

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

ANALIZA AKTIVNOSTI ^{137}Cs U GLJIVAMA SA TERITORIJE SRBIJE OD ČERNOBILJSKOG AKCIDENTA DO DANAŠNJIH DANA

Mirjana ČUJIĆ¹, Ana ČUČULović², Jelena PETROVIĆ¹ i Snežana DRAGović¹

1) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
cujicm@vinca.rs

2) Univerzitet u Beogradu, Institut za primenu nuklearne energije, Beograd, Srbija

Rezime

Nakon akcidenta u nuklearnoj elektrani 'Lenjin', u periodu od trideset godina, u Institutu za primenu nuklearne energije - INEP, gamaspektrometrijski su određene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u hiljadama uzoraka gljiva sakupljenim na teritoriji Srbije. Dobijeni rezultati statistički su obrađeni i predstavljeni u ovom radu. Poznato je da su gljive dobri bioindikatori zagađenja radioaktivnim supstancijama. Step en usvajanja radiocezijuma zavisi od vrste gljive, ali i od metode njihove obrade (sušenje, mariniranje, salamurenje). Najviša koncentracija aktivnosti ^{137}Cs izmerena je u uzorku smrčka 1986. godine i iznosila je 2390 Bqkg^{-1} , dok su u toku 2015. godine izmerene koncentracije bile manje od $0,1 \text{ Bqkg}^{-1}$. Tokom godina, koncentracije aktivnosti su očekivano opadale, ali se dešavalo da dođe i do izuzetka od ovog trenda, pa je u uzorku suvog vrganja sakupljenog 2002. godine izmerena vrednost od 1004 Bqkg^{-1} .

1. UVOD

Radiocezijum, ^{137}Cs nastaje u reakciji nuklearne fisije ^{235}U i ^{239}Pu , fisioni prinos iznosi 6,2%, a vreme poluraspada iznosi 30,2 godine, što za posledicu ima da je jedan od najzastupljenijih fisionih produkata u prirodi. Nakon akcidenta u Černobilju u nuklearnoj elektrani "Lenjin", oslobođeni radioaktivni materijal u atmosferi bio je zahvaćen procesima precipitacije, a zatim oslobođen, putem radioaktivnih padavina i vlažne depozicije do različitih prostora Evrope [1-3]. U prvoj godini nakon akcidenta visoka koncentracija aktivnosti u poljoprivrednim kulturama bila je posledica direktne depozicije. Nakon godinu dana, kad je usvajanje radionuklida putem korenovog sistema postalo dominantan proces transfera, njihova koncentracija u poljoprivrednim kulturama je bila niska. U godinama nakon černobiljskog akcidenta više koncentracije aktivnosti radionuklida detektovane su u produktima prirodnih i poluprirodnih ekosistema (meso divljih životinja, gljive i bobičasto voće). Za razliku od poljoprivrednih ekosistema, kod kojih se zemljište obrađuje i đubri, zemljište prirodnih ekosistema pokazuje više ili manje jasnu podelu na gornji, uglavnom organski horizont, i donji mineralni horizont, koji se međusobno razlikuju u pH vrednosti, vlazi i biološkoj aktivnosti [4].

U zemljišnim ekosistemima, drveće najefikasnije usvaja radionuklide. Zemljište je osnovni rezervoar radionuklida emitovanih u nuklearnim akcidentima i u njemu se radionuklidi mogu detektovati i godinama nakon akcidenta [5]. Pokretljivost svakog radionuklida i njegov transfer u lancu ishrane značajno zavisi od njegove interakcije sa komponentama zemljišta. Pokretljivost radiocezijuma može biti veoma visoka

непосредно после депозиције, што зависи од метеоролошких услова, структуре земљишта, хемијског облика и сорпционе кинетике радionуکلida. Радionуклidи у билјке могу доспети директно (усвајање из ваздуха од стране надземних делова билјке) и/или индиректно (усвајање из подлоге преко кореновог система). Степен усвајања фisionих продуката и плутонијума из земљишта од стране билјака прати следећи редослед: $^{89,90}\text{Sr} > ^{131}\text{I} > ^{140}\text{Ba} > ^{137}\text{Cs}$, $^{106}\text{Ru} > ^{144}\text{Ce}$, ^{91}Y , ^{147}Pm , $^{95}\text{Zr-Nb} > ^{239}\text{Pu}$ [6]. Услед разлика у усвајању, различита је и дистрибуција апсорбованих радionуکلida у различитим деловима билјке, што је значајно прilikом конзумирања различитих делова билјака у ishrани. Контаминација становништва цеzijумом-137 путем ingestije после једнократног уношења наступа већ након 10 минута, што се може детектовати анализом крви, док се након 4 дана у мускулатури може детектовати 52% укупне унете активности [7]. Биолошко време полураспада ($T_{b1/2}$) ^{137}Cs за човека износи 50-160 дана [8]. Познато је да је ^{137}Cs analog калијума, и управо овај релативно широк опсег $T_{b1/2}$ указује да његова елиминација из организма зависи од садржаја калијума у организму, пола, старосне доби, мишићне масе, али и других параметара.

