



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



# ISTRAŽIVANJE KVALITETA GAMASPEKTROMETRIJSKIH MERENJA

- master rad -

Mentor:  
dr. Ištvan Bikit

Kandidat:  
Jan Hansman  
br.indeksa: 24M/10

Novi Sad, 2011.

## S A D R Ž A J

<b>1.</b>	<b>UVOD</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>GAMA ZRACI</b>	<b>4</b>
2.1	IZVORI $\gamma$ ZRAKA	4
2.2.	SPEKTRI $\gamma$ ZRAKA	4
2.3.	ANALITIČKO PREDSTAVLJANJE SPEKTRALNIH KOMPONENTI	6
<b>3.</b>	<b>ENERGIJSKA KALIBRACIJA I KALIBRACIJA EFIKASNOSTI</b>	<b>7</b>
3.1.	KALIBRACIONI IZVORI	7
3.2.	ENERGIJSKA KALIBRACIJA	7
3.3.	KALIBRACIJA EFKASNOSTI	8
<b>4.</b>	<b>IZVORI I KOMPONENTE FONA</b>	<b>9</b>
4.1.	RADIOAKTIVNO OKRUŽENJE	9
4.2.	RADIOAKTIVNI NIZOVI	10
4.3.	KOSMIČKI ZRACI	14
<b>5.</b>	<b>GAMA SPEKTROMETRIJA NISKIH AKTIVNOSTI</b>	<b>17</b>
5.1.	POLOŽAJ IZVORA GAMA ZRACA	18
5.2.	OPTIMALIZACIJA VREMENA MERENJA	18
5.3.	SMANJIVANJE FONA U $\gamma$ SPEKTROMETRIJI	19
<b>6.</b>	<b>NISKOFONSKI Ge SPEKTROMETRI</b>	<b>20</b>
6.1.	NISKOFONSKI $\gamma$ SPEKTROMETRI SA ZAŠТИROM OD Pb	20
6.2.	NISKOFONSKI SPEKTROMETRI SA AKTIVNOM ZAŠТИROM	22
6.3.	NISKOFONSKI $\gamma$ SPEKTROMETRI SA ZAŠТИROM OD Fe	22
6.3.1.	UREĐAJI ZA OBRADU SIGNALA U SPEKTROMETARSKOM SISTEMU Ge DETEKTORA U Fe ZAŠTITI	29
<b>7.</b>	<b>UZORKOVANJE, MERENJE i REZULTATI</b>	<b>33</b>
<b>8.</b>	<b>ISTRAŽIVANJE I UTICAJ PROMENE FONA Ge DETEKTORA U Fe ZAŠTITI</b>	<b>91</b>
8.1.	UTICAJ PROMENE NA FONA NA IZMERENU AKTIVNOST UZORKA	97
<b>9.</b>	<b>ZAKLJUČAK</b>	<b>100</b>
	<b>LITERATURA</b>	<b>101</b>
	<b>BIOGRAFIJA</b>	<b>103</b>

## **1. UVOD**

Merenja u nuklearnoj fizici su značajna u fundamentalnim istraživanjima a takođe i u ekologiji, medicinskoj fizici, zaštiti životne sredine i drugim primenjenim oblastima. Zbog toga je značajno detaljno poznavati karakteristike mernog sistema.

Tokom istorije nuklearne fizike razvijen je niz različitih detektora. Rad svih detektora se zasniva na istom principu: predaji dela ili celokupne energije detektoru gde se ona pretvara u oblik dostupan ljudskom opažanju. Elektromagnetsko zračenje u aktivnoj zapremini detektora stvara nanelektrisane čestice. Nanelektrisane čestice predaju svoju energiju materiji pri direktnom sudaru sa atomskim elektronima i tako eksituju ili ionizuju atome. Način na koji dolazi do pretvaranja energije zavisi od vrste detektora i njegove konstrukcije. Električni signal formiran u detektoru se obrađuje odgovarajućom elektronikom.

Poznavanje koncentracije radionuklida u prirodi je značajno sa ekološko-zdravstvenog aspekta. Zbog razvoja nuklearne energetike kao i zbog sve masovnije upotrebe radioaktivnih izotopa u industriji i medicini, povećavaju se opasnosti od radioaktivnog zagađenja životne sredine. Donji prag štetnog dejstva ionizujućeg zračenja je nemoguće precizno ustanoviti te je neophodno da se registruju i najmanje promene aktivnosti radionuklida u prirodi. Preciznim merenjem, često vrlo malih koncentracija aktivnosti radionuklida, omogućava se praćenje procesa njihovog transporta u realnim uslovima - u zemljisu, vodi i atmosferi prema živim organizmima.

U eri sve većeg napretka nuklearne tehnologije, proizvodnje veštačkih radionuklida, sve intenzivnijeg korišćenja nuklearne energije, pa i akcidentalnih situacija na nukleranim postrojenjima praćenih kontaminacijom životne sredine, svakako je potrebno imati stabilan i kvalitetan sistem za merenje i praćenje koncentracije aktivnosti radionuklida u životnoj sredini i u raznim uzorcima i materijalima sa kojima se čovek, stanovništvo i svi živi organizmi svakodnevno sreću.

Tema ovog master rada biće višestruko ponavljanje merenja jednog istog uzorka pod istim uslovima na istom Ge-detektoru i upoređivanje dobijenih vrednosti da bi se ustanovilo kolika su odstupanja među pojedinim merenjima i da li su pojedinačni rezultati konzistentni tj. koliko se međusobno razlikuju. Kao prilog tj. drugi deo rada, urađena je analiza fonskih spektara snimljenih u periodu od 21.02.2010.g. do 09.03.2011.g. da bi se ustanovilo koliko promena fona može uticati na promenu koncentracije aktivnosti uzorka.

## **2. GAMA ZRACI**

Gama zraci nastaju pri deekscitaciji pobuđenih nuklearnih stanja u jezgrima atoma. Popunjavanje stanja odnosno njihovo pobuđivanje može se ostvariti putem nuklearnih reakcija i radioaktivnim raspadom jezgra( $\alpha$  ,  $\beta$  raspad). Radioaktivnim raspadom dolazi do promene rednog broja jezgra.Početno jezgro se naziva jezgro predak a krajnje,jezgro potomak. Za radioaktivni izvor  $\gamma$  zraka se obično uzima ime pretka iako  $\gamma$  zraci najčešće nastaju prelazom između različitih stanja u potomku. Jezgro,emisijom  $\gamma$  zraka dolazi do osnovnog stanja koje može biti stabilno ili podložno daljem raspadu.

### **2.1. IZVORI $\gamma$ ZRAKA**

Pod pojmom „izvor“ se podrazumeva makroskopska količina materijala koja sadrži atome koji emituju nuklearno i atomsко zračenje. Sem atoma emitera tu su uključeni i nosači radioizotopa i materijali matriksa.Izvore delimo u dve kategorije:

- 1) izvori koji sadrže radioaktivni materijal i kontinuirano emituju zračenje;
- 2) izvori koji emituju fotone kada se ozračuju spolja česticama i/ili fotonima;

Radioaktivni izvori sadrže radioaktivne atome ili u stabilnom materijalu nosača od istog elementa ili u matriksu od drugih elemenata ili jedinjenja.

Izvori pobuđeni spoljašnjim zračenjem sadrže atome neaktivnog materijala koji nakon dejstva čestica ili fotona emituju  $\gamma$  ili X zrake.

Izvori se prema dimenzijama dele na tačkaste,površinske i prostorne. Strogo govoreći,svi izvori su prostorni i trodimenzionalni, mnogi od njih se mogu tretirati kao tačkasti ili površinski, što zavisi od dimenzija izvora u odnosu na rastojanje izvor-detektor. Pod tačkastim izvorom se podrazumeva izvor čije su dimenzije dovoljno male da je za dati eksperiment efikasnost detekcije ista kao za idealni tačkasti izvor. Površinski izvor je takav izvor čija debljina je dovoljno mala da efikasnost, uključujući i efekte geometrije i atenuacije, bude ista kao za beskonačno tanak izvor iste veličine.

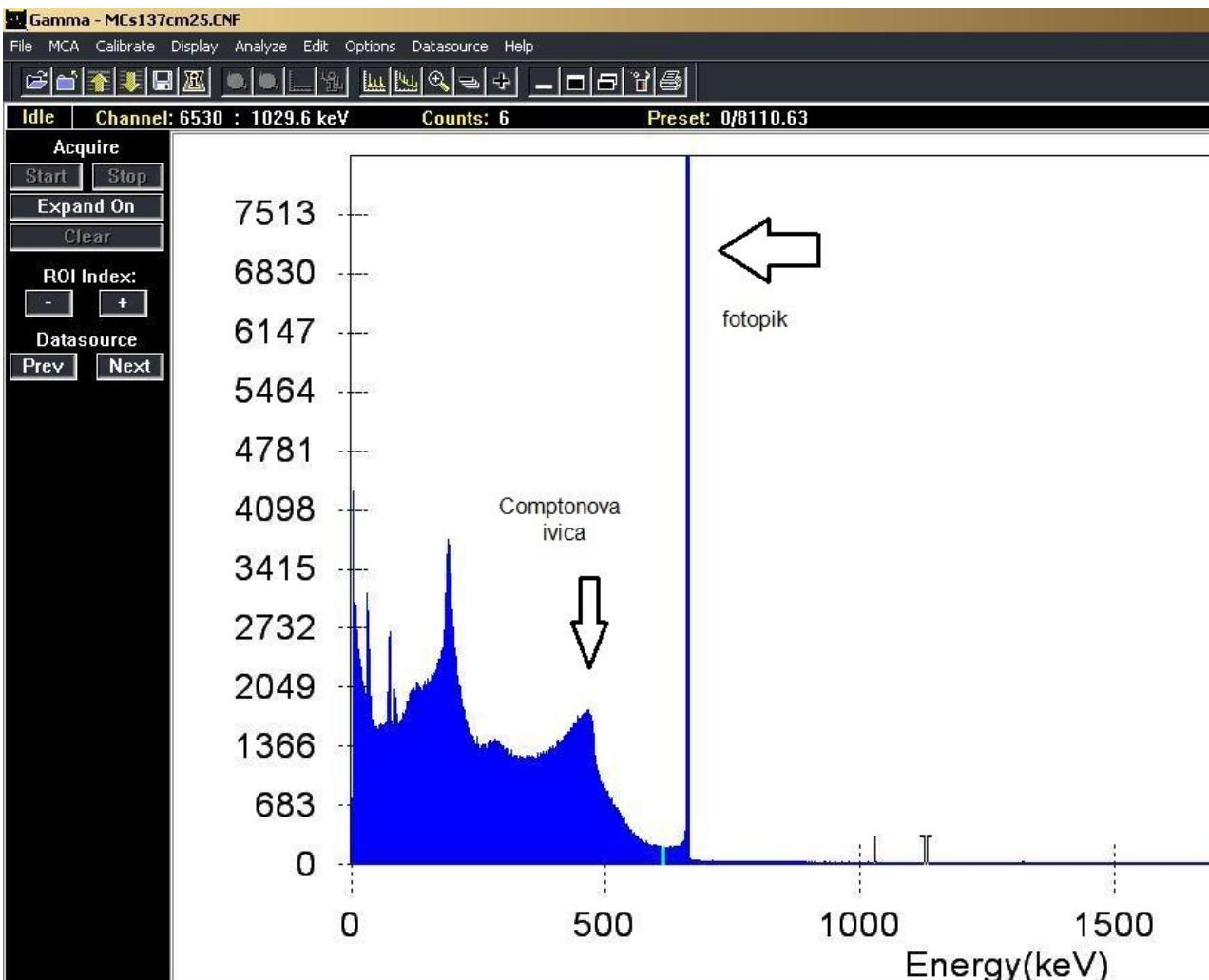
### **2.2. SPEKTRI $\gamma$ ZRAKA**

Cilj  $\gamma$ - spektrometrijskog merenja je određivanje energije i broja fotona koje emituje izvor, što se koristi za identifikaciju i određivanje aktivnosti radionuklida.

Spektroskopija i detekcija  $\gamma$  zračenja pomoću poluprovodničkih detektora se zasniva na tri efekta:

- 1)fotoefekat;
- 2)Komptonov efekat;
- 3)efekat stvaranja parova.

Detekcija je posredna jer elektroni nastali u ovim interakcijama vrše daljnju ionizaciju i ekscitaciju. [ 1 ]



slika 1 - spektar Cs - 137

Originalni  $\gamma$  spektar radioaktivnog izvora ima diskretan karakter. Zbog statističke prirode nastanka fotona i stvaranja nanelektrisanih čestica, linija u spektru nije oštra, već ima karakterističan oblik Gausove krive i naziva se linija fotovrha (pik totalne apsorpcije).

Pik totalne apsorpcije nastaje kada upadni  $\gamma$  kvant svu svoju energiju ostavi u detektoru i ponekad čini samo mali deo ukupnog odbroja, ali upravo on daje korisnu informaciju. Ostatak otpada na spektralni kontinuum čije prisustvo ne možemo izbeći. Na osnovu položaja vrha totalne apsorpcije utvrđuje se o kojem radionuklidu se radi (koja  $\gamma$  linija) a na osnovu površine vrha (odbroja signala pod vrhom) se određuje aktivnost radionuklida.

Kod Komptonovog efekta, elastičnim rasejanjem, foton slobodnom elektronu preda energiju od nulte do neke maksimalne:

$$E_c = \frac{E}{1 + \frac{m_0 c^2}{2E}} \quad (1)$$

gde je  $E$  energija primarnog fotona a  $m_0 c^2$  energija mirovanja elektrona i na spektru se uočava kao kontinualni fon.

Proizvodnja parova je glavni mehanizam interakcije za  $\gamma$  zrake energije iznad nekoliko MeV. U ovom procesu se u Kulonovom polju jezgra, energija fotona pretvara u par elektron-pozitron. Energija fotona mora biti veća od  $2mc^2=1022\text{keV}$  (dvostruka energija koja odgovara masi elektrona u mirovanju). Elektron i pozitron se usporavaju u okolnom materijalu a pozitron na kraju reaguje sa nekim od elektrona, anihilira se, i nastaju dva fotona sa energijama oko 511 keV. Zbog održanja impulsa ova dva fotona se emituju u približno suprotnim pravcima a zbog Doplerovog efekta, koji nastaje zbog kretanja elektrona na mestu anihilacije, prirodna širina linije fotona je oko 2 keV.

### **2.3. ANALITIČKO PREDSTAVLJANJE SPEKTRALNIH KOMPONENTI**

Podaci u oblasti vrha se opisuju sa dve analitičke funkcije: jedna predstavlja spektralni fon (kontinuum) a druga predstavlja vrh. Za opisivanje kontinuma ispod vrha se najčešće koriste analitičke funkcije koje se sastoje iz dve komponente: prva je neki polinom niskog reda za opisivanje doprinosa od fotona viših energija i koja predstavlja osnovu za ceo region ispod vrha a druga komponenta opisuje skokoviti porast na niskoenergetskoj strani spektra. Izrazi za prvu komponentu variraju od konstante do polinoma trećeg reda. Linearna funkcija aproksimira kontinuum dovoljno dobro, osim ako se u posmatranom delu ne nalazi komptonska ivica. Za drugu komponentu je najjednostavnije koristiti prostu stepenastu funkciju sa prekidom na mestu centroide vrha.

U idealnom slučaju vrh totalne apsorpcije bi se analitički mogao predstaviti Gausovom funkcijom:

$$f(x) = Y e^{-\frac{(x-X)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

gde je  $Y$  amplituda,  $X$  centroida a  $\sigma$  poluširina na visini  $Y/\sqrt{e}$ . U praksi, vrh ima produžetak, rep na strani niže energije a moguće i na strani više energije, naročito kod velikih brzina brojanja. Zato se oblik vrha često mora opisivati složenim funkcijama. Broj parametara koji figuriše u analitičkom obliku takvih funkcija se kreće i do 9 u slučaju gausijana sa dva eksponencijalno opadajuća repa sa obe strane. Metode prilagođavanja se vrše i za multiplete. Za dublet, funkcija za prilagođavanje je suma dve funkcije identičnog oblika, ali sa različitim vrednostima parametara. Za korektno analiziranje multipleta, obično se i vrhovi i kontinuum moraju predstaviti funkcijama koje su bolje aproksimacije merenih oblika nego što su to jednostavni gausijani.

Površina vrha se može uzeti da je integral odgovarajućeg dela analitičke funkcije. Neto površina vrha koja je od značaja  $N$ , dobija se tako što se od ukupne površine  $A$  oduzme iznos površine  $B$  ispod analitičke funkcije koja opisuje kontinuum:  $N=A-B$ .

Računarski programi za obradu spektra moraju sem vrednosti podešavanih parametara, da iskažu i njihove varijancije. Nesigurnost površine gausijana se može izračunati iz varijancije amplitude  $Y$  i širine  $\sigma$  i njihove kovarijancije.

Ako se odredi odbroj pod vrhom (površina)  $N$ , tada se dobijeni rezultat navodi kao vrednost sa odgovarajućom granicom poverenja:  $N \pm k\sigma_N$ , što znači da odbroj leži sa odgovarajućim stepenom poverenja unutar granica  $N-k\sigma_N$  i  $N+k\sigma_N$ . Za nivo poverenja od 90% rezultat se predstavlja kao  $N \pm 1.645\sigma_N$ . Najčešće se koristi jednostruka standardna devijacija  $\sigma_N$  sa nivoom poverenja od 68.3%. Za jednokanalno brojanje i za slučaj kada se vrh i kontinuum određuju iz istog broja kanala je  $\sigma_N = \sqrt{N + 2B}$ .

### **3. ENERGIJSKA KALIBRACIJA I KALIBRACIJA EFKASNOSTI**

#### **3.1. KALIBRACIONI IZVORI**

Spektrometri se pre merenja energije fotona i brzine emisije moraju kalibrirati. Za kalibraciju energije se mogu upotrebiti svi tipovi izvora fotona dobro poznatih energija. Izvori čija je aktivnost izvedena iz apsolutnih merenja kakva se vrše u laboratorijama za standardizaciju se nazivaju „standardni“ izvori. Standardni izvor se uvek koristi kao celina, tako da se aktivnost koju deklariše proizvođač odnosi na ceo izvor. Kalibracioni izvori su najčešće u obliku standardnih rastvora ili u obliku čvrstih kvazi-tačkastih izvora.

#### **3.2. ENERGIJSKA KALIBRACIJA**

Cilj energijske kalibracije je dobijanje veze između pozicija vrhova u spektru i odgovarajućih energija  $\gamma$  zraka, odnosno definisanje korespondencije između kanala i energije. Upotrebom 16384 kanala višekanalnog analizatora (računarskog programa Genie 2000 i Multiport-a II - višekanalnog analizatora sa 6 ulaza za signale iz detektora) za snimanje oblasti od 0 do 3 MeV, dobija se energijska kalibracija od oko 0.2 keV po kanalu.

Energijska kalibracija se izvodi na osnovu spektra izvora koji emituje  $\gamma$  zrake sa precizno poznatim energijama i povezivanjem izmerene pozicije vrhova sa odgovarajućim energijama.

Kalibracioni izvori mogu sadržavati jedan ili više radionuklida, ali kalibracione energije treba da pokrivaju ceo interval u kome se koristi spektrometar. Najjednostavnija energijska kalibracija se izvodi snimanjem spektra izvora koji se sastoji iz smeše  $^{152}$  Eu i  $^{154}$  Eu.

Najčešće se energija može predstaviti kao linearna funkcija kanala:  $E(x) = a + bx$ , gde je  $x$  redni broj kanala a  $E$  energija. Nekada je dovoljno da se parametri  $a$  i  $b$  odrede iz samo dva dobro odabrana vrha. Ako su energije ovih vrhova  $E_1$  i  $E_2$  a pozicije na kanalima  $x_1$  i  $x_2$ , tada je

$$E(x) = E_1 + \frac{E_2 - E_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (3)$$

Razlika između  $E(x)$  i prave energije uglavnom zavisi od odstupanja od linearnosti sistema pojačavač-analizator. Pošto su odstupanja najveća na krajevima kanalnog intervala višekanalnog analizatora, najbolje je izbegavati prvih i poslednjih 10% kanalnog intervala (spektra). Odstupanja poznatih energija  $\gamma$  zraka od vrednosti dobijenih po (3) kreću se oko  $\pm 0.2$  kanala. Za starije sisteme mogu postojati i odstupanja izražena većim brojem kanala. Poboljšanje energijske kalibracije se može postići korišćenjem više  $\gamma$  linija poznatih energija. Vrednosti parametara  $a$  i  $b$  se onda dobijaju metodom najmanjih kvadrata.

Odstupanje kalibrise od prave energije se može smanjiti za red veličine ako se uzme umesto linearne, da je energija kvadratna funkcija kanala  $E(x) = a + bx + cx^2$ . Vrednosti parametara  $a, b$  i  $c$  se mogu izračunati iz energija i pozicija najmanje tri vrha, ali se obično određuju prilagođavanjem funkcije metodom najmanjih kvadrata koristeći skup od 4 ili više vrhova.

### 3.3. KALIBRACIJA EFIKASNOSTI

Pod eksperimentalnom kalibracijom efikasnosti se podrazumeva kalibracija detektora na efikasnost vrha totalne apsorpcije  $\epsilon$ . Ova efikasnost predstavlja odnos odbroja  $N_{\Delta t}$  pod vrhom, u toku izvesnog vremenskog intervala  $\Delta t$  i ukupnog broja  $\gamma$  kvanata  $N_{u\Delta t}$  date energije što ih je izvor emitovao u istom vremenskom intervalu:

$$\epsilon = \frac{N_{\Delta t}}{N_{u\Delta t}} = \frac{N_{\Delta t}}{A \Delta t p_\gamma} \quad (4)$$

$A[Bg]$  je srednja aktivnost izvora u toku tog intervala vremena :

$$A = \frac{N_{u\Delta t}}{\Delta t p_\gamma} \quad (5)$$

a  $p_\gamma$  je verovatnoća emisije odgovarajućih  $\gamma$  zraka. Srednja brzina brojanja pod vrhom tokom istog intervala vremena  $R[1/s]$  je

$$R = \frac{N_{\Delta t}}{\Delta t} \quad (6)$$

pa je

$$\epsilon = \frac{R}{Ap_\gamma} \quad (7)$$

Poznate veličine su aktivnost kalibracionog izvora i vrednost  $p_\gamma$  za  $\gamma$  linije koje se koriste prilikom kalibracije efikasnosti, dok se vrednosti  $R$  dobijaju merenjem. Na ovakav način je omogućeno izračunavanje efikasnosti  $\epsilon$  za različite poznate energije  $\gamma$  zraka koje emituje kalibracioni izvor. Posle toga se konstruiše kalibraciona kriva efikasnosti koja predstavlja grafik zavisnosti efikasnosti od energije.

## **4.IZVORI I KOMPONENTE FONA**

Fon se može definisati kao spektar dobijen bez ispitivanog izvora odnosno spektar zračenja koje potiče izvan izvora (fon okoline). Kada se posmatraju  $\gamma$  zraci neke određene energije u spektru, fon se definiše kao spektar dobijen kada bi bilo prisutno svo zračenje osim  $\gamma$  zraka date energije (uključuje efekte  $\gamma$  zraka viših energija i fon okoline). U spektralnoj analizi je uobičajeno da se u fon uključi sve što ne pripada vrhu.

Osnovni izvori fona  $\gamma$  detektora su:

- a) radioaktivna kontaminacija;
- b) kosmički zraci;
- c) električne smetnje.

Brzina brojanja fona potiče od:

1) eksterne radioaktivnosti, od materijala izvan glavne zaštite, jer svi građevinski materijali sadrže primordijalnu radioaktivnost. Ova komponenta se zaštitom od 10 cm Pb ili 20 cm Fe redukuje do beznačajne vrednosti.

2) kontaminacije  $\gamma$  emiterima zaštite i materijalima unutar nje. Pb je najvažniji zaštitni materijal zbog svog velikog rednog broja, velike gustine i povoljnih mehaničkih osobina. Nedostatak novoproizvedenog Pb je taj, što ono skoro uvek sadrži znatne količine  $^{210}\text{Pb}$ . Selekцијом minerala i posebnom rafinacijom se može dobiti specijalno niskoaktivno Pb. U niskofonske sisteme postavlja se unutrašnji sloj od starog Pb (iz brodskih olupina ili sa starih krovova). Koncentracija  $^{210}\text{Pb}$  u starom Pb zavisi od vremena prošlog od proizvodnje i od početne koncentracije, tako da staro Pb može imati istu koncentraciju  $^{210}\text{Pb}$  kao i dobro novoproizvedeno Pb. Kvalitet Pb se može odrediti jedino merenjem.

Manji broj niskofonskih sistema (takođe i sistem u DFNS) ima zaštitu od Fe, koje je liveno pre 1952.g. Fe proizvedeno posle 1952.g. može sadržati značajne količine antropogenih radionuklida (naročito  $^{60}\text{Co}$ ).

- 3) radona koji difunduje u šupljine zaštite, i njegovih potomaka;
- 4) sekundarnih fotona i elektrona, proizvedenih mionima i protonima u materijalu štita;
- 5) neutrona, indukovanih mionima i protonima (uglavnom u zaštiti);
- 6) miona (curenje miona u sisteme sa antikosmičkom zaštitom).

### **4.1.RADIOAKTIVNO OKRUŽENJE**

Radionuklidi se prema poreklu dele na 3 kategorije:

1) Primarni radionuklidi, stvoreni nukleosintezom u vreme kada i sva supstanca solarnog sistema. Radioizotopi ove kategorije imaju poluživot uporediv sa starošću Zemlje ( $4.5 \times 10^9$  god) ili duži, a ovde spadaju i kratkoživeći izotopi iz tri radioaktivna niza koja počinju dugoživećim  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$ .

2) Sekundarni radionuklidi:

2a) Kosmogeni radionuklidi proizvedeni delovanjem kosmičkih zraka na zemaljsku i vanzemaljsku supstancu. Najvažniji kosmogeni radionuklidi su  $^3\text{H}$  i  $^{14}\text{C}$ , koji se trajno proizvode kosmičkim zracima u stratosferi.

2b) Antropogeni radionuklidi, koji se proizvode u nuklearnim reaktorima, nuklearnim bombama i akceleratorima. To su produkti fisije, aktivacije i transuranski elementi.

Zračenje radionuklida u  $\gamma$  spektrometriji niskih aktivnosti stvara ometajući doprinos signalu niskofonskog sistema a i ono samo može biti objekt ispitivanja.

Izvor fona može biti eksterna ili interna radioaktivnost. Eksterna radioaktivnost potiče od K, Th i U u materijalima laboratorije (zgrade). Interna radioaktivnost potiče od radionuklida u zaštiti koja opkoljava detektor i od materijala unutar zaštite, uključujući i sam detektor.

**TABELA 1: najčešći radioizotopi**

IZOTOP	POLUŽIVOT (god)	SPEC.AKTIVNOST (Bq/kg)	$\gamma$ /raspadu (> 50 keV)
$^{40}\text{K}$	$1.25 \times 10^9$	$2.95 \times 10^4$	0.11
$^{232}\text{Th}$	$14.0 \times 10^9$	$4.02 \times 10^6$	2.08
$^{238}\text{U}$	$4.5 \times 10^9$	$12.3 \times 10^6$	1.80

#### **4.2. RADIOAKTIVNI NIZOVI**

Radioaktivni niz je niz nuklida koji se formiraju sukcesivnim radioaktivnim raspadima dok ne nastane stabilan produkt raspada.

U prirodi su uočena tri radioaktivna niza: uranov, torijumov i aktinijumov.

"Rodonačelnik" uranovog niza je  $^{238}\text{U}$ . Posle niza alfa- i beta-raspada, na kraju se dobija stabilni izotop  $^{206}\text{Pb}$ . Interesantno je da se atomska masa svakog izotopa ovog niza može napisati u obliku  $2n+2$ , gde je  $n$  prirodan broj. Zbog toga se često ovaj prirodni radioaktivni niz i naziva "2n+2" niz.

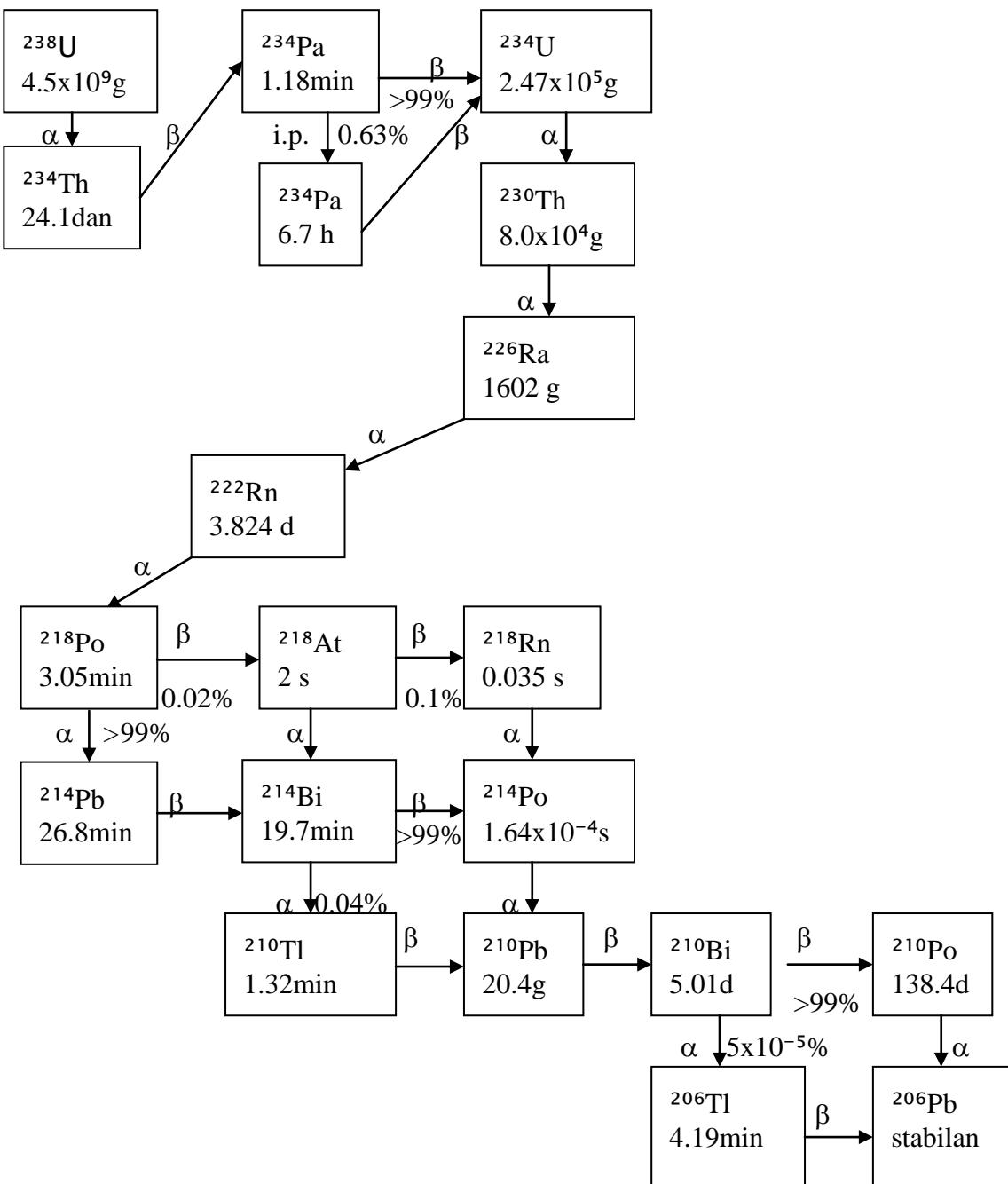
Torijumov niz počinje radioizotopom  $^{232}\text{Th}$ , a završava se stabilnim izotopom  $^{208}\text{Pb}$ . Atomske mase članova ovog niza zadovoljavaju izraz  $4n$ . Treba reći da je ovaj niz započinjao izotopom  $^{252}\text{Cf}$ , ali su se od svog nastanka do danas svi članovi niza koji prethode torijumu ( $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{248}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{U}$ ,  $^{240}\text{Np}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{236}\text{U}$ ) raspali, i danas ne postoje u prirodi.

Aktinijumov niz ne počinje aktinijumom, već izotopom urana  $^{235}\text{U}$ . Nekada se  $^{235}\text{U}$  nazivao aktin-uran, pa otuda i naziv celog niza.  $^{235}\text{U}$  je prethodio  $^{239}\text{Pu}$ , ali se on u međuvremenu raspao i danas ne postoji u prirodi. Ovaj niz se završava stabilnim izotopom  $^{207}\text{Pb}$ . Mase svih članova zadovoljavaju izraz  $4n+3$ .

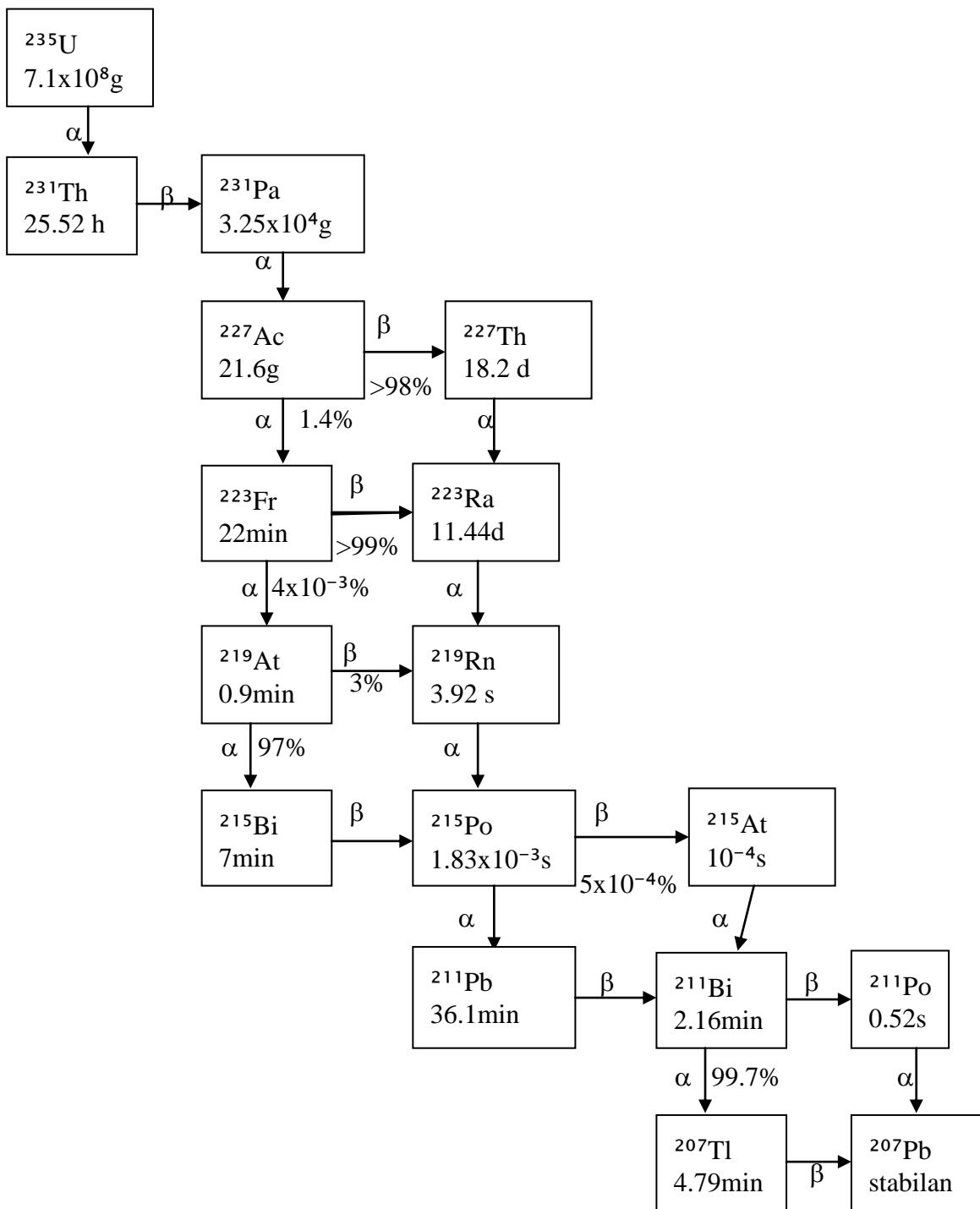
Logično je bilo očekivati da će se naći i niz "4n+1". Taj niz je nekada zaista postojao i počinjao je izotopom  $^{249}\text{Cf}$ , a završavao se stabilnim izotopom  $^{209}\text{Bi}$ . Izotop ovog niza sa najdužim vremenom poluraspada bio je  $^{237}\text{Np}$ , pa otuda i naziv "neptunijumov niz". Svi članovi ovog niza su se do danas raspali i ovaj niz u prirodi više ne postoji. Tačnije, postoji još samo njegov poslednji stupanj. Nedavno je otkriveno da  $^{209}\text{Bi}$  nije stabilan, već da se i on raspada alfa-raspadom dajući  $^{205}\text{Tl}$ . Ovaj raspad se odvija izuzetno lagano (vreme poluraspada =  $1,9 \times 10^{19}$  godina). [ 5 ]

Kada se govorim o radioaktivnim nizovima obično se misli na nizove primordijalnih radionuklida (radioaktivnih izotopa koji su nastali kad i sama planeta). U prirodi postoje i neki drugi, znatno kraći nizovi (npr. niz  $^{14}\text{C}$ ), a izotopi koji započinju ove nizove obično nastaju pod dejstvom kosmičkog zračenja.

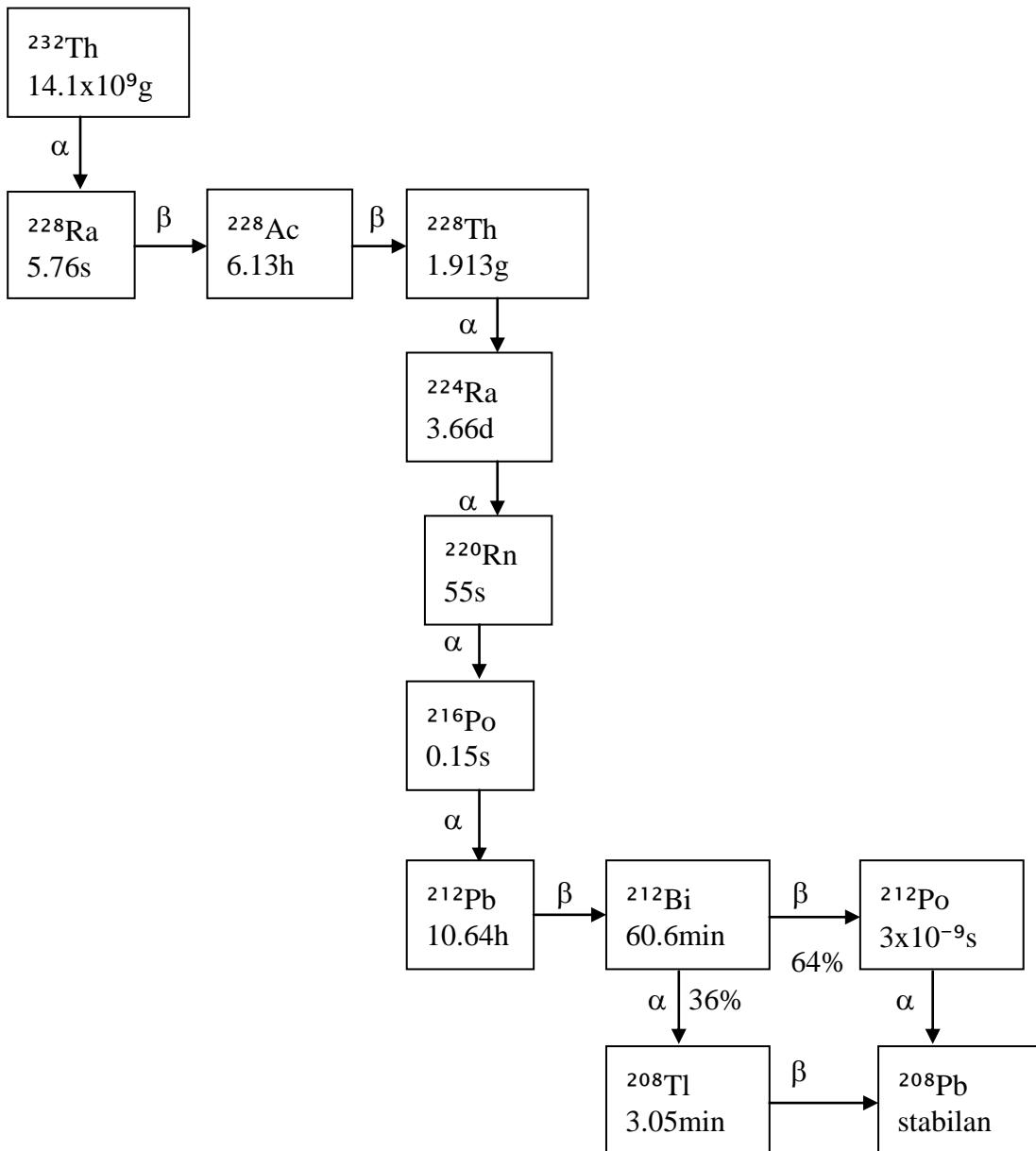
## Uranijum-Radijumov niz



## Uranijum-Aktinijumov niz



## Torijumov niz



### 4.3. KOSMIČKI ZRACI

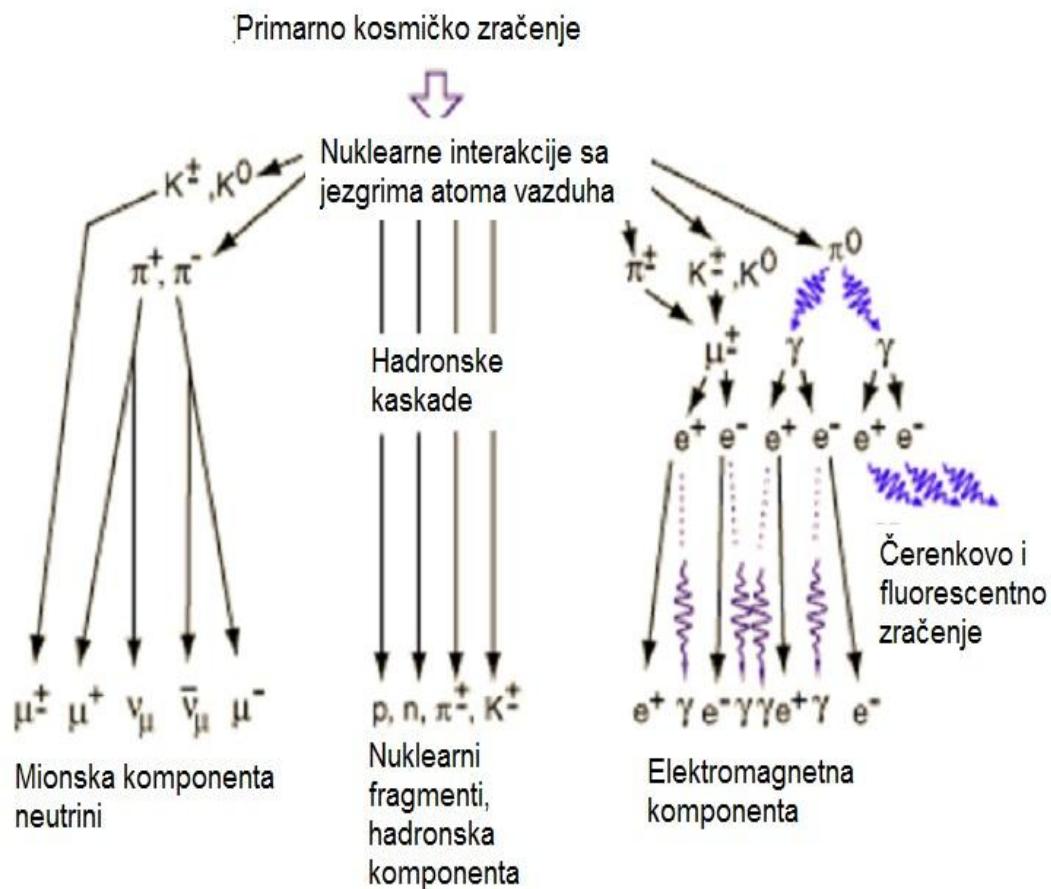
Najvažniji i najteži deo tehnike merenja niskih aktivnosti je potiskivanje doprinosa kosmičkog zračenja fonu osnovnog detektora do najnižeg mogućeg nivoa. Kosmički zraci se mogu svesti na beznačajan nivo smeštanjem mernog sistema duboko pod zemlju (obično se iz ekonomskih razloga to ne radi). Najčešće su laboratorije na površini (laboratorijski departmani u Novom Sadu-DFNS), čiju spoljašnju zaštitu čine tavanice i zidovi zgrade ili su plitko ukopane pa imaju apsorbujući sloj od nekoliko metara stena ili zemlje. Ukupni apsorbujući sloj iznad sistema se naziva pokrivni sloj (eng.OVERBURDEN) i izražava se u g/cm<sup>2</sup> ili u metrima vodenog ekvivalenta (mwe=100 g/cm<sup>2</sup>).

Čestice kosmičkih zraka koje stižu u atmosferu Zemlje su jezgra lakih atoma sa visokom energijom: protoni (86%), jezgra He (12.7%) i teža jezgra (1.3%). Interakcijom

kosmičkih zraka sa atmosferom proizvode se sekundarne čestice-čestice formirane u atmosferi i čvrstoj zemlji i  $\gamma$  kvanti, iako ove čestice mogu nastati i u više koraka.

Visokoenergijski protoni, u proseku, u svakom sudaru gube oko polovine svoje energije. Prolaskom kroz atmosferu njihov broj i energija opadaju. Sudarima sa atomskim jezgrima atmosfere (najčešće N i O) dolazi do višestrukih elastičnih i neelastičnih sudara. Mogu se emitovati i protoni, neutroni ili pioni sa energijama od 200 do 500 MeV, pretežno u pravcu upadnog protona. Posle toga, jezgro ostaje u pobuđenom stanju i emituju se dodatni nukleoni sa energijom u širokom spektru, koji ima maksimum na oko 1 MeV i proteže se do iznad 10 MeV. Kada je energija upadnog protona ispod 1 GeV emituju se uglavnom protoni i neutroni a ako je iznad 1 GeV obično je veći broj piona. Osim novonastalih protona, i visokoenergijski neutroni i pioni mogu prouzrokovati istu vrstu sudara, sa sličnom dužinom interakcije (formiraju nukleonski deo kosmičkih zraka i zajednički se zovu hadroni).

Svaki primarni proton proizvede u atmosferi oko 20 neutrona širokog spektra energije. Putanja neutrona u atmosferi je duža od putanje protona, jer oni ne gube energiju na ionizaciju. Neutroni se usporavaju elastičnim i neelastičnim sudarima sa jezgrima u atmosferi, sve dok ne budu zahvaćeni u neko jezgro.



