

**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.

UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM U INSTITUCIJAMA ZDRAVSTVENE ZAŠTITE

**Slavko DIMOVIĆ, Mihajlo JOVIĆ, Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ, Vojislav
STANIĆ i Ivana SMIČIKLAS**

*Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija,
sdimovic@vin.bg.ac.rs*

SADRŽAJ

Institucije zdravstvene zaštite sve više primenjuju radioizotope u dijagnostičke i terapijske svrhe, posebno u kardiologiji i onkologiji. Sve ovo dovodi do povećanja količine radioaktivnog otpada. Bezbedno odlaganje neiskorištenog radioaktivnog materijala i predmeta kontaminiranih istim predstavlja vitalnu komponentu sveobuhvatne strategije upravljanja. Osnovni cilj bezbednog odlaganja radioaktivnog otpada je da izlaganje zračenju ljudi, profesionalnih lica i životne sredine ne pređe propisane granice kroz institucionalni koordinisani napor u nacionalnom pravnom okviru. U ovom radu data je kategorizacija pomenutog otpada, načini segregacije, vrste tretmana, kao i načini odlaganja različitih vrsta otpada nastalih u ustanovama zdravstvene zaštite.

1. UVOD

Institucije zdravstvene zaštite generišu između 0,5 i 2 kg potencijalno opasnog i infektivnog otpada po krevetu dnevno. Procenjeno je da je 85% stvorenog otpada nije opasno, da je oko 10% infektivno, a 5% neinfektivno ali hazardno. Narastajući trendovi HBV i HIV virusnih infekcija dovode do povećanja svesti o riziku povezanom sa neadekvatnim upravljanjem biomedicinskog otpada i potrebe za razvijanjem i implementacijom obnovljive strategije i metoda za bezbedno odlaganje otpada [1]. Institucije zdravstvene zaštite sve više koriste radioaktivne izotope, kao što su: tehnecijum-99m (Tc-99m), jod-131 (I-131), jod-125 (I-125), jod-123 (I-123), fluor-18 (F-18), tricijum (H-3) i ugljenik-14 (C-14), u dijagnostičke i terapijske svrhe, dok se veći deo otpada stvara u odeljenju za Nuklearnu Medicinu. Većina radioaktivnog otpada je u tečnom stanju, sa manjim učešćem u čvrstom i minimalnim u gasovitom. Čvrsti otpad sadrži tragove radioktivnosti u špricovima, iglama, pamučnim tamponima, bočicama, kontaminiranim rukavicama i absorpcionim materijalima. Odeća i posude pacijenata koje karakterišu velike doze radioizotopa kao što je I-131 predstavljaju takođe čvrsti radioaktivni otpad. Bezbedno odlaganje neiskorištenog radioaktivnog materijala i predmeta kontaminiranih istim predstavlja vitalnu komponentu sveobuhvatne strategije upravljanja radioaktivnim otpadom. Osnovni cilj bezbednog odlaganja radioaktivnog otpada je da se obezbedi da izlaganje zračenju ljudi, profesionalnih lica i životne sredine ne pređe propisane granice [2,3]. Pored upravljanja radioaktivnim otpadom na naučnim osnovama, osnovni principi zaštite od zračenja su opravdanost prakse (upotreba zračenja samo ukoliko je korist veća od rizika), optimizacija prakse (ALARA princip) i ograničenost doza koja je data u tabeli 1 [4]. Redovan lični monitoring zračenja zdravstvenih radnika, monitoring neposredne okoline, kao i kontrola kvaliteta radijacionih instrumenata obavezne su za dostizanje standarda radijacione sigurnosti [5]. Svaka institucija zdravstvene zaštite treba da imenuje oficira za radijacionu sigurnost koji nadgleda sve

aspekte radijacione sigurnosti uključujući i upravljanje radioaktivnim otpadom sprovodeći aktivnosti prema procedurama izdatih od strane Agencije za zaštitu od jonizujućeg zračenja i nuklearnu sigurnost Republike Srbije.

