



Metrološki problemi određivanja radionuklida u uzorcima iz životne sredine

Gordana Đurić¹, Dragana Popović², Dragana Todorović³, Jelena Ajtić⁴

Kratak sadržaj. U radu se razmatraju problemi određivanja aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine obzirom na metode sakupljanja uzoraka, metode za određivanje aktivnosti radionuklida, tehničke karakteristike i kalibraciju merila i opšte uslove merenja. Ukazano je na prednost metode reprezentativnog uzorka i bio-indikatora za određene radionuklide u odnosu na metodu slučajnog uzorka. U opštem slučaju, radiohemijske metode imaju veći procenat gubitaka radionuklida u toku pripreme uzorka i samog merenja ali su često osjetljivije, dok se kod spektrometrije gama zračenja isti stepen osjetljivosti postiže produženjem vremena merenja i povećanjem mase uzorka. Ovo s druge strane može predstavljati značajan izvor greške, posebno kod merenja niskih aktivnosti, pre svega prirodnih radionuklida zbog varijacija nivoa prirodnog zračenja u toku merenja. Značajni izvori grešaka mogu poticati i od nehomogenosti uzorka i geometrije merenja, jer su neke geometrije merenja pogodnije u datim uslovima merenja, obzirom na specifičnu gustinu matriksa (nosača radionuklida) i nivo aktivnosti radionuklida. Hemijski sastav i geometrija referentnih standardnih materijala u odnosu na sastav i geometriju merenja uzorka mogu predstavljati dodatni izvor greške. Minimizacija ukupne greške merenja postiže se standardizacijom merila i metoda merenja u okviru postupaka interkalibracije i interkomparacije.

Some problems in radionuclide activity determination in environmental samples

Abstract. The paper reviews some of the basic problems in radionuclide activity determination in environmental samples. Problems arise from procedures of sampling and sample preparation, technical characteristics and calibration of measuring instruments, data processing and presentation. Advantages of the representative sample method and bioindicators over the random sample method are

¹ dr Gordana Đurić, redovni profesor, Katedra za radiologiju i radiacionu higijenu, Fakultet veterinarske medicine, Bul.JA 18, 11000 Beograd

² dr Dragana Popović, vanredni profesor, Katedra za fiziku, Fakultet veterinarske medicine

³ mr Dragana Todorović, istraživač, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Institut za nuklearne nauke Vinča, P.fax 522, 11001 Beograd

⁴ Jelena Ajtić, asistent-pripravnik, Katedra za fiziku, Fakultet veterinarske medicine

accentuated with regard to certain radionuclides. Significant errors in radiochemical methods occur due to losses during sample preparation and measurement. In general, radiochemical methods are more sensitive than gamma radiation spectrometry methods. The same level of sensitivity is achieved by prolonging the measurement period and/or by increasing the sample mass which can be a significant source of error particularly in low activity measurements of natural radionuclides because of natural radiation level variations during measurements. Significant error sources can also stem from non-homogeneity of the sample and measurement geometry. Some measurement geometries are more suitable than others which depends on the specific density of their matrix (radionuclide carrier) and the activity level of radionuclides. Differences in the chemical composition and the geometry between reference materials and the sample can additionally generate errors. Total measurement error is minimized by the standardization of instruments and measurement methods resulting from intercalibration and intercomparison procedures. The importance of Quality Control and Quality Assurance program implementation is emphasized.

1. Uvod

Metode za kvalitativno (identifikacija radionuklida) i kvantitativno određivanje radionuklida (određivanje aktivnosti) zasnivaju se na fizičkim i hemijskim osobinama radionuklida i zakonima interakcije zračenja sa materijalnom sredinom - detektorom zračenja, i shodno tome mogu se podeliti na hemijske, fizičke ili fizičko-hemijske [1]

Osnova hemijskih metoda su hemijske reakcije pomoću kojih se dati radionuklid izdvaja od ostalih komponenti iz matriksa (nosača radionuklida) i to u obliku najpogodnijem za dalja merenja - kao talog, tečna faza ili gas. Različiti uzorci iz životne sredine (mleko, seno ili zemlja) zavisno od hemijskog sastava zahtevaju različite metode ili modifikaciju jedne iste metode, da bi se sprečila hemijska reakcija hemijskih elemenata matriksa i radionuklida, koji se određuje, jer to, pored gubitaka radionuklida u toku same reakcije, može biti značajan izvor greške.

