

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

CEZIJUM-137 U BIOTSKIM I ABIOTSKIM UZORCIMA SA TERITORIJE NOVOG PAZARA

Ivanka ANTOVIĆ¹, Dalibor STOJANOVIĆ¹, Nikola SVRKOTA², Ranka ŽIŽIĆ² i Mirzeta HADŽIBRAHIMOVIĆ¹

1) *Departman za biomedicinske nauke, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar, Srbija, ivanka_antovic@yahoo.com*

2) *Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora, nikola.svrkota@ceti.co.me*

Rezime

U radu su predstavljeni rezultati merenja ¹³⁷Cs u uzorcima sa teritorije Novog Pazara (gradsko jezgro, Novopazarska Banja, Izbice) izvršenih u periodu 2013-2016 – u zemljištu (11 lokacija), 11 jedinki stonoge (Scolopendra cingulata), u povrću (beli krompir, crni luk), voću (jabuka ajdared), kao i u belom boru i kiselom drvetu. Procenjeni su koncentracioni/transfer faktori za životinjske i biljne vrste, kao i odgovarajuće doze zračenja uslovljene ¹³⁷Cs, te njegov doprinos ukupnoj dozi.

1. UVOD

Černobiljski akcident doveo je do konzervacionih posledica [1,2], pošto su njime pogođene i neke retke vrste (kao prioritete u razmatranju očuvanja biodiverziteta). Uticaj jonizujućeg zračenja na biotu, tj. nasledni efekti, smanjenje reproduktivne sposobnosti, povećana smrtnost, itd. [3], a koji se procenjuje u prvom redu preko doza zračenja kojima su vrste izložene, značajan je za konzervaciju i očuvanje biodiverziteta [2,4]. To je, istovremeno, uz zaštitu habitata, od suštinske važnosti za primenu principa održivog razvoja.

S druge strane, kako to naglašava međunarodna profesionalna organizacija *Society for Conservation Biology* [5], najbolji način očuvanja biodiverziteta jeste zaštita i očuvanje svake vrste, ne samo retkih/ugroženih ili endemičnih vrsta. I savremeni trendovi u radioekologiji [6] podrazumevaju biocentrični pristup, tj. razmatranje i procenu rizika za što veći broj divljih biljnih i životinjskih vrsta – u cilju zaštite biodiverziteta.

U ovom radu predstavljeni su rezultati radioekoloških analiza biotskih uzoraka i zemljišta sa teritorije Novog Pazara, s fokusom na nivoe aktivnosti ¹³⁷Cs. Pregled literature pokazuje da je danas prisutni ¹³⁷Cs dominantno černobiljskog porekla, imajući u vidu njegov period poluraspada (30,1 god.) i vreme proteklo od atmosferskog testiranja nuklearnog oružja, a koje je na našim prostorima bilo njegov osnovni izvor pre 26. aprila 1986. godine.

Novi Pazar, sa površinom teritorije 742 km² i 100 410 stanovnika (prema popisu iz 2011. godine [7]), smešten je u dolini pet reka na jugozapadu Republike Srbije (Raški okrug), i okružen planinama Golijom, Rogoznom i Peštarskom visoravni. Njegovo područje karakteriše bogata flora i fauna. Oko 3 km od grada (u dolini

Izbičke reke) nalazi se Novopazarska Banja sa izvorima termalnih i mineralnih voda koje se primenjuju u rehabilitaciji i lečenju.

Prema našim saznanjima, detaljnija radioekološka istraživanja ovog područja ranije nisu rađena.

S ciljem dobijanja radioekološke slike grada i okoline, istraživanja su započeta 2012. godine kada su sakupljeni i gama-spektrometrijski analizirani određeni biotski uzorci.

Uzorkovanje zemljišta 2013. godine sa 11 mernih tačaka (u gradskom jezgru, Novopazarskoj Banji i Izbicama) i merenje dominantno prisutnih prirodnih radionuklida (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) i ^{137}Cs , poslužilo je da se prethodno procene jačina apsorbovane doze i odgovarajuća godišnja efektivna doza, a zatim i rizik po zdravlje ljudi usled spoljašnjeg terestrijalnog zračenja (*outdoors*) (videti [8,9]). Terenskim istraživanjem 2012. godine, kako je prethodno pomenuto, i dodatnim uzorkovanjem izvršenim u naredne dve godine, sakupljeni su i gama-spektrometrijski mereni izabrani biotski uzorci [8-10].

Naime, za uzorke faune površinskih slojeva zemljišta izabrana je najkrupnija hilopoda u Srbiji, stonoga *Scolopendra cingulata* Latreille, 1829.

Drvenasta invazivna vrsta biljke „kiselo drvo“ (*Ailanthus altissima* Swingle, 1916) koja ima široko rasprostranjenje u Srbiji i koja je prepoznata kao visokotolerantna na zagađenje zemljišta, vode i vazduha, takođe je izabrana za analizu, kao i beli bor, *Pinus sylvestris* Linnaeus, 1753 – imajući u vidu da je stablo bora referentni organizam prema izveštaju UNSCEAR [11].

U novim istraživanjima s početka 2016. godine, uključeni su i uzorci povrća (beli krompir i crni luk) i voća (jabuka ajdared), veoma zastupljeni u ljudskoj ishrani, a koji će, uz druge biotske i abiotske uzorke, biti predmet i daljih istraživanja.

2. MATERIJAL I METODE

U standardnoj proceduri [12], sa površine (25x25) cm² i dubine (0-5) cm uzorkovano je nekultivisano zemljište sa 11 lokacija. Na gradsko jezgro odnosi se 9 tačaka, 1 tačka odnosi se na Izbičke, a 1 je u Novopazarskoj Banji, na kojoj je uzorkovano zemljište sa tri dubine: površinski sloj (0-5 cm), (5-10) cm i (10-15) cm.



