

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



**ЗБОРНИК
РАДОВА**

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

**Београд
2017. године**

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



PROCEEDINGS

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

**Belgrade
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
27-29.09.2017.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

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

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

MONTE KARLO SIMULACIJA RADIJACIONIH OŠTEĆENJA U ZAŠTITNIM MATERIJALIMA $^{241}\text{Am-Be}$ NEUTRONSKOG IZVORA

Predrag BOŽOVIĆ^{1,2}, Olivera CIRAJ-BJELAC^{1,2}, Danijela ARANĐIĆ^{1,2}, Sandra ČEKLIĆ² i Đorđe LAZAREVIĆ^{1,2}

1) Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

2) Institut za nuklearne nauke Vinča, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija,
bozovic@vinca.rs

SADRŽAJ

Radijaciona oštećenja nastaju usled izmeštanja atoma materijala pri elastičnom rasejavanju čestica upadnog zračenja na jezgrima ili zbog nuklearnih reakcija izazvanih upadnim zračenjem. Broj izmeštanja po atomu (DPA) je veličina kojom se opisuje radijaciono oštećenje. S obzirom da je neutronsko zračenje naročito efikasno u izmeštanju atoma, ispitan je uticaj neutrona na sastavne elemente strukturalne zaštite $^{241}\text{Am-Be}$ neutronskog izvora sastavljene od parafina, betona i olova. Proračun DPA je obavljen na osnovu rezultata simulacija primenom MCNPX programskog paketa.

1. UVOD

Zračenje koje sačinjavaju nenaelektrisane čestice može osloboditi direktno jonizujuće čestice ili pokrenuti nuklearne transformacije. U fundamentalne interakcije neutrona ubrajaju se rasejanje i apsorpcija, u koje spadaju zahvat neutrona i fisija. Zahvatanjem neutrona često nastaju radioaktivna jezgra, koja potom emituju zračenje.

Jedna od glavnih posledica interakcije visokoenergetskih čestica sa materijalima jeste formiranje defekata u kristalnoj strukturi usled prenosa energije sa čestice na atom. Ovi mikroskopski defekti nazivaju se radijaciona oštećenja [1]. Opšta podela radijacionih efekata u materijalima je na: proizvodnju nečistoća, izmeštanje atoma, jonizaciju i oslobađanje velike količine energije u maloj zapremini, pri čemu su neutroni naročito efikasni u proizvodnji nečistoća i izmeštanju atoma.

Prvi korak u nastajanju radijacionih efekata je stvaranje primarno izbačenih atoma (PKA) putem nuklearne reakcije, radioaktivnog raspada, rasejanja upadne čestice ili injekcijom ubrzanih snopova jona ili plazme [2]. Ovakvi događaji se odigravaju jako brzo, tipično u vremenskom intervalu manjem od 1 fs.

Broj izmeštanja po atomu (DPA) ima široku primenu kao indikator oštećenja izmeštanjem kojim se procenjuje oštećenje nastalo usled ozračivanja strukturalnih materijala [1 – 5]. Broj izmeštanja je povezan sa brojem Frenkeljevih parova, koji se definiše kao par upražnjenog mesta (vakancije) i intersticijalnog atoma u ozračenom materijalu. Ovi tačkasti defekti utiču na makroskopske osobine materijala kao što je čvrstina. Vrednost DPA se može proceniti na osnovu energije i dužine putanje ovih čestica.

2. MATERIJALI I METODE

Primenom Monte Karlo simulacija sračunat je broj izmeštanja po atomu u zaštitnom materijalu $^{241}\text{Am-Be}$ izvora neutrona.

