

¹³⁷Cs NA ZNANSTVENO – ISTRAŽIVAČKOM POLIGONU "ŠUMBAR"

Božena Skoko¹, Gordana Marović¹, Dinko Babić¹ i Ivan Vicković²

¹Jedinica za zaštitu od zračenja, ²Jedinica za toksikologiju
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb
bskoko@imi.hr

UVOD

Jedinica za zaštitu od zračenja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada od 2009. godine provodi program mjerenja radioaktivnosti na znanstveno-istraživačkom poligonu "Šumbar", sa svrhom prikupljanja podataka o stanju kontaminacije tog područja. Poligon se nalazi u blizini Karlovca, površine je 2153 ha, a na njemu dominira šumska zajednica hrasta lužnjaka (*Quercus robur*) i graba (*Carpinus betulus*). Osim šuma, poligon sadrži nekoliko manjih livada te glinište.

Dinamika kontaminacije šuma može se promatrati u dvije faze. Prva, "rana faza", traje 4 – 5 godina. Karakterizirana je brzom redistribucijom radionuklida između drveća i tla budući da se početni *fall-out* velikim dijelom zaustavi na krošnjama drveća. Druga, "mirna faza", karakterizirana je sporim promjenama u biodostupnosti radionuklida, a kontaminacija drveća ovisi o prijenosu radionuklida korijenjem u drvenu masu. Ugradnjom u biljnu masu, radionuklidi sudjeluju u životnom ciklusu šume i tako ostaju dugo prisutni u ekosustavu. Upravo zato, i zbog radionuklida dugog vremena polurasprada, jednom kontaminirani šumski ekosustavi postaju dugotrajan izvor kontaminacije za populaciju koja u prehrani sadrži veći udjel šumskih plodova, gljiva i mesa divljači. Istraživanja nakon černobilske nesreće pokazala su puno veću varijabilnost koncentracija aktivnosti radionuklida u raznim sastavnicama šumskih područja (tlo, biljke, životinje) u odnosu na obradive površine. Posebno je naglasak na ¹³⁷Cs koji ima najveću varijabilnost u kretanju od svih radionuklida. Zbog debljih organskih slojeva, velike mikrobne i micelijske biomase te gustog površinskog sustava korijenja šumskog tla, cezij ima sporiju vertikalnu migraciju u šumskom tlu u odnosu na obradivo tlo. Samo "site-specific" istraživanja mogu dati uvid u stvarne puteve i prijenose radionuklida u takvim ekosustavima [1,2].

Kao pregled stanja kontaminacije u znanstveno-istraživačkom poligonu "Šumbar", istražene su koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu i travi te poznatim biondikatorima, mahovini i gljivama [3,4]. Osim bioindikatorske uloge, mahovine i gljive mogu direktno ili indirektno sudjelovati u prehrambenom lancu čovjeka. Indirektno kao izvor hrane divljači u jesenskim i zimskim mjesecima ili direktno (gljive) kroz povećanu zastupljenost u prehrani ljudi u jesenskim mjesecima [5]. Nasumično su određena tri mjesta uzorkovanja (označena kao A, B i C) s obzirom na pristupačnost terena. Lokacija A se nalazi u dijelu šume koji je blizu autoputa Zagreb – Karlovac, lokacija B je smještena bliže kanalu Kupa – Kupa, a lokacija C se nalazi na rubnom šumskom pojasu. Veličina terena te mjesta uzorkovanja prikazana su na Slici 1. Ovaj rad prikazuje rezultate preliminarnih istraživanja radioaktivnosti na znanstveno-istraživačkom poligonu "Šumbar".



Slika 1. Znanstveno – istraživački poligon "Šumbar", modificirano prema <http://maps.google.com/>

MATERIJALI I METODE

Uzorkovanje je provedeno u periodu 2009. – 2010. godine. Na svim lokacijama uzorkovano je tlo, trava (*Carex sp.*, nadzemni dio) i mahovina s drveća. Gljive su skupljene na cijelom području poligona.

Skupljeni uzorci tla, mahovine, trave i parazitskih gljiva sušeni su na 105 °C, homogenizirani, a potom spaljeni na 450 °C. Ovisno o volumenu, uzorci su pakirani u posudice od 100 mL, 200 mL ili 1000 mL (Marinelli

posude). Uzorci jestivih gljiva mjereni su u svježem stanju. Dio gljiva kojih nije bilo u dovoljnoj količini za samostalno mjerenje spojen je u zbirni uzorak, no pazilo se da se odvoje jestive od nejestivih biljaka. Uzorci koji nisu mogli biti odmah pripremljeni ili mjereni čuvani su u hladnjaku na $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Svi uzorci obrađeni su visokorezolucijskom gamaspektrometrijom; Ge(Li) detektorom ORTEC rezolucije 1,78 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 16,8 % na 1,33 MeV; HPGe detektorom ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV ^{60}Co i relativne efikasnosti od 74 % na 1,33 MeV ^{60}Co , povezanima s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija efikasnosti načinjena je standardima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). Vrijeme mjerenja je 80000 s ili duže, ovisno o aktivnosti uzorka.