Прве студије које су показале висок степен усвајања радиоцеzijума од стране гљива датирају још из шездесетих година прошлог века [9]. Главни разлози хранивост гљива огледају се у високом садржају протеина, око 75%, и ниској калоријској вредности. За разлику од осталих билјних намирница гљиве садрже све есенцијалне аминокиселине, док у односу на намирнице животињског порекла садрже минималне количине липида. Концентрације активности радionуکلida цеzijума у гљивама више су у односу на њихову концентрацију у осталим намирницама [10]. Већина гљива има висок афинитет према ^{137}Cs , који бива апсорбован micelijумом и депонован у телу гљиве [11]. У периоду 1963-1970. године у истраживању спроведеном на територији Немачке, у гљивама су одређене концентрације активности ^{137}Cs пореклом из падавина до којих је дошло након тестирања нуклеарног оруђја, при чему је максимална вредност ^{137}Cs у *Boletus badius* износила 1133 Bq kg^{-1} (свеже масе) [12]. Haselwandter (1978.) је анализом акумулације ^{137}Cs код 12 врста гљива, сакупљених на простору Аустрије, установио да концентрације активности варирају зависно од врсте и од супстрата на коме расту [13]. Кина је у току октобра 1980. године извршила тестирање нуклеарног оруђја, након којих је на територији Аустрије у гљивама одређена концентрација активности ^{137}Cs од 21296 Bq kg^{-1} (суве масе) [14]. После акцидента у Чернобилу објављени су многи подаци о концентрацијama ^{134}Cs и ^{137}Cs у гљивама [15, 16]. Подаци показују да су гљиве усвојиле велику количину цеzijумових изотопа из радиоактивних падавина. Активност радиоцеzijума у гљивама износила је и до $2 \times 10^5 \text{ Bq kg}^{-1}$ (суве масе) [17]. Резултати су показали да гљиве, као и животиње које се њима хране, могу да послуже као осетљиви индикатори контаминације радиоцеzijумом у животној средини.

На основу мониторинга животне средине коришћењем гљива, као биоиндикаторских врста може се проценити радијационо оптерећење становништва одређеног простора. У Centralној и Istočnoј Европи традиционално се сакупљају шумски плодови, који се користе у ishrани локалног становништва, а у последњој деценији ова делатност има и важан економски аспект. На основу регулативе Републике Србије, концентрације активности у гљивама које се стављају у промет могу бити до 150 Bq kg^{-1} (свеже масе), 600 Bq kg^{-1} (суве масе) и 1250 Bq kg^{-1} (после нуклеарног акцидента или у случају другог ванредног радиолошког догађаја) [18]. Од значаја је одредити дозу зрачења коју прими становништво конзумирањем контаминиране хране, у овом случају гљива. Конзумирање око 13 kg гљива, максималне концентрације активности ^{137}Cs (600 Bq kg^{-1}), произвеће ефективну дозу од 0,1 mSv. Према препорукама ICRPa и према нашој законској регулативи,

granica godišnje efektivne doze za stanovništvo iznosi 1 mSv [19]. U određenim grupama potrošača, postoji mogućnost da se ova granica nadmaši, te je stoga potrebno informisati potrošače o potencijalnom riziku.

Šumski ekosistemi su staništa velikog broja vrsta lekovitog i aromatičnog bilja, šumskih plodova i gljiva, a među lokalnim stanovništvom postoji duga tradicija korišćenja ovih prirodnih resursa. Na osnovu Zakona o zaštiti prirode Republike Srbije [20] i Zakona o genetički modifikovanim organizmima [21], kao i obaveza preuzetih na osnovu Konvencije o biodiverzitetu [22] i Kartagena protokola o biološkoj sigurnosti [23], regulisano je sakupljanje resursa iz prirode Uredbom o stavljanju pod kontrolu korišćenja i prometa divlje flore i faune [24]. Ovom Uredbom obuhvaćeno je 78 biljnih vrsta, 3 vrste lišajeva, 15 vrsta gljiva i 9 životinjskih vrsta. U tabeli 1 predstavljene su vrste gljiva koje se mogu sakupljati na teritoriji Republike Srbije i stavlјati u dalji promet. Među navedenim vrstama najviše se sakuplja lisičarka (*Cantharellus cibarius*) i vrganj (*Boletus edulis*).