Slika 2.–Nastajanje i sudbina čestica kosmičkih zraka u atmosferi

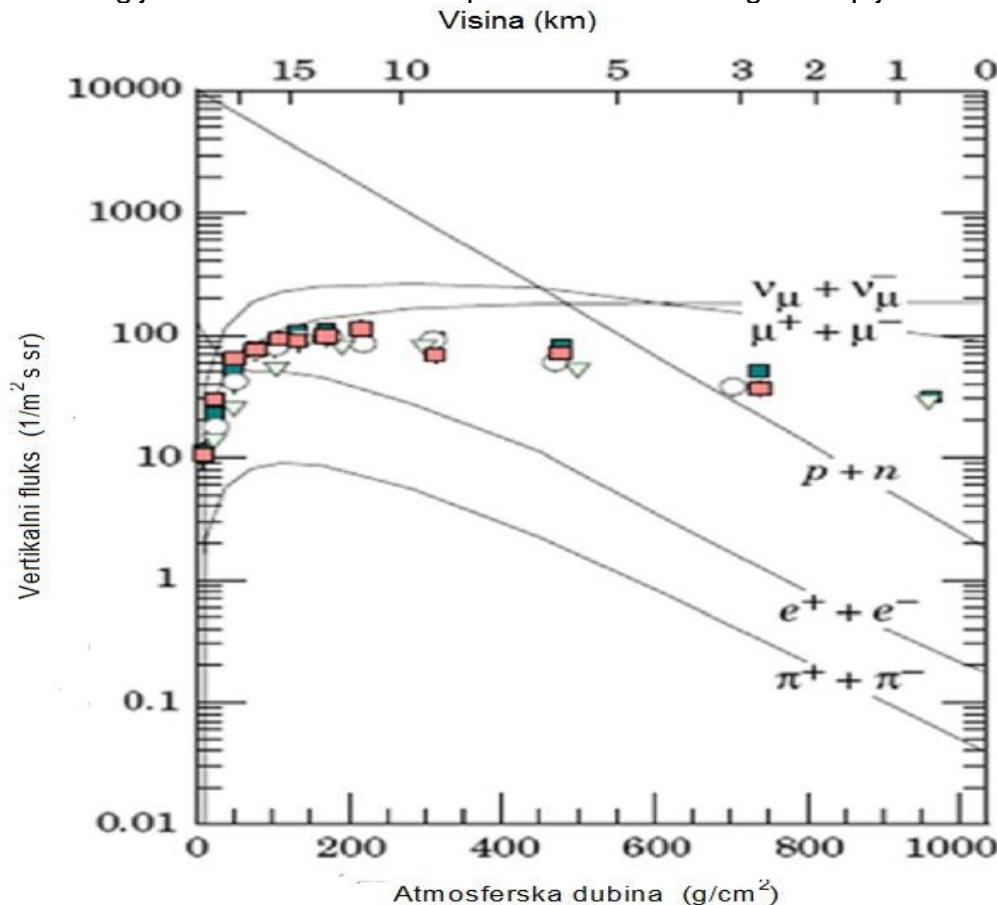
Pioni se proizvode u visokoenergijskim kaskadnim sudarima, sa približno istom verovatnoćom za sve tri vrste piona: pozitivni  $\pi^+$ , negativni  $\pi^-$  i neutralni  $\pi^0$ . Svi su nestabilni sa kratkim srednjim životom  $\tau$ :

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu \quad \tau = 2.6 \times 10^{-8} \text{ s}; \quad \pi^0 \rightarrow 2\gamma + \nu \quad \tau = 1.8 \times 10^{-16} \text{ s}.$$

Naelektrisani pioni snažno interaguju sa jezgrima i doprinose proizvodnji miona, čiji pravac kretanja je približno isti kao i kod piona. Mioni su vrlo prodorni (presek za interakciju sa jezgrima je samo  $2 \times 10^{-29} \text{ cm}^{-2}$  - 20  $\mu\text{barn}$ ) i gube energiju samo elektromagnetnom interakcijom (jonizacija, ekscitacija, zakočno zračenje, stvaranje parova). Zbog toga je energijski spektar miona skoro isti kao spektar piona od kojih nastaju. Spektar miona se ipak pri prolazu kroz atmosferu modifikuje zbog jonizacionih gubitaka, raspada i zahvata suprotno nanelektrisanih miona. Veliki broj miona se u letu raspada na elektron i neutrino.

Elektroni u kosmičkim zracima gube energiju uglavnom zakočnim zračenjem emitujući fotone skoro ravnog spektra koji se proteže od nule do početne energije elektrona  $E_0$ . Srednja dužina  $X_0$ , koju pređe elektron pre emisije fotona se zove radijaciona dužina.

Za fotone visoke energije, najverovatniji proces je proizvodnja parova. Srednja dužina koju pređe foton je slična radijacionoj dužini elektrona. Ponavljanje kombinovanog efekta visokoenergijskih fotona i elektrona proizvodi elektromagnetne pljuskove (kaskade).



Slika 3.-Fluksevi čestica kosmičkih zraka u atmosferi  
Tačke predstavljaju rezultate merenja negativnih miona sa energijama većim od 1 GeV [21-25]

## **5.GAMA SPEKTROMETRIJA NISKIH AKTIVNOSTI**

Merenje niskih aktivnosti se koristi od kontrole kontaminacije prehrambenih proizvoda, pa do proučavanja fundamentalnih procesa u fizici i astrofizici. U  $\gamma$  spektrometriji niskih aktivnosti najvažniji su poluprovodnički Ge detektori i scintilacioni NaI(Tl) detektori. Za povećanje osetljivosti ovih detektora preuzimaju se uglavnom mere za smanjivanje brzine brojanja fona:

- detektor se opkoljava debelim spoljašnjim zaštitnim slojem od Pb ili Fe (najčešće od oko 10 cm Pb);
- dodaje se unutrašnji sloj vrlo čistog materijala, kao što je staro Pb čisto od kontaminacije sa  $^{210}\text{Pb}$  ili elektrolitički rafinirani Cu;
- može se dodati i unutrašnji sloj parafina sa B da bi se termalizovali i apsorbovali neutroni proizvedeni u spoljašnjem zaštitnom sloju protonima iz kosmičkih zraka;
- osnovni detektor se može opkoliti sistemom antikosmičkih brojača za potiskivanje fona od kosmičkih miona i protona.

Najčešće korišćen sistem u  $\gamma$  spektrometriji niskih aktivnosti je Ge spektrometar, čija prednost su veliki uzorci (reda 1 kg) za koje obično nije potrebna velika priprema zbog velike prodorne moći fotona. Njihova visoka rezolucija efektivno smanjuje fon, daje sigurnu identifikaciju  $\gamma$  zraka i omogućava istovremeno određivanje koncentracije aktivnosti pojedinačnih radionuklida u njihovoj smeši. Nedostatak im je jedino mala ukupna efikasnost (svega nekoliko procenata).



*slika 4 - Ge detektor u Pb zaštiti (100% Ge detektor u komercijalnoj zaštiti proizvođača Canberra, oznake B u Laboratoriji za nuklearnu fiziku u Novom Sadu)*

## **5.1.OPTIMALIZACIJA VREMENA MERENJA**

Preciznost brzine brojanja, kad se meri jačina slabih radioaktivnih izvora (nezanemarljiva brzina brojanja fona, poluživot duži od razumno dugog vremena merenja), se može proizvoljno povećati produžavajući vreme merenja. Kada je poluživot izvora istog reda veličine kao vreme merenja, može se definisati neko optimalno vreme merenja. Ako se optimum prekorači, dolazi do dodavanja odbroja fona odbroju sada već oslabljenog izvora i do degradacije prikupljene informacije o brzini brojanja. U praksi se optimalno vreme merenja često procenjuje intuitivno.

## **5.2.POLOŽAJ IZVORA GAMA ZRAKA**

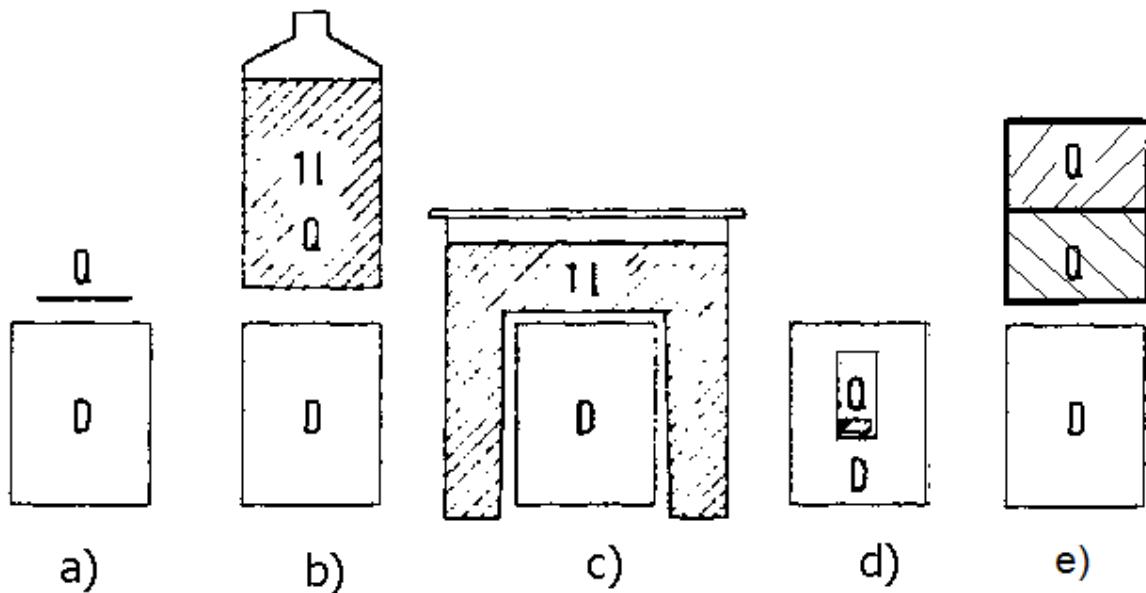
Niske aktivnosti uzoraka koje se određuju primenom niskofonske  $\gamma$  spektrometrije uslovljavaju postavljanje uzorka uz sam detektor. Prednosti malog rastojanja izvor-detektor su:

- veća brzina brojanja za datu aktivnost izvora;
- manji uticaj pozadinskog zračenja okoline;
- kraće vreme merenja za zahtevani odbroj u vrhovima;
- veći odbroj u vrhovima za dato vreme merenja;
- mogućnost uzimanja manje količine uzorka i time smanjenje korekcije na atenuaciju;
- smanjenje atenuacije fotona u vazduhu (za niskoenergetske fotone).

Međutim treba imati u vidu i izvesne neželjene posledice postavke uzorka na blisko rastojanje u odnosu na detektor:

- potrebne su znatnije korekcije na koincidentno sumiranje;
- veće korekcije na nasumično sumiranje za datu aktivnost izvora;
- slabija procena atenuacije fotona u rasprostranjenim izvorima;
- veća osetljivost efikasnosti detekcije na male promene oblika izvora i njegovog položaja.

Maksimalni efektivni prostorni ugao postiže se u geometrijama u kojima ili izvor opkoljava detektor kada je izvor veliki, ili kada detektor opkoljava izvor kada je izvor mali. Zbog toga se ovakve postavke favorizuju kod merenja niskih aktivnosti. Najveća efikasnost se može postići u geometriji sa detektorima oblika jame.



slika 5.-Najčešće korišćene geometrije merenja(D=detektor,Q=izvor) niskih aktivnosti:

- izvor u obliku diska na kapi detektora;
- boca sa tečnim uzorkom na kapi detektora;
- tečni uzorak u Marinelijevom peharu;
- izvor unutar detektora oblika jame;
- dve plastične kutijice sa uzorkom ukupne zapremine 200 ml (200 g) na kapi detektora-najčešće korišćena geometrija merenja u Laboratoriji za nuklearnu fiziku,Novi Sad

### 5.3.SMANJIVANJE FONA U $\gamma$ SPEKTROMETRIJI

Fon niskofonskih  $\gamma$  spektrometarskih sistema potiče uglavnom od sekundarnog zračenja proizvedenog mionima iz kosmičkih zraka. Za smanjenje njihovog fluksa značajan je pokrivni sloj. Većina površinskih laboratorijskih zgrada ima samo pokrivni sloj koji im daje zgradu.

Najjednostavniji način smanjenja eksternog  $\gamma$  zračenja je prekrivanje cele površine laboratorijske zgrade slojem Pb ili Fe. Pri gradnji se takođe mogu odabrati čisti materijali (pesak i cement). Eksterno  $\gamma$  zračenje se može smanjiti i postavljanjem detektora u štit sa dovoljno debelim zidovima. Pravljenje glomaznog sistema se izbegava zbog postojanja optimuma debljine a to je 10 cm Pb ili 20 cm Fe. Štit od Pb se može praviti od spoljašnjih 5 cm bilo kakvog Pb i od unutrašnjih 5 cm niskoaktivnog Pb.

Koncentracija Rn u laboratorijskim zgradama se smanjuje dobrom ventilacijom i premazivanjem odgovarajućim bojama ili presvlačenjem odgovarajućim materijalima poda, zidova i tavanice laboratorijske zgrade.

Smanjivanje fona se može izvršiti i opkoljavanjem glavnog detektora sistemom zaštitnih detektora. Čestica koja upadne spolja u sistem, okida i zaštitni i glavni detektor, dok čestica iz uzorka okida samo glavni detektor. Glavni i zaštitni detektor su vezani antikoincidentno, pa se signal od spoljašnje upadne čestice ne registruje. Zaštitni detektori se mogu podeliti na tri tipa:

- 1) niz posebnih cilindričnih brojača;
- 2) jedan anularni detektor;
- 3) set pljosnatih brojača.



*slika 6 - Ge detektor okružen plastičnim detektorima - primer sistema aktivne zaštite detektora ( L detektor u Laboratoriji za nuklearnu fiziku u Novom Sadu)*

## 6. NISKOFONSKI Ge SPEKTROMETRI

Poluprovodnički detektori su se prvi put komercijalno počeli proizvoditi 1960-tih godina i zbog svojih dobrih karakteristika imaju veliku primenu u merenjima u nuklearnoj fizici i fizici elementarnih čestica i predstavljaju osnovni alat niskofonskih  $\gamma$  detektorskih sistema. Poluprovodnički detektori se prave uglavnom od germanijuma. Jedan od nedostataka poluprovodničkih detektora je što zahtevaju hlađenje na niske temperature (77 K - temperatura tečnog azota) pre početka merenja. U proizvodnji poluprovodničkih detektora se aktivno radi na pronalaženju materijala od kojih napravljeni detektori bi mogli raditi na sobnim temperaturama.

Prvi germanijumski detektori su bili Ge(Li) detektori, međutim ovi detektori se moraju držati ohlađeni i kad nisu u upotrebi. Današnji detektori HPGe(High Purity Germanium) se ne moraju konstantno držati na niskim temperaturama, već samo u toku merenja. Moderni Ge detektori omogućavaju merenja sa visokom energetskom rezolucijom u opsegu od nekoliko keV-a do 10-tak MeV-a.

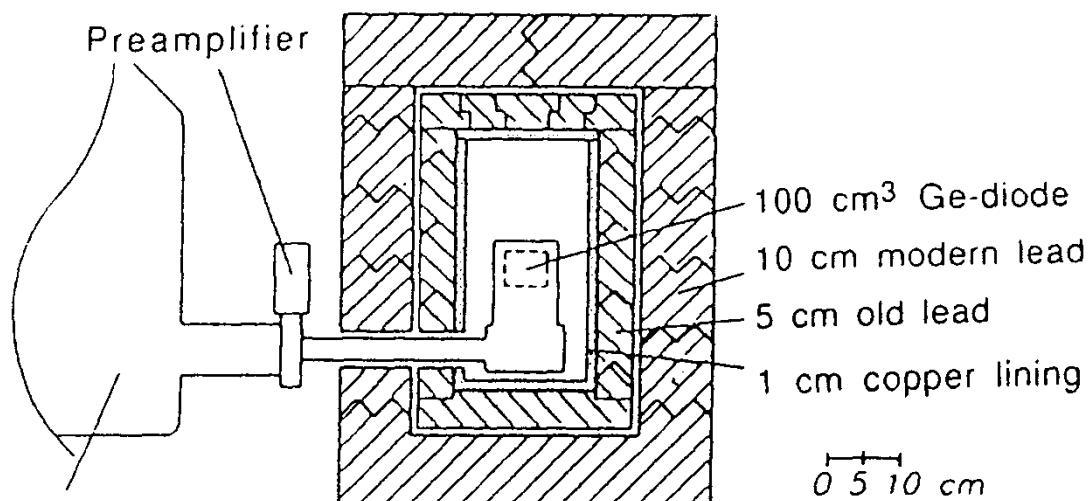
U površinskim laboratorijama, fon niskofonskih Ge spektrometara potiče prvenstveno od kosmičkog zračenja i od njegovih primarnih čestica i od sekundarnog zračenja koje one indukuju u štitu i materijalima unutar njega. Fon predstavljaju svi detektovani događaji koji nisu od interesa u datom merenju.

Glavne karakteristike spektara fona niskofonskih Ge sistema u površinskim laboratorijama su:

- širok vrh miona na oko 45 MeV;
- kontinuum od fotona i elektrona, koji su sekundarno i tercijarno zračenje miona i protona, koji se proteže od najmanjih do najvećih visina impulsa;
- anihilacioni vrh na 511 keV;
- $\gamma$  vrhovi proizvedeni neutronima u raznim materijalima.

U spektrima dobrih niskofonskih sistema vrhovi od primarnih i antropogenih radionuklida su slabi ili sasvim odsutni.

### 6.1. NISKOFONSKI $\gamma$ SPEKTROMETRI SA ZAŠTITOM OD Pb



Slika 7.-Niskofonski Ge spektrometar sa Pb zaštitom

Svi delovi sistema se prave od izabranih materijala čistih od radioaktivnosti. Detektori se obično nalaze u štitu od 15 cm Pb, od čega je spoljašnjih 10 cm bilo kakvo Pb a unutrašnjih 5 cm je od niskoaktivnog Pb (staro Pb). U laboratoriji za nuklearnu fiziku DFNS postoje tri Ge-detektora sa zaštitom od Pb. Zaštite imaju oblik cilindra i sa unutrašnje strane je stavljen i sloj Cu, da bi se smanjili intenziteti linija fona na nižim energijama. Zbog svoje relativno male zapremine u ovu komoru se može i uduvavati azot (što se i radi kod sva tri detektora) i time još više smanjiti intenzitet linija fona. Zaštita oko 100% Ge detektora je komercijalna proizvođača Canberra a druge dve zaštite oko HPGe i Gamma-X HPGe detektora su pravljene i sastavljene od pojedinačnih delova(cilindara) i po potrebi se mogu rastaviti,premestiti i ponovo sastaviti.

## **6.2. NISKOFONSKI SPEKTROMETRI SA AKTIVNOM ZAŠTITOM**

Za aktivno smanjenje fona se koriste dva tipa antikoincidentnih sistema:

- 1) uklanjanje fotona nastalih Komptonovim rasejanjem;
- 2) uklanjanje impulsa od interakcije visokoenergijskog kosmičkog zračenja;

Ge detektor se opkoljava, što je potpunije moguće, zaštitnim detektorom (NaI(Tl) ili BGO detektor, ili njihova kombinacija).

Debljina scintilatora mora biti dovoljna da sa velikom verovatnoćom zaustavi rasejane fotone. U zavisnosti od materijala scintilatora potrebna je različita debljina sloja (za BGO je potrebno 0.4 debljine NaI(Tl)).

Scintilacioni zaštitni detektor je najčešće oblika cevi sa debelim zidovima u koju je sa jedne strane uvučen Ge detektor.

Nedostaci antikomptonskih sistema su:

- veličina uzorka je ograničena;
- elektronika je kompleksna.

Za redukciju kosmičkog zračenja u niskofonskim sistemima se sve više koriste spoljašnji zaštitni detektori velike površine. Zaštitni detektori se postavljaju sa svih šest strana pasivne zaštite (slika 4), ali najveći doprinos smanjenju kosmičkog fona (oko 76 %) daje detektor postavljen odgore, pa postoje i sistemi sa samo jednim ovakvim detektorom.

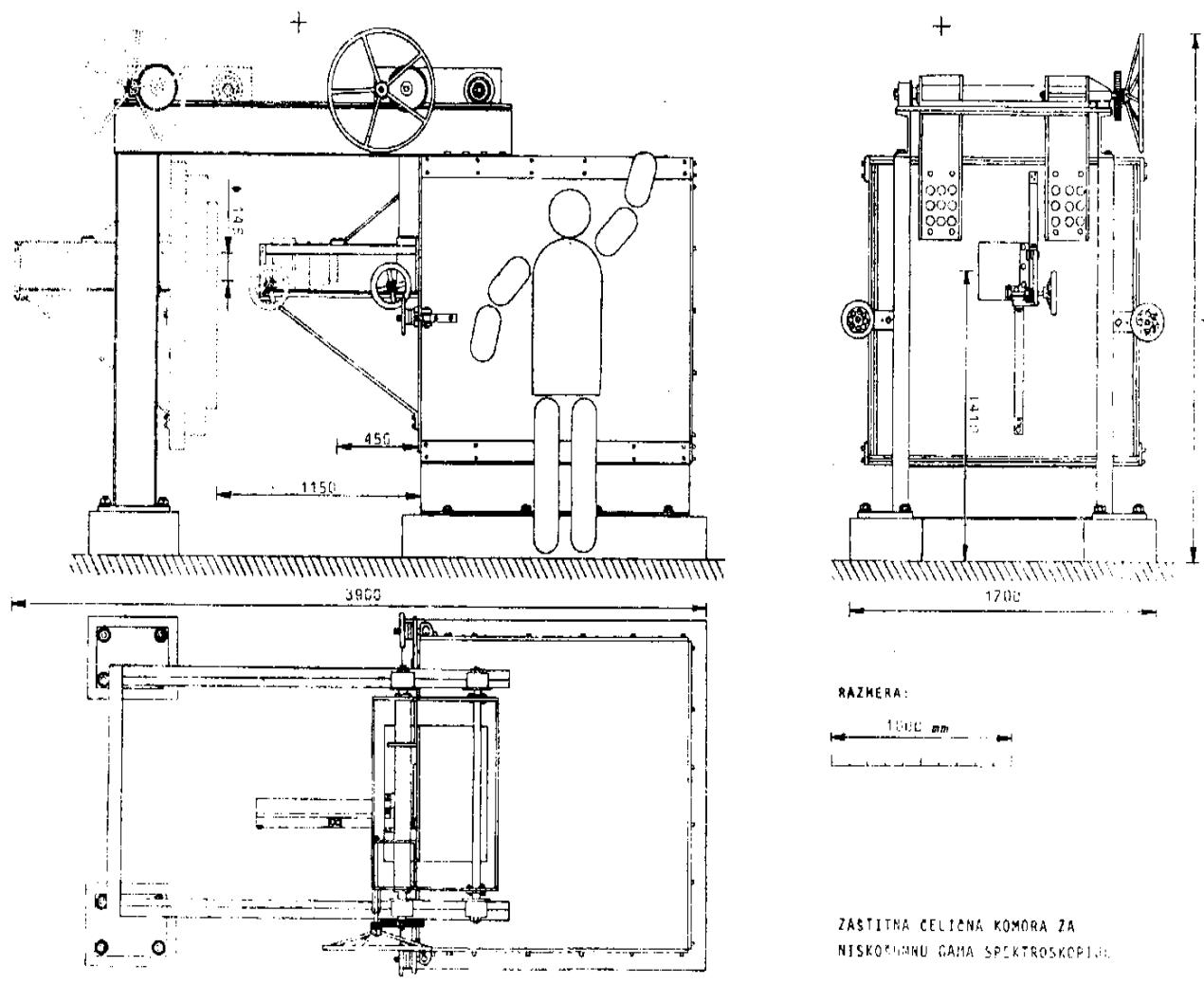
Kombinacija nadmoćna rezolucije HPGe sa efikasnošću NaI(Tl) detektora se vrši radi postizanja nižih granica detekcije.

## **6.3. NISKOFONSKI $\gamma$ SPEKTROMETRI SA ZAŠTITOM OD Fe**

Niska radioaktivnost uzorka ne bi mogla biti registrovana na fonu okoline bez obezbeđenih uslova za niskofonska merenja. Ovde je opisana niskofonska zaštita za  $\gamma$  spektrometre koja postoji u DFNS. Kao zaštitni materijal je izabранo Fe liveno pre II.svetskog rata koje ne sadrži fisione produkte iz vazdušnih nuklearnih eksplozija. Da bi zaštitna komora bila pogodna za različite detektore (sa vertikalnim ili horizontalnim kriostatom), detektor zajedno sa Dewar-ovim sudom može biti smešten unutar komore. Lokacija komore u zgradi DFNS je takva da je udaljena od svih izvora zračenja i u kojoj

nije rađeno sa radioaktivnim izotopima. Zidovi zaštitne komore su sastavljeni od limova debljine 1 cm. Limene ploče su isečene sa starog švedskog broda ``Orijent II''. Ploče su očišćene peskarenjem a komora je kompletno montirana bez zavarivanja. Komora ima oblik kocke sa bočnim pomičnim vratima. Debljina zidova komore iznosi 25 cm a korisna zapremina je 1 m<sup>3</sup>. Na pomičnim vratima se nalaze kružna vrata ( $\phi = 15$  cm) za postavljanje uzoraka za merenje. Da bi se smanjio uticaj zračenja podloge, cela komora je uzdignuta sa betonskog postolja na 0.5 m visine pomoću nosača izrađenih od starih železničkih šina. Na zidovima komore postoje samo otvori za dolivanje tečnog azota u Dewar-ov sud ( $\phi = 20$  mm), za vođenje električnih kablova do detektoru ( $\phi = 15$  mm) i dva otvora ( $\phi = 20$  mm) za prinudnu ventilaciju. Ukupna težina cele Fe zaštite je cca 20 t (slike 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 i 15).

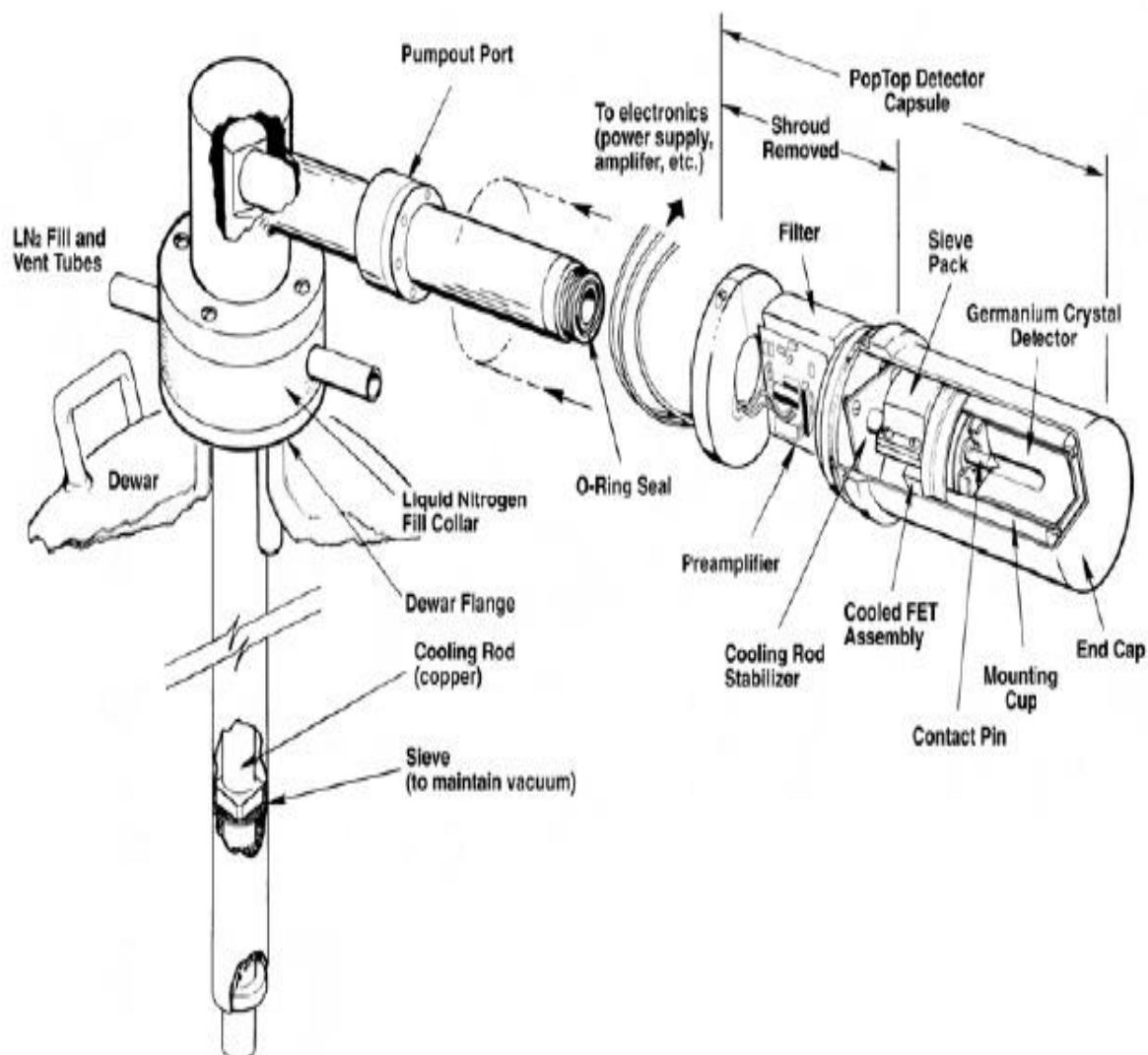
Merenja performansi komore izvedena su pomoću Ge(Li) spektrometra sa koaksijalnim kristalom sa zatvorenim krajem proizvođača ``Canberra''. Osetljiva zapremina detektora je bila oko  $80 \text{ cm}^3$ , efikasnost 14.5% a moć razlaganja ispod 2 keV. Signali iz detektora su se preko pretpojačavača i pojačavača ``Canberra'' vodili u višekanalni analizator Nuclear Data 2400 sa 4096 kanala.



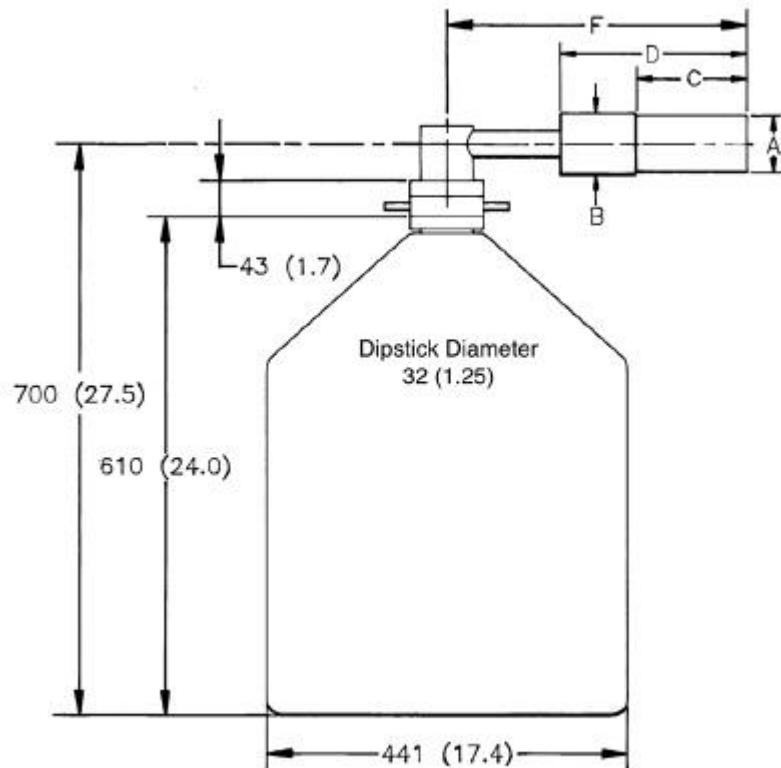
Slika 8.-Konstrukcija Fe zaštitne komore u DFNS

Rezultati merenja fona u komori pokazali su da je dobijena kvalitetna univerzalna spoljašnja zaštita za bilo koji poluprovodnički spektrometar. Glavna prednost opisane niskofonske zaštite je u tome što omogućuje dalje usavršavanje i dodatnu redukciju fona (eliminisanje radona prinudnom ventilacijom, opremanje detektora antikoincidentnom zaštitom ili okruživanje unutrašnjim izolacionim slojem). [ 1 ]

Komora može služiti i za koincidentnu detekciju, jer se u nju mogu istovremeno smestiti i dva detektora.



slika 9. - presek HPGe detektora



**CFG-SH, DWR-30**

*slika 10. - HPGe detektor sa Dewar-ovim sudom*



*Slika 11. - Fe zaštita pogled spreda*



Slika 12. - Fe zaštita sa strane



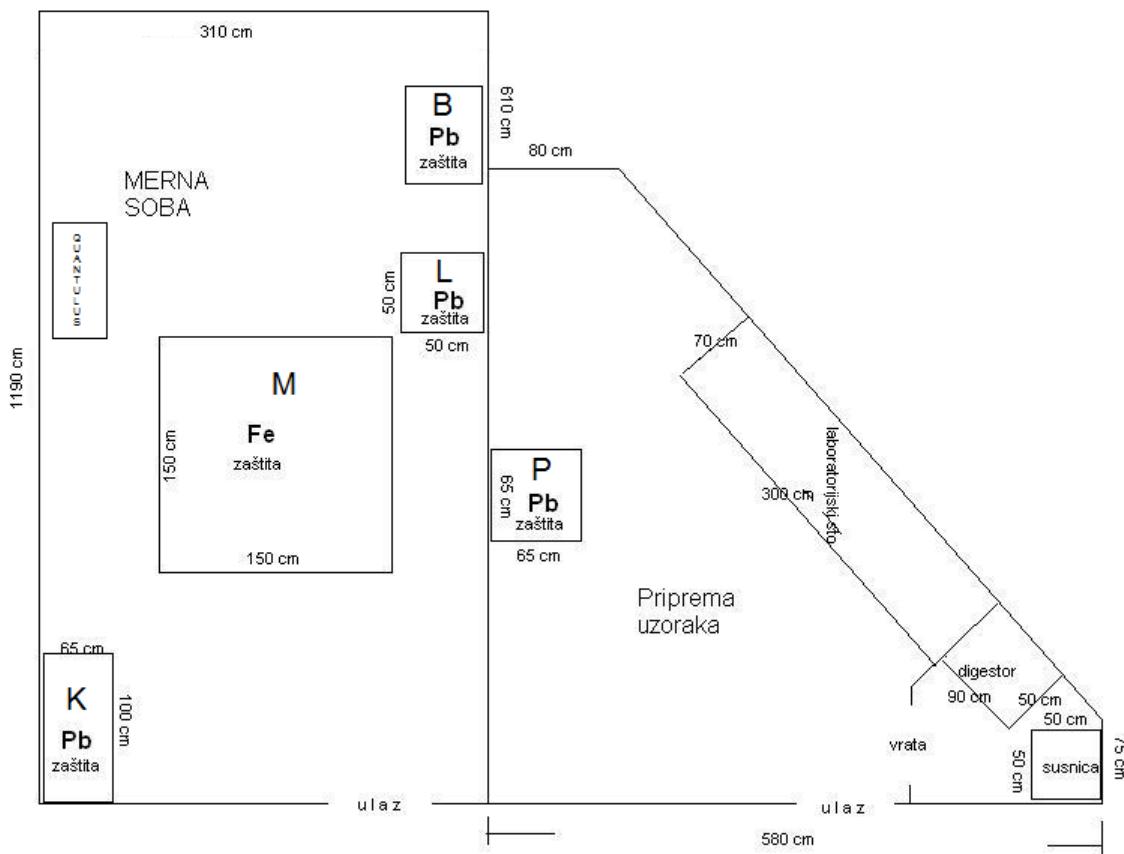
Slika 13. - mala vrata(otvor) za lakše stavljanje uzoraka



Slika 14. - Ge detektor u Fe zaštiti u Laboratoriji za nuklearnu fiziku, Novi Sad



Slika 15. - Ge detektor u Fe zaštiti



Slika 16. - laboratorija sa položajem Ge detektora i delom za pripremu uzorka

Gamma spektrometrijski sistem za merenje niskih aktivnosti u laboratoriji za nuklearnu fiziku DFNS sastoji se iz detektora,niskofonske zaštitne komore,bloka uređaja za obradu signala,kalibracionih izvora i računara sa odgovarajućim softverom.

Merenja se vrše na poluprovodničkom detektoru čija je aktivna zapremina izrađena od germanijuma visoke čistoće (HPGe), proizvođača CANBERRA Model G.C.2520-7600s1S, serijski broj b 87053. Relativna efikasnost detektora je 22,4% , rezolucija 1,76 keV FWHM na 1,33 MeV a odnos Peak/Compton 56,4:1 (podaci sa testiranja IEEE standard test ANSI/IEEE std325-1996 od 18.juna 2002.g.). Geometrija detektora je koaksijalna sa jednim otvorenim krajem. Veličina detektora je 51 mm u prečniku i 58,5 mm u dužini. Aktivna površina prema prozoru je  $20,4 \text{ cm}^2$  a udaljenost od prozora je 5 mm. Radna temperatura je 77K i održava se pomoću kriostata tip Horizontal dipstick type 7600sl Special 6`` Endcap, koji je u kontaktu sa tečnim azotom koji se čuva u Dewar-ovom sudu. Kriostatska konfiguracija dozvoljava da se detektor i pored postojanja komore kao niskofonske zaštite, dodatno opkoli zaštitnim materijalom čime bi se fon redukovao za još jedan red veličine,a naročito doprinos od Dewar-ovog suda.

Sakupljanje slobodnih nosilaca nanelektrisanja nastalih upadima  $\gamma$  kvanata i sprečavanje njihove rekombinacije se vrši pomoću izvora visokog, stabilnog napona na koji je priključen detektor ( 4 kV ).

### 6.3.1. UREĐAJI ZA OBRADU SIGNALA U SPEKTROMETARSKOM SISTEMU Ge DETEKTORA U Fe ZAŠTITI

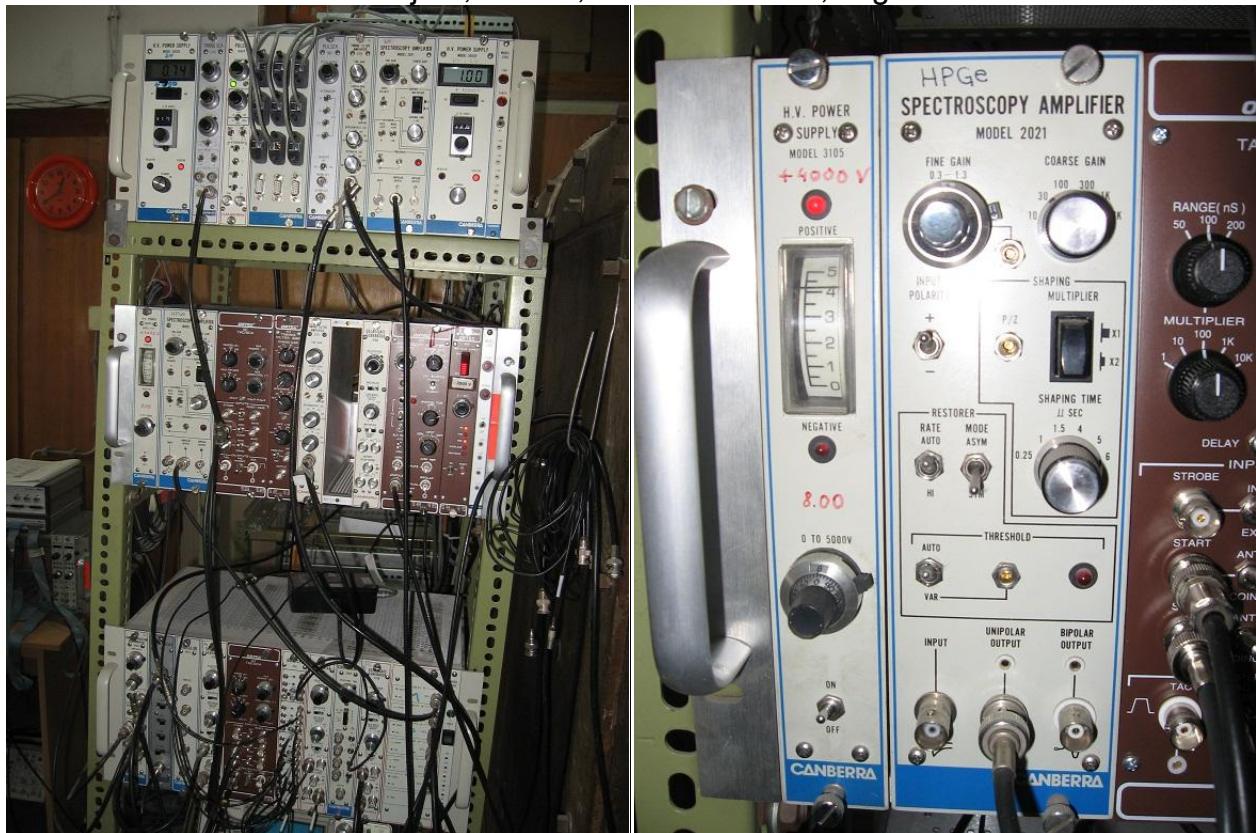
Sistem za snimanje i obradu spektra, osim Ge detektora γ zračenja sadrži i:

**1) Visoki napon CANBERRA H.V.Power Supply model 3105**, je pogodan za detektore koji rade na naponu do 5 kV ( Ge detektor u Fe zaštiti u laboratoriji za nuklearnu fiziku je na 4 kV) i strujama do 100 μA. Ovaj model ima zaštitu protiv visokog napona i kratkog spoja, ali je kao i sve elektronske komponente, priključen na stabilizator napona MGE UPS SYSTEMS PULSAR MX 4000.

Prekidač za biranje polarnosti napona se nalazi unutar modula i omogućava biranje pozitivnog ili negativnog visokog napona na izlazu. Odabrani polaritet se pokazuje LED indikatorima na prednjoj strani panela. Sa prednje strane se još nalazi ON/OFF prekidač, prikazivač visokog napona i potenciometar za nameštanje visokog napona sa kočnicom.

Na konstantnom ulaznom naponu i sobnoj temperaturi, 30 minuta posle podizanja visokog napona, „curenje“ izlaznog napona je  $\leq 0,02\% / 8\text{h}$ . Temperaturni koeficijent nestabilnosti je  $\leq \pm 50 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$ . Opseg rada ovog modela je od 0 do  $50^\circ\text{C}$ .

Veličina modela 3105 je  $3,43 \times 22,13 \text{ cm}$  a težina 1,4 kg.



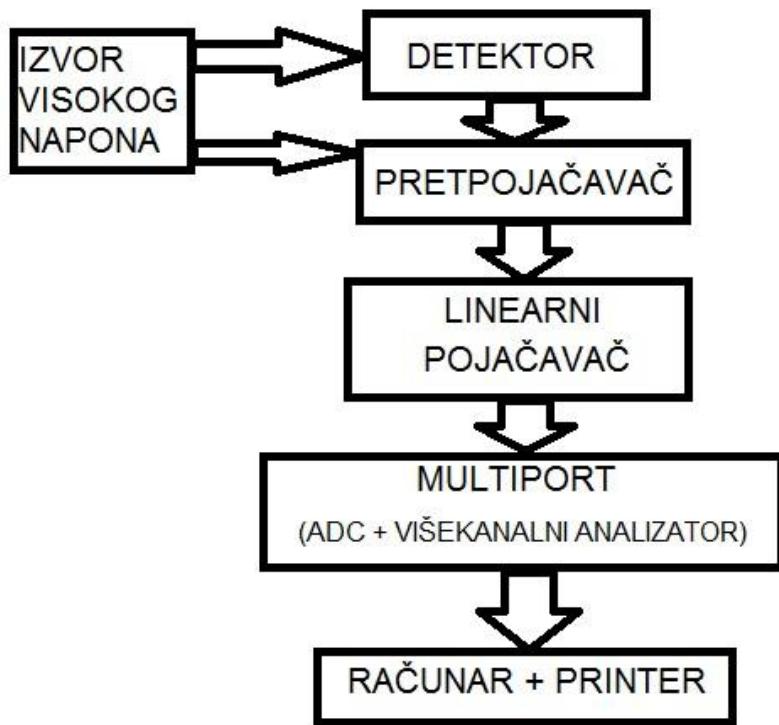
Slika 17. - prateći uređaji Ge detektora + visok napon i pojačavač

**2) Prepojačavač CANBERRA model 2002/C/CSL**, sa filterom za visoki napon. Integralna i diferencijalna nelinearnost je  $<0,05\%$  na 90% dinamičkog opsega prepojačavača a njegova temperaturna nestabilnost je  $<50 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$ . Osnovna uloga prepojačavača je izdvajanje signala iz detektora bez značajnog smanjenja postojećeg odnosa signal/šum. Zato je prepojačavac lociran uz sam detektor.

Kapacitet modela 2002 je veći od 200000 odbroja po sekundi i testirana je od strane proizvođača pomoću izvora  $^{60}\text{Co}$ . Na modelu se nalaze zelena i crvena LED koje pokazuju da li se detektor nalazi u temperaturnom opsegu rada tj. da nije zagrejan (da nije ostao bez hlađenja - bez tečnog azota). Idealna dužina kabla od prepojačavača do pojačavača je 3 metra i ako je moguće, ne bi trebalo koristiti kabl veće dužine.

Veličina prepojačavača je  $12,7 \times 7,9$  cm a težina 0,4 kg.

**3) Pojačavač CANBERRA 2021**, integralne nelinearnosti  $<0.05\%$  za ceo dinamički opseg pri konstanti integracije od 2  $\mu\text{s}$ . Grubi stepen pojačanja je 100 a fini 0.3. Promena pojačanja usled varijacije temperature je manja od 75 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ . Osnovni zadatak pojačavača je uvećanje amplitude prepojačavačkog izlaznog impulsa sa milivoltskog opsega na 0.1-10 V opseg. Pojačavač mora raditi u režimu linearног pojačanja (mora povećavati amplitudu impulsa srazmerno prvoj visini).



Blok shema sistema za snimanje i obradu spektra  $\gamma$  zračenja

#### 4) Višekanalni analizator MULTIPORT II, model MP2-4U, serijski broj 03048532

Multiport II sadrži u sebi ADC i višekanalni analizator sa čak boljim performansama od tradicionalnih pojedinačnih komponenti. Multiport može imati od jednog do šest ulaza za signale (model koji se koristi u Laboratoriji za nuklearnu fiziku - MP2-4U ima šest ulaza). Sa kompjuterom se može spojiti preko Ethernet/USB ili samo preko USB veze. Multiport se lako instalira i pogodan je za rad na širokom spektru različitih kompjuterskih

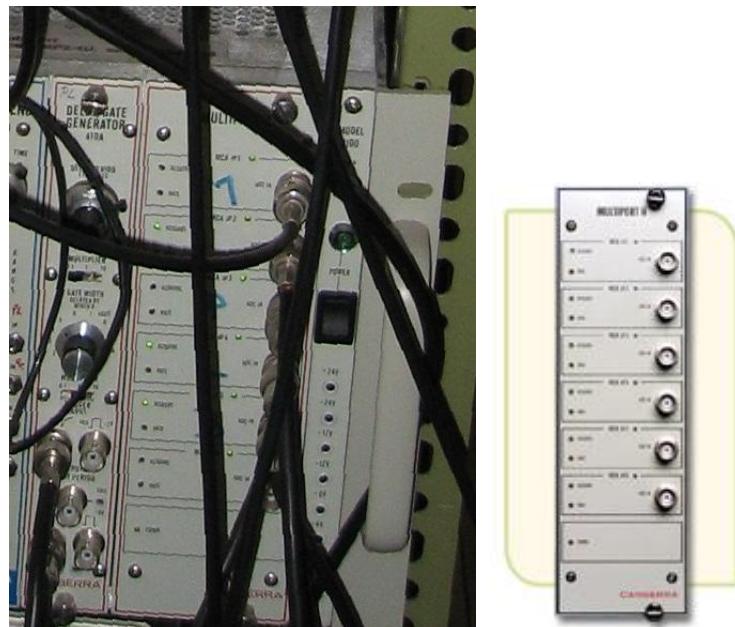
konfiguracija. Multiport ima bolje osobine i manji šum nego MCA(višekanalne) kartice koje se ugrađuju u kompjutere, jer su sve osetljive komponente ugrađene posebno, van kompjutera i ceo multiport se može staviti blizu detektora, te time smanjiti dužina kablova i slabljenje signala a svi signali iz multiporta se dalje u kompjuter vode jednim kablom.

Multiport II je pogodan za korišćenje sa različitim vrstama detektora. Zajedno sa odgovarajućim prepojačavačem, pojačavačem i visokim naponom, Multiport II je kompatibilan sa NaI(Tl), HPGe, SiLi, CdTe, plastičnim scintilatorima, BGO i ostalim tipovima detektora. Pošto sve odgovara NIM modulu, lako je preoblikovati ceo sistem u odgovarajuću konfiguraciju ili ga unaprediti sa novim elementima iz novih tehnologija.