REZULTATI I RASPRAVA

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu, travi i mahovini prikazane su u Tablici 1. Svi rezultati izraženi su kao koncentracije aktivnosti suhe tvari. Srednja vrijednost aktivnosti ^{137}Cs u tlu je $(123 \pm 9)\text{ Bq kg}^{-1}$ za lokacije A i B, u skladu s očekivanjima o većem prisustvu radionuklida u šumama, dok je za lokaciju C vrijednost za red veličine manja ($(16,1 \pm 0,5)\text{ Bq kg}^{-1}$), vjerojatno zbog položaja lokacije na rubnom dijelu šume. Ta vrijednost je usporediva i istog je reda veličine kao i ona zagrebačkog neobrađenog tla ($(14,9 \pm 2,3)\text{ Bq kg}^{-1}$) [6].

Tablica 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u tlu, travi i mahovini.

Lokacija	^{137}Cs (Bq kg^{-1})		
	Tlo	Trava	Mahovina
A	129 ± 2	$13,2 \pm 0,1$	$8,7 \pm 0,2$
B	117 ± 1	$0,48 \pm 0,01$	$57,8 \pm 0,3$
C	$16,1 \pm 0,5$	$0,43 \pm 0,03$	$11,3 \pm 0,2$

Vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima trave kreću se u rasponu od $(0,43 \pm 0,03)\text{ Bq kg}^{-1}$ do $(13,2 \pm 0,1)\text{ Bq kg}^{-1}$, a za mahovinu od $(8,7 \pm 0,2)\text{ Bq kg}^{-1}$ do $(57,8 \pm 0,3)\text{ Bq kg}^{-1}$. Rezultati aktivnosti cezija u travi sa sjevernog područja Hrvatske iznose 2 Bq kg^{-1} u 2009. godini [6].

U Tablici 2 prikazani su rezultati koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u različitim vrstama te zbirnim uzorcima gljiva. Izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u pojedinim vrstama jestivih gljiva kreću se u rasponu između $(4,1 \pm 0,5) \text{ Bq kg}^{-1}$ do $(610 \pm 5) \text{ Bq kg}^{-1}$. Najnižu vrijednost pokazuje maglenka (*Clitocybe nebularis*), a najvišu vitka korenovka (*Gymnopus dryophilus*, prije pod nazivom *Collybia dryophila*). Najveća izmjerena koncentracija aktivnosti ^{137}Cs ($(1160 \pm 120) \text{ Bq kg}^{-1}$) je u zbirnom uzorku koji je sadržavao suvišak jestivih gljiva navedenih u Tablici 2 (osim *Macrolepiota procera*) te još nekih drugih vrsta kojih nije bilo u dovoljnoj količini za samostalan uzorak. U zbirnom uzorku nejestivih gljiva, koji je u najvećem udjelu (82 %) sadržavao vrstu kresivna guba (*Fomes fomentarius*), a u manjem udjelu brezinu gubu (*Piptorous betulinus*), sjajnu hrastovku (*Ganoderma lucidum*), žuti kruh (*Polyporus sulphurus*) te šarenu tvrdošku (*Trametes versicolor*), izmjerena je koncentracija aktivnosti ^{137}Cs ispod donje granice detekcije.

Tablica 2. Opis vrsta gljiva te koncentracija aktivnosti ^{137}Cs

Latinski naziv	Lokalni naziv	Jestivost	Tip	^{137}Cs (Bq kg^{-1})
<i>Clitocybe nebularis</i>	Maglenka	Jestiva	Saprofit	$4,1 \pm 0,4$
<i>Macrolepiota procera</i>	Sunčanica	Jestiva	Saprofit	$4,9 \pm 0,9$
<i>Gymnopus dryophilus</i>	Vitka korenovka	Jestiva	Saprofit	610 ± 5
<i>Boletus (Xerocomus) badius</i>	Kostanjevka	Jestiva	Simbiot	190 ± 3
<i>Amanita fulva</i>	Smeđa preslica	Jestiva	Simbiot	223 ± 4
	Zbirni uzorak	/	Saprofit/Simbiot	1164 ± 10
	Zbirni uzorak	Nejestivo	Parazit	$< 0,026$

Rezultati koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u gljivama pokazuju očekivanu varijabilnost između različitih vrsta. Izrazito niska aktivnost uzorka parazitskih gljiva bila je očekivana budući da je podloga za rast tih vrsta gljiva drvo, koje u pravilu sadržava puno niže koncentracije aktivnosti od zemlje ili humusa. [2] Iako drugi autori navode vrstu *Xerocomus (Boletus) badius* kao najvećeg "sakupljača" ^{137}Cs , ovi rezultati pokazuju da na području "Šumbara" tu ulogu ima vrsta *Gymnopus dryophilus* [7,8].

