

**DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
SRBIJE I CRNE GORE**

ZBORNİK RADOVA

**XXIII SIMPOZIJUM DZZSCG
Donji Milanovac 2005,
26 – 28. septembar**

**Beograd
2005.**

ZBORNIK RADOVA

XXIII SIMPOZIJUM DZZSCG

26 – 28. septembar, 2005.

Izdavači:

Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore

Za izvršnog izdavača:

Dr Zlatko Rakočević

Urednik:

Mr Milojko Kovačević

ISBN 86-7306-075-3

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Tehnička obrada: **Zoran Hadžić**

Štampa: Štamparija Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

Tiraž: 120 primeraka

Štampa završena septembra 2005.

XXIII SIMPOZIJUM DRUŠTVA
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
SRBIJE I CRNE GORE
Donji Milanovac, 26 – 28. septembar 2005.

Organizatori:

DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA SRBIJE I CRNE GORE

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „VINČA“

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita“

Organizacioni odbor:

Predsednik: Milojko Kovačević

Članovi:

Gordana Pantelić
Snežana Milačić
Dragana Todorović
Olivera Marinković
Tomislav Anđelić
Željka Ilić
Olivera Ciraj
Radoman Benderać
Sprko Marković
Dragoslav Nikezić

Redakcioni odbor:

Dr Gordana Joksić
Dr Ranko Kljajić
Dr Milan Orlić

Organizaciju su pomogli:

Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije

Ministarstvo zdravlja Republike Srbije

AMETEK-AMT (ranije: ORTEC)

Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Ovaj Zbornik je zbirka radova saopštenih na XXIII Simpozijumu Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore koji je održan od 26 – 28. septembra 2005. godine u Donjem Milanovcu. Radovi su razvrstani po sekcijama. Mada su svi radovi u Zborniku recenzirani od strane Redakcionog odbora za sve iznesene tvrdnje i rezultate odgovorni su sami autori.

Organizacioni odbor se zahvaljuje svim autorima radova na uloženom trudu. Posebno se zahvaljujemo sponzorima koji su pomogli održavanje Simpozijuma i štampanje Zbornika.

Organizacioni odbor

***1. Opšti problemi
i savremene koncepcije
zaštite od zračenja***

**PREDLOG IZMENE PRAVILNIKA
O GRANICAMA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE
I O NAČINU SPROVOĐENJA DEKONTAMINACIJE**

O. Marinković, W. Goldammer¹, R. Maksić, S. Milošević
Regulatorna komisija za nuklearnu sigurnost,
Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine, Republika Srbija, Beograd
¹ Strategic Cosulting, Keln; stručni saradnik MAAE, Beč

SADRŽAJ

Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni list SRJ, broj 32/98, definiše granice izlaganja u skladu sa Osnovnim standardima sigurnosti, br. 115, MAAE (BSS, No.115, IAEA) i Preporukama Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja (ICRP 60). Veličine koje propisuju granice, nivoe radioaktivne kontaminacije, nivoe isključenja i načine sprovođenja dekontaminacije definisane su u Pravilniku o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije, Službeni list SRJ, broj 9/99.

Pravilnik 9/99 je delimično primenjivan u praksi proteklih godina zbog nedostatka ljudskih i materijalnih resursa u zaštiti od zračenja. Zbog toga problem u primeni Pravilnika 9/99 nije istican ranije i pored nedoslednosti, štamparskih grešaka i kontradiktornih kriterijuma (neki članovi su isuviše restriktivni).

Program VIND zahteva hitnu izmenu Pravilnika 9/99 i primenu kako standarda MAAE tako i standarda EU. I ako je Nacrt Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i nuklearnoj sigurnosti u proceduri usvajanja, neophodna je izmena Pravilnika 9/99. Posle usvajanja novog zakona mora proteći neko vreme do donošenja novih pravilnika. To bi moglo predstavljati problem za ispunjavanje zadataka u okviru Programa VIND.

UVOD

Osnovni dokumenti u zaštiti od jonizujućih zračenja Preporuke ICRP 60 [1] i Osnovni standardi sigurnosti, (BSS, No. 115, IAEA) [2] definisali su nove veličine, težinske faktore, korelacione koeficijente, metode izračunavanja...