Tabela 1. Granice doza

Primena	Granica godišnje doze	
	Profesionalna	Javna
Efektivna doza	20 mSv	1 mSv
Ekvivalentna doza za organe		
Očno sočivo	150 mSv	150 mSv
Koža	500 mSv	50 mSv
Ruke i stopala	500 mSv	/
Ekvivalentna doza		
Trudnice	2 mSv za abdomen	/

2. KATEGORIZACIJA I SEGREGACIJA RADIOAKTIVNOG OTPADA U NUKLEARNOJ MEDICINI

Čvrsti radioaktivni otpad čine papir, rukavice, prazni špricevi i igle, zatvoreni izvori korišćeni u terapiji, zatvoreni izvori korišćeni za kalibrisanje instrumenata, životinjski leševi i drugi biloški otpad. U tečnom radioaktivnom otpadu se mogu naći precipitati radionuklida, izlučenje pacijenata, tečni scintilacioni rastvori i dr.

U zavisnosti od završne faze rukovanja ili odlaganja otpad se može svrstati u različite kategorije. Prvu kategoriju čini otpad koji će završiti u javno-komunalnom sistemu prerade otpada sa ili bez procesa insineracije, drugu kategoriju čini otpad koji se direktno može ispustiti u kanalizacioni sistem, dok u treću kategoriju spada otpad koji se može reciklirati ili odložiti na deponiju.

Segregacija se može izvršiti prema sledećim kategorijama [5]:

Čvrsti otpad koji nakon adekvatnog tretmana i kondicioniranja može biti procesuiran u javno-komunalnom sistemu prerade. Čvrst otpad treba da bude imobilisan u matriksni material pogodan za skladištenje i transport. Insineracija se preporučuje za sagorljivi čvrsti otpad, jer se time obezbeđuje najveća redukcija zapremine, razblaživanje i disperzija sadržaja radionuklida, a postiže se i sveukupna sterilizacija biološkog otpada uz striktno poštovanje granica emisije predloženih od strane regulatornog tela; Tečni otpad nakon adekvatnog tretmana (evaporacija, hemijska precipitacija i/ili jonska izmena) i kondicioniranja može biti ispušten u komunalni sistem prerade voda. S druge strane, za organski i infektivni tečni otpad insineracija je rešenje uz naknadnu obradu čvrstog ostatka. Tretirani efluenti se ispuštaju u životnu sredinu preko kanalizacionog sistema ukoliko je sadržaj radionuklida u granicama dozvoljenog;

Čvrsti i tečni otpad koji sadrži kratkoživeće radionuklide pogodan je za stokiranje usled radioaktivnog raspada, nakon čega može biti tretiran kao komunalni otpad;

Zatvoreni izvori zračenja visokih aktivnosti se odlažu na privremeno ili konačno odlagalište ili se recikliraju;

- Za biološki otpad, koji je podležan raspadanju, najčeće se primenjuje insineracija, dok se za infektivni otpad zahteva sterilizacija pre odlaganja;
- Za slomljenu staklariju, upotrebljene špriceve itd. neophodno je sakupljanje u zasebne kontejnere u cilju sprečavanja ličnih povreda;

- Generatori radionuklida se nakon privremenog odlaganja u cilju raspadanja ispituju na kontaminaciju ili se preferentno vraćaju proizvođaču;
- Bolnička posteljina i odeća koja je kontaminirana može biti privremeno stokirana, ukoliko sadrži kratkoživeće radionuklide, ili se u suprotnom tretira kao čvrsti otpad;
- Izlučevine pacijenata u dijagnostici se ne sakupljaju i odvajaju, dok u terapiji se koriste zasebni toaleti opremljeni posebnim rezervoarima za radioaktivni raspad, sistemi za obradu ili se izlučevine direktno ispuštaju u kanalizaciju;
- Tečni scintilacioni rastvori se usled prisustva zapaljivih organskih rastvarača procesuiraju insineracijom. Novi tipovi tečnih scintilacionih rastvora su manje zapaljivi i opasni za životnu sredinu i mogu se tretirati u javno/komunalnom sistemu obrade.

Kontejneri koji omogućavaju segregaciju različitog tipa radioaktivnog otpada moraju biti dostupni na mestu njegovog generisanja. Pored toga, moraju biti prilagođeni nameni (zapremina, zaštita, obezbeđenje od procurivanja), a svaki tip otpada treba čuvati u zasebnim kontejnerima, propisno obeleženim u cilju pružanja informacije o radionuklidima, fizičkom stanju, aktivnosti i eksternoj dozi.