Multiport II je potpuno kompatibilan sa računarskim softverom za prikupljanje i obradu spektara - Genie 2000 i preko njega se mogu podešavati svi parametri multiporta (gain, LLD, ULD, ADC...).

Multiport II ima operabilni temperaturski opseg od 0-50°C. Sa gornje i donje strane su napravljene rupice za hlađenje i strujanje vazduha i potrebno je držati multiport podalje od drugih izvora toplote, da ne bi došlo do pregrevanja.

Posle povezivanja sistema (multiporta i kompjutera) potrebno je prvo definisati parametre za sve MCA koji se koriste. Podešavanja se vrše preko kompjutera i programa Genie 2000 a između ostalog, bira se broj kanala ADC (od 256 - 16384 - u zavisnosti od vrste detektora - Ge detektori su namešteni na 16384 kanala), LLD (lower level discriminator od 0,0% do 100,0%), ULD (upper level discriminator od 0,0% do 110,0%), ADC Zero (od -2,5 do 2,5 %), koincidentni ili antikoincidentni mod itd.



Slika 18. - multiport

**5)Računar PC** sa odgovarajućim programom koji omogućava vizuelizaciju,obradu i čuvanje spektra ( npr. Genie 2000 ).



Slika 19. - računari sa softverom Genie 2000 u Laboratoriji za nuklearnu fiziku,Novi Sad

## **7. UZORKOVANJE, MERENJE i REZULTATI**

Ideja o merenju jednog uzorka više puta na detektoru u Fe zaštiti je nastala zbog potrebe provere rada tog sistema, jer na njemu se javlja najviše problema usled delova sistema koji imaju dosta godina. Naime na tom detektoru se najčešće javlja pomeranje kalibracije i usled najmanje efikasnosti detektora se očekuju najveća odstupanja između rezultata.

Kao uzorak je uzeta zemlja sa površine cca 50 x 50 cm i dubine od 0-15 cm. Zemlja je iz bašte porodične kuće u Bačkom Petrovcu. Svake godine se u bašti iskoristi cca 250 kg/ha đubriva NPK 15:15:15 i oko 300 kg/ha urea-e, što može biti značajno zbog mogućeg prisustva nekih radionuklida, posebno u NPK đubrивu. Zemlja je usitnjena i osušena na 105°C do konstatne mase(7 ciklusa po 2 sata). Posle sušenja je uzorak ponovo izmešan i usitnen u avanu na prah i onda upakovani u dve standardne kutijice za merenje. Dimenzije kutijice su 70 mm prečnik i 28 mm visina. Kutijice sa uzorkom su dobro zatvorene i zapepljene selotejpom da bi se spremio eventualni izlazak radona. Uzorak je ostao stalno upakovani i kutijice nisu otvarane između pojedinačnih merenja. Masa uzorka koji je meren je iznosila 299,9 grama.

Spektri su snimani preko noći kada je detektor bio slobodan tj. kada se nije merilo na njemu nešto od većeg značaja. Prvo merenje od 50 je urađeno u noći između 21. i 22. oktobra 2010.g. Poslednje merenje iz serije je urađeno u noći između 10. i 11. februara 2011.g.

Za obradu snimljenih spektara je korišćen program Genie 2000 i automatski podešena obrada za M detektor (detektor u Fe zaštiti). Parametri za obradu nisu menjani i stalno su bili isto podešeni. Kao fonski spektar za oduzimanje od snimljenog spektra je korišćen spektar snimljen 31.decembra 2008.g. u dužini od 259628 s.

Aktivnosti radionuklida K-40 i Cs-137 su određene iz linija 1460,8 keV-a i 661,6 keV-a respektivno. Ra-226 je dobijen kao srednja vrednost iz linija Ra-226,Pb-214,Bi-214 i Pb-210 a Th-232 kao srednja vrednost iz linija Ac-228,Ra-224,Pb-212 i Bi-212. Usrednjavanje se vrši automatski iz programa Genie 2000 i programa Skratigenie.exe koji listing od 30-40 strana skraćuje na jednu stranu A4 formata (slika 20.). Program Skratigenie.exe je napisao prof.dr. Jaroslav Slivka. Dodatna pogodnost ovog programa je što na kraju daje i spisak linija koji nisu automatski identifikovani u spektru pa se lako može proveriti da li se tu nalazi i nešto od važnosti.

Izračunavanje srednjih vrednosti rezultata svih merenja je izvršeno prostim sabiranjem pojedinačnih rezultata i deljenjem dobijenog broja sa ukupnim brojem merenja. Slike spektara su ubaćene direktno iz programa Genie 2000, samo je izvršen promena osnovnih boja zbog bolje vidljivosti posle štampanja(invert colors). Grafici pojedinačnih radionuklida su pravljeni u programu Excel 2007.

2010-11-04 06:55:44 C:\GENIE2K\REPFILES\SkratiGenje.exe (ver. 2008-09-01 10:46:04) by J. Slivka:

&bRESUME OF CANBERRA GENIE2K SAMPLE REPORT&b

\*\*\*\*\* G A M M A S P E C T R U M A N A L Y S I S \*\*\*\*\*

Filename: C:\GENIE2K\CAMFILES\MJH101103.CNF

Report Generated On : 2010-11-04 06:55:37

Sample Title : ZEMLJA MASTER BP

Spectrum Description :

Sample Identification : MJH101103

Sample Type : ZEMLJA x 8

Sample Geometry : 2 KUTJUE

Peak Locate Threshold : 2.70

Peak Locate Range (in channels) : 200 - 16384

Peak Area Range (in channels) : 200 - 16384

Identification Energy Tolerance : 1.500 keV

Sample Size : 2.999E-001 kg

Sample Taken On :

Acquisition Started : 2010-11-03 12:13:17

Live Time : 67209.3 seconds

Real Time : 67284.2 seconds

Dead Time : 0.11 %

Energy Calibration Used Done On : 2010-10-31

Efficiency Calibration Used Done On : 2010-11-04

Efficiency ID : MC7230x2

Background File : C:\GENIE2K\CAMFILES\MMBackground\MB081231.CNF

=====

No	Nuclide	NIDConf [Bq/kg]	MDA [Bq/kg]	activity(1s) [Bq/kg]	activity+-1.6s OR MDA [Bq/kg]
1	Be-7	0.000	8	0(8)	<8
2	K-40	1.000	11	502(25)	(0.50+-0.04)E+03
3	CO-60	0.000	0.9	0.0(9)	<0.9
4	CS-137	1.000	0.64	4.70(28)	4.7+-0.5
5	TL-208	0.999	0.8	15.8(9)	15.8+-1.4
6	PB-210	0.978	69	62(12)	62+-21
7	Bi-212	0.987	44	45(11)	45+-19
8	PB-212	0.959	1.2	42.8(29)	43+-5
9	Bi-214	0.998	2.5	50.0(17)	50.0+-2.7
10	PB-214	0.981	3.0	47.1(23)	47+-4
11	TH-227	0.000	10	0(10)	<10
12	AC-228	0.983	3.3	42.8(23)	43+-4
13	TH-234	0.914	15	60(5)	60+-9
14	U-235	0.000	15	0(15)	<15
15	AM-241	0.000	3.8	0(4)	<4

=====

Formula	activity(1sC) [Bq/kg]	cspdf	activity+-1.6sC [Bq/kg]
Ra226S=WMeanC(RA-226,PB-214,BI-214,PB-210)=	49.2(14)	1.06	49.2+-2.3
Th232S=WMeanC(AC-228,RA-224,PB-212,BI-212)=	42.8(18)	0.01	43+-3
U235S=WMeanC(U-235,TH-227,BI-211)=	0(8)	0.00	<14
U238S=WMeanC(TH-234,PA-234M,RA-226,PB-214,BI-214,PB-210)=	49.8(18)	1.98	50+-3
U238(234)=WMeanC(TH-234,PA-234M)=	60(5)	-1.00	60+-9

natural=Be7+K40+U235+Th232+U238=	594(28)	(0.59+-0.05)E+03
artificial=	5(4)	<11
total=natural+artificial=	599(28)	(0.60+-0.05)E+03

buildint=K40/3000+Ra226/200+Th232/300+artificial/4000=	0.557(12)	0.557+-0.020
buildext=K40/5000+Ra226/400+Th232/400+artificial/4000=	0.331(8)	0.331+-0.012
buildfund=K40/8000+Ra226/700+Th232/500+artificial/2000=	0.221(6)	0.221+-0.009
buildnodep=K40/50000+Ra226/4000+Th232/3000+artificial/10000=	37.1(9)E-03	(37.1+-1.5)E-03

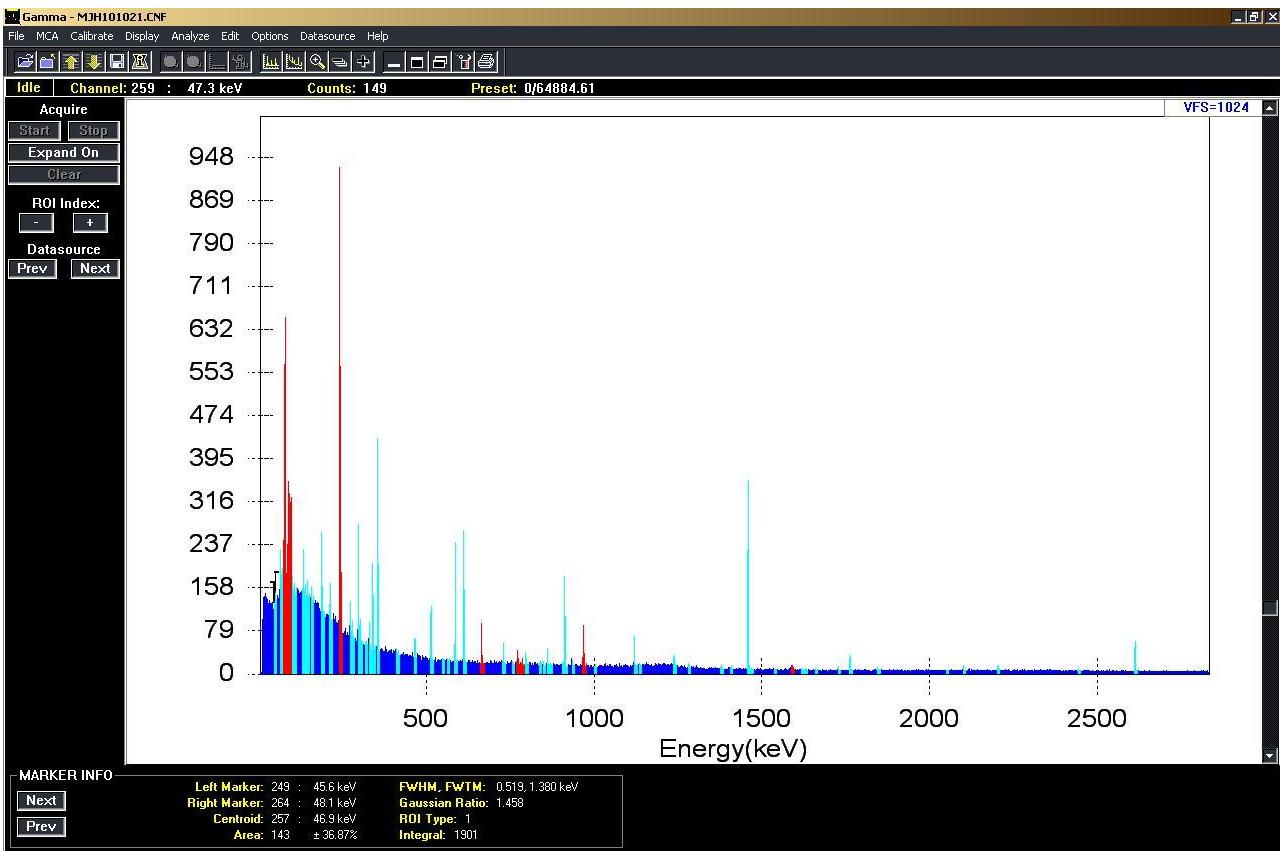
=====

UNIDENTIFIED PEAKS (Is<10%):

Energy (keV) cps cps1s%

75.79	3.6795E-002	2.93
78.04	5.4532E-002	2.25
85.19	1.1426E-002	7.67
88.17	2.5418E-002	3.96
90.92	1.6464E-002	5.28
186.82	1.3678E-002	6.67
270.82	7.1660E-003	8.65
300.72	5.4925E-003	9.29
328.46	6.6535E-003	8.27
338.81	1.7647E-002	3.81
463.31	5.7777E-003	7.68
510.91	9.1116E-003	8.20
727.20	6.1323E-003	6.41
964.60	3.0129E-003	9.37
1639.10	3.1483E-004	3.44

Slika 20. - listing/izveštaj dobijen za uzorak sa Skratigenje.exe

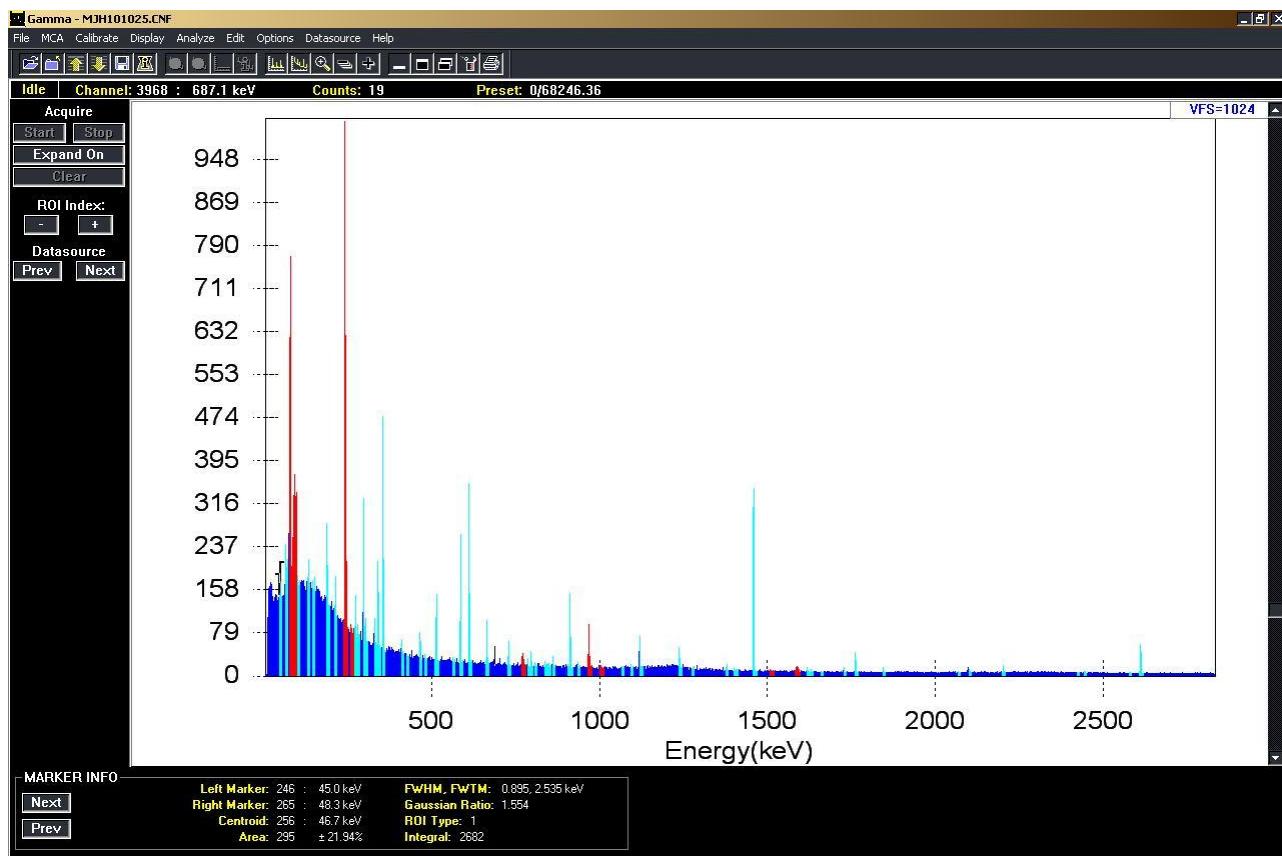


## MJH101021

datum merenja: 21.10.2010

vreme merenja: 64884 s LIVE TIME; 64951 s REAL TIME; 0.10 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.1 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>44.1 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>96.2</b>	<b>- 3.8</b>
Th - 232	<b>39.7 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>39.7 <math>\pm</math> 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>97.3</b>	<b>- 2.7</b>
K - 40	<b>511 <math>\pm</math> 25</b>	<b>511 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.3</b>	<b>+ 1.3</b>
Cs - 137	<b>4.92 <math>\pm</math> 0.28</b>	<b>4.9 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>109</b>	<b>+ 9</b>

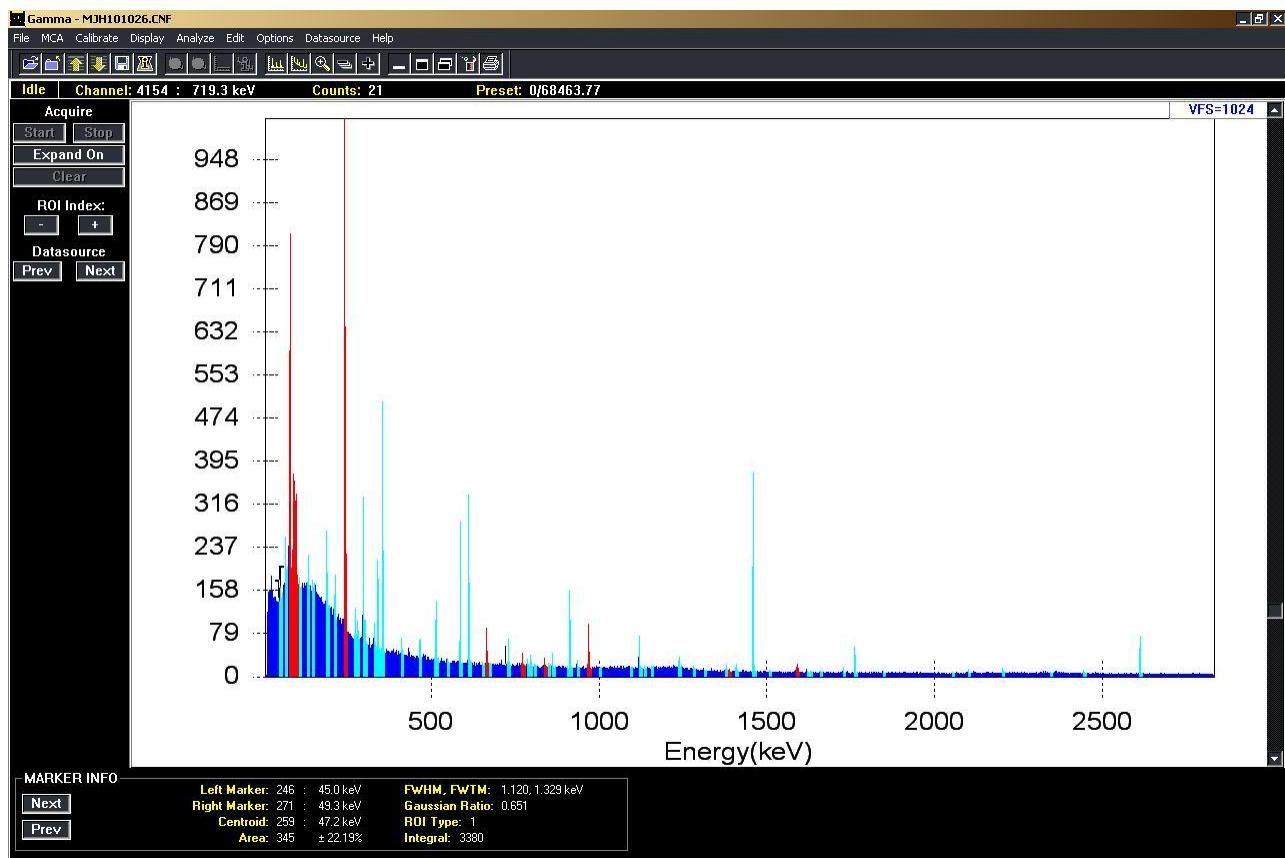


## MJH101025

datum merenja: 25.10.2010

vreme merenja: 68246 s LIVE TIME; 68320 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.7 <math>\pm</math> 1.4</b>	<b>45.7 <math>\pm</math> 2.3</b>	<b>45.856</b>	<b>99.7</b>	- 0.3
Th - 232	<b>40.6 <math>\pm</math> 2.5</b>	<b>41 <math>\pm</math> 4</b>	<b>40.808</b>	<b>99.5</b>	- 0.5
K - 40	<b>505 <math>\pm</math> 25</b>	<b>505 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.1</b>	+ 0.1
Cs - 137	<b>4.05 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>4.1 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>89.7</b>	- 10.3

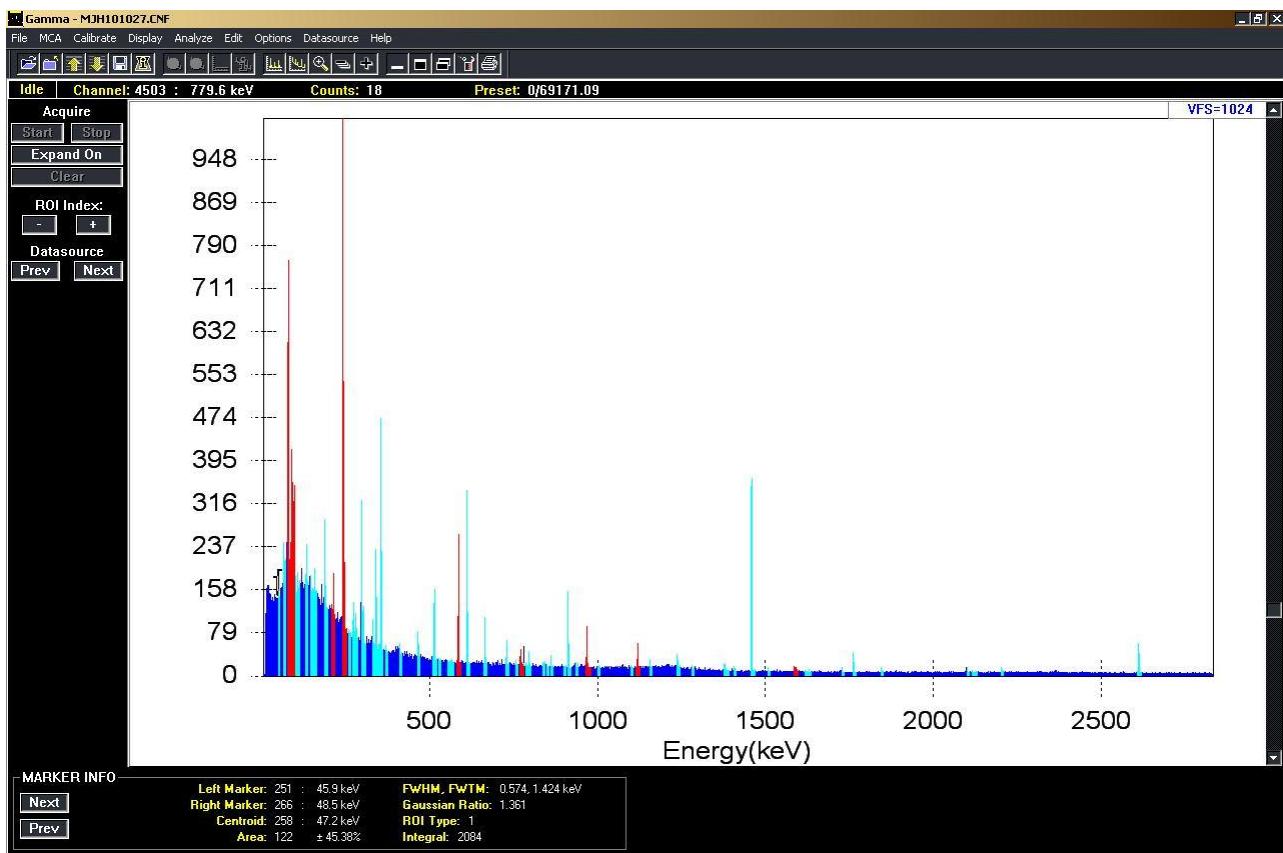


## MJH101026

datum merenja: 26.10.2010

vreme merenja: 68463 s LIVE TIME; 68533 s REAL TIME; 0.10 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.7 ± 1.7</b>	<b>44.7 ± 2.8</b>	<b>45.856</b>	<b>97.5</b>	- 2.5
Th - 232	<b>40.3 ± 2.0</b>	<b>40 ± 3</b>	<b>40.808</b>	<b>98.8</b>	- 1.2
K - 40	<b>515 ± 25</b>	<b>515 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>102.1</b>	+ 2.1
Cs - 137	<b>3.87 ± 0.27</b>	<b>3.9 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>85.7</b>	- 14.3

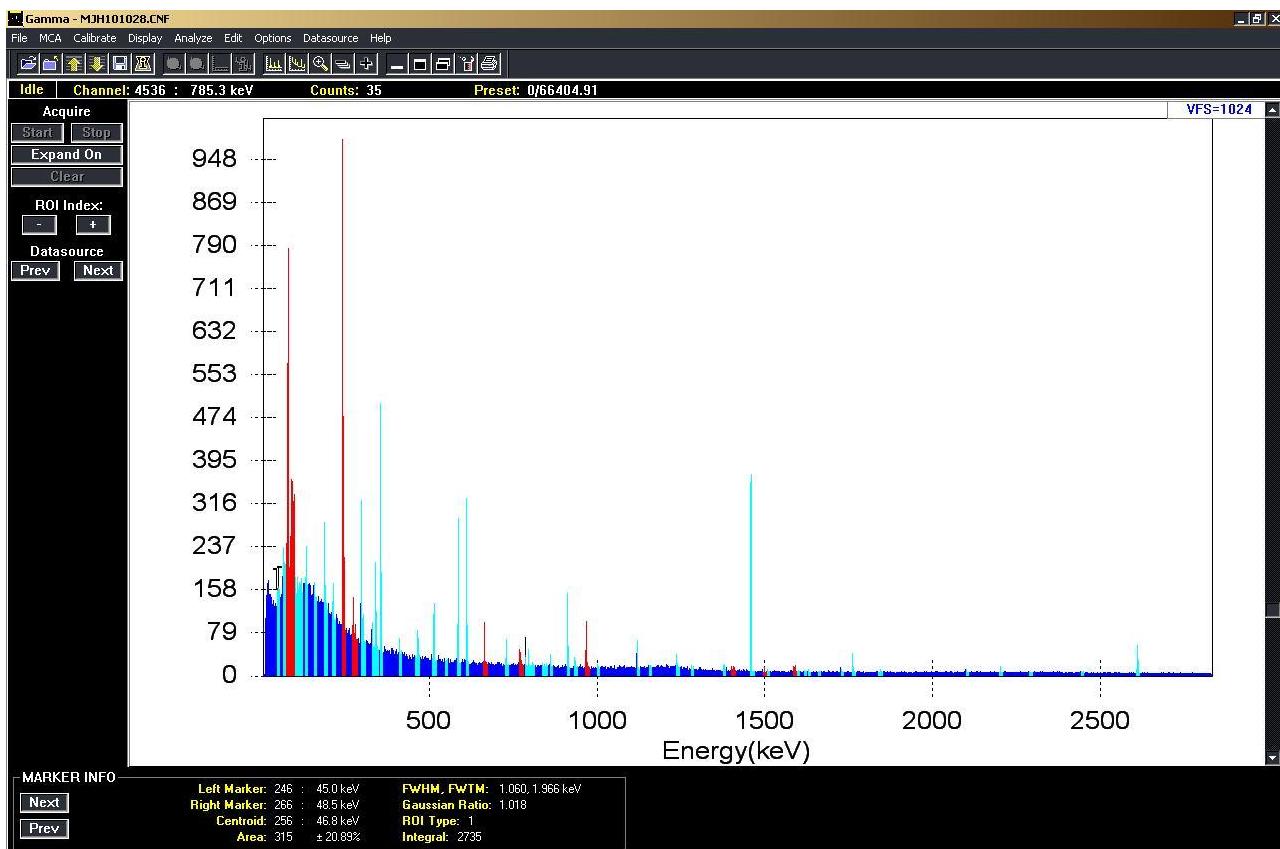


## MJH101027

datum merenja: 27.10.2010

vreme merenja: 69171 s LIVE TIME; 69245 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>41.9 ± 1.4</b>	<b>41.9 ± 2.3</b>	<b>45.856</b>	<b>91.4</b>	<b>- 8.6</b>
Th - 232	<b>38 ± 3</b>	<b>38 ± 5</b>	<b>40.808</b>	<b>93.1</b>	<b>- 6.9</b>
K - 40	<b>511 ± 25</b>	<b>511 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.3</b>	<b>+ 1.3</b>
Cs - 137	<b>4.39 ± 0.27</b>	<b>4.4 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>97.2</b>	<b>- 2.8</b>

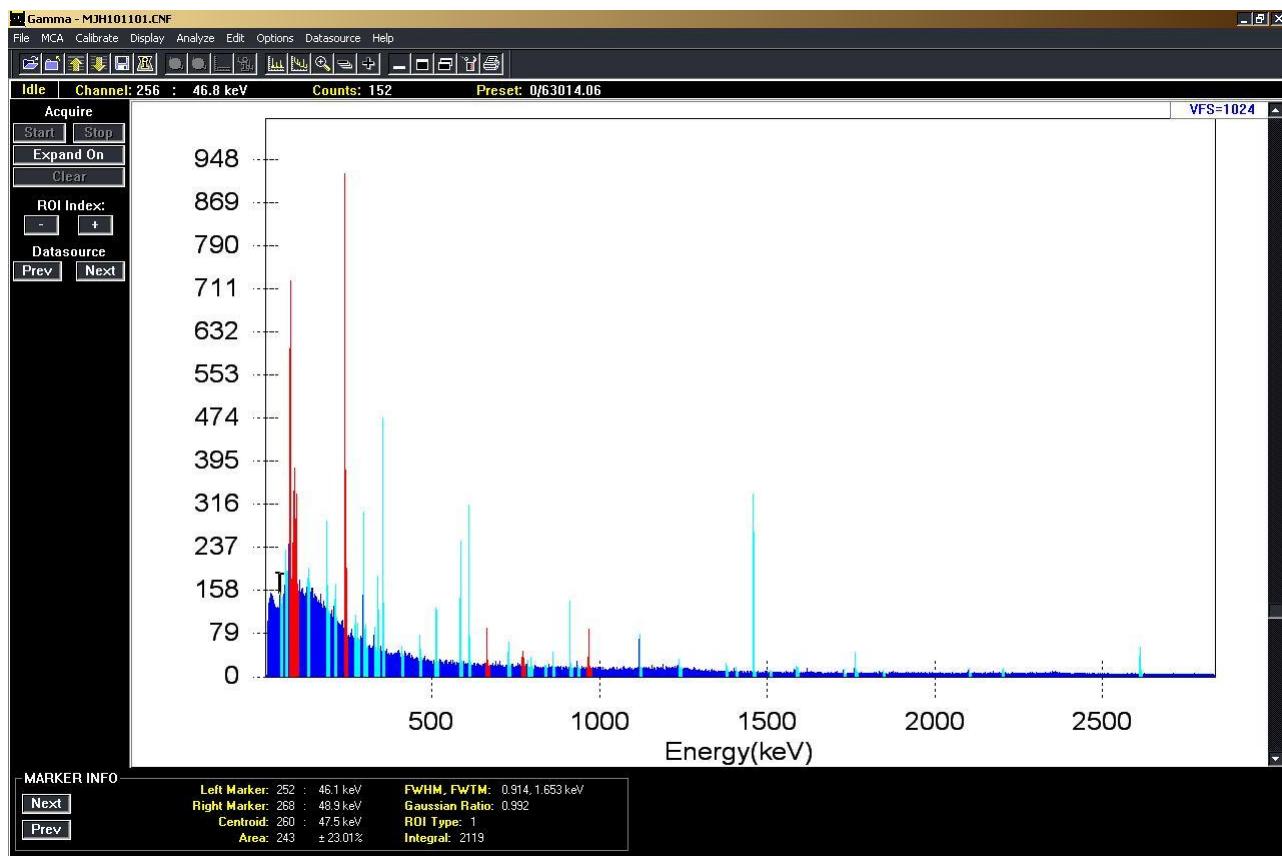


## MJH101028

datum merenja: 28.10.2010

vreme merenja: 66404 s LIVE TIME; 66476 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.6 <math>\pm</math> 1.5</b>	<b>44.6 <math>\pm</math> 2.5</b>	<b>45.856</b>	<b>97.3</b>	<b>- 2.7</b>
Th - 232	<b>40.9 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>40.9 <math>\pm</math> 2.9</b>	<b>40.808</b>	<b>100.2</b>	<b>+ 0.2</b>
K - 40	<b>516 <math>\pm</math> 26</b>	<b>516 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>102.3</b>	<b>+ 2.3</b>
Cs - 137	<b>4.09 <math>\pm</math> 0.15</b>	<b>4.09 <math>\pm</math> 0.25</b>	<b>4.515</b>	<b>90.6</b>	<b>- 9.4</b>

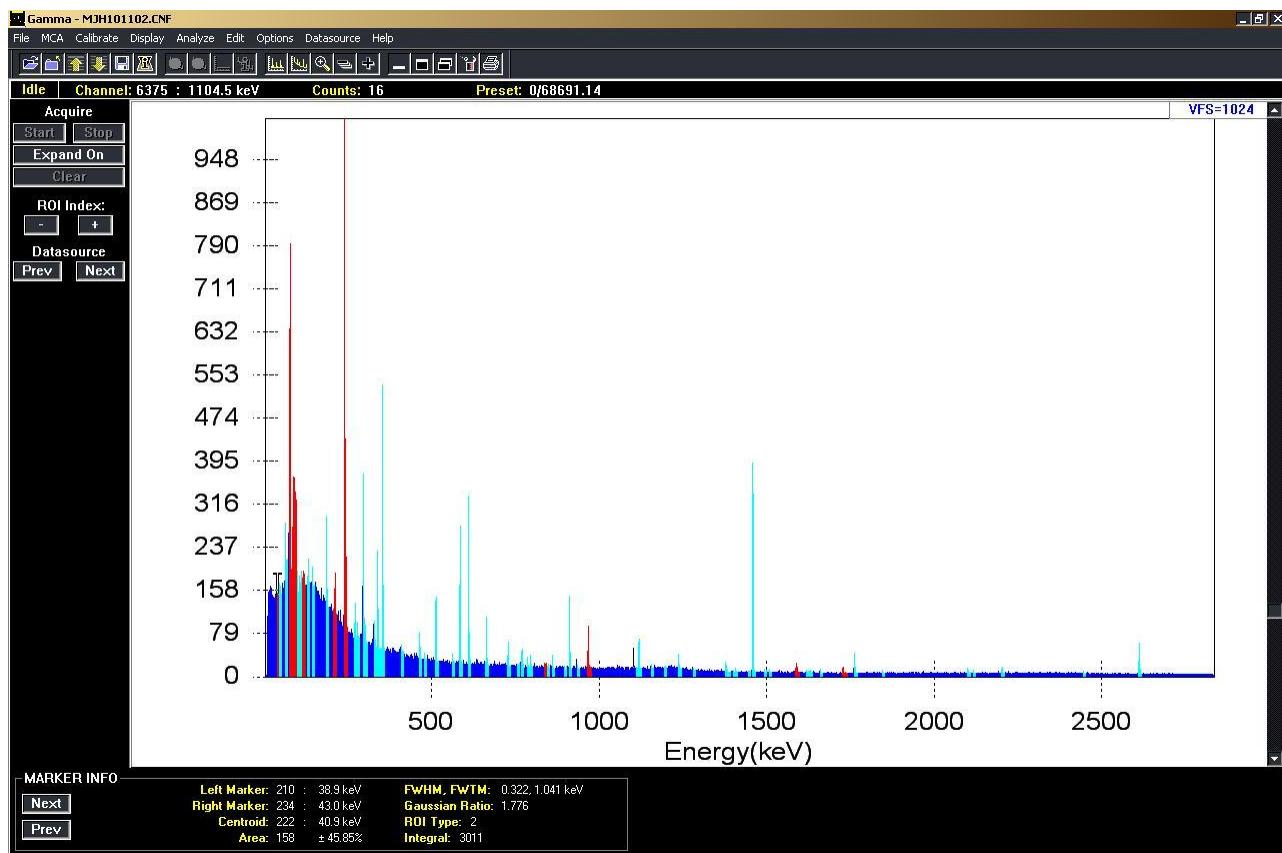


## MJH101101

datum merenja: 01.11.2010

vreme merenja: 63014 s LIVE TIME; 63085 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.1 ± 1.7</b>	<b>46.1 ± 2.9</b>	<b>45.856</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Th - 232	<b>42 ± 4</b>	<b>42 ± 6</b>	<b>40.808</b>	<b>102.9</b>	<b>+ 2.9</b>
K - 40	<b>489 ± 24</b>	<b>489 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>96.9</b>	<b>- 3.1</b>
Cs - 137	<b>4.44 ± 0.28</b>	<b>4.4 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>98.3</b>	<b>- 1.7</b>

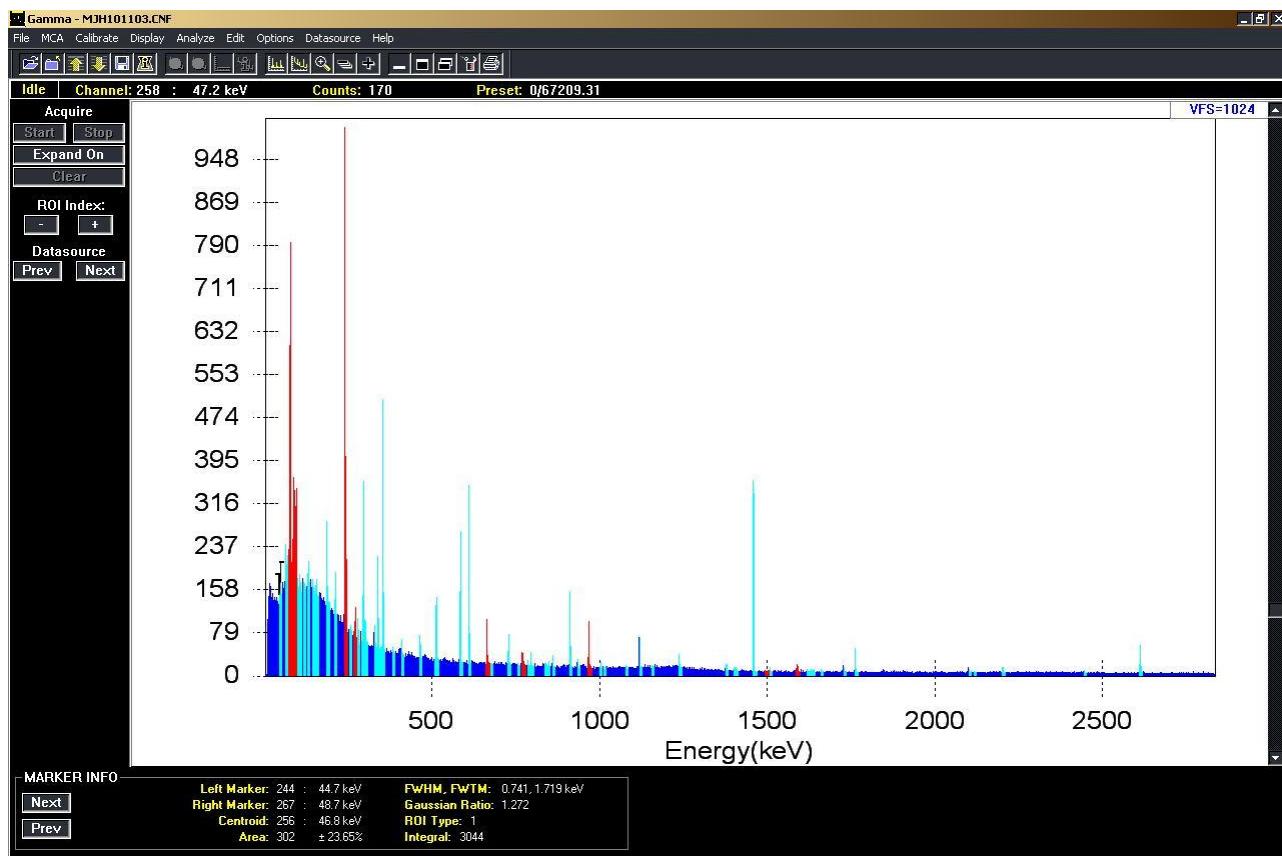


## MJH101102

datum merenja: 02.11.2010

vreme merenja: 68691 s LIVE TIME; 68768 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.9 ± 1.7</b>	<b>47.9 ± 2.8</b>	<b>45.856</b>	<b>104.5</b>	<b>+ 4.5</b>
Th - 232	<b>40.7 ± 1.8</b>	<b>41 ± 3</b>	<b>40.808</b>	<b>99.7</b>	<b>- 0.3</b>
K - 40	<b>508 ± 25</b>	<b>508 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.7</b>	<b>+ 0.7</b>
Cs - 137	<b>4.52 ± 0.27</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>100.1</b>	<b>+ 0.1</b>

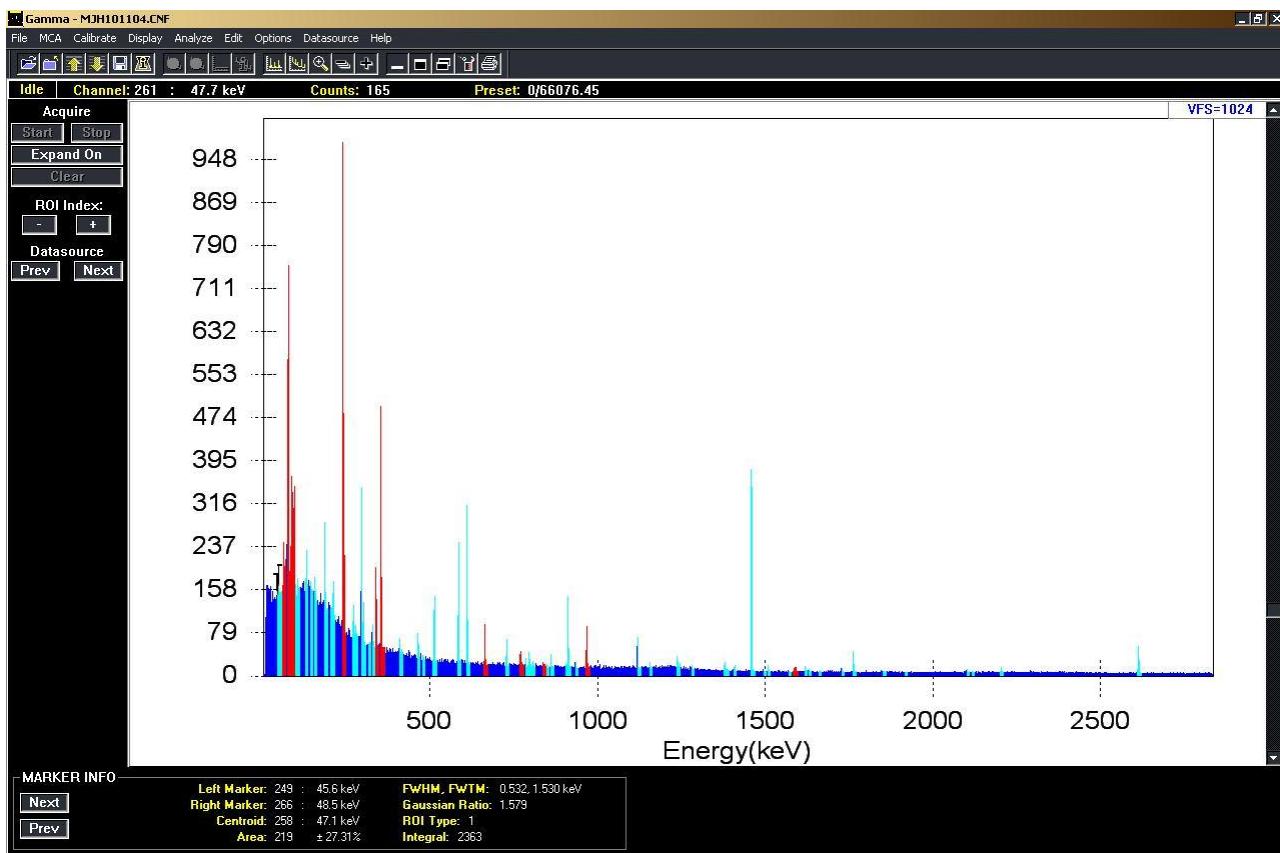


## MJH101103

datum merenja: 03.11.2010

vreme merenja: 67209 s LIVE TIME; 67284 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>49.2 ± 1.4</b>	<b>49.2 ± 2.3</b>	<b>45.856</b>	<b>107.3</b>	<b>+ 7.3</b>
Th - 232	<b>42.8 ± 1.8</b>	<b>43 ± 3</b>	<b>40.808</b>	<b>104.9</b>	<b>+ 4.9</b>
K - 40	<b>502 ± 25</b>	<b>502 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>99.5</b>	<b>- 0.5</b>
Cs - 137	<b>4.70 ± 0.28</b>	<b>4.7 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>104.1</b>	<b>+ 4.1</b>

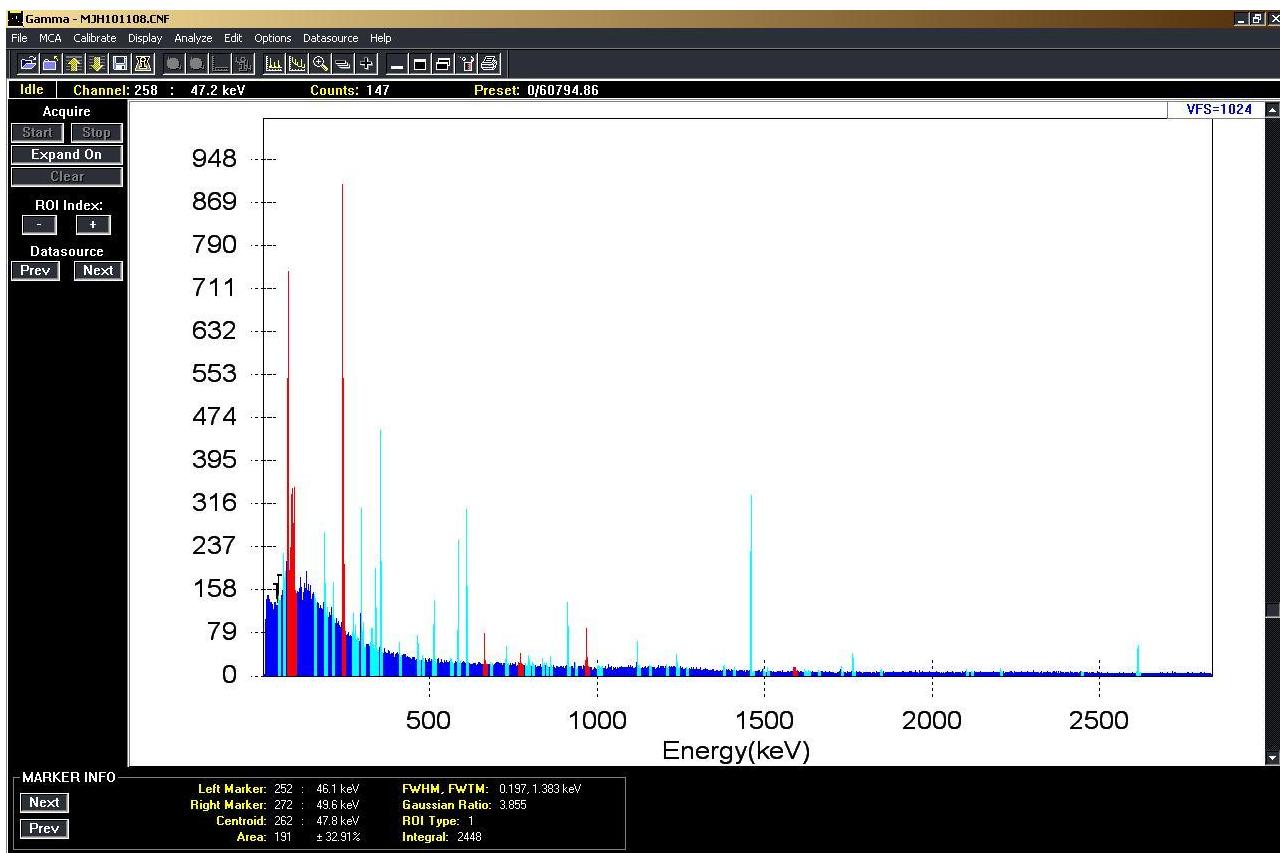


## MJH101104

datum merenja: 04.11.2010

vreme merenja: 66076 s LIVE TIME; 66148 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.1 ± 1.3</b>	<b>47.1 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>102.7</b>	<b>+ 2.7</b>
Th - 232	<b>40 ± 3</b>	<b>40 ± 5</b>	<b>40.808</b>	<b>98.0</b>	<b>- 2.0</b>
K - 40	<b>514 ± 25</b>	<b>514 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.9</b>	<b>+ 1.9</b>
Cs - 137	<b>4.28 ± 0.27</b>	<b>4.3 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>94.8</b>	<b>- 5.2</b>