Pri sastavljanju i usvajanju Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja, Službeni list SRJ, broj 46/96 i pravilnika koji su usledili, uloženi su naponi da se u naše propise ugrade nova saznanja iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja. Dobijena je regulativa koja je po teorijskim postavkama u najvećoj meri (ali ne i u potpunosti) bila u skladu sa dokumentima [1] i [2].

Praktični aspekti zaštite od jonizujućih zračenja u proteklih devet godina bili su opterećeni višeslojnim problemima karakterističnim za sve oblasti društvenog života: političkim, ekonomskim, socijalnim. Zaustavljanje nuklearnog reaktora RA u Institutu za

nuklearne nauke Vinča, smanjenje obima poslova sa izvorima jonizujućih zračenja, odlazak iz zemlje stručnjaka iz oblasti nuklearnih nauka i smanjenje interesovanja mladih da rade u neprofitabilnoj delatnosti zaštite od jonizujućih zračenja u nenuklearnoj sferi (medicinska i industrijska primena izvora jonizujućih zračenja) kombinovana sa zapostavljanjem razvoja inspeksijske službe u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja, dovelo je do neravnomernog nivoa primene zakonskih propisa u različitim oblastima rada sa izvorima jonizujućih zračenja. Povremeno su u prvi plan dolazili problemi vezani za individualni monitoring lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima, kao i pitanja kontaminacije radionuklidima hrane i robe široke potrošnje. Ova pitanja, senzacionalno tretirana u medijima, bila su na trivijalnom teorijskom nivou i u okviru zakonskih propisa postojalo je objašnjenje. Nažalost, nisu imala pokretačku snagu za korigovanje onih članova u Pravilniku 9/99 [3] koje je trebalo menjati.

Složenost poslova u okviru Projekta dekomisije nuklearnog reaktora RA i odlaganja i upravljanja radioaktivnim otpadom u Institutu za nuklearne nauke Vinča (Program VIND) ne dozvoljava zanemarivanja važeće regulative, niti improvizacije u njihovoj primeni. Podrška Međunarodne agencije za atomsku energiju Programu VIND uslovljava usklađenost zakonskih propisa, planiranih mera sigurnosti i prakse.

Ovo je dobra prilika da se principijelno pristupi svim oblastima primene izvora jonizujućih zračenja, što će biti moguće ako zakonska regulativa bude precizna i ako se ojača inspeksijska služba. Osnova za dobru praksu nalazi se u Nacrtu Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja i nuklearnoj sigurnosti, koji je u proceduri usvajanja. Posle usvajanja Novog zakona, proteći će izvesno vreme do donošenja novih pravilnika, a to je period koji ugrožava ispunjenje planiranih zadataka u Programu VIND. Zato se, kao jednostavnije rešenje predlaže hitna izmena Pravilnika 9/99.

ŠTAMPARSKE GREŠKE, OMAŠKE I NEDOSLEDNOSTI

U članovima 7. i 10. zamenjene su oznake za relevantne tabele 4. i 1.

Korišćenje ćiriličnog i latiničnog pisma u istom pravilniku deluje neestetски, otežava snalaženje, a u ovom slučaju dovodi do konfuzije jer se pojedini simboli u formulama (pisano latinicom) i obrazloženju (pisano ćirilicom) nedosledno navode kao indeksi h, p, s u članovima 4, 5, 12.

Nedostaju definicije godišnjeg unošenja radionuklida inhalacijom, vodom i hranom (GUinh, GUing), kao i definicije granice godišnjeg unošenja radionuklida inhalacijom ili ingestijom (GGUinh ili GGUing). Zbog istog oblika jednine i množine genitiva reči radionuklid u nekim formulama nije jasno da li se odnose na pojedinačne radionuklide ili je štamparskom greškom izostao indeks n i znak za sumiranje po svim radionuklidima značajnim za proračun (članovi 10, 11, 14).

Indeks v negde označava vodu za piće (član 10), a negde vazduh (članovi 6, 12).