Prostorija za privremeno stokiranje radioaktivnog otpada mora biti dostupna, obezbeđena, propisno obeležena i ventilirana. Zapaljivi otpad mora biti zasebno odložen, a biološki treba da bude na hladnom mestu ili u zamrzivaču, sa tačnim i uredno vođenim podacima o njegovom poreklu.

3. SAKUPLJANJE I ODLAGANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

Upravljanje radioaktivnim otpadom uključuje dve faze: sakupljanje i odlaganje. Radioaktivni otpad treba da bude identifikovan i odvojen u radnoj zoni. Kontejneri sa nožnom papučicom i polietilenskim uloškom za jednokratnu upotrebu služe za prikupljanje čvrstog radioaktivnog otpada, a sa polietilensko-staklenim za tečni otpad. Sakupljanje radioaktivnog otpada u staklenim sudovima treba izbegavati. Svaki pojedinačni paket se kontroliše i obavezno se obeležava njegoa aktivnost pre odluke o načinu odlaganja. Neke bolnice i klinički centri poseduju insinatore i dozvolu za odlaganje sagorljivog radioaktivnog otpada, te se na osnovu kriterijuma sagorljivo/nesagorljivo može izvršiti razdvajanje otpada. Kada se upotrebljavaju dva različita izotopa različitih vremena poluraspada, kao npr. Tc-99 i I-131, koriste se zasebni kontejneri označeni sa imenom izotopa, aktivnošću i datumom monitoringa. Sakupljeni radioaktivni otpad se odlaže nakon sledećih procesa [5]:

- Razređivanje i disperzija
- Stokiranje i radioaktivni raspad
- Koncentrisanja i zadržavanja (retko u upotrebi)
- Insineracije (retko u upotrebi)

Razređivanje i disperzija

Čvrst radioaktivni otpad, se može odložiti kao običan bolnički otpad ako pojedinačna aktivnost ne pređe granicu 50 KBq ili za ukupan paket 5 MBq/m³. Slično, tečni radioaktivni otpad se može ispustiti nakon ispiranja u kanalizaciju, ukoliko je ukupna aktivnost manja od 37 KBq. Međutim, granične vrednosti aktivnosti tečnog radioaktivnog otpada koji se ispušta u sanitarno/kanalizacioni sistem ne sme preći vrednosti date u tabeli 2.

Stokiranje i radioaktivni raspad

Radioaktivni otpad srednjeg nivoa aktivnosti i sa vremenom poluraspada manjim od mesec dana se može skladištiti. Prostorija za stokiranje mora posedovati propisni

ventilacioni sistem i olovnu zaštitu odgovarajuće debljine. Radioaktivni otpad treba da je stokiran minimum 10 vremena poluraspada do 0,1 % početne aktivnosti. Nakon monitoringa rezidualne aktivnosti, može se dalje odlagati kao čvrsti ili tečni otpad niskog nivoa aktivnosti. Većina bolničkog otpada niske i srednje aktivnosti je kratkog vremena poluraspada te se može tretirati na pomenuti način.

Tabela 2. Granične vrednosti aktivnosti ispuštanja tečnog radioaktivnog otpada za sanitarno/kanalizacioni system

Radioizotop	Maksimalna granica ukupnog ispuštanja po danu (MBq)	Prosečna mesečna aktivnost ispuštanja (MBq/m ³)
H-3	92,5	3700
C-14	18,5	740
Na-24	3,7	222
P-35	3,7	18,5
S-35	18,5	7,4
Ca-45	3,7	10,1
Mo-99m+Tc-99m	3,7	185
I-125	3,7	22,2
I-131	3,7	22,2

* Maksimalna vrednost aktivnosti radioaktivnog otpada ispuštenog u kanalizacioni sistem od strane bolnice ne sme preći 37 GBq u toku godine.

Koncentrisanje i zadržavanje

Ova tehnika se primenjuje kod radioaktivnog otpada visoke aktivnosti i vremena poluraspada većih od mesec dana, gde se zbog nedostatka adekvatnog prostora i dugog vremena stokiranja predhodna tehnika ne može primeniti. Radioaktivni otpad se pakuje u propisano dizajnirane i obeležene kontejnere koji se odlažu na privremenom ili trajnom odlagalištu.