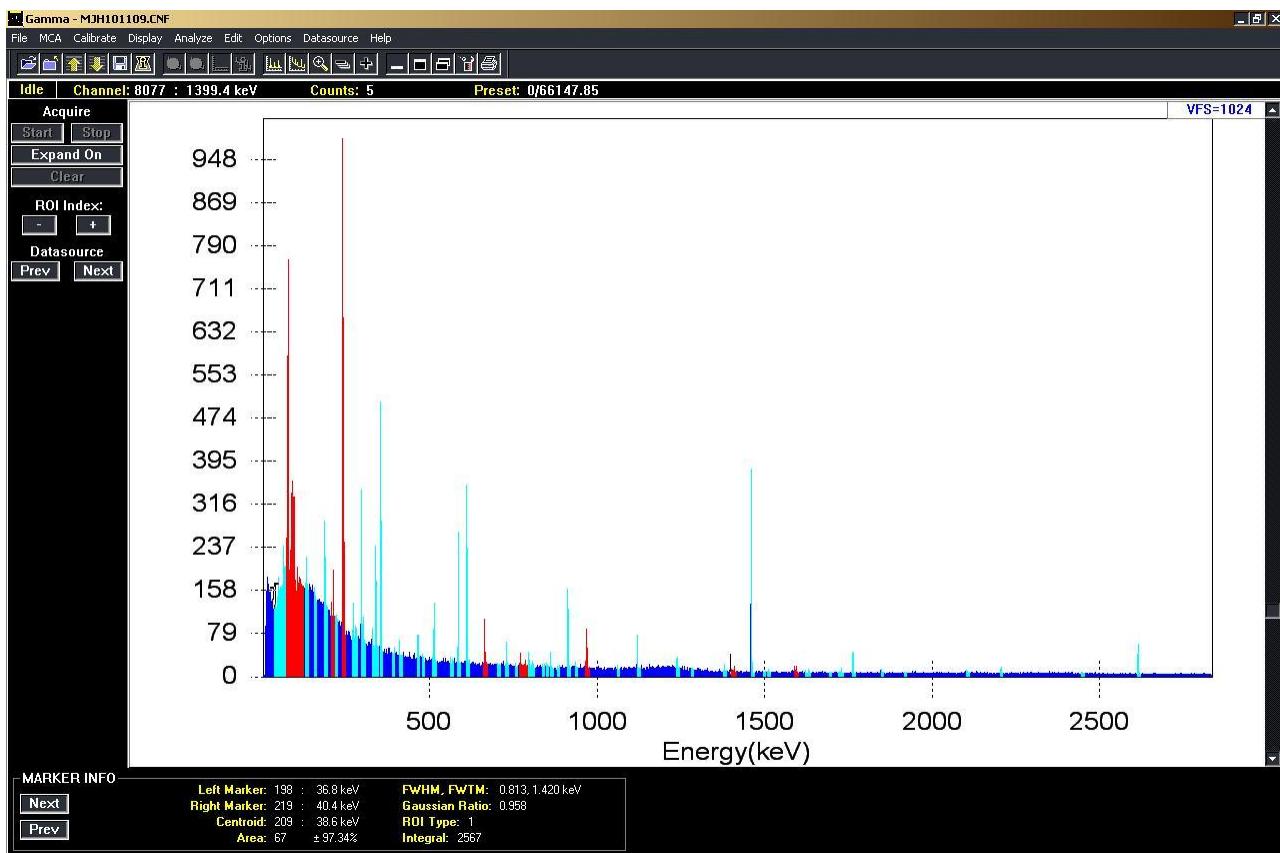


## MJH101108

datum merenja: 08.11.2010

vreme merenja: 60794 s LIVE TIME; 60862 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.6 ± 1.3</b>	<b>45.6 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>99.4</b>	- 0.6
Th - 232	<b>40 ± 3</b>	<b>40 ± 5</b>	<b>40.808</b>	<b>98.0</b>	- 2.0
K - 40	<b>510 ± 25</b>	<b>510 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.1</b>	+ 1.1
Cs - 137	<b>4.20 ± 0.28</b>	<b>4.2 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>93.0</b>	- 7.0

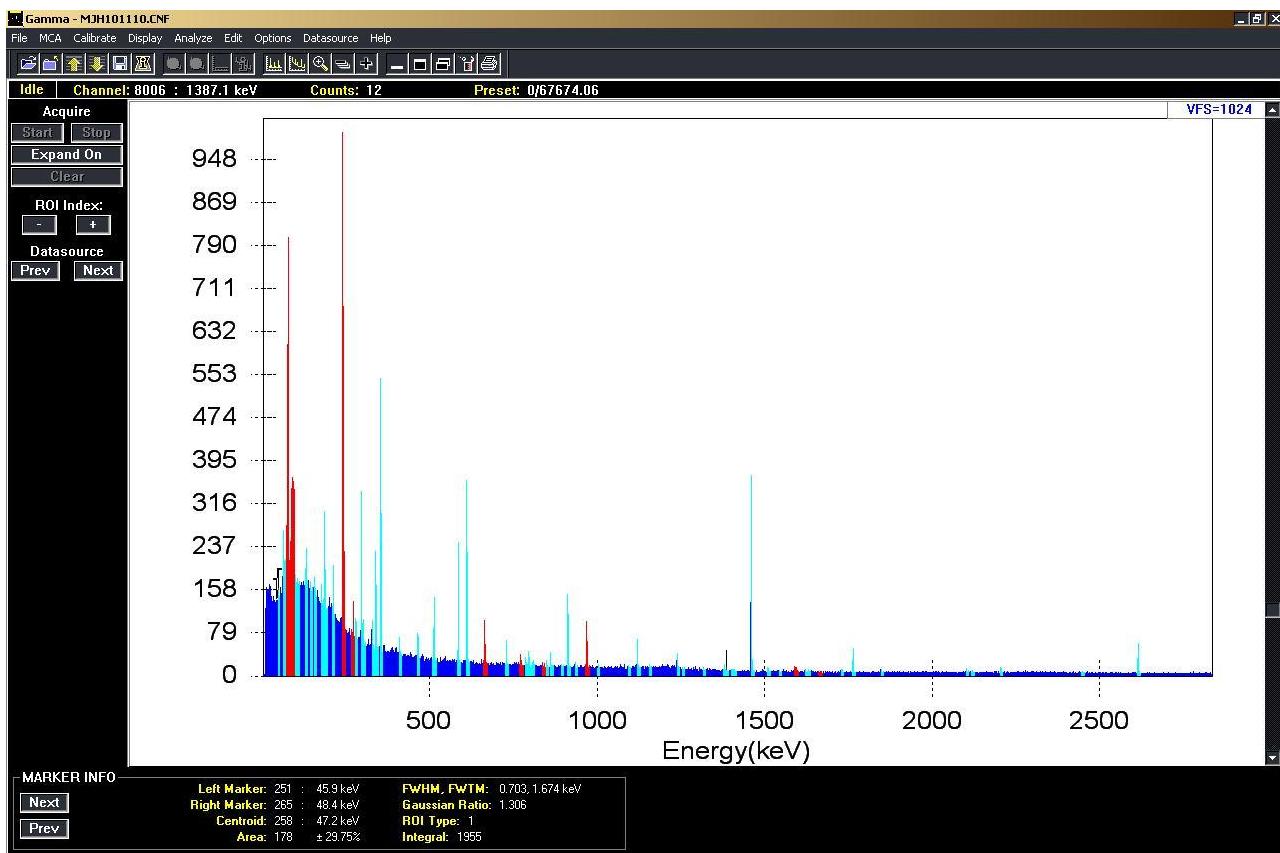


## MJH101109

datum merenja: 09.11.2010

vreme merenja: 66147 s LIVE TIME; 66215 s REAL TIME; 0.10 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.2 <math>\pm</math> 1.4</b>	<b>45.2 <math>\pm</math> 2.3</b>	<b>45.856</b>	<b>98.6</b>	- 1.4
Th - 232	<b>40.9 <math>\pm</math> 2.5</b>	<b>41 <math>\pm</math> 4</b>	<b>40.808</b>	<b>100.2</b>	+ 0.2
K - 40	<b>505 <math>\pm</math> 25</b>	<b>505 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.1</b>	+ 0.1
Cs - 137	<b>4.9 <math>\pm</math> 0.3</b>	<b>4.9 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>108.5</b>	+ 8.5

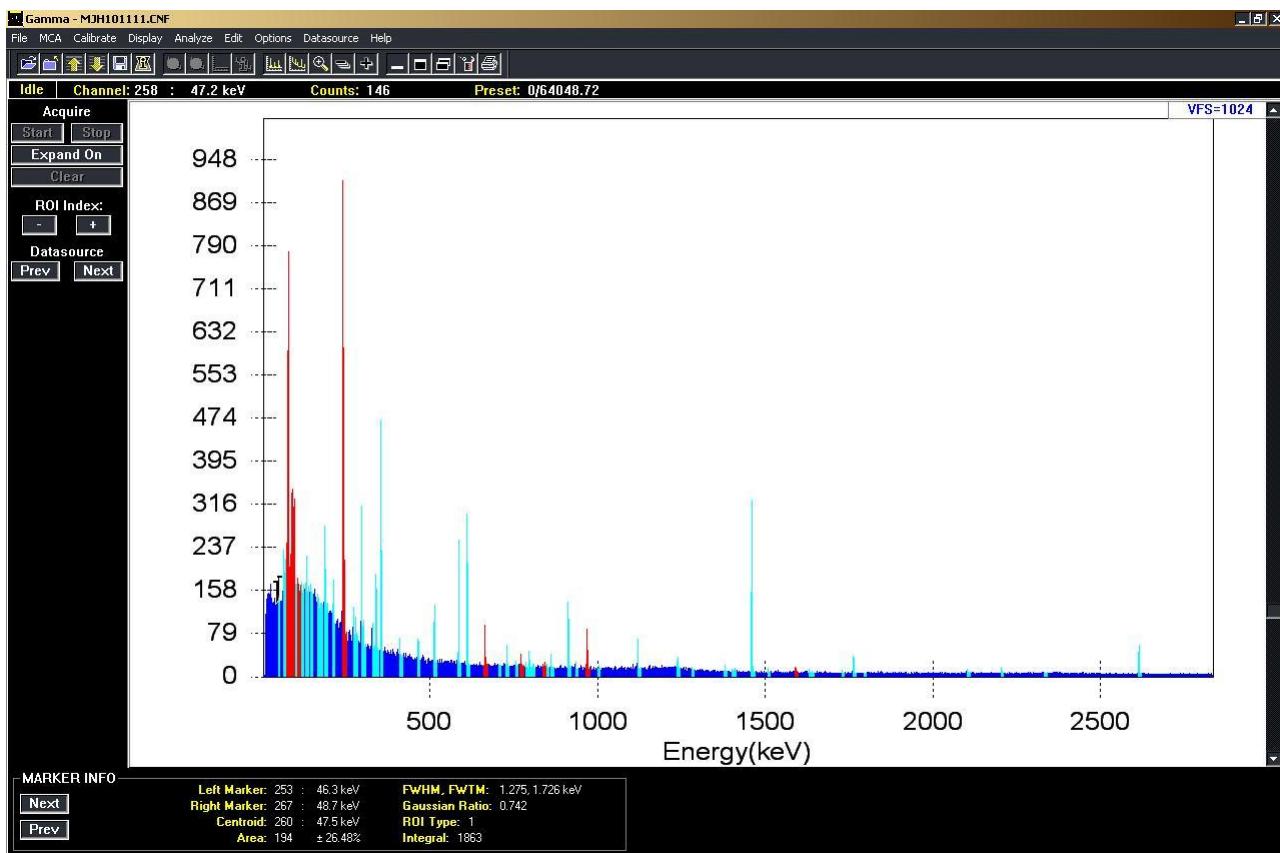


## MJH101110

datum merenja: 10.11.2010

vreme merenja: 67674 s LIVE TIME; 67742 s REAL TIME; 0.10 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.8 <math>\pm</math> 1.5</b>	<b>44.8 <math>\pm</math> 2.4</b>	<b>45.856</b>	<b>97.7</b>	- 2.3
Th - 232	<b>40.8 <math>\pm</math> 2.3</b>	<b>41 <math>\pm</math> 4</b>	<b>40.808</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
K - 40	<b>525 <math>\pm</math> 26</b>	<b>525 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>104.1</b>	<b>+ 4.1</b>
Cs - 137	<b>4.69 <math>\pm</math> 0.29</b>	<b>4.7 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>103.9</b>	<b>+ 3.9</b>

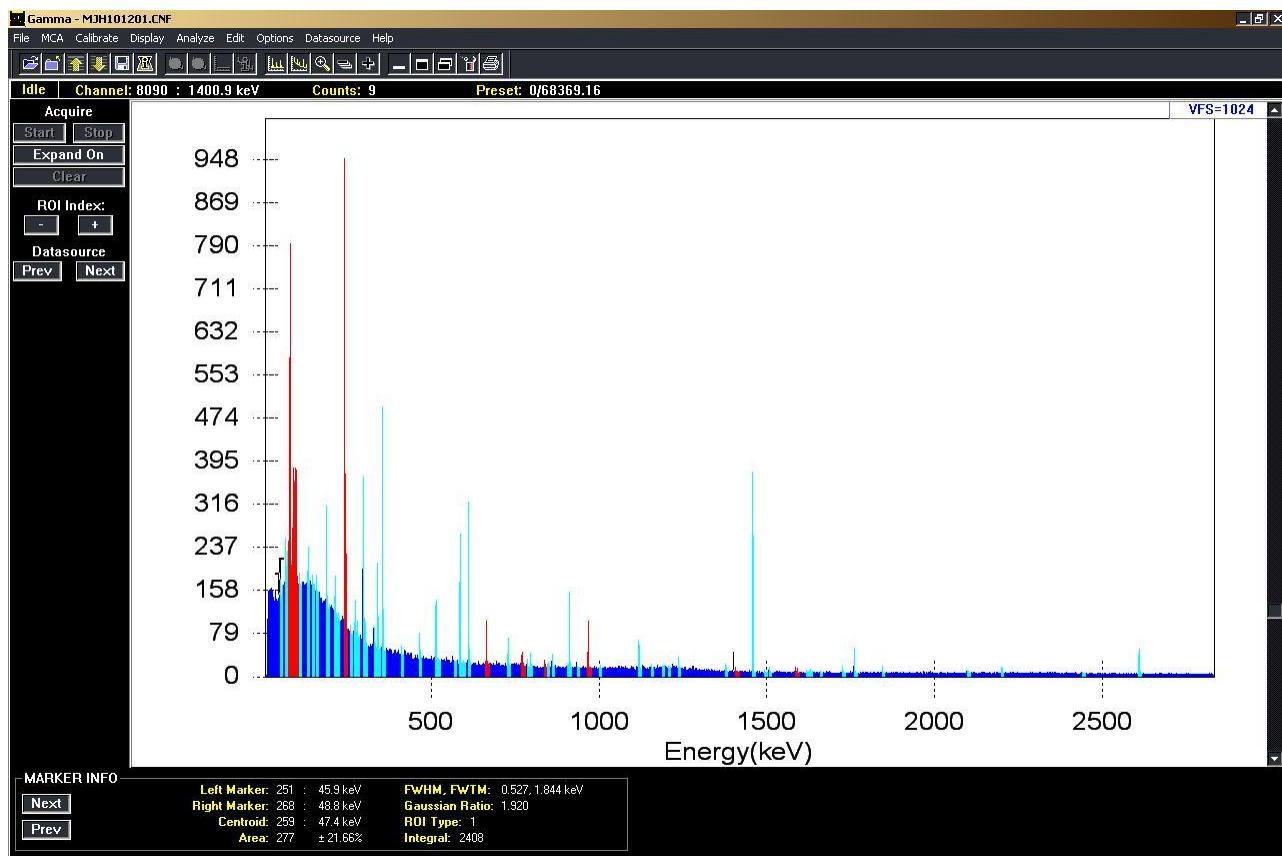


## MJH101111

datum merenja: 11.11.2010

vreme merenja: 64048 s LIVE TIME; 64114 s REAL TIME; 0.10 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.1 ± 1.4</b>	<b>45.1 ± 2.4</b>	<b>45.856</b>	<b>98.4</b>	- 1.6
Th - 232	<b>41.6 ± 1.8</b>	<b>41.6 ± 2.9</b>	<b>40.808</b>	<b>101.9</b>	+ 1.9
K - 40	<b>482 ± 24</b>	<b>482 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>95.6</b>	<b>- 4.4</b>
Cs - 137	<b>5.2 ± 0.3</b>	<b>5.2 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>115.2</b>	<b>+ 15.2</b>

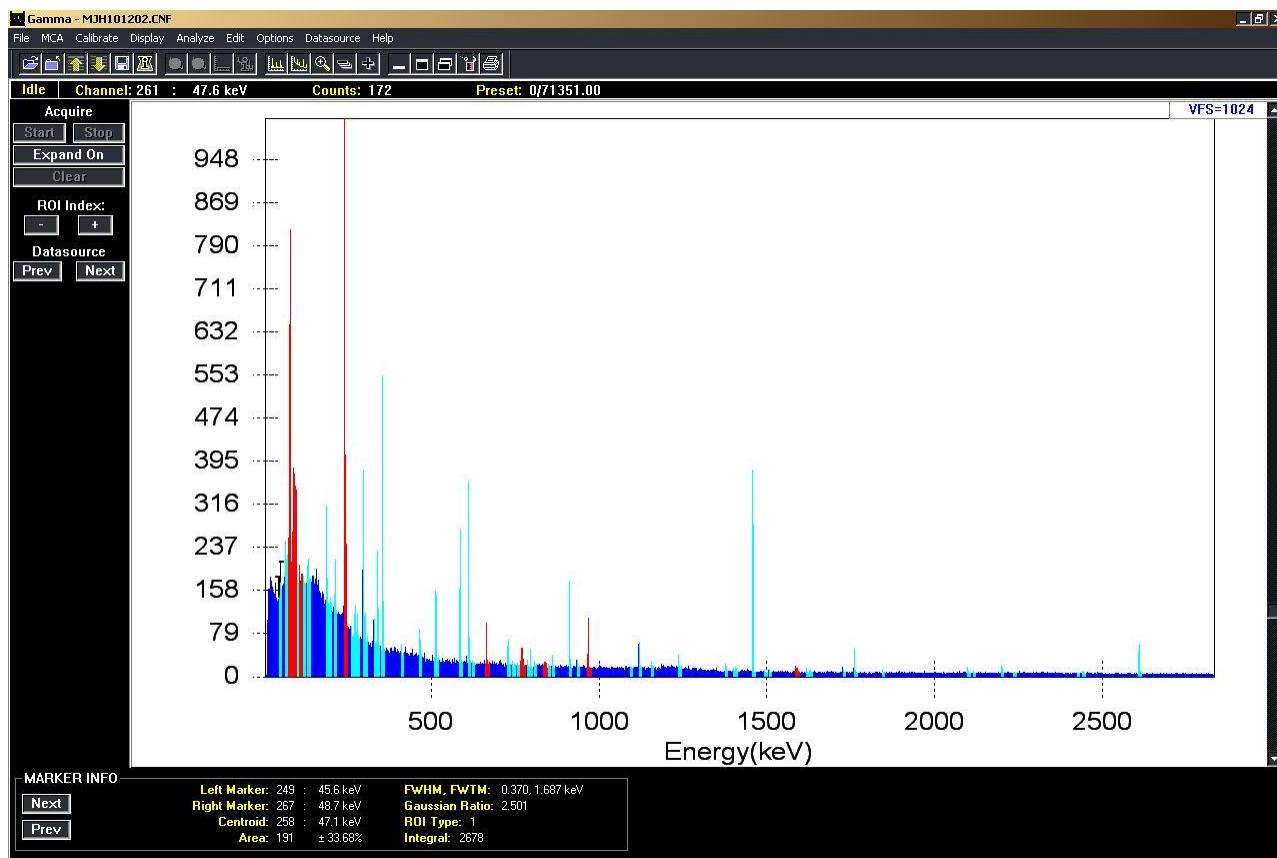


## MJH101201

datum merenja: 01.12.2010

vreme merenja: 68369 s LIVE TIME; 68447 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.6 ± 1.3</b>	<b>45.6 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>99.4</b>	- 0.6
Th - 232	<b>40.2 ± 1.7</b>	<b>40.2 ± 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>98.5</b>	- 1.5
K - 40	<b>490 ± 24</b>	<b>490 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>97.1</b>	- 2.9
Cs - 137	<b>4.43 ± 0.27</b>	<b>4.4 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>98.1</b>	- 1.9

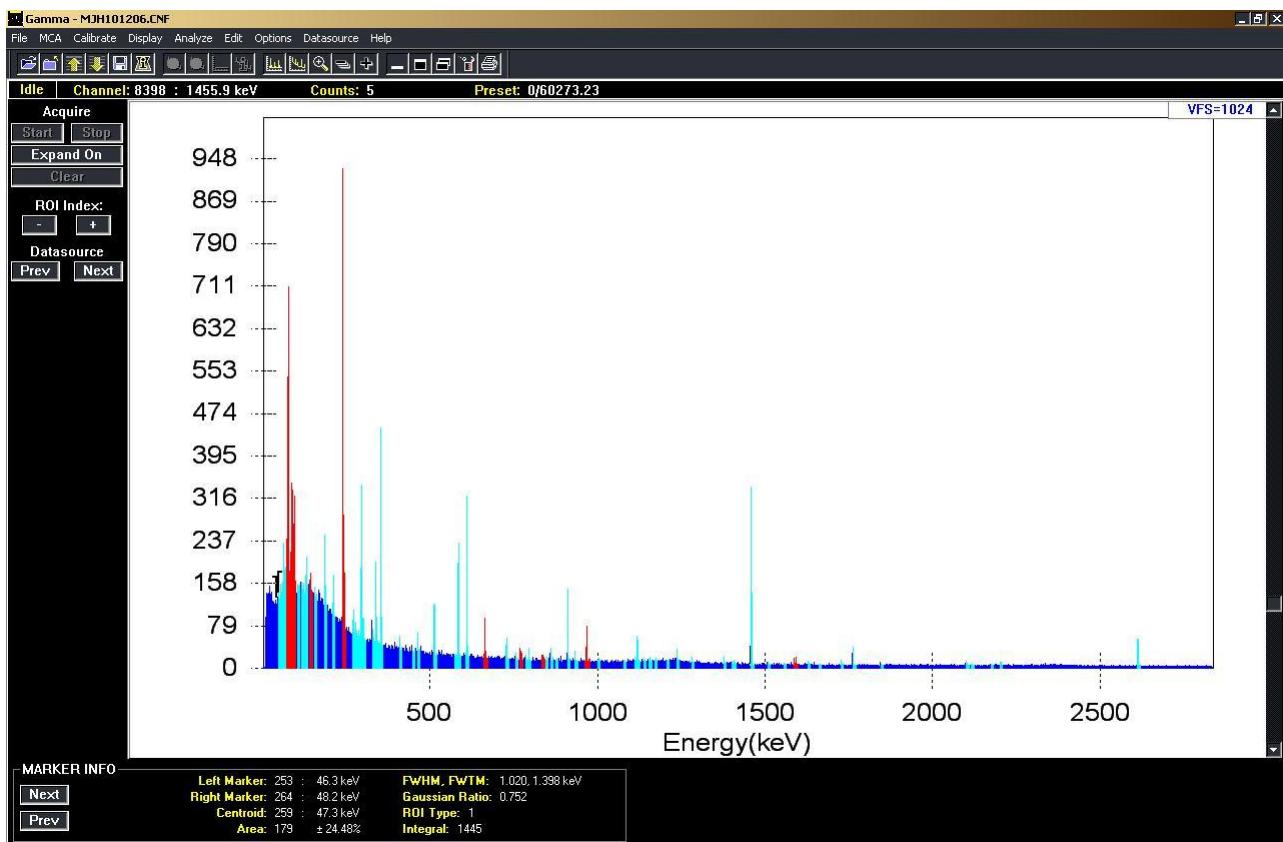


## MJH101202

datum merenja: 02.12.2010

vreme merenja: 71351 s LIVE TIME; 71433 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.3 <math>\pm</math> 1.5</b>	<b>44.3 <math>\pm</math> 2.4</b>	<b>45.856</b>	<b>96.6</b>	- 3.4
Th - 232	<b>40.2 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>40 <math>\pm</math> 3</b>	<b>40.808</b>	<b>98.5</b>	- 1.5
K - 40	<b>511 <math>\pm</math> 25</b>	<b>511 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.3</b>	+ 1.3
Cs - 137	<b>4.35 <math>\pm</math> 0.26</b>	<b>4.3 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>96.3</b>	- 3.7

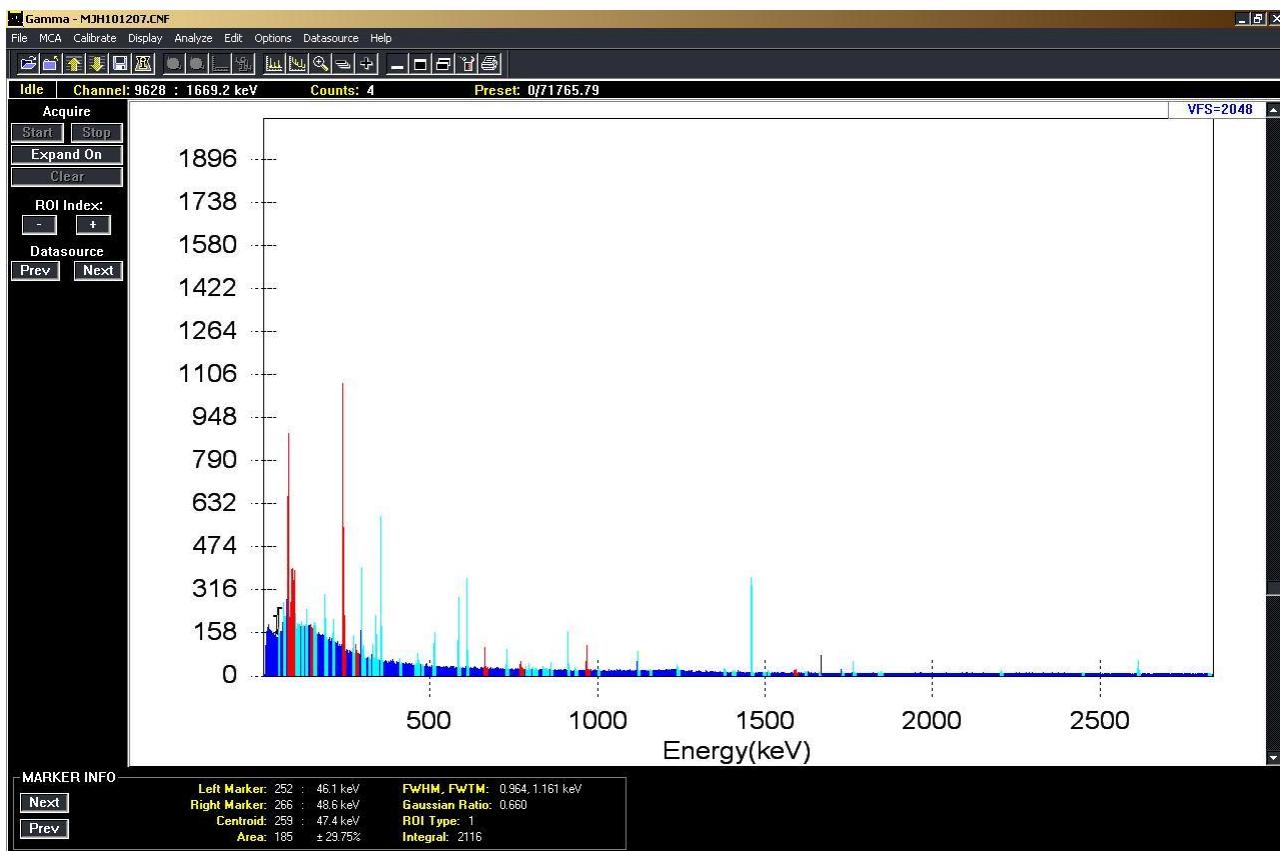


## MJH101206

datum merenja: 06.12.2010

vreme merenja: 60273 s LIVE TIME; 60343 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.9 ± 1.3</b>	<b>45.9 ± 2.2</b>	<b>45.856</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
Th - 232	<b>39.3 ± 2.3</b>	<b>39 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>96.3</b>	<b>- 3.7</b>
K - 40	<b>525 ± 26</b>	<b>525 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>104.1</b>	<b>+ 4.1</b>
Cs - 137	<b>5.2 ± 0.3</b>	<b>5.2 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>115.2</b>	<b>+ 15.2</b>

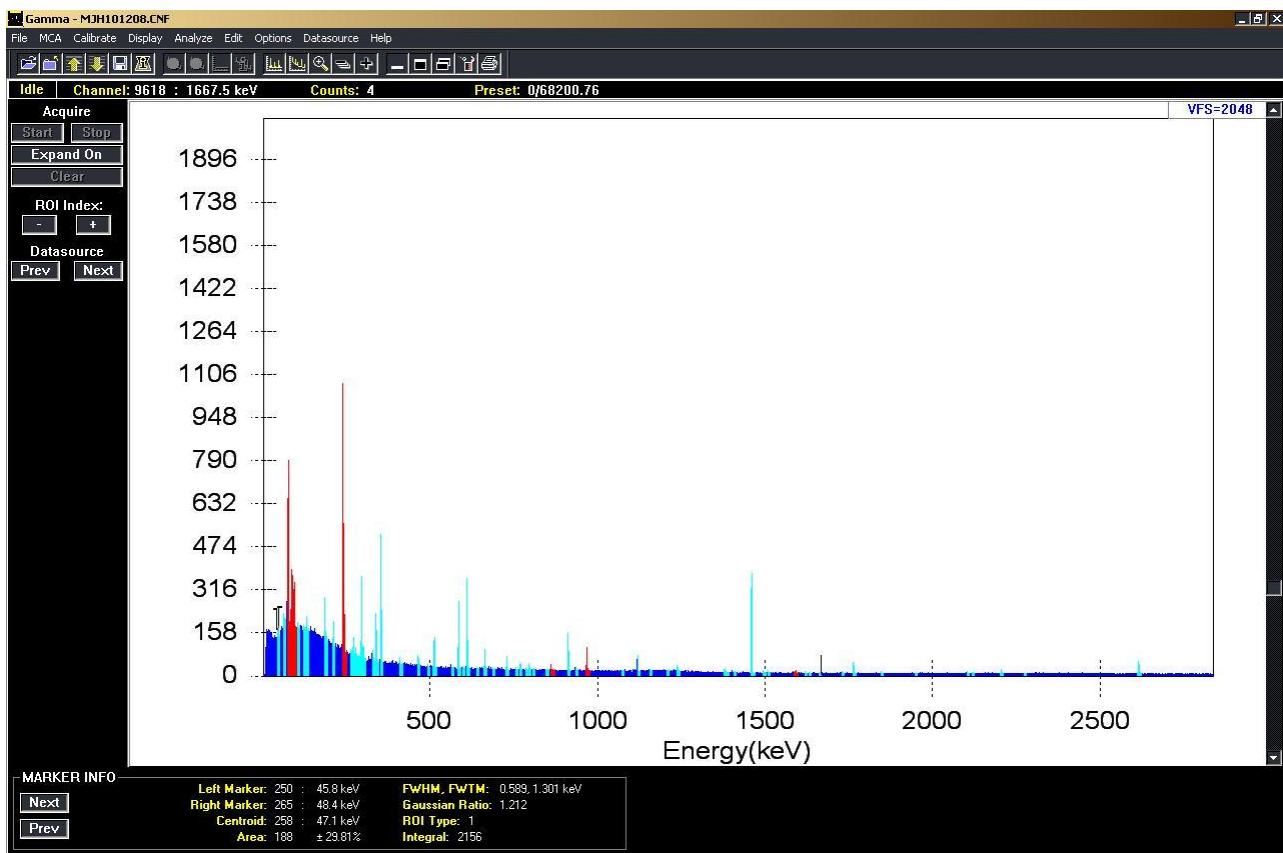


## MJH101207

datum merenja: 07.12.2010

vreme merenja: 71765 s LIVE TIME; 71845 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>49.1 ± 1.6</b>	<b>49.1 ± 2.6</b>	<b>45.856</b>	<b>107.1</b>	<b>+ 7.1</b>
Th - 232	<b>44 ± 4</b>	<b>44 ± 6</b>	<b>40.808</b>	<b>107.8</b>	<b>+ 7.8</b>
K - 40	<b>497 ± 25</b>	<b>497 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.5</b>	<b>- 1.5</b>
Cs - 137	<b>4.22 ± 0.27</b>	<b>4.2 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>93.5</b>	<b>- 6.5</b>

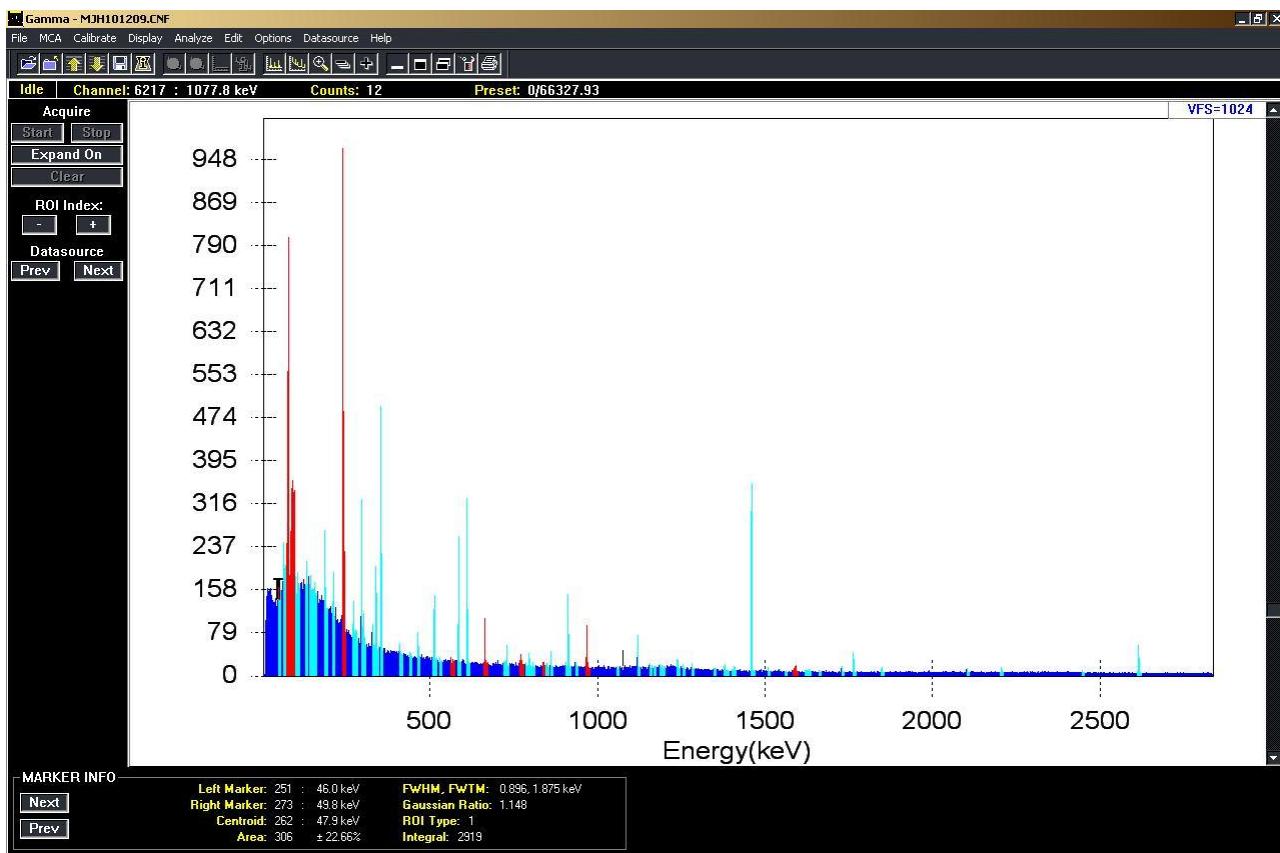


## MJH101208

datum merenja: 08.12.2010

vreme merenja: 68200 s LIVE TIME; 68275 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>48.0 ± 1.5</b>	<b>48.0 ± 2.4</b>	<b>45.856</b>	<b>104.7</b>	<b>+ 4.7</b>
Th - 232	<b>41.9 ± 1.9</b>	<b>42 ± 3</b>	<b>40.808</b>	<b>102.7</b>	<b>+ 2.7</b>
K - 40	<b>508 ± 25</b>	<b>508 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.7</b>	<b>+ 0.7</b>
Cs - 137	<b>3.97 ± 0.28</b>	<b>4.0 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>87.9</b>	<b>- 12.1</b>

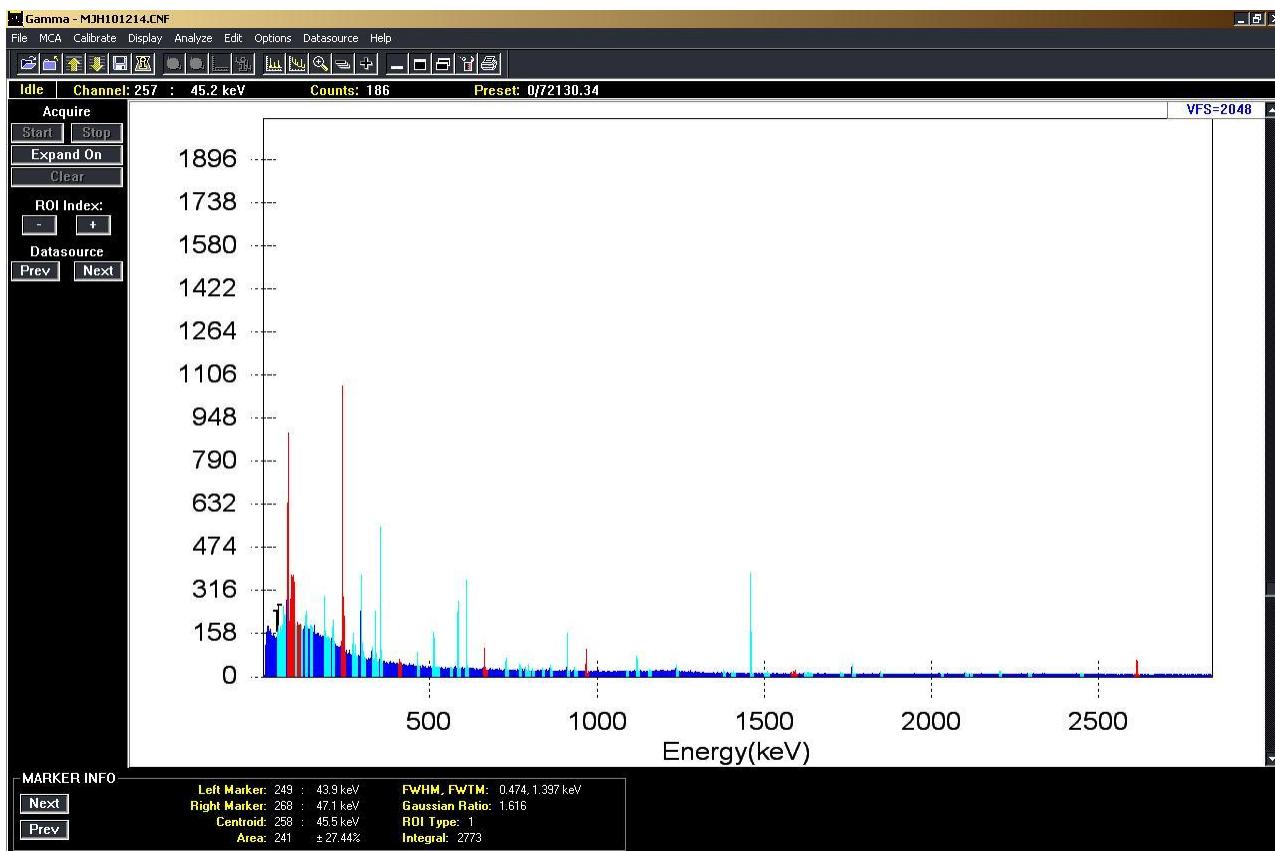


## MJH101209

datum merenja: 09.12.2010

vreme merenja: 66327 s LIVE TIME; 66401 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.4 ± 2.1</b>	<b>46 ± 3</b>	<b>45.856</b>	<b>101.2</b>	<b>+ 1.2</b>
Th - 232	<b>41.6 ± 1.8</b>	<b>42 ± 3</b>	<b>40.808</b>	<b>101.9</b>	<b>+ 1.9</b>
K - 40	<b>495 ± 25</b>	<b>495 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.1</b>	<b>- 1.9</b>
Cs - 137	<b>4.49 ± 0.25</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>99.4</b>	<b>- 0.6</b>

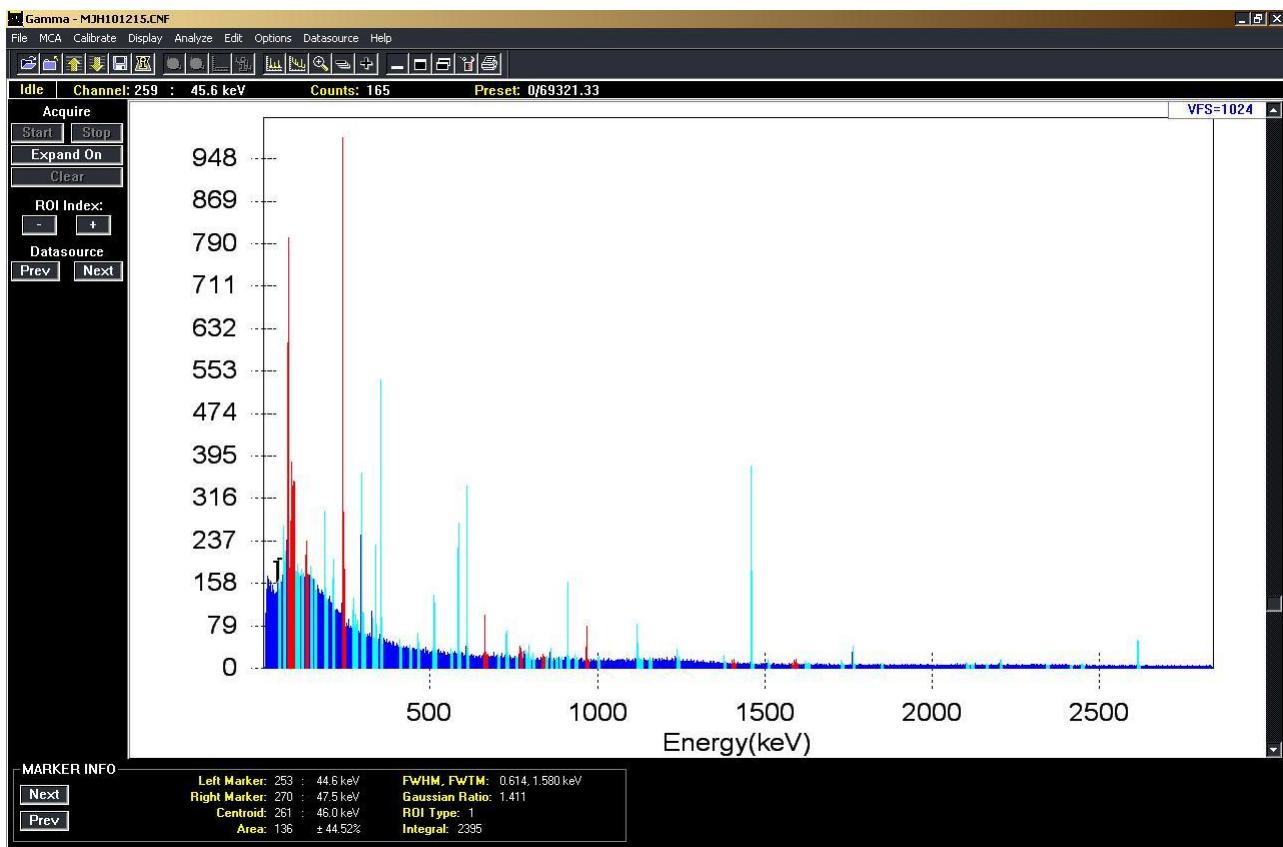


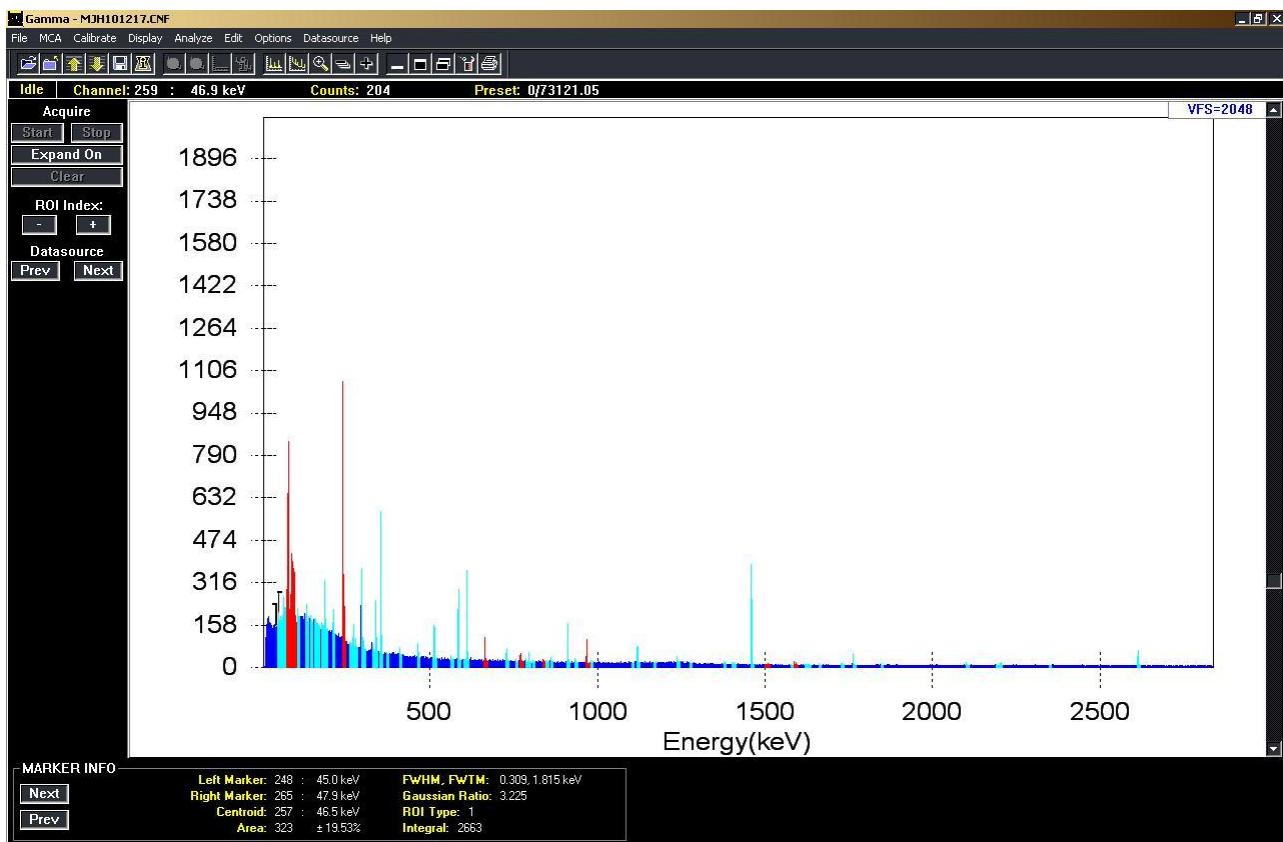
## MJH101214

datum merenja: 14.12.2010

vreme merenja: 72130 s LIVE TIME; 72215 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.0 <math>\pm</math> 1.4</b>	<b>44.0 <math>\pm</math> 2.4</b>	<b>45.856</b>	<b>95.9</b>	- 4.1
Th - 232	<b>40.4 <math>\pm</math> 2.0</b>	<b>40 <math>\pm</math> 3</b>	<b>40.808</b>	<b>99.0</b>	- 1.0
K - 40	<b>508 <math>\pm</math> 25</b>	<b>508 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.7</b>	+ 0.7
Cs - 137	<b>4.66 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>4.7 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>103.2</b>	+ 3.2



