

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

**SEZONSKE PROMENE AKTIVNOSTI PRIRODNIH  
RADIONUKLIDA I PROIZVEDENOG  $^{137}\text{Cs}$  U UZORCIMA LIŠĆA  
LISTOPADNOG DRVEĆA**

**Ivana VUKAŠINOVIĆ<sup>1</sup>, Dragana TODOROVIĆ<sup>2</sup>, Jelena NIKOLIĆ<sup>2</sup>,  
Milica RAJAČIĆ<sup>2</sup> i Jelena AJTIĆ<sup>3</sup>**

- 1) Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni Fakultet, Zemun-Beograd, Srbija, [ivanavu@agrif.bg.ac.rs](mailto:ivanavu@agrif.bg.ac.rs)
- 2) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, Srbija, [beba@vinca.rs](mailto:beba@vinca.rs), [jnikolic@vinca.rs](mailto:jnikolic@vinca.rs), [milical00@vinca.rs](mailto:milical00@vinca.rs)
- 3) Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, [jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs](mailto:jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs)

**SADRŽAJ**

Specifična aktivnost prirodnih radionuklida  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{40}\text{K}$  i proizvedenog  $^{137}\text{Cs}$  je merena u uzorcima lišća dve vrste listopadnog drveća, kestena (*Aesculus hippocastanum*) i lipe (*Tilia spp*) koji potiču iz tri gradska parka na užem području Beograda. Uzorci su sakupljeni u vreme prolećne ( $n=7$ ), letnje ( $n=2$ ) i jesenje ( $n=8$ ) sezone u periodu od 2002-2012. godine. Iz svake pojedinačne sezone uzorci lišća su spojeni po vrstama pri čemu je dobijen jedan integralni (sezonski) uzorak za svaki ispitivani park čime je postignuta veća efikasnost detekcije niskog nivoa gama zračenja. Za određivanje aktivnosti primenjen je metod spektrometrije gama emitera. U svim pojedinačnim uzorcima suve materije lišća detekcija radionuklida  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{40}\text{K}$  je bila moguća i njihova specifična aktivnost se nalazila intervalu 15-52 Bq/kg i 310-650 Bq/kg, respektivno. Iako je aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  bila veoma niska, u intervalu 0,5-5,6 Bq/kg, ovaj radionuklid je bio izmeren u svim uzorcima (osim u dva) i svim sezonama. Aktivnost  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{226}\text{Ra}$  se povećavala tokom godine, pri čemu su njihove najveće vrednosti izmerene u lišću kestena u letnjoj sezoni. Suprotno, aktivnost  $^{40}\text{K}$  u lišću lipe i kestena je opadala tokom godine. Za razliku od prethodno navedenih, radionuklidi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  su retko detektovani samo u letnjem i/ili jesenjem periodu i po četiri uzorka lišća su sadržali  $^{238}\text{U}$  (2,7-11,7 Bq/kg) i  $^{235}\text{U}$  (0,13-1,0 Bq/kg), a tri  $^{232}\text{Th}$  (1,8-3,3 Bq/kg). Proizvedeni radionuklid  $^{137}\text{Cs}$  detektovan je u svim uzorcima lišća (osim u dva), a bez jasnog trenda ponašanja po sezonama i nalazio se u intervalu 0,3-1,2 Bq/kg. Cilj rada bio je ispitivanje akumulacije prirodnih radionuklida i njihovog potencijalnog variranja tokom godine u lišću listopadnog drveća.

**1. UVOD**

Aktivnosti čoveka u urbanim područjima u vidu industrijskih emisija, saobraćajnog zagađenja, sagorevanja fosilnih goriva, odlaganja otpada i upotrebe fosfatnih đubriva mogu inicirati promene nivoa prirodne radioaktivnosti. Zbog toga je neophodno poznavanje sadržaja i distribucije prirodnih i proizvedenih radionuklida od značaja, kao i njihovog transfera između pojedinih segmenata koji čine ekološki sistem urbane sredine. Radionuklidi od interesa čiji se periodi poluraspada mogu smatrati dugim sa stanovišta zaštite životne sredine od jonizujućeg zračenja su prirodni  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  i proizvedeni  $^{137}\text{Cs}$ . U zavisnosti od svojih bioloških osobina, različite biljne vrste imaju sposobnost da apsorbuju radionuklide (neesencijalne elemente) koristeći

