

ЗБОРНИК РАДОВА



XXXI Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе



**06-08. октобар 2021.
Београд, Србија**

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



ЗБОРНИК РАДОВА

**XXXI СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Београд
06-08. октобар 2021.**

**Београд
2021.**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXXI SYMPOSIUM RPSSM
Belgrade
6th - 8th October 2021**

**Belgrade
2021**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXI СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

06-08.10.2021.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Проф. Др Снежана Пајовић

Уредници:

Др Ивана Вуканац
Др Милица Рајачић

e-ISBN 78-86-7306-161-0

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Милица Рајачић, Милош Ђалетић, Наташа Сарап

Електронско издање:

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

Година издања:

Октобар 2021.



Овај Зборник као и сви радови у њему подлежу лиценци:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ова лиценца дозвољава само преузимање и дистрибуцију дела, ако/док се правилно назначавача име аутора, без икаквих промена дела и без права комерцијалног коришћења дела.

**PROCENA VREDNOSTI PARAMETARA MATEMATIČKOG MODELA ZA
RADIJACIONI IZLAZ RENDGEN-APARATA U DIJAGNOSTIČKOJ
RADIOLOGIJI**

**Andrea KOJIĆ, Predrag BOŽOVIĆ, Nikola KRŽANOVIĆ,
Jelena STANKOVIĆ PETROVIĆ i Miloš ŽIVANOVIĆ**

*Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Srbija,
andrea.kojic@vin.bg.ac.rs, bozovic@vin.bg.ac.rs, krzanovic@vinca.rs,
jelena.stankovic@vinca.rs, milosz@vinca.rs*

SADRŽAJ

Primena jonizujućeg zračenja u medicini je neizbežan deo moderne medicinske dijagnostike. S obzirom na globalni porast izlaganja zračenju u medicinske svrhe raste i potreba za optimizacijom doza koje se isporučuju pacijentu. U dijagnostičkoj radiologiji doza koja se isporučuje pacijentu može se proceniti ulaznom dozom na površini kože (Entrance Surface Air Kerma) i jedan od metoda za dobijanje ESAK jeste proračun na osnovu vrednosti radijacionog izlaza. Radijacioni izlaz može se izmeriti ili dobiti proračunom pomoću matematičkih formula ili Monte Karlo simulacijama. U ovom radu izmeren je radijacioni izlaz za 15 različitih rendgen-aparata i izračunati su parametri u matematičkoj formuli kako bi se dobio precizniji model za radijacioni izlaz. Rezultati su upoređeni sa rezultatima Monte Karlo simulacija, kao i sa rezultatima dobijenim u sličnim studijama.

1. Uvod

Imajući u vidu da primena jonizujućeg zračenja u medicini obuhvata različite terapijske i dijagnostičke tehnike, kao i da je učestalost izlaganja jonizujućem zračenju u medicini značajno porasla, sa stanovišta zaštite od zračenja javlja se potreba za optimizacijom doze koja se isporučuje pacijentu [1]. U praksi se neretko dešava da su doze koje se isporučuju pacijentu neadekvatne za dobijanje precizne i željene dijagnostičke informacije. Ovo je posledica prekomerne ili nedovoljne izloženosti pacijenta jonizujućem zračenju, zbog čega se javlja potreba za ponovnim izlaganjem pacijenta u kratkom vremenskom periodu. U bilo kom slučaju, neophodno je uraditi procenu zdravstvenih rizika koji mogu biti povećani kao posledica stohastičkog efekta i shodno ALARA principu [2] oni moraju biti svedeni na minimum.

Za procenu doze koja se isporučuje pacijentu u dijagnostičkoj radiologiji koristi se ulazna doza na površini kože - ESAK (*Entrance Surface Air Kerma*) koja se određuje pomoću termoluminescentnih dozimetara (TLD) ili transmissionim jonizujućim komorama (TIC) [3,4]. Takođe je moguće odrediti ESAK koristeći Monte Karlo simulacije [5] ili pomoću lakšeg i manje računarski zahtevnog matematičkog metoda koji se koristi za izračunavanje vrednosti radijacionog izlaza generatora x – zračenja [6,7,8]. Ovaj matematički metod koji u sebi obuhvata parametre ekspozicije (kV, mAs, ukupnu filtraciju) i radijacioni izlaz [5,7,8]) se može upotrebiti za optimizaciju doze na površini kože. Merenjem kerme u vazduhu, ukupne filtracije (TF) i napona na rendgenskoj cevi pomoću dozimetra, i uvrščavanjem ovih parametara ekspozicije u matematičku formulu može se dobiti bolja procena radijacionog izlaza generatora x – zračenja u odnosu na vrednost dobijenu direktnim merenjima, što je i cilj ovog istraživanja.