Osnova fizičkih metoda jesu principi interakcije jonizujućeg zračenja i detekcione sredine merila. Na ovaj način aktivnost radionuklida se određuje sa ostalim komponentama uzorka, bez moguće hemijske reakcije, ali uz greške koje potiču od sakupljanja uzoraka, određivanja nivoa osnovnog zračenja u okolini merila, tehničkih ograničenja samog merila i sl.

Kombinovane fizičke i hemijske metode koriste se uglavnom za određivanje aktivnosti radionuklida koji emituju alfa i beta zračenje. Radionuklid čiju aktivnost zbog fizičkih karakteristika alfa i beta zračenja nije moguće meriti u nativnom uzorku, izdvaja se iz uzorka i metodom hemijske separacije i elektrodepozicije, formira kao tankoslojni radioaktivni izvor.

Međutim, svaka od pomenutih metoda daje konačan rezultat merenja sa određenom greškom koja se može minimizirati određenim postupcima. Izvori grešaka mogu se klasifikovati pre svega prema metodama sakupljanja uzoraka i metodama merenja.

U odnosu na metode sakupljanja uzoraka, glavni izvori grešaka odnose se na izbor, vrstu, broj ili količinu uzorka, način sakupljanja, pakovanja i dopremanja

uzorka u laboratoriju, obradu i pripremu uzorka za merenje, odlaganje i skladišćenje uzoraka, u slučaju eventualnih ponovljenih merenja. U odnosu na metode merenja, glavni izvori grešaka odnose se na izbor metode obzirom na njenu osetljivost (granice detekcije), pouzdanost i reproducibilnost, izbor merila, obzirom na opšte tehničke karakteristike (tačnost, stabilnost i sl.), određivanje posebnih karakteristika merila (kalibracija na energiju, određivanje geometrijske efikasnosti, određivanje nivoa osnovnog zračenja u okolini detektora i dr.) [2,3,4]

Cilj ovog rada je da ukaže na najčešće probleme i izvore grešaka pri određivanju aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine. Obzirom da su neki od njih često obrađivani u naučnoj i stručnoj literaturi, više ćemo se zadržati na onima koji se često zanemaruju u proceni ukupne greške, a mogu je značajno povećati.

2. Greške metoda sakupljanja i pripreme uzoraka za merenje

Metode sakupljanja uzoraka uslovljena je pre pitanjem da li se uzorci prikupljaju u cilju rutinske kontrole u okviru monitoringa, u redovnim ili vanrednim situacijama, za potrebe izučavanje migracije radionuklida, ili određivanje brzine izlučivanja iz organizma. Pri određivanju aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine greške koje potiču od sakupljanja uzoraka pre svega se odnose na:

- izbor reprezentativnog uzorka ili bioindikatora,
- metode sakupljanja uzoraka,
- izbor broja ili mase uzorka,
- metode dopremanja, skladišćenja i čuvanja uzoraka,
- određivanje mase uzorka i procenta mineralnog ostatka,
- pripremu uzoraka za merenje,
- ekstrapolacija rezultata određivanja aktivnosti radionuklida sa mineralnog ostatka na svež uzorak.

U cilju dobijanja pouzdanog i reproducibilnog rezultata, uzorci iz životne sredine u kojima se određuje aktivnost radionuklida treba da u najboljoj meri reprezentuju datu sredinu. Na primer, kao reprezentativni uzorak mleka preporučuje se 1 litar mleka na 10 000 l, dok broj uzoraka tla mora biti proporcionalan površini zemljišta određene konfiguracije i hemijskog sastava, uz precizno određenu dubinu i debljinu sloja. Za određivanje površinske ili strukturne kontaminacije treba izabrati deo biljke koji najviše sakuplja dati radionuklid (list, koren, stablo). Kod pojedinih namirnica (mleko, meso) potrebno je odrediti i procenat masnog tkiva i vode. Uzorci vode različito se uzimaju kod tekućih i stajaćih voda, a koncentracija radionuklida različita je u površinskom i srednjem sloju ili pri dnu, pri čemu treba voditi računa i o vremenu depozicije [5].

