

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



# ЗБОРНИК РАДОВА

**XXVIII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Вршац  
30. септембар - 2. октобар 2015. године**

**Београд  
2015. године**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXVIII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
30.09-2.10.2015.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“

Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредник:

Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-135-1

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада: Гордана Пантелић, Јелена Станковић

Припрема завршена септембра 2015.

XXVIII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА  
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ  
Вршац, од 30.09. до 2.10.2015. године

Организатори:

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

**ИНСТИТУТ ЗА НУКЛЕАРНЕ НАУКЕ „ВИНЧА“**

**Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“**

Организациони одбор:

Председник: Гордана Пантелић

Чланови:

Маја Еремић Савковић  
Софија Форкапић  
Вера Спасојевић-Тишма  
Иван Кнежевић  
Јелена Пајић  
Данијела Аранђић  
Сандра Ђеклић  
Милица Рајачић  
Предраг Божовић  
Милош Живановић

Редакциони одбор:

Оливера Цирај-Бјелац  
Драгана Тодоровић  
Марко Нинковић  
Иштван Бикит  
Драгослав Никезић  
Невенка Антовић  
Душан Мрђа  
Миоаг Крмар  
Ивана Вуканац  
Мирјана Ђурашевић  
Марија Јанковић  
Владимир Удовичић  
Горана Ристић

Организацију су помогли:

Министарстви просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине

Излагачи:

Canberra Packard Central Europe GmbH.

ION d.o.o.

Bulevar Mihaila Pupina 11/53

11070 Novi Beograd, Srbija

Tel. +381 (0)11 6145-295

<http://www.ion.rs>

LKB Vertriebs GmbH, Predstavništvo Beograd

Svijićeva 115, RS-11120 Beograd

Tel. +381 (0)11 676 6711

Fax. +381 (0)11 675 9419

Web. [www.lkb.eu](http://www.lkb.eu)

ТИМ Цо.

Јована Рајића 5ц

11000 Београд

Тел: +381 11 2836-786, 2836-787

Фах: +381 11 2833-342

<http://www.timco.rs/>

*Овај Зборник је збирка радова саопштених на XXVIII Симпозијуму Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе који је одржан од 30.09. до 2.10.2015. године у Вршицу. Радови су разврстани по секцијама. Мада су сви радови у Зборнику рецензирани од стране Редакционог одбора, за све изнесене тврдње и резултате одговорни су сами аутори.*

*Југословенско друштво за заштиту од зрачења основано је 1963. године у Порторожу, а од 2005. године носи име Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе.*

*На претходном симпозијуму је Друштво обележило изузетан јубилеј – 50 година организоване заштите од зрачења на простору бивше Југославије. И ове године је Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе прилика да кроз стручни програм предочимо напредак у области заштите од зрачења, анализирамо досадашње резултате и актуелна дешавања, разменимо искуства са колегама из земље и региона, али и да сретнемо старе и упознамо нове пријатеље.*

*Организациони одбор се захваљује ауторима и коауторима научних и стручних радова на доприносу и уложеном труду. Посебно се захваљујемо спонзорима који су помогли одржавања Симпозијума.*

*Организациони одбор*

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

502:504.5]:539.16(082)(0.034.2)

614.875/.876(082)(0.034.2)

539.16.04(082)(0.034.2)

539.1.074/.08(082)(0.034.2)

577.1:539.1(082)(0.034.2)

ДРУШТВО за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе (Београд). Симпозијум (28  
; 2015 ; Вршац)

Зборник радова [Електронски извор] / XXVIII симпозијум ДЗЗСЦГ  
[Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе], Вршац, 30. септембар -  
2. октобар 2015. ; [организатори Друштво за заштиту од зрачења Србије и  
Црне Горе [и] Институт за нуклеарне науке Винча, Лабораторија за заштиту од  
зрачења и заштиту животне средине Заштита ; уредник Гордана Пантелић]. -  
Београд : Институт за нуклеарне науке "Винча" : Друштво за заштиту од  
зрачења Србије и Црне Горе, 2015 (Београд ; Институт за нуклеарне науке  
"Винча"). - 1 USB флеш меморија : текст ; 1 x 1 x 3 cm

Системски захтеви: Нису наведени. - Насл. са насловне стране документа. -  
Радови на срп. и енгл. језику. - Текст ћир. и лат. - Тираж 100. -  
Библиографија уз већину радова. - Abstracts. - Регистар.

