



ЗБОРНИК РАДОВА



XXXII Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

**04-06. октобар 2023. године
Будва, Црна Гора**

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



ЗБОРНИК РАДОВА

XXXII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

**Будва, Црна Гора
04-06. октобар 2023. године**

**Београд
2023. године**

**RADIATION PROTECTION ASSOCIATION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

XXXII SYMPOSIUM RPASM

**Budva, Montenegro
4th-6th October 2023**

**Belgrade
2023**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

04-06.10.2023.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Проф. Др Снежана Пајовић

Уредници:

Др Милица Рајачић
Др Ивана Вуканац

ISBN 978-86-7306-169-6

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Милош Ђалетић, Милица Рајачић

Електронско издање:

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

Година издања:

Октобар 2023.



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.

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Будва, 04-06.10.2023. године

Организатори:

ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

Институт за нуклеарне науке „Винча“

Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“

Центар за екотоксиколошка испитивања Подгорица д.о.о, ЦЕТИ

Организациони одбор:

Председник:

Ивана Вуканац

Чланови:

Милица Рајачић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Александра Милатовић, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Никола Свркота, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Ранко Зекић, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Гордана Пантелић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Милош Ђалетић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Никола Кржановић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Наташа Сарап, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Станковић Петровић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Ивана Коматина, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Влаховић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Зорица Обрадовић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Александра Самолов, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Будва, 04-06.10.2023. године

Научни одбор:

др Владимир Удовичић, Институт за физику, Земун, Универзитет у Београду

др Војислав Станић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Душан Мрђа, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Ивана Вуканац, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Јелена Пајић, Институт за медицину рада Србије "Др Драгомир Карајовић",
Београд

др Јелица Грујић, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у Београду

др Јована Николов, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Маја Еремић-Савковић, Директорат за радијациону и нуклеарну сигурност и
безбедност Србије

др Марија Јанковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Мирјана Ђурашевић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду

др Мирјана Раденковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду

др Невена Здјеларевић, ЈП Нуклеарни објекти Србије, Београд

др Оливера Митровић Ајтић, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у
Београду

др Софија Форкапић, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Србољуб Станковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду

Организацију су помогли:

Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“

Мике Петровића Аласа 12-14
11351 Винча, Београд, Србија

<https://www.vin.bg.ac.rs/>

Центар за екотоксиколошка испитивања Подгорица д.о.о, ЦЕТИ

Булевар Шарла де Гола бр. 2
81000 Подгорица, Црна Гора

<https://mne.ceti.me/>

МОЈ ЛАБ

ул. Московска бр. 26
81000 Подгорица, Црна Гора

<https://mojlab.me/>

ФАРМАЛАБ

Булевар Михаила Јалића бр. 8
81000 Подгорица, Црна Гора

<https://farmalab.me/>

ГЛОСАРИЈ ДОО

ул. Војисављевића бр. 76
81000 Подгорица, Црна Гора

<https://www.glosarij.me/me/pocetna>

Излагачи:

Canberra Packard Central Europe GmbH.

Wienersiedlung 6

2432 SCHWADORF, Austria

Phone: +43 (0)2230 3700-0

Fax: +43 (0)2230 3700-15

Web: <http://www.cpce.net/>

LKB Vertriebs doo Beograd-Palilula

Свијићева 115

11120 Beograd, Srbija

Tel: +381 (0)11 676 6711

Faks: +381 (0)11 675 9419

Web: www.lkb.eu

Овај Зборник је збирка радова саопштених на XXXII Симпозијуму Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе који је одржан у Будви, Црна Гора, 04-06.10.2023. године. Радови су према обрађеној проблематици груписани у једанаест секција. Сви радови у Зборнику су рецензирани од стране Научног одбора, а за све приказане резултате и тврдње одговорни су сами аутори.

