ovi elementi imaju slične hemijske osobine i pripadaju istoj grupi u periodnom sistemu. Ovo može da se odredi korišćenjem faktora diskriminacije (DF), definisanog kao:

$$DF = \text{TF}_{\text{Cs}} / \text{TF}_{\text{K}} \quad (2)$$

Ako je vrednost DF manja od jedinice, to znači da se  $^{40}\text{K}$  lakše apsorbuje od  $^{137}\text{Cs}$  [2]. Absalom model [12] je primenjen za predviđanje transfer faktora Cs na osnovu sledećih fizičko-hemijskih osobina tla: pH vrednosti, izmenljivog kalijuma, sadržaja organskih materija i gline. Transfer faktor se izračunava prema formuli datoj u prethodnom radu [13]:

$$TF = \frac{10^{k_1 - k_2 \log(m_k)}}{\left(10^{-k_8(\theta_{\text{humus}}/\theta_{\text{clay}})^{k_9}} \cdot \theta_{\text{clay}} / m_k\right) + \left(0.01 \cdot \theta_{\text{humus}} \cdot K_x^{\text{humus}} / m_k\right)} \quad (3)$$

gde su  $\theta_{\text{humus}}$  i  $\theta_{\text{clay}}$  sadržaj organskih materija i gline, respektivno,  $m_k$  je odgovarajuća koncentracija jona  $\text{K}^+$  u rastvoru i  $K_x^{\text{humus}}$  je sadržaj izmenljivog  $\text{K}^+$  u humusu u ( $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Konstante  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_8$  i  $k_9$  su fitovane na osnovu relevantnih osobina tla i uzete su iz rada [12].

Merene  $\text{TF}_{\text{Cs}}$  i izračunate  $\text{TF}_{\text{Abs}}$  (vrednost TR računata po Absalom modelu) vrednosti transfer faktora su date u Tabeli 1. Neke  $\text{TF}_{\text{Abs}}$  vrednosti su u dobroj saglasnosti sa izmerenim vrednostima, dok se ostale značajno razlikuju. Vrednosti  $\text{TF}_{\text{Abs}}$  su u rasponu od 0,011 do 0,307 sa aritmetičkom sredinom 0,071, medijanom 0,050, geometrijskom sredinom 0,053 i geometrijskom standardnom devijacijom od 2,080. Eksperimentalna srednja vrednost  $\text{TF}_{\text{Cs}}$  je 0,069. Slične vrednosti  $\text{TF}_{\text{Cs}}$  (0,01 do 0,43) u Srbiji su potvrđene u radu [14].

Empirijske parametre u Absalom modelu potrebno je preračunati za različite biljne vrste i zemljišta, kao i za specifične klimatske regione [15-17].

#### 4. ZAKLJUČAK

Prisustvo radionuklida u biljkama predstavlja metabolički put za njihovu migraciju i preko lanaca hrane dospevaju u telo čoveka. Proučavanje koncentracije radionuklida u lekovitim biljkama koje se koriste u tradicionalnoj medicini ima značaj zbog široke primene u lečenju raznih bolesti.

Absalom model je primenjen za određivanje sadržaja  $^{137}\text{Cs}$  koji je prešao iz zemlje za biljke na osnovu karakteristika tla. Transfer faktori su izračunati u *Bq*

$kg^{-1}$  suve biljke po  $Bq\ kg^{-1}$  suvog tla. Izračunate vrednosti transfer faktora prema Absalom modelu su u opsegu od 0,011 do 0,307, sa srednjom vrednošću 0,071. Eksperimentalna srednja vrednost je 0,069, što potvrđuje slaganje sa primenjenim modelom. Neke izračunate vrednosti korišćenjem modela su u dobroj saglasnosti sa izmerenim vrednostima, dok se ostale značajno razlikuju. Empirijske parametre u Absalom modelu potrebno je preračunati za različite biljne vrste i zemljišta, kao i za specifične klimatske regione.

Prisustvo  $^{137}Cs$  u biljkama je u najvećoj meri posledica akcidenta u Černobilju. Tada je najveća količina radioaktivnog cezijuma iz atmosfere dospela na površinu tla i vegetacije.