Slika 1. Gama-spektrometrijski sistem u Centru za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica

Merenja koncentracije aktivnosti ^{137}Cs , nakon standardne pripreme uzoraka koja je uključivala sušenje, prosejavanje, merenje mase, hermetizaciju u Marineli posudama zapremine 0,5 L, izvršena su u *Centru za ekotoksikološka ispitivanja* u Podgorici korišćenjem ORTEC HPGe spektrometrijskog sistema (40190 – relativne efikasnosti 40%, FWHM – 1,80 keV na 1,33 MeV, FWHM – 840 eV na 122 keV; i 30185-S – relativne efikasnosti 35%, FWHM – 1,72 keV na 1,33 MeV, FWHM – 700 eV na 122 keV) koji je prikazan na slici 1. Kalibracija spektrometara urađena je pomoću standarda (matriks silikonska smola) u 0,5 L Marineli posudi (*Czech Metrology Institute*), koji sadrži miks različitih radionuklida.

Marineli posude zatvarane su pomoću silikonskog lepila. Merenja su uglavnom vršena nakon ne manje od 35 dana (s ciljem uspostavljanja ravnoteže između ^{226}Ra i njegovih produkata raspada), a u slučaju kada su spektri snimljeni odmah nakon pakovanja (na primer, Izbice i Novopazarska Banja) u procenama doze podrazumevano je da je aktivnost ^{226}Ra u datom uzorku ne više od 30% veća od aktivnosti ^{214}Bi . Kasnije su i ovi uzorci ponovo snimani, nakon ne manje od 35 dana.

Masa svakog od uzoraka iz gradskog jezgra bila je 0,5 kg, i svaki od njih je meren po 10000 s živog vremena. Uzorak iz Izbica imao je masu 0,519 kg i meren je 76350 s živog vremena, dok su tri uzorka sa lokacije u Novopazarskoj Banji imali mase: 0,531 kg (0-5 cm), 0,535 kg (5-10 cm), 0,554 kg (10-15 cm), i mereni su 87815 s, 79916 s i 68781 s živog vremena, respektivno.

Iz snimljenih spektara (softver *Gamma Vision 32*), određena je koncentracija aktivnosti ^{137}Cs pomoću:

$$A_k = \frac{N/t}{\epsilon I m} \quad (1)$$

gde je N/t – neto brzina brojanja pod pikom totalne apsorpcije 662 keV, ϵ – (foto)efikasnost, I – intenzitet gama zraka (0,851), m – masa uzorka. Ista procedura korišćena je i za određivanje koncentracija aktivnosti prirodnih radionuklida ^{40}K , produkata raspada ^{226}Ra i ^{232}Th (analizom pikova na energijama 1461 keV, 609 keV i 911 keV, respektivno) [9].

Jačina apsorbovane doze u vazduhu, na 1 m visine iznad tla, a na osnovu koncentracija aktivnosti radionuklida u površinskom sloju zemljišta, procenjena je pomoću:

$$D = A_k(^{226}\text{Ra}) \cdot 0,462 + A_k(^{232}\text{Th}) \cdot 0,604 + A_k(^{40}\text{K}) \cdot 0,0417 + A_k(^{137}\text{Cs}) \cdot 0,1243 \quad (2)$$

gde su $A_k(^{226}\text{Ra})$, $A_k(^{232}\text{Th})$, $A_k(^{40}\text{K})$ i $A_k(^{137}\text{Cs})$ koncentracije aktivnosti (u Bq kg^{-1}) datih radionuklida u uzorku zemljišta, dok su, prema preporukama UNSCEAR, odgovarajući konverzioni koeficijenti: $0,462 \text{ nGy h}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$, $0,604 \text{ nGy h}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$, $0,0417 \text{ nGy h}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$ i $0,1243 \text{ nGy h}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$ [13,14], respektivno.

Na osnovu određene D , procenjena je i godišnja efektivna doza, kao:

$$E = D(\text{nGy h}^{-1}) \cdot 8760 \text{ h god}^{-1} \cdot 0,2 \cdot 0,7 \text{ Sv Gy}^{-1} \quad (3)$$

gde je 8760 h god^{-1} vreme izlaganja, $0,2$ je faktor spoljašnjeg izlaganja, dok je $0,7$

Sv Gy⁻¹ dozni konverzioni koeficijent. Predmet ovog rada je procena doprinosa ¹³⁷Cs dozi koja dolazi od spoljašnjeg terestrijalnog gama zračenja, zbog čega je najpre određena ukupna doza (uslovljena zračenjem koje dolazi od dominantno zastupljenih radionuklida, uz napomenu da određeni doprinos daju i ostali radionuklidi), a zatim i doprinos ¹³⁷Cs toj, procenjenoj ukupnoj dozi.

Uz uzorke zemljišta, predmet istraživanja bili su i biotski uzorci, homogenizovani i mereni istim gama-spektrometrijskim sistemom, u istoj proceduri određivanja nivoa ¹³⁷Cs, i uz odgovarajuće kalibracije sistema pomoću standarda (*Czech Metrology Institute*) u plastičnim cilindričnim posudama zapremine 50 mL i 250 mL. U tabeli 2 navedene su mase i živa vremena merenja ovih uzoraka.

