

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

LIŠAJEVI-BIOINDIKATORI RADIOAKTIVNOG ZAGAĐENJA ŽIVOTNE SREDINE

Ana ČUČULović¹, Rodoljub ČUČULović², Saša NESTORović³
i Dragan VESELINOVIĆ⁴

1) *Univerzitet u Beogradu, INEP, Institut za primenu nuklearne
energije,*

Zemun, Srbija, anas@inep.co.rs

2) *Visoka poslovna škola strukovnih studija, Leskovac, Srbija*

3) *Nacionalni park Đerdap, Donji Milanovac, Srbija*

4) *Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, P.P.47,
Srbija*

Rezime

Tkivo lišajeva odražava elementarni sastav životne sredine, pa su oni dobri bioindikatori i biomonitori zagađenja životne sredine, jer nemaju formiran koren, list, stablo, kutikulu i stome, a vodu i mineralne materije upijaju celom površinom talusa. Nivoi aktivnosti ¹³⁷Cs u lišajevima BiH 1985. godine bili su od 397 do 696 Bq/kg. Srednji nivo aktivnosti ¹³⁷Cs u lišajevima vrste Evernia prunastri u prvoj polovini 1987. godine je bio 10161 Bq/kg, odnosno, 13610 Bq/kg u drugoj polovini iste godine, a u lišajevima vrste Cetraria islandica je u drugoj polovini 1987. godine bio 10392 Bq/kg. U periodu 1986-2015. godina, nivoi aktivnosti ¹³⁷Cs u ispitivanim uzorcima lišajeva opadaju. Srednji nivo aktivnosti ¹³⁷Cs u lišajevima vrste Hypogimnia physodes sakupljenim 2010. godine u NP Đerdap bio je 150 Bq/kg, a 2015. godine 128 Bq/kg. Nivoi aktivnosti ¹³⁷Cs su u nivoima pre akcidenta u Černobilju (1986. god), tj. novih zagađenja ovim izotopom nije bilo.

1. UVOD

U periodima od 1954-1958, 1961-1962. i 1972-1982. godine Sjedinjene Američke Države, Sovjetski Savez i Velika Britanija vršile su intenzivne probe nuklearnog oružja i time doprinele oslobađanju velike količine različitih radionuklida u životnu sredinu. Istraživanja su pokazala da je u periodu od 1945. do 1975. godine izvršeno oko 800 nuklearnih proba i zbog toga su SAD, SSSR i Velika Britanija potpisale 1963. godine, u Moskvi, dogovor o delimičnoj zabrani nuklearnih proba u atmosferi, u okeanima i u vasionom prostoru [1,2].

Zbog zadovoljavanja energetske potrebe čovečanstva izgrađene su nuklearne elektrane, koje bi, pri normalnom radu, vrlo malo doprinosile izloženosti stanovništva radijaciji. Do 1956. godine, SAD i SSSR su imale svoje reaktore zanemarljivo male snage (svega 2,4 MW i 5,0 MW), kada je u rad puštena prva nuklearna elektrana (Kolder Hol, Velika Britanija) snage 50 megavata.

Zbog ljudskog nemara, u periodu od 1945. do 1987. godine, desilo se 28 akcidenata u kojima je došlo do 272 izlaganja ljudi prekomernim dozama zračenja i 35 smrtnih slučajeva. Od 27 akcidenata, pre akcidenta u Černobilju,

samo je u tri slučaja došlo do značajnih ispuštanja radioaktivnih izotopa u okolinu: Kištini - SSSR (29.9.1957), Vindskejl - V. Britanija (8.10.1957), Ostrvo Tri Milje - SAD (28.3.1979). Akcidentom u Kištini (južni Ural) otpušteno je 49×10^{15} Bq ^{144}Ce ; 19×10^{15} Bq ^{95}Zr i ^{95}Nb ; $4,0 \times 10^{15}$ Bq ^{90}Sr ; $2,7 \times 10^{15}$ Bq ^{106}Ru i $0,027 \times 10^{15}$ Bq ^{137}Cs . Smatra se da je u atmosferu ispušteno oko 740×10^{15} Bq radionuklida. Prilikom akcidenta u Vindskejlu zagađena je teritorija Velike Britanije i Evrope. Tom prilikom je ispušteno $0,74 \times 10^{15}$ Bq ^{131}I ; $0,022 \times 10^{15}$ Bq ^{137}Cs ; $0,003 \times 10^{15}$ Bq ^{133}Xe i $0,0088 \times 10^{15}$ Bq ^{210}Pb . Akcidentom u nuklearnoj elektrani na ostrvu Tri Milje (SAD) najviše su ispušteni plemeniti gasovi oko 370×10^{15} Bq (uglavnom ^{133}Xe) i ^{131}I $0,55 \times 10^{15}$ Bq [3-5].

Akcident koji je obeležio 20. vek je akcident u nuklearnoj elektrani Lenjin u Černobilju, tadašnjem Sovjetskom Savezu, danas Ukrajini, na tromeđi sa Belorusijom i Rusijom. Nesreća koja se dogodila 26.04.1986. godine u 01.23 časa je još jednom ukazala na ljudski faktor kao uvek mogući izvor grešaka sa katastrofalnim posledicama. Svojim nestručnim manipulacijama operatori elektrane su doveli do nedovoljnog odvođenja toplote iz jezgra reaktora. Pregrevanje gorivnih elemenata, nagla proizvodnja pare i hemijska eksplozija proizveli su udarni talas čija je snaga bila ravna nekoliko stotina kilograma eksploziva TNT. Kao rezultat akcidenta, visokoenergetski ključajući reaktor, snage 1 milion vati i u čijem ciklusu dolazi do produkcije različitih radionuklida ukupne aktivnosti do $7,4 \times 10^{19}$ Bq različitih radionuklida, bio je uništen, a posledice ovog akcidenta su se osetile na celokupnoj severnoj hemisferi i pogodile milione ljudi. U akcidentu je visoko ozračeno 237 osoba, a 32 je podleglo tokom prvih nedelja od nesreće od posledica ozračivanja. Svi visoko ozračeni bili su članovi interventnih ekipa koje su bile angažovane na hlađenju havarisanog reaktora i gašenju požara u početnoj fazi akcidenta. Interventne ekipe je sačinjavalo pogonsko i vatrogasno osoblje [6]. Sastav ispuštenog materijala iz oštećene elektrane je zavisio od faze u kojoj je bio ispušten. Raznošenje izbačenog materijala, a samim tim i zagađenje teritorija je bilo u najvećoj meri posledica meteoroloških uslova. Akcidentom su zemlje van Sovjetskog Saveza bile izložene većoj količini radiocezijuma nego sam Sovjetski Savez. Od $1,5 \times 10^{17}$ Bq ukupno emitovanog ^{134}Cs i ^{137}Cs u Sovjetskom Savezu je deponovano 45×10^{15} Bq, dok je veći deo ^{90}Sr i transuranskih elemenata zadržan u granicama SSSR-a [7]. Većina radioaktivnih izotopa deponovana je uglavnom u centralnim, severnim i jugoistočnim delovima Evrope i to na rastojanju 2000 km od Černobilja. Prema podacima UNSCEAR-a radioaktivni oblak je zahvatio teritoriju SFRJ u dva talasa. Procenjeno je da je u toku 1986. godine na teritoriju SFRJ deponovano oko 2,4% od ukupno ispuštenih radionuklida (bez inertnih gasova), odnosno oko 5% ^{131}I i oko 10% ^{137}Cs . Aktivnost u padavinama koje su usledile neposredno posle akcidenta u Černobilju, a koja je kontaminirala područje SFRJ bila je od 0,08 do 6,40 $\mu\text{Gy/L}$. Černobiljskim padavinama najviše je bio zagađen severozapadni deo Slovenije (5,11-6,40 $\mu\text{Gy/L}$), a najmanje Centralna Srbija i obala Jadranskog mora (0,08-0,44 $\mu\text{Gy/L}$) [8].