Tabela 1. Lista zaštićenih vrsta gljiva u skladu sa Uredbom o stavljanju pod kontrolu korišćenja i prometa divlje flore i faune

Red. br.	Latinski naziv	Autor	Narodni naziv
1.	<i>Boletus aereus</i>	<i>Bull. Fr.</i>	Crni vrganj
2.	<i>Boletus reticulatus</i>	<i>(Paulet) Fr.</i>	Raspucani vrganj
3.	<i>Boletus edulis</i>	<i>Bull. Fr.</i>	Letnji, pravi vrganj
4.	<i>Boletus pinophilus</i>	<i>Pilat and Dermerk</i>	Borov vrganj
5.	<i>Cantharellus cibarius</i>	<i>L. Fr.</i>	Lisičarka
6.	<i>Craterellus cornucopioides</i>	<i>Pers.</i>	Mrka truba
7.	<i>Lactarius deliciosus</i>	<i>(L.) S.F.Gray.</i>	Rujnica
8.	<i>Lactarius deterrimus</i>	<i>Groger</i>	Smrekina rujnica
9.	<i>Lactarius salmonicolor</i>	<i>Heim and Lecl.</i>	Jelova rujnica
10.	<i>Lactarius sanguifluus</i>	<i>(Paul.) Fr.</i>	Krvna mlečnica
11.	<i>Lactarius semisanguifluus</i>	<i>Heim and Lecl.</i>	Polukrvna mlečnica
12.	<i>Marasmius oreades</i>	<i>(Bolt. Fr.) Fr.</i>	Supača, Vilin klinčić
13.	<i>Tuber magnatum</i>	<i>Pico</i>	Beli tartuf
14.	<i>Tuber aestivum</i>	<i>Vittad.</i>	Crni letnji tartuf
15.	<i>Tuber macrosporum</i>	<i>Vittad.</i>	Crni zimski tartuf

Cilj ovog rada je: i) analiza koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima gljiva sakupljenih na teritoriji Srbije od černobiljskog akcidenta do današnjih dana; ii) procena efektivne doze zračenja na stanovništvo usled ingestije gljiva.

2. MATERIJAL I METODE

Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima gljiva sa teritorije Srbije određene su metodom gamaspektrometrije. U periodu do 2002. godine za analizu je korišćen NaI detektor ORTEC-CANBERRA efikasnosti 8,7% i rezolucije 7% za ^{137}Cs na 661,6 keV. Od 2002. godine korišćen je HPGe ORTEC-AMETEK detektor relativne efikasnosti od 34% i rezolucije 0,2% za ^{60}Co na 1330 keV. Pre merenja uzorci gljiva su očišćeni (od zaostale zemlje, trave). Dalje su uzorci usitnjeni, upakovani u Marinelli posude zapremine 1 dm³, odvagani i analizirani gamaspektrometrijski prema standardnoj metodi

[25]. Kalibracija detektora za Marinelli geometriju zapremine 1 dm^3 , izvršena je pomoću kalibracionog standarda u istoj geometriji, koji sadrži smešu radionuklida. Vreme merenja uzorka iznosilo je 3600 s, a relativna greška do 10%. Analiza spektra izvršena je korišćenjem softverskih programa koji su isporučeni zajedno sa gamaspektrometrijskim uređajem. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs određivana je na osnovu gama linije na energiji od 661,6 keV.

Efektivna doza zračenja (H_{ing} (Sv)) za stanovništvo proizvedena ingestijom gljiva procenjena je na osnovu koncentracija aktivnosti ^{137}Cs ($A_{^{137}\text{Cs}}$ (Bq kg^{-1} sveže mase)), koeficijenta konverzije doze (DC (Sv Bq^{-1})) i količine konzumiranih gljiva u toku godine (e (kg)), korišćenjem jednačine [13]:

$$H_{ing} = A_{^{137}\text{Cs}} \times DC \times e$$

Koeficijent konverzije doze zračenja obuhvata proračune koji sadrže aspekte humane fiziologije, radijacione fizike, vremenske i prostorne depozicije absorbovane energije, nastale usled konzumiranja kontaminiranih namirnica radionuklidima i za ^{137}Cs iznosi $1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$ [26].

Kolektivna doza je veličina izvedena iz efektivne doze, predstavlja ukupnu dozu kojoj je izložena populacija (jedinica je *manSv*) i u ovom radu biće procenjena na osnovu ukupne količine sakupljenih gljiva na godišnjem nivou. Kao posledica delovanja jonizujućih zračenja na opšte zdravlje stanovništva mogu se ispoljiti kancer i genetski efekti, koji se pripisuju biološkom fenomenu oštećenja na molekulskom lancu dezoksiribonukleinske kiseline (DNK) koji se ogleda u prekidu njegovih baza. Na osnovu modela zavisnosti efekat - doza zračenja, isti broj prekida na DNK, na primer 100 u telu pojedinca ili po jedan prekid u slučaju 100 pojedinaca, ima jednaku verovatnoću za pojavu štetnih posledica. Upravo ovakav stav je osnova koncepta kolektivne doze.