*Југословенско друштво за заштиту од зрачења основано је 1963. године у Порторожу, а од 2005. носи име "Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе". На XXXII Симпозијуму, ове године обележавамо веома значајан јубилеј - **60 година организоване заштите од зрачења на нашим просторима.***

Од оснивања, Симпозијуми Друштва за заштиту од зрачења представљају прилику да се кроз стручни програм прикажу резултати истраживања у области заштите од зрачења, представе различите области примене извора и генератора зрачења, анализирају актуелна дешавања, размене искуства са колегама из региона, дефинишу проблеми и правци даљег унапређивања наше професионалне заједнице.

Поред тога, Симпозијуми друштва представљају и прилику да у мање формалном маниру сретнемо старе и упознамо нове пријатеље и колеге, обновимо старе и започнемо нове професионалне сарадње.

Ауторима и коауторима научних и стручних радова саопштених на XXXII Симпозијуму се захваљујемо на уложеном труду и настојању да квалитетним радовима заједно допринесемо остваривању циљева и задатака Друштва и наставимо традицију дугу импозантних 60 година.

Посебно се захваљујемо свима који су подржали одржавање овог Симпозијума.

Свим члановима Друштва, сарадницима и колегама честитамо овај значајан јубилеј!

Организациони одбор XXXII Симпозијума ДЗЗСЦГ

**ОПШТИ ПРОБЛЕМИ
ЗАШТИТЕ ОД ЗРАЧЕЊА**

**GENERAL PROBLEMS OF
RADIATION PROTECTION**

**PROVERA RADIOTERAPIJSKIH USTANOVA SRBIJE OD 2019. DO 2022.
GODINE POŠTANSKOM DOZIMETRIJOM U VELIČINI APSORBOVANA DOZA
U VODI**

Nikola KRŽANOVIĆ¹, Miloš ŽIVANOVIĆ¹, Miloš ĐALETIĆ¹,
Ivana KOMATINA^{1,2}, ANDREA KOJIĆ^{1,3}, Srboljub STANKOVIĆ¹

- 1) *Institut za nuklearne nauke Vinča – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija*
- 2) *Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija*
- 3) *Fakultet za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija*

Autor za korespondenciju: Nikola KRŽANOVIĆ, krzanovic@vinca.rs

SAŽETAK

U svrhu osiguranja kvaliteta sprovođenja radioterapijskih procedura, radioterapijski centri širom sveta učestvuju u programu poštanske dozimetrije koju organizuje i sprovodi Međunarodna agencija za atomsku energiju putem globalne mreže Sekundarnih Standardnih Dozimetrijskih Laboratorija. Kontrola kvaliteta podrazumeva ozračivanje pasivnih detektora zračenja (prethodno termoluminiscentnih, danas radiofotoluminiscentnih dozimetara) na poznatu vrednost apsorbirane doze u vodi u visokoenergetskim poljima x-zračenja linearnih akceleratora koji su upotrebi u redovnoj teleterapijskoj praksi. Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine je u periodu od 2019. do 2022. godine distribuirala pasivne dozimetre radioterapijskim centrima u Srbiji.

Uvod

Međunarodna agencija za atomsku energiju (MAAE, eng. *International Atomic Energy Agency - IAEA*) sprovodi program provere doza u radioterapijskim centrima putem poštanske dozimetrije od 1969. godine, s ciljem osiguranja kvaliteta diseminacije dozimetrijskih standarda do krajnjih korisnika. Do 1991. godine se program poštanske dozimetrije sprovodio isključivo za polja zračenja radionuklida Co-60, nakon čega su zbog upotrebe značajno viših energija u teleterapiji u kontrolu kvaliteta uključena i polja zračenja megavoltažnih kliničkih linearnih akceleratora. Paralelno sa programom poštanske dozimetrije za radioterapijske centre (termoluminiscentnim (TL) i radiofotoluminiscentnim (RPL) dozimetrima) se od 1981. godine sprovodi i program poštanske dozimetrije pomoću TL ili optički stimulisanih luminiscentnih (OSL) dozimetara u veličini kerma u vazduhu i TL ili RPL u veličini doza u vodi za Sekundarne Standardne Dozimetrijske Laboratorije (eng. *Secondary Standard Dosimetry Laboratory – SSDL*) [1]. Učešće radioterapijskog centra ili SSDL u programu kontrole kvaliteta poštanskom dozimetrijom je dobrovoljno i moguće periodično, na svake dve godine.