2. Metoda

2.1. Merenja radijacionog izlaza generatora x – zračenja

Merenja su dobijena koristeći poluprovodnički detektor RTI Electronics MPD [9]. Detektor je postavljen na rastojanju 100 cm od fokusa rendgenske cevi, sa kolimacijom koja obuhvata celu aktivnu zapreminu detektora. Vrednosti koje su merene obuhvataju napon rendgenske cevi, kermu u vazduhu, debljinu poluslabljenja (HVL) i ukupnu filtraciju (TF). Merenja su sprovedena na 15 dijagnostičkih rendgen-aparata (obuhvatajući trofazne i visokofrekventne generatore x – zračenja), za napone u rasponu od 50 kV do 110 kV sa korakom od 10 kV.

2.2. Matematički model

Radijacioni izlaz zavisi od napona cevi, proizvoda jačine struje i vremena ekspozicije, i filtracije. U jednačini (1) data je matematička formula koja opisuje ovu zavisnost:

$$Y(U, F) = A \cdot U^B \cdot F^C \quad (1)$$

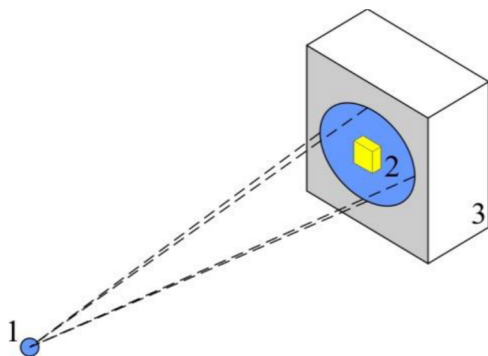
gde je U napon cevi u kV, F je ukupna filtracija u mm Al, Y radijacioni izlaz u mGy/mAs, dok su A, B i C parametri fitovanja. Radijacioni izlaz se iskazuje normiran na proizvod jačine struje i vremena ekspozicije, za lakše poređenje sa podacima koji su objavljeni u literaturi.

Kako bi se dalje analizirali parametri fitovanja, kao ulazni parametri korišćene su vrednosti napona cevi merene detektorom umesto unapred zadatih vrednosti napona, s obzirom na činjenicu da u praksi postoji razlika u merenim i zadatim vrednostima za napon cevi što najviše dolazi do izražaja kod trofaznih generatora.

Fitovanje parametara dobijeno je pomoću stepene funkcije sa jednom zavisnom i dve nezavisne promenljive korišćenjem seta podataka dobijenih merenjem radijacionog izlaza za zadate vrednosti napona. U svrhe fitovanja korišćen je računarski program OriginPro 8.5.1 [10].

2.3. Monte Karlo simulacije

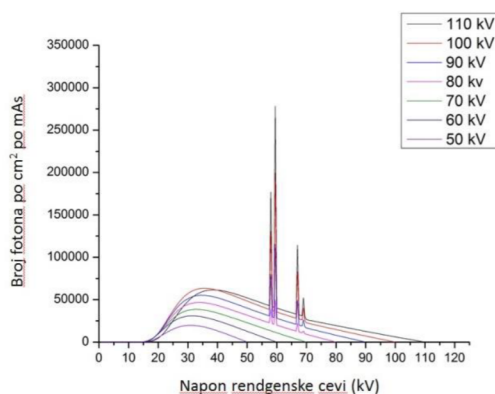
Prema specifikaciji proizvođača, detektor MPD je simuliran kao paralelopiped dimenzija 5 x 20 x 4 mm³ postavljen na vodeni fantom dimenzija 6 x 30 x 30 cm³. Detektor je bio ispunjen vazduhom kako bi se rezultati interpretirali kao kerma u vazduhu (Slika 1).