Za pojedine sisteme i faze u životnoj sredini najbolje je radionuklide odrediti preko tzv. bioindikatora - bioloških organizama ili vrsta koji koncentrišu pojedine radionuklide (lišajevi, mahovine, gljive, zoo i fito plankton, školjke, pojedine vrste riba, med), posebno u vanrednim situacijama. Pri određivanju radioekološke situacije u normalnim uslovima, metoda slučajnog izbora (random sample method) ima određenu prednost, jer svaki deo ekološkog sistema ili celine ima podjednaku verovatnoću da bude izabran. Međutim, u tom slučaju značajan faktor je godišnje

doba kada se uzorci sakupljaju, zbog sezonskih varijacija u koncentracijama pojedinih radionuklida, pre svega prirodnih, u pojedinim fazama životne sredine .

Fizičke (agregatno stanje), hemijske (organski ili neorganski sastav) i biološke karakteristike (faza u razvoju biljke, starost organizma) pojedinih bioloških sistema i faza životne sredine i njihove sezonske promene takođe uslovljavaju način sakupljanja, količinu i broj uzoraka. Količina ili broj uzoraka organskog porekla mora da bude veća nego u slučaju neorganskih uzoraka, obzirom velikog procenta vode, od 70-90% [6]. Optimalni broj uzoraka u količini od 1 kg do 10 kg je šest. Količina tečnih uzoraka zavisi od vrste tečnog uzorka i metode merenja i iznosi od 1 l do 100 l za određene radiohemijske metode (elektrohemijska depozicija kod određivanja alfa emitera). Metoda merenja uslovljava obradu i pripremu uzoraka.

Materijal ambalaže u kojoj se uzorci dopremaju, odlažu i skladište ne sme da bude uzrok gubicima u sadržaju radionuklida (apsorpcija na zidovima suda). Zato se koriste posude od plastičnih masa ili papirna ambalaža za uzorke vegetacije, dok su staklo i metal isključeni. Način dopremanja zavisi od toga da li uzorak pri merenju treba da zadrži vlagu koju je imao u nativnom stanju ili ne. U prostorijama za odlaganje i skladišćenje uzoraka treba održavati i kontrolisati ambijentalne uslove (temperatura, vlažnost, pH), što je od posebnog značaja kod ponovljenih merenja u dužim vremenskim intervalima.

3. Priprema uzoraka za radiometriju

Priprema uzorka za radiometriju može imati za posledicu veći ili manji gubitak radionuklida obzirom na izabranu metodu i fizičke i hemijske osobine radionuklida (isparljivost, adsorpcione osobine, hemijska reaktivnost). Priprema uzoraka u svežem stanju obično zahteva sušenje, usitnjavanje, homogenizaciju i pripremu uzorka kao radioaktivnog izvora određene geometrije. U nativnom stanju se mere uzorci srednjih i viših aktivnosti radionuklida, reda veličine desetine Bq. Obično su to radionuklidi - gama emiteri čija se aktivnost određuje metodom spektrometrije gama zračenja. Ovo su uzorci »velike« mase i zapremine (300 g do 1000 g). u standardnoj ili ne standardnoj kontakt geometriji (Marinelli plastična posuda, PVC cilindrične posude, plastične boce).

Postupak mineralizacije primenjuje se za uzorke niskih aktivnosti radionuklida, da bi se postiglo koncentrisanje radionuklida. Kod radiohemijskih metoda, postupak mineralizacije i neadekvatna procena prinosa reakcije može usloviti grešku od 10-100% za lako isparljive radionuklide. Kod organskih uzoraka i vode, uzorci se suše do konstantne mase, čime se oslobađa slobodna voda, a zatim se sagorevanjem organske materije oslobađa i hemijski vezana voda i razara organska materija koja može biti smetnja pri određivanju radionuklida niskih aktivnosti i energija. Mineralizacija se može obaviti suvim ili vlažnim postupkom. Suva mineralizacija obuhvata sušenje uzorka do 105°C, i sagorevanje organske supstance na temperaturi koja obezbeđuje najmanje gubitke u sadržaju datog radionuklida (optimalno oko 400°C). Na veličinu greške ovim postupkom utiču masa uzorka koji se mineralizuje, stabilnost temperature i vreme mineralizacije. Optimalna masa suvog ostatka pri mineralizaciji organskih uzoraka jeste 100 g – 300 g; dok je za vodu to 100 ml na 70 °C – 80 °C (pri ovim uslovima, za vreme mineralizacije od 3 h - 6 h u porcelanskim gledosanim sudovima, gubitak Cs-137 iznosi oko 3%.)⁽⁷⁾

