

Ivana Avramović, Pavlović Radojko

Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"  
PF 522, 11001 Beograd, Jugoslavija

## PRENOSNI NEUTRONSKI MONITOR DINEUTRON<sup>1</sup> - KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOSTI U OPERATIVNOJ DOZIMETRIJI<sup>2</sup>

**SADRŽAJ:** Dineutron je koncepcijski potpuno nov pristup u proizvodnji prenosnih neutronske monitora. To je pokušaj da instrument pruži i neophodne spektralne informacije i da pri tome ostane prenosan. U radu su izloženi rezultati merenja u standardnom polju <sup>252</sup>Cf i diskutovane mogućnosti i ograničenja metode, jer kako su najčešće ograničenja data samo implicitno u pratećoj dokumentaciji, veoma je značajno pre korišćenja instrumenta u operativnom monitoringu (ili pre nabavke) poznavati njegove realne karakteristike.

**ABSTRACT:** The DINEUTRON is completely new approach in the field of portable neutron monitors production. It's an attempt of producing an instrument capable of giving spectral information and still being portable. Results of the measurements in the standard field of <sup>252</sup>Cf are presented in this paper, and possibilities and limitations are discussed.

### 1. UVOD

Dugogodišnji razvoj nuklearne energetike i širenje ostalih vidova primene izvora zračenja, uslovio je jasno definisanje zahteva i ciljeva operativne dozimetrije. Na osnovu ovih zahteva su, zatim, uspostavljeni kriterijumi koje jedan dozimetrijski instrument ili metoda mora da ispuni. Sa stanovišta današnjeg stepena razvoja može se reći da je problem operativne dozimetrije gama i X polja praktično rešen. Iako danas, naravno, postoje i instrumenti za kontrolu neutronske polja, na bazi konzervativnih metoda merenja u sigurnosnom smislu, ovaj se problem i u svetskim razmerama ne smatra rešenim na zadovoljavajući način. Dineutron je pokušaj da se nađe optimum između dva oprečna zahteva - jednim, za brzinom odziva, i drugim, za tačnošću, i da se pri tome odziv instrumenta približi realnoj vrednosti veličine koju meri.

### 2. POSTAVKA PROBLEMA

Osnovni cilj u dozimetriji, da se jednoznačnim merenjem nekog fizičkog parametra radijacionog polja može proceniti rizik, odnosno biološki efekat, još uvek je daleko od realizacije. Za sada, ekvivalentna doza se smatra onim fizičkim parametrom koji jeste mera radijacionog rizika. Osnovna dozimetrijska veličina, međutim, ostaje apsorbovana doza. Bezdimenzioni faktor Q, faktor kvaliteta (zračenja) koji se množi apsorbovana, da bi se dobila ekvivalentna doza, definiše različite efikasnosti različitih tipova zračenja. Taj arbitrarni faktor, čija se definicija tokom godina nekoliko puta menjala, je za neutrone i energetski zavisna. To praktično znači, da je za adekvatnu procenu radijacionog rizika u uslovima izlaganja u mešanim poljima, neophodno poznavati spektar neutronske polja.

Da bi se ovaj problem prevazišao u operativnoj praksi koriste se instrumenti koji unose unapred poznatu, znatnu sistematsku grešku, i time procenjuju vrednost merene veličine.

Tačnije metode zahtevaju spektrometrijski pristup, koji je takodje deo obaveznog operativnog dozimetrijskog programa, a koristi se na primer u nepoznatim uslovima ozračivanja ili ispitivanju neregularnih situacija. Neutronska spektrometrija podrazumeva upotrebu sela detektora sa različitim odzivima za različite energetske opsege i programa za dekonvoluciju sistema diferencijalnih jednačina koje su definisane prenosnim funkcijama detektora. Sa brojem detektora, odnosno rezolucijom metode, smanjuje se greška sa kojom se dobija informacija o spektru. Sve poznate spektrometrijske metode su spore, a sa operativnog stanovišta relativno glomazne. Stoga je i nabavljen ovakav

<sup>1</sup> DINEUTRON, zaštitni znak NARDEUX, Fiznauka

<sup>2</sup> Ovaj rad je objavljen zahvaljujući podršci Republičkog fonda za nauku Srbije

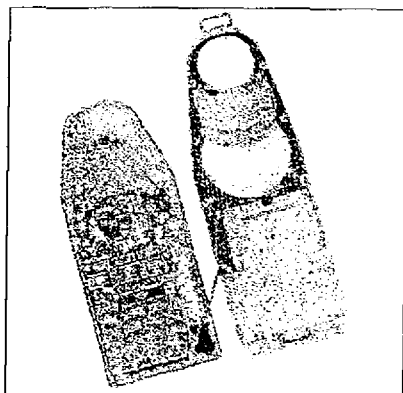
instrument koji je gruba aproksimacija spektrometra, ali je precizniji, i za nijansu bliži realnoj situaciji, od svih poznatih monitora.