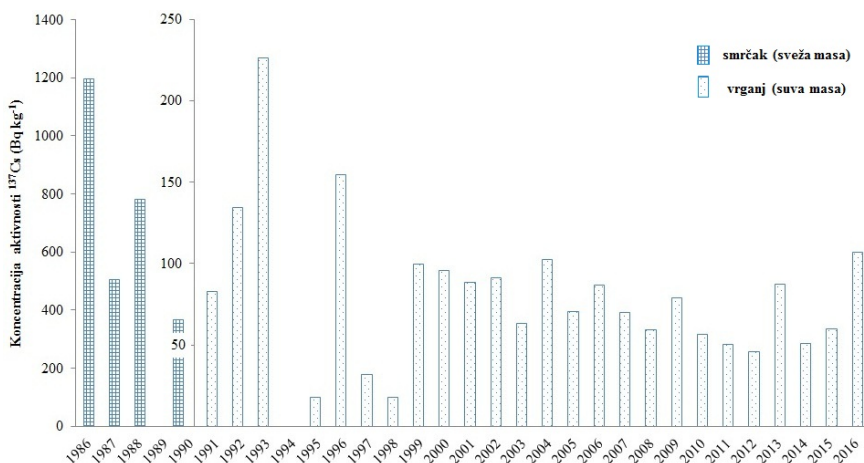
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u gljivama

Srednje godišnje vrednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u gljivama u periodu 1986-2016. godine prikazane su na slici 1. U godini černobiljskog akcidenta 1986. u uzorcima smrčka srednja vrednost koncentracija aktivnosti (sveže mase) iznosila je 1200 Bq kg^{-1} , dok je maksimalna izmerena vrednost iznosila 2390 Bq kg^{-1} [27]. U godinama 1989. i 1994. u laboratoriji INEP-a nisu analizirani uzorci gljiva.

Sušenje je najstariji i najjednostavniji način za konzervaciju gljiva, pri čemu se iz gljiva odstranjuje voda koja čini i do 95% ukupne mase. Usled postupka sušenja gljiva dolazi do povećanja koncentracija aktivnosti. Odnos suve mase prema svežoj iznosi 0,08 [28].

Na slici 1 predstavljene su srednje vrednosti koncentracija aktivnosti (suve mase) ^{137}Cs u uzorcima vrganja za period 1991-2016. godina. Najviša srednja vrednost zabeležena je 1993. godine i iznosila je 227 Bq kg^{-1} . U periodu 2000-2015. godišnje maksimalne vrednosti koncentracija aktivnosti (suve mase Bq kg^{-1}) ^{137}Cs u uzorcima vrganja iznosile su: 318; 298; 1004; 188; 877; 265; 274; 245; 127; 506; 240; 165; 93; 383; 124; 145, redom; a u uzorcima lisičarke iznosile su: 204; 489; 98; 198; 166; 315; 102; 167; 459; 130; 97; 57; 131; 76; 122; 190; 140.



Slika 1. Godišnje srednje vrednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima gljiva za period 1986-2016. (smrčak (sveža masa) (1986-1990) i vrganj (suva masa) (1991-2016))

U tabeli 2 predstavljene su srednje vrednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima gljiva Evrope. U periodu 2004-2011. godine srednja vrednost koncentracija aktivnosti (suva masa) za *Boletus edulis* u ovom radu iznosi 72 Bq kg^{-1} , dok je za isti period za uzorke sakupljene na teritoriji Češke Republike srednja vrednost 606 Bq kg^{-1} [29]. Na proces usvajanja ^{137}Cs od strane gljiva utiču brojni faktori, kao što su: nivo aktivnosti ^{137}Cs u podlozi, vrsta podloge na kojoj gljive rastu, pH vrednost zemljišta, nadmorska visina staništa, dubina zemljišta, vrsta gljive.