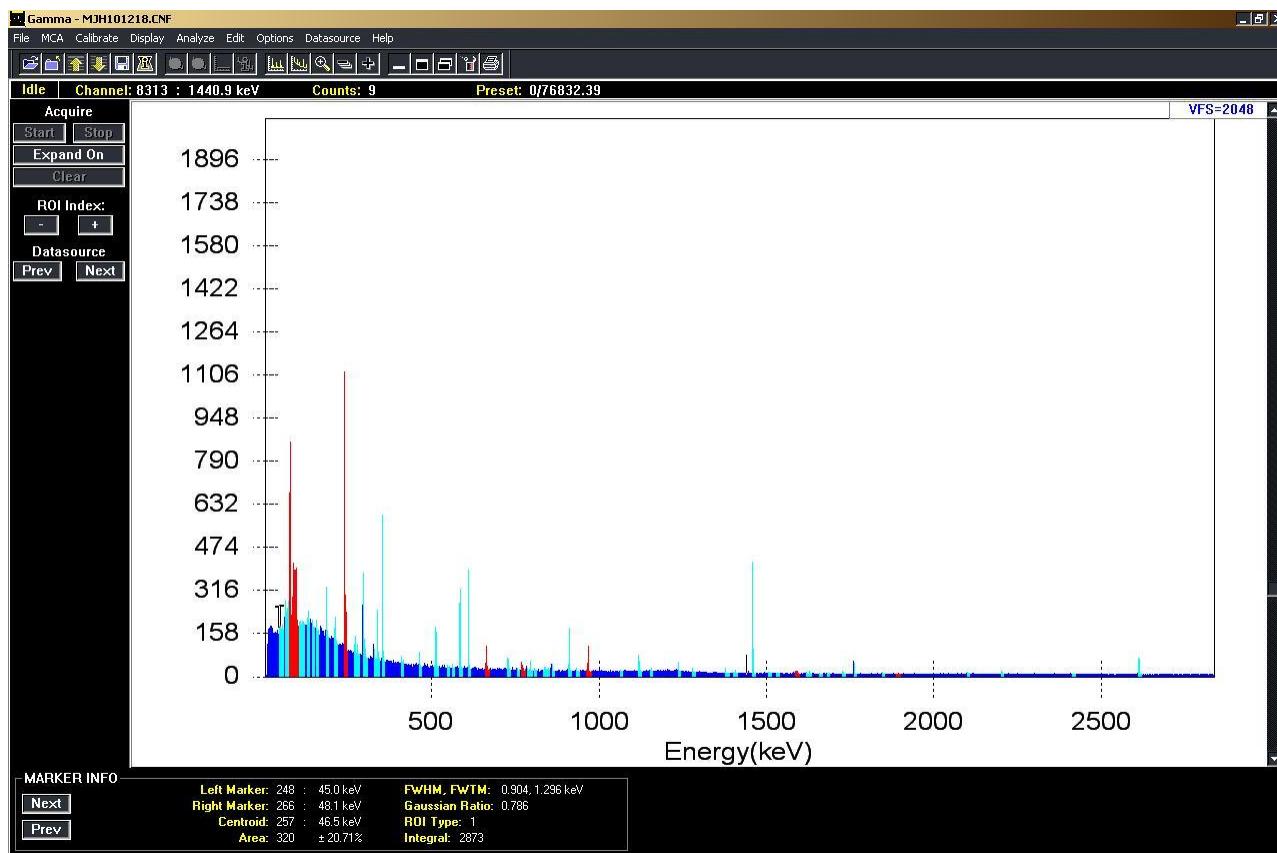


## MJH101217

datum merenja: 17.12.2010

vreme merenja: 73121 s LIVE TIME; 73209 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.3 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>46.3 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>100.9</b>	<b>+ 0.9</b>
Th - 232	<b>39.2 <math>\pm</math> 2.2</b>	<b>39 <math>\pm</math> 4</b>	<b>40.808</b>	<b>96.1</b>	<b>- 3.9</b>
K - 40	<b>492 <math>\pm</math> 24</b>	<b>492 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>97.5</b>	<b>- 2.5</b>
Cs - 137	<b>4.76 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>4.8 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>105.4</b>	<b>+ 5.4</b>

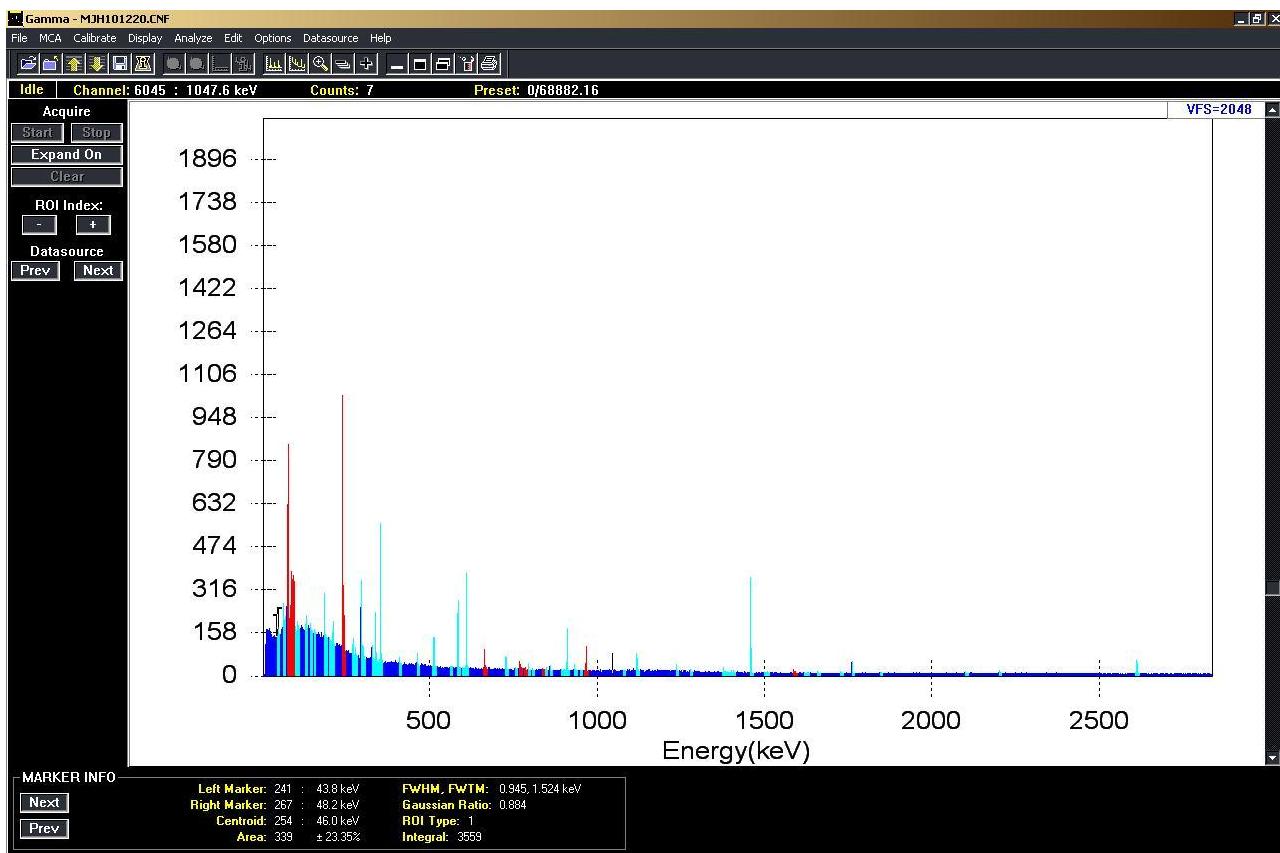


## MJH101218

datum merenja: 18.12.2010

vreme merenja: 76832 s LIVE TIME; 76923 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.4 ± 1.3</b>	<b>46.4 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>101.2</b>	<b>+ 1.2</b>
Th - 232	<b>40.9 ± 1.7</b>	<b>40.9 ± 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>100.2</b>	<b>+ 0.2</b>
K - 40	<b>505 ± 25</b>	<b>505 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.1</b>	<b>+ 0.1</b>
Cs - 137	<b>4.32 ± 0.26</b>	<b>4.3 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>95.7</b>	<b>- 4.3</b>

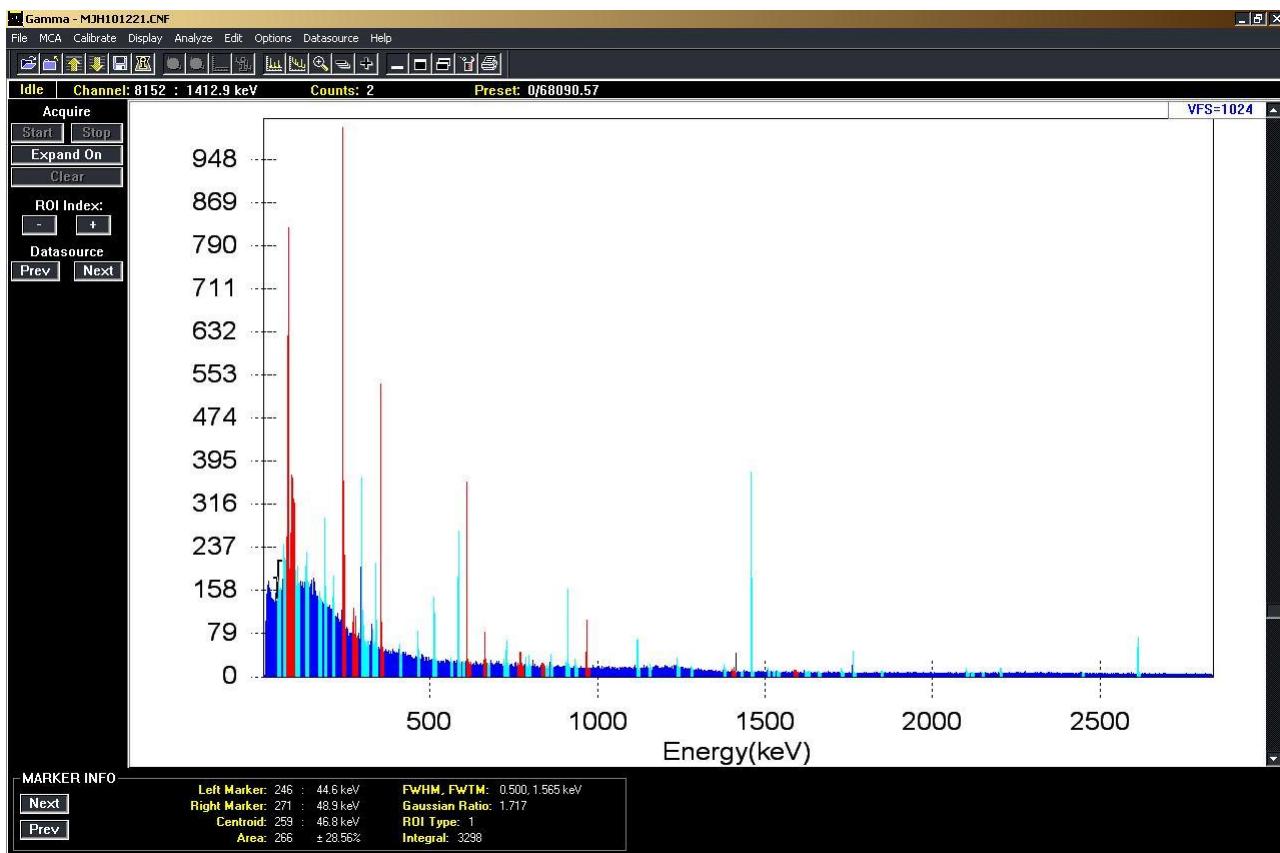


## MJH101220

datum merenja: 20.12.2010

vreme merenja: 68882 s LIVE TIME; 68962 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.3 ± 1.3</b>	<b>47.3 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>103.1</b>	<b>+ 3.1</b>
Th - 232	<b>39.6 ± 1.7</b>	<b>39.6 ± 2.7</b>	<b>40.808</b>	<b>97.0</b>	<b>- 3.0</b>
K - 40	<b>483 ± 24</b>	<b>483 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>95.7</b>	<b>- 4.3</b>
Cs - 137	<b>4.71 ± 0.27</b>	<b>4.7 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>104.3</b>	<b>+ 4.3</b>

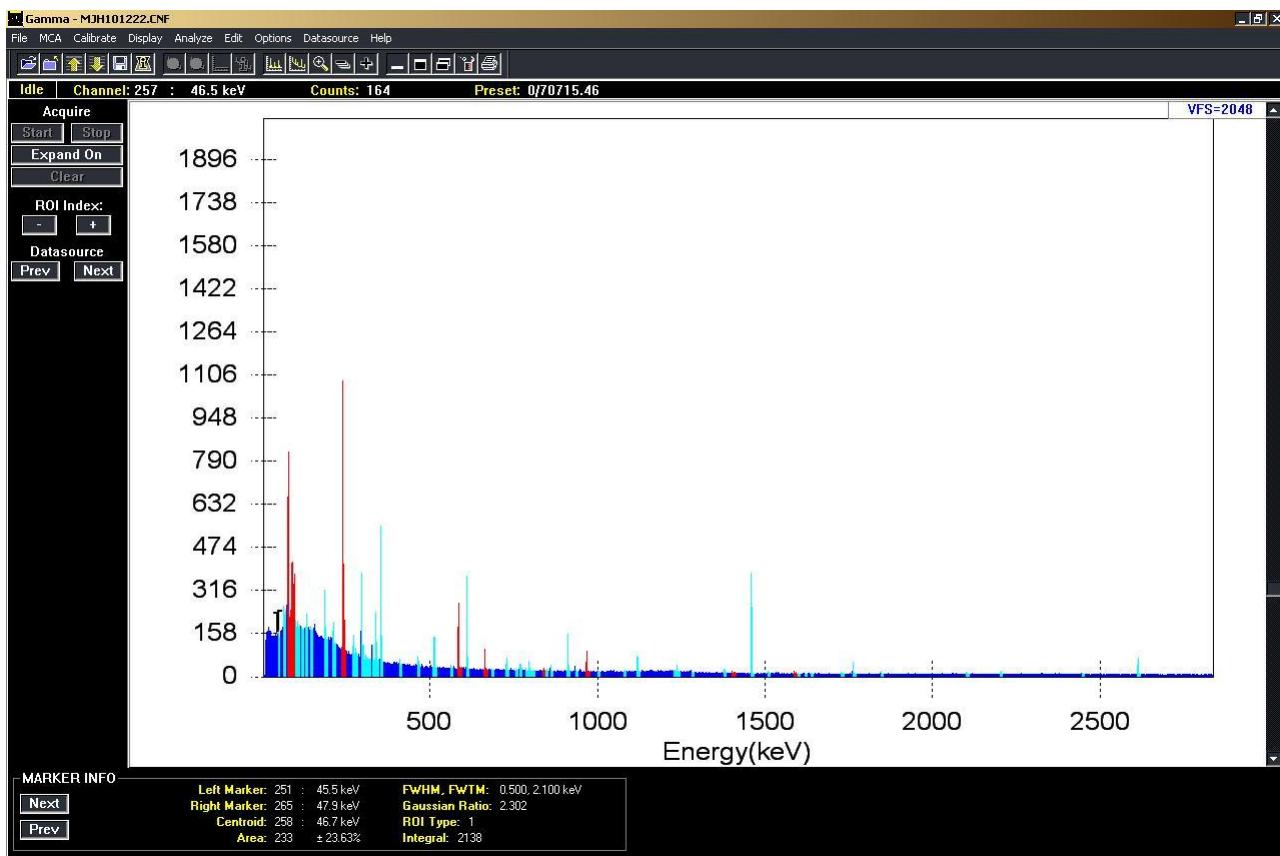


## MJH101221

datum merenja: 21.12.2010

vreme merenja: 68090 s LIVE TIME; 68168 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>48.2 ± 1.3</b>	<b>48.2 ± 2.2</b>	<b>45.856</b>	<b>105.1</b>	<b>+ 5.1</b>
Th - 232	<b>39.7 ± 2.5</b>	<b>40 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>97.3</b>	<b>- 2.7</b>
K - 40	<b>517 ± 25</b>	<b>517 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>102.5</b>	<b>+ 2.5</b>
Cs - 137	<b>4.46 ± 0.27</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>98.8</b>	<b>- 1.2</b>

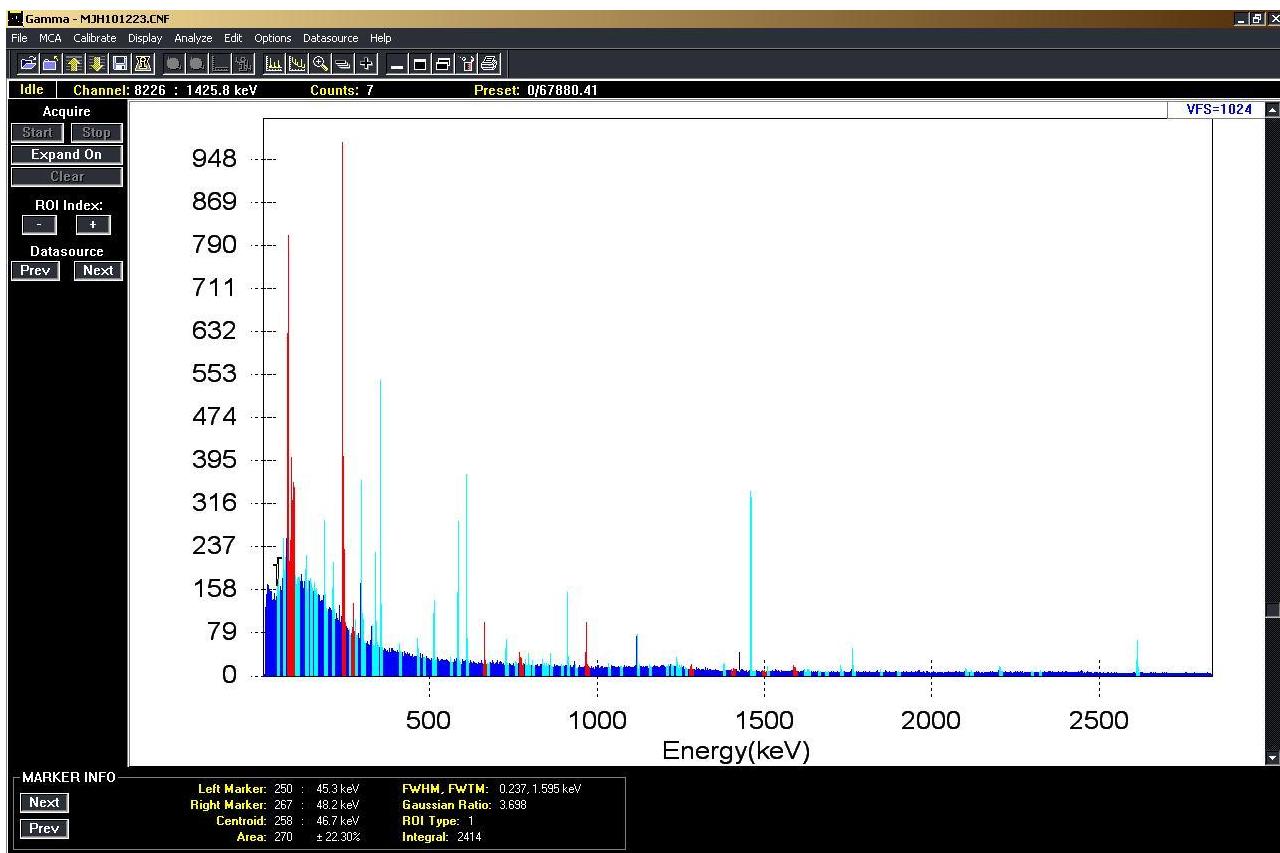


## MJH101222

datum merenja: 22.12.2010

vreme merenja: 70715 s LIVE TIME; 70796 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.1 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>46.1 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Th - 232	<b>42.3 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>42.3 <math>\pm</math> 2.9</b>	<b>40.808</b>	<b>103.7</b>	<b>+ 3.7</b>
K - 40	<b>495 <math>\pm</math> 24</b>	<b>495 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.1</b>	<b>- 1.9</b>
Cs - 137	<b>5.09 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>5.1 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>112.7</b>	<b>+ 12.7</b>

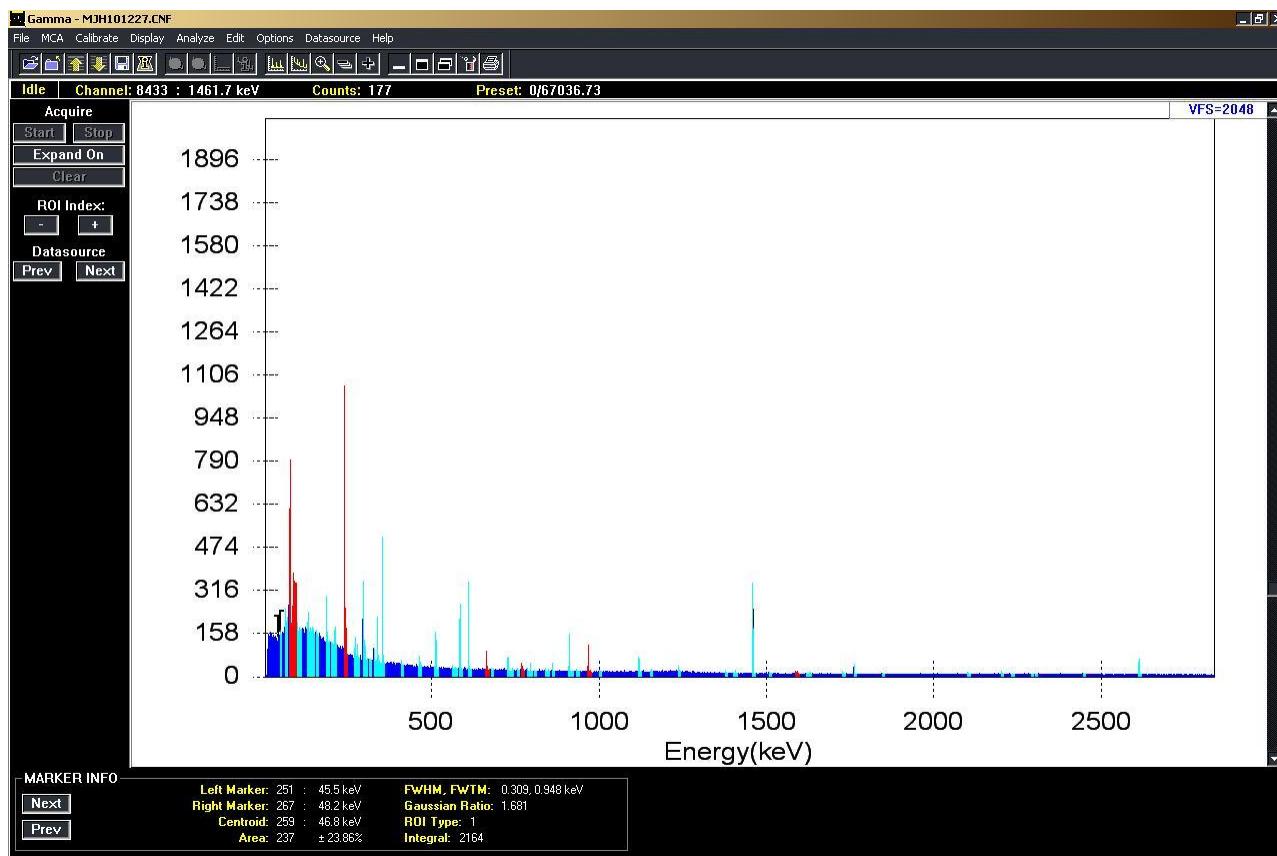


## MJH101223

datum merenja: 23.12.2010

vreme merenja: 67880 s LIVE TIME; 67959 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.6 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>47.6 <math>\pm</math> 2.2</b>	<b>45.856</b>	<b>103.8</b>	<b>+ 3.8</b>
Th - 232	<b>40.7 <math>\pm</math> 2.4</b>	<b>41 <math>\pm</math> 4</b>	<b>40.808</b>	<b>99.7</b>	<b>- 0.3</b>
K - 40	<b>490 <math>\pm</math> 24</b>	<b>490 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>97.1</b>	<b>- 2.9</b>
Cs - 137	<b>4.94 <math>\pm</math> 0.28</b>	<b>4.9 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>109.4</b>	<b>+ 9.4</b>

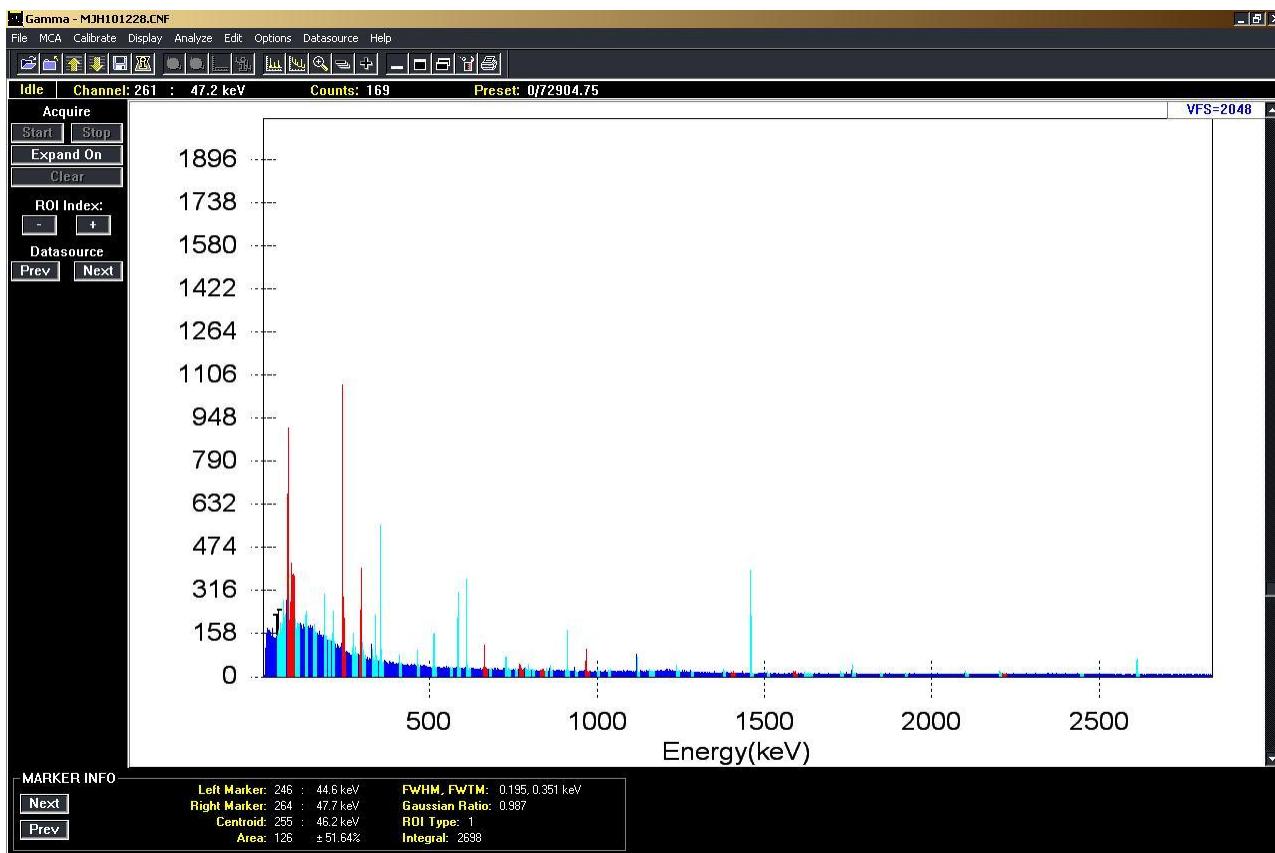


## MJH101227

datum merenja: 27.12.2010

vreme merenja: 67036 s LIVE TIME; 67114 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.0 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>44.0 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>95.9</b>	- 4.1
Th - 232	<b>40.7 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>40.7 <math>\pm</math> 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>99.7</b>	- 0.3
K - 40	<b>499 <math>\pm</math> 25</b>	<b>499 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.9</b>	- 1.1
Cs - 137	<b>4.71 <math>\pm</math> 0.28</b>	<b>4.7 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>104.3</b>	+ 4.3

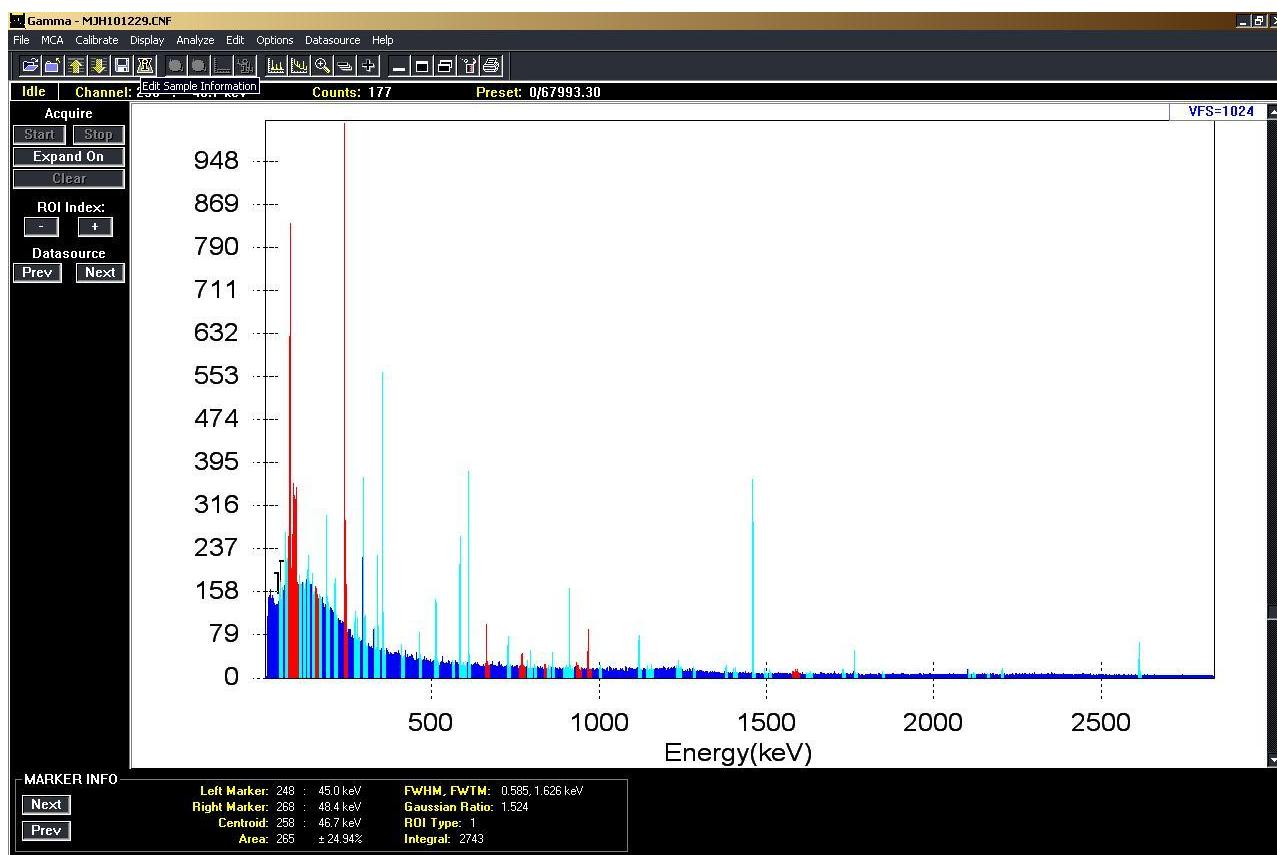


## MJH101228

datum merenja: 28.12.2010

vreme merenja: 72904 s LIVE TIME; 72989 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>42.8 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>42.8 <math>\pm</math> 2.8</b>	<b>45.856</b>	<b>93.3</b>	<b>- 6.7</b>
Th - 232	<b>38.4 <math>\pm</math> 2.0</b>	<b>38 <math>\pm</math> 3</b>	<b>40.808</b>	<b>94.1</b>	<b>- 5.9</b>
K - 40	<b>500 <math>\pm</math> 24</b>	<b>500 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>99.1</b>	<b>- 0.9</b>
Cs - 137	<b>4.95 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>5.0 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>109.6</b>	<b>+ 9.6</b>

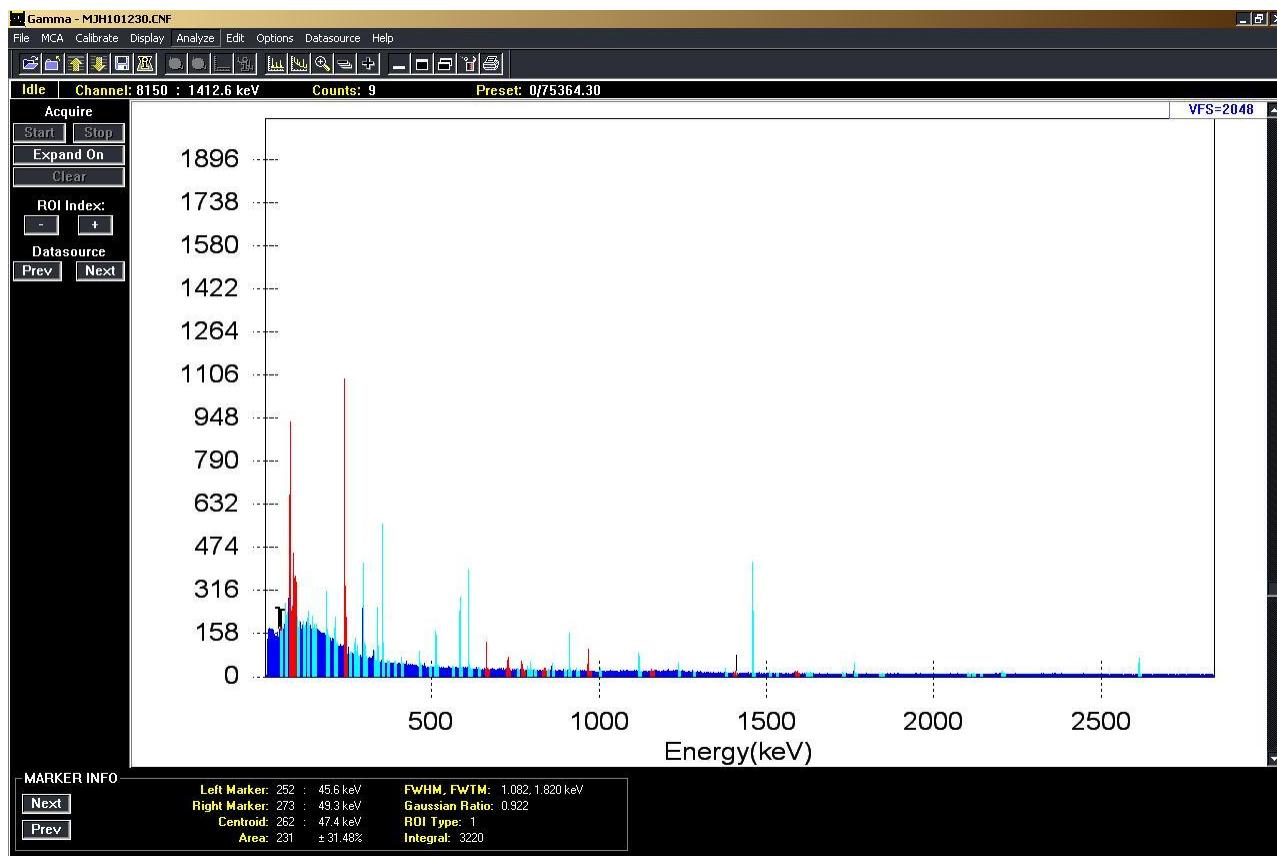


## MJH101229

datum merenja: 29.12.2010

vreme merenja: 67993 s LIVE TIME; 68072 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.1 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>46.1 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Th - 232	<b>41.4 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>41.4 <math>\pm</math> 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>101.5</b>	<b>+ 1.5</b>
K - 40	<b>513 <math>\pm</math> 25</b>	<b>513 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.7</b>	<b>+ 1.7</b>
Cs - 137	<b>4.09 <math>\pm</math> 0.26</b>	<b>4.1 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>90.6</b>	<b>- 9.4</b>

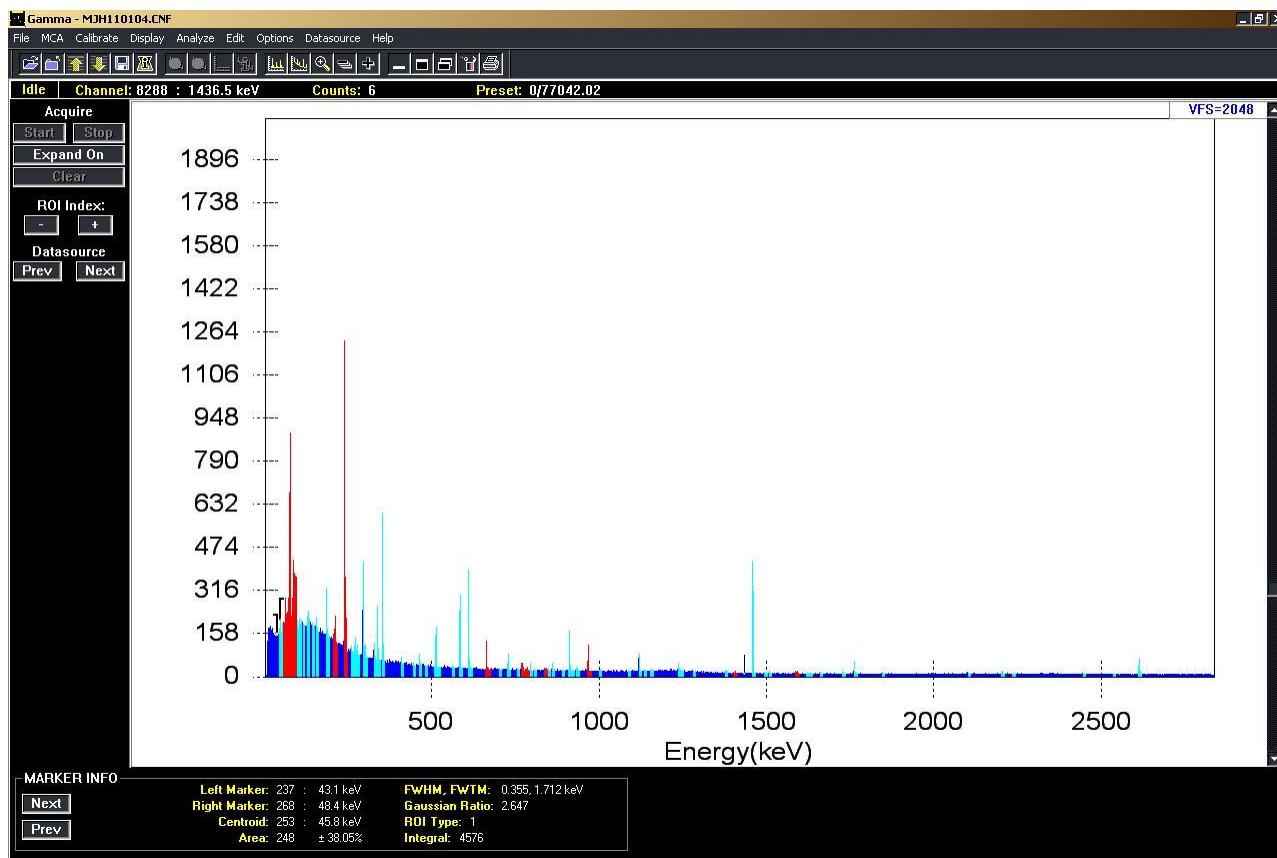


## MJH101230

datum merenja: 30.12.2010

vreme merenja: 75364 s LIVE TIME; 75452 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.1 ± 1.3</b>	<b>46.1 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Th - 232	<b>42.8 ± 1.7</b>	<b>42.8 ± 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>104.9</b>	<b>+ 4.9</b>
K - 40	<b>512 ± 25</b>	<b>512 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.5</b>	<b>+ 1.5</b>
Cs - 137	<b>4.22 ± 0.23</b>	<b>4.2 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>93.5</b>	<b>- 6.5</b>

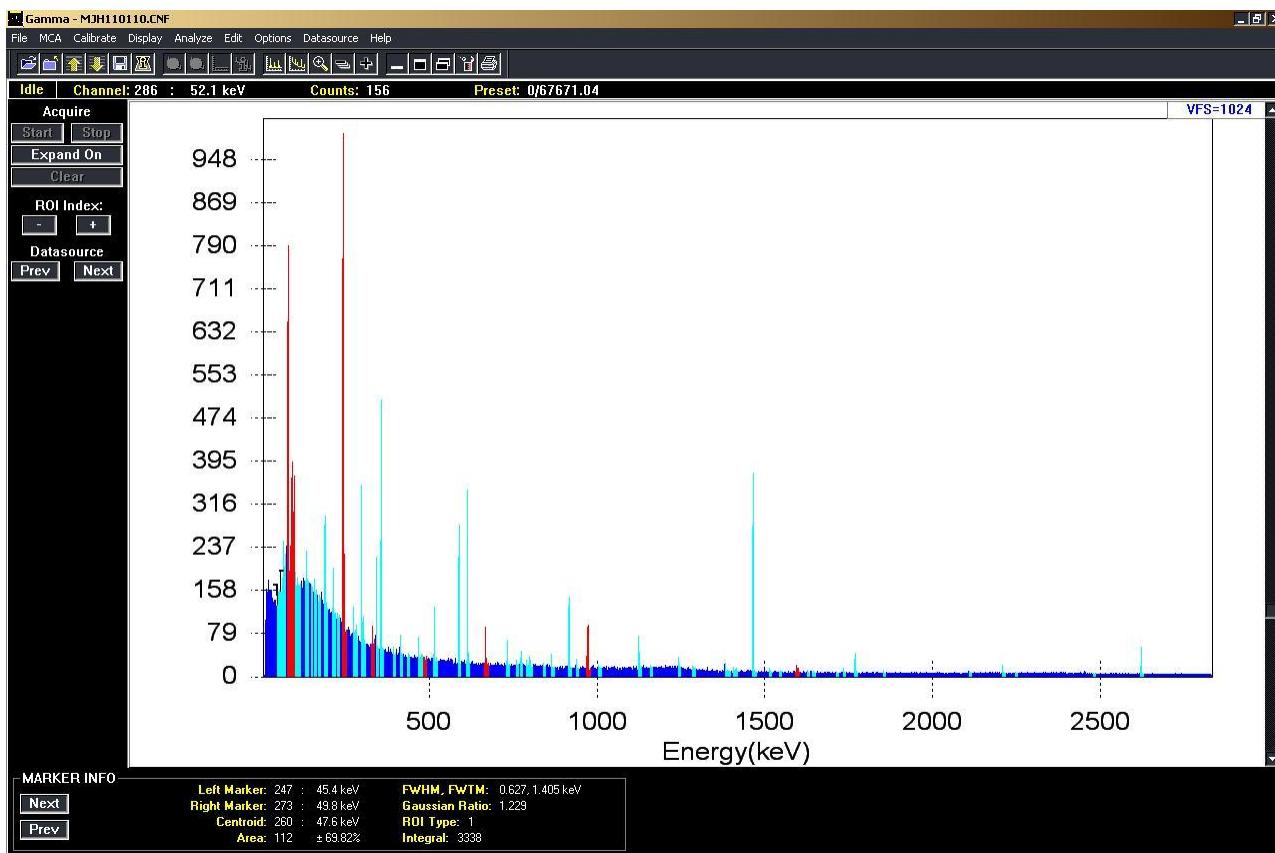


## MJH110104

datum merenja: 04.01.2011.

vreme merenja: 77042 s LIVE TIME; 77132 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.3 ± 1.2</b>	<b>45.3 ± 2.0</b>	<b>45.856</b>	<b>98.8</b>	- 1.2
Th - 232	<b>41.1 ± 2.4</b>	<b>41 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>100.7</b>	+ 0.7
K - 40	<b>508 ± 25</b>	<b>508 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.7</b>	+ 0.7
Cs - 137	<b>5.05 ± 0.26</b>	<b>5.0 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>111.8</b>	+ 11.8

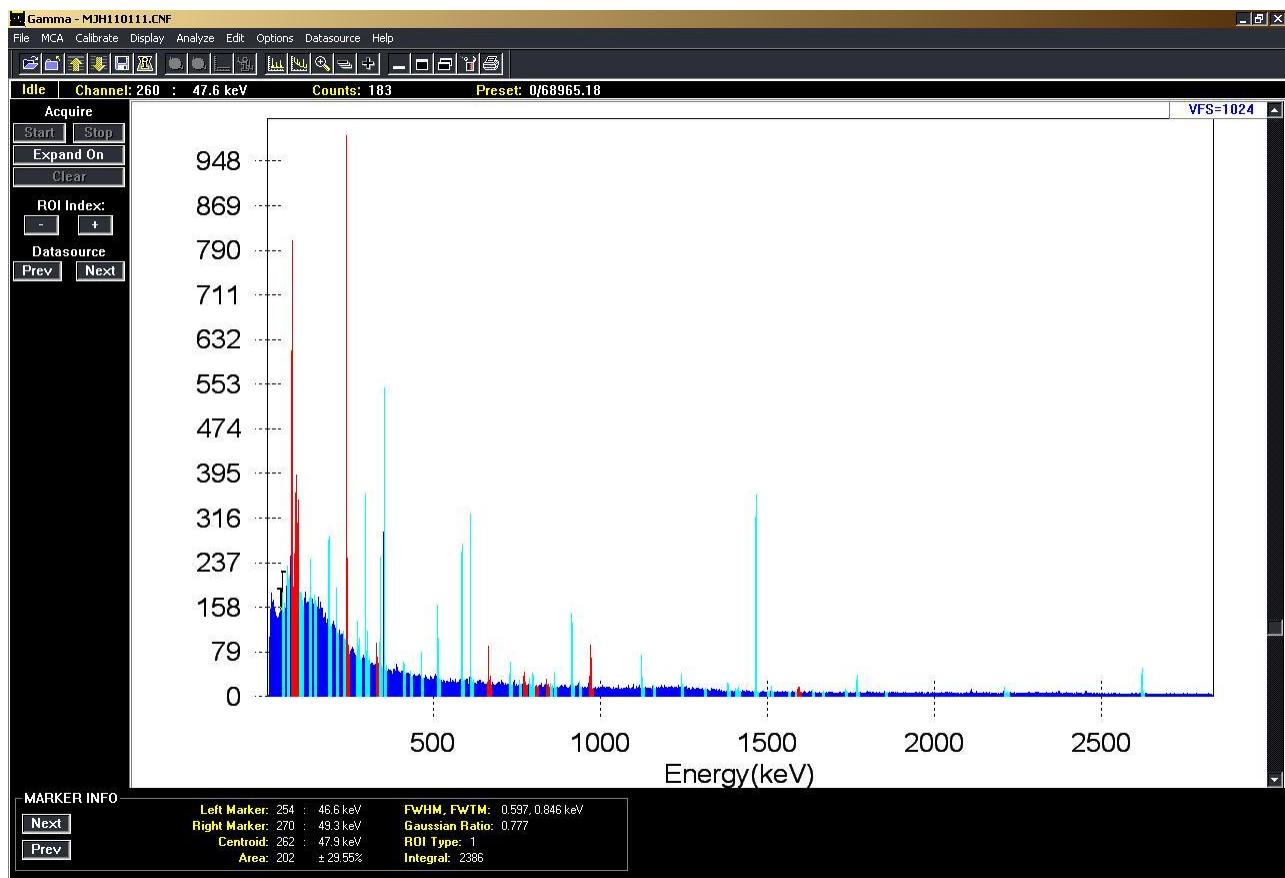


## MJH110110

datum merenja: 10.01.2011.