ISBN 978-86-7306-135-1

а) Заштита од јонизујућег зрачења - Зборници б) Животна средина -  
Загађење радиоактивним материјама - Зборници с) Радиоактивно зрачење -  
Штетно дејство - Зборници д) Нејонизујуће зрачење - Штетно дејство -  
Зборници е) Радиобиологија - Зборници ф) Дозиметри - Зборници

COBISS.SR-ID 217821452

# PRIMENA SOFTVERA EFFTRAN U ANALIZI SPECIFIČNIH AKTIVNOSTI UZORAKA UGLJA, ŠLJAKE I PEPELA IZ TERMOELEKTRANA

**Aleksandar KANDIĆ<sup>1</sup>, Bojan ŠEŠLAK<sup>1</sup>, Mirjana ĐURAŠEVIĆ<sup>1</sup>, Milić ERIĆ<sup>2</sup>, Ivana VUKANAC<sup>1</sup>, Zoran MARKOVIĆ<sup>2</sup> i Zoran MILOŠEVIĆ<sup>1</sup>**

1) Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, akandic@vinca.rs

2) Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termostehniku i energetiku, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, milic@vinca.rs

## SADRŽAJ

*Ugalj, šljaka i pepeo iz termoelektrana sadrže prirodne radionuklide čije se specifične aktivnosti mogu odrediti pomoću poluprovodničke gama spektrometrijske analize. Ove specifične aktivnosti su uglavnom niske, pa se stoga uzorci mere na malim rastojanjima od detektora, gde su izraženi efekti koincidentnog sumiranja. U radu su prikazani korekcionni faktori za sumacione efekte za radionuklide iz uranovog ( $^{234m}\text{Pa}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{214}\text{Pb}$ ) i torijumovog niza ( $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  i  $^{208}\text{Tl}$ ) dobijeni primenom softvera EFFTRAN, kao i korigovane vrednosti specifičnih aktivnosti.*

## 1. Uvod

Pouzđano određivanje specifičnih aktivnosti radionuklida u uzorcima iz okoline zahtevaju dobro definisanu proceduru uzorkovanja, odgovarajuće tehnike pripreme i merenja uzoraka, kao i sveobuhvatnu analizu dobijenih rezultata. Specifične aktivnosti uzoraka iz okoline su uglavnom niske, pa se stoga uzorci mere na malim rastojanjima od detektora, gde su izraženi efekti koincidentnog sumiranja. Ovi efekti su naročito izraženi kod visokoeffikasnih poluprovodničkih germanijumskih detektora širokog energetskog opsega i ne mogu se zanemariti. Zbog toga, za pouzdano određivanje specifičnih aktivnosti radionuklida u uzorcima iz okoline, neophodno je odrediti i korekzione faktore za koincidentno sumiranje kod prirodnih radionuklida.

Korekcionni faktori za koincidentno sumiranje zavise od vrste uzorka, geometrije merenja i karakteristika samog detektora, tako da korišćenje nekih opštih tablica sa korekcionnim faktorima, kao što su Debertain i Schötzig [1], ne daje dovoljno precizane rezultate. Međutim, postoje brojni numerički programi zasnovani na Monte Carlo proračunima, kao što su GESPECOR, ETNA, EFFTRAN, ANGLE, pomoću kojih je moguće za svaki konkretan slučaj izračunati ove faktore.

U radu su prikazani korekcionni faktori za sumacione efekte za radionuklide iz uranovog ( $^{234m}\text{Pa}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{214}\text{Pb}$ ) i torijumovog niza ( $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  i  $^{208}\text{Tl}$ ). Korekcionni faktori su dobijeni za matrikse uglja, šljake i pepela, smeštene u cilindrične PVC kutije od 125 ml i poluprovodnički HPGe spektrometar p-tipa, primenom softvera EFFTRAN [2], kao i korigovane vrednosti specifičnih aktivnosti.