ZAKLJUČAK

Rezultati preliminarnih istraživanja radioaktivnosti na znanstveno-istraživačkom poligonu "Šumbar" ukazuju na varijabilnost rezultata aktivnosti ^{137}Cs u šumskom ekosustavu. Daljnim proširenim istraživanjima bi se moglo detaljnije razjasniti trendovi kretanja ^{137}Cs u takvim sustavima te uzroci varijabilnosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs .

ZAHVALA

Ovaj rad je ostvaren uz financijsku potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske (Projekt 022-0222882-2335, Radioaktivnost okoliša i zaštita od zračenja.). Autori zahvaljuju Jasminki Senčar, Stjepanu Begi i Josipu Tončiću, dr. vet. med., na pomoći u istraživanju.

LITERATURA

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Report Series No. 472. Vienna: IAEA; 2010.
- [2] Calmon P, Thiry Y, Zibold G, Rantavaara A, Fesenko S, Orlov O. Radionuclide transfer in forest ecosystems. In: Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, TECDOC-1616. Vienna: IAEA; 2010. str. 333-381.
- [3] Marović G, Franić Z, Senčar J. Mahovina u radiološkom monitoringu. U: Barišić D, Grahek Ž, Krajcar Bronić I, Miljanić S, ur. Zbornik radova Sedmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja; 29.-31. svibnja 2008; Opatija; Hrvatska. Zagreb: HDZZ; 2008. str. 230-234.
- [4] Marović G, Franić Z, Senčar J, Bituh T, Vugrinec O. Mosses and some mushroom species as bioindicators of radiocesium contamination and risk assessment. Coll Antropol 2008; 32: 109-114.
- [5] Vilić M, Barišić D, Kraljević P, Lulić S. ^{137}Cs concentration in meat of wild boars (*Sus scrofa*) in Croatia a decade and half after the Chernobyl accident. J Environ Radioactivity 2005;81:55-62.
- [6] Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2009. godinu. Izvještaj IMI-CRZ-90, Zagreb; 2010.
- [7] Malinowska E, Szefer P, Bojanovski R. Radionuclides content in *Xerocomus badius* and other commercial mushrooms from several regions of Poland. Food Chemistry 2006;97:19-24.
- [8] Kalač P. A review of edible mushroom radioactivity. Food Chemistry 2001;75:29-35.

¹³⁷Cs IN RESEARCH POLYGON "ŠUMBAR"

Božena Skoko¹, Gordana Marović¹, Dinko Babić¹ and Ivan Vicković²

¹Radiation Protection Unit, ²Toxicology Unit

Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia

bskoko@imi.hr

In 2009, Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health started a radioactivity measurement programme in research polygon "Šumbar". The purpose of these investigations is to collect as many data as possible about the contamination of the polygon that is mainly covered by a forest of English oak (*Quercus robur*) and hornbeam (*Carpinus betulus*). Once contaminated, forests represent long-term sources of radiation exposure to specific population groups which are using them as a source of foodstuffs. After the Chernobyl accident, researchers have shown that there has been more variability in radionuclide activity concentration in forests than in agricultural ecosystems. In order to carry out a radioactivity screening of the polygon, we randomly chose three sampling sites for collecting soil, grass and moss samples. Different species of mushrooms were collected over the whole polygon area. The average activity concentration of ¹³⁷Cs in soil for two sampling sites is (123 ± 9) Bq kg⁻¹, while the result for the third site is lower by an order of magnitude $((16.1 \pm 0.5)$ Bq kg⁻¹). The activity concentration of ¹³⁷Cs in grass samples ranges from (0.43 ± 0.03) Bq kg⁻¹ to (13.2 ± 0.1) Bq kg⁻¹, and in moss samples from (8.7 ± 0.2) Bq kg⁻¹ to (57.8 ± 0.3) Bq kg⁻¹. In five collected mushroom species, the activity of ¹³⁷Cs is in the range between (4.1 ± 0.5) Bq kg⁻¹ and (610 ± 5) Bq kg⁻¹, the lowest and the highest values referring to *Clitocybe nebularis* and *Gymnopus dryophilus*, respectively. Parasitic mushrooms exhibit activity below the minimum detection level. Our preliminary results show and confirm variability of the activity concentration of ¹³⁷Cs in different parts of this ecosystem.