Jedinke (11) vrste *S. cingulata* (slika 2a): 7 ženki (♀) i 4 mužjaka (♂), sakupljene su prilikom terenskog istraživanja 2012. godine, determinisane upotrebom binokularne lupe *ZEISS Discovery V8 stereomicroscope* i dijagnostičkih karakteristika [15], kao i morfoloških karakteristika polnog segmenta.

S ciljem dobijanja što tačnije procene nivoa aktivnosti ispitivanih radionuklida, tj. dobijanja što niže minimalne detektibilne aktivnosti, urađena su test merenja tokom različitih živih vremena.

Minimalna detektibilna aktivnost određena je primenom 3MDA metoda [16], uz korišćenje formule:

$$A_{\min} = 4,5 \frac{1 + \sqrt{1 + 0,888F}}{tI\varepsilon} \quad (4)$$

gde F predstavlja fonske odbroje u piku totalne apsorpcije, t – živo vreme merenja, I – intenzitet gama zraka, a ε – (foto)efikasnost.

Test merenja rađena su na udaljenosti 10 cm od detektora, te sa uzorkom na samom detektoru [10], i za finalne (i ovde u daljem tekstu predstavljene) rezultate uzeti su oni dobijeni za uzorak na samom detektoru.

Razmatrani uzorak stabla „kiselog drveta“ (*A. altissima*) (slika 2b) uzet je sa jedinke visine ~3,5 m, koja je oko 2 m udaljena od mesta uzorkovanja zemljišta, i oko 100 m od naseljenog dela lokacije Novopazarska Banja. Pepeo mase 10,2 g dobijen spaljivanjem celokupnog uzorka, čija je masa bila 350,4 g, meren je u cilindričnoj plastičnoj posudi zapremine 50 mL [8].

Uzorak lista (iglica) belog bora (*P. sylvestris*) uzet je sa stabla (slika 2c) koje je od mesta uzorkovanja zemljišta na lokaciji NP₃ udaljeno 1,5-2 m.

Uzorci belog krompira, crnog luka i jabuke kupljeni su kod lokalnog stanovništva, homogenizovani i mereni u plastičnim cilindričnim posudama zapremine 250 mL. Na osnovu izmerenih koncentracija aktivnosti ¹³⁷Cs procenjeni su njegovi transfer faktori iz zemljišta u uzorke ispitivanih biljnih (*A. altissima* i *P. sylvestris*) i životinjskih (*S. cingulata*) vrsta kao:

$$TF = A_k (\text{biotski uzorak}) / A_k (\text{uzorak zemljišta}) \quad (5)$$

pri čemu je za beli bor i stonogu korišćena koncentracija aktivnosti ¹³⁷Cs u površinskom sloju zemljišta (0-5) cm, a za „kiselu drvo“ njena srednja vrednost za tri sloja (0-15) cm.



a)



b)



c)

Slika 2. *S. cingulata* sa lokacije Izbice (a), *A. altissima* sa lokacije Novopazarska Banja (b), *P. sylvestris* sa lokacije NP₃ (c) (tabela 2)

U skladu sa izveštajem UNSCEAR [11] u vezi sa efektima jonizujućeg zračenja na nehumanu biotu, a podrazumevajući da je za terestričnu biotu ozračivanje najdominantnije iz zemljišta, i podrazumevajući homogenu distribuciju aktivnosti radionuklida u organizmu, jačina doze za stonogu (kao terestričnu životinju) i beli bor i „kiselo drvo“ (kao terestrične biljke) procenjena je korišćenjem izraza:

$$D = \sum_r \left| DKK_{spolj,r} \cdot A_{zemlj,r} + DKK_{unut,r} \cdot A_{biota,r} \right| \quad (6)$$

gde su $A_{zemlj,r}$ i $A_{biota,r}$ (u Bq kg⁻¹) – koncentracije aktivnosti radionuklida r u zemljištu i bioti, respektivno; a $DKK_{spolj,r}$ i $DKK_{unut,r}$ su dozni konverzioni koeficijenti za radionuklid r ; i to za spoljašnje i za unutrašnje izlaganje, respektivno.

Vrednosti pomenutih koeficijenata su, shodno izveštaju UNSCEAR [11] (za r : ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra i ²³²Th) i dostupnoj literaturi (za r : ⁴⁰K, na primer [17,18]), navedene u tabeli 1. Dozni konverzioni koeficijenti (za ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra i ²³²Th [11]) za referentnu biljku, tj. stablo bora [11], primenjeni su u ovom radu za beli bor i kiselo drvo, a za ⁴⁰K – oni koji se mogu naći u literaturi, a odnose se na terestrične biljke [17,18]. Takođe, pri analizi izloženosti *S. cingulata*, primenjeni su koeficijenti za kišnu glistu, kao referentni organizam za faunu površinskih slojeva zemljišta [11,17,18]. S obzirom da se radi o procenama, podrazumevan je nivo aktivnosti ²²⁶Ra i ²³²Th, a na osnovu aktivnosti radionuklida – njihovih potomaka.

U ovako procenjenoj jačini apsorbovane doze, usled spoljašnjeg i unutrašnjeg izlaganja zračenju navedenih radionuklida, moguće je proceniti i gornju granicu doprinosa ^{137}Cs .