## 2. Ugalj, šljaka, pepeo

Ugalj kao sedimentna stena organskog porekla osim ugljenika i ugljovodonika, između ostalog sadrži i tragove radionuklida iz uranovog i torijumovog niza. Upravo zbog toga što sadrži prirodne radionuklide, ugljalj se može svrstati u NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), kao uostalom i šljaka i pepeo, odnosno, nesagorivi i nesagoreli ostatak pri sagorevanju uglja. U slučaju kada se odlazu u životnu sredinu mogu dovesti do uvećanja i/ili promene raspodele sadržaja prirodnih radionuklida. Takođe, treba imati

u vidu i činjenicu da u Srbiji svake godine nastaje više miliona tona šljake i pepela kao produkata sagorevanja uglja u termoelektranama, od čega se samo mali deo koristi u građevinske svrhe. Ipak, prema nekim autorima [3], potrebno je da se u Republici Srbiji šljaka i elektrofilterski pepeo upotrebljavaju u većim količinama u građevinarstvu, putogradnji i kao sirovina za proizvodnju građevinskog materijala. Međutim, bez obzira da li se šljaka ili pepeo odlažu na deponije ili se upotrebljavaju u građevinske svrhe potrebno je pouzdano odrediti njihove specifične aktivnosti. Da bismo dobili što pouzdanije rezultate merenja specifičnih aktivnosti šljake i pepela koristili smo i softver EFFTRAN [2] pomoću koga su određeni korekcionni faktori za sumacione efekte kod radionuklida iz uranovog i torijumovog niza.

### 3. Softver EFFTRAN

Softver EFFTRAN [2] je numerički Monte Carlo program zasnovan na metodi transfera efikasnosti [4], u kojoj se za određivanje totalne efikasnosti koristi ili gausijanska ili Monte Carlo integracija po zapremini detektora i uzorka. Njegovom primenom mogu da se odrede i korekcionni faktori za koincidentno sumiranje. Ulazni podaci koje koristi EFFTRAN [2] su parametri detektora koji se obično nalaze u specifikaciji proizvođača, a to su: dimenzije i materijal kristala, držača kristala, kućišta i prozora detektora kao i debljina mrtvog sloja. Takođe, kao ulazni podaci, potrebni su i parametri koji se odnose na uzorak, a koji uključuju dimenzije i materijal posude u kojoj se nalazi uzorak, količinu tj. masu i visinu punjenja, kao i hemijski sastav uzorka.

### 4. Uzorkovanje i priprema uzoraka

Tokom periodičnih testova na jedinici A2 termoelektrane “Nikola Tesla”, koja su obavljena krajem septembra 2012. godine, prikupljena su i analizirana po tri uzorka uglja i šljake, kao i šest uzoraka pepela. Ugalj je uzorkovan na dodavačima uglja, pre procesa mlevenja i sušenja uglja u mlinskim postrojenjima. Šljaka je prikupljena tokom procesa transporta iz kotlovskeg postrojenja ka deponiji, dok je leteći pepeo prikupljen iz levkova elektrofilterskog postrojenja.

Uzorci za analizu su pripremljeni (mlevenje, sušenje, prosejavanje) odgovarajućim standardnim metodama u Laboratoriji za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke “Vinča”, gde su obavljene i laboratorijske analize. U akreditovanoj Laboratoriji za nuklearnu i plazma fiziku Instituta za nuklearne nauke “Vinča” pripremljeni uzorci smešteni su u cilindrične PVC kutije od 125 ml, zatopljeni prirodnim voskom i skladišteni tokom šest nedelja, da bi se uspostavila radioaktivna ravnoteža između  $^{226}\text{Ra}$  i njegovih potomaka. U zavisnosti od gustine, u kutije su smešteni uzorci čije su mase bile u opsegu od 73.91 g do 105.17 g. Srednje vrednosti gustina koje su korišćene u softveru EFFTRAN za određivanje korekcionnih faktora za koincidentno sumiranje su:  $0.420 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.617 \text{ g/cm}^3$  i  $0.758 \text{ g/cm}^3$ , za ugalj, šljaku i pepeo, respektivno.

### 5. Gamaspktrometrijska merenja

Uzorci uglja, šljake i pepela mereni su na poluprovodničkom HPGe spektrometru (ORTEC GEM-30,  $\epsilon_r = 37 \%$ ,  $FWHM = 1.8 \text{ keV}$ ), kalibrisanom pomoću odgovarajućih standarda spajkovanih uobičajenom smešom veštačkih radionuklida. Merenja su trajala između 70 000 s i 250 000 s da bi se postigla prihvatljiva statistička greška.