vreme merenja: 67671 s LIVE TIME; 67749 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.8 ± 1.7</b>	<b>46.8 ± 2.8</b>	<b>45.856</b>	<b>102.1</b>	<b>+ 2.1</b>
Th - 232	<b>40 ± 4</b>	<b>40 ± 6</b>	<b>40.808</b>	<b>98.0</b>	<b>- 2.0</b>
K - 40	<b>499 ± 25</b>	<b>499 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.9</b>	<b>- 1.1</b>
Cs - 137	<b>5.03 ± 0.28</b>	<b>5.0 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>111.4</b>	<b>+ 11.4</b>

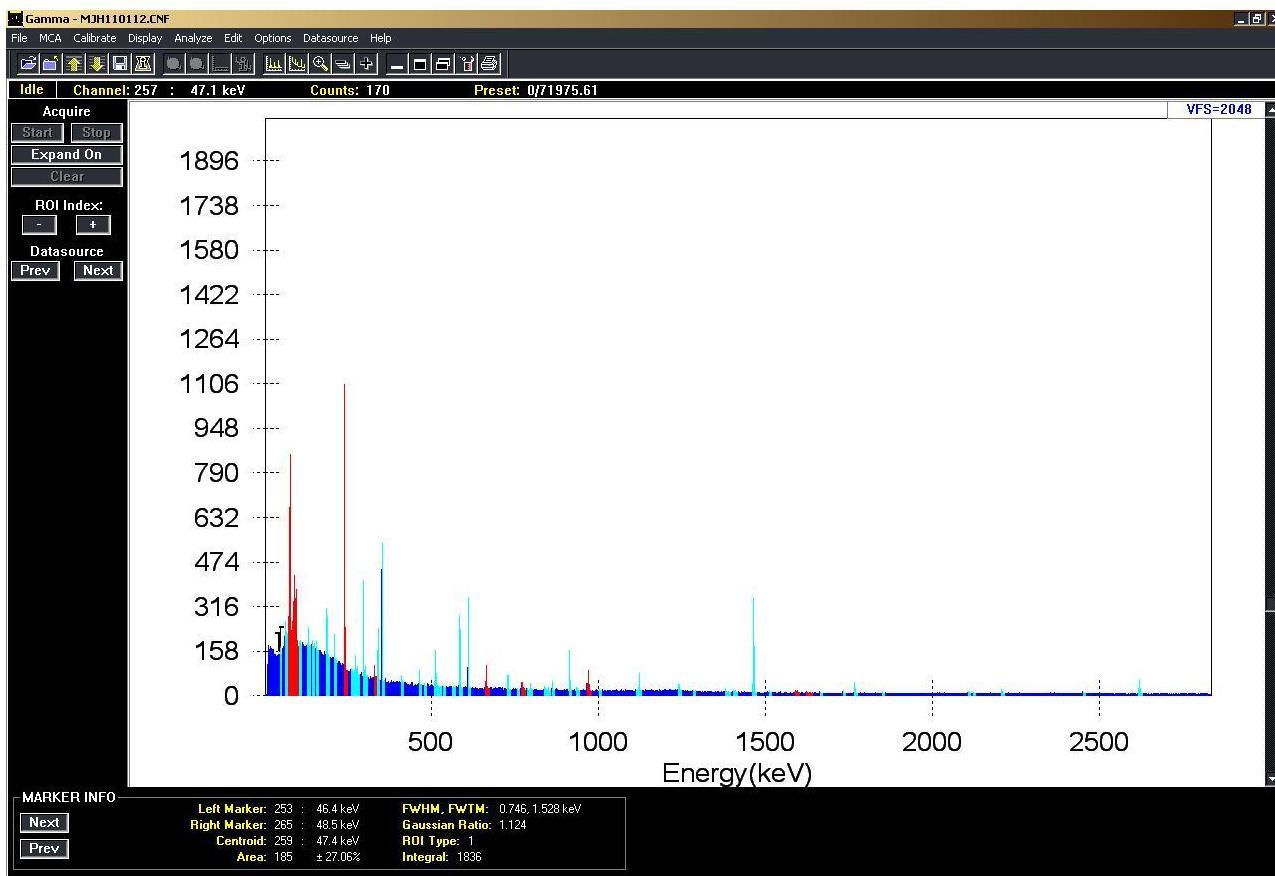


## MJH110111

datum merenja: 11.01.2011.

vreme merenja: 68965 s LIVE TIME; 69043 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	A - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	A* - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	S - srednja vrednost	A / S (%)	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.6 ± 1.3</b>	<b>45.6 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>99.4</b>	<b>- 0.6</b>
Th - 232	<b>40.7 ± 1.8</b>	<b>40.7 ± 2.9</b>	<b>40.808</b>	<b>99.7</b>	<b>- 0.3</b>
K - 40	<b>507 ± 25</b>	<b>507 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Cs - 137	<b>4.51 ± 0.27</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>99.9</b>	<b>- 0.1</b>

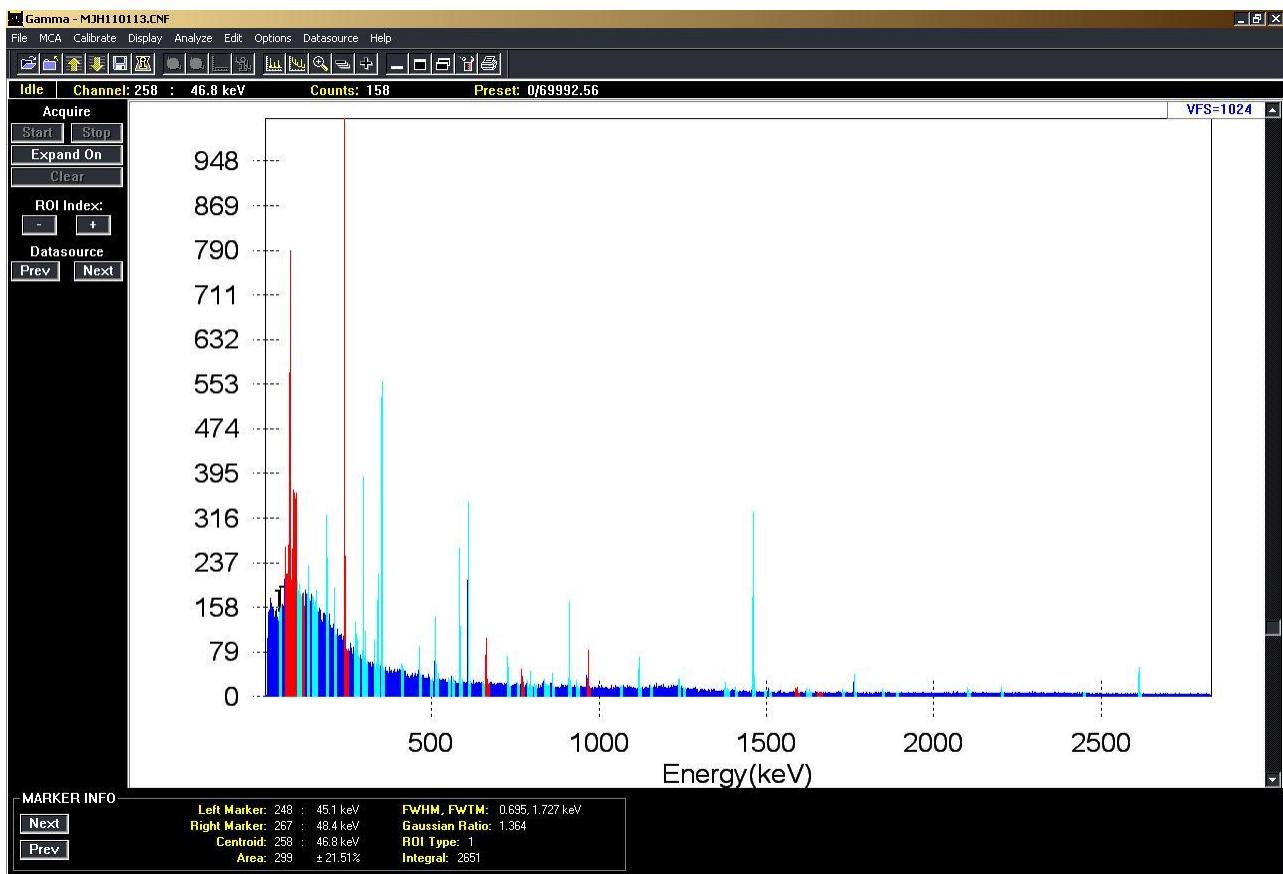


## MJH110112

datum merenja: 12.01.2011.

vreme merenja: 71975 s LIVE TIME; 72058 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>48.4 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>48.4 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>105.5</b>	<b>+ 5.5</b>
Th - 232	<b>41 <math>\pm</math> 3</b>	<b>41 <math>\pm</math> 5</b>	<b>40.808</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
K - 40	<b>506 <math>\pm</math> 25</b>	<b>506 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.3</b>	<b>+ 0.3</b>
Cs - 137	<b>5.00 <math>\pm</math> 0.28</b>	<b>5.0 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>110.7</b>	<b>+ 10.7</b>

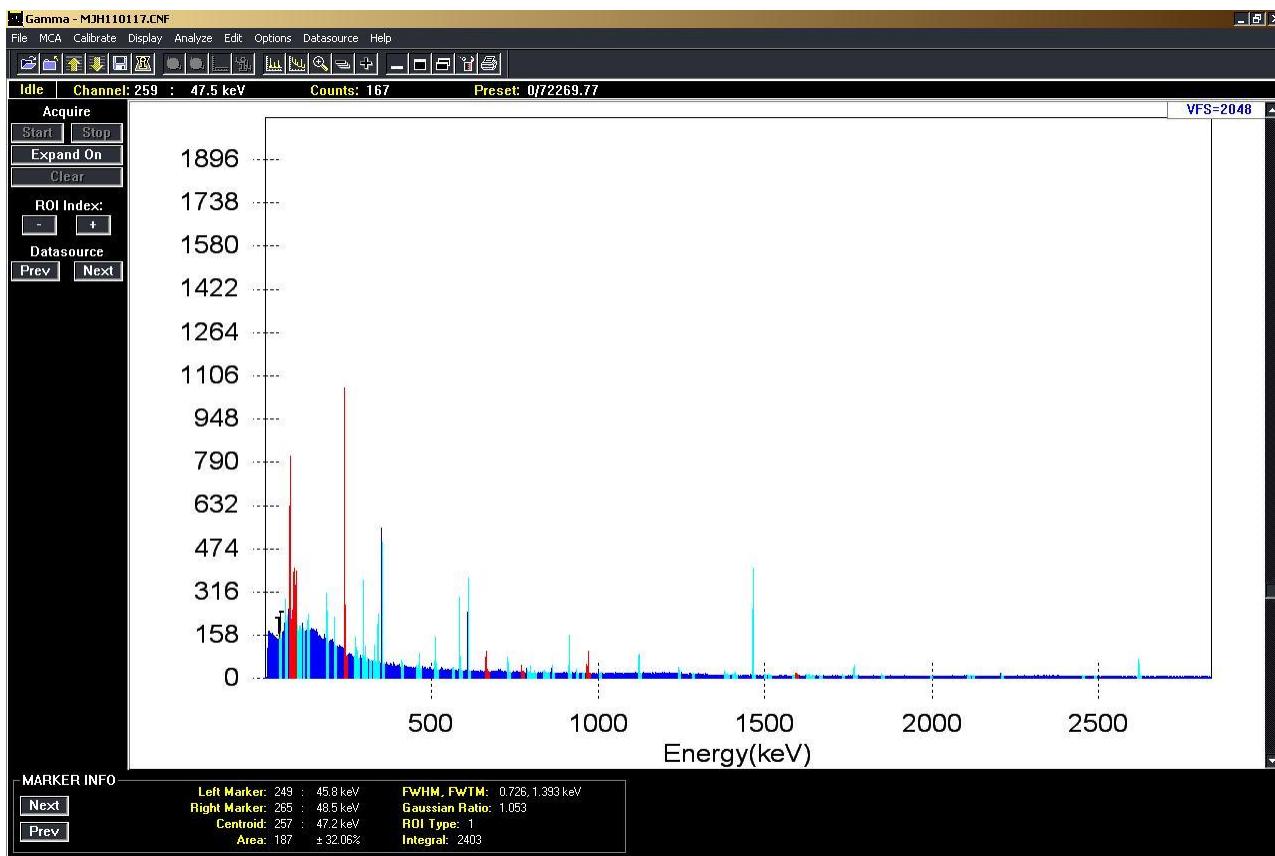


## MJH110113

datum merenja: 13.01.2011.

vreme merenja: 69992 s LIVE TIME; 70074 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.8 ± 1.3</b>	<b>45.8 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>99.9</b>	- 0.1
Th - 232	<b>40 ± 4</b>	<b>40 ± 6</b>	<b>40.808</b>	<b>98.0</b>	- 2.0
K - 40	<b>501 ± 25</b>	<b>501 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>99.3</b>	- 0.7
Cs - 137	<b>4.50 ± 0.27</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>99.7</b>	- 0.3

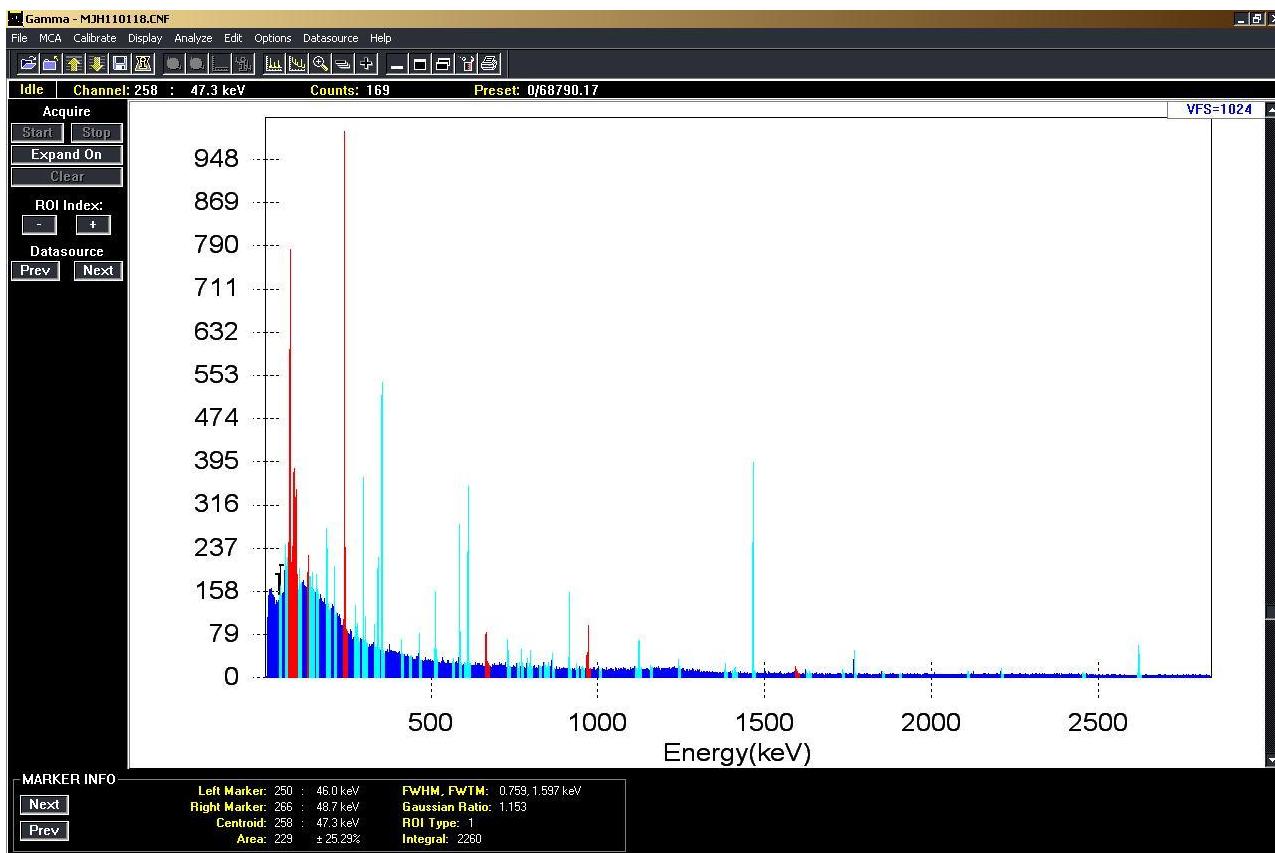


## MJH110117

datum merenja: 17.01.2011.

vreme merenja: 72269 s LIVE TIME; 72352 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.4 ± 1.9</b>	<b>45 ± 3</b>	<b>45.856</b>	<b>98.8</b>	- 1.2
Th - 232	<b>40.2 ± 2.7</b>	<b>40 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>98.5</b>	- 1.5
K - 40	<b>506 ± 25</b>	<b>506 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.3</b>	+ 0.3
Cs - 137	<b>4.39 ± 0.26</b>	<b>4.4 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>97.2</b>	- 2.8

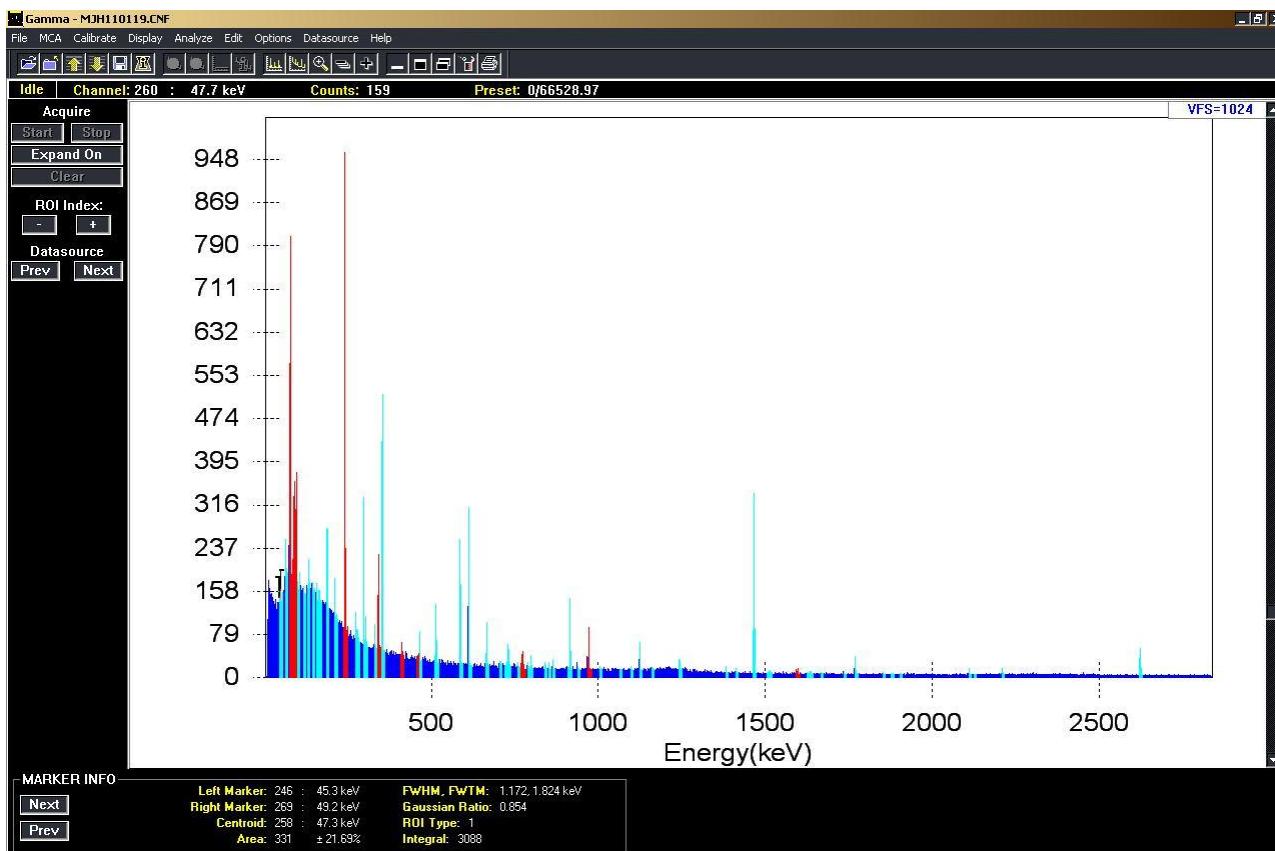


## MJH110118

datum merenja: 18.01.2011.

vreme merenja: 68790 s LIVE TIME; 68868 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.9 ± 1.3</b>	<b>45.9 ± 2.2</b>	<b>45.856</b>	<b>100.1</b>	<b>+ 0.1</b>
Th - 232	<b>43 ± 3</b>	<b>43 ± 5</b>	<b>40.808</b>	<b>105.4</b>	<b>+ 5.4</b>
K - 40	<b>505 ± 25</b>	<b>505 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.1</b>	<b>+ 0.1</b>
Cs - 137	<b>4.04 ± 0.26</b>	<b>4.0 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>89.5</b>	<b>- 10.5</b>

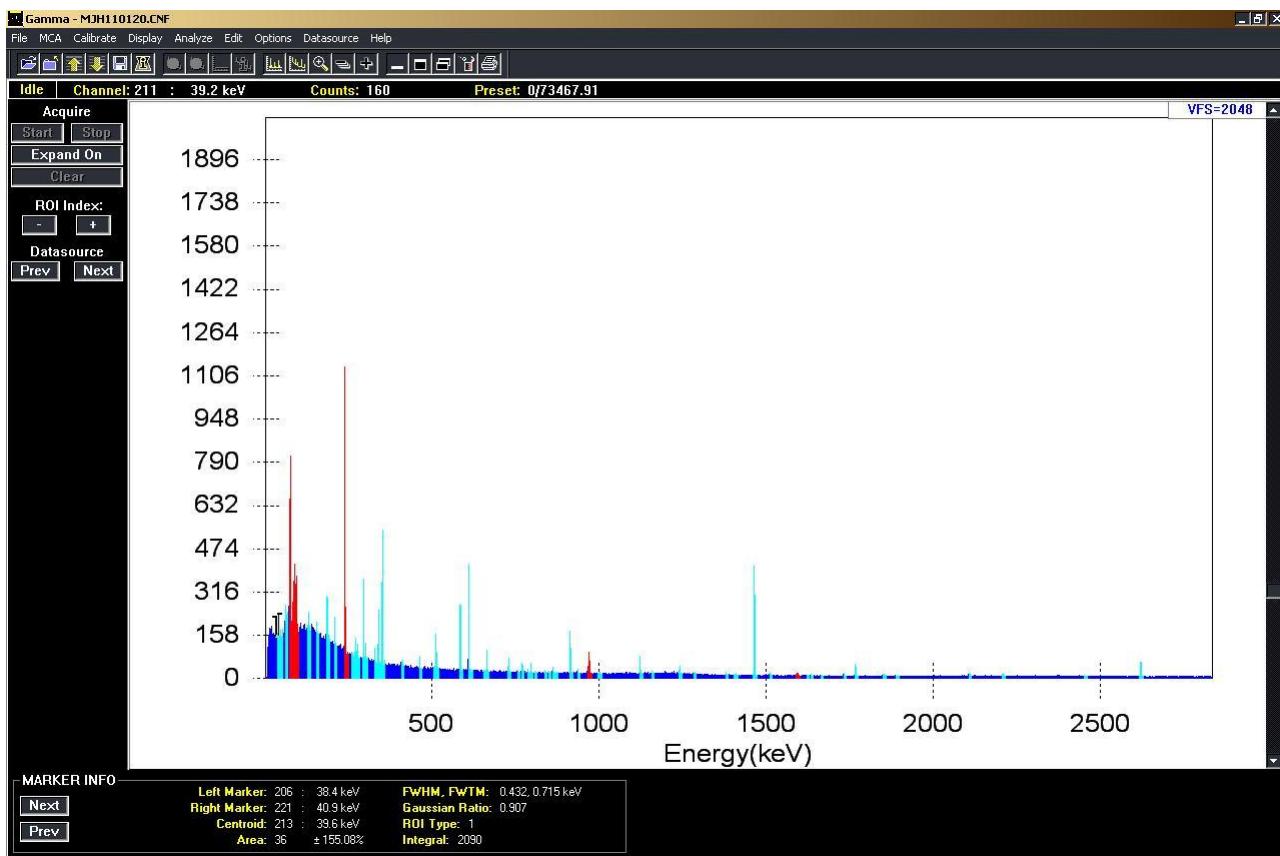


## MJH110119

datum merenja: 19.01.2011.

vreme merenja: 66604 s LIVE TIME; 66604 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.0 ± 1.5</b>	<b>47.0 ± 2.5</b>	<b>45.856</b>	<b>102.5</b>	<b>+ 2.5</b>
Th - 232	<b>40.6 ± 2.5</b>	<b>41 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>99.5</b>	<b>- 0.5</b>
K - 40	<b>495 ± 25</b>	<b>495 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.1</b>	<b>- 1.9</b>
Cs - 137	<b>4.07 ± 0.27</b>	<b>4.1 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>90.1</b>	<b>- 9.9</b>

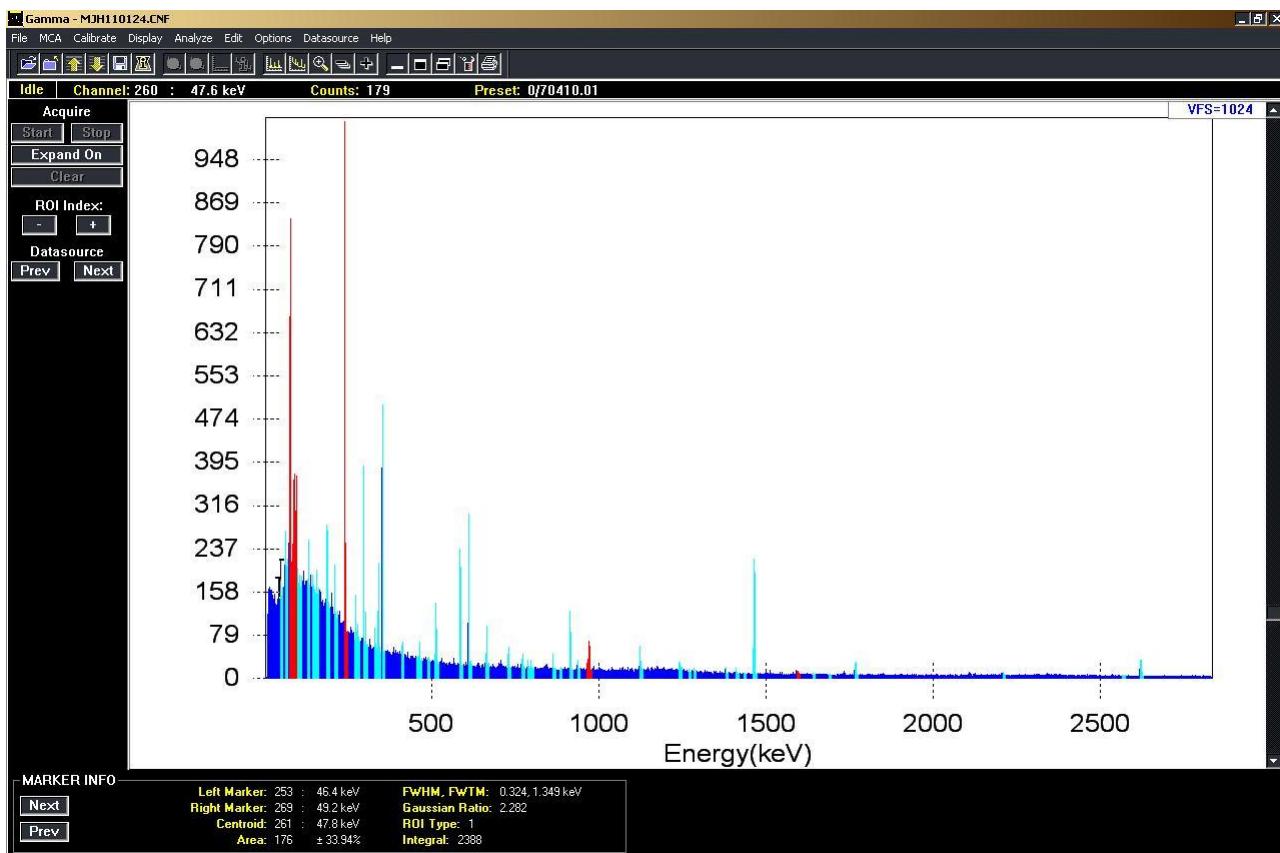


## MJH110120

datum merenja: 20.01.2011.

vreme merenja: 73467 s LIVE TIME; 73551 s REAL TIME; 0.11 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.0 ± 1.6</b>	<b>47.0 ± 2.6</b>	<b>45.856</b>	<b>102.5</b>	<b>+ 2.5</b>
Th - 232	<b>40.1 ± 2.2</b>	<b>40 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>98.3</b>	<b>- 1.7</b>
K - 40	<b>492 ± 254</b>	<b>492 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>97.5</b>	<b>- 2.5</b>
Cs - 137	<b>4.22 ± 0.26</b>	<b>4.2 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>93.5</b>	<b>- 6.5</b>

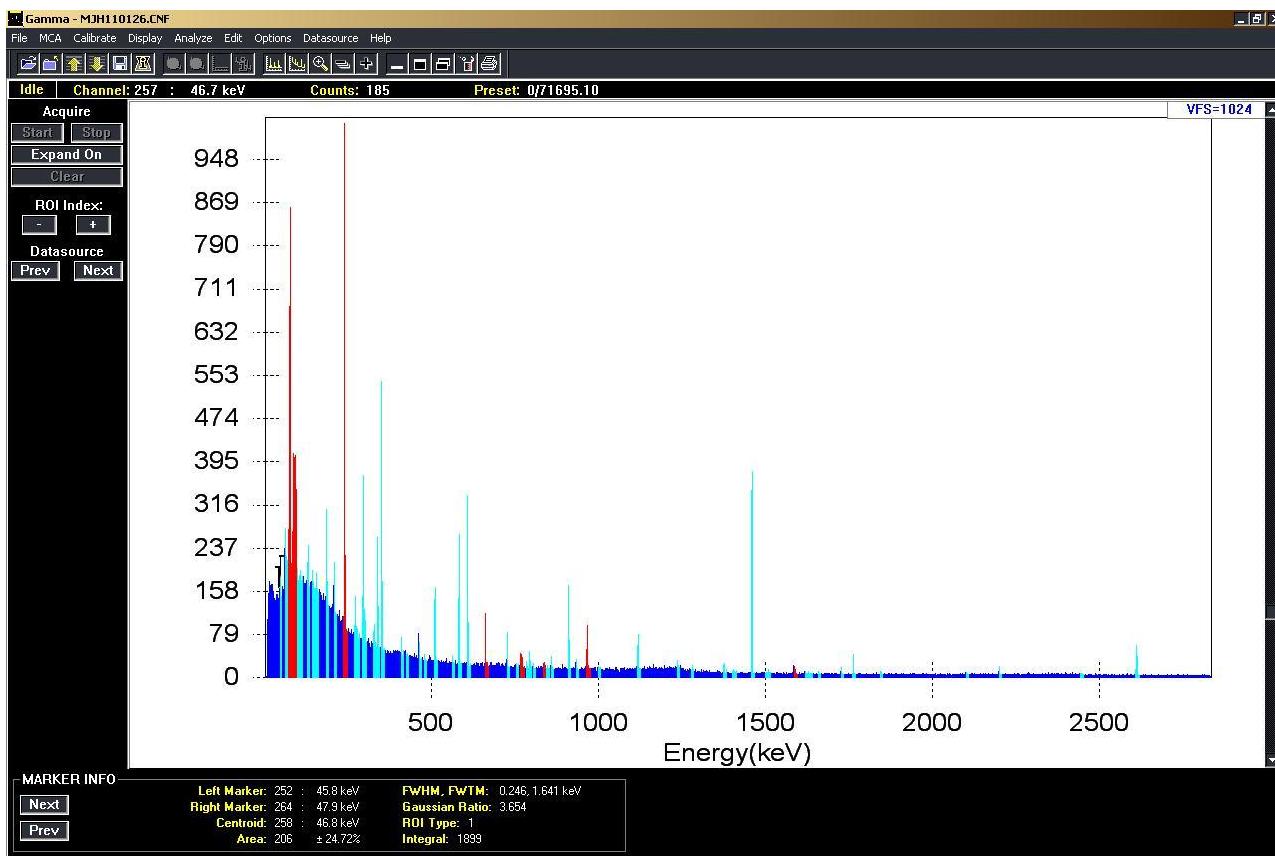


## MJH110124

datum merenja: 24.01.2011.

vreme merenja: 70410 s LIVE TIME; 70491 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>44.2 ± 1.3</b>	<b>44.2 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>96.4</b>	- 3.6
Th - 232	<b>40.3 ± 2.1</b>	<b>40 ± 3</b>	<b>40.808</b>	<b>98.8</b>	- 1.2
K - 40	<b>496 ± 24</b>	<b>496 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.3</b>	- 1.7
Cs - 137	<b>4.88 ± 0.29</b>	<b>4.9 ± 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>108.1</b>	+ 8.1

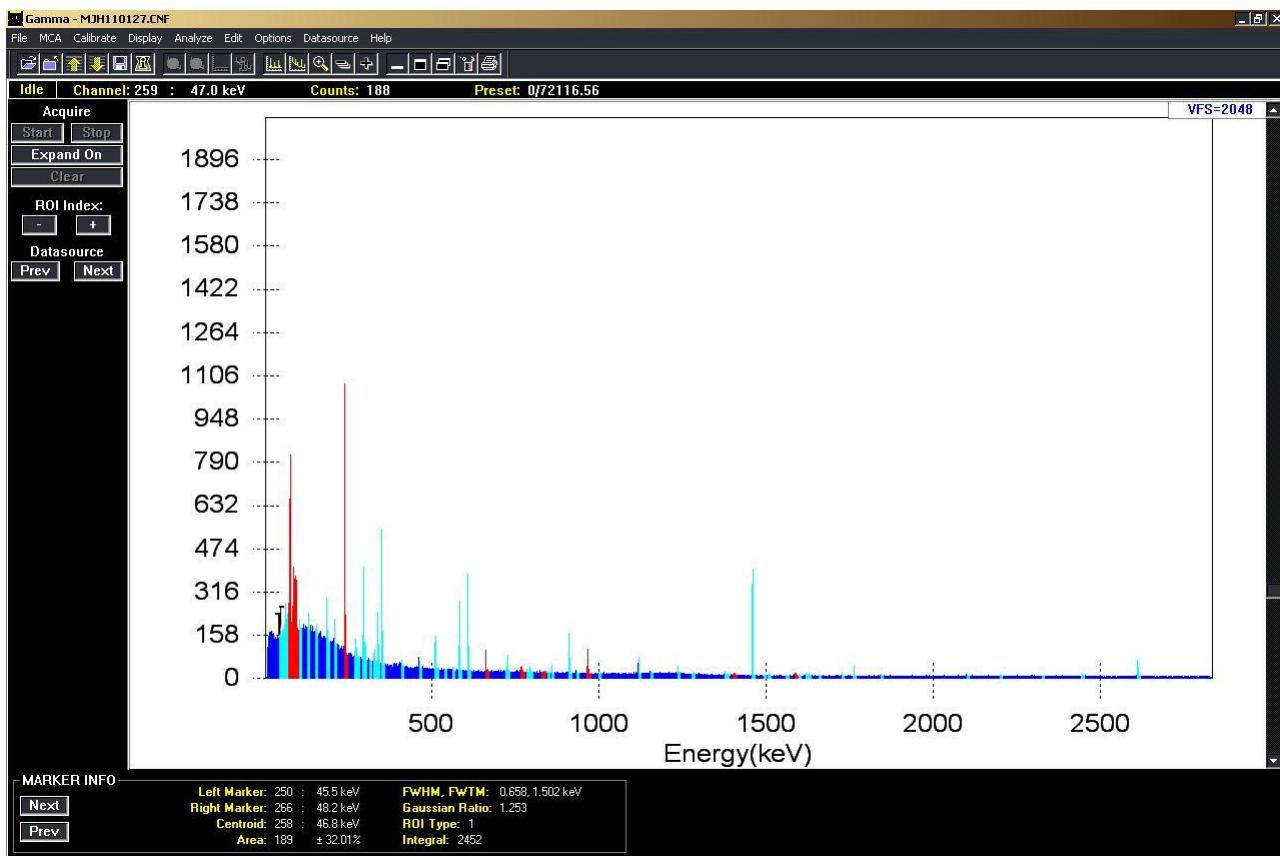


## MJH110126

datum merenja: 26.01.2011.

vreme merenja: 71695 s LIVE TIME; 71779 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.1 ± 1.3</b>	<b>46.1 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Th - 232	<b>41.2 ± 1.7</b>	<b>41.2 ± 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>100.9</b>	<b>+ 0.9</b>
K - 40	<b>499 ± 25</b>	<b>499 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>98.9</b>	<b>- 1.1</b>
Cs - 137	<b>4.66 ± 0.27</b>	<b>4.7 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>103.2</b>	<b>+ 3.2</b>

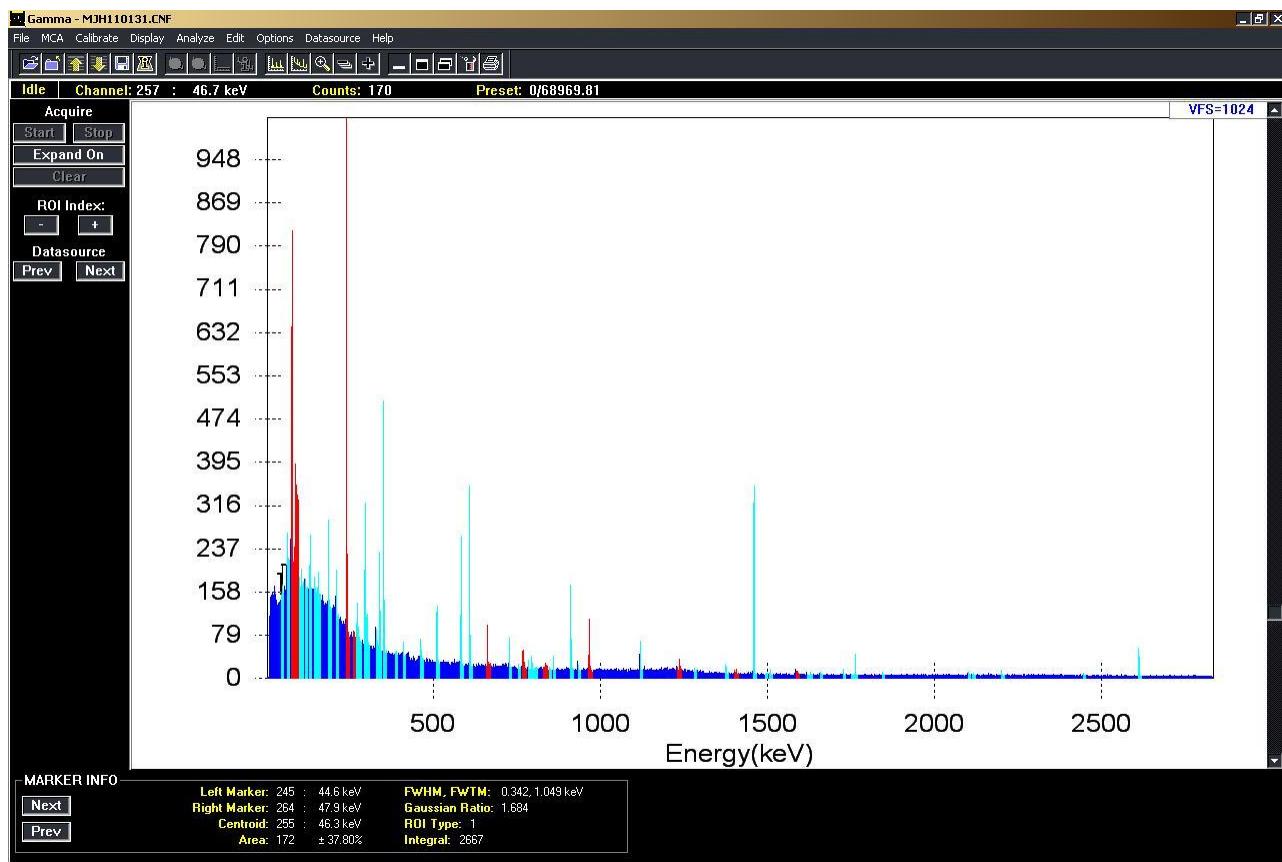


## MJH110127

datum merenja: 27.01.2011.

vreme merenja: 72116 s LIVE TIME; 72201 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>47.1 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>47.1 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>102.7</b>	<b>+ 2.7</b>
Th - 232	<b>42 <math>\pm</math> 4</b>	<b>42 <math>\pm</math> 7</b>	<b>40.808</b>	<b>102.9</b>	<b>+ 2.9</b>
K - 40	<b>517 <math>\pm</math> 25</b>	<b>517 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>102.5</b>	<b>+ 2.5</b>
Cs - 137	<b>4.16 <math>\pm</math> 0.26</b>	<b>4.2 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>92.1</b>	<b>- 7.9</b>

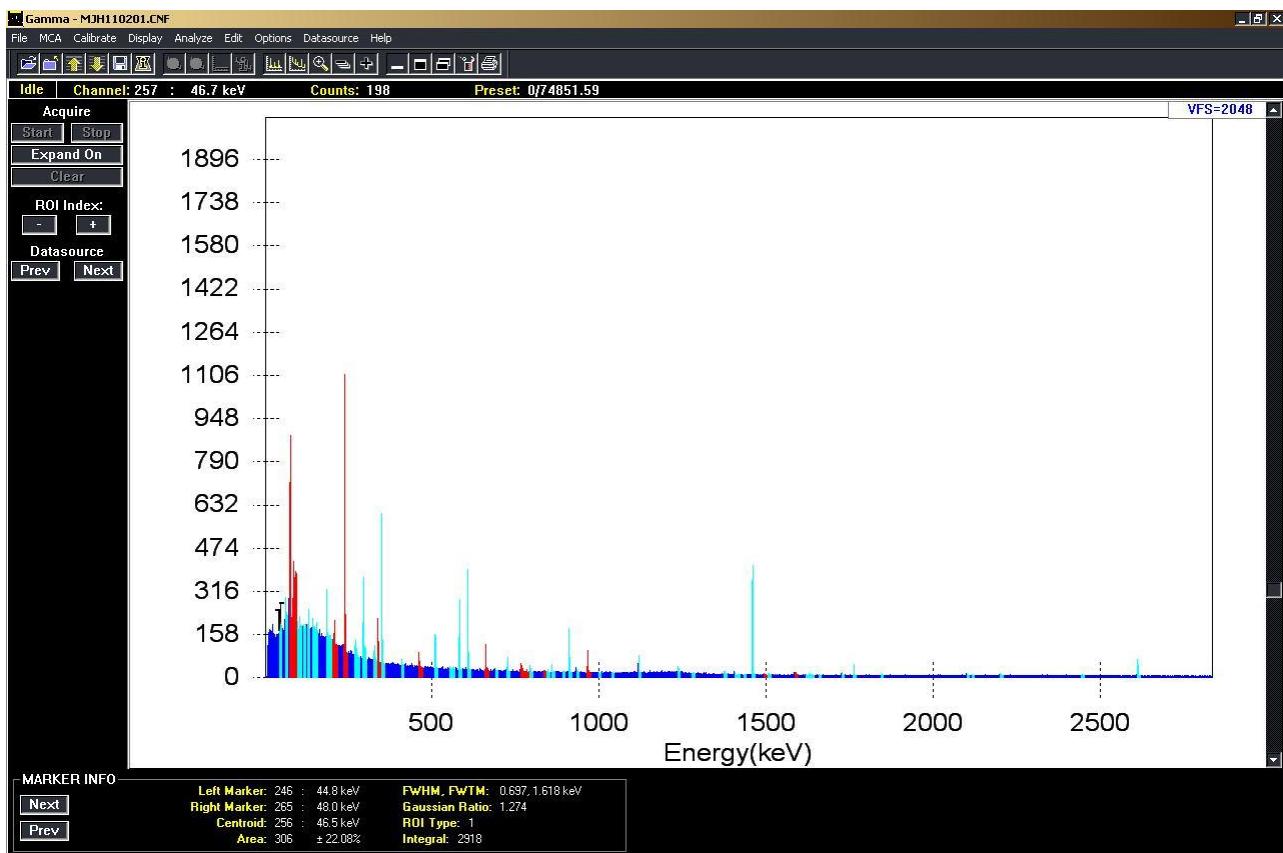


## MJH110131

datum merenja: 31.01.2011.

vreme merenja: 68969 s LIVE TIME; 69050 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>43.9 ± 1.2</b>	<b>43.9 ± 2.0</b>	<b>45.856</b>	<b>95.7</b>	<b>- 4.3</b>
Th - 232	<b>39.9 ± 2.7</b>	<b>40 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>97.8</b>	<b>- 2.2</b>
K - 40	<b>504 ± 25</b>	<b>504 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>99.9</b>	<b>- 0.1</b>
Cs - 137	<b>4.60 ± 0.27</b>	<b>4.6 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>101.9</b>	<b>+ 1.9</b>

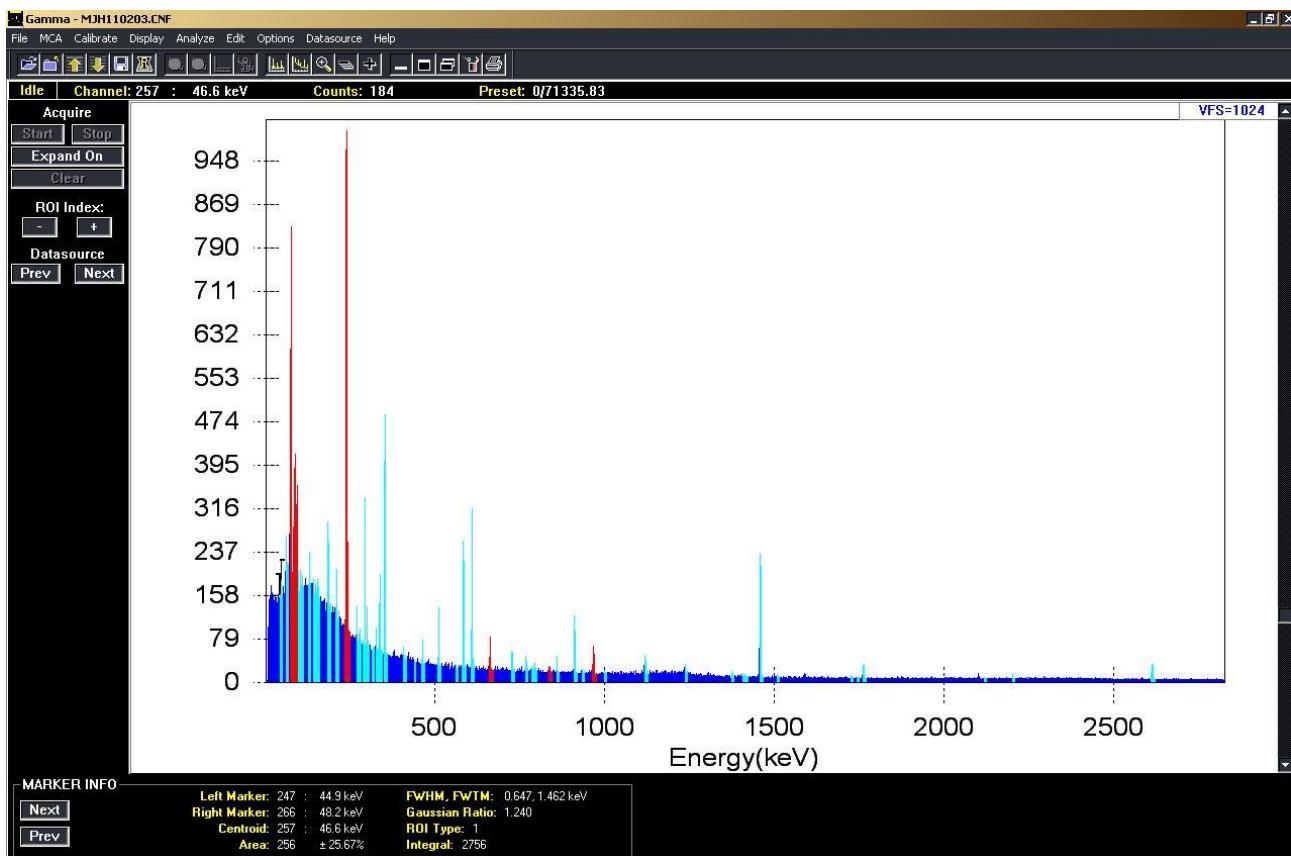


## MJH110201

datum merenja: 01.02.2011.