Rezultati ovog rada mogu se povezati sa akcidentom u Černobilju. Ako po sadašnjim merenjima znamo koliki je TF, a možemo i da ga izračunamo na osnovu modela, to znači da, znajući vrednosti koncentracije  $^{137}Cs$  u zemljištu u vreme akcidenta u Černobilju, možemo da procenimo koliki je bio sadržaj  $^{137}Cs$  u lekovitim biljkama. To se direktno odražava na dozu putem ingestije.

### Zahvalnica

Ovaj rad je sproveden uz podršku Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, u okviru projekta OI 171021.

## 5. LITERATURA

- [1] UNSCEAR, 2000. Sources and effects of Ionizing Radiation, Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York.
- [2] N. Karunakara, C. Rao, P. Ujwal, I. Yashodhara, S. Kumara, P.M. Ravi.. Soil to rice transfer factors for  $^{226}Ra$ ,  $^{228}Ra$ ,  $^{210}Pb$ ,  $^{40}K$  and  $^{137}Cs$ , a study on rice grown in India. *J. Environ. Radioact.* 118 (2013) 80-92.
- [3] Kh. Asaduzzaman, M.U. Khandaker, Y.M. Amin, D.A. Bradley, R.H. Mahat, R.M. Nor. Soil-to-root vegetable transfer factors for  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{40}K$ , and  $^{88}Y$  in Malaysia. *J. Environ. Radioact.* 135 (2014) 120-127.
- [4] M.S. Al-Masri, B. Al-Akel, A. Nashawani, Y.Amin, K.H., Khalifa, F. Al-Ain. Transfer of  $^{40}K$ ,  $^{238}U$ ,  $^{210}Pb$ , and  $^{210}Po$  from soil to plant in various locations in south of Syria. *J. Environ. Radioact.* 99 (2008) 322-331.
- [5] S.K. Jha, S. Gothankar, P.S. Iongwai, B. Kharbuli, S.A. War, V.D. Puranik. Intake of  $^{238}U$  and  $^{232}Th$  through the consumption of foodstuffs by tribal populations practicing slash and burn agriculture in an extremely high rainfall area. *J. Environ. Radioact.* 103 (2012) 1-6.
- [6] M. Racic, M. Karaman, S. Forkapic, J. Hansman, M. Kebert, K. Bikit, D. Mrdja. Radionuclides in some edible and medicinal macrofungal species from Tara Mountain, Serbia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21 (2014) 11283–11292.
- [7] IAEA, 2004. Soil sampling for environmental contaminants. IAEA-TECDOC-1415, IAEA Vienna.
- [8] S. Dragovic, A. Onjia. Classification of soil samples according to their geographic origin using gamma-ray spectrometry and principal component analysis. *J. Environ. Radioact.* 89 (2006) 50–158.
- [9] G. Dugalic, D. Krstic, M. Jelic, D. Nikezic, B. Milenkovic, M. Pucarevic, T. Zeremski-Skoric. Heavy metals, organics and radioactivity in soil of western Serbia. *J. Hazard. Mater.* 177 (2010) 697–702.
- [10] B. Milenkovic, J.M. Stajic, Lj. Gulan, T. Zeremski, D. Nikezic. Radioactivity levels and heavy metals in the urban soil of Central Serbia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (2015) 16732-16741.