Od sedam radioaktivnih izotopa cezijuma dva su značajna za zagađenje životne sredine: ^{134}Cs ($T_{1/2} = 2,06$ godina) i ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ godina). Oba radionuklida su bila prisutna u gorivnim elementima nuklearnog reaktora iz koga su emisijom dospela u životnu sredinu. Radiocezijum najčešće do biljaka dospeva suvim ili

vlažnim padavinama. Jon cezijuma je hemijski i biohemijski homolog kalijuma i u organizmu prati njegov metabolizam, a može se usvojiti fizičkom i hemijskom sorpcijom ili jonskom izmenom. Potpuno je rastvorljiv u telesnim tečnostima i ravnomerno se raspoređuje u organizmu. Zbog ove osobine za cezijum ne postoji kritičan organ i on predstavlja organotropni radionuklid. Fizičko-hemijske karakteristike su mu takve da se aktivno uključuje u lanac ishrane ljudi i životinja preko biljaka.

Lišajevi

Informacije o prostornoj i vremenskoj podeli i trendovima zagađenja vazduha i okoline radionuklidima, posebno u uslovima nuklearne nesreće i nekontrolisane emisije fisioničkih produkata mogu se prikupiti pomoću lišajeva. Lišajevi su organizmi adaptirani za preživljavanje ekstremnih uslova. Opstaju u predelima velike vlage i suše, velikih svetlosnih i temperaturnih promena, visokih nivoa radioaktivnosti i visokih koncentracija zagađujućih supstanci. Ahmadijan je definisao lišajeve kao simbiozu dva ili tri organizma: gljive, alge i ređe azotofiksirajuće bakterije, koje zajedno obrazuju organizam sa novim morfološkim i fiziološkim osobinama [9]. Lihenolozi sve više otkrivaju nove vrste lišajeva. Broj do sada ispitanih vrsta lišajeva je različit i smatra se da postoji od 13500 do 26000 vrsta. Na osnovu literature i podataka iz lihenoloških herbara Prirodnjačkog muzeja u Beogradu, za područje Srbije i Crne Gore do 1995. godine registrovano je oko 516 vrsta lišajeva, od tog broja na području Srbije 406 vrsta, na području Crne Gore 284 vrsta, dok su zajedničke 174 vrste [10,11]. U lišajevima je otkriveno i iz njih izdvojeno oko 500 različitih jedinjenja. Lišajevi su specifični organizmi u čijem telu se obrazuju jedinjenja nepoznata kod drugih biljaka, samo njima svojstvena i nazvana lišajskim kiselinama. Jedna od kiselina je i usninska koja je našla veliku primenu u medicini, industriji parfema i kozmetičkoj industriji. Pored lišajskih kiselina, lišajevi sadrže i grade jedinjenja kao što su antioksidanti, koji su našli primenu u farmakologiji. Lišajska jedinjenja poseduju antimikrobska, antiparazitološka, antiproliferativna, antioksidativna, antiinflamatorna svojstva. Pre raspada Jugoslavija je izvozila 4900-5200 tona lišajeva godišnje i bila njihov najveći izvoznik. Lišajevi imaju veliku upotrebnu vrednost u medicini i farmaceutskoj industriji, gde su lišajska jedinjenja našla veliku primenu za lečenje različitih bolesti: leukemije, kancera, epilepsije, tuberkuloze, hepatitisa, bolesti respiratornih organa, ekcema, artritisa, bolesti bubrega, urinarnih infekcija i ginekoloških problema. Lišajevi imaju značajnu ulogu u ishrani ljudi i životinja dalekog severa, jer u svom talusu sadrže: celulozu, proteine, karbohidrate, hemicelulozu i mineralne supstance kao što su kalijum, natrijum, kalcijum i magnezijum. Talus lišajeva je često jestiv, bezukusan i sadrži gorke iritirajuće materije, ali ga ljudi iz severnih subarktičkih regiona u vreme oskudice, uz odgovarajuću pripremu, koriste kao dodatni izvor hrane. Neke vrste lišajeva: *Letharia vulpina*, *Vulpicida juniperina*, kada se konzumiraju mogu da budu i otrovne [12]. Lišajevi se smatraju hiperakumulatorima radionuklida, teških metala i pesticida iz životne sredine, što je najverovatnije posledica reaktivnog mehanizma sa organskim kiselinama stvorenim od strane lišaja. Zbog osobine lišajeva da apsorbuju ^{137}Cs iz životne sredine i da ga koncentrišu u svom telu lišajevi su nezaobilazni činioци radioekoloških ispitivanja šumskih