Postupak vlažne mineralizacije primenjuje se pri određivanju aktivnosti radionuklida sa niskom tačkom isparavanja, za radionuklide – alfa emitere i one koji se iz uzorka izdvajaju hemijskim postupcima (elektrodepozicija, taložne i ekstrakcione metode) U ovom postupku koriste se jake neorganske kiseline (smeše azotne, perhlorne i sumporne kiseline), organska jedinjenja (glicerol, alkohol) i vodonikperoksid. Vlažna mineralizacija ima izvesne prednosti nad suvom. Gubitak za Sr-90 je u proseku manji od 3% ; za Cs-137 je oko 5% u odnosu na 9% pri suvoj mineralizaciji (na 450°C). Optimalna masa uzorka iznosi oko 200g, jer je temperatura mineralizacije uvek veća u unutrašnjosti uzorka za uzorke veće mase i debljine. U svakom slučaju, granična temperatura mora biti ispod tačke isparavanja, a sam proces mineralizacije postepen u dužem vremenskom intervalu. Određivanje procenta mineralnog ostatka, i greške merenja mase su od posebnog značaja za uzorke ispod 1 g [7]

4. Metode određivanja radionuklida u uzorcima iz životne sredine: kriterijumi za izbor metode i izvori grešaka

Parametri koji određuju izbor najpogodnije metode za merenje radionuklida u datim uzorcima iz životne sredine istovremeno predstavljaju i glavne izvore grešaka u ovim merenjima. To su:

- specifičnosti date metode merenja i određivanje statističke greške merenja
- određivanje osetljivosti metode odnosno granice detekcije za datu metodu
- određivanje radiohemijskog prinosa kod radiohemijskih metoda za izdvajanje radionuklida iz neaktivnih komponenata matriksa
- geometrija merenja
- vreme merenja
- određivanje osnovnog zračenja »fona« u okolini detektora
- određivanje relativne efikasnosti merila i ostalih tehničkih karakteristika merila
- izbor referentnih radioaktivnih materijala i njihove karakteristike (specifična gustina, masa, aktivnost u odnosu na aktivnost uzorka)
- energijska kalibracija
- određivanje geometrijske efikasnosti

Najznačajniji kriterijum za izbor metode za određivanje aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine jeste osetljivost metode, odnosno granica detekcije. Ovaj parametar zavisi od brojnih faktora, koji utiču na odgovor detekcionog sistema, postavljajući određena ograničenja samom postupku merenja. Granica detekcije jeste funkcija nivoa osnovnog zračenja, a zavisi i od mase uzorka, efikasnosti merila za datu energiju, geometrije merenja, vremena merenja uzorka itd. [8]

Jedan od faktora koji bitno utiče na ukupnu grešku merenja jeste masa uzorka. Kod uzoraka niskih aktivnosti radionuklida, masa uzorka bi trebalo da bude što veća, ali se kod uzoraka velike mase (zapremine) javlja efekat samoapsorpcije, posebno kod niskoenergetskog beta zračenja i alfa zračenja, zbog malog dometa. Korekcija na samoapsorpciju neophodna je i pri svim apsolutnim merenjima. Pri merenju aktivnosti radionuklida, emitera gama zračenja, masa uzorka nije ograničavajući faktor s aspekta dometa zračenja, ali jeste s aspekta merila –

gamaspektometri u upotrebi mere uzorke mase do 1 kg (sem u slučaju specijalnih merila za određivanje aktivnosti radionuklida u telu, tzv. »whole body counter«).