Tabela 1. Dozni konverzioni koeficijenti (spoljašnje i unutrašnje izlaganje) [11,17,18]

| | $DKK_{spolj}, \mu\text{Gy h}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$ | | $DKK_{unut}, \mu\text{Gy h}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$ | |
|-------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| | Stablo bora | Kišna glista | Stablo bora | Kišna glista |
| ^{137}Cs | $1,1 \cdot 10^{-4}$ | $3 \cdot 10^{-4}$ | $3,5 \cdot 10^{-4}$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |
| ^{226}Ra | $3,4 \cdot 10^{-4}$ | $9 \cdot 10^{-4}$ | $1,4 \cdot 10^{-1}$ | $1,3 \cdot 10^{-1}$ |
| ^{232}Th | $4,3 \cdot 10^{-8}$ | $1,4 \cdot 10^{-7}$ | $2,3 \cdot 10^{-2}$ | $2,3 \cdot 10^{-2}$ |
| ^{40}K | $2,9 \cdot 10^{-4}$ | $2,6 \cdot 10^{-6(1)}$ | $3,9 \cdot 10^{-4}$ | $3,4 \cdot 10^{-6(1)}$ |

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Zemljište

Rezultati merenja koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima zemljišta sa teritorije Novog Pazara predstavljeni su u tabeli 2.

Minimalna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs izmerena je u uzorku zemljišta iz Ul. Vuka Karadžića (NP₉) – $2,21 \text{ Bq kg}^{-1}$, dok je maksimalni nivo izmeren u uzorku zemljišta iz Novopazarske Banje – $40,9 \text{ Bq kg}^{-1}$, neznatno iznad, na primer, onog izmerenog u zemljištu Lazarevca – $38,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ [19], ali i mnogo niži od onog u površinskom sloju zemljišta Rožaja, kao graničnog područja susedne Crne Gore – 322 Bq kg^{-1} [9].

Prosečna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs iznosi $17,7 \text{ Bq kg}^{-1}$, sa standardnom devijacijom $9,31 \text{ Bq kg}^{-1}$ i medijanom $17,8 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Koristeći i izmerene koncentracije aktivnosti ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K [9], jačina apsorbovane doze u vazduhu, na 1 m visine iznad tla, koja potiče od ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K i ^{137}Cs , izračunata pomoću formule (2), pokazala je minimum, maksimum, srednju vrednost, standardnu devijaciju i medijanu u iznosu $47,2$, $84,5$, $65,6$, $10,8$ i $68,2 \text{ nGy h}^{-1}$, respektivno. Dobijena srednja vrednost jačine apsorbovane doze uporediva je sa srednjom vrednošću jačine apsorbovane doze koja potiče od terestrijalnog gama zračenja za 7 zemalja južne Evrope (62 nGy h^{-1} [13]), kao i sa vrednošću koja je dobijana za Beograd u iznosu od $60,5 \text{ nGy h}^{-1}$ [20].

Jačina apsorbovane doze koja potiče samo od ^{137}Cs (u nGy h^{-1}), pokazuje minimum, maksimum, srednju vrednost, standardnu devijaciju i medijanu u iznosu $0,27$, $5,08$, $2,2$, $1,16$ i $2,21$, respektivno.

Na slici 3a predstavljena je jačina apsorbovane doze (*outdoor*) na svakoj od mernih tačaka, a koja potiče od ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K i ^{137}Cs , uz naznačeni doprinos koji daje ^{137}Cs . Najveći procentualni doprinos ^{137}Cs ukupnoj dozi uočen je na lokaciji NP₁₀ (slika 3b), a procene efektivnih godišnjih doza (formula (3)), jednako tretirane (ukupno: od ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs ; i posebno: od ^{137}Cs) date su na slici 3c.

⁽¹⁾ u ($\text{Gy y}^{-1}/(\text{Bq kg}^{-1})$)

Tabela 2. Koncentracija aktivnosti i jačina apsorbovane doze od ^{137}Cs u površinskom sloju zemljišta sa teritorije Novog Pazara