ekosistema, a monitoring životne sredine korišćenjem lišajeva je važan za procenu radijacionog opterećenja organizama koji na tom prostoru žive. Neposredno posle akcidenta u Černobilju počela su obimna istraživanja nivoa aktivnosti radionuklida u lišajevima mnogih zemalja, jer tkivo lišajeva odražava elementarni sastav životne sredine. Lišajevi nemaju formiran koren, list, stablo, nemaju kutikulu, ni stome, a vodu i mineralne materije upijaju celom površinom talusa i time su manje ili više nezavisni od podloge na kojoj se nalaze [13-17]. Talus lišajeva se može smatrati fizičkom površinom na koju dolaze padavine različitih materija. Talus je živo telo, koje sakuplja u sebe materije iz njegove spoljne sredine. Smatra se da je tolerantnost ka radionuklidima pasivna i da nastaje obrazovanjem različitih kompleksnih jedinjenja, kao i da su tolerancija i hiperakumulacija radionuklida u lišajevima posledica genetski nezavisnih svojstava organizma. Nivoi aktivnosti veštački proizvedenih radionuklida u lišajevima su neujednačeni i zavise od mnogo faktora: nadmorske visine, količine padavina, lokacije uzorka, vrste lišaja [18,19]. Specifičnosti lišajeva, na primer: njihova dugovečnost, fiziološka aktivnost u povoljnim uslovima i nezavisno od godišnjeg doba, neodbacivanje starih delova i akumulacija mnogih materija u talusu, čini ih izuzetno pogodnim i jeftinim bioindikatorima i biomonitorima zagađujućih supstanci.

Lišajevi mogu delovati i kao efikasni filtri tako što deponuju radionuklide iz vazduha i predstavljaju njihove prirodne rezervoare, iz kojih se oni mogu periodično osloboditi (sekundarni izvori zagađivanja), na primer, sušenjem njihovih delova, lomljenjem, rasturanjem, šumskim požarima ili zbog ekstrakcije radionuklida sa vodom od padavina (kiša, sneg) i prenosom u okolinu.

Sadržaj ^{137}Cs u lišajevima evropskih zemalja

Pošto je ispuštanje radionuklida iz oštećenog reaktora bilo neujednačeno, izmereni nivo aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima su bili različiti što je posledica kontaminacije iz radioaktivnog oblaka i njegovog kretanja. Neposredno posle akcidenta 1986. godine nivo aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima tundri u Norveškoj [20] je bio od 7600 do 20800 Bq/kg, a godinu dana kasnije i do 40040 Bq/kg. U lišajevima Finske 1986. godine izmeren je nivo aktivnosti ^{137}Cs od 1000 do 12100 Bq/kg [21,22], Holandije do 6100 Bq/kg [23], severo-zapadne Poljske do 36630 Bq/kg [24] i u lišajevima severne Grčke od 1070 do 14560 Bq/kg [25,26]. Izmereni nivo aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima sa područja Francuske 1986. godine je bio znatno niži: od 1,7-155 Bq/kg [27], sa područja Engleske do 260 Bq/kg [28,29], severne Italije do 12100 Bq/kg [30]. U periodu od 1986. do 1988. godine u lišajevima sa područja Švedske, gde je za ^{137}Cs izmereno od 10-200 kBq/m² u vazduhu neposredno posle akcidenta, praćen je nivo aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (73 do 140 Bq/kg) i $^{239+240}\text{Pu}$ (0,09-4,08 Bq/kg) u lišajevima i nađeno je da je odnos $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ u lišajevima bio oko 0,5 kao i u gorivnoj smeši [31] što potvrđuje da su lišajevi dobri bioindikator i pokazatelji zagađenja životne sredine.

Do havarije u Černobilju istraživači iz bivše Jugoslavije su se malo ili nikako bavili izučavanjem lišajeva i njihovim usvajanjem radionuklida iz životne sredine. Malobrojni podaci pokazuju da su nivoi aktivnosti ^{137}Cs u suvim lišajevima BiH pre akcidenta u Černobilju bili: 1980. godine od 297 do 853 Bq/kg (srednji nivo 580 Bq/kg) i 1985. godine od 397 do 696 Bq/kg (srednji nivo 613 Bq/kg). Nivoi

aktivnosti ^{137}Cs 1987. godine u suvim lišajevima, sa istog područja, su bili viši nego u prethodnim istraživanjima (391-1800 Bq/kg, srednja vrednost 1315 Bq/kg) što je govorilo da su lišajevi dobri bioindikatori i biomonitori zagađenja radioaktivnim izotopima [32,33].

Od 1986. godine u laboratoriji Instituta za primenu nuklearne energije (INEP) prati se aktivnost $^{134+137}\text{Cs}$ u uzorcima lišajeva sakupljenih na teritoriji bivše Jugoslavije (Srbije, Crne Gore, Makedonije, Bosne i Hercegovine). Od 2002. godine prati se i aktivnosti ^{40}K u lišajevima.

2. MATERIJAL I METODE

Uzorci, po dopremanju u laboratoriju su očišćeni od vidljivih nečistoća (zemlje, trave), osušeni i mereni u Marineli posudama zapremine 1L. Masa lišajeva je bila do 100g. Vreme merenja jednog uzorka je bilo od 3600 s do 60000 s.

Gamaspektrometrijska merenja su do 2002. godine vršena na NaI detektoru ORTEC-CANBERRA efikasnosti 8,7% i rezolucije 6,8% za ^{137}Cs . Obrada spektra do 2002. godine je vršena pomoću softverskog paketa GAMMA AT V2.1. Od 2002. godine gamaspektrometrijska merenja su vršenana HPGe ORTEC/Ametek detektoru sa 8192 kanala, rezolucije 1,65 keV-a i relativne efikasnosti od 34% na 1,33 MeV-a za ^{60}Co . Obrada spektra od 2002. godine je vršena pomoću softverskog paketa Gamma Vision 32. Relativna merna nesigurnost pripreme uzorka i merenja je do 10%.

Aktivnost ^{134}Cs je određivana preko γ -linija na energijama od 604 keV-a, 796 keV-a i 802 keV-a, ^{137}Cs preko γ -linije na energiji od 661,6 keV-a, a ^{40}K preko γ -linije na energiji od 1460 keV-a.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 date su srednje aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u dve vrste lišajeva: *Cetraria islandica* i *Evernia prunastri* sakupljenim na teritoriji bivše Jugoslavije u periodima ispitivanja od 1986. do 1993. godine. Ovi lišajevi pripadaju grupi žbunastih lišajeva (poseduju najviši stupanj morfološkog diferenciranja tela i imaju heteromeran talus) i imaju veliki značaj za ljudsku i stočnu ishranu, kao i za farmaceutsku i hemijsku industriju. Lišaj *C. islandica* sadrži veliku količinu lihenina i izolihenina (hidrolizom prelaze u glikozu, zatim u skrob od koga se proizvodi hleb), usninsku kiselinu (ima fitocidno dejstvo), sluz, vitamin B12, jod, cetrarsku kiselinu, lihenosterinsku kiselinu, malo etarskog ulja, gumu, gvožđe, šećer, kinone, depside. Lišaj *E. prunastri* se najviše koristi u industriji parfema.