### 3. DINEUTRON -TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Dineutron koristi dva proporcionalna sferna brojača punjena  $^3\text{He}$  koja se nalaze unutar polietilenskih sfera prečnika 10.67 cm i 6.35 cm. Na Slikama 1. i 2. prikazani su njegov spoljašnji i unutrašnji izgled. Na Slici 2. se uočavaju brojačke sfere.



Slika 1.  
Dineutron - spoljašnji izgled



Slika 2.  
Dineutron - unutrašnji izgled

Neutroni koji dodju do  $^3\text{He}$  proporcionalnog brojača bivaju apsorbovani od strane jezgra helijuma koji zatim emituje jedan proton prelazeći u jezgro  $^3\text{H}$ . U Tabeli 1. navedene su deklarirane karakteritike instrumenta.

Tabela 1.  
Deklarisane tehničke karakteristike DINEUTRONA

Opseg energija neutrona	od termalnih do 15 MeV
Opseg intenziteta ekvivalentne doze	0 do 99 mSv/h (rezolucija 1 mSv/h)
Opseg ekvivalentne doze	0 - 99 mSv (rezolucija 1 mSv)
Linearnost	bolja od 10%
Tačnost	$\pm 30\%$ (nezavisno od energije)
Osetljivost na gama zračenje	manja od 1%

Kada se uređaj nalazi u polju neutronskog zračenja, brzina brojanja u svakoj od sfera zavisi od spektra neutrona. Količnik tih brzina brojanja daje vrednost "spektralnog indeksa" koji karakteriše incidentno neutronsko polje. Za neutronsko zračenje koje nije monoenergetsko, spektralni indeks  $I$  dat je sledećim izrazom:

$$I = \frac{\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} S_1(E) F(E) dE}{\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} S_2(E) F(E) dE} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

gde su:

- $F(E)dE$  - diferencijalna gustina protoka neutrona energija između  $E$  i  $E+dE$   
 $E_{\min}$  - minimalna energija neutronskog spektra  
 $E_{\max}$  - maksimalna energija neutronskog spektra  
 $S_1(E)$  - osjetljivost sfere od 6.35 cm za neutrone energije  $E$   
 $S_2(E)$  - osjetljivost sfere od 10.67 cm na neutrone energije  $E$   
 $n_1$  - odbroj na sferi 1  
 $n_2$  - odbroj na sferi 2.

Kako su  $S_1(E)$  i  $S_2(E)$  monotono opadajuće funkcije u opsegu energija od 0.025 eV do 2 MeV, spektralni indeks  $I$  zavisi od oblika spektra. Ukoliko neutronski spektar sadrži neutrone viših energija, indeks  $I$  opada, a ako spektar sadrži spore neutrone, onda  $I$  ima veće vrednosti.

Ekvivalentna doza se može dobiti iz relacije (2):

$$H_H = \frac{n_2}{K_H(I)} \quad (2)$$

gde je:

$K_H(I)$  - funkcija prenosa.

Ova funkcija se izražava u jedinicama: (odbroj u sekundi)/(mS/h) i njena zavisnost od spektralnog indeksa,  $I$ , određena je eksperimentalnim putem. Izbor funkcije prenosa obavlja mikroprocesor, na osnovu ugrađenih pretpostavljenih oblika spektara, opisanih opštom relacijom (3):

$$K_H(I) = a * e^{b*I} \quad (3)$$

gde su:

$a, b$  - korekcionni koeficijenti;

Vrednosti korekcionnih faktora za spektralni koeficijent u intervalu 0.2 do 1.44 date su u Tabeli 2:

Tabela 2.  
Korekcionni faktori funkcije prenosa

$I$	$a$	$b$
0.2 < $I$ < 0.7	0.629	3.29
0.7 < $I$ < 0.95	0.100	5.91
0.95 < $I$ < 1.44	82.90	- 1.08

Vrednosti korekcionnih koeficijenata za spektralni indeks manji od 0.2 iste su kao za opseg 0.2 <  $I$  < 0.7 što dobro opisuje izvore brzih neutrona. Za polju kod kojih preovladavaju spori neutroni spektralni indeks ima vrednosti veću od 1.44, a korekcionni koeficijenti su isti kao za opseg ovog indeksa od 0.95 do 1.44.