Duff i Ramsey (2008) su u preglednom radu publikovanih rezultata o usvajanju ^{137}Cs u gljivama u prirodi u poslednjih 50 godina, objavili da rod *Boletus* pokazuje visoki afinitet za radiocezijum, koncentracije aktivnosti ^{137}Cs variraju od 13 do $>100,000 \text{ Bq kg}^{-1}$, dok gljive roda *Cantharellus* akumuliraju umerene nivoe radiocezijuma, u opsegu 1000 i 28000 Bq kg^{-1} [32]. U uzorcima gljiva *L. scabrum*, *L. versipelle*, *R. paludosa* i *R. decolorans* sakupljenih u Nacionalnom parku Øvre Dividal, Norveška, koji se nalazi na nadmorskoj visini u rasponu od 300 - 1600 m , 2010. godine izmerene su koncentracije aktivnosti (suve mase) (Bq kg^{-1}) ^{137}Cs : 218, 376, 181 i 167, redom [33]. U toku 2000-2001. godine sa teritorije Nacionalnog parka Tara i Kopaonik, Srbija, sakupljeni su uzorci gljiva, srednja vrednost koncentracije aktivnosti (Bq kg^{-1} sveže mase) ^{137}Cs bile su u uzorcima *Boletus edulis* na lokalitetu Mitrovac (1082 m) 346 Bq kg^{-1} , Markove stene (1720 m) 257 Bq kg^{-1} , u uzorcima *Cantharellus cibarius* na lokalitetu Rezervat bilo (1000 m) 204 Bq kg^{-1} , na lokalitetu Gobelja (1800 m) 315 Bq kg^{-1} [34]. Na teritoriji Finske u periodu 2000-2005. godine sakupljeno je i analizirano 600 uzoraka gljiva (20 različitih vrsta), koncentracije aktivnosti dostizale su vrednost do 9000 Bq kg^{-1} . Niske vrednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs određene su u *Leccinum spp.*, *Gyromitra sp.*, *Scutigera ovinus*, srednje vrednosti u *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius* i *Russula sp.*, i visoke vrednosti u *Craterellus tubaeformis*, *Craterellus cornucopioides*, *Lactarius sp.*, *Hydnum sp.*, *Suillus variegatus* i *Rozites caperatus* [35]. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u periodu 2011-2012. godine na teritoriji regiona Murmansk, Rusija, u gljivama familija *Boletaceae* i *Cortinariaceae* iznosila je $12,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ [36]. Fujii i saradnici (2014) su u periodu 2005-2007. i 2010. godine analizirali sadržaj ^{137}Cs u gljivama (73 uzorka,

klasifikovanih u 14 familija i 49 vrsta), sakupljenih u šumama Noto Peninsula u Japanu. Oni su identifikovali širok opseg koncentracije aktivnosti (suve mase) (Bq kg^{-1}) ^{137}Cs od 1,4 do 4100 u gljivama koje rastu na zemljištu. Sa druge strane značajno niži opsezi od 1,9 do 20 koncentracija aktivnosti (suve mase) (Bq kg^{-1}) ^{137}Cs određen je u gljivama čiji je supstrat kora drveća [37]. Nakon akcidenta u Fukušimi, 154 uzorka gljiva (22 različite vrste) sakupljeni su 2013. godine u selu Kawauchi udaljenom oko 30 km od Fukušime. Interesantno je da u 12,3% uzoraka radiocezijum nije detektovan, u 44,8% koncentracija aktivnosti radiocezijuma iznosila je do 1000 Bq kg^{-1} i u 36,4% aktivnost je prevazilazila vrednost od 1000 Bq kg^{-1} . Maksimalne koncentracije aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs određene su u vrsti *Cortinarius salor Fr.* vrednosti 5433 Bq kg^{-1} i 11616 Bq kg^{-1} , redom [38].

3.2. Efektivna doza zračenja na stanovništvo usled ingestije gljiva

Korišćenje gljiva u ishrani prisutno je u svetu i godišnji prosek potrošnje po stanovniku je od zanemarljivih količina do više od 50 kg godišnje [33, 39]. U Srbiji se na godišnjem nivou izdaju dozvole za sakupljanje gljiva, kojima je određena maksimalna količina koja se može sakupiti. Iz godine u godinu granica se pomera naviše, tako je 2000. godine propisana maksimalna količina koja se može sakupiti za *Boletus edulis* iznosila 1723 t, a 2016. iznosi 6000 t, za *Cantharellus cibarius* 2000. godine granica je iznosila 807 t, a 2016. granica iznosi 2500 t. Na osnovu podataka Zavoda za zaštitu prirode u toku 2012. godine na teritoriji Srbije sakupljeno je 1328 t gljive *Boletus edulis* i 584 t gljive *Cantharellus cibarius*.

Tabela 2. Srednje vrednosti koncentracije aktivnosti (suve mase) (Bq kg^{-1}) ^{137}Cs u uzorcima gljiva u zemljama Evrope

Zemlja	Godina uzorkovanja	Vrsta	Koncentracija aktivnosti
Turska [28]	2004-2005	<i>Boletus edulis</i>	29
		<i>Craterellus cornucopioides</i>	43
		<i>Cantharellus cibarius</i>	33
Češka [29]	2004-2011	<i>Boletus edulis</i>	606
Hrvatska [30]	1999-2002	<i>Lactarius sp.</i>	127,5
		<i>Boletus sp.</i>	22,0
		<i>Craterellus cornucopioides</i>	7,6
Poljska [31]	1990	<i>Cantharellus cibarius</i>	1570
		<i>Boletus edulis</i>	1084

Sa ciljem procene doze zračenja na stanovništvo nastale kao posledica konzumiranja gljiva koje sadrže ^{137}Cs izračunata je integralna efektivna doza zračenja za petogodišnji period i rezultati su predstavljeni u tabeli 3. Pri ovoj proceni uzete su u obzir srednje izmerene vrednosti koncentracija aktivnosti (sveže mase Bq kg^{-1}) ^{137}Cs u gljivama u periodu 1986-2015.