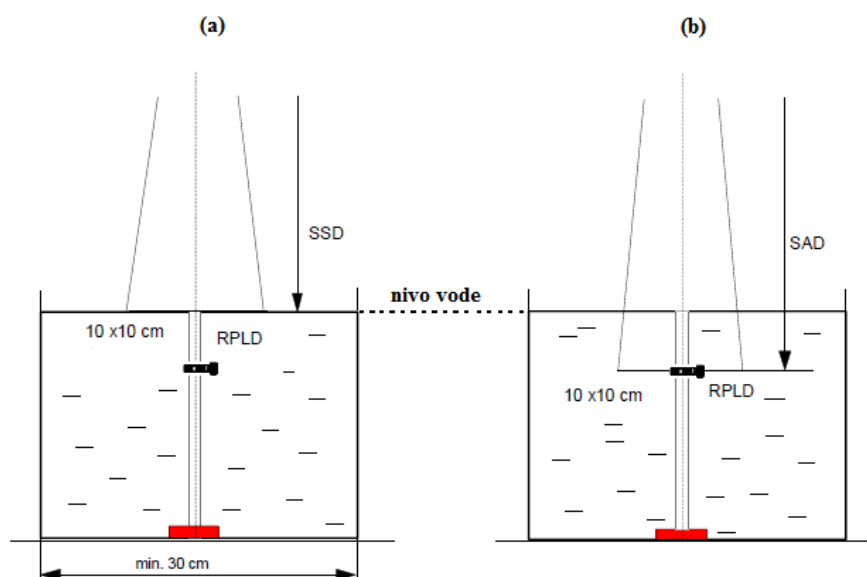
Materijali i metode

Pasivni dozimetri se poštom šalju ka radioterapijskom centru ili SSDL-u koji je odgovoran za dalju distribuciju dozimetara i njihovo prikljupljanje nakon izvršenog ozračivanja i konačne isporuke natrag u Laboratoriju MAAE. Na ovaj način se na godišnjem nivou izvrši kontrola kvaliteta oko 800 kliničkih teleterapijskih polja zračenja pri čemu se neretko detektuje i

uklanja uzrok netačne vrednosti apsorbovane doze koji je u vezi sa kalibracijom snopa zračenja, sprečavajući neadekvatne tretmane radioterapijskih pacijenata [1]. Program poštanske dozimetrije je potpomognut od strane Međunarodnog Biroa za Tegove i Mere (BIPM), i dozimetrijskih laboratorija sa primarnim etalonima. Referentnim ozračivanjem pasivnih dozimetara ove ustanove predstavljaju eksternu kontrolu kvaliteta samog programa poštanske dozimetrije.

U svrhu kontrole kvaliteta su ranije korišćeni isključivo termoluminiscentni pasivni dozimetri (TLD) koji su u periodu od 2017. do 2019. godine zamenjeni radiofotoluminiscentnim dozimetrima (RPLD) [2]. Nakon ozračivanja u snopu zračenja na poznatu vrednost apsorbovane doze u vodi se dozimetri očitavaju u dozimetrijskoj laboratoriji MAAE. Očitana vrednost apsorbovane doze se upoređuje sa referentnom vrednošću.

Budući da se poštanska dozimetrija za radioterapijske centre sprovodi u veličini apsorbovana doza u vodi, RPLD se postavljaju na dubinu od 10 cm unutar vodenog fantoma, pri čemu je rastojanje između izvora zračenja i površine vode (eng. *Source to surface distance – SSD*) ili izvora zračenja i centralne ose detektora zračenja (eng. *Source to axis distance – SAD*) definisano radioterapijskom procedurom prema kojoj se obavlja ozračivanje pacijenata. Veličina polja na definisanom rastojanju je $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Shematski prikaz postavke za ozračivanje pasivnih dozimetara je prikazan na slici 1.



Slika 2. Šematski prikaz geometrijske postavke za ozračivanje RPLD u vodenom fantomu: (a) SSD; (b) SAD.