Specifična aktivnost  $^{238}\text{U}$  određena je preko potomka  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  (1001.01 keV i 766.42 keV), uz korekciju za doprinos  $^{214}\text{Bi}$  (768.36 keV), uz dodatnu proveru određivanjem



specifične aktivnosti potomka  $^{234}\text{Th}$  (63.3 keV). Specifična aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  određena je analizom pika na energiji 186.21 keV uz korekciju za doprinos  $^{235}\text{U}$  (185.72 keV), uz dodatnu proveru određivanjem specifičnih aktivnosti potomaka  $^{214}\text{Pb}$  (295.21 keV i 351.92 keV), kao i  $^{214}\text{Bi}$  (609.31 keV, 1120.29 keV i 1764.49 keV). Specifična aktivnost  $^{235}\text{U}$ , potrebna za određivanje doprinosa  $^{235}\text{U}$  u analizi pika  $^{226}\text{Ra}$  na energiji 186.21 keV, određena je analizom pika na energiji 143.77 keV. Specifična aktivnost  $^{232}\text{Th}$  određena je preko potomka  $^{228}\text{Ac}$  (911.16 keV i 968.97 keV) uz dodatnu proveru određivanjem specifične aktivnosti potomka  $^{224}\text{Ra}$  (240.99 keV) uz korekciju za doprinos  $^{214}\text{Pb}$  na energiji (242.00 keV), kao i specifičnih aktivnosti potomaka  $^{212}\text{Pb}$  (238.58 keV),  $^{212}\text{Bi}$  (727.25 keV) i  $^{208}\text{Tl}$  (583.19 keV i 860.56 keV).

## 6. Korekcionni faktori za sumacione efekte dobijeni pomoću softvera EFFTRAN

Za potrebe analize specifičnih aktivnosti uzoraka uglja, šljake i pepela iz termoelektrane "Nikola Tesla", određeni su korekcionni faktori za sumacione efekte za radionuklide iz uranovog i torijumovog niza, za poznate parametre analiziranih uzoraka i koaksijalnog poluprovodničkog HPGe detektora p-tipa, korišćenjem softvera EFFTRAN [2]. U Tabeli 1. prikazane su vrednosti korekcionnih faktora za energije koje su korišćene u analizi specifičnih aktivnosti za pojedine radionuklide iz uranovog i torijumovog niza.

**Tabela 1. Vrednosti korekcionnih faktora za energije koje su korišćene u analizi specifičnih aktivnosti za pojedine radionuklide iz uranovog i torijumovog niza**

Radionuklidi	Energija [keV]	Korekcionni faktori		
		Ugalj	Šljaka	Pepeo
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	766.42	1.003	1.003	1.003
	1001.01	0.996	0.997	0.996
$^{234}\text{Th}$	63.3	1.000	1.000	1.000
$^{226}\text{Ra}$	186.21	1.000	1.000	1.000
$^{214}\text{Bi}$	609.31	1.092	1.096	1.094
	768.36	1.112	1.117	1.115
	1120.29	1.100	1.104	1.102
	1764.49	0.997	0.998	0.998
$^{214}\text{Pb}$	242.00	1.001	1.001	1.001
	295.21	1.000	1.000	1.000
	351.92	1.001	1.001	1.001
$^{228}\text{Ac}$	911.16	1.021	1.022	1.022
	968.97	1.021	1.022	1.022
$^{224}\text{Ra}$	240.99	1.000	1.000	1.000
$^{212}\text{Pb}$	238.58	1.000	1.000	1.000
	300.09	1.049	1.048	1.048
$^{212}\text{Bi}$	727.25	1.028	1.029	1.028
$^{208}\text{Tl}$	583.19	1.112	1.116	1.114
	860.56	1.032	1.035	1.034
$^{235}\text{U}$	143.77	1.006	1.006	1.006
	185.72	1.006	1.006	1.006

## 7. Rezultati primene softvera EFFTRAN za određivanje specifičnih aktivnosti pojedinih radionuklida iz uranovog i torijumovog niza

Specifične aktivnosti pojedinih radionuklida iz uranovog i torijumovog niza u analiziranim uzorcima korigovane su na koincidentno sumiranje, a srednje nekorigovane i korigovane vrednosti sa proširenim mernim nesigurnostima prikazane su u Tabelama 2. i 3. za uranov, a u Tabelama 4. i 5. za torijumov niz. Treba napomenuti da je specifična aktivnost  $^{208}\text{Tl}$  normirana za faktor granjanja 0.3593 da bi mogla da se poredi sa specifičnim aktivnostima ostalih radionuklida iz torijumovog niza.