mehanizam „mimikrije“ odnosno hemijske sličnosti sa drugim (esencijalnim) elementima neophodnim za ishranu, rast i razvoj. Biljka usvaja radionuklide iz zemljišta putem korenovog sistema ukoliko se oni nalaze u zemljištu u svom dostupnom obliku ili iz vazduha putem folijarne depozicije [1,2]. Uranijum i torijum, članovi grupe aktinida, koji se u prirodi pojavljuju kao četvorovalentni joni čiji su radijusi sličnih dimenzija, ponašaju se slično u redukcionim uslovima u zemljištu. Međutim, u oksidacionim uslovima uranijum je češće šesterovalentni (uranil) jon čime se njegova mobilnost u odnosu na torijum povećava. Radijum se u prirodi pojavljuje samo kao dvovalentni ( $Ra^{2+}$ ) jon i ponaša se slično ostalim članovima grupe alkalnih elemenata Ba, Sr, Mg i Ca, što znači da je lakše dostupan i usvojen od strane biljaka putem korenovog sistema i češće detektovan u višim, nadzemnim delovima biljke. Olovo kao metal iz IVa grupe periodnog sistema pojavljuje se pretežno kao  $Pb^{2+}$  jon, ali se u zemljištu ponaša sličnije elementima grupe zemnoalkalnih metala. Navedeni neesencijalni elementi imaju veoma ograničenu akumulaciju od strane korenovog sistema i to u nizu  $Ra > U > Th > Pb$  [1,2]. Sa druge strane, kalijum kao esencijalni element u metaboličkim procesima biljaka je usvojen iz zemljišta zajedno sa svojim radioaktivnim izotopom  $^{40}K$ . Proizvedeni radionuklid  $^{137}Cs$  ponaša se u zemljištu konkurentski u odnosu na kalijum i biva usvojen od strane biljke koja ga ne razlikuje od svog hemijskog analoga [1,2].

Može se dodati da se smatra da je aktivnost  $^{238}U$ ,  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  u vazduhu van industrijskih područja reda  $\mu Bq/m^3$  [2], a višegodišnja merenja radionuklida u vazduhu Beograda pokazala su da je  $^{137}Cs$  najčešće ispod granice detekcije, dok aktivnost  $^{210}Pb$  približno iznosi  $500 \mu Bq/m^3$  [3].

U ranijem istraživanju, u periodu od 2002-2009. godine na užem području Beograda, tri gradska parka (Botanička bašta – BB, Studentski park – SP, Karadorđev park – KP) bila su mesto sakupljanja uzoraka lišća kestena i lipe (*Aesculus hippocastanum* i *Tilia spp.*), aerosola i zemljišta u kojima je određena koncentracija aktivnosti radionuklida  $^{137}Cs$ ,  $^{40}K$ ,  $^{210}Pb$  i  $^7Be$  u cilju ispitivanja dva glavna mehanizma akumulacije radionuklida u listovima - atmosferske depozicije i usvajanja korenom [3]. Sadašnje istraživanje se nastavlja na prethodno i u ovom radu predstavljeni su rezultati merenja specifičnih aktivnosti radionuklida koji se odnose na uzorke lišća kestena i lipe sa istog područja sakupljenih u periodu od 2002-2012. godine u vreme prolećne (n=7), letnje (n=2) i jesenje (n=8) sezone. Da bi se u uzorcima lišća detektovali i drugi potencijalno prisutni radionuklidi kao što su  $^{238}U$ ,  $^{235}U$ ,  $^{226}Ra$  i  $^{232}Th$ , iz svake pojedinačne sezone uzorci su spajani po vrstama pri čemu je dobijen po jedan integralni (sezonski) uzorak za svaki ispitivani park, a čime je postignuta veća efikasnost detekcije niskog nivoa gama zračenja. U toku vegetativnog perioda, ćelije bogate hranljivim materijama i drugim elementima bivaju iskorišćene ishranjujući tkiva koje se aktivno razvijaju kao što su listovi, a one same ostaju da formiraju tkivo stabla drveta. Prema tome, može se ispitati kakav je potencijal lišća listopadnog drveća da odražava specifične aktivnosti radionuklida detektovanih u zemljištu urbane sredine kao i trend njihovih sezonskih varijacija.