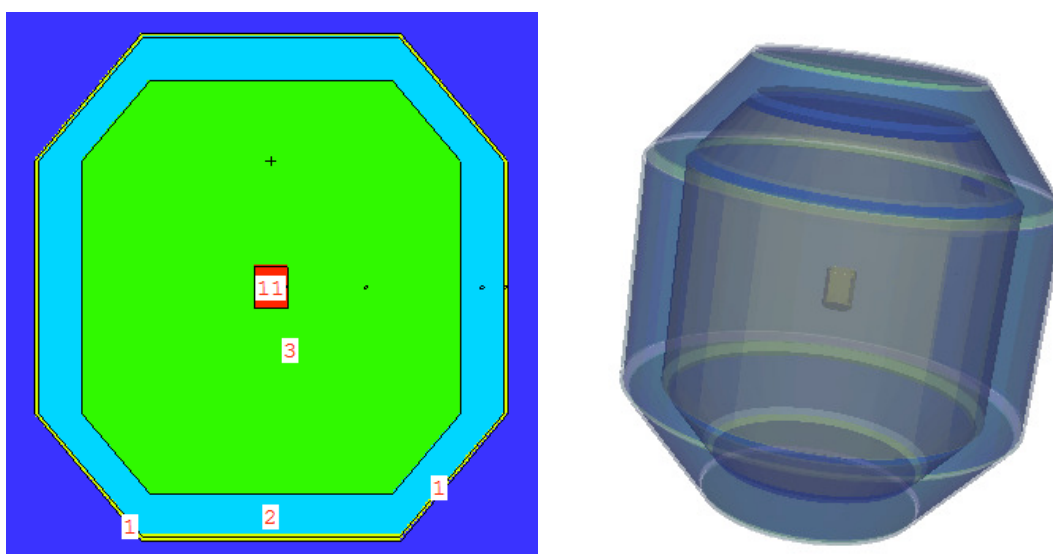
$^{241}\text{Am-Be}$ je indirektni izvor neutrona čiji princip rada je zasnovan na postojanju radionuklida koji emituje naelektrisane čestice i stabilne mete koja proizvodi neutrone

nuklearnim reakcijama. Alfa čestica koju emituje ^{241}Am energije 5.638 MeV pogađa ^9Be pri čemu nastaju neutroni širokog spektra energija sa srednjom energijom od oko 4,2 MeV i maksimalnom energijom od oko 10 MeV [6].

Zaštita neutronskog izvora modelovana je u obliku bureta sastavljenog iz središnjeg cilindričnog dela i gornjeg i donjeg dela u obliku zarubljene kupe. Visina bureta je 60 cm, a središnji prečnik je 55 cm. Izvor neutrona je postavljen u centru bureta i enkapsuliran je u čeliku oblika valjka. Zaštitni materijal predstavljaju parafin, beton i olovo debljina 22 cm, 5 cm i 0,5 cm, respektivno (slika 1).

Broj izmeštanja po atomu je izračunat na osnovu fluksa neutrona u svakom od zaštitnih materijala koji je dobijen primenom F4 talije koja kao rezultat daje srednju vrednost fluksa u ćeliji izraženu kao broj čestica po cm^2 [7] i podataka o efikasnim presecima za nastanak izmeštanja [8].

Simulacije su obavljene primenom MCNPX 2.7.0 programskog paketa. Broj simuliranih čestica je bio 2×10^7 .

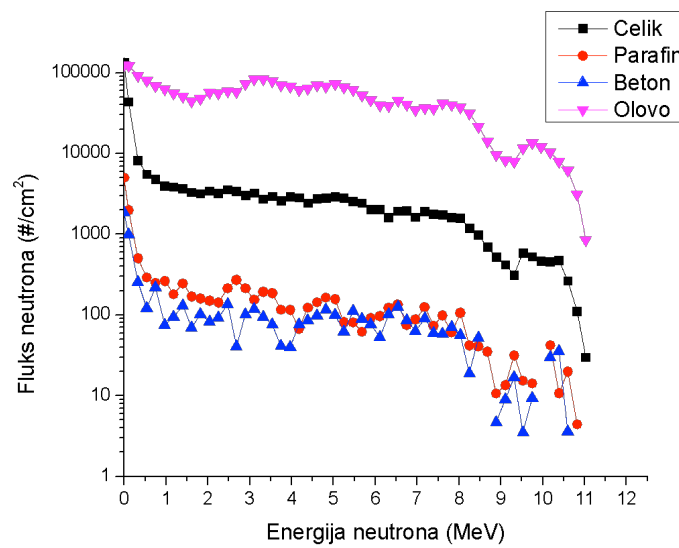


**Slika 1. Geometrija ^{241}Am -Be neutronskog izvora sa zaštitnim materijalima:
1) Olovo 2) Beton 3) Parafin 11) Čelik**