Nesigurnosti merenja mase ( $< 0,2\%$ ) i kalibracije efikasnosti ( $5\%$ ), kao i statistička nesigurnost ( $< 30\%$ ) uključene su u proširenu mernu nesigurnost sa faktorom  $k = 1$ . Srednje vrednosti i njihove proširene merne nesigurnosti dobijene su na osnovu utežnjene aritmetičke sredine uzimajući za težinske faktore proširene merne nesigurnosti uzoraka.

**Tabela 2. Nekorigovane srednje vrednosti sa proširenim mernim nesigurnostima sa faktorom  $k = 1$ , za specifične aktivnosti radionuklida iz uranovog niza**

Radionuklid	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$
Uzorak	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
Ugalj	$31.0 \pm 4.7$	$39.1 \pm 3.6$	$33.8 \pm 2.2$	$36.8 \pm 1.5$	$33.2 \pm 1.8$
Šljaka	$50.8 \pm 7.8$	$54.6 \pm 3.9$	$53.1 \pm 4.1$	$52.6 \pm 2.1$	$48.0 \pm 2.5$
Pepeo	$93.6 \pm 8.8$	$103.3 \pm 8.3$	$101.7 \pm 6.5$	$104.1 \pm 4.5$	$95.5 \pm 4.3$

**Tabela 3. Korigovane srednje vrednosti sa proširenim mernim nesigurnostima sa faktorom  $k = 1$ , za specifične aktivnosti radionuklida iz uranovog niza**

Radionuklid	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$
Uzorak	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
Ugalj	$34.3 \pm 5.2$	$39.1 \pm 3.6$	$33.7 \pm 2.2$	$36.8 \pm 1.5$	$35.6 \pm 1.9$
Šljaka	$57.0 \pm 8.8$	$54.6 \pm 3.9$	$52.8 \pm 4.1$	$52.6 \pm 2.1$	$52.7 \pm 2.7$
Pepeo	$104.6 \pm 10.0$	$103.3 \pm 8.3$	$101.0 \pm 6.5$	$104.2 \pm 4.5$	$104.4 \pm 5.1$

**Tabela 4. Nekorigovane srednje vrednosti sa proširenim mernim nesigurnostima sa faktorom  $k = 1$ , za specifične aktivnosti radionuklida iz torijumovog niza**

Radionuklid	$^{228}\text{Ac}$	$^{224}\text{Ra}$	$^{212}\text{Pb}$	$^{212}\text{Bi}$	$^{208}\text{Tl}^*$
Uzorak	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
Ugalj	$24.6 \pm 1.6$	$23.9 \pm 1.8$	$26.2 \pm 2.4$	$25.3 \pm 2.7$	$25.3 \pm 1.6$
Šljaka	$34.4 \pm 2.3$	$35.0 \pm 2.6$	$35.3 \pm 2.1$	$37.1 \pm 3.2$	$33.5 \pm 2.0$
Pepeo	$75.2 \pm 2.8$	$74.9 \pm 3.6$	$77.4 \pm 3.4$	$75.0 \pm 3.6$	$68.3 \pm 2.7$

\* specifična aktivnost  $^{208}\text{Tl}$  normirana za faktor granjanja 0.3593

**Tabela 5. Korigovane srednje vrednosti sa proširenim mernim nesigurnostima sa faktorom  $k = 1$ , za specifične aktivnosti radionuklida iz torijumovog niza**

Radionuklid	$^{228}\text{Ac}$	$^{224}\text{Ra}$	$^{212}\text{Pb}$	$^{212}\text{Bi}$	$^{208}\text{Tl}^*$
Uzorak	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]
Ugalj	$25.2 \pm 1.6$	$23.9 \pm 1.8$	$26.4 \pm 2.4$	$25.9 \pm 2.7$	$27.5 \pm 1.8$
Šljaka	$35.5 \pm 2.4$	$35.0 \pm 2.6$	$35.5 \pm 2.1$	$38.4 \pm 3.3$	$37.9 \pm 2.3$
Pepeo	$76.7 \pm 2.9$	$74.9 \pm 3.6$	$77.7 \pm 3.4$	$77.4 \pm 3.8$	$77.1 \pm 3.3$

\* specifična aktivnost  $^{208}\text{Tl}$  normirana za faktor granjanja 0.3593

Na osnovu analize korigovanih specifičnih aktivnosti radionuklida iz uranovog i torijumovog niza u analiziranim uzorcima prikazanih u tabelama može se zaključiti da su vrednosti dobijene za specifične aktivnosti međusobno konzistentne, naročito za uranov niz, uzimajući u obzir proširene merne nesigurnosti, što donekle nije slučaj za nekorigovane vrednosti. Drugim rečima, primenom softvera EFFRTAN mogu se dobiti pouzdanije vrednosti za specifične aktivnosti radionuklida iz uranovog i torijumovog niza u analiziranim uzorcima sa relativno niskim specifičnim aktivnostima.