Godišnje se na teritoriji Republike Srbije sakupi u proseku 3000 t gljiva. Za ovu količinu gljiva procenjena kolektivna efektivna doza zračenja iznosi 0,23 manSv. Sredinom devedesetih godina prošlog veka u ruralnoj oblasti Rusije na 200 km udaljenosti od Černobilja procenjena efektivna doza nastala konzumiranjem gljiva iznosila je 0,221 mSv [40]. Škrkal i sar. (2013) su procenili da efektivna doza nastala ingestijom pečuraka u Češkoj Republici iznosi od 0,006 do 6 μSv [23]. Na osnovu analize koncentracije

aktivnosti ^{137}Cs u 27 vrsta gljiva na teritoriji Velike Britanije i 233 ispitanika o navikama i količini konzumiranja gljiva u ishrani, procenjena srednja vrednost efektivne doze zračenja iznosila je $0,015\mu\text{Sv}$, dok je maksimalna procenjena vrednost iznosila $0,095\mu\text{Sv}$ [41]. U ovom radu prosečna godišnja efektivna doza nastala usled ingestije gljiva koje sadrže ^{137}Cs procenjena je na $0,15\mu\text{Sv}$, za stanovništvo Srbije u periodu 2000 - 2015. godine. Poređenja radi, u godini nuklearnog akcidenta 1986. u Černobilju procenjeno interno ozračivanje stanovništva Srbije putem ingestije iznosilo je u opsegu $0,02 - 1,11\text{ mSv}$, sa srednjom vrednošću od $0,17\text{ mSv}$ [42]. Integralna koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u 1986. godine za povrće (izuzev krtolastog povrća) iznosila je $2365\text{ Bq dan kg}^{-1}$, pri čemu je dnevni unos procenjen na $0,15\text{ dan kg}^{-1}$, uz dozni koeficijent za ingestiju od $1,4 \times 10^{-8}\text{ Sv Bq}^{-1}$ [42]. Na osnovu navedenih podataka za period od šest meseci procenjena integralna efektivna doza zračenja stanovništva nastala ingestijom povrća kontaminiranog ^{137}Cs iznosi $0,89\text{ mSv}$, odnosno dnevna efektivna doza od $5\mu\text{Sv}$.

Tabela 3. Procenjena integralna efektivna doza stanovništva za period od pet godina nastala ingestijom pečuraka koje sadrže ^{137}Cs

Period (godina)	Vrsta gljive	Srednja vrednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs (Bq kg^{-1} sveže mase)	Integralna efektivna doza zračenja (μSv)
1986-1990	<i>Morchella conica</i>	716	93
1991-1995	<i>Boletus edulis</i>	9,3	1,21
1996-2000	<i>Boletus edulis</i>	6,4	0,84
2001-2005	<i>Boletus edulis</i>	6,7	0,87
2006-2010	<i>Boletus edulis</i>	5,6	0,74
2011-2015	<i>Boletus edulis</i>	5,4	0,62

4. ZAKLJUČAK

Gljive kao bioindikatorska vrsta nezaobilazni su predmet radioekoloških istraživanja. Prikazani rezultati pokazuju da vrste koje se najviše sakupljaju na teritoriji Republike Srbije, *Boletus edulis* i *Cantharellus cibarius* akumuliraju ^{137}Cs iz podloge. U analiziranim uzorcima srednja godišnja vrednost od devedesetih godina pa do današnjih dana ne prevazilazi srednju vrednost koncentracije aktivnosti veću od 10 Bq kg^{-1} (sveže mase). Izuzetak su gljive *Boletus edulis* i *Cantharellus cibarius* sakupljene 2000-2001. godine u Nacionalnim parkovima Tara i Kopaonik, čija je srednja vrednost koncentracije aktivnosti ^{137}Cs iznosila 270 i 210 Bq kg^{-1} (sveže mase), redom. Prilikom procene radijacionog opterećenja stanovništva potrebno je uzeti u razmatranje gljive, posebno kod stanovništva visokoplaninskih prostora kod kojeg ova vrsta namirnica ima značajni udeo u ishrani. Procenjena prosečna godišnja efektivna doza od ^{137}Cs nastala usled ingestije gljiva, sakupljenih na teritoriji Republike Srbije iznosi $0,15\mu\text{Sv}$.

Napomena

Autori se zahvaljuju kolegama koji su doprineli razvoju laboratorije za Radioekologiju INEP-a dr Slobodanki Stanković i dr Miodragu Krainčaniću. Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (III43009).