## 2. MATERIJALI I METODE

Uzorci lišća dve vrste listopadnog drveća, kestena (*Aesculus hippocastanum*) i lipe (*Tilia spp.*) sakupljeni su u periodu od 2002-2012. godine u vreme prolećne (n=7), letnje (samo u toku 2003-2004. godine; n=2) i jesenje (n=8) sezone. Svaki uzorak lišća sušen je na temperaturi  $105^{\circ}C$ , a zatim mineralizovan na  $450^{\circ}C$ . U prvoj fazi merenja, pojedinačni

uzorci su mereni koristeći metod spektrometrije gama emitera, a način pripreme uzoraka i kalibracije detektora opisan je u prethodno pomenutom radu [3]. U drugoj fazi merenja, iz svake ispitivane sezone (proleće, leto, jesen) pojedinačni uzorci lišća su spajani po vrstama (kesten i lipa). Na taj način je dobijen po jedan integralni uzorak veće mase za svaki ispitivani park, sezonu i vrstu. Ukupne mase spojenih mineralizovanih uzoraka lišća su se kretale u intervalu 16-24 g, zatim 32-45 g i 27-104 g za sezonu proleće, leto i jesen, respektivno. Spojeni uzorci su pakovani u cilindrične plastične boce zapremine 125 cm<sup>3</sup>. Zatim je u tako pripremljenim uzorcima uspostavljena radioaktivna ravnoteža. Spektrometrija gama emitera integralnih uzoraka izvršena je korišćenjem HPGe detektora relativne efikasnosti 20%. Za kalibraciju detektora korišćen je sekundarni referentni radioaktivni materijal u geometriji plastične boce od 125 cm<sup>3</sup> matriksa trave koji je pripremljen na isti način na koji se pripremaju i uzorci za merenje. Matriks je nakapan primarnim referentnim radioaktivnim materijalom (<sup>241</sup>Am, <sup>109</sup>Cd, <sup>139</sup>Ce, <sup>57</sup>Co, <sup>60</sup>Co, <sup>203</sup>Hg, <sup>88</sup>Y, <sup>113</sup>Sn, <sup>85</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb) proizviđača Czech Metrological Institute, Praha, 9031-OL-427/12, type ERX, ukupne aktivnosti 72.40 kBq na dan 31.08.2012. godine. Vreme merenja uzoraka je 60 ks.

Aktivnost suve materije lišća integralnih uzoraka određena je pomoću tzv. faktora koncentrisanja  $F_c$  koji je bio izračunat na osnovu poznate specifične aktivnosti dugoživećeg radionuklida <sup>40</sup>K ( $t_{1/2}=1,28 \cdot 10^9$  godina) pre i posle spajanja uzoraka lišća:

$$F_c = \frac{A'_{int} \cdot m'_{int}}{\sum_{i=1}^n A_i^o \cdot m_i^o} \quad (1)$$

gde su  $A'_{int}$  i  $m'_{int}$  specifična aktivnost <sup>40</sup>K i masa mineralizovanog integralnog (izmešanog) uzorka, a  $A_i^o$  i  $m_i^o$  vrednost specifične aktivnosti <sup>40</sup>K i masa svih pojedinačnih uzoraka suve materije lišća od kojih se sastojao integralni uzorak. U zavisnosti od sezone, broj  $n$  je imao vrednost 2, 7 ili 8.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Statistika koja opisuje vrednosti specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida i proizvedenog <sup>137</sup>Cs predstavljena je u tabeli 1., pri čemu sve grupe podataka (specifičnih aktivnosti) prate normalnu distribuciju. Kombinovana standardna merna nesigurnost specifične aktivnosti radionuklida iznosila je 7% za <sup>40</sup>K, 20% za <sup>226</sup>Ra, <sup>210</sup>Pb i <sup>137</sup>Cs i 30% za <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U i <sup>232</sup>Th.