Iz table 1 se uočava da je u periodu od 01.07. do 31.12.1987. godine izmerena maksimalna radiokontaminacija lišaja. Srednja aktivnost $^{134+137}\text{Cs}$ za navedeni period u lišaju *C. islandica* je bila 10392 Bq/kg, a u lišaju *E. prunastri* 13610 Bq/kg [34]. Istraživanja Medvedeva Z.A. o višoj kontaminaciji radionuklidima teritorije bivše SFRJ u odnosu na teritoriju Severne Grčke neposredno posle akcidenta u Černobilju su potvrđena i rezultatima prikazanim u tabeli 1 za lišaj *E. prunastri* i time potvrdili da se lišajevi mogu koristiti uspešno kao bioindikatori radiozagađenja životne sredine [35].

Tabela 1. Srednje aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u lišajevima *C. islandica* i *E. prunastri* sakupljenim na teritoriji bivše Jugoslavije u periodima ispitivanja 1986-1993. godine [34]

Vrsta lišaja Period ispitivanja	<i>Cetraria islandica</i>	<i>Evernia prunastri</i>
	(Bq/kg)	
01.01.-31.06.1986.	---	7058
01.01.-31.06.1987.	---	10161
01.07.-31.12.1987.	10392	13610
01.01.-31.06.1988.	8533	6104
01.07.-31.12.1988.	---	3670
01.01.-31.12.1989.	1553	540
01.01.-31.12.1990.	1008	2374
01.01.-31.12.1991.	4081	1994
01.01.-31.12.1992.	2679	2163
01.01.-31.12.1993.	1533	815

Ispitivanja su pokazala da su aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u lišaju *C. islandica* sakupljenom na teritoriji Crne Gore (Sinjajevina) bile: 1989. od 764 do 2832, 1990. od 668 do 1348, 1992. od 2034 do 3547, a 1993. od 697 do 1215. Visoka aktivnost $^{134+137}\text{Cs}$ u lišaju *C. islandica* je izmerena 1993. godine u lišaju sakupljenom na teritoriji Foče (BiH) (4360 Bq/kg), dok je u lišaju sakupljenom na teritoriji Srbije bila znatno niža (svega 196 Bq/kg). Aktivnost $^{134+137}\text{Cs}$ u lišaju *C. islandica* sakupljene na teritoriji Crne Gore je 1993. godine bila 1215 Bq/kg. Ovo ukazuje i potvrđuje da je kontaminacija radiocezijumom bivše Jugoslavije bila neujednačena.

Aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u lišaju *E. prunastri* sakupljenom na teritoriji bivše Jugoslavije su bile 1989.godine od 502 (Makedonija) do 577 (Crna Gora). Aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u lišaju *E. prunastri* sakupljenom na teritoriji Srbije su bile: 1990. godine od 2290 do 2457, 1991. godine od 1363 do 2620, 1992. godine od 507 do 923 i 1993. godine od 231 do 1777. Visoka aktivnost $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg), 6489 Bq/kg, je izmerena u lišaju *E. prunastri* sakupljenom na teritoriji Crne Gore (Crno jezero, Durmitor) 1992. godine.

U tabeli 2 su prikazane aktivnosti radiocezijuma u uzorcima lišaja *C. islandica* koji je korišćen za spravljanje čajeva u nativnom mlevenom stanju i koji je prodavan 1992. godine u Biljnoj apoteci Dr Josif Pančić u Beogradu, a čiji je lokalitet branja nepoznat. Visoki nivoi aktivnosti radiocezijuma (od 3808 do 4709 Bq/kg) u ovim uzorcima navode na pretpostavku da je berba ovog lišaja bila neke od prethodnih godina.

Znajući da se čaj od lišaja *C. islandica* preporučuje trudnicama u prvim mesecima trudnoće (smanjuje muku i povraćanje) A. Čučulović je istraživala i pokazala da se tretiranjem lišaja vrelom vodom (do 100°C) u trajanju od 10 i 20 minuta desorbuje 44,6% tj. 42,0% ^{137}Cs od početne vrednosti i da je efekat desorpcije ^{137}Cs vrelom vodom u kratkom vremenu sličan efektu desorpcije vodom sobne temperature u trajanju od 24h, kao i da postoji opasnost od radijacionog opterećenja organizama koji koriste čajeve spravljene na ovakav način [36].

Tabela 2. Izmerene aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u lišaju *C. islandica*, za pojedine mesece 1992. godine, poreklom iz Biljne apoteke [34]

Godina	Mesec	$^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg)*
1992.	II	4370
	IV	4709
	VI	3808

*aktivnost pojedinačnog uzorka

U tabeli 3 prikazane su aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u različitim vrstama lišajeva: *Usnea barbata*, *Pseudo evernia furfuracea*, *Ramalina fraxinea*, *Hypogimnia physodes*, *Peltigera canina*, *Lobaria pulmonaria* i *Cladonia* sa teritorije bivše Jugoslavije u periodima ispitivanja od 1989. do 1993. godine. Lišajske vrste *U. barbata*, *P. furfuracea*, *R. fraxinea*, *L. pulmonaria* i *H. physodes* rastu na drveću i koriste se kao bioindikatori zagađenja životne sredine. Značajne su za ljude jer imaju široku primenu u medicini, farmaciji, industriji parfema i alkoholnih pića. Lišaj *U. barbata* stanovnici Durmitora (Crna Gora) koriste u hladnim zimskim mesecima za prihranjivanje domaćih životinja. Lišajevi *P. canina* i *Cladonia* rastu na tlu, koriste se u medicini, na dalekom severu glavni su izvor hrane irvasa i karibua.

Analizirajući aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) u lišajevima u periodu od 1989. godine do 1992. godine zaključuje se da su lišajevi *H. physodes* i *U. barbata* apsorbirali više radiocezijuma od lišaja *P. furfuracea*. Iz tabele sledi da su aktivnosti u lišaju *U. barbata* sakupljenim na teritoriji i Srbije i Crne Gore približno iste. Aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg) su 1993. godine u lišajevima sakupljenim na teritoriji Crne Gore bile od 227 Bq/kg (*R. fraxinea*) do 3696 Bq/kg (*P. canina*). Visoki nivoi aktivnosti su zabeleženi i u lišaju *C. fimbriata* (3337 Bq/kg). Visoke aktivnosti radicezijuma u lišajevima ukazuju na moguće radijaciono opterećenje tela životinja koji lišaj konzumiraju, a time i stanovništva, zbog formiranja lanca ishrane lišaj-životinja-čovjek.