5. LITERATURA

- [1] P. Müller. Caesium-137 in Rehwild der Bundesrepublik Deutschland. *Der Saarljäger*, 3 (1986) 3-6.
- [2] Ch. Persson, H. Rohde and L.E. De Geer. The Chernobyl accident – A meteorological analysis of how radionuclides reached and were deposited in Sweden. *Ambio*, 16 (1987) 20-31.
- [3] P.H. Gudiksen, T.F. Harvey and R. Lange. Chernobyl source term, atmospheric dispersion and dose estimation. *Health Phys.* 57 (1989) 697-706.
- [4] M.J. Frissel, H. Noordijk, K.E. van Bergejik. The impact of extreme environmental conditions, as occurring in natural ecosystems, on the soil-to-plant transfer of radionuclides. In: Desmet G et al. (eds.): Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments. Elsevier, London and New York, 1990.
- [5] J. Petrović, M. Čujić, M. Đorđević, R. Dragović, B.Gajić, Š. Miljanić, S. Dragović. Spatial distribution and vertical migration of ¹³⁷Cs in soils of Belgrade (Serbia) 25 years after the Chernobyl accident. *Environ. Sci. Process. Imp.* 15 (2013) 1279-1289.
- [6] H. Nishita, E.M. Romney and K.H. Larson. Uptake of radioactive fission products by plants In Radioactive Fallout, Soil, Plants, Foods, Man, ed. E. B. Fowler. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1965.
- [7] G. Đurić and D. Popović. Ionizujuća zračenja-merenje i zaštita. Društvo za mernu tehniku Srbije, Beograd, 1987, str. 113-131.
- [8] M. Uchiyama. Estimation of ¹³⁷Cs Body Burden in Japanese II. The Biological half-life. *J. Radiat. Res.* 19 (1978) 246-261.
- [9] H. Grüter. Eine selektive Anreicherung des Spaltprodukts ¹³⁷Cs in Pilzen. *Naturwissenschaften*, 51(1964) 161-162.
- [10] M. Hoshi, M. Yamamoto, H. Kawamura, K. Shinohara, Y. Shibata, M. T. Kozlenko, et al. Fallout radioactivity in soil and food samples in the Ukraine: Measurements of iodine, plutonium, cesium, and strontium isotopes. *Health Phys.* 67 (1994) 187-191.
- [11] L. Kammerer, L. Hiersche and E. Wirth. Uptake of radiocaesium by different species of mushrooms. *J. Environ. Radioact.* 23 (1994) 135-150.
- [12] H. Grueter. Radioactive fission product ¹³⁷Cs in mushrooms in W. Germany during 1963-1970. *Health Phys.* 20 (1971) 655-656.
- [13] K. Haselwandter. Accumulation of the radioactive nuclide ¹³⁷Cs in fruitbodies of basidiomycetes. *Health Phys.* 34 (1978) 713-715.
- [14] P. Eckl, W. Hofmann and R. Turk. Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms. *Radiation and Environmental Biophysics* 25 (1986) 43-54.
- [15] D. K. Teherani. Accumulation of ¹⁰³Ru, ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs in fruitbodies of various mushrooms from Austria after Chernobyl. *J Radioanal. Nucl. Chem.* 117 (1987) 69-74.
- [16] D. K. Teherani. Determination of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs radioisotopes in various mushrooms from Austria one year after the Chernobyl incident. *J Radioanal. Nucl. Chem.* 126 (1988) 401-406.
- [17] Z. Randa. Radiocaesium tracer obtained from mushrooms. *J Radioanal. Nucl. Chem.* 126 (1988) 345-349.
- [18] Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet. Službeni glasnik RS br. 86/2011.
- [19] ICRP (International Commission on Radiation Protection). Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. (2012).
- [20] Zakon o zaštiti prirode Republike Srbije, Službeni glasnik RS br.: 36/09 i 88/2010.
- [21] Zakon o genetički modificiranim organizmima, Službeni glasnik RS br. 41/2009.
- [22] Convention on Biological Diversity. United Nations 1992.
- [23] The Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity, ISBN: 92-807-1924-6, Montreal 2000.
- [24] Uredba o stavljanju pod kontrolu korišćenja i prometa divlje flore i faune, Službeni glasnik RS br.: 31/2005, 45/2005, 22/2007, 38/2008 i 09/2010.
- [25] IAEA (International Atomic Energy Agency). Measurement of Radionuclides in Food and the Environment; Technical Report Series No. 295. Vienna, 1989.