Jedna od osobina koju bi trebalo da ima meri instrument jeste i aditivnosti. Ovaj zahtev će biti ispunjen ukoliko je pokazivanje instrumenta u polju dva nezavisna izvora zračenja jednako zbiru pokazivanja instrumenta kada se ovaj nalazi u poljima svakog izvora posebno. Dineutron ne zadovoljava ovaj uslov. Neaditivnost očitavanja na Dineutronu nastaje zbog nelinearne funkcije prenosa. Ovo je ujedno jedan od razloga što se kalibracija instrumenta kolji će se koristiti u poljenergetskim poljima neutrona ne sme vršiti u monoenergetskom polju.

## 4. REZULTATI MERENJA

Testiranje Dineutrona su obavljena na izvoru  $^{252}\text{Cf}$  u Sekundarnoj standardnoj laboratoriji, u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita", Instituta za nuklearne nauke u Vinči.

$^{252}\text{Cf}$  je izotop čiji emisijski spektar neutrona i pratećeg gama zračenja sličan spektru koji se dobija kao posledica fisije u nuklearnom reaktoru. Polje zračenja u okolini izvora koji sadrži  $^{252}\text{Cf}$  se opisuje preko fluksa i energetske raspodele emitovanih čestica, kao i preko veličine apsorbovane doze u tkivu odnosno materijalu.

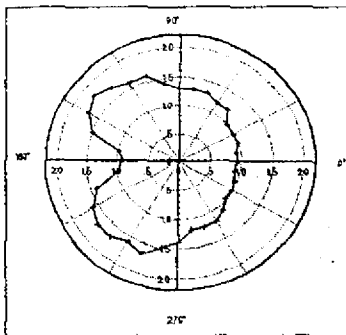
Izvor  $^{252}\text{Cf}$  je proizveden u maju 1983. godine u CEN-Saclay. Montiran je na držač koji se pokreće i drži u radnom položaju pomoću magneta. Izvor je zaštićen osnovnom i dodatnom kapsulom koje su napravljene od nerđajućeg čelika debljine 3.5 mm i 1.2 mm respektivno [3]. Kao moderator je korišćena polietilenska sfera prečnika 30 cm. U Tabeli 3. predstavljene su karakteristike izvora.

Tabela 3.  
Karakteristike standardnog polja  $^{252}\text{Cf}$

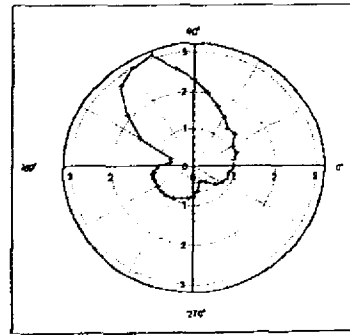
Masa na dan merenja	0.302 mg
jačina apsorbovane doze neutrona na 1 m, od izvora od 1g	1.99 Gy/h
jačina ekvivalentne doze na 1 m, od izvora od 1g	22 Sv/h
jačina apsorbovane doze gama zračenja na 1 m, od izvora od 1 g	1.08 Gy/h
jačina apsorbovane neutrona na 1 m na dan merenja	0.601 mGy/h
jačina ekvivalentne doze na 1 m na dan merenja	6.644 mSv/h
jačina apsorbovane doze gama zračenja na 1 m na dan merenja	0.326 mGy/h

Probna merenja su obuhvatala kontrolu:

- jačine apsorbovane doze za goli i moderirani izvor;
- jačine ekvivalentne doze za goli i moderirani izvor;
- faktora kvaliteta Q za goli i moderirani izvor i
- ugaone zavisnosti odziva instrumenta u horizontalnoj i vertikalnoj ravni za goli izvor.



Slika 3.  
Ugaona zavisnost instrumenta u horizontalnoj ravni



Slika 4.  
Ugaona zavisnost instrumenta u vertikalnoj ravni

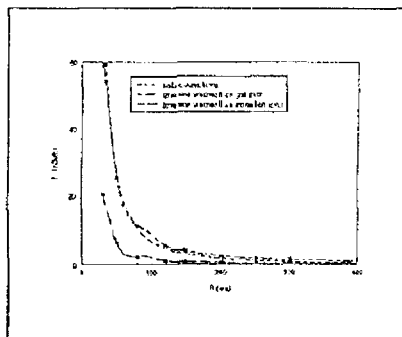
U polju gama zračenja dva različita izvora  $^{60}\text{Co}$  izvršeno je merenje jačine apsorbovane doze, jačine ekvivalentne doze i faktora Q.