U tabeli 4 prikazane su aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u lišaju *E. prunastri* izmerene u periodima ispitivanja od 1991. do 1994. godine. Uzorci lišajeva su sakupljeni na teritoriji Juga Srbije. Iz tabele je evidentno opadanje nivoa aktivnosti radiocezijuma u posmatranom vremenskom periodu.

U tabeli 4 prikazane su izračunate vrednosti za biološko (T_b) i efektivno (T_{eff}) vreme poluraspada ^{137}Cs u lišaju *E. prunastri*.

Znajući da je:

- $T_{1/2}$ vreme poluraspada (vreme za koje se raspadne polovina od broja aktivnih radionuklida),

- T_b biološko vreme poluraspada (vreme u kome se aktivnost posle jednokratnog unošenja (inkorporativna) svede na polovinu putem biološke eliminacije) i

- T_{eff} efektivno vreme poluraspada (vreme koje je potrebno da se aktivnost nekog radioizotopa vezanog u organizmu, kombinovanim delovanjem biološke eliminacije i prirodnim radioaktivnim raspadom, svede na polovinu) korišćenjem jednačine (1) izračunava se biološko (T_b) i efektivno (T_{eff}) vreme poluraspada ^{137}Cs u lišaju *E. prunastri*.

$$A_t = A_0 \exp - (\lambda + \lambda_b) \times t \quad (1)$$

У једначини (1):

A_0 је активност узорка за $t=0$,

A_t је активност узорка за $t \neq 0$,

λ је константа (израчунава се $\ln 2/T_{1/2}$) и износи $0,023 \text{ god}^{-1}$,

λ_b је константа (израчунава се $\ln 2/T_b$),

t је време праћења активности у лишaju од 3,5 година.

Вредности T_b и T_{eff} зависе од хемијског облика радionуclidа, pH средине, температуре, врсте лишaja и неких спољних параметара.

Добijене вредности за T_b и T_{eff} ^{137}Cs у лишaju *E. prunastri* су и до 4 ipo пута мање у односу на физичко време полураспада ^{137}Cs . Израчуната времена су била у опсегу израчунатих времена од стране других истраживача [34].

Табела 3. Средње активности $^{134+137}\text{Cs}$ у лишajевима сакупљеним на територији бивше Југославије у периодима испитивања 1989-1993. године [34]

Godina	Teritorija sakupljanja	Vrsta lišaja	$^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg)*
1989.	Srbija	<i>P. furfuracea</i>	944
		<i>R. fraxinea</i>	1064
		<i>U. barbata</i>	2181
1990.	Srbija	<i>U. barbata</i>	2559
1991.	Srbija	<i>U. barbata</i>	2302
1992.	Srbija	<i>H. physodes</i>	1912
		<i>P. furfuracea</i>	966
	Crna Gora	<i>U. barbata</i>	2421
		<i>H. physodes</i>	2954
		<i>L. pulmonaria</i>	1322
1993.	Crna Gora	<i>R. fraxinea</i>	227
		<i>P. furfuracea</i>	1443
			1750
			2740
			1277
			1160
			1738
			2049
			656
		<i>P. canina</i>	1615
			2452
			1664
		<i>U. barbata</i>	3696
			333
			555
			942
			716
<i>C. fimbriata</i>	3337		

*aktivnost pojedinačnog uzorka

Tabela 4. Aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u lišaju *E. prunastri* sakupljenim na teritoriji Juga Srbije u periodima ispitivanja 1991-1994. godine [34]

Red. br.	1991.	1992.	1993.	1994.	λ_b (god^{-1})	T_b (god)	T_{eff} (god)
1.	2531	2122	2005	1760	0,08	8,6	6,7
2.	1363	1364	869	813	0,17	8,3	6,5
3.	2621	2307	2077	1902	0,07	10,1	7,5

U periodu 1997-1999. godine u laboratoriji INEP-a praćene su aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima sakupljenim na teritoriji Nacionalnog parka Đerdap (Srbija). Aktivnosti ^{137}Cs u lišajevima NP Đerdap su 1997. godine bile od 69 do 252 Bq/kg, a 1998. od 248 do 275 Bq/kg [38]. U lišaju *H. physodes* sakupljenom na teritoriji NP Đerdap 1999. godine aktivnost ^{137}Cs je bila 1613 Bq/kg, a 2003. godine 663 Bq/kg [39].

^{137}Cs i ^{40}K imaju slične hemijske osobine i pripadaju istoj grupi u periodnom sistemu. ^{40}K je esencijalni radionuklid, prirodnog porekla, fizičkog vremena poluraspada od $1,25 \times 10^9$ godina, izotopne obilnosti od 0,0119% od ukupnog kalijuma u prirodi. Kalijum ima značajnu ulogu u procesu disanja, fotosinteze, sinteze, transporta i metabolizma ugljenih hidrata, kao i u obrazovanju složenih organskih jedinjenja (belančevina, enzimskih sistema i vitamina). Kalijum ima jak uticaj na protoplazmu ćelije, povećava otpornost biljaka prema niskim temperaturama, suši i bolestima [40-43].

U tabeli 5 prikazane su aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u različitim vrstama lišajeva (*Pseudo evernia furfuracea*, *Ramalina fastigiata*, *Parmelia sulcata*, *Lobaria pulmonaria*, *Evernia prunastri*, *Ramalina fraxinea*, *Cladonia rangiformis*, *Cladonia furcata*, *Cladonia pyxidata*) koji su sakupljeni na teritoriji Crne Gore (Bjelasice i Komova) 2002. godine. Srednja aktivnost ^{137}Cs i ^{40}K u uzorcima lišajeva (13) je 697 Bq/kg, odnosno 226 Bq/kg. Odnos $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$ u lišajevima je bio od 0,6 (*R. fraxinea*) do 10,0 (*C. pyxidata*). Analiziranjem odnosa aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u lišajevima Crne Gore dobija se negativna korelacija sa Pirsonovim koeficijentom ($P = - 0,314$) koji upućuje na zaključak da postoji relativno slaba korelacija između ova dva radionuklida. Iz prikazanih rezultata zaključuje se da aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u ispitivanim lišajevima ne pokazuju bilo kakav konkurentan odnos i da različiti lišajevi različito usvajaju ^{137}Cs i ^{40}K iz spoljašnje sredine.