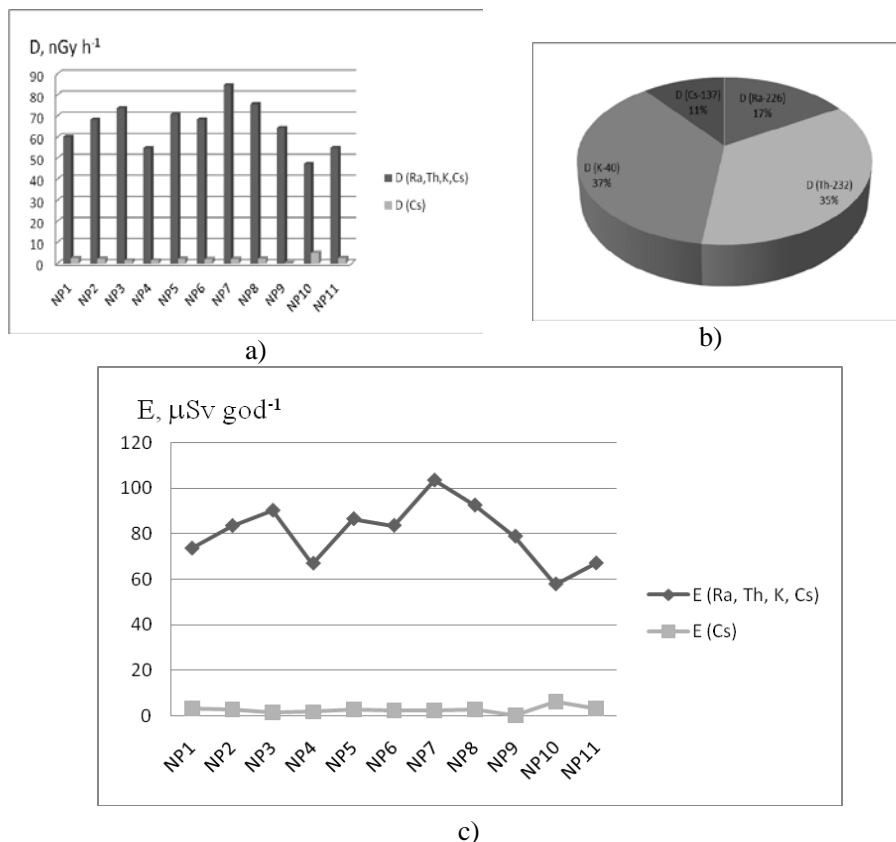
| Lokacija uzorkovanog zemljišta (NP ₁ do NP ₁₁) | Koordinate | $A_k(^{137}\text{Cs})$, Bq kg ⁻¹ | D, nGy h ⁻¹ |
|---|----------------------------------|--|------------------------|
| Ul. generala Živkovića | N 43°08'03,87" E 20°30'40,66" | 20,3 ± 0,9 | 2,52 ± 0,11 |
| Ul. Mihaila Pupina | N 43°09'16,89" E 20°31'40,34" | 17,8 ± 0,8 | 2,21 ± 0,10 |
| Ul. Miodraga Jovanovića | N 43°08'54,37" E 20°31'07,03" | 11,5 ± 0,7 | 1,43 ± 0,09 |
| Ul. Relje Krilatice | N 43°08'46,85" E 20°31'06,36" | 11,9 ± 0,6 | 1,48 ± 0,07 |
| Ul. Gojka Bačanina | N 43°08'33,96" E 20°31'04,19" | 17,8 ± 0,8 | 2,21 ± 0,10 |
| Ul. Ramiza Koče | N 43°08'24,35" E 20°30'50,45" | 16,6 ± 0,8 | 2,06 ± 0,10 |
| Centar Mladost | N 43°08'19,41" E 20°30'48,82" | 17,2 ± 0,8 | 2,14 ± 0,10 |
| Gradski park | N 43°08'20,13" E 20°31'02,48" | 18,3 ± 0,8 | 2,27 ± 0,10 |
| Ul. Vuka Karadžića | N 43°08'18,32" E 20°31'14,91" | 2,21 ± 0,39 | 0,27 ± 0,05 |
| Novopazarska Banja | N 43°09'26,99" E 20°33'13,06" | 40,9 ± 1,3 | 5,08 ± 0,16 |
| Izbice | N 43°07'33,26" E 20°34'35,37" | 20,6 ± 0,8 | 2,56 ± 0,10 |

Srednja godišnja efektivna doza (uslovljena ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs) procenjena na 80,5 $\mu\text{Sv god}^{-1}$ (u opsegu od 57,9 do 104 $\mu\text{Sv god}^{-1}$, sa standardnom devijacijom i medijanom 13,2 i 83,6 $\mu\text{Sv god}^{-1}$, respektivno) gotovo je identična sa onom procenjenom za teritoriju Mojkovca u Crnoj Gori [21], i neznatno je iznad srednje efektivne doze na svetskom nivou (0,07 mSv [13]) koja se odnosi na izlaganje spoljašnjem prirodnom terestrijalnom zračenju *outdoors*.

3.2. Biotski uzorci

U tabeli 3 navedene su maksimalne koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u biotskim uzorcima sa teritorije Novog Pazara, kao i procenjeni nivoi transfer faktora (formula (5)).

Kao što se može videti, koncentracije aktivnosti manje su od minimalne detektibilne aktivnosti, osim u slučaju jedne jedinke stonoge sa lokacije Izbice (9♂), gde je izmerena aktivnost bila na nivou MDA.



Slika 3. Jačine apsorbovanih doza na mernim lokacijama na teritoriji Novog Pazara (a), doprinos ¹³⁷Cs ukupnoj dozi na lokaciji NP₁₀ (b), godišnja efektivna doza (c)

Iako se radi o niskim aktivnostima ¹³⁷Cs u jedinkama stonoge *S. cingulata* procenjeni transfer faktori iz površinskog sloja zemljišta bi možda mogli biti veći od nominalnih vrednosti transfer faktora za referentni organizam, tj. kišnu glistu (0,09) [11], što zahteva dodatna istraživanja.

Jačina doze kojoj su izložene razmatrane biljne i životinjske jedinke, a koja potiče od ¹³⁷Cs (uz primenu doznih konverzionih koeficijenta za dati radionuklid), takođe je data u tabeli 3. Ovoj dozi dominantno doprinosi spoljašnje ozračivanje, dok je interno ozračivanje značajno manje.

Nivoi jačine doze za jedinke *S. cingulata*, koja potiče od spoljašnjeg i unutrašnjeg ozračivanja usled prirodnih radionuklida (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) i ¹³⁷Cs, procenjeni primenom formule (6), predstavljeni su na slici 4. Opseg (≤) ovih doza je od 1,43 do 14,4 μGy h⁻¹, srednja vrednost 5,37 μGy h⁻¹, uz standardnu devijaciju od 4,03 μGy h⁻¹. Iz navedenog sledi da je doprinos ¹³⁷Cs dozi kojoj su izložene razmatrane jedinke znatno niži od doprinosa prirodnih radionuklida. Naime, doprinos ¹³⁷Cs ne prelazi 0,9 %, a u slučaju jedinke 9♂ to je 0,2 %. Za tu jedinku, doza koja potiče od ¹³⁷Cs je na nivou 15,3 nGy h⁻¹, a ukupna doza (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K i ¹³⁷Cs) ne može biti veća od 7,46 μGy h⁻¹. Ovo znači (ukupnu) dozu koja ne

prelazi $0,18 \text{ mGy d}^{-1}$, što je skoro šest puta niže od praga doze za terestrične životinje (1 mGy d^{-1} [18]). Uzimajući da ukupna doza koja potiče od razmatranih terestrijalnih radionuklida ne može preći $14,4 \mu\text{Gy h}^{-1}$, tj. $0,35 \text{ mGy d}^{-1}$, te da je životni vek *S. cingulata* u prirodnim uslovima oko 4 godine, celoživotna doza koju ova vrsta prima usled hroničnog izlaganja terestrijalnom zračenju manja je od 511 mGy .