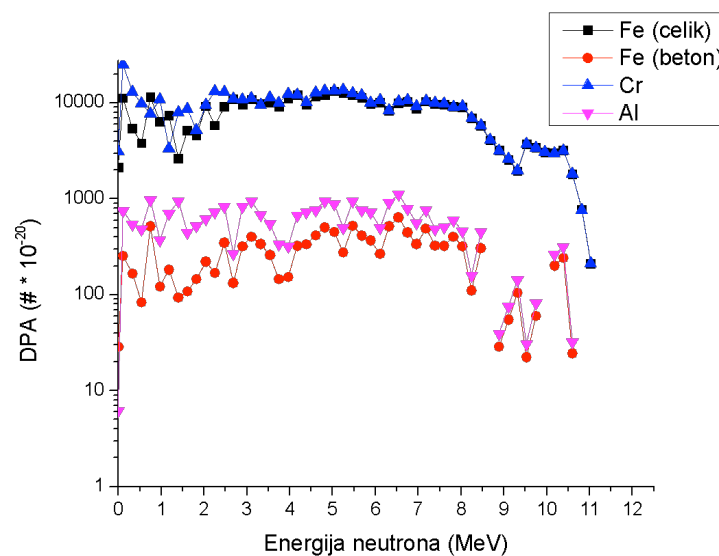
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Neutronska fluks u različitim zaštitnim materijalim za ceo spektar ^{241}Am -Be neutronskog izvora zračenja prikazan je na slici 2. Na slici 3 prikazan je broj izmeštanja atoma u nekim sastavnim elementima zaštitnih materijala za ceo spektar energija neutrona ^{241}Am -Be izvora.

Broj izmeštanja po atomu je najveći u hromu i gvožđu koji sačinjavaju čelik u svim opsezima energija neutrona. Gvožđe koje ulazi u sastav betona razvija manji broj izmeštanja po atomu usled nižeg fluksa neutrona. Iako aluminijum ima manji prag energije za izmeštanje atoma od hroma i gvožđa (27 eV za Al naspram 40 eV za Cr i Fe) broj izmeštenih atoma je manji usled značajno nižeg fluksa neutrona.



Slika 2. Neutronski fluks $^{241}\text{Am-Be}$ u različitim zaštitnim materijalima



Slika 3. DPA u različitim sastavnim elementima zaštitnih materijala $^{241}\text{Am-Be}$

4. ZAKLJUČAK

Proračun broja izmeštanja atoma može da ukaže na radijaciona oštećenja koja mogu izazvati promene mehaničkih, fizičkih, termičkih i električnih osobina materijala. Unapređenjem fizike procesa i geometrije problema i efikasnih preseka može se postići detaljnija analiza raspodele fluska neutrona i mogućih radijacionih oštećenja.

5. ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za Nauku i Tehnološki razvoj Republike Srbije projektom III43009.

6. LITERATURA

- [1] D.R.Olander, Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements, 1975
- [2] M. T. Robinson, Basic Physics of Radiation Damage Production, Journal of Nuclear Materials 216 (1994) 1-28, 1994
- [3] J.A.Mascitti, M. Madariaga, Method for the calculation of DPA in the Reactor Pressure Vessel of Atucha II, Science and Technology of Nuclear Instalations, Volume 2011
- [4] Gabriel Farkas, Vladimir Slugen, Peter Domonkos, Nuclear Analysis of the Eurofer 97 Alloy by MCNP-4C2 code, International Conference Nuclear Energz for New Europe, Bled, Slovenia, September 5 – 8, 2005
- [5] V. Slugen P. Domonkos, G. Farkas, M. Greschner, MCNP-4C2 and TRIM 98.01 based calculations of radiation damage in copper
- [6] Marsh JW, Thomas DJ, Burke M. High resolution measurements of neutron energy spectra from AmBe and AmB neutron sources, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 1995 Dec 1;366(2-3):340-8.
- [7] D. B. Pelotiwz, MCNPX user's manual version 2.7.0, LA-CP-11-00438, April 2011
- [8] <https://www-nds.iaea.org/public/download-endf/>

MONTE CARLO SIMULATION OF RADIATION DAMAGE IN SHIELDING MATERIALS OF ^{241}Am -Be NEUTRON SOURCE

Predrag BOŽOVIĆ^{1,2}, Olivera CIRAJ-BJELAC^{1,2}, Danijela ARANĐIĆ^{1,2}, Sandra ĆEKLIC² i Đorđe LAZAREVIĆ^{1,2}

1) School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

2) Vinca Nuclear Science Institute, University of Belgrade, Belgrade, Serbia,

bozovic@vinca.rs

ABSTRACT

Radiation damage in materials results from nuclear collisions and reactions which produce energetic recoil atoms of the host materials or reaction products. Displacement per atom (DPA) is used to quantify radiation damage. Since neutrons are particularly efficient in displacing atoms, their influence on constituent elements of ^{241}Am -Be neutron source shielding made of paraffin, concrete and lead. DPA was calculated based on simulations using MCNPX.