Aktivnost radiocezijuma u lišaju *Hypogymnia physodes* sakupljenim u banjama Istočne Srbije 2006. godine je bila od 2,7 do 57 Bq/kg [38].

U tabeli 6 prikazane su aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u lišaju *H. physodes* sakupljenom 2010. i 2015. godine na teritoriji NP Đerdap. Godine 2010. sakupljeno je 14 uzoraka lišaja, a 2015. 16 uzoraka. Srednja aktivnost ^{137}Cs u lišaju *H. physodes* sakupljenom 2010. godine u NP Đerdap je bila 124 Bq/kg, a 2015. godine 130 Bq/kg. Srednja aktivnost ^{40}K u lišaju *H. physodes* sakupljenom 2010. godine u NP Đerdap je bila 106 Bq/kg, a 2015. godine 70 Bq/kg. Odnos ^{137}Cs i ^{40}K 2010. godine je bio od 0,06 do 4,56, a 2015. godine od 0,20 do 4,85. Iz podataka prikazanih u tabeli 6 za aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u lišaju *H. physodes* sakupljenih

2010. godine izračunava se negativna korelacija sa Pirsonovim koeficijentom $P = -0,743$ koji govori o srednje jakoj korelaciji između ova dva radionuklida. Dobijena vrednost Pirsonovog koeficijenta ukazuje da ^{137}Cs i ^{40}K mogu da imaju obrnuto proporcionalne odnose i da prisustvo jednog od njih može da otežava apsorpciju i uzimanje drugog. Ovi podaci se slažu i sa istraživanjima nekih istraživača [45]. Analiziranjem aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K u lišaju *H. physodes* sakupljenih 2015. godine iz tabele 6 dobija se pozitivna korelacija sa Pirsonovim koeficijentom $P = 0,108$ koji govori o neznačajnoj korelaciji između ova dva radionuklida. Na osnovu prikazanih rezultata zaključuje se da usvajanje ^{137}Cs i ^{40}K iz spoljašnje sredine od strane lišaja *H. physodes* zavisi od biotopa u kome lišaj raste.

Tabela 5. Aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K (Bq/kg) i njihov odnos u različitim vrstama lišajeva sa teritorije Bjelasice i Komova, izmerene 2002. godine* [44]

Lokalitet	Vrsta lišaja	^{137}Cs	^{40}K	$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$
Crvena stena	<i>P. furfuracea</i>	592	217	2,7
	<i>R. fastigiata</i>	216	245	0,9
	<i>P. sulcata</i>	891	265	3,4
	<i>L. pulmonaria</i>	986	182	5,4
Jelovica	<i>P. furfuracea</i>	582	197	3,0
	<i>E. prunastri</i>	373	281	1,3
Studenica	<i>P. furfuracea</i>	352	194	1,8
	<i>R. fraxinea</i>	90	160	0,6
Previja	<i>C. rangiformis</i>	455	199	2,3
	<i>C. furcata</i>	722	299	2,4
Tusta	<i>L. pulmonaria</i>	266	339	0,8
	<i>P. sulcata</i>	1682	178	9,4
	<i>C. pyxidata</i>	1850	185	10,0

*aktivnost pojedinačnog uzorka

Svi rezultati, prikazani u ovom radu ukazuju da su lišajevi dobri bioindikatori zagađenja životne sredine radiocezijumom i da su nivoi aktivnosti ovog radioaktivnog izotopa od akcidenta u Černobilju do 2015. godine znatno opali, kao i da su u nivoima pre akcidenta u Černobilju. Takođe, rezultati ukazuju i da novih zagađenja ovim izotopom nije bilo.

Istraživanja A. Čučulović su pokazala da se ^{137}Cs prisutan u lišaju *Cetraria islandica* može desorbovati destilovanom vodom, kišnicom i rastvorima koje imitiraju kisele kiše najviše do 72,2% u odnosu na početni sadržaj u lišaju, kao i da se prvom desorpcijom (bez obzira na vreme trajanja desorpcije) najviše desorbuje ovaj radionuklid. Pokazano je i da je lišaj izvor sekundarne kontaminacije životne sredine radiocezijumom [36].

Tabela 6. Aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K (Bq/kg) u lišajevima vrste *Hypogimnia physodes* sakupljenih 2010. i 2015. godine na teritoriji NP Đerdap*

Redni broj	Lokalitet, odeljenje	^{137}Cs	^{40}K	^{137}Cs	^{40}K
		2010. g.		2015. g.	
1	GJ** Kožica, 26a	60	115	96	97
2	GJ Kožica, 63a	79	117	115	74
3	GJ Čezava, 46b	43	121	13,5	68
4	GJ Čezava, 40a	39	111	---	---
5	GJ Čezava, 75c	75	121	---	---
6	GJ Desna reka, 72a	8,0	137	---	---
7	GJ Desna reka, 73a	7,9	137	---	---
8	GJ Porečke šume, 44	204	100	66	55
9	GJ Porečke šume, 60	133	160	91	54
10	GJ Porečke šume, 45	152	85	---	---
11	GJ Zlatica, 87b	247	58	---	---
12	GJ Zlatica, 72a	233	62	---	---
13	Brnjička reka	228	50	---	---
14	Brnjička reka	232	104	---	---
15	GJ Leva reka 27a	---	---	108	109
16	GJ Leva reka, 29a	---	---	45	71
17	GJ Desna reka, 52a	---	---	35	33
18	GJ Đerdap, 8a	---	---	140	77
19	GJ Đerdap, 25a	---	---	58	41
20	GJ Đerdap, 41a	---	---	182	71
21	Tekija, Brzujka	---	---	66	89
22	GJ Đerdap, 48b	---	---	287	69
23	GJ Đerdap, 67i	---	---	229	93
24	GJ Đerdap 75b	---	---	267	55
25	GJ Đerdap, 78f	---	---	277	60

*podaci za 2010. godinu objavljeni su u literaturi [46], ** GJ – gazdinska jedinica