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima sa lokacije NP₁₀ (Novopazarska Banja), iz srednjeg i najdubljeg sloja zemljišta, bile su ($41,6 \pm 1,4$) Bq kg⁻¹ i ($34 \pm 1,1$) Bq kg⁻¹, respektivno, dok je u „kiselom drvetu“ ona bila ispod minimalne detektibilne aktivnosti [8]. Doza koja potiče od ovog radionuklida (ispod $4,3 \text{ nGy h}^{-1}$), dominantno je uslovljena spoljašnjim ozračivanjem (iz zemljišta) – $4,27 \text{ nGy h}^{-1}$. S obzirom na izmerene nivoe ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorku stabla – $<0,35$, $0,76$ i 153 Bq kg^{-1} , respektivno (u zemljištu, srednje vrednosti za dubinu 0-15 cm – $17,7$, $29,3$ i 439 Bq kg^{-1} , respektivno), ukupna doza od navedenih prirodnih radionuklida i ^{137}Cs ne prelazi $0,264 \mu\text{Gy h}^{-1}$, tj. $0,006 \text{ mGy d}^{-1}$.

Kao što se vidi iz tabele 3, procenjeni transfer faktor ^{137}Cs iz zemljišta u lišće/iglice belog bora (*P. sylvestris*) sa gradskog područja Novog Pazara je $<0,03$, što je značajno ispod njegove nominalne vrednosti za referentnu biljku (stablo bora) – $0,2$ [11]; dok je, na primer, opseg (agregatnih) transfer faktora (biljka (Bq kg⁻¹)/zemljište (Bq m⁻²)) ^{137}Cs za iglice vrsta bora (*Pinus sp.*) $0,001$ - $0,04$, a za iglice vrsta smreke (*Picea sp.*) $0,0006$ - $0,02$ [11]. Generalno, opseg transfer faktora zemljište-biljka, dat u izveštaju UNSCEAR 2008 [11] kreće se od $0,001$ do $0,1$.

Doza koja potiče od ^{137}Cs (manje od $1,38 \text{ nGy h}^{-1}$), dominantno je uslovljena spoljašnjim ozračivanjem – $1,26 \text{ nGy h}^{-1}$, a imajući u vidu izmerene nivoe ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K u uzorku *P. sylvestris* i zemljištu [9], ukupna doza od navedenih prirodnih radionuklida i ^{137}Cs ne prelazi $0,666 \mu\text{Gy h}^{-1}$, tj. $0,016 \text{ mGy d}^{-1}$.

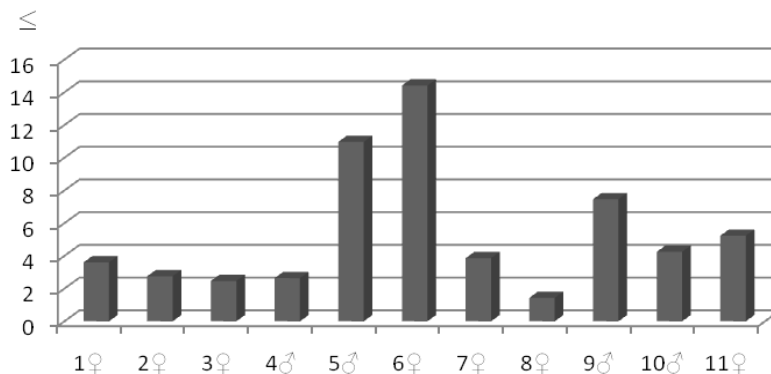
Prethodno navedeni nivoui jačina doza za stablo „kiselog drveta“ i lišće belog bora, značajno su ispod praga doze za terestrične biljke (10 mGy d^{-1} [18]), što znači da za date biljne vrste nema opasnosti od efekata koji se mogu javiti pri dozama iznad praga. Procenjeni nivoui doza na stotine puta su manji i od $2,5 \text{ mGy d}^{-1}$, tj. vrednosti koja se u novije vreme navodi kao prag doze za efekte usled hroničnog ozračivanja biljaka [6], a iznad koje (pa do 25 mGy d^{-1}) efekti mogu biti redukcija rasta, morfološke promene i sl.

Konačno, u uzorcima povrća i voća sa teritorije Novog Pazara, aktivnost ^{137}Cs ispod je minimalne detektibilne aktivnosti. Koncentracije prirodnih radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , takođe razmatrane u istim uzorcima, bile su: $<0,7$, $<1,19$ i ($28,6 \pm 1,9$) Bq kg⁻¹, respektivno (jabuka), $<0,53$, ($1,37 \pm 0,42$) i ($89,3 \pm 3,8$) Bq kg⁻¹, respektivno (beli krompir), $<0,57$, ($1,04 \pm 0,45$) i ($65,6 \pm 3,0$) Bq kg⁻¹, respektivno (crni luk).