## 8. Zaključak

U ovom radu su prikazani korekcionni faktori za sumacione efekte za radionuklide iz uranovog ( $^{234\text{m}}\text{Pa}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{214}\text{Pb}$ ) i torijumovog niza ( $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  i  $^{208}\text{Tl}$ ) dobijeni primenom softvera EFFTRAN [2]. Takođe, prikazane su i korigovane srednje vrednosti specifičnih aktivnosti uzoraka uglja, šljake i pepela iz termoelektrane "Nikola Tesla".

Na osnovu analize korigovanih specifičnih aktivnosti radionuklida iz uranovog i torijumovog niza u analiziranim uzorcima prikazanih u tabelama može se zaključiti da su vrednosti dobijene za specifične aktivnosti međusobno konzistentne, naročito za uranov niz, uzimajući u obzir proširene merne nesigurnosti, što donekle nije slučaj za nekorigovane vrednosti. Drugim rečima, primenom softvera EFFRTAN [2] mogu se dobiti pouzdanije vrednosti za specifične aktivnosti radionuklida iz uranovog i torijumovog niza u analiziranim uzorcima sa relativno niskim specifičnim aktivnostima.

## Zahvalnica

Autori zahvaljuju na finansijskoj podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata: Nuklearna fizika, metode i primena (171018) i Smanjenje aerozagađenja iz termoelektrana u JP "Elektroprivreda Srbije" (III-42010).

## 9. Literatura

- [1] Debertin, K., Schötzig, U., 1990. Bedeutung von Summationskorrekturen bei der Gammastrahlen-Spektrometrie mit Germaniumdetektoren. PTB-Bericht PTB- Ra-24, Braunschweig ISSN0 341-6747 , ISBN 3-89429-010-2.
- [2] T. Vidmar. EFFTRAN—A Monte Carlo efficiency transfer code for gamma-ray spectrometry. *Nucl. Instrum. Meth. A* 550 (2005) 603-608.
- [3] <http://www.slideshare.net/anadosen/upotreba-elektrofilterskog-pepla-i-sljake-proizvedenih-iz-termoenergetskih-postrojenja-ljljana-tanasijevi>
- [4] L. Moens, J. De Donder, X. Lin, F. De Corte, A. De Wispelaere, A. Simonits, J. Hoste. Calculation of the absolute peak efficiency of gamma-ray detectors for different counting geometries. *Nucl. Instrum. Meth.* 187 (1981) 451-472.

## APPLICATION OF SOFTWARE EFFTRAN IN RADIOLOGICAL ANALYSIS OF COAL, SLAG AND ASH SAMPLES FROM THERMAL POWER PLANTS

**Aleksandar KANDIĆ<sup>1</sup>, Bojan ŠEŠLAK<sup>1</sup>, Mirjana ĐURAŠEVIĆ<sup>1</sup>, Milić ERIĆ<sup>2</sup>,  
Ivana VUKANAC<sup>1</sup>, Zoran MARKOVIĆ<sup>2</sup> and Zoran MILOŠEVIĆ<sup>1</sup>**

*1) Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Laboratory for Nuclear and Plasma Physics,  
University of Belgrade, Belgrade, Serbia, akandic@vinca.rs*

*2) Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Laboratory of Thermal Engineering and  
Energy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, milic@vinca.rs*

### ABSTRACT

Coal, slag and ash from thermal power plants contain natural radionuclides whose specific activity could be determined by semiconductor gamma spectrometry. These specific activities are generally low, and therefore the samples should be measured at small distances from the detector, where coincidence summing effect are very pronounced. The corrections factors, obtained by using software EFFTRAN, for coincidence summing effects in the case of radionuclides from uranium ( $^{234m}\text{Pa}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  and  $^{214}\text{Pb}$ ) and thorium ( $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  and  $^{208}\text{Tl}$ ) serie are presented in this paper, as well as corrected values for specific activities.