- [11] N.J. Willey. Phylogeny can be used to make useful predictions of soil-to-plant transfer factors for radionuclides. *Radiat. Environ. Biophys.* 49 (2010) 613-623.
- [12] J.P. Absalom, S.D. Young, N.M.J. Crout, A. Sanchez, S.M. Wright, E. Smolders, A.F. Nisbet, A.G. Gillet., Predicting the transfer of radiocaesium from organic soils to plants using soil characteristics. *J. Environ. Radioact.* 52 (2001) 31-43.
- [13] D. Krstic, N. Stevanovic, J. Milivojevic, D. Nikezic. Determination of the soil-to-grass transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and its relation to several soil properties at various locations in Serbia. *Isotopes Environ. Health. Stud.* 43 (2007) 65-73.
- [14] N. Sarap, M. Jankovic, Z. Dolijanovic, D. Kovacevic, M. Rajacic, J. Nikolic, D. Todorovic. Soil-to-plant transfer factor for  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 303 (2015) 2523-2527.
- [15] T. Thammavech, T. Veerapaspong. Soil-to-Plant Transfer of Radiocaesium in Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 41 (2007) 274 – 281.
- [16] Y.-G. Zhu, E. Smolders. Plant uptake of radiocaesium, a review of mechanisms, regulation and application. *J. Exp. Bot.* 51 (2000) 1635-1645.
- [17] IAEA, 2010. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical reports series No. 472, IAEA Vienna.

## **TRANSFER FACTORS OF $^{137}\text{CS}$ FROM SOIL TO PLANTS USED IN TRADITIONAL MEDICINE IN CENTRAL SERBIA**

**Dragana KRSTIĆ<sup>1</sup>, Gorica DJELIĆ<sup>1</sup>, Marina TOPUZOVIĆ<sup>1</sup>, Biljana MILENKOVIĆ<sup>1</sup>, Jelena STAJIĆ<sup>1</sup>, Dragoslav NIKEZIĆ<sup>1</sup>, Milan STANKOVIĆ<sup>1</sup>, Tijana ZEREMSKI<sup>2</sup>, Dragana KOSTIĆ<sup>1</sup> i Dušica VUČIĆ<sup>3</sup>**

1) *University of Kragujevac, Faculty of Science, R. Domanovic 12, 34000*

*Kragujevac, Serbia, [dragana@kg.ac.rs](mailto:dragana@kg.ac.rs)*

2) *Institute of Field & Vegetable Crops, Novi Sad, Maksima Gorkog 30, Novi Sad 21000, Serbia, [tijana.zeremski@ifvcns.ns.ac.rs](mailto:tijana.zeremski@ifvcns.ns.ac.rs)*

3) *Institute on Occupational Health Protection "NIS" Vojislava Ilića bb, Niš 18000, Serbia, [yucicdusica@yahoo.com](mailto:yucicdusica@yahoo.com)*

Transfer factors  $^{137}\text{Cs}$  from soil to plants used in traditional medicine were determined. The transfer factors (TF) were calculated as  $\text{Bq kg}^{-1}$  of dry plant per  $\text{Bq kg}^{-1}$  of dry soil. Mass activity concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  in soil and plant samples were measured with high purity germanium detector (HPGe). The Absalom model was used for determination of the amount of  $^{137}\text{Cs}$  transferred from soil to plant based on soil characteristics such as pH, exchangeable potassium, humus and clay contents. The estimated transfer factors were in the range from 0.011 to 0.307 with an arithmetic mean of 0.071, median of 0.050, geometric mean of 0.053 and GSD of 2.08. This value agreed well with that calculated from the measurements of 0.069.

CIP - Каталогизација у публикацији –  
Народна библиотека Србије, Београд

614.876(082)

621.311.25(477.41)(082)

504.5:539.16(497.11)(082)

ЧЕРНОБИЉ : 30 година после : монографија / уредник  
Гордана Пантелић. - Београд : Институт за нуклеарне науке  
"Винча", Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту  
животне средине "Заштита" : Друштво за заштиту од зрачења  
Србије и Црне Горе, 2016 (Београд : Институт за нуклеарне  
науке "Винча"). - 286 стр. : илустр. ; 25 cm

Тираж 150. - Библиографија уз сваки рад. - Summaries.

ISBN 978-86-7306-138-2 ("Винча")

1. Пантелић, Гордана [уредник]

а) Нуклеарна електрана "Чернобил" - Хаварија - Зборници

б) Животна средина - Загађење радиоактивним материјама

- Србија - Зборници с) Несреће у нуклеарним електранама

- Последице - Зборници д) Јонизујуће зрачење - Штетно

дејство - Србија - Зборници

COBISS.SR-ID 226685452