Značajna greška postoji u članu 14. Od šest navedenih veličina dve su objašnjene kao doza (Ds) i granica (GGD) izlaganja profesionalno izloženih lica *iz* stanovništva, dok se za preostale četiri veličine ne navodi ciljna grupa. Jedini zaključak je da se radi o jednoj nejednolini koja istovremeno važi za profesionalno izložena lica i stanovništvo, što nije u skladu sa prethodnim članovima Pravilnika 9/99, a naravno nije ni tačno. Najveću težinu nosi pogrešno definisan set veličina preko kojih se određuju granice godišnjeg unošenja (GGU) radionuklida u članovima 4, 5, 8, 9. Označene kao GDr, GDp ili GDs, jer se odnose na profesionalno izložena lica (indeksi r i p – opredeljujemo se za

indeks p) i na stanovništvo (indeks s), definisane su kao «GRANICE EFEKTIVNE DOZE IZRAŽENE KAO 1% OD PROPISANIH GRANICA DOZA».

Moguće su tri varijante razumevanja ove definicije:

1. Besmislena varijanta: veličine GDp ili GDs predstavljaju 1% od same sebe!
2. Proizvoljna varijanta: GDp ili GDs predstavljaju 1% od granice efektivne doze za proizvoljno izabrani vremenski period!
3. U praksi korišćena varijanta: GDp ili GDs predstavlja 1% od **godišnje granice efektivne doze** za posmatranu kategoriju izlaganja (ciljnu grupu).

SUPROTNOST SA PRAVILNIKOM O GRANICAMA IZLAGANJA JZ 32/98

Zanemarujući navedene omaške u članu 14. Pravilnika 9/99 možemo ga prihvatiti kao dve nejednačine sa uključenim sumiranjem po svim relevantnim radionuklidima uz pravilno odabrane veličine za profesionalno izložena lica ili stanovništvo. Uz to, upotrebljavajući treću varijantu za razumevanje članova 4, 5, 8. i 9. Pravilnik 9/99 članom 14. smanjuje godišnju granicu efektivne doze za ciljnu grupu što predstavlja *contradictio in adjecto* definiciji efektivne doze u članu 42. i članovima 3. i 8. (respektivno za profesionalno izložena lica i za stanovništvo) Pravilnika o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni list SRJ, broj 32/98 [4]. Drugim rečima: član 14. Pravilnika 9/99 i član 42. Pravilnika 32/98 su kontradiktorni uz uslove koje nameću članovi 4, 5, 8. i 9. Pravilnika 9/99.

Potrebno je razumeti da se ne radi o teorijskom razmatranju malo verovatnih slučajeva. Reč je o doslednom sprovođenju zakonskih normi onako kako su definisane Pravilnikom 9/99: pri izuzetno malim dozama (manje od 1% godišnjih granica efektivne doze) koje potiču od inhalacije i/ili ingestije drastično se ograničava spoljašnje izlaganje.

Primer: Radnik koji godišnje primi inhalacijom i/ili ingestijom 0,5% od godišnje granice efektivne doze (GGED), njegovo spoljašnje izlaganje biva ograničeno na 50% GGED. Ovim se obara koncepcija Sv kao jedinice za ekvivalentnu dozu koja omogućava poređenja i sumiranja. Ističe se značaj inhalacije i ingestije radionuklida većem od doprinosa spoljašnjeg ozračivanja, što je nesaglasano teorijama prihvaćenim u svim dokumentima IAEA, UNSCEAR, ICRP, WHO, EU...

OSTALE NESAGLASNOSTI SA DOKUMENTIMA IAEA

Član 19. Pravilnika 9/99 odnosi se na vodu za napajanje životinja, stočnu hranu i sirovinu za proizvodnju stočne hrane. Ovako definisan uslov je vrlo restriktivan i odnosi se na same životinje, bez procene doze za populaciju koja se njima hrani.

Član 20. može da bude vrlo restriktivan. Bez obzira na moguće probleme u međunarodnoj trgovini, potrebno je definisati sadržaj radionuklida u hrani i robi široke potrošnje nezavisno od njenog porekla.

Članovi 21-23. odnose se na građevinski materijal. Moguće je izmeniti ove članove tako što bi se ograničenje odnosilo samo na koncentraciju prirodnih radionuklida, dok bi za radionuklide koji nastaju u praksi važio kriterijum za izuzimanje u skladu sa merilima IAEA Safety Guide No. RS-G-1.7 [5].