Iz tabele 1. može se videti da je koeficijent varijacije pojedinačnih radionuklida veći od pomenutih vrednosti mernih nesigurnosti, pa se može zaključiti da vrednosti specifičnih aktivnosti nisu uniformne već da je njihova promena tokom godine značajna. Anova test (na nivou poverenja 95%) je korišćen da bi se odredilo da li postoje razlike između aktivnosti uzoraka lišća lipa i kestena u okviru iste sezone, pri čemu je utvrđeno da razlika nema osim za vrednosti <sup>226</sup>Ra u leto ( $p < 0,05$ ). Takođe, sudeći prema Anova testu, specifične aktivnosti se nisu razlikovale po sezonama za radionuklide <sup>40</sup>K i <sup>137</sup>Cs, ali jesu u slučaju <sup>226</sup>Ra ( $p < 0,001$ ) i <sup>210</sup>Pb ( $p < 0,001$ ) za vrednosti u proleće u odnosu na leto i jesen. Utvrđeno je i da je vrednost <sup>40</sup>K u uzorcima lišća na mestu KP bila minimalna i da se uvek bitno razlikovala ( $p < 0,0001$ ) od vrednosti nađenim na SP i BB. Aktivnosti

pojedinačnih radionuklida izmerenih u leto i jesen statistički se nisu razlikovale, što znači da mogu biti grupisane i posmatrane zajedno.

**Tabela 1. Statistička obrada rezultata specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida i proizvedenog  $^{137}\text{Cs}$  izmerenih u uzorcima suvog lišća kestena i lipe**

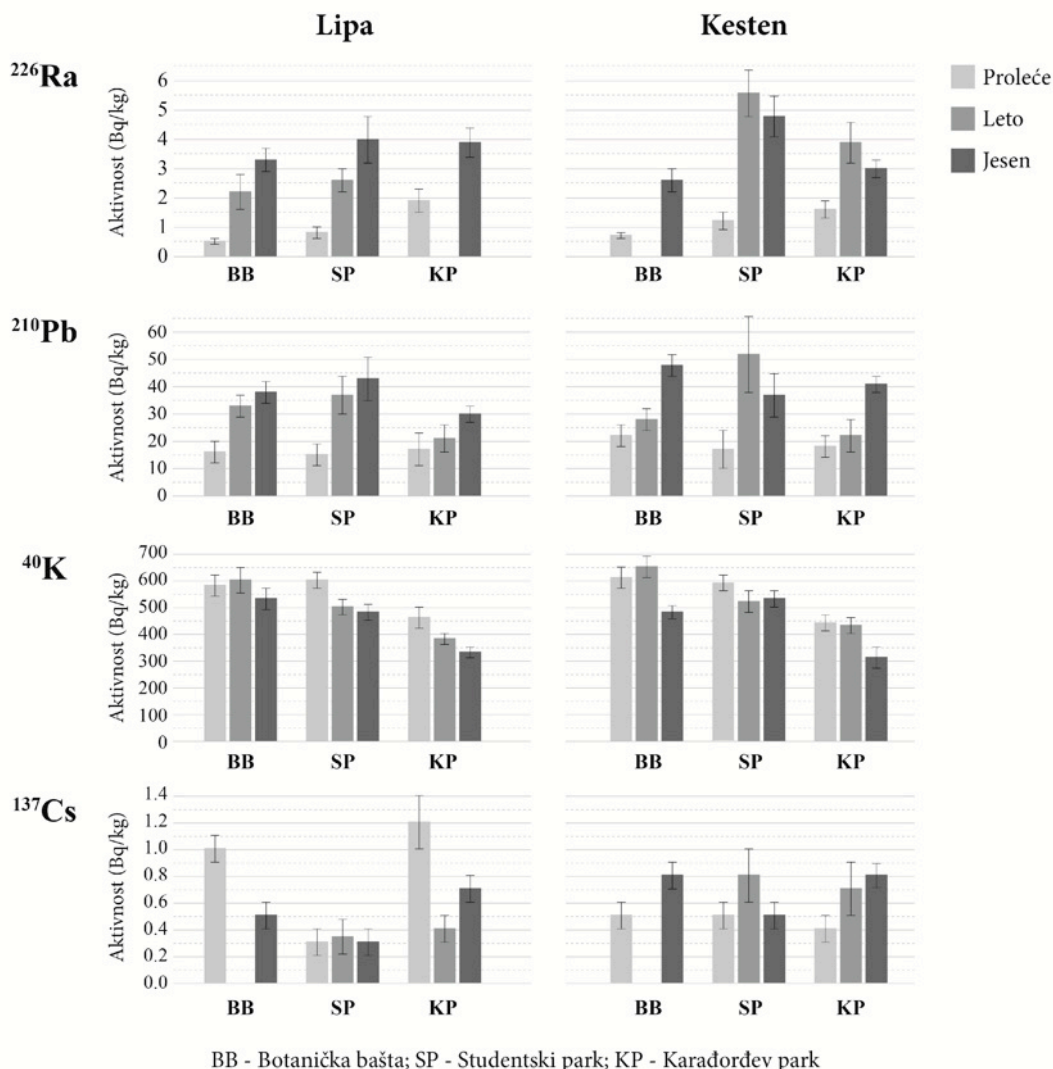
Radionuklid	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$
	(Bq kg <sup>-1</sup> suve materije)						
Min	2,7	0,13	0,5	15	1,8	310	0,3
Max	11,7	1,0	5,6	52	3,3	650	1,2
Mean	6,8	0,45	2,66	29,7	2,4	501	0,61
St.dev.	4,3	0,40	1,52	11,84	0,79	97,5	0,26
CV (%)	63	90	57	40	33	20	43
Std.Skewness	0,23	1,04	0,45	0,64	1,03	-0,825	1,34
Std.Kurtosis	-1,59	0,36	-0,61	-0,98	-	-0,416	0,135
<i>n</i>	4	4	16	18	3	18	16