4. ZAKLJUČAK

U laboratoriji INEP-a su od 1986. godine praćeni nivoi aktivnosti $^{137+134}\text{Cs}$ u lišajevima sakupljenim na teritoriji bivše Jugoslavije. Srednji nivo aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ u lišajevima sakupljenim 1987. godine u lišaju *E. prunastri* je bio 10161 Bq/kg (I polovina 1987. god.), 13610 Bq/kg (II polovina 1987. god.), a u lišaju *C. islandica* 10392 Bq/kg (II polovina 1987. god.). Nivoi aktivnosti $^{137+134}\text{Cs}$ u lišajevima sakupljenim na teritoriji Crne Gore su bili viši nego u lišajevima sakupljenim u Srbiji. Srednji nivo aktivnosti ^{137}Cs u lišaju *H. physodes* sakupljenom 2010. godine u NP Đerdap je bio 150 Bq/kg, a 2015. godine 128 Bq/kg. Prikazani rezultati ukazuju da su lišajevi dobri bioindikator zagađenja životne sredine radioaktivnim izotopom (^{137}Cs), da su nivoi aktivnosti ovog

radioaktivnog izotopa u nivoima pre akcidenta u Černobilju i da novih загађења ovim izotopom nije bilo.

Zahvalnica

Ovaj rad finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat broj: III 43009)

5. LITERATURA

- [1] M. Jovanović. Ionizujuća zračenja i životna sredina. 1983. Vojnoizdavački zavod. Beograd.
- [2] IAEA Bulletin. 39(1) (1997).
- [3] B.G. Bennett. Exposures from worldwide releases of radionuclides, Environmental Impact of Radioactive Releases. IAEA. Proceedings of a symposium.3-12. Vienna. 1995.
- [4] R. Kirchmann. Historical overview of radioecology in the world. Preceedings of International Meeting on Influence of Climatic Characteristics upon Behavior of Radioactive Elements.3-10. Rokkasho, Aomori, Japan, 1997. Editors Ohmomo Y., Sakurai N. Institute for Environmental Sciences. Japan.
- [5] S.M. Wirght, B.J. Howard, P. Strand, T. Nylén and Sickel M.A.K. Prediction of ¹³⁷Cs deposition from atmospheric nuclear werapons tests within the Arctic.*Environ. Pollut.* 104 (1999) 131-143.
- [6] N. Xavkes, G. Lean, D. Leigh, R. McKie, P. Pringle and Wilson A. Najgora nesreća na svijetu, Černobil: kraj nuklearnog sna. 1987. Globus. Zagreb.
- [7] A. Aakrog. The radiological impact of Chernobyl debris compared with from nuclear weapons fallout.*J. Environ. Radioact.* 6 (1988) 151-162.
- [8] Savezni komitet za rad, zdravstvo i socijalnu zaštitu, Nivo radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i ozračenost stanovništva Jugoslavije 1986. godine usled havarije nuklearne elektrane u Černobilju, Beograd, 1987.
- [9] V. Ahmadjian. The lichen symbiosis. 1993. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [10] M. Murati. Flora lišajeva Jugoslavije 1.1992. Univerzitet u Prištini. Priština.
- [11] S. Savić. Diverzitet lišajeva (Lichens) Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja, 1995. Beograd.- *In: Stevanović, V., Vasić, V.* (eds.): Biodiverzitet Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja. Ecolibri. Beograd. Biološki fakultet. Beograd.
- [12] S. Hunec and Yoshimura I. Identification of lichen substances. 1996. Springer. Berlin Heidelberg.
- [13] P.A. Thomas and Gates T.E. Radionuclides in the lichen-caribou-human food chain near uranium operations in northern Saskatchewan, Canada.*Environ. Health Perspec.* 107 (1999) 527-537.

- [14] G. Jia, D. Desideri, F. Guerra, M.A. Meli and Testa C. Concentration and vertical distribution of plutonium and americium in Italian mosses and lichens. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 253(3) (1997) 395-406.
- [15] M. Dowdall, J.P. Gwynn, C. Moran, J. O'Dea, C. Davids and Lind B. Uptake of radionuclides by vegetation at a High Arctic location. *Environ. Pollut.* 133 (2005) 327-332.
- [16] A.V. Golubev, V.N. Golubeva, N.G. Krylov, V.F. Kuznetsova, S.V. Mavrin, Y.A. Aleinikov, W.G. Hoppes and Surano K.A. On monitoring antropogenic airborne uranium concentrations and $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopic ratio by lichen - bio-indicator technique. *J. Environ. Radioact.* 84(3) (2005) 333-342.
- [17] G. Kirchner and Daillat O. The potential of lichens as long-term biomonitors of natural and artificial radionuclides. *Environ. Pollut.* 120 (2002) 145-150.
- [18] M.T. Berg and Shuman L.J. A three-dimensional stochastic model of the behavior of radionuclides in forests I. *Ecol. Monitoring.* 83 (1995) 359-372.
- [19] E.J. Sloof. Environmental lichenology: Biomonitoring Trace-Element air Pollution. *Doctoral thesis.* 1993. Technical Universty. Delft. The Netherlands.
- [20] H. Staaland, T.H. Garmo, K. Hove and Pedersen Ø. Feed selection and radiocesium intake by reindeer, sheep and goats grazing alpine summer habitats in southern Norway. *J. Environ. Radioact.* 29(1) (1995) 39-56.
- [21] G.B. Feige, L. Niemann and Jahnke S. Lichens and mosses - silent chronists of the Chernobyl accident, Contributions to Lichenology in Honour of A. Henssen. H.M. Jahns. ed. J. Cramer. 1990. Berlin-Stuttgart.
- [22] J.W. Mietelski, P. Gaca and Olech M.A.: Radioactive contamination of lichens and mosses collected in South Shetlands and Antarctic Peninsula. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 245(3) (2004) 527-537.
- [23] J.E. Sloof and Wolterbeek B.T. Lichens as biomonitors for radiocesium following the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* 16(3) (1992) 229-242.
- [24] M.R.D. Seaward, J.A. Heslop, D. Green and Bylińska E.A. Recent levels of radionuclides in lichens from southwest Poland with particular reference to cesium-134 and cesium-137. *J. Environ. Radioact.* 7(2) (1988) 123-130.
- [25] C. Papastefanou, M. Manolopoulou and Sawidis T. Lichens and mosses: biological monitors of radioactive fallout from the Chernobyl reactor accident. *J. Environ. Radioact.* 9 (1989) 199-207.
- [26] Sawidis T., Heinrich G. and Chettri M.K., Cesium-137 monitoring using lichens from Macedonia, northern Greece. *Can. J. Bot.* 75(12) (1997) 2216-2223.
- [27] G. Kirchner and Daillat O. The potential of lichens as long-term biomonitors of natural and artificial radionuclides. *Environ. Pollut.* 120 (2002) 145-150.