Insineracija

Insineracija smanjuje zapreminu otpada i koncentriše aktivnost u pepelu koji se kasnije odlaže. Kako insineratori korišćeni za spaljivanje radioaktivnog otpada emituju deo radioaktivnosti u atmosferu, njihovu operativnost karakterišu strogo kontrolisani uslovi i izolovana lokacija. Sakupljeni pepeo se zasebno tretira kao čvsti radioaktivni otpad, a zabrinutost za životnu sredinu, kao i pritisak javnosti ograničavaju primenu insineracije i površinskog ukopavanja kao uobičajene i preporučljive opcije u tretmanu radioaktivnog otpada.

4. POSEBNI SLUČAJEVI UPRAVLJANJA RADIOAKTIVNIM OTPADOM

Odlaganje zatvorenih izvora

Institucije zdravstvene zaštite koriste zatvorene izvore zračenja različite namene, uključujući teleterapiju, brahiterapiju, iradijaciju krvi, kalibraciju, itd. Većina ovih izvora su relativno male aktivnosti u rasponu od nekoliko do nekoliko stotina MBq, sa izuzetkom teleterapije i iridijacije krvi, koji mogu imati veće aktivnosti. Jednom kada izvor postane slab za dalju upotrebu, mora biti bezbedno uklonjen i zamenjen od strane dobavljača uz nadzor RSO-a.

Odlaganje gasovitog otpada

Isparljivi izvori kao što su I-131 i I-135 oslobađaju radioaktivna isparenja stvarajući tako u vazduhu radioaktivni otpad. Kontejneri ovih supstanci moraju biti otvoreni u kapeli, koja je preko cevovoda povezana sa izlazom na najvišoj tački krova. Pre nego što se isparenja razblaže i disperguju u atmosferu, moraju proći preko sistema čestično/vazdušnih filtera od aktivnog uglja. Bolnice koje koriste radioaktivne gasove moraju posedovati efikasne sisteme laminarnog protoka vazduha. Ostali gasoviti RAO čine aerosoli izotopa Xe-133, C-14, H-3, N-13, Tc-99m.

Odlaganje izlučevina i urina pacijenata sa visokom dozom radioizotopa

Pacijenti koji su u terapijske svrhe primili visoku dozu radioizotopa (npr. I-131 kod kancera tiroidne žlezde) smeštaju se na izolovanim odeljenjima do uspostavljanja minimalne bezbedne granice radijacione emisije (3 mR/h na 1m udaljenosti) [7]. Izlučevine i urin pacijenata sa visokom dozom zračenja posle ispiranja vodom, sistemom cevi od PVC-a najkraćim putem stiže do rezervoara za skladištenje i odlaganje, a zatim se ispuštaju u kanalizaciju. Rezervoari za odlaganje su smešteni u zoni minimalnog kretanja ljudi i moraju biti nepropusni, otporni na koroziju sa glatkom unutrašnjom površinom. Kapacitet rezervoara zavisi od broja pacijenata na dnevnom nivou. U rezervoarima se drži radioaktivni otpad dva meseca, što je dovoljno vreme za raspad I-131 do niskih aktivnosti. Pa ipak, pre ispuštanja efluenta iz rezervoara u kanalizaciju uzima se uзорak i kontroliše njegova aktivnost koja ne sme biti veća od 1,2 $\mu\text{Ci/l}$ [8]. Ni jedna institucija zdravstvene zaštite ne sme da ispusti u kanalizaciju više od 37 GBq (1 Ci) tečnog radioaktivnog otpada za godinu dana (tabela 2).

Tretiranje leševa pacijenata koji sadrže radioaktivni materijal

Postoje slučajevi preminulih pacijenata u institucijama zdravstvene zaštite (npr. kancer tiroidne žlezde) koji u sebi sadrže visoke doze I-131. U takvim situacijama, informiše se lice odgovorno za radijacionu sigurnost koje u saradnji sa odeljenjem za nuklearnu medicinu preduzima dalje korake. Ako je visoka aktivnost koncentrisana u organu, kao što je štitasta žlezda, ista mora biti odstranjena autopsijom, kao i u slučaju metastaze. Kada se ustanovi da leš ima manju radioaktivnost propisane od strane regulatornog tela (tabela 3) može se pritupiti sahrani ili kremaciji bez bilo kakve mere opreza, a ukoliko je aktivnost veća leš ostaje u bolničkoj mrtvačnici do smanjenja aktivnosti [6-8].