Drugi osnovni parametar i izvor greške je vreme merenja. Uzorci niskih aktivnosti radionuklida zahtevaju duže vreme merenja da bi se minimizirala ukupna greška metode. Period poluraspada radionuklida predstavlja u ovom slučaju ograničavajući faktor, posebno za kratko živeće radionuklide. Vreme merenja treba da bude što duže i u slučaju određivanja aktivnosti prirodnih radionuklida, od 200 000 s – 400 000 s. S druge strane, u dužim mernim intervalima može doći do varijacija nivoa prirodnog zračenja u okolini detektora, što može uticati na određivanje aktivnosti prirodnih radionuklida i kratkoživećih fisionih produkata [9]. Adekvatna zaštita detektora i obezbeđenje stabilnih ambijentalnih uslova smanjuju uticaj ovih varijacija. Sezonske varijacije nivoa prirodnog zračenja tzv. »fona« posebno utiču na određivanje aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima iz životne sredine, pa je stoga potrebno pratiti sve linije fona: jer istraživanja pokazuju da dok su varijacije fona za U-238 i K-40 u okviru ukupne greške metode, varijacije Pb-214 i Bi-214 zbog sezonskih varijacija radona u zatvorenom prostoru mogu biti i do 40%. Nivo fona se, sem usled promena u nivou osnovnog zračenja iz okoline detektora može povećati i kao posledica kontaminacije materijala zaštite, mernog prostora ili samog detektora. Takođe, greške u određivanju površine ispod foto-pika u spektru fona nisu iste za sve linije spektra, one su posebno značajne u oblasti niskih i visokih energija (20%-40%), u zavisnosti od verovatnoće raspada na datoj energiji [10,11,12].

Poseban izvor greške pri određivanjima aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine je posledica toga što zbog nesavršenosti detekcionog sistema i samog fenomena interakcije zračenja i materije, dolazi do gubitaka u registrovanju broja informacija impuls po sekundi, koji se koriguje određivanjem efikasnosti detektora. Ova veličina zavisi od energije zračenja, dimenzija i konstrukcije detektora, geometrije merenja tj prostornog odnosa detektor - radioaktivni izvor, ali i od fizičko-hemijskih osobina uzorka (gustina, agregatno stanje), što je od posebnog značaja kod uzoraka iz životne sredine obzirom na raznolikost matriksa [13,14]. Efikasnost kod tzv. tačkastih izvora je relativno dobro definisana, ali za voluminozne uzorke, kakvi su uzorci iz životne sredine, određivanje efikasnosti može biti izvor značajne greške. Obzirom na složenost samog procesa interakcije zračenja i materije, efikasnost se uglavnom određuje preko referentnih radioaktivnih materijala, koji treba da imaju iste fizičko-hemijske osobine, geometrijski oblik, vrstu radionuklida, energije i nivoe aktivnosti kao i uzorci u kojima se određuje aktivnost radionuklida. Obzirom na brojnost i raznosvrstnost uzoraka iz životne sredine to nije uvek moguće, pa se stoga koriste tzv. sekundarni referentni radioaktivni materijali, koji predstavljaju dati matriks sa radionuklidima od interesa u datom opsegu aktivnosti. Kriva efikasnosti se obično fituje polinomom, za dve energijske oblasti: ispod 0,1 MeV i od 0,15 MeV - 0,2 MeV, što sa druge strane otvara problem tzv. granice prelaza. Pošto iznad 2 MeV, kriva efikasnosti dobija izgled linearne funkcije, za »fitovanje« se najčešće koristi polinom IV stepena. Takođe, za energije iznad 0,15 MeV za »fitovanje« krive efikasnosti može se koristiti i eksponencijalna funkcija sa više parametara, čiji se vrednosti određuju metodom najmanjih kvadrata, za različite geometrije i matrikse. Ovakav postupak je uspešniji u slučajevima kada su radionuklidi u sekundarnom referentnom materijalu homogeno raspoređeni po matriksu, nego kada se radi o nizu tačkastih izvora [15,16].