- [28] E.I. Hamilton, B. Zou and Clifton R.J. The Chernobyl accident-radionuclide fallout in S.W. England. *Sci. Total Environ.* 57 (1986) 231-251.
- [29] S. Topcuoglu, A.M. Van Dawen and Gungor N. The natural depuration rate of ^{137}Cs radionuclides in a lichen and moss species. *J. Environ. Radioact.* 29(2) (1995) 157-162.
- [30] E. Baldini, M.B. Bettoli and Tubertini O. Measurements on Chernobyl fallout in forest vegetation. *Inorg. Chim. Acta.* 140 (1987) 331-333.
- [31] P. Lindahl, P. Roos, M. Eriksson and Holm E. Distribution of Np and Pu in Swedish lichen samples (*Cladonia stellaris*) contaminated by atmospheric fallout. *J. Environ. Radioact.* 73 (2004) 73-85.
- [32] R. Kljajić. Prilog istraživanju bioindikatora radioaktivne kontaminacije fisionim produktima (Cs-137 i Sr-90). *Magistarski rad.* 1981. Veterinarski fakultet. Univerzitet u Sarajevu. Sarajevo.
- [33] L. Saračević, R. Kljajić, A. Mihajl i Milošević Z. Komparativni prikaz nivoa radioaktivnosti lišaja i mahovine u lovištima BiH prije i poslije havarije u Černobilju. *XV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja.* 3-6. Priština. 1989. Institut za nuklearne nauke Vinča. Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja.
- [34] A. Stanković. Nivoi aktivnosti Cs-134 i Cs-137 u lišajima, u post-černobiljskom periodu. *Magistarski rad.* 1994. Fakultet za fizičku hemiju. Univerzitet u Beogradu. Beograd.
- [35] Z.A. Medvedev. Černobiljskie radionuklidi za predelami SSSR-a, Evropeiskii kontinent. *Radiobiologia.* 31(6)(1991) 771-793.
- [36] A. Čučulović. Desorpcija ^{137}Cs i drugih metala iz lišaja *Cetraria islandica* kiselim rastvorima. *Doktorska disertacija.* 2007. Fakultet za fizičku hemiju. Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [37] A. Stanković i Stanković S. Zagađivanje visokoplaninskih ekosistema cezijumom-137,134. *Ecologica.* 2(2) (1995) 16-19. Jugoslovensko društvo za širenje i primenu nauke i prakse u zaštiti životne sredine – ECOLOGICA.
- [38] A. Čučulović, D. Popović, R. Čučulović i Ajtić J. Natural radionuclides and ^{137}Cs in moss and lichen in Eastern Serbia. *Nucl. Technol. Radiat. Protect.* Belgrade. 27(1) (2012) 44-51.
- [39] A. Čučulović, D. Veselinović i Miljanić Š. Akumulacija radionuklida u bioindikatorima NP Đerdap, Ekološka istina. Zbornik radova Eko Ist 05. 105-108. Borsko jezero. 2005. Tehnički fakultet u Boru. Univerzitet u Beogradu.
- [40] S. Gombert, J. Asta and Seaward M.R.D. The use of autecological and environmental parameters for establishing the status of lichen vegetation in a baseline study for a long term monitoring survey. *Environ. Pollut.* 135 (2005) 501-514.
- [41] R. Goyal and Seaward M.R.D. Metal uptake in terricolous lichens. III. Translocation in the thallus of *Peltigera canina*. *New Phytol.* 90(1) (1982) 85-98.

- [42] J. Garty, Y. Steinberger and Harel Y. Spatial and temporal changes in the concentration of K, Na, Mg, and Ca in epilithic and in decomposing detached thall of the lichen *Ramalina maciformis* and its potential role in the cycling of these elements in the Negev desert. *Environ. Exp. Bot.* 36(1) (1996) 83-97.
- [43] M. Schnull and Hauck M. Extraction methods for assessing the availability of cations for epiphytic lichens from bark. *Environ. Exp. Bot.* 49(3) (2003) 273-283.
- [44] S. Stanković, A. Stanković, S. Dragović i Novović I. Komparativno ispitivanje radioaktivnosti bioindikatora Srbije i Crne Gore. Ekološka istina. Zbornik radova Eko Ist 04.32-37. Borsko jezero. 2004. Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu.
- [45] U. Cevik and Celik N. Ecological half-life of ^{137}Cs in mosses and lichens in the Ordu province, Turkey. *J. Environ. Radioact.* 100 (2009) 23–28.
- [46] A. Čučulović, R. Čučulović, S. Nestorović i Veselinović D. Levels of activity of ^{40}K and ^{137}Cs in samples bioindicators from the national park Djerdap. Ecological truth. Proceedings Eko Ist 11.18-23. Bor. 2011. Technical faculty Bor. University of Belgrade. Serbia.

LICHEN – BIOINDICATORS OF RADIOACTIVE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

**Ana ČUČULović¹, Rodoljub ČUČULović²,
Saša NESTORović³ and Dragan VESELINOVIĆ⁴**

¹University of Belgrade, Institute for the Application of Nuclear Energy – INEP, Zemun, Serbia, e-mail: anas@inep.co.rs

²Higher Business school in Leskovac, Leskovac, Serbia

³National Park Djerdap, Donji Milanovac, Serbia

⁴University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia

Lichen tissue reflects the elementary composition of the environment. They are good bioindicators and biomonitors of environment pollution as they do not have a formed root, leaves, trunk, cuticula and stoma and they absorb water and minerals with the whole thallus surface. The activity levels of ^{137}Cs in lichen in BiH in 1985 were from 397 to 696 Bq/kg. The average activity level of $^{134+137}\text{Cs}$ in lichen of the *Evernia prunastri* species in the first half of 1987 was 10161 Bq/kg, and 13610 Bq/kg in the second half of the same year. In lichen of the *Cetraria islandica* species in the second half of 1987 the activity level was 10392 Bq/kg. In the period 1986-2015 the activity levels of ^{137}Cs in investigated lichen samples decreased. The average activity level of ^{137}Cs in *Hypogimnia physodes* lichen species collected in 2010 in NP Djerdap was 150 Bq/kg, while in 2015 it was 128 Bq/kg. Activity levels of ^{137}Cs have dropped to levels before the Chernobyl accident so no new pollutions with this isotope have occurred.

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