Tabela 3. Maksimalna radioaktivnost odstranjivanja leševa bez specijalnih mera predostrožnosti (MBq)

Radioizotop	Posmrtno/balzamovani	Sahrana	Kremacija
I-131	100 ⁽¹⁾	400 ⁽³⁾	400 ⁽³⁾
Y-90	200 ⁽¹⁾	2000 ⁽⁴⁾	70 ⁽⁵⁾
Au-198	400 ⁽¹⁾	400 ⁽³⁾	100 ⁽⁵⁾
P-32	100 ⁽¹⁾	2000 ⁽⁴⁾	30 ⁽⁵⁾
Sr-89	50 ⁽¹⁾	2000 ⁽⁴⁾	20 ⁽⁵⁾

(1) Na osnovu opasnosti od kontaminacije; (2) Na osnovu granice doze ekstremiteta; (3) Na osnovu granice doza za spoljašnost tela; (4) Na osnovu doze zakočnog zračenja na 0,5 m; (5) Na osnovu opasnosti od kontaminacije radioizotopima u pepelu.

5. ZAKLJUČAK

Institucije zdravstvene zaštite sve više primenjuju radioizotope u dijagnostičke i terapijske svrhe, posebno u kardiologiji i onkologiji. Sve ovo dovodi do povećanja količine radioaktivnog otpada. Ovaj otpad se mora odložiti u skladu sa smernicama

Međunarodne agencije za atomsku energiju, a sprovođenje aktivnosti prema procedurama izdatih od strane Agencije za zaštitu od jonizujućeg zračenja i nuklearnu sigurnost Republike Srbije. Sav institucionalni kordinisani napor u nacionalnom pravnom okviru će obezbediti da izlaganje zračenju ljudi i životne sredine ostane u dozvoljenim granicama, a bezbedno odlaganje radioaktivnog otpada čini osnovni deo tog napora.

6. ZAHVALNICA

Rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja republike Srbije (Projekat br. III 43009).

7. LITERATURA

- [1] S.A. Tabish. Ecohealth: Management of Biomedical Waste. In: Hospital Infection Control: Conceptual Framework. Academia Publishers, 2005, 139-145.
- [2] ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Br. J. Radiol.* 28 (Suppl. 6), 1995, 1-92.
- [3] R.K.N. Govida. Basic safety Standards. Accreditation Programme for Nuclear Medicine Technologists in Radiation Safety. BARC, Mumbai, 2002.
- [4] IAEA Tecdoc, No 1714. Management of Discharge of Low Level Liquid Radioactive Waste Generated in Medical, Educational, Research and Industrial Facilities. IAEA, Vienna, 2013.
- [5] IAEA Safety standards series, No. SSR-5. Disposal of radioactive waste, Specific safety requirements. IAEA, Vienna, 2011.
- [6] IAEA Safety Standards Series No. WS-G-6.1. Storage of Radioactive Waste. IAEA, Vienna, 2006.
- [7] B. Nagalakshmi. Radioactive waste disposal with special reference to Nuclear Medicine Laboratories. Training workshop on Radiation Safety in Nuclear Medicine and RSO Certification Examination. BARC, Mumbai, 2000.
- [8] K. Shoukat, A.T. Syed, A. Reyaz, A.R. Tanveer, M. Ajaz, F.A. Jan. Radioactive Waste Management in a Hospital. *Int. J. Health Sci. (Qassim)*, 4 (1), 2010, 39-46.

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN HEALTH CARE INSTITUTIONS

Slavko DIMOVIĆ, Mihajlo JOVIĆ, Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ, Vojislav STANIĆ and Ivana SMIČIKLAS

University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, P.O. Box 522, 11000 Belgrade, Serbia, sdimovic@vin.bg.ac.rs

ABSTRACT

The health care institutions use radioisotopes for diagnostic and therapeutic purposes, especially in cardiology and oncology, and contribute to the formation and accumulation of radioactive waste. Safe disposal of unused radioactive material and contaminated objects is of the vital importance for comprehensive management strategy. The main aim of the safe disposal of radioactive waste is to prevent the radiation exposure of professionally exposed personnel and the environment over the prescribed limits, through institutionally coordinated efforts based on the national legal framework. This paper represents a review of categorization, segregation, treatment and proper disposal of different radioactive wastes created in the health care institutions.