5. Programi kontrole kvaliteta i pouzdanosti merenja : osnova minimizacije ukupne greške merenja

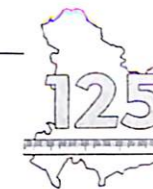
Programi kontrole kvaliteta i pouzdanosti merenja predstavljaju osnov za minimizaciju ukupne greške merenja pri određivanjima aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine [17]. Neophodno je stalno usavršavanje osoblja koje učestvuje u svima fazama mernog procesa, ustanovljavanje standardnih postupaka sakupljanja uzoraka, merenja i obrade i prezentacije rezultata. Provera kvaliteta i pouzdanosti rezultata merenja obavlja se redovnim postupcima interkalibracije merila i interkomparacije metoda u okviru laboratorije, instituta, na nacionalnom i međunarodnom nivou. Ustanovljavanje jedinstvenog mernog protokola, standardnog niza referentnih radioaktivnih materijala za pojedine matrikse – vrste uzoraka iz životne sredine, kao i baze podataka o tehničkim, metrološkim i opštim uslovima merenja aktivnosti radionuklida su neophodni preduslovi za kvalitetno i pouzdano merenje [18,19]. Za savremenu, efikasnu i kvalitetnu kontrolu radionuklida u životnoj sredini u nacionalnim okvirima (tzv. nacionalni monitoring) neophodna je široka i dobro organizovana mreža stanica za sakupljanje uzoraka, mernih jedinica i efikasni sistem obrade i razmene informacija.

6. Zaključak

Problemi koji se javljaju pri određivanju aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine zahtevaju kontrolu i standardizaciju postupaka u svakoj fazi mernog procesa, od sakupljanja i dopremanja uzoraka, preko pripreme uzoraka za merenje, izbora metode merenja, kalibracije nuklearnih merila, obrade i prezentacije rezultata merenja. Uvođenje programa kontrole kvaliteta i pouzdanosti merenja, koji uključuju stalno usavršavanje osoblja, redovnu interkalibraciju merila i interkomparaciju metoda merenja na nacionalnom i međunarodnom nivou je ključni faktor u cilju minimizacije ukupne greške merenja.

Literatura

- [1] Popović, D., Đurić, G. *Metode detekcije i određivanja sadržaja radioaktivnih materija u uzorcima iz životne sredine*. U »Jonizujuća zračenja – merenje i zaštita«, Društvo za mernu tehniku Srbije, Beograd, 1987, s. 131-144.
- [2] Đurić, G., Šmelcerović, M., Popović, D., Ginda N. *On the optimal condition in the evaluation of low level radioactivity in native environmental samples*. Proc. III rd Italian-Yugoslav Symp. Radiation Protection: Achievements, Concerns and Future Aspects, Plitvice, 1990, p.163-168.
- [3] Šmelcerović, M., Đurić, G., Popović, D. *On some problems in control of low level radiation in the Environment*, Proc. IIIrd Italian-Yugoslav Symp. On Radiation Protection, Plitvice, 1990, p.188-192.
- [4] Šmelcerović, M., Đurić, G., Popović, D. *On systematic and statistic errors in radionuclide mass activity estimation*. In »Radiation Protection- Selected Topics«, Inst.Nucl.Sci. Vinca, Beograd, 1989, p.476-480.