Tabela 3. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u biotskim uzorcima i površinskom sloju zemljišta sa područja Novog Pazara i Izbica, i gornji nivoi transfer faktora i jačine doze od ^{137}Cs

| Uzorak | Masa uzorka | Vreme merenja (s) | $A_k(^{137}\text{Cs})$, (Bq kg ⁻¹) | Transfer faktor (TF) | D (^{137}Cs), (nGy h ⁻¹) |
|--|-------------|-------------------|---|-----------------------|---|
| Novi Pazar | | | | | |
| Zemljište – Novopazarska Banja, NP ₁₀ | 0,531 kg | 87 815 | 40,9±0,7 | - | - |
| <i>A. altissima</i> [8] | 10,2 g | 155 655 | <0,10 | <0,003 ⁽²⁾ | <4,3 |
| <i>S. cingulata</i> [8,10] | | | | | |
| 1♀ | 1,99 g | 95 732 | <10 | <0,25 | <13,8 |
| 2♀ | 2,13 g | 86 333 | <9,39 | <0,24 | <13,7 |
| 3♀ | 2,31 g | 87 290 | <8,66 | <0,22 | <13,6 |
| 4♂ | 2,43 g | 91 327 | <8,23 | <0,20 | <13,5 |
| 5♂ | 1,04 g | 95 403 | <19,2 | <0,48 | <15,2 |
| 6♀ | 1,76 g | 85 805 | <11,4 | <0,28 | <14 |
| 7♀ | 1,97 g | 65 700 | <10,2 | <0,25 | <13,8 |
| Zemljište – gradsko jezgro, NP ₃ | 0,5 kg | 10 000 | 11,5 ± 0,7 | - | - |
| <i>P. sylvestris</i> [9] | 181,17 g | 53 842 | <0,34 | <0,03 | <1,38 |
| Povrće i voće | | | | | |
| Beli krompir | 0,265 kg | 86 676 | <0,26 | - | - |
| Crni luk | 0,259 kg | 78 540 | <0,30 | - | - |
| Jabuka ajdared | 0,230 kg | 76 633 | <0,30 | - | - |
| Izbice | | | | | |
| Zemljište – NP ₁₁ | 0,519 kg | 76 350 | 20,6±0,4 | - | - |
| <i>S. cingulata</i> [10] | | | | | |
| 8♀ | 2,86 g | 169 863 | <3,5 | <0,17 | <12,8 |
| 9♂ | 0,49 g | 147 953 | ≤20,4 | ≤0,1 | ≤15,3 |
| 10♂ | 1,70 g | 89 873 | <11,8 | <0,57 | <14 |
| 11♀ | 2,71 g | 80 937 | <7,38 | <0,36 | <13,4 |

⁽²⁾Za srednju vrednost koncentracije aktivnosti za tri sloja zemljišta, tj. za zemljište (0-15) cm (38,8 Bq kg⁻¹).

D (Ra, Th, K, Cs), $\mu\text{Gy h}^{-1}$ Slika 4. Jačina doze (*S. cingulata*) – spoljašnje i unutrašnje ozračivanje

4. ZAKLJUČAK

Prva detaljnija radioekološka istraživanja teritorije Novog Pazara ukazuju na relativno nizak nivo aktivnosti ^{137}Cs u zemljištu i ispitivanim biotskim uzorcima – *S. cingulata*, *A. altissima*, *P. sylvestris*, beli krompir, crni luk i jabuka ajdared.

Doprinos ^{137}Cs ukupnoj jačini apsorbovane doze u vazduhu, koja potiče od terestrijalnog gama zračenja, na 1 m visine iznad tla na 11 mernih lokacija ne prelazi 11%.

Srednja godišnja efektivna doza uslovljena gama zračenjem iz raspada ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K i ^{137}Cs procenjena na $\sim 0,08 \text{ mSv god}^{-1}$ neznatno je iznad srednje efektivne doze na svetskom nivou koja se odnosi na izlaganje spoljašnjem prirodnom terestrijalnom zračenju *outdoors*.

Procenjeni transfer faktori ^{137}Cs za beli bor (*P. sylvestris*) i naročito za „kiselo drvo“ (*A. altissima*) značajno su ispod nominalne vrednosti transfer faktora za referentnu biljku (stablo bora). Ipak, ovde navedeni rezultati ne mogu biti korišćeni za cele jednike, s obzirom da i ostali njihovi delovi (koren, plod...) akumuliraju radionuklide. U slučaju stonoge (*S. cingulata*) transfer faktori bi možda mogli biti veći od njihovih nominalnih vrednosti za referentni organizam (kišnu glistu), što zahteva dalja istraživanja.

Jačina doze koja potiče od ^{137}Cs , a kojoj su izložene analizirane biljne i životinjske vrste, dominantno je uslovljena spoljašnjim ozračivanjem (iz zemljišta), dok je unutrašnje ozračivanje značajno manje. Doprinos prirodnih radionuklida dozi kojoj su hronično izložene razmatrane vrste mnogostruko je veći od doprinosa ^{137}Cs .

5. LITERATURA

- [1] A. P. Moller, T. A. Mousseau. Biological consequences of Chernobyl: 20 years on. Trends Ecol. Evol. 21/4 (2006) 200-207.
- [2] A. P. Moller, T. A. Mousseau. Conservation consequences of Chernobyl and other nuclear accidents. Biol. Conserv. 144/12 (2011) 2787-2798.