vreme merenja: 74851 s LIVE TIME; 74939 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.1 ± 1.3</b>	<b>46.1 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Th - 232	<b>41.6 ± 1.7</b>	<b>41.6 ± 2.8</b>	<b>40.808</b>	<b>101.9</b>	<b>+ 1.9</b>
K - 40	<b>507 ± 25</b>	<b>507 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.5</b>	<b>+ 0.5</b>
Cs - 137	<b>4.49 ± 0.26</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>99.4</b>	<b>- 0.6</b>

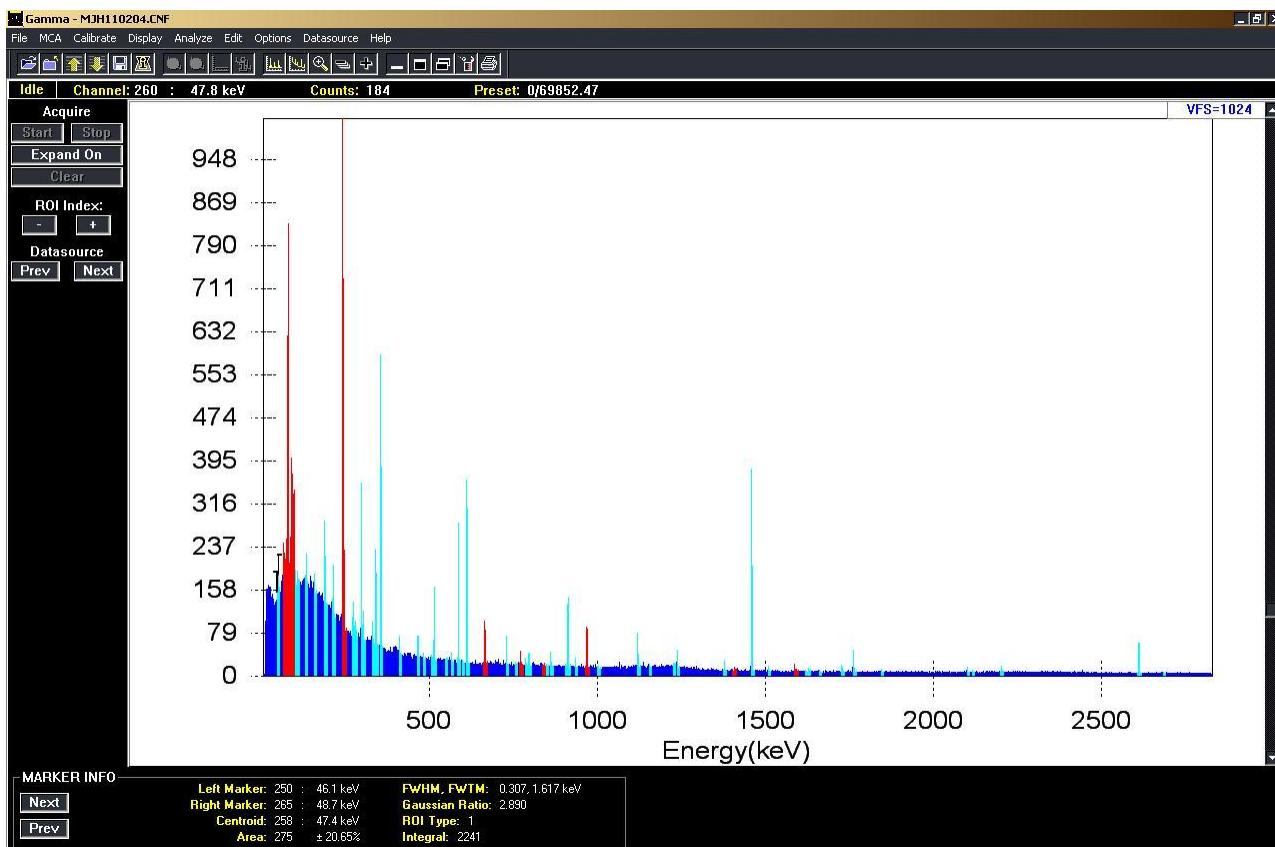


## MJH110203

datum merenja: 03.02.2011.

vreme merenja: 71335 s LIVE TIME; 71419 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>43.9 <math>\pm</math> 2.0</b>	<b>44 <math>\pm</math> 3</b>	<b>45.856</b>	<b>95.7</b>	<b>- 4.3</b>
Th - 232	<b>41.2 <math>\pm</math> 1.9</b>	<b>41 <math>\pm</math> 3</b>	<b>40.808</b>	<b>100.9</b>	<b>+ 0.9</b>
K - 40	<b>502 <math>\pm</math> 25</b>	<b>502 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>99.5</b>	<b>- 0.5</b>
Cs - 137	<b>4.55 <math>\pm</math> 0.28</b>	<b>4.5 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>4.515</b>	<b>100.8</b>	<b>+ 0.8</b>

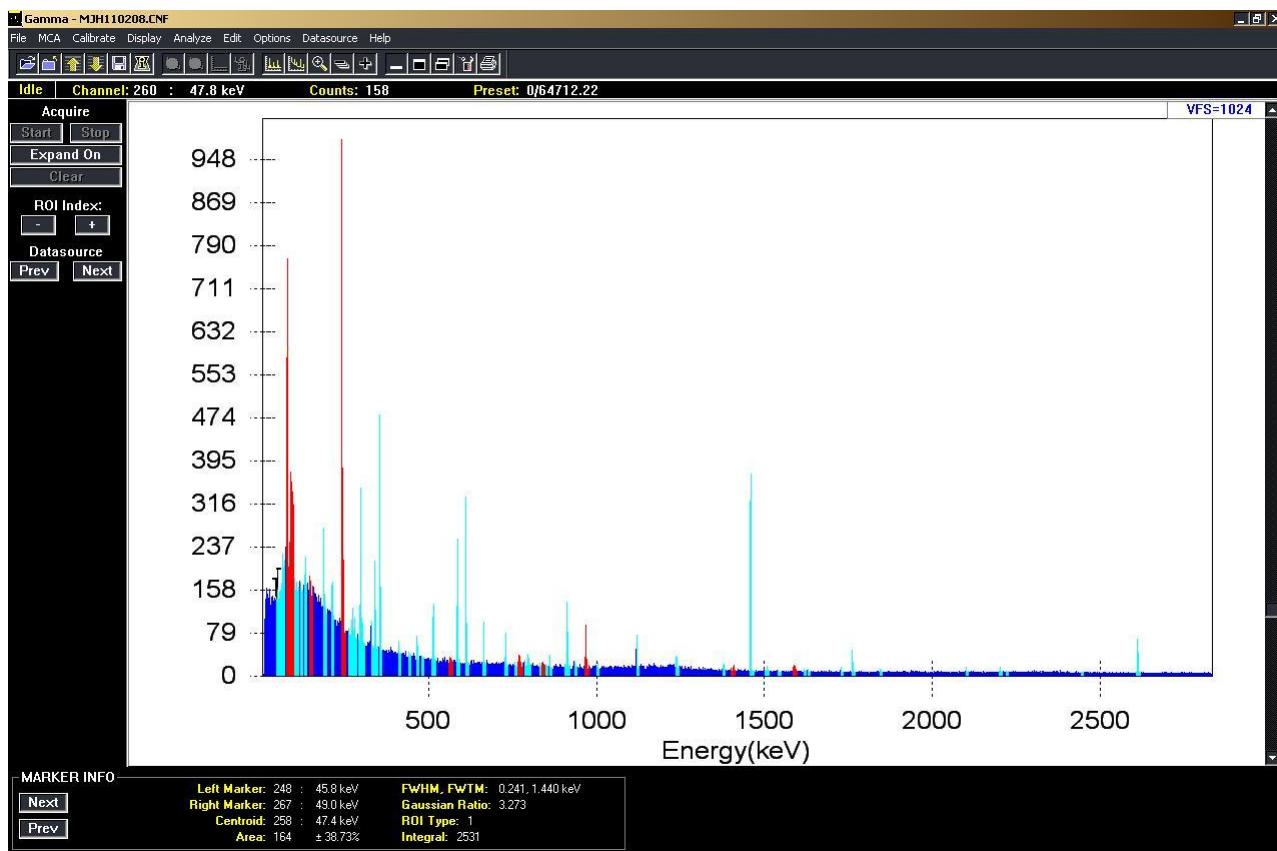


## MJH110204

datum merenja: 04.02.2011.

vreme merenja: 69852 s LIVE TIME; 69934 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>49.0 ± 1.8</b>	<b>49.0 ± 2.9</b>	<b>45.856</b>	<b>106.8</b>	<b>+ 6.8</b>
Th - 232	<b>42.2 ± 1.8</b>	<b>42.2 ± 2.9</b>	<b>40.808</b>	<b>103.4</b>	<b>+ 3.4</b>
K - 40	<b>513 ± 25</b>	<b>513 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.7</b>	<b>+ 1.7</b>
Cs - 137	<b>4.89 ± 0.27</b>	<b>4.9 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>108.3</b>	<b>+ 8.3</b>

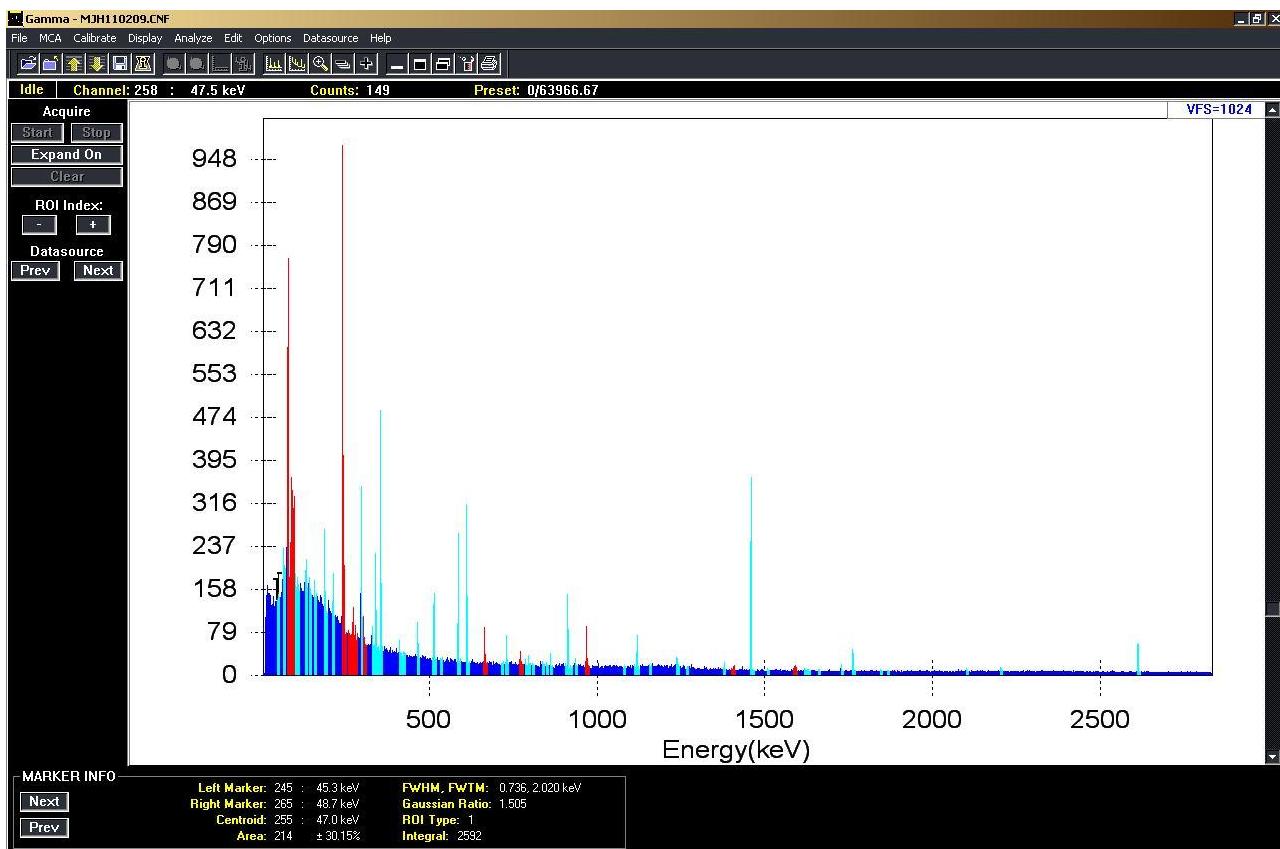


## MJH110208

datum merenja: 08.02.2011.

vreme merenja: 64712 s LIVE TIME; 64787 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.6 <math>\pm</math> 1.3</b>	<b>46.6 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>101.6</b>	<b>+ 1.6</b>
Th - 232	<b>41.9 <math>\pm</math> 2.1</b>	<b>42 <math>\pm</math> 3</b>	<b>40.808</b>	<b>102.7</b>	<b>+ 2.7</b>
K - 40	<b>509 <math>\pm</math> 25</b>	<b>509 <math>\pm</math> 40</b>	<b>504.44</b>	<b>100.9</b>	<b>+ 0.9</b>
Cs - 137	<b>4.24 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>4.2 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>93.9</b>	<b>- 6.1</b>

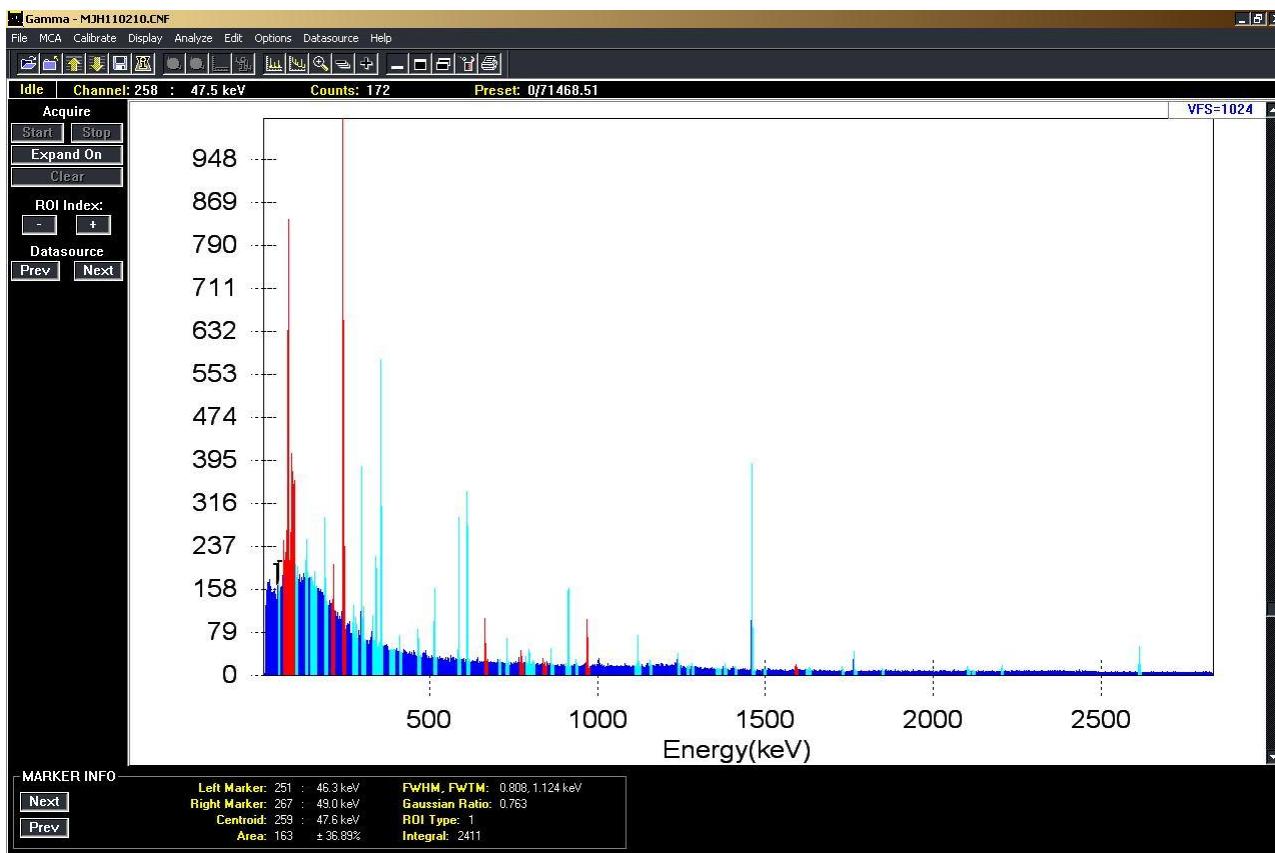


## MJH110209

datum merenja: 09.02.2011.

vreme merenja: 63966 s LIVE TIME; 64040 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>45.1 ± 1.2</b>	<b>45.1 ± 2.0</b>	<b>45.856</b>	<b>98.4</b>	- 1.6
Th - 232	<b>39.3 ± 2.4</b>	<b>39 ± 4</b>	<b>40.808</b>	<b>96.3</b>	- 3.7
K - 40	<b>503 ± 25</b>	<b>503 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>99.7</b>	- 0.3
Cs - 137	<b>3.86 ± 0.27</b>	<b>3.9 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>85.5</b>	<b>- 14.5</b>



## MJH110210

datum merenja: 10.02.2011.

vreme merenja: 71468 s LIVE TIME; 71552 s REAL TIME; 0.12 % DEAD TIME

radionuklid	<b>A</b> - aktivnost $\pm 1\sigma$ (Bq/kg)	<b>A*</b> - aktivnost $\pm 1.6\sigma$ (Bq/kg)	<b>S</b> - srednja vrednost	<b>A / S (%)</b>	odstupanje izmerene od srednje vrednosti (%)
Ra - 226	<b>46.4 ± 1.3</b>	<b>46.4 ± 2.1</b>	<b>45.856</b>	<b>101.2</b>	<b>+ 1.2</b>
Th - 232	<b>41.2 ± 1.7</b>	<b>41.2 ± 2.9</b>	<b>40.808</b>	<b>100.9</b>	<b>+ 0.9</b>
K - 40	<b>510 ± 25</b>	<b>510 ± 40</b>	<b>504.44</b>	<b>101.1</b>	<b>+ 1.1</b>
Cs - 137	<b>4.54 ± 0.27</b>	<b>4.5 ± 0.4</b>	<b>4.515</b>	<b>100.6</b>	<b>+ 0.6</b>

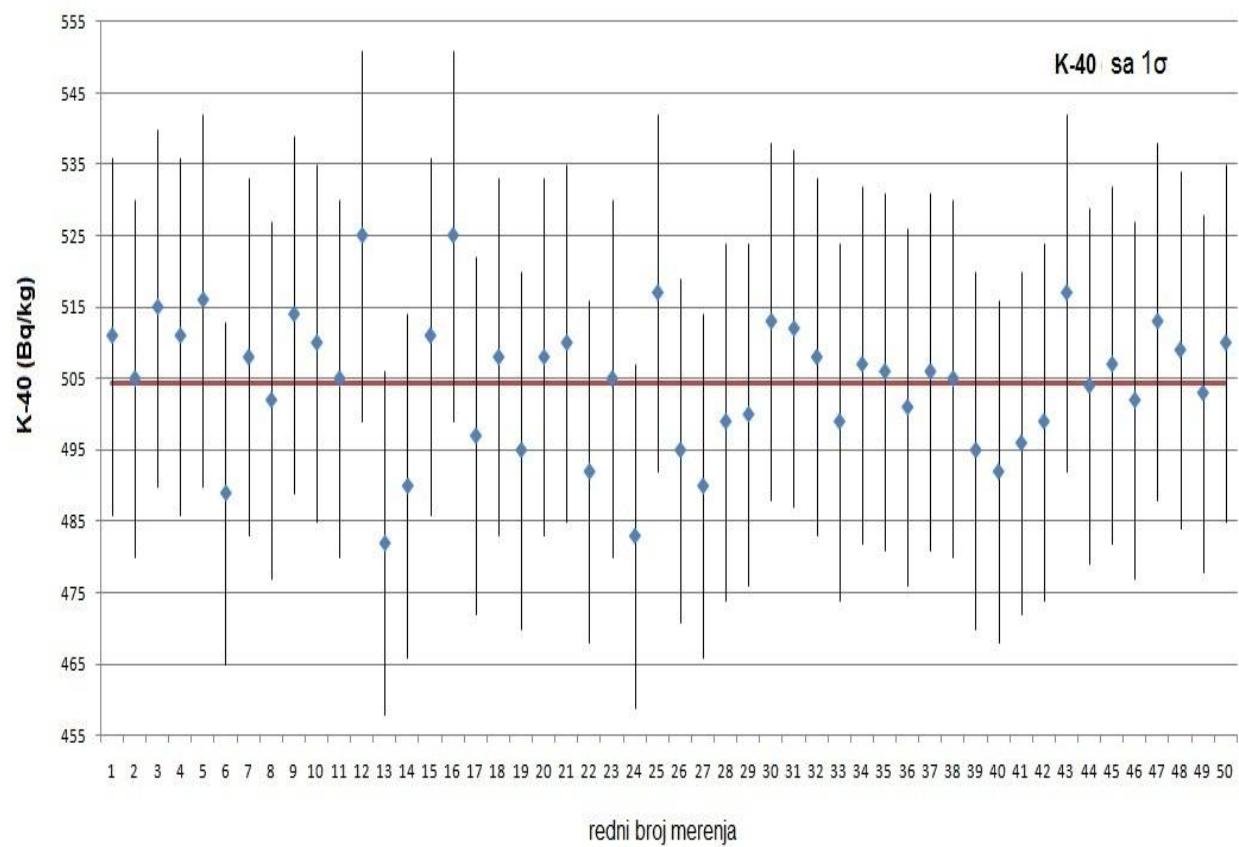
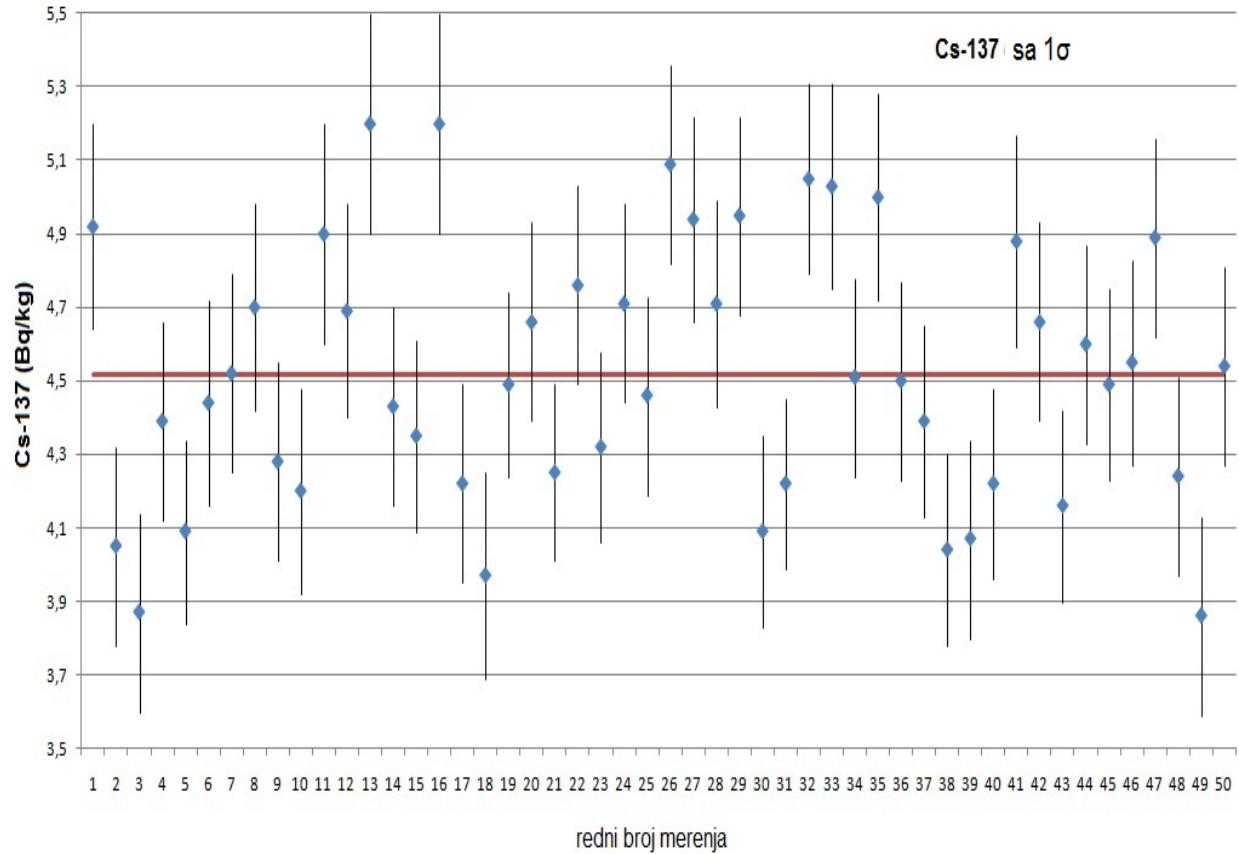
**TABELA 2 - REZULTATI MERENJA AKTIVNOSTI UZORKA**

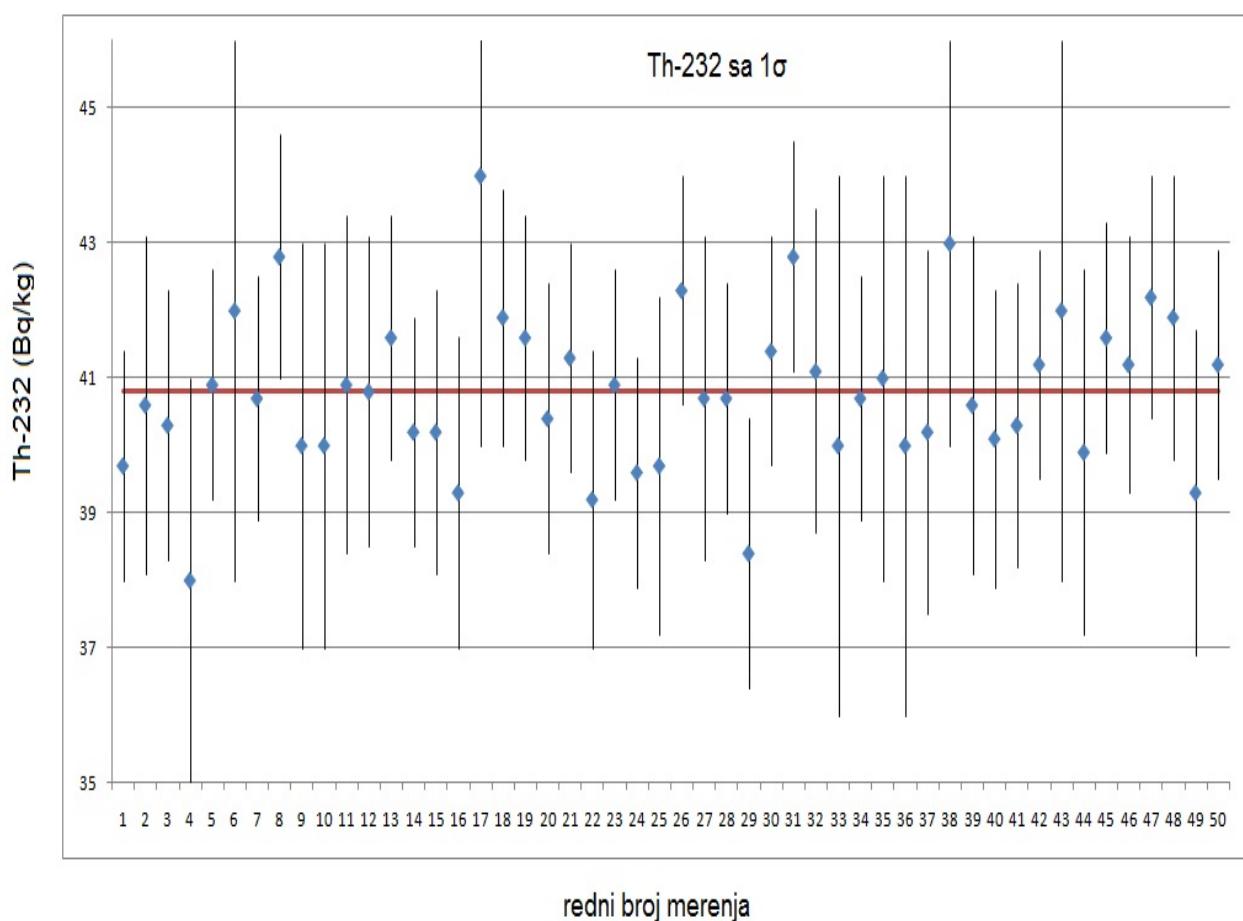
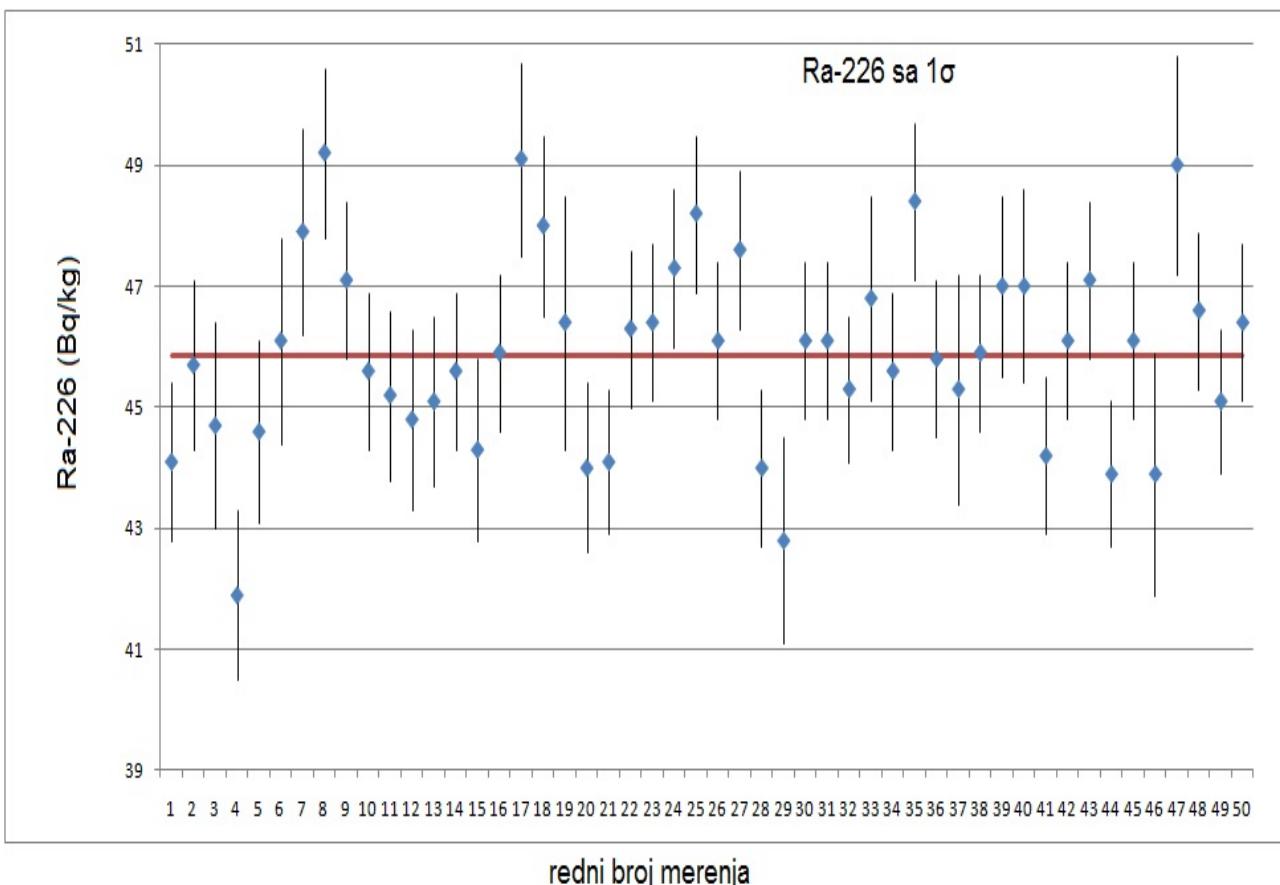
<i>r.br.</i>	<i>šifra spektra</i>	<i>koncentracija aktivnosti <math>\pm 1\sigma</math> (Bq/kg)</i>			
		<i>Ra-226</i>	<i>Th-232</i>	<i>K-40</i>	<i>Cs-137</i>
1	MJH101021	44.1±1.3	39.7±1.7	511±25	4.92±0.28
2	MJH101025	45.7±1.4	40.6±2.5	505±25	4.05±0.27
3	MJH101026	44.7±1.7	40.3±2.0	515±25	3.87±0.27
4	MJH101027	41.9±1.4	38±3	511±25	4.39±0.27
5	MJH101028	44.6±1.5	40.9±1.7	516±26	4.09±0.15
6	MJH101101	46.1±1.7	42±4	489±24	4.44±0.28
7	MJH101102	47.9±1.7	40.7±1.8	508±25	4.52±0.27
8	MJH101103	49.2±1.4	42.8±1.8	502±25	4.70±0.28
9	MJH101104	47.1±1.3	40±3	514±25	4.28±0.27
10	MJH101108	45.6±1.3	40±3	510±25	4.20±0.28
11	MJH101109	45.2±1.4	40.9±2.5	505±25	4.9±0.3
12	MJH101110	44.8±1.5	40.8±2.3	525±26	4.69±0.29
13	MJH101111	45.1±1.4	41.6±1.8	482±24	5.2±0.3
14	MJH101201	45.6±1.3	40.2±1.7	490±24	4.43±0.27
15	MJH101202	44.3±1.5	40.2±2.1	511±25	4.35±0.26
16	MJH101206	45.9±1.3	39.3±2.3	525±26	5.2±0.3
17	MJH101207	49.1±1.6	44±4	497±25	4.22±0.27
18	MJH101208	48.0±1.5	41.9±1.9	508±25	3.97±0.28
19	MJH101209	46.4±2.1	41.6±1.8	495±25	4.49±0.25
20	MJH101214	44.0±1.4	40.4±2.0	508±25	4.66±0.27
21	MJH101215	44.1±1.2	41.3±1.7	510±25	4.25±0.24
22	MJH101217	46.3±1.3	39.2±2.2	492±24	4.76±0.27
23	MJH101218	46.4±1.3	40.9±1.7	505±25	4.32±0.26
24	MJH101220	47.3±1.3	39.6±1.7	483±24	4.71±0.27
25	MJH101221	48.2±1.3	39.7±2.5	517±25	4.46±0.27
26	MJH101222	46.1±1.3	42.3±1.7	495±24	5.09±0.27
27	MJH101223	47.6±1.3	40.7±2.4	490±24	4.94±0.28
28	MJH101227	44.0±1.3	40.7±1.7	499±25	4.71±0.28
29	MJH101228	42.8±1.7	38.4±2.0	500±24	4.95±0.27
30	MJH101229	46.1±1.3	41.4±1.7	513±25	4.09±0.26
31	MJH101230	46.1±1.3	42.8±1.7	512±25	4.22±0.23
32	MJH110104	45.3±1.2	41.1±2.4	508±25	5.05±0.26
33	MJH110110	46.8±1.7	40±4	499±25	5.03±0.28
34	MJH110111	45.6±1.3	40.7±1.8	507±25	4.51±0.27
35	MJH110112	48.4±1.3	41±3	506±25	5.00±0.28
36	MJH110113	45.8±1.3	40±4	501±25	4.50±0.27
37	MJH110117	45.4±1.9	40.2±2.7	506±25	4.39±0.26
38	MJH110118	45.9±1.3	43±3	505±25	4.04±0.26
39	MJH110119	47.0±1.5	40.6±2.5	495±25	4.07±0.27
40	MJH110120	47.0±1.6	40.1±2.2	492±24	4.22±0.26
41	MJH110124	44.2±1.3	40.3±2.1	496±24	4.88±0.29
42	MJH110126	46.1±1.3	41.2±1.7	499±25	4.66±0.27
43	MJH110127	47.1±1.3	42±4	517±25	4.16±0.26

		<i><b>koncentracija aktivnosti <math>\pm 1\sigma</math> (Bq/kg)</b></i>			
<i>r.br.</i>	<i>šifra spektra</i>	<i>Ra-226</i>	<i>Th-232</i>	<i>K-40</i>	<i>Cs-137</i>
44	MJH110131	<b>43.9<math>\pm</math>1.2</b>	<b>39.9<math>\pm</math>2.7</b>	<b>504<math>\pm</math>25</b>	<b>4.60<math>\pm</math>0.27</b>
45	MJH110201	<b>46.1<math>\pm</math>1.3</b>	<b>41.6<math>\pm</math>1.7</b>	<b>507<math>\pm</math>25</b>	<b>4.49<math>\pm</math>0.26</b>
46	MJH110203	<b>43.9<math>\pm</math>2.0</b>	<b>41.2<math>\pm</math>1.9</b>	<b>502<math>\pm</math>25</b>	<b>4.55<math>\pm</math>0.28</b>
47	MJH110204	<b>49.0<math>\pm</math>1.8</b>	<b>42.2<math>\pm</math>1.8</b>	<b>513<math>\pm</math>25</b>	<b>4.89<math>\pm</math>0.27</b>
48	MJH110208	<b>46.6<math>\pm</math>1.3</b>	<b>41.9<math>\pm</math>2.1</b>	<b>509<math>\pm</math>25</b>	<b>4.24<math>\pm</math>0.27</b>
49	MJH110209	<b>45.1<math>\pm</math>1.2</b>	<b>39.3<math>\pm</math>2.4</b>	<b>503<math>\pm</math>25</b>	<b>3.86<math>\pm</math>0.27</b>
50	MJH110210	<b>46.4<math>\pm</math>1.3</b>	<b>41.2<math>\pm</math>1.7</b>	<b>510<math>\pm</math>25</b>	<b>4.54<math>\pm</math>0.27</b>

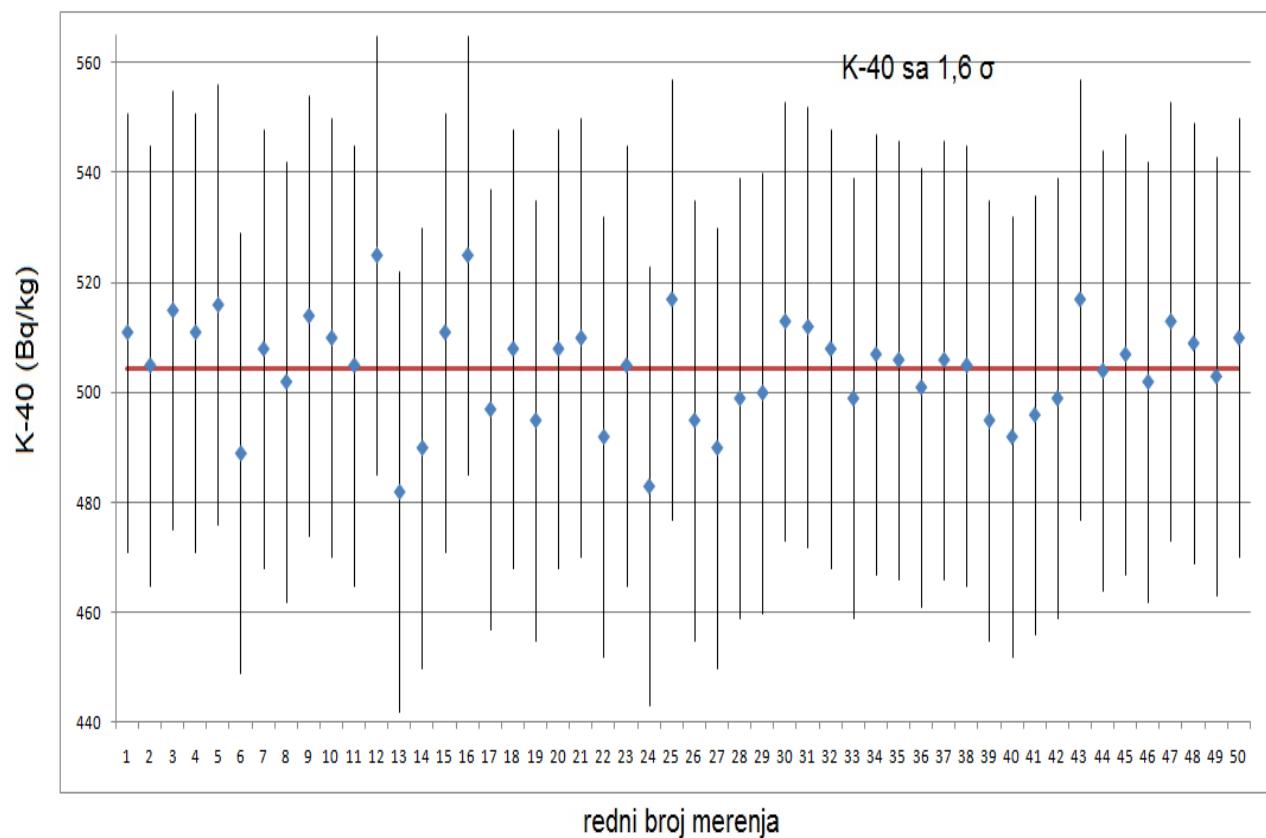
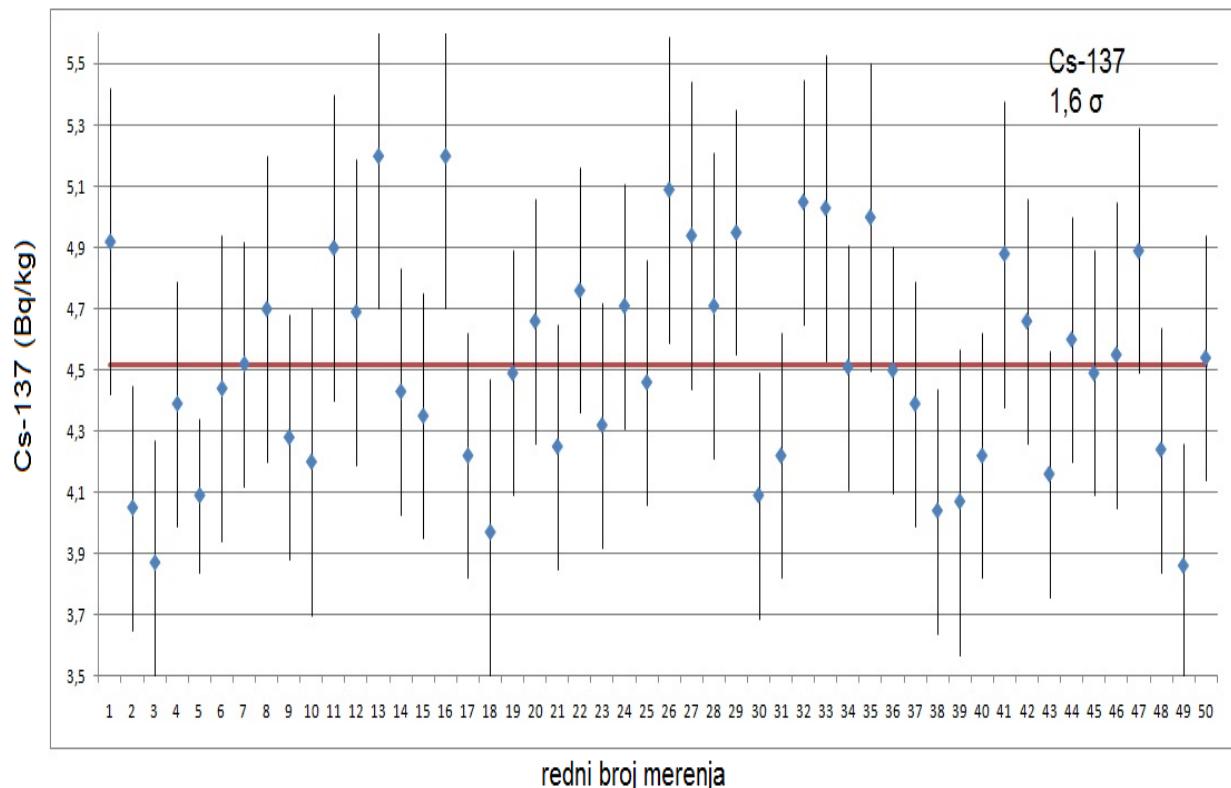
\* crvenim su označene minimalne i maksimalne izmerene vrednosti tj. najveća odstupanja od srednje vrednosti