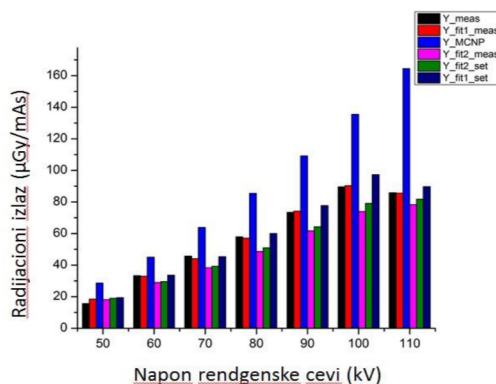
Slika 1. Geometrijska postavka za Monte Karlo simulacije
(1 – izvor x – zračenja, 2 – MPD, 3 – vodeni fantom).

Izvor x – zračenja dizajniran je kao tačkasti izvor postavljen na rastojanje 100 cm od detektora, upravan na centar detektora. Radijaciono polje koje izvor emituje je

konusnog oblika. Dobijen je spektar x – zračenja pomoću generatora spektra opisanog u IPEM Report 78 [11] za vrednosti napona u opsegu od 50 kV do 110 kV sa korakom od 10 kV, kao i za merene vrednosti napona cevi koje su prikazane u Tabeli 1(Slika 2).).



Slika 2. Spektar x – zračenja za zadate vrednosti napona cevi.



Slika 3. Kerma u vazduhu dobijena pomoću matematičkog modela i Monte Karlo simulacija.

Rezultati simulacija dobijeni su pomoću F6 talije, koja korisniku kao rezultat daje deponovanu energiju usrednjenu po ćeliji u jedinicama MeV/g koja se lako može iskazati kroz kermu u vazduhu. Simulacije su sprovedene u MCNPX programskom kodu [12]. Broj simuliranih čestica za svaku simulaciju iznosio je 30 miliona, što obezbeđuje da talija uspešno zadovolji sve statističke testove.

3. Rezultati

Izmerene vrednosti za sve veličine (napon, kerma u vazduhu, debljina poluslabljenja i ukupna filtracija) date su u Tabeli 1 kao usrednjene vrednosti za 15 ispitanih rendgen-aparata. Dobijeni parametri fitovanja u ovom radu korišćeni u matematičkom modelu dati su u Tabeli 2.

Tabela 1. Vrednosti izmerene poluprovodničkim detektorom.

Zadati napon U_{set} [kV]	Izmereni napon U_{meas} (kV)	Kerma u vazduhu K_{air} (mGy)	Debljina poluslabljenja HVL (mm Al)	Ukupna filtracija TF (mm Al)
50	48,94	15,67	1,89	3,07
60	59,38	33,38	2,32	2,67
70	69,10	45,73	2,77	2,78
80	78,19	57,93	3,24	2,82
90	88,11	73,49	3,69	2,82
100	96,70	89,63	4,14	2,84
110	107,68	85,81	4,58	3,72

Tabela 2. Parametri fitovanja matematičkog modela za radijacioni izlaz.

Parametar	Vrednost
A	0,01166
B	2,20614
C	1,08145

Na Slici 3 predstavljene su izračunate vrednosti za kermu u vazduhu. Dobijeni rezultati obuhvataju primenu parametara fitovanja prikazanih u Simo et al. [6] za izmerene (Y_{fit2_meas}) i zadate (Y_{fit2_set}) vrednosti napona rendgeske cevi, primenu parametara fitovanja dobijenih u ovom radu za izmerene (Y_{fit1_meas}) i zadate (Y_{fit1_set}) vrednosti napona kao i rezultate dobijene Monte Karlo simulacijama (Y_{MCNP}). Takođe prikazani su i rezultati dobijeni direktnim merenjima kerme u vazduhu (Y_{meas}).

4. Diskusija

Izračunato je odstupanje procenjenih vrednosti kerme u vazduhu dobijenih na osnovu matematičkog modela koristeći parametre fitovanja dobijene u ovom radu i Simo et al. i direktno izmerenih vrednosti kerme u vazduhu.

Odstupanje izračunatih vrednosti kerme u vazduhu dobijene koristeći parametre fitovanja određenih u ovom radu iznosi manje od $\pm 1.5\%$ u odnosu na direktno merene vrednosti kerme u vazduhu za većinu snopova zračenja, sa izuzetkom napona od 50 kV i 70 kV gde su odstupanja -18% i $+3.6\%$, respektivno. Rezultati odsuptanja izračunate vrednosti kerme u vazduhu koristeći paramere fitovanja date u Simo et al., za izmerene vredosti napona, daju odstupanja vrednosti kerme u vazduhu do $\pm 17\%$ u odnosu na direktno merene vrednosti kerme u vazduhu, pri čemu je najmanje odstupanje dobijeno za zadatu vrednost napona od 110 kV.