Vrednost apsorbovane doze na koju se pasivni dozimetri ozračuju iznosi 2 Gy. Kontrolna grupa dozimetara se ozračuje u referentnom polju zračenja Co-60 u dozimetrijskoj laboratoriji MAAE, pri čemu se radi određivanja referentne vrednosti doze za megavoltažne snopove x-zračenja primenjuju korekcionni faktori na kvalitet zračenja [3].

U okviru evaluacije radioterapijskih centara putem poštanske dozimetrije u periodu od 2019. do 2022. godine su u radioterapijskim centrima korišćena isključivo polja visokoenergetskog X-zračenja. U tabeli 1 je prikazan spisak radioterapijskih centara koji su učestvovali u MAAE programu poštanske dozimetrije u navedenom periodu. U 2023. godini se za učešće u programu poštanske dozimetrije prijavilo pet radioterapijskih centara sa ukupno 14 snopova X-zračenja.

Tabela 1. Spisak radioterapijskih centara koji su učestvovali u MAAE programu poštanske dozimetrije od 2019. do 2022. godine.

Radioterapijski centar	Generator visokoenergetskog snopa zračenja	Snop zračenja akceleratora	Godina učešća
Klinički centar Srbije	Varian Edge	6 MV 6 MV FFF 10 MV FFF	2019, 2021
Institut za onkologiju i radiologiju Srbije	Varian True Beam	6 MV 10 MV 15 MV	2019, 2020
	Varian Clinac iX	6 MV 15 MV	2021
	Varian Halcyon	6 MV FFF	2022
Institut za Onkologiju Vojvodine	Elekta Versa HD	6 MV 10 MV 15 MV	2019, 2021
	Varian True Beam	6 MV SRT 6 MV FFF SRT 10 MV SRT 15 MV	2020, 2022
	Varian Vital Beam	6 MV SRT 10 MV SRT	2020, 2022
	Varian Clinac 600	6 MV	2021
Institut za plućne bolesti Vojvodine	Elekta Versa HD	6 MV 10 MV 15 MV	2019, 2021
Klinički centar Kragujevac	Elekta Synergy Platform	6 MV	2019, 2020, 2022
	Varian Clinac iX	6 MV 15 MV	2019, 2021
	Elekta Synergy	6 MV 10 MV	2019, 2020, 2021, 2022
Klinički centar Niš	Varian Clinac iX	6 MV 16 MV	2019, 2021
	Elekta Synergy Platform	6 MV 10 MV	2020, 2022
Zdravstveni centar Kladovo	Varian Clinac	6 MV	2021
	Varian Clinac iX	6 MV 16 MV	2019, 2021
	Varian Clinac 600C	6 MV	2020
Vojnomedicinska akademija	Elekta Synergy Platform	4 MV 10 MV 18 MV	2020, 2022

Rezultati i diskusija

RPL dozimetri korišćeni u programu poštanske dozimetrije u periodu od 2019. do 2022. u radioterapijskim centrima Srbije su ozračivani u poljima zračenja linearnih akceleratora. Najčešće vrednosti radnih napona korišćene u radioterapijskim centrima jesu 6 MV, 10 MV i 15 MV, pri čemu je u pojedinim situacijama kontrolisano polje zračenja generisano pri 4 MV, 16 MV i 18 MV. U radioterapijskim centrima Srbije se sa nešto većom zastupljenošću koriste modeli linearnih akceleratora Varian u odnosu na Elekta akcelerateore. Osim klasične teleterapije proveravana su i polja zračenja koja se koriste za stereotaktičku radioterapiju (SRT) gde se organ sa malignim tkivom ozračuje iz više pravaca uvećavajući dozu isporučenu tumoru koji se nalazi u izocentru, pri čemu je ozračivanje zdravog tkiva usled radioterapijske procedure prostorno distribuirano. U nekoliko ozračivanja je poštanskom