- [3] IAEA (International Atomic Energy Agency). Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation. IAEA-TECDOC-1270 (2002).
- [4] C. A. Robinson. Development of an international framework for the protection of the environment from the effects of ionizing radiation. In: Proc. 3rd Int. Symp. on the Protection of the Environment from Ionising Radiation (SPEIR 3), Darwin, Australia, 22-26 July, 2002. IAEA-CPS-17 (2003) 110-118.
- [5] <http://www.conbio.org>
- [6] IUR (International Union of Radioecology). Radioecology in 2014 – Current research directions and trends for the future (2014). (http://www.iur-uir.org/upload/About%20IUR/radioecology_oslo_presentation2014.pdf)
- [7] www.novipazar.rs
- [8] Ivanka Antović, Dalibor Stojanović, Nikola Svrkota, Ranka Žižić, Mirzeta Hadžibrahimović. Početna radioekološka istraživanja u Novom Pazaru – područje Novopazarska Banja. Zbornik radova XXVII simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, str. 72-75, Vrnjačka Banja, Srbija, 2-4. oktobar 2013.
- [9] Ivanka Antović, Nikola Svrkota, Dalibor Stojanović, Mirzeta Hadžibrahimović, Ranka Žižić, Gordana Laštovička-Medin. Soil and vegetation from Novi Pazar (Serbia) and Rožaje (Montenegro): radioactivity impact assessment. In: Proc. 3rd Int. Conf. on Radiation and Applications in Various Fields of Research, pp. 263-266, Budva, Montenegro, 8-12 June 2015.
- [10] I. Antović, D. Stojanović, N. Svrkota, R. Žižić, D. Antić, N. M. Antović. Radionuclides and trace elements in centipede species Scolopendra cingulata from Serbia. J. Radioanal. Nucl. Chem. 302/2 (2014) 791-795.
- [11] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the effect of Atomic Radiation). UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes Sources and effects of ionizing radiation. Annex E: Effects of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York (2011).
- [12] HASL-300. EML Procedures Manual. Environmental Measurements Laboratory, U. S. Department of Energy, 28 Edition (1997).
- [13] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the effect of Atomic Radiation). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Annex B: Exposure from natural radiation sources. United Nations, New York (2000).
- [14] E. Kapdan, A. Varinlioglu, G. Karahan. Radioactivity levels and health risks due to radionuclides in the soil of Yalova, northwestern Turkey. Int. J. Environ. Res. 5/4 (2011) 837-846.
- [15] J. G. E. Lewis. A key and annotated list of the Scolopendra species of the Old World with a reappraisal of Arthrorhabdus (Chilopoda: Scolopendromorpha: Scolopendridae). Int. J. Myriapodol. 3/1 (2010) 83-122.
- [16] ORTEC. Gamma-vision 32. Gamma-ray spectrum analysis NCA emulator for Microsoft (2003).
- [17] B. D. Amiro. Radiological dose conversion factors for generic non-human biota used for screening potential ecological impacts. J. Environ. Radioactiv. 35/1 (1997) 37-51.
- [18] R. K. Singhal, K. Ajay, N. Usha, A. V. Reddy. Evaluation of doses from ionizing radiation to non-human species at Tromay, Mumbai, India. Radiat. Prot. Dosim. 133/4 (2009) 214-222.
- [19] S. S. Nenadović, M. T. Nenadović, I. S. Vukanac, M. O. Omerašević, Lj. M. Kljajević. Radiological hazards of ¹³⁷Cs in cultivated and undisturbed areas. Nucl. Technol. Radiat. Prot. 26/2 (2011) 115-118.
- [20] Lj. Jankovic Mandic, S. Dragovic. Assessment of terrestrial gamma exposure to the population of Belgrade (Serbia). Radiat. Prot. Dosim. 140/4 (2010) 369-377.
- [21] Nevenka M. Antović, Danilo S. Bošković, Nikola R. Svrkota and Ivanka M. Antović. Radioactivity in soil from Mojkovac, Montenegro, and assessment of radiological and cancer risk. Nucl. Technol. Radiat. Prot. 27/1 (2012) 57-63.

CESIUM-137 IN BIOTIC AND ABIOTIC SAMPLES FROM THE TERRITORY OF NOVI PAZAR

Ivanka ANTOVIĆ¹, Dalibor STOJANOVIĆ¹, Nikola SVRKOTA², Ranka ŽIŽIĆ² and Mirzeta HADŽIBRAHIMOVIĆ¹

- 1) Department for biomedical sciences, State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, ivanka_antovic@yahoo.com
- 2) Centre for ecotoxicological research, Podgorica, Montenegro, nikola.svrkota@ceti.co.me

This paper deals with ¹³⁷Cs activity concentrations in samples from the territory of Novi Pazar (town core, Novopazarska Banja, Izbice). The measurements have been performed in 2013-2016 using standard gamma spectrometry (HPGe) procedures, and included samples of soil (11 locations), 11 individuals of centipede (*Scolopendra cingulata*), vegetables (potato, onion), fruit (apple), as well as “tree of heaven” *Ailanthus altissima* and pine *Pinus sylvestris*. The levels of concentration/transfer factors for animal and plant species were evaluated, together with corresponding radiation dose rate caused by ¹³⁷Cs, and its contribution to the total dose rate. All the samples showed relatively low level of ¹³⁷Cs. Its contribution to the total external terrestrial gamma absorbed dose rate at 1 m in air at 11 measuring points did not exceed 11%, while the annual effective dose caused by gamma radiation of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs found to be with an average of ~0.08 mSv y⁻¹, i.e., slightly higher than the global average annual effective dose from natural radiation sources – external terrestrial radiation, *outdoors*. The external irradiation of the considered animal and plant species by the activity in soil was found to be dominant, and significantly higher than internal exposure to incorporated ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs. A contribution of natural radionuclides to the total dose rate is many folds higher than that of ¹³⁷Cs. At the same time, upper levels of the total dose rates (external and internal exposure) of *S. cingulata*, *A. altissima* and *P. sylvestris* to the terrestrial radionuclides, are significantly below the threshold doses for terrestrial animals and plants (1 and 10 mGy d⁻¹, respectively).

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 d) Јонизујуће зрачење - Штетно

дејство - Србија - Зборници

COBISS.SR-ID 226685452