- [26] IAEA (International Atomic Energy Agency). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. Vienna, 1996.
- [27] S. Stanković, M. Krainčanić, A. Stanković, Komparativno ispitivanje nivoa kontaminacije radiocezijuma 137 i 134 nekih bioindikatora, XVII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Savremeni problemi u zaštiti od zračenja, Beograd-Vinča, Zbornik radova - Proceedings, 1993, 65-67.
- [28] Ş. Turhan, A. Köse and A. Varinlioğlu. Radioactivity levels in some wild edible mushroom species in Turkey. *Isot. Environ. Health S.* 43 (2007) 249-256.
- [29] J. Škrkal, P. Rulík, K. Fantínová, J. Burianová and J. Helebrant. Long-term ¹³⁷Cs activity monitoring of mushrooms in forest ecosystems of the Czech Republic. *Rad. Protect. Dosimetry* 157 (2013) 579-584.
- [30] M. Vilic, D. Barišić, P. Kraljević and S. Lulić. ¹³⁷Cs concentration in meat of wild boars (*Sus scrofa*) in Croatia a decade and half after the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 81 (2005) 55-62.
- [31] J.W. Mietelski, M. Jasifiska, B. Kubica, K. Kozak and P. Macharski. Radioactive contamination of Polish mushrooms. *Sci. Tot. Environ.* 157 (1994) 217-226.
- [32] M.C. Duff and M. L. Ramsey. Accumulation of radiocesium by mushrooms in the environment: a literature review. *J. Environ. Radioact.* 99 (2008) 912-932.
- [33] J.P. Gwynn, A. Nalbandyan and G. Rudolfson. ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs in edible wild berries and mushrooms and ingestion doses to man from high consumption rates of these wild foods. *J. Environ. Radioact.* 116 (2013) 34-41.
- [34] S. Dragović. Specifičnosti lokalizacije i distribucije ¹³⁷Cs u mahovinama, magistarska teza. Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, 2002.
- [35] E. Kostiainen. ¹³⁷Cs in Finnish wild berries, mushrooms and game meat in 2000-2005. *Boreal. Environ. Res.* 12 (2007) 23-28.
- [36] G. G. Matishov, N. E. Kasatkina, I. S. Usyagina and D. A. Farion, Artificial radionuclides in edible wild mushrooms and berries of the murmansk region, *Doklady. Earth Sci.* 455 (2014) 463-468.
- [37] A. Fujii, T. Koura, T. Yoshimoto, T. Kawabata, Y. Nakamura, K. Hamamichi, H. Kakimoto, Y. Yamada, M. Yoshioka, M. Yamamoto and K. Hayakawa. Concentrations of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in wild mushrooms collected in a forest on Noto Peninsula, Japan. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 300 (2014) 707-717.
- [38] K. Nakashima, M. Orita, N. Fukuda, Y. Taira, N. Hayashida, N. Matsuda nad N. Takamura. Radiocesium concentrations in wild mushrooms collected in Kawauchi Village after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Peer J* (2015) 3:e1427. DOI 10.7717/peerj.1427.
- [39] F.J. Guillén and A. Baeza. Radioactivity in mushrooms: A health hazard? *Food Chem.* 154 (2014) 14-25.
- [40] L. Skuterud, I.G. Travnikova, M.I. Balonov, P. Strand and B.J. Howard. Contribution of fungi to radiocaesium intake by rural populations in Russia. *Sci. Tot. Environ.* 193 (1997) 237-242.
- [41] C.L. Barnett, N.A. Beresford, P.L. Self, B.J. Howard, J.C. Frankland, M.J. Fulker, B.A. Dodd and J.V.R. Marriott. Radiocaesium activity concentrations in the fruit-bodies of macrofungi in Great Britain and an assessment of dietary intake habits. *Sci. Tot. Environ.* 231 (1999) 67-83.
- [42] Nivoi radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i ozračenost stanovništva Jugoslavije 1986. godine usled havarije nuklearne elektrane u Černobilju. Savezni komitet za rad, zdravlje i socijalnu zaštitu, Beograd, 1987.

ANALYSIS OF THE ACTIVITY CONCENTRATIONS OF ^{137}Cs IN MUSHROOMS FROM THE TERRITORY OF SERBIA AFTER CHERNOBYL ACCIDENT UNTIL TODAY

Mirjana ČUJIC¹, Ana ČUČULOVIĆ², Jelena PETROVIĆ¹ i Snežana DRAGOVIĆ¹

1) University of Belgrade, Institute of Nuclear Science Vinča, Belgrade, Serbia

cujicm@vinca.rs

2) University of Belgrade, Institute for the Application of Nuclear Energy, Belgrade, Serbia,

Thousands of samples of wild mushrooms from the territory of Serbia were analyzed to determine activity concentrations of ^{137}Cs by using gamma spectrometry in the Institute for the Application of Nuclear Energy – INEP, during the period of thirty years after the accident in nuclear power plant 'Lenin' in Chernobyl. Statistically analyzed results were presented in this work. It is known that mushrooms are good bioindicators of radioactive pollution. The level of radiocesium uptake depends on the mushrooms species, but also of their treatment (drying, marinating, pickling). The highest activity concentration was 2390 Bq kg⁻¹ for ^{137}Cs (fresh weight) in 1986 in *Morchella conica*, while activity concentrations ^{137}Cs in samples collected 2015 were less than 0.1 Bq kg⁻¹. As expected, activity concentrations of ^{137}Cs in mushrooms decreased during the years, with some exceptions from this trend (e.g. activity concentration of ^{137}Cs in *Boletus edulis* collected in 2002 was 1004 Bq kg⁻¹ (dry weight)).

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