Promene specifičnih aktivnosti radionuklida  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$  i  $^{137}\text{Cs}$  po sezonama i parkovima ilustrovane su na slici 1. Na ovoj slici, u svakom od parkova (BB, SP, KP) se može videti da se nivoi  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{210}\text{Pb}$  u lišću kestena i lipe povećavaju tokom vegetativnog perioda, a snižavaju u slučaju  $^{40}\text{K}$ , dok  $^{137}\text{Cs}$  nema jasnog trenda ponašanja. U svim pojedinačnim uzorcima suve materije lišća ( $n=18$ ), detekcija radionuklida  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{40}\text{K}$  je bila moguća i njihova specifična aktivnost se nalazila intervalu 15-52 Bq/kg i 310-650 Bq/kg, respektivno. Usvajanje kalijuma iz zemljišta, a time i njegovog izotopa  $^{40}\text{K}$  je neminovno. Međutim, u slučaju izotopa olova  $^{210}\text{Pb}$ , dodatni izvor u atmosferi predstavlja njegova produkcija putem raspada radionuklida  $^{222}\text{Rn}$  koji emanira iz zemljišta ili potencijalni izvor antropogenog porekla, pa zbog toga koncentracije  $^{210}\text{Pb}$  u biljnom materijalu ne mogu biti u direktnoj vezi sa koncentracijama u zemljištu jer se naknadno deponovanje  $^{210}\text{Pb}$  očekuje iz atmosfere [1-3] i čime se može tumačiti porast  $^{210}\text{Pb}$  tokom sezona (slika 1).

Iako je specifična aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  bila niska, u intervalu 0,5-5,6 Bq/kg, ovaj radionuklid je bio izmeren u svim uzorcima (osim u dva;  $n=16$ ) i svim sezonama. Radionuklid  $^{226}\text{Ra}$  (analog esencijalnom Ca) biljka često usvaja iz zemljišnih rastvora, pri čemu se on može detektovati u biljnom tkivu samo ukoliko je dovoljno mineralizovanog materijala dostupno za analizu. Za ovaj radionuklid je utvrđeno da ostaje inkorporiran u onom delu biljnog tkiva u koje je dospelo, što znači da se dalje ne distribuira u druge biljne organe [4], a što objašnjava njegovu akumulaciju u uzorcima lišća tokom vremena.