Poređenjem rezultata dobijenih primenom seta parametara fitovanja dobijenih u ovom radu i predloženih u Simo et al. može se zaključiti da su u slučaju većeg broja ispitanih rendgen-aparata odstupanja procenjene od direktno merene vrednosti kerme u vazduhu manja. Za oba seta parametara fitovanja odstupanje je uporedivo samo za snop zračenja koji proizvodi napon od 50 kV.

5. Zaključak

Rezultati ukazuju da parametri fitovanja u matematičkom modelu za radijacioni izlaz mogu da se optimizuju u svrhu dobijanja preciznije formule. Proširivanje istraživanja trebalo bi da obuhvati pribavljanje izmerenih vrednosti kerme u vazduhu i parametara ekspozicije na većem broju rendgen-aparata i razmatranje drugih modela fitovanja parametara.

6. Literatura

- [1] United Nations, “Sources and Effects of Ionizing Radiation (2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B)”, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York, 2010.
- [2] International Commission on Radiological Protection, “ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, 2007.

- [3] N. N. Jibiri, C. J. Olowookere „Patient dose audit of the most frequent radiographic examinations and the proposed local diagnostic reference levels in southwestern Nigeria: Imperative for dose optimisation“, J. Radiat. Res. Appl. Sci., 9, 274–281, 2016.
- [4] N. J. Nnamdi, J. O. Christopher, „Evaluation of dose-area product of common radiographic examinations towards establishing a preliminary diagnostic reference levels (PDRs) in Southwestern Nigeria“, J Appl Clin Med Phys, 17, 392–404, 2016.
- [5] E. Massoud, HM. Diab, “Optimization of Dose to Patient in Diagnostic Radiology Using Monte Carlo Method”, J Cell Sci Ther, 5:155, 2014.
- [6] C. R. T. Simo, O. N. Samba, P. K. Talla, L. C. Fai, “Radiation output of Three-phase X-ray machines based on mathematical model”, J. Radiat. Res. Appl. Sci., 13:1, 234-239, 2020.
- [7] A. Alghoul, M. M. Abdalla, H. M. Abubaker, “Mathematical evaluation of entrance surface dose (ESD) for patients examined by diagnostic x-rays”, Open Access J Sci, 1(1):8-11, 2017.
- [8] S. Kothan, M. Tungjai, “An Estimation of X-Radiation Output using Mathematic Model”, Am. J. Appl. Sci., 8 (9): 923-926, 2011.
- [9] http://rtigroup.com/content/downloads/manuals/Manuals%20Old%20Versions/Barracuda_and_QABrowser_Reference_Manual_-_English.pdf
- [10] <https://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin>
- [11] K. Cranley , B. J. Gilmore, G. W. A. Fogarty and L. Desponds, “IPEM Report 78: Catalogue of Diagnostic X-ray Spectra and Other Data”, The Institute of Physics and Engineering in Medicine (IPEM), York, United Kingdom, 1997.
- [12] D. B. Pelotiwz, MCNPX user’s manual version 2.7.0, LA-CP-11-00438, April 2011.

**OPTIMIZATION OF RADIATION OUTPUT MATHEMATICAL MODEL
PARAMETERS FOR X-RAY DEVICES USED IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY**

**Andrea KOJIĆ, Predrag BOŽOVIĆ, Nikola KRŽANOVIĆ,
Jelena STANKOVIĆ PETROVIĆ and Miloš ŽIVANOVIĆ**

*Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Serbia,
andrea.kojic@vin.bg.ac.rs, bozovic@vin.bg.ac.rs, krzanovic@vinca.rs,
jelena.stankovic@vinca.rs, milosz@vinca.rs*

ABSTRACT

Application of ionizing radiation in medicine is an inseparable part of modern medical diagnostics. With increasing number of medical exposures in the world the need for optimization of doses delivered to patients arises. Doses delivered to the patient in diagnostic radiology can be estimated with Entrance Surface Air Kerma, where one of the methods for obtaining ESAK is the calculation based on radiation output. Furthermore, radiation output can be measured or calculated using mathematical formulas or Monte Carlo simulations. In this paper we measured radiation output for 15 different x-ray devices and calculated parameters for mathematical formula to obtain a more accurate model for radiation output. These results were compared with the results of Monte Carlo simulations and the results obtained in similar studies.