Ugaona zavisnost odziva instrumenta u horizontalnoj ravni prikazana je na Slici 3. dok je ugaona zavisnost odziva instrumenta u vertikalnoj ravni data na Slici 4. pri čemu rastojanje instrumenta od izvora 95 cm. Rezultati merenja zavisnosti jačine apsorbovane doze, jačine ekvivalentne doze i faktora kvaliteta Q u polju  $^{252}\text{Cf}$  u funkciji rastojanja od izvora dati su u Tabeli 4.

Tabela 4.  
Izmerene vrednosti jačine ekvivalentne doze, jačine apsorbovane doze  
i faktora kvaliteta Q u polju  $^{252}\text{Cf}$  za goli i moderirani izvor

R (cm)	goli izvor			moderirani izvor		
	$D_n$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$H_n$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Q	$D_n$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$H_n$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Q
30	7.70	59.2	7.64	2.3	20.3	9.5
50	3.20	25.4	8.64	0.78	6.21	7.8
80	1.08	11.0	9.74	0.33	2.14	7.3
120	0.60	5.6	9.22	0.17	1.07	6.6
150	0.42	3.80	8.80	0.12	0.72	6.5
200	0.31	2.46	8.18	0.07	0.49	6.2
250	0.22	1.70	8.10	0.05	0.29	5.8
300	0.18	1.40	7.68	0.03	0.20	5.4
400	0.13	0.95	7.24	0.02	0.14	5.3

Zavisnost jačine ekvivalentne doze od rastojanja data je na Slici 5. na kome je prikazana i kalibraciona kriva. Odstupanja izmerenih vrednosti od zavisnosti  $R^{-2}$  mogu poticati kako od komponente rasejanog zračenja tako i od energetske zavisnosti faktora kvaliteta Q.



Slika 5.  
Zavisnost jačine ekvivalentne doze od rastojanja

U Tabeli 5 dati su rezultati merenja u gama polju, i vidi se da je osetljivost na gama zračenje u granicama deklariranih, manja od 1%.

## 5. ZAKLJUČAK

Dineutron je predviđen za merenja u poljima sa većim spektralnim indeksom, za koje je komponenta rasejanog zračenja dominantna. U ovakvim poljima je odbruj na manjoj sferi veći, pa je i tačnost bolja. Iz istih razloga, treba imati na umu, da ga ne treba koristiti u direktnim, ili monoenergetskim snopovima, jer daje neodgovarajuće rezultate (jer

ga ograničava ugrađena pretpostavka mikroprocesora), gde vrednosti spektralnog indeksa ispadaju iz predviđenih opsega. Osjetljivost na gama zračenje je zadovoljavajuće niska.

Tabela 5.  
Rezultati merenja u polju  $^{60}\text{Co}$

$\dot{D}_\gamma$ [mGy/h]	pokazivanje instrumenta		$\frac{\dot{D}}{\dot{D}_\gamma}$
	$\dot{D}$ [mGy/h]	$\dot{H}$ [mSv/h]	
87,7	0,29	1,35	0,33%
8,7	0,03	0,115	0,34%

#### LITERATURA

- (1) "DINEUTRON, Technical Manual" France, Nardeux, January 1987.
- (2) Subrahmanian, G. Ventkataraman, G, Madvanth, U, "Some Physical, Dosimetry and Biomedical Aspects of Californium - 252", Radiation Protection Aspects in the Use of Californium - 252 Sources, Vienna, IAEA, 1976
- (3) Mirić, I, Kovačević, M, Krmpotić, Đ, "Properties of the Radiation Field of the  $^{252}\text{Cf}$ ", XIVth Regional Congress of IRPA, Dubrovnik, Kupari, 1987. pp. 457-460.
- (4) "The Quality Factor in Radiation Protection", ICRU Report No. 40
- (5) Hunt, J. B, Champlong, M, Chetomb, M, Kluge, H. and Schwartz, R. B, "Intercomparison of Calibrations Carried Out at NBS, NPL, PTB and ETCA-CEA Using Two Different Survey Meters as Transfer Devices", Proceedings of the Radiation Protection and Dosimetry Meeting in Orlando, USA, 1988.