Za razliku od prethodno navedenih, radionuklidi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  su u većini uzoraka bili ispod minimalne detektabilne aktivnosti i samo su u letnjem i/ili jesenjem periodu po četiri uzorka lišća sadržali  $^{238}\text{U}$  (2,7-11,7 Bq/kg) i  $^{235}\text{U}$  (0,13-1,0 Bq/kg), a tri  $^{232}\text{Th}$  (1,8-3,3 Bq/kg). U sličnom intervalu aktivnosti su registrovani  $^{238}\text{U}$  (9-11 Bq/kg) i  $^{232}\text{Th}$  (9-16 Bq/kg) u lišću drveća tropskih predela i tada su istovremeno oba radionuklida detektovana i u uzorcima kore drveta, mada u užem intervalu aktivnosti (9-10 Bq/kg) [5]. Taj rezultat ukazuje da se  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  usvajaju putem korenovog sistema, a da zatim bivaju translocirani i akumulirani u drugim organima drveta kao što su listovi ili kora drveta. Poređenje se može izvršiti i sa aktivnostima prirodnih radionuklida uzoraka lišća

drveća i žbunja šumskih predela Potugalije (umereni pojas): 1,68-13 Bq/kg za  $^{238}\text{U}$ ; 0,08-0,58 Bq/kg za  $^{235}\text{U}$ ; 4,9-37,3 Bq/kg za  $^{226}\text{Ra}$ ; 10,3-20,3 Bq/kg za  $^{210}\text{Pb}$  i 0,08-1,10 Bq/kg za  $^{232}\text{Th}$ , pri čemu se ove aktivnosti nisu razlikovale među zimzelenim i listopadnim vrstama [6].



**Slika 1. Sezonske promene specifičnih aktivnosti radionuklida  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima lišća lipe i kestena u parkovima Beograda**

Sa slike 1. se vidi da je proizvedeni radionuklid  $^{137}\text{Cs}$  detektovan u većini uzoraka lišća (osim u dva;  $n=16$ ), nalazeći se u intervalu 0,3-1,2 Bq/kg, ali bez jasnog trenda ponašanja po sezonama. Za nadzemne delove listopadnog drveta hrasta (iz planinskog predela Bugarske) utvrđeno je da se kontaminacija radiocezijumom kretala u nizu: kora>grančice>lišće>grane>stablo, dok su vrednosti aktivnosti lišća bile u intervalu 3,2-4,6 Bq/kg [7]. Prisustvo  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima lišća iz parkova posledica je Černobiljskog akcidenta [3]. Ukoliko je radiocezijum u zemljištu dospelo u oblast rizosfere, stepen kontaminiranosti viših delova drveta zavisice od njegove mogućnosti usvajanja korenom [2]. Rezultat ovog ispitivanja pokazuje da u tom smislu nema razlike između vrsta kestena i lipe.



### 4. ZAKLJUČAK

Ispitivanje prirodnih radionuklida  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  i proizvedenog  $^{137}\text{Cs}$  u uzorcima lišća listopadnog drveća sakupljenim u tri gradska parka pokazalo je da je njihova detekcija moguća ukoliko je dovoljno mineralizovanog materijala dostupno za analizu. Za sve radionuklide, utvrđeno je da ne postoje razlike specifičnih aktivnosti između lišća kestena i lipe u okviru iste sezone. U toku vegetacionog perioda, vrednosti za  $^{40}\text{K}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u sezonama proleće, leto i jesen se nisu razlikovale, dok su vrednosti  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{210}\text{Pb}$  bile značajno manje u proleće u odnosu na leto i jesen. Takođe, kod svih radionuklida, specifične aktivnosti dobijene u letnjoj sezoni statistički se nisu razlikovale od onih dobijenih u jesenjoj. S obzirom da su svi radionuklidi (osim  $^{210}\text{Pb}$ ) usvojeni putem korena, a zatim translocirani u više delove drveća neophodno je ispitati povezanost izmerenih specifičnih aktivnosti u uzorcima lišća sa onim u detektovanim zemljištu.

### 5. ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta „Istraživanje klimatskih promena na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje“ (III43007) koji finansira Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije.