- [5] Đurić, G., Popović, D. *Problemi kontrole radionuklida u životnoj sredini*, Zbornik XIX jug.simp. JDZZ, Golubac, 1997, s.161-170
- [6] Đurić, G. *Određivanje radioaktivnih rezidua u slatkovodnim ribama pri intenzivnom i ekstezivnom uzgoju*. Magistarski rad. Farmaceutsko-biokemijski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 1973.
- [7] Đurić, G. *Hronična alimentarna kontaminacija radioaktivnim cezijumom-137 živine u intezivnom uzgoju*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 1979.
- [8] Bikit, I., Slivka, J., Čonkić, Lj., Krmar, M. *Specifični problemi merenja prirodnih radionuklida*. Zbornik »Jonizujuće zračenje iz prirode«, JDZZ, Beograd, 1995, s.263-289.
- [9] Todorović, D., Popović, D., Đurić, G. *Background radiation spectrum as a QA parameter for radionuclides activity estimation*. Proc. 1st Reg. Symp.«Chemistry and the Environment», V.Banja, 1995, p.979-982.
- [10] Popović, D., Todorović, D., Đurić, G., Radoičić, A. *Background radiation spectrum and its influence on low level activity measurements in the environmental samples*. Proceed. IPRA 9, Vienna, 1996, Vol.II, p. 573-575.
- [11] Đurić, G., Kukoč, A., Adžić, P. *Background comparative studies with 22% efficiency Ge(Li) spectrometer on two sites*. Proc.8th Meet. Yug.Nucl.&Particle Physics Assoc.,Portoroz, 1985, p.139-140.
- [12] Todorović, D., Popović, D., Đurić, G. *Influence of the quality of shielding on the evaluation of natural radionuclides in bulding materials*. In »Radiation Protection:Physics& Measuring Techniques«, Karlsruhe, 1994, p. 331-335.
- [13] Ban, K., Popović, V. *Provjera efikasnosti brojača raznim uzorcima pri istovetnoj kalibraciji*, I simp.JDZZ, Portorož, 1963, s. 1-4.
- [14] Cerovec, P., Pecikozic, A., Banacek, M. *Kalibracija gamaspektrometara*, Zbornik III simp. JDZZ, Banja Luka, 1967, s. 87.91.
- [15] Popović, D., Đurić, G., Spasić, V. *Secondary standards in environmental radioactivity monitoring*. Proc. XIX ESNA Meeting, Vienna, 1988, p. 161.
- [16] Đurić, G., Popović, D., Adžić, P. *Efikasnost Ge(Li) detektora za različite geometrije merenja i nosače radionuklida*. Zbornik XII jug.simp.o merenjima i mernoj opremi, Beograd, 1986, s.535-542.
- [17] Todorović, D., Popović, D., Đurić, G. *Criteria for the assessment of a national laboratory for radioactivity control of building materials*, Proc.1st Reg.Cong.on Radiat.Protection, Athens,1994, p. 355-358.
- [18] Frissel, M.J. *Quality assurance of database for radionuclides transter: protocols for soil to plant uptake experiments.*, 1998, personal communication.
- [19] EML Procedures Manual »Quality Control and Quality Assurance in Radioactivity Measurements« HASL-300, US Energy Dept., New York, 1992.

Niskofonske karakteristike aktivno zaštićenog HPGe spektrometra

I. Bikit, J. Slivka, Ž. Đurčić, N. Žikić, Lj. Čonkić, M. Vesković¹, I. Ančin²

Kratak sadržaj. U merenjima niskih aktivnosti uzoraka iz prirode bitan je što niži prag detekcije mernog sistema. Poznato je da se prag detekcije Ge spektrometra može sniziti antikoincidentnom aktivnom zaštitom. U radu su prikazani rezultati istraživanja niskofonskih karakteristika HPGe spektrometra sa aktivnom NaI(Tl) zaštitom. Testiran je "spori" antikoincidentni režim i preporučen za opštu upotrebu. Ukupna vrednost odbroja fona u antikoincidentnom sistemu za energijski interval od 30 keV do 2 MeV iznosi $0,185 \text{ s}^{-1}$. Aktivnom zaštitom pomoću NaI(Tl) snižen je integralni fon za faktor 6,5, dok je za Komptonov kontinuum faktor prigušenja veći od 10.

Low level performances of HPGe spectrometer active shielding

Abstract: For the measurement of low active environmental samples the low detection limit of the measurement system is of great importance. It is well known that the detection limit of Ge spectrometers can be lowered by active anticoincidence shielding. The results of the detailed study of the low-level performance of the NaI(Tl) shielded HPGe spectrometer are presented. Both the "slow" and the "fast" anti-coincidence gating modes were tested, the "slow" mode being found more appropriate for general low level spectroscopy applications. The anti-coincidence action of the NaI(Tl) shield lowers the integral background of the HPGe detector in the energy range from 30 keV to 2 MeV by a factor of 6.5 and suppresses the continuum above 150 keV by a factor higher than 10.

¹ Dr Ištvan Bikit, red. prof. Dr Jaroslav Slivka, vanr. prof. Ž. Đurčić, asistent, N. Žikić, asistent, Dr Ljiljana Čonkić, vanr. prof. Dr Miroslav Vesković, vanr. prof. Prirodno-matematički fakultet, Institut za fiziku, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4

² Dr Ivan Ančin, red. prof. Fizički fakultet, 11000 Beograd, Studentski trg 10