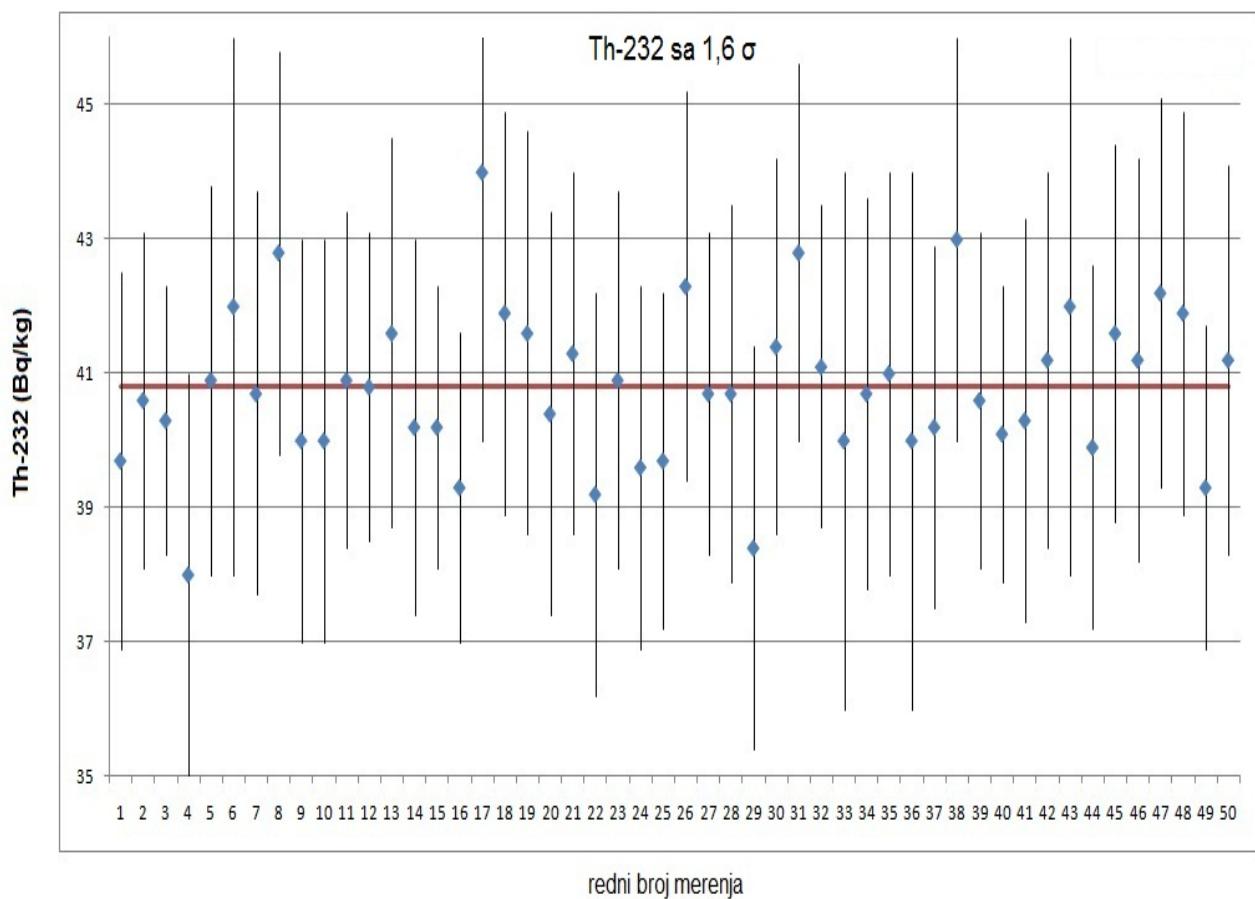
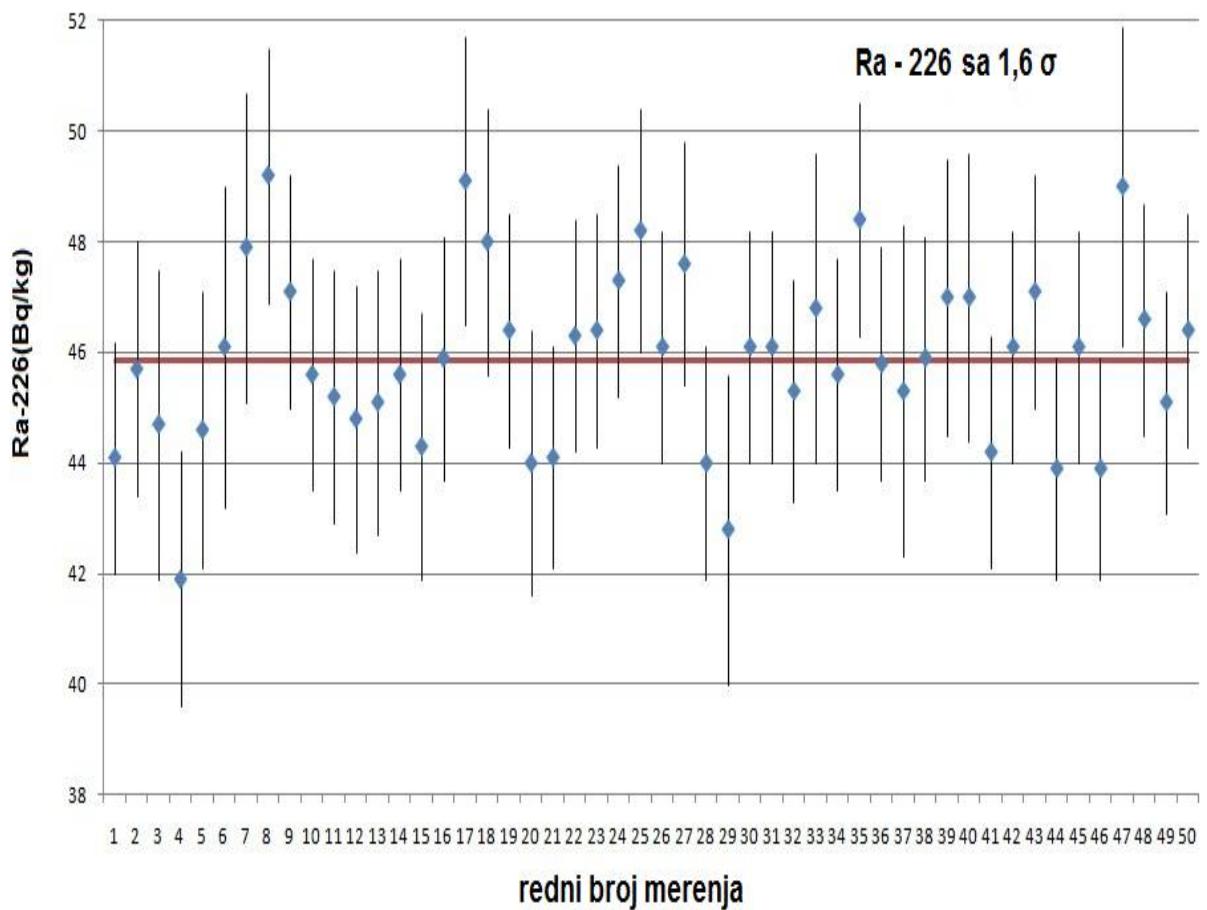
## Grafici/rezultati sa $1\sigma$





Grafici/rezultati sa  $1,6 \sigma$





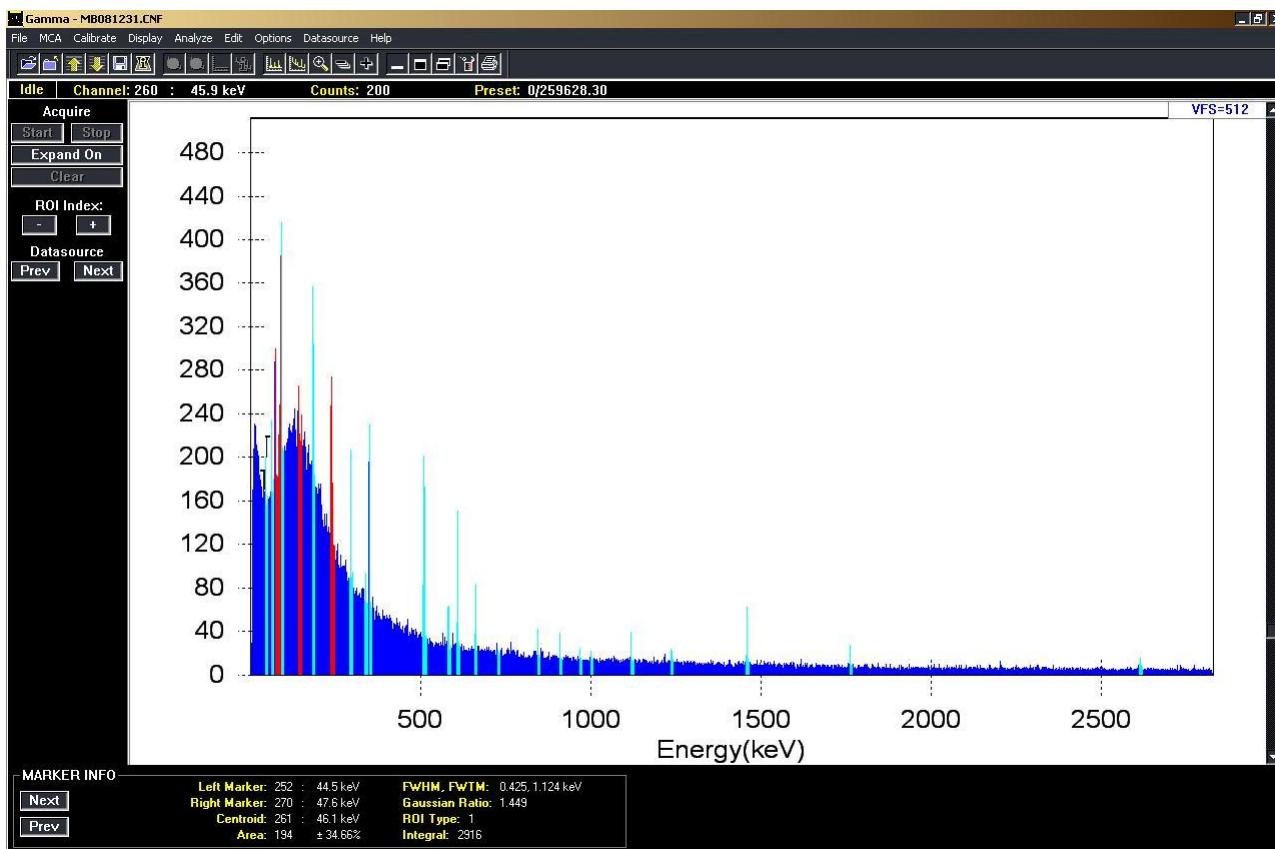
## **8. ISTRAŽIVANJE I UTICAJ PROMENE FONA Ge DETEKTORA U Fe ZAŠТИTI**

Kao što je već rečeno, od velikog značaja je što bolje poznavati fon detektora i svesti ga na što manju moguću vrednost. U slučaju ispitivanja niskih koncentracija aktivnosti i mala fluktuacija u fonu može biti od značaja. Ovde će biti analizirani spektri fona snimani na Ge detektoru u Fe zaštiti tokom 2010.g. Ukupno je odabранo 28 fonskih spektara + jedan iz 2011.g. i fonski spektar od 31.12.2008.g. koji je i korišćen u programu Genie 2000 prilikom obrade snimljenih spektara uzoraka za oduzimanje fona od uzorka.

Za upoređivanje intenziteta linija iz spektra su odabrane linije tako da pokrivaju što širi energetski spektar (koji je od značaja) i da linije budu i iz uranovog i iz torijumovog niza, plus još linije cezijum i kalijuma. To su linije:

- 1) Pb-210 na 46.5 keV - uranov niz - koristi se za izračunavanje koncentracije Ra-226;
- 2) Th-234 na 63.3 keV - uranov niz - koristi se za izračunavanje koncentracije U-238;
- 3) Bi-214 na 609.3 keV - uranov niz - koristi se za izračunavanje koncentracije Ra-226;
- 4) Cs-137 na 661.6 keV;
- 5) Ac-228 na 911.2 keV - torijumov niz - koristi se za izračunavanje koncentracije Th-232;
- 6) K-40 na 1460.8 keV.

Kao još dodatni deo, je odabran spektar uzorka MJH101202, sa nekim srednjim vrednostima koncentracija aktivnosti Ra-226, Th-232, Cs-137 i K-40 (spektar je odabran tako da sam po sebi ne sadrži neku od maksimalnih ili minimalnih izmerenih vrednosti bilo kog od radionuklida) i posmatrano je koliko bi ekstremne promene vrednosti iz fona (minimalne i maksimalne vrednosti) mogle uticati na konačan rezultat koncentracije aktivnosti radionuklida u samom uzorku.



## MB081231 - FON

datum merenja: 31.12.2008.

vreme merenja: 259628 s LIVE TIME; 259740 s REAL TIME; 0.04 % DEAD TIME

radionuklid/ gama linija	<b>c ± c</b>	<b>c/ks ± c/ks</b>
<b>Pb - 210 / 46.5 keV ( za Ra-226 )</b>	<b>194 ± 68</b>	<b>0.75 ± 0.26</b>
<b>Th - 234 / 63.3 keV ( za U-238 )</b>	<b>462 ± 69</b>	<b>1.78 ± 0.27</b>
<b>Bi - 214 / 609.3 keV ( za Ra-226 )</b>	<b>690 ± 34</b>	<b>2.66 ± 0.13</b>
<b>Cs - 137 / 661.6 keV</b>	<b>399 ± 35</b>	<b>1.54 ± 0.13</b>
<b>Ac - 228 / 911.2 keV ( za Th-232 )</b>	<b>220 ± 24</b>	<b>0.85 ± 0.09</b>
<b>K - 40 / 1460.8 keV</b>	<b>332 ± 24</b>	<b>1.28 ± 0.09</b>

**TABELA 3 - REZULTATI MERENJA FONA**

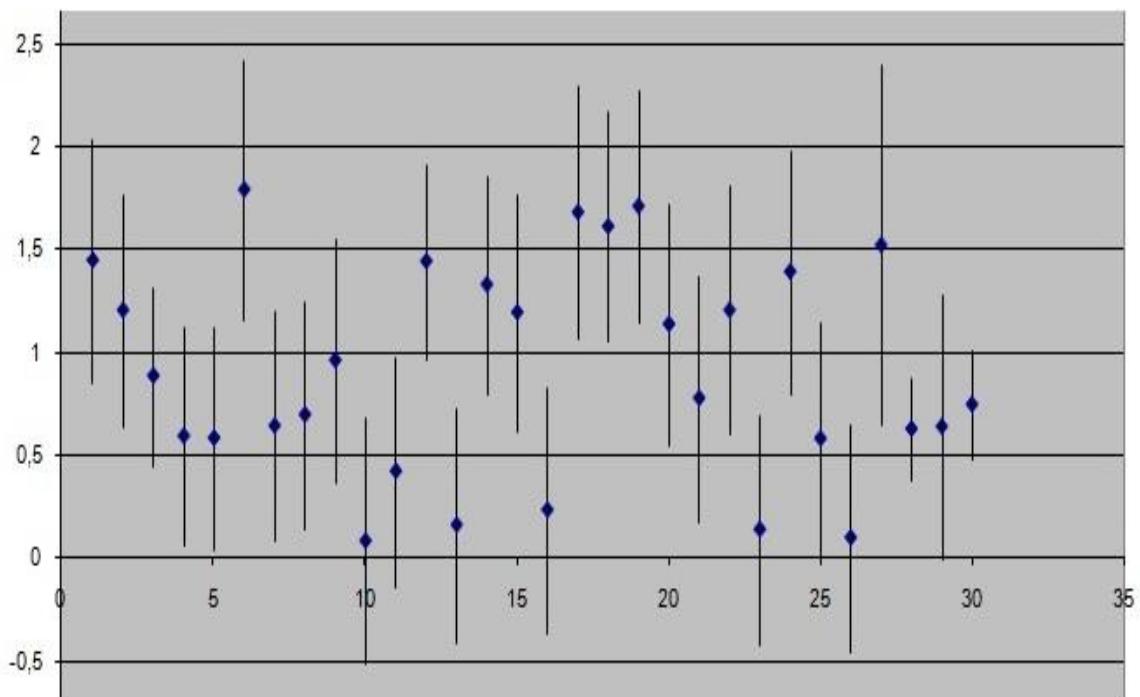
spektar/ vreme merenja(s)	Pb-210 <b>46.5 keV</b> C ± C c/ks ± c/ks	Th-234 <b>63.3 keV</b> C ± C c/ks ± c/ks	Bi-214 <b>609.3 keV</b> C ± C c/ks ± c/ks	Cs-137 <b>661.6 keV</b> C ± C c/ks ± c/ks	Ac-228 <b>911.2 keV</b> C ± C c/ks ± c/ks	K-40 <b>1460.8 keV</b> C ± C c/ks ± c/ks
MB100221 72456	105 ± 43 1.45±0.59	138 ± 45 1.90±0.62	182 ± 25 2.51±0.35	62 ± 23 0.86±0.32	62 ± 16 0.86±0.22	35 ± 18 <b>0.48±0.25</b>
MB100222 67178	81±38 1.21±0.57	91±44 1.35±0.65	146±22 2.17±0.33	62±19 0.92±0.28	49±15 0.73±0.22	90±12 1.34±0.18
MB100223 73332	65±32 0.89±0.44	162±32 2.21±0.44	197±23 2.69±0.31	112±24 1.53±0.33	46±15 0.63±0.20	94±17 1.28±0.23
MB100224 74077	44±39 0.59±0.53	125±46 1.69±0.62	224±27 3.02±0.36	102±22 1.38±0.30	40±18 0.54±0.24	54±17 0.73±0.23
MB100225 68477	40±37 0.58±0.54	176±44 2.57±0.64	130±21 1.90±0.31	72±21 1.05±0.31	64±15 0.93±0.22	56±15 0.82±0.22
MB100301 66389	119±42 <b>1.79±0.63</b>	60±43 0.90±0.65	156±23 2.35±0.35	110±20 1.66±0.30	40±16 0.60±0.24	83±12 1.25±0.18
MB100302 69920	45±39 0.64±0.56	99±45 1.42±0.64	138±23 1.97±0.33	81±19 1.16±0.27	69±14 0.99±0.20	65±14 0.93±0.20
MB100303 70234	49±39 0.70±0.56	140±43 1.99±0.61	179±23 2.55±0.33	131±19 1.87±0.27	50±16 0.71±0.23	76±14 1.08±0.20
MB100308 64409	62±38 0.96±0.59	155±45 2.41±0.70	103±22 1.60±0.34	71±22 1.10±0.34	67±14 1.04±0.22	69±14 1.07±0.22
MB100309 60241	5±36 <b>0.08±0.60</b>	56±36 0.93±0.60	186±23 3.09±0.38	109±18 1.81±0.30	54±15 0.90±0.25	36±14 0.60±0.23
MB100310 66247	28±37 0.42±0.56	67±40 1.01±0.60	59±25 <b>0.89±0.38</b>	44±21 0.66±0.32	42±14 0.63±0.21	75±13 1.13±0.20
MB100311 73419	106±35 1.44±0.48	219±35 2.98±0.48	113±22 1.54±0.30	87±19 1.18±0.26	42±16 0.57±0.22	53±15 0.72±0.20
MB100316 68357	11±39 0.16±0.57	98±39 1.43±0.57	145±24 2.12±0.35	103±19 1.51±0.28	23±18 <b>0.34±0.26</b>	80±14 1.17±0.20
MB100317 71413	95±38 1.33±0.53	168±40 2.35±0.56	110±23 1.54±0.32	98±23 1.37±0.32	65±15 0.91±0.21	47±15 0.66±0.21
MB100406 64413	77±37 1.20±0.57	158±37 2.45±0.57	108±22 1.68±0.34	90±19 1.40±0.29	53±16 0.82±0.25	74±12 1.15±0.19
MB100422 64049	15±38 0.23±0.59	148±43 2.31±0.67	75±21 1.17±0.33	37±20 0.58±0.31	60±14 0.94±0.22	46±13 0.72±0.20
MB100425 57071	96±35 1.68±0.61	89±36 1.56±0.63	61±23 1.07±0.40	15±20 <b>0.26±0.35</b>	55±10 0.96±0.18	53±13 0.93±0.23
MB100426 66304	107±37 1.61±0.56	189±39 2.85±0.59	164±21 2.47±0.32	55±21 0.83±0.32	45±16 0.68±0.24	66±16 1.00±0.24
MB100427 62948	107±35 1.71±0.56	168±41 2.69±0.66	152±21 2.43±0.34	58±21 0.93±0.34	33±16 0.53±0.26	52±13 0.83±0.21
MB100428 65024	74±38 1.14±0.58	153±38 2.35±0.58	242±25 3.72±0.38	82±20 1.26±0.31	35±17 0.54±0.26	59±15 0.91±0.23
MB100627 73273	57±44 0.78±0.60	129±46 1.76±0.63	353±26 <b>4.82±0.35</b>	147±20 <b>2.01±0.27</b>	25±15 <b>0.34±0.20</b>	63±14 0.86±0.19
MB100729 66338	80±40 1.21±0.60	141±42 2.13±0.63	232±23 3.50±0.35	115±20 1.73±0.30	60±16 0.90±0.24	58±12 0.87±0.18

spektar/ vreme merenja(s)	Pb-210 46.5 keV c ± c c/ks ± c/ks	Th-234 63.3 keV c ± c c/ks ± c/ks	Bi-214 609.3 keV c ± c c/ks ± c/ks	Cs-137 661.6 keV c ± c c/ks ± c/ks	Ac-228 911.2 keV c ± c c/ks ± c/ks	K-40 1460.8 keV c ± c c/ks ± c/ks
MB100810 64846	9±36 0.14±0.56	222±38 <b>3.42±0.59</b>	204±23 3.15±0.35	94±19 1.45±0.29	58±15 0.89±0.23	49±13 0.76±0.20
MB100915 58835	82±35 1.39±0.59	62±41 1.05±0.70	231±24 3.93±0.41	56±20 0.95±0.34	65±15 <b>1.10±0.25</b>	42±13 0.71±0.22
MB101005 63657	37±36 0.58±0.57	172±37 2.70±0.58	187±25 2.94±0.39	54±21 0.85±0.33	66±14 1.04±0.22	58±13 0.91±0.20
MB101017 70461	7±39 0.10±0.55	17±44 <b>0.24±0.62</b>	139±23 1.97±0.33	115±20 1.63±0.28	56±16 0.79±0.23	82±14 1.16±0.20
MB101107 74223	113±65 1.52±0.88	150±38 2.02±0.51	116±21 1.56±0.28	40±15 0.54±0.20	33±18 0.44±0.24	129±14 <b>1.74±0.19</b>
MB101231 331200	208±83 0.63±0.25	752±86 2.27±0.26	600±52 1.81±0.16	338±43 1.02±0.13	194±36 0.59±0.11	262±31 0.79±0.09
MB110309 64136	41±41 0.64±0.64	120±37 1.87±0.58	153±25 2.39±0.39	99±20 1.54±0.31	40±15 0.62±0.23	82±12 1.28±0.19
MB081231 259628	194±68 0.75±0.26	462±69 1.78±0.27	690±34 2.66±0.13	399±35 1.54±0.13	220±24 0.85±0.09	332±24 1.28±0.09

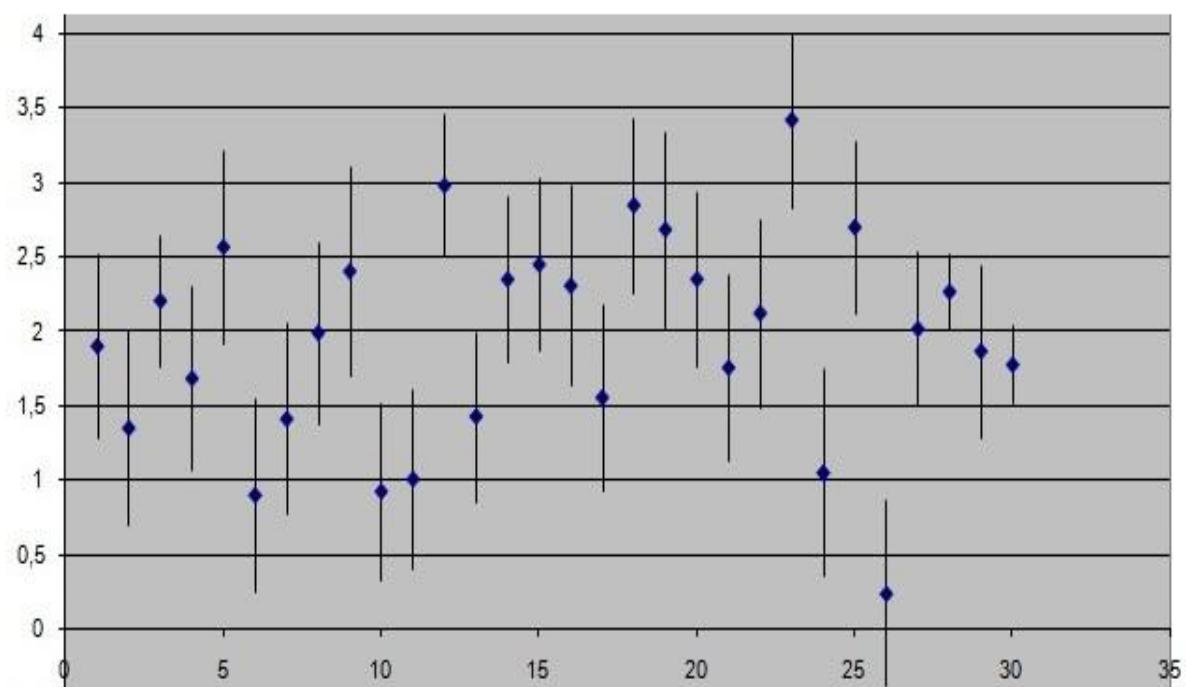
\* crvenim su označene minimalne i maksimalne izmerene vrednosti tj. najveća odstupanja od srednje vrednosti

Grafici navedenih radionuklida iz tabele 3:

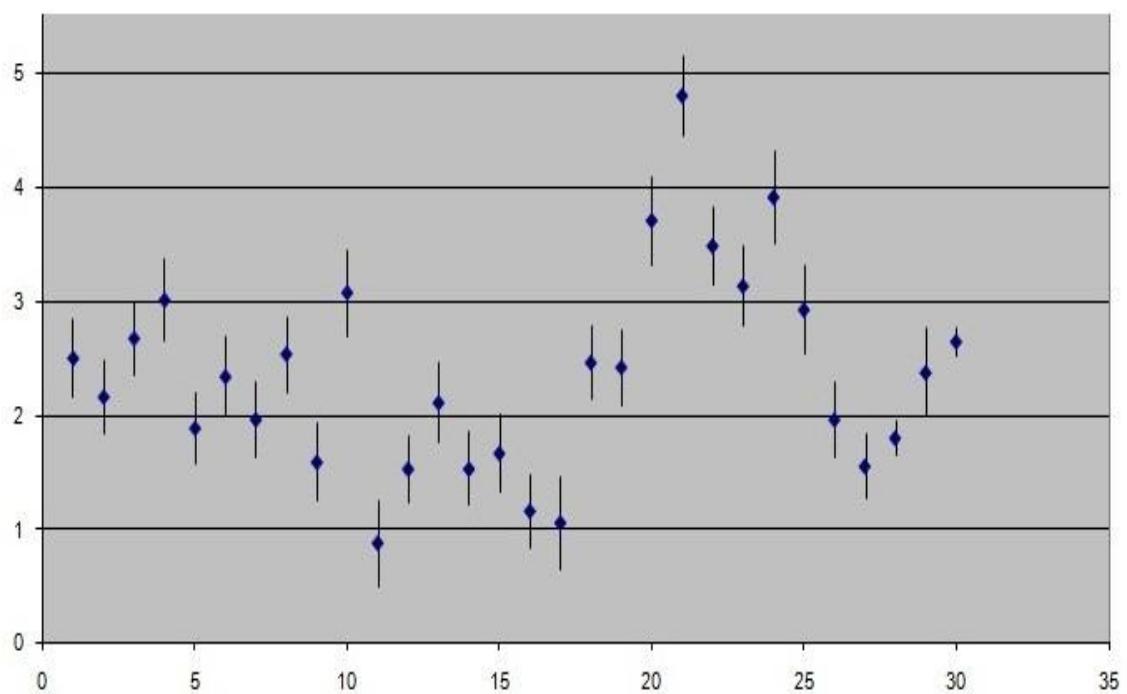
Pb210



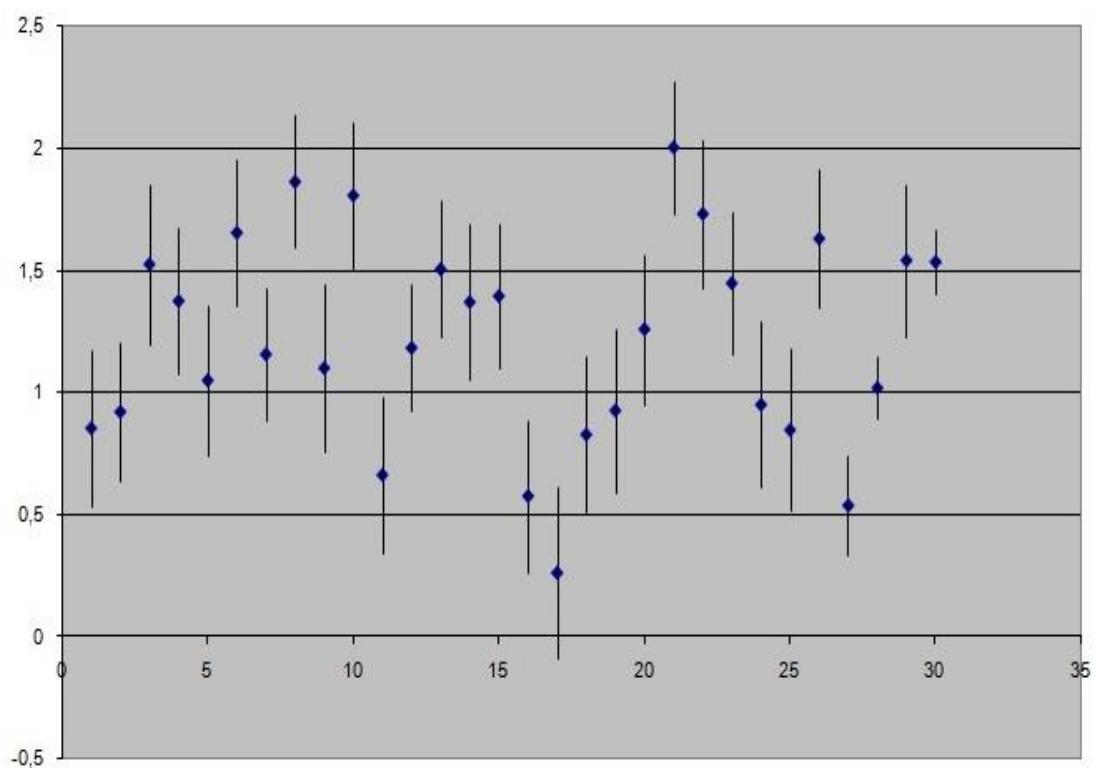
Th234



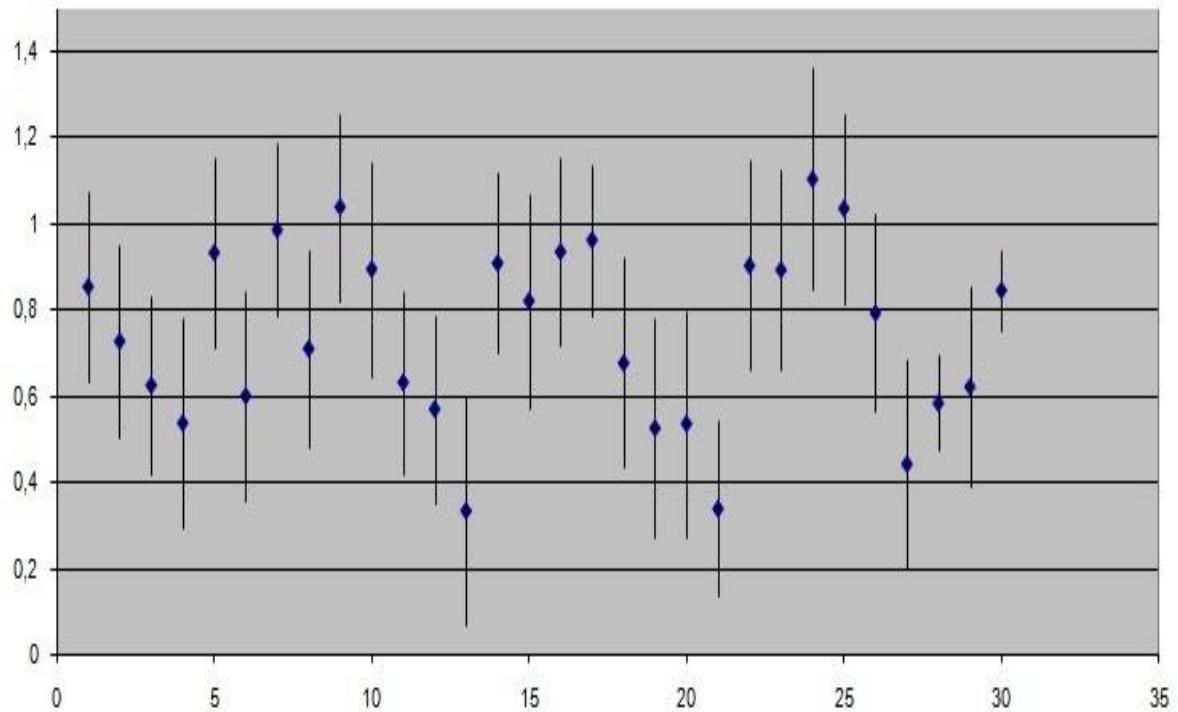
Bi214

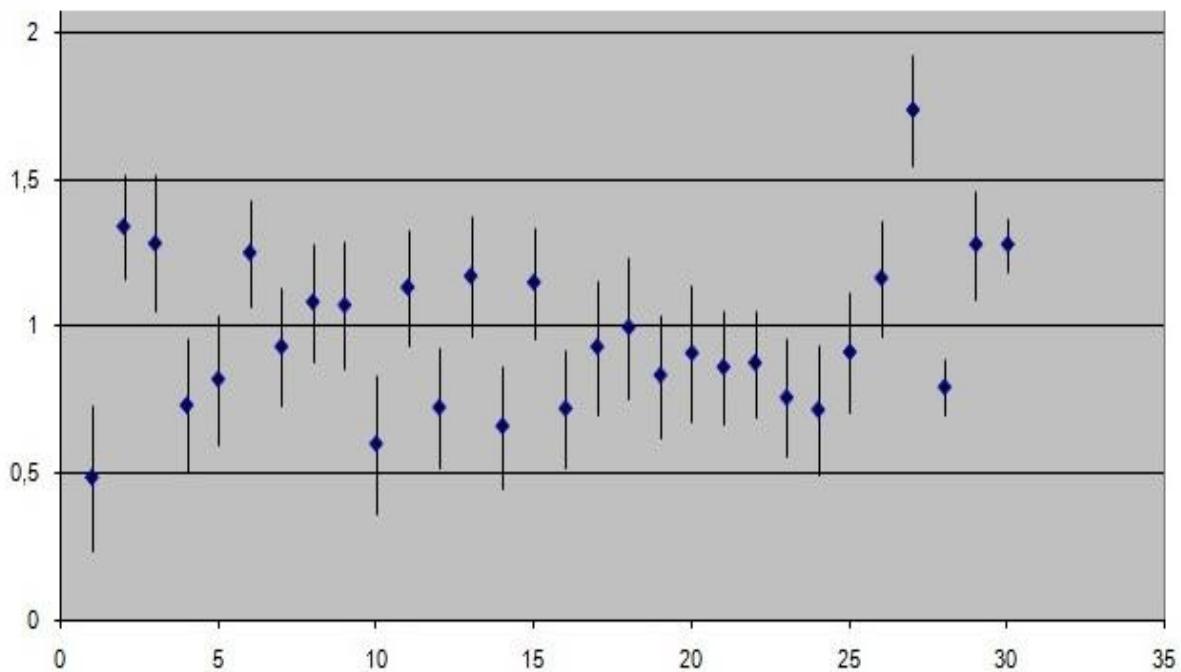


Cs137



Ac228





### 8.1. UTICAJ PROMENE NA FONA NA IZMERENU AKTIVNOST UZORKA

Kao što je već napomenuto, za istraživanje uticaja promene fona na aktivnost uzorka, je uzet slučajnom metodom spektar MJH101202. Posmatrano je koliko bi se vrednost aktivnosti uzorka promenila oduzimavši umesto korišćenog fona MB081231, minimalnu i maksimalnu vrednost izmerenih linija u fonu.

**MJH101202 = X**

radionuklid/ gama linija	c ± c	c/ks ± c/ks
Pb - 210 / 46.5 keV ( za Ra-226 )	191 ± 65	2.7 ± 0.9
Th - 234 / 63.3 keV ( za U-238 )	783 ± 109	11.0 ± 1.5
Bi - 214 / 609.3 keV ( za Ra-226 )	2871 ± 63	40.2 ± 0.9
Cs - 137 / 661.6 keV	796 ± 48	11.2 ± 0.7
Ac - 228 / 911.2 keV ( za Th-232 )	1312 ± 45	18.4 ± 0.6
K - 40 / 1460.8 keV	4306 ± 65	60.4 ± 0.9

**MINIMALNE i MAKSIMALNE VREDNOSTI FONA + MB081231**

radionuklid/ gama linija	<b>MB081231 = F</b> c/ks ± c/ks	<b>MIN</b> c/ks ± c/ks	<b>MAX</b> c/ks ± c/ks
Pb - 210 46.5 keV ( za Ra-226 )	<b>0.75 ± 0.26</b>	<b>0.08 ± 0.60</b>	<b>1.79 ± 0.63</b>
Th - 234 63.3 keV ( za U-238 )	<b>1.78 ± 0.27</b>	<b>0.24 ± 0.62</b>	<b>3.42 ± 0.59</b>
Bi - 214 609.3 keV ( za Ra-226 )	<b>2.66 ± 0.13</b>	<b>0.89 ± 0.38</b>	<b>4.82 ± 0.35</b>
Cs - 137 661.6 keV	<b>1.54 ± 0.13</b>	<b>0.26 ± 0.35</b>	<b>2.01 ± 0.27</b>
Ac - 228 911.2 keV ( za Th-232 )	<b>0.85 ± 0.09</b>	<b>0.34 ± 0.26</b>	<b>1.10 ± 0.25</b>
K - 40 1460.8 keV	<b>1.28 ± 0.09</b>	<b>0.48 ± 0.25</b>	<b>1.74 ± 0.19</b>

**PROCENTUALNI UTICAJ EXTREMNIH VREDNOSTI FONA**  
**MJH101202 = X ; MB081231 = F**

radionuklid	X - F c/ks	X - MIN c/ks	X - MAX c/ks	(X-F) / (X-MIN) %	(X-F) / (X-MAX) %
Pb - 210	1.95	2.62	0.91	74.5	214.3
Th - 234	9.22	10.76	7.58	85.7	121.6
Bi - 214	37.54	39.31	35.38	95.5	106.5
Cs - 137	9.66	10.94	9.19	88.3	105.1
Ac - 228	17.56	18.06	17.3	97.2	101.5
K - 40	59.12	59.92	58.66	98.7	100.8

## **9. ZAKLJUČAK**

Izvršena analiza spektara je pokazala da se praktično rezultati od svih 50 merenja preklapaju sa srednjom vrednošću u okviru greške već od  $1\sigma$ . Najveća procentualna odstupanja su kod Cs-137, što je i očekivano jer uzorak sadrži nisku koncentraciju tog radionuklida pa kvalitativno te razlike u rezultatima i nisu toliko velike.

K-40 i Th-232 već sa greškom od  $1\sigma$  leže na srednjoj vrednosti, dok je to kod Ra-226 slučaj praktično sa  $1,6\sigma$  (osim jedne tačke koja minimalno odstupa) a kod Cs-137 odstupaju samo 9 tačaka i to minimalno pa bi se već sa  $2\sigma$  došlo do preklapanja svih tačaka sa srednjom vrednošću i uklopilo bi se u granice upozorenja [ 20 ].

Najveći broj rezultata sa jedne strane srednje vrednosti je kod Ra-226 i iznosi 5, što je ispod granice upozorenja koja iznosi 7 tačaka sa jedne strane [ 20 ]. Kod Cs-137,K-40 i Th-232 ima po najviše 4 uzastopnih rezultata sa jedne strane.

Merenja su izvršena sa uzorkom koji je bio jednom upakovani i sniman 50 puta na istom detektoru. Druga mogućnost bi bila da se uzorak svaki put isprazni iz kutijica za merenje i ponovo upakuje u istu geometriju i da se tako vidi da li bi došlo do nekih značajnijih razlika koje bi poticale recimo od stvaranja radona u uzorku. Mada bi takva merenja bilo pogodnije uraditi na nekom od detektora u Pb zaštiti zbog mogućnosti ubacivanja gasnog azota u zaštitu i izbacivanja radona iz nje a to nije moguće sa Fe zaštitom zbog velike zapremine zaštite.

Takođe bi se osim navedenih,mogla posmatrati i koncentracija U-238 u uzorku,što bi bilo interesantno zbog korišćenja NPK đubriva na zemljištu,jer je poznato da često u fosfatnim sirovinama od kojih se prave veštačka đubriva,ima znatnih koncentracija U-238,koji često i nije u ravnoteži sa Ra-226 i ostalim potomcima. Za to bi bili pogodniji detektori sa berilijumskim prozorom koji imaju bolju efikasnost,posebno na energijama do 100 keV-a gde se nalaze glavne linije U-238.

Treba napomenuti da se kontrola kvaliteta standardno radi sa po 20 uzoraka,pa sa ovom kontrolom od 50 uzoraka,dobijeni pozitivni rezultati još više dobijaju na značaju.

Što se tiče uticaja promene fona na aktivnost uzorka,neki uticaj definitivno mora postojati. Idealno bi bilo kad bi se istovremeno mogao uvek snimati i spektar uzorka i fonski spektar,no to je naravno nemoguće. Druga mogućnost koja bi se mogla koristiti je merenja isti dan i fona i uzorka. Tada dolazi do sledećeg problema a to je koliko vremena provesti na merenje fona a koliko na uzorak ako se ima na raspolaganju ograničeno vreme. To zavisi najviše od aktivnosti samog uzorka. Naime što uzorak ima veću aktivnost to je potrebno vreme merenja kraće,dok u obrnutom slučaju,što je aktivnost uzorka manja to je bolje što duže meriti sam uzorak a fon što kraće (odnos ide recimo čak i oko 90:10 vremena u korist uzorka u slučajevima niskih aktivnosti).

Iz rezultata vidimo da su greške na malim energijama izuzetno velike,ali to je za Ge detektor bez berilijumskog prozora(što i jeste slučaj sa detektorom oznake M) i očekivano zbog slabe efikasnosti na niskim energijama. Na višim energijama su razlike male, reda cca 5% i često su čak manje od same greške merenja. To pokazuje da prilikom izračunavanja koncentracija aktivnosti uzorka su parametri u programu Genie 2000 odlično podešeni i male fluktuacije(što fon i jeste) su već uračunate i nemaju većeg uticaja na konačni rezultat.

## **LITERATURA**

- 1 J.Slivka,I.Bikit,M.Vesković,Lj.Čonkić-GAMA SPEKTROMETRIJA,  
specijalne metode i primene,  
Univerzitet u Novom Sadu ,2000.
- 2 Páll Theodórsson-Measurment of WEAK RADIOKTIVITY,Science Institute,  
University of Iceland,1996.
- 3 Leo,W.R.-Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments,  
Springer-Verlag,Berlin Heidelberg,New York,1994.
- 4 www.canberra.com
- 5 www.svethemije.com
- 6 CANBERRA 0-5 kV H.V. POWER SUPPLY - operator`s manual
- 7 CANBERRA SPECTROSCOPY PREAMPLIFIER - operator`s manual
- 8 CANBERRA SPECTROSCOPY AMPLIFIER - operator`s manual
- 9 CANBERRA MULTIPORT II MULTICHANNEL ANALYZER - user`s manual
- 10 CANBERRA SYSTEM CONSIDERATIONS with High Resolution Detectors -  
applications note
- 11 CANBERRA COAXIAL Ge DETECTOR SYSTEM - instruction manual
- 12 EG&G ORTEC modular pulse-processing electronics and semiconductor radiation  
detectors
- 13 EG&G ORTEC applied nuclear spectroscopy
- 14 www.ortec-online.com
- 15 CANBERRA - PRODUCT CATALOG, EDITION TWELVE
- 16 CANBERRA NUCLEAR PRODUCTS GROUP - EDITION EIGHT
- 17 EG&G ORTEC - RADIATION DETECTION,MEASUREMENT,ANALYSIS 1983/84
- 18 GENIE 2000 SPECTROSCOPY SOFTWARE 3.0, OPERATIONS MANUAL,  
CANBERRA INDUSTRIES 2004
- 19 GERMANIUM DETECTORS,USER'S MANUAL, CANBERRA INDUSTRIES 2003
- 20 Interna kontrola kvaliteta u laboratorijama za životnu sredinu - priručnik
- 21 Nikola Jovančević - Analiza neutronima generisane aktivnosti u niskofonskim  
gamaspektroskopskim sistemima, doktorska disertacija, Novi Sad 2010

- 22 R.Bellotti et al., Phys. Rev. D, 1999
- 23 R.Bellotti et al., Phys. Rev. D, 1996
- 24 M.Boezio et al.,Phys. Rev. D, 2000
- 25 S.Coutu et al.,Phys. Rev. D, 2000
- 26 Dušan Mrđa - Analiza metoda redukcije fona germanijumskih spektrometara, doktorska disertacija, Novi Sad 2007
- 27 Dušan Mrđa - Komparativna studija pasivnih zaštita za gama spektrometre, magistarska teza, Novi Sad 2004
- 28 LOW LEVEL GAMMA SPECTROSCOPY, CANBERRA, USA
- 29 ULTRA LOW BACKGROUND DETECTOR SYSTEMS, CANBERRA,USA
- 30 D.Mrđa,I.Bikit,I.Aničin,J.Slivka,J.Hansman,N.Žikić-Todorović,E.Varga,S.Ćurčić, J.Puzović - BACKGROUND REDUCTION OF USING Fe AND Pb SHIELDING, Fifth General Conference of the Balkan Physical Union BPU-5, Vrnjačka Banja 2003.,Serbian Physical Society,Belgrade,2003

## **BIOGRAFIJA**



Jan Hansman je rođen 17.11.1977.godine u Novom Sadu.Osnovnu školu i gimnaziju je završio u Bačkom Petrovcu gde i živi.Studije fizike je upisao 1996.godine i diplomirao u januaru 2003.godine na Katedri za nuklearnu fiziku sa temom "Redukcija fona primenom Fe i Pb zaštite" i prosečnom ocenom 8,2. Master studije je upisao 2010.godine.  
Od 2003.godine radi kao stručni saradnik u Laboratoriji za nuklearnu fiziku.

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

**TD**

*Tip zapisa:*

**TZ**

*Vrsta rada:*

**VR**

*Autor:*

**AU**

*Mentor:*

**MN**

*Naslov rada:*

**NR**

*Jezik publikacije:*

**JP**

*Jezik izvoda:*

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

**UGP**

*Godina:*

**GO**

*Izdavač:*

**IZ**

*Mesto i adresa:*

**MA**

*Fizički opis rada:*

**FO**

*Naučna oblast:*

**NO**

*Naučna disciplina:*

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

**PO,UDK**

*Čuva se:*

**ČU**

*Važna napomena:*

**VN**

*Izvod:*

**IZ**

*Datum prihvatanja teme od NN*

*veća:*

**DP**

*Datum odbrane:*

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:*

*član:*

*član:*

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Master rad

Jan Hansman 24M/10

dr. Dušan Mrđa

Istraživanje kvaliteta gamaspektrometrijskih merenja

srpski (latinica)

srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

2011

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

**MA**

Nuklearna fizika

Gamaspektrometrija

gamaspektrometrija, germanijumski poluprovodnički detektor,

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

Merjenja su izvršena germanijumskim detektorom visoke čistoće (HPGe) koji se nalazi zaštititi od gvožđa livenog pre drugog svetskog rata. Merjenja su trajala preko jedne noći (oko 65000 sekundi). Određene su koncentracije aktivnosti Cs-137, K-40, Ra-226 i Th-232.

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

**DT**

*Type of record:*

**TR**

*Content code:*

**CC**

*Author:*

**AU**

*Mentor/comentor:*

**MN**

*Title:*

**TI**

*Language of text:*

**LT**

*Language of abstract:*

**LA**

*Country of publication:*

**CP**

*Locality of publication:*

**LP**

*Publication year:*

**PY**

*Publisher:*

**PU**

*Publication place:*

**PP**

*Physical description:*

**PD**

*Scientific field:*

**SF**

*Scientific discipline:*

**SD**

*Subject/ Key words:*

**SKW,UC**

*Holding data:*

**HD**

*Note:*

**N**

*Abstract:*

**AB**

*Accepted by the Scientific Board:*

**ASB**

*Defended on:*

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President:*

*Member:*

*Member:*

Monograph publication

Textual printed material

Final paper

Jan Hansman

dr.Dušan Mrđa

Research of gammaspectrometric measurements quality

Serbian (Latin)

English

Serbia

Vojvodina

2011

Author's reprint

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4,  
Novi Sad

Nuclear physics

Gammaspectrometry

gammaspectrometry,germanium detector

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

none

Measurements are performed with high purity germanium detector (HPGe) in passive iron shield with iron made before WW II. Measurement last through one night (cca 65000 s). Main goal was to determine activity concentration of Cs-137,K-40,Ra-226 and Th-232.

dr.Išvan Bikit ,dr.Dušan Mrđa,dr.Radomir Kobilarov

dr.Dušan Mrđa

dr.Išvan Bikit

dr. Radomir Kobilarov