### 6. LITERATURA

- [1] N. Mitchell, D. Pérez-Sánchez, M.C. Thorne. A review of the behaviour of U-238 series radionuclides in soils and plants. *J. Radiol. Prot.* 33(2), 2013, R17-R48.
- [2] A. Kabata-Pendias, A. B. Mukherjee. Trace elements from soil to human. 2007. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [3] D. Todorović, D. Popović, J. Ajtić, J. Nikolić. Leaves of higher plants as biomonitors of radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$ ) in urban air. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 2013, 525-532.
- [4] The environmental behaviour of radium: revised edition, IAEA-TRS, No. 476. IAEA, Vienna, 2014.
- [5] P.K. Manigandan, B. Chandar Shekar. Uptake of some radionuclides by woody plants growing in the rainforest of Western Ghats in India. *J. Environ. Radioact.* 130, 2014, 63-67.
- [6] F. Carvalho, P. Fernando P., M.O. João, M. Margarida. Exposure to radionuclides in smoke from vegetation fires. *Sci. Total Environ.* 472, 2014, 421-424.
- [7] M. Zhiyanski et al. Cesium-137 contamination of oak (*Quercus petrae* Liebl.) from sub-mediterranean zone in South Bulgaria. *J. Environ. Radioact.* 101, 2010, 864-868.

**SEASONAL CHANGES OF NATURALLY OCCURRING  
RADIONUCLIDES AND FALLOUT  $^{137}\text{Cs}$  IN THE SAMPLES OF  
LEAVES OF DECIDUOUS TREES**

**Ivana VUKAŠINOVIĆ<sup>1</sup>, Dragana TODORVIĆ<sup>2</sup>, Jelena NIKOLIĆ<sup>2</sup>, Milica  
RAJACIĆ<sup>2</sup> and Jelena AJTIĆ<sup>3</sup>**

- 1) University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Belgrade-Zemun, Serbia,  
ivanavu@agrif.bg.ac.rs
- 2) Vinca Institute of Nuclear Sciences, Radiation and Environmental Protection  
Department, University of Belgrade, Serbia, beba@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs,  
milica100@vinca.rs
- 3) University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade, Serbia,  
jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs

**ABSTRACT**

The specific activity of naturally occurring radionuclides  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  and fallout  $^{137}\text{Cs}$  was measured in the samples of leaves of two deciduous tree species, chestnut (*Aesculus hippocastanum*) and linden (*Tilia spp.*) common for the Belgrade urban area. Samples were collected in the spring ( $n = 7$ ), summer ( $n = 2$ ) and autumn ( $n = 8$ ) during the vegetation period from 2002 to 2012. From each season, samples of leaves were combined according to two species and one single integral (seasonal) sample was obtained in order to improve detection efficiency of low gamma radiation level. Specific activities were determined using the gamma-ray spectrometry method.  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{40}\text{K}$  radionuclides were detected in all the samples of leaves and their specific activity was in the range (Bq/kg dry weight): 15 - 52 and 310 - 650, respectively. Although the  $^{226}\text{Ra}$  level was very low and in the range from 0.5 - 5.6 Bq/kg, this radionuclide has been measured in all samples (except in the two) and each season.  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  activity increased during the vegetation period and their highest values were found in the leaves of chestnut trees in the summer season. In contrast, the activity of  $^{40}\text{K}$  in the leaves of linden and chestnut has decreased. Detection  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  radionuclides was scarce and only in the summer and/or autumn. Four samples of leaves contained  $^{238}\text{U}$  (2.7 - 11.7 Bq/kg dry wt) and  $^{235}\text{U}$  (0.13 - 1.0 Bq/kg dry wt) and three of them  $^{232}\text{Th}$  (1.8 - 3.3 Bq/kg dry wt). Man-made radionuclide  $^{137}\text{Cs}$  (0.3-1.2 Bq/kg dry wt) was detected in all samples of leaves (except in two) and no clear trend according to seasons was found. The aim was to investigate the accumulation of naturally occurring radionuclides and fallout  $^{137}\text{Cs}$  in the leaves of deciduous trees and their potential variations during the vegetation period.