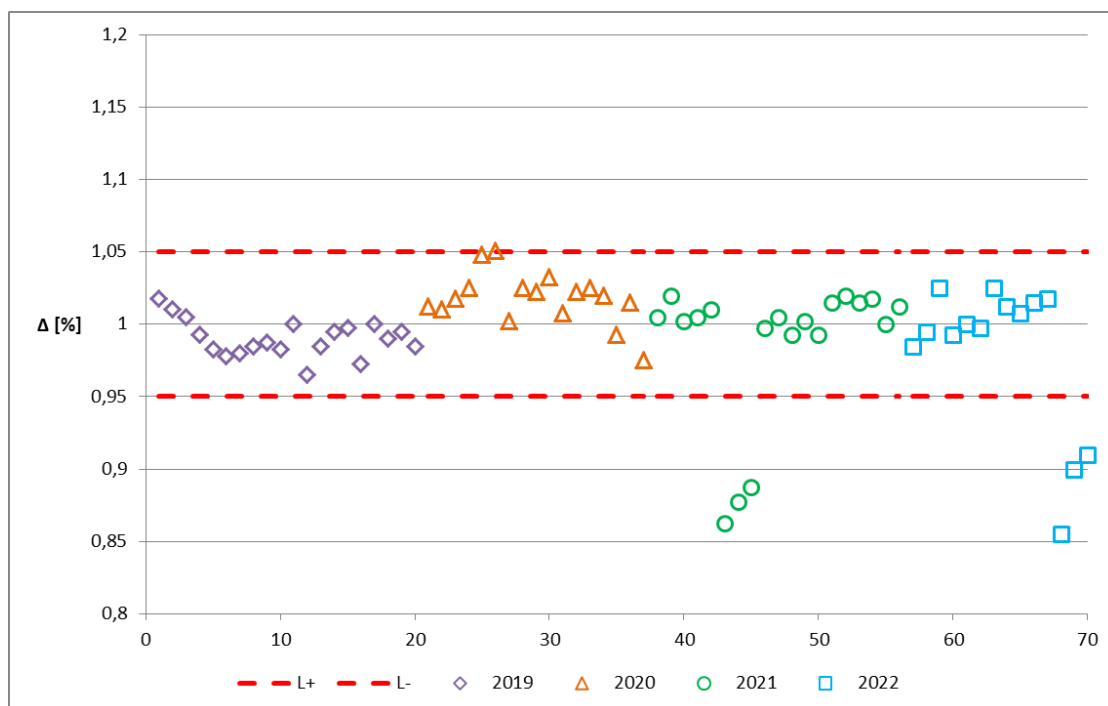
dozimetrijom izvršena i provera doza za polja zračenja bez kolimatora koji imaju ulogu povećanja homogenosti polja zračenja uz smanjenje doze zračenja, stoga pri određenim radioterapijskim procedurama ovaj kolimator nije u upotrebi (eng. *flattening filter – free, FFF*).

Mera kontrole kvaliteta poštanskom dozimetrijom jeste odstupanje prijavljene vrednosti apsorbovane doze koja je isporučena RPL u radioterapijskom centru od referentne vrednosti doze izmerene u MAAE laboratoriji. Odstupanje je definisano relacijom:

$$(1) \quad \Delta = 1 - \frac{D_{RT}}{D_{MAAE}} [\%]$$

gde je D_{RT} doza isporučena u radioterapijskom centru, a D_{MAAE} referentna vrednost apsorbovane doze u vodi. Ukoliko je odstupanje manje od $\pm 5\%$ smatra se da je radioterapijski zadovoljio kriterijum provere, te je uspešno učestvovao u kontroli kvaliteta poštanskom dozimetrijom. Radi kontinuirane kontrole kvaliteta se preporučuje ponovno učešće u programu poštanske dozimetrije, periodično nakon dve godine od prethodne provere. Ipak, ukoliko prijavljena apsorbovana doza pokazuje veće odstupanje od referentne vrednosti tada je neophodno otkloniti uzrok ovog odstupanja. Najpre se radioterapijskom centru dostavlja nova pošiljka radi ponavljanja procedure ozračivanja u navedenom polju zračenja. Ukoliko greška nije uklonjena ponavljanjem procedure ozračivanja, često se organizuje ekspertska poseta i preporučuje se ponovno učešće u programu kontrole kvaliteta poštanskom dozimetrijom nakon jedne godine od prethodnog ozračivanja [4].

Na slici 2 su prikazani rezultati kontrole kvaliteta radioterapijskih centara poštanskom dozimetrijom za period od 2019. do 2022. godine.



Slika 2. Rezultati IAEA/WHO kontrole kvaliteta eksternom proverom putem poštanske dozimetrije u periodu od 2019. do 2022. godine. Prikazan redosled radioterapijskih centara i njihovih polja zračenja je slučajan.

Redosled evaluiranih snopova zračenja je slučajan radi očuvanja anonimnosti rezultata eksterne provere. U 2019. i 2020. godini su svi radioterapijski centri imali odstupanja prijavljene doze od МААЕ referentne vrednosti manje od 5 %, pri čemu su dve vrednosti u 2020. godini bile bliske granici odstupanja. U 2021. i 2022. godini su u pojedinim snopovima zračenja primećena odstupanja veća od 5 %. U prethodnom periodu su u ponovljenim ozračivanjima, posle analize prethodnih rezultata i procedure ozračivanja, svi rezultati bili prihvatljivi, što pokazuje značaj poštanske provere doza za očuvanje kvaliteta radioterapijskog tretmana. Iako su ozračivanja u 2023. izvršena, rezultati provere poštanskom dozimetrijom još uvek nisu dostupni.

Zaključak

Eksterna provera poštanskom dozimetrijom je značajan postupak kontrole kvaliteta polja zračenja i vrednosti isporučene apsorbovane doze pacijentima, sa ciljem poboljšanja teleterapijskih procedura u radioterapijskim centrima. Budući da se u radioterapijskim procedurama pacijentima isporučuju velike vrednosti doze, neophodno je dozu zračenja isporučiti sa što većom tačnošću, ne bi li se izbeglo prekomerno ozračivanje pacijenata većom vrednošću doze ili neefikasno sprovođenje procedure lečenja ukoliko su vrednosti doze preniske.

Literatura

- [1] <http://www-naweb.iaea.org/nahu/DMRP/tld.html>, pristupljeno 20.06.2023.
- [2] N. Kržanović, M. Živanović, P. Božović, S. Stanković. Provera apsorbovanih doza u vodi u radioterapijskim ustanovama Srbije od 2017. do 2019. godine. *Zbornik radova XXX Simpozijuma DZZ SCG*, 02.10. – 04.10.2019, 457-461.
- [3] IAEA, Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical reports series No. 398. IAEA, Vienna, 2000.
- [4] J. Izewska, P. Bera, S. Vanitsky. IAEA/WHO postal dose audit service and high precision measurements for radiotherapy level dosimetry, *Radiation Protection Dosimetry*, pp. 387-392, 2002.

POSTAL DOSIMETRY AUDIT OF RADIOTHERAPY CENTERS IN SERBIA FOR THE PERIOD FROM 2019. TO 2022. IN TERMS OF ABSORBED DOSE TO WATER

Nikola KRŽANOVIĆ¹, Miloš ŽIVANOVIĆ¹, Miloš ĐALETIĆ¹,
Ivana KOMATINA^{1,2}, Andrea KOJIĆ^{1,3} Srboљub STANKOVIĆ¹

- 1) *Vinca Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, krzanovic@vinca.rs*
- 2) *Faculty of Physical Chemistry, University of Belgrade, Serbia*
- 3) *Faculty of Physics, University of Belgrade, Serbia*

ABSTRACT

In order to perform quality assurance of radiotherapy procedures, radiotherapy centers participate in a worldwide programme of postal dosimetry external audits, organized by the International Atomic Energy Agency via the global Secondary Standard Dosimetry Laboratory network. Quality control is performed by delivering a known absorbed dose to water value to the passive ionizing radiation detectors (previously thermoluminescent, recently radiophotoluminescent dosimeters) in the high-energy x-radiation fields of linear accelerators which are in regular hospital use in teletherapy. Laboratory for radiation and environmental protection has distributed the passive dosimeters to the radiotherapy centers in Serbia in the period from 2019. to 2022.