Član 24. bi trebalo da definiše pravilo ne samo za otpadni materijal, već režim oslobađanja/isključenja radionuklida nastalih u kontrolisanoj praksi koji se mogu isključiti iz

režima kontrole. Kriterijumi su dati u publikaciji [5]. Postojeći uslov u članu 24. neopravdano izjednačava sve vrste veštačkih radionuklida i za neke radionuklide nadmašuje za dva reda veličine odgovarajuće uslove u publikaciji [5].

Član 26. je potrebno jasnije definisati kako bi se izbegla mogućnost pogrešnog tumačenja da je granica radioaktivne kontaminacije tečnih i gasovitih radioaktivnih efluenata koji mogu da se ispuštaju u životnu sredinu 1% od godišnje granice izlaganja stanovništva. Ako uticaj na okolinu ne prevazilazi 10 μ Sv godišnje za pojedinca iz kritične grupe, takva praksa se oslobađa od regulisanja (oslobađa se bilo kakve kontrole prema legislativi o zaštiti od jonizujućih zračenja i nuklearnoj sigurnosti) u skladu sa BSS [2].

Član 29: Praksa pokazuje da se u pravilnicima ne mogu na najbolji način opisati detalji pojedinačnih postupaka dekontaminacije, kao što je ovde slučaj sa opisom dekontaminacije u tački 3. Pravilnik 9/99 bi trebalo da utvrđuje ciljeve i kriterijume, a ne detalje postupka. Može se dogoditi u posebnom slučaju da definisani detalji budu više štetni nego korisni. Mora postojati plan za dekontaminaciju sačinjen od strane ovlašćene ustanove i odobren od strane regulatornog tela za svaku pojedinačnu praksu.

ZAKLJUČAK

Na osnovu obrazloženja jasno je da je većinu izmena u Pravilniku 9/99 moguće obaviti jednostavno ispravljanjem štamparskih grešaka, nepreciznih i nejednoznanih definicija. Polazeći od člana 42. Pravilnika 32/98 koji definiše efektivnu dozu:

$$E_t = E_{ext} + \sum e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum e(g)_{n,inh} I_{n,inh}$$

i uvažavajući članove 3. i 8. istog pravilnika, jednostavnim matematičkim transformacijama se dobijaju granice godišnjeg unosa pojedinačnih radionuklida inhalacijom i ingestijom. Najvažnije granice (godišnje granice efektivne doze) za profesionalno izložena lica i za stanovništvo ostaju u skladu sa [1] i [2].

Za potrebe priprema Mera sigurnosti i ostalih dokumenata Programa VIND, pored izmena u vezi sa nejasnim uslovom 1% od propisanih granica, značajna je izmena člana 24. Pravilnika 9/99, kako bi se propis uskladio sa IAEA Safety Series RS-G-1.7[5].

Izmenjena verzija Pravilnika 9/99 treba da definiše i količine hrane za pojedinca iz ciljne grupe, kao što je u članu 10. određeno prosečno godišnje unošenje vode za piće ili količina udahnutog vazduha godišnje (član 12). Ovi podaci mogu da budu deo jedne tablele.

Potrebno je uporediti Tabelu 1: Izvedene koncentracije radionuklida u vodi za piće za neke najčešće radionuklide datu u Pravilniku 9/99 sa odgovarajućim vrednostima prema međunarodnim standardima.

LITERATURA

- [1] ICRP, Recommendations of the ICRP, Publication 60, (1991)
- [2] BSS, Safety Series No.115, IAEA, (1996)
- [3] Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije, Službeni list SRJ, br. 9/99
- [4] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni list SRJ, br. 32/98
- [5] Safety Guide No. RS-G-1.7, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA, (2004)

ABSTRACT

**PROPOSAL FOR CHANGING OF THE REGULATION OF THE LIMITS
OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE ENVIRONMENT
AND THE MODALITY OF DECONTAMINATION**

O. Marinković, W. Goldammer¹, R. Maksić, S. Milošević

Regulator Commission on Nuclear Safety,

Ministry of Science and Environmental Protection, Republic of Serbia, Belgrade

¹ Strategic Consulting, Koln, expert of the IAEA, Vienna

The Regulation concerning the limits of exposure to ionising Radiation, Official Gazette of FRY, No. 32/98, define limits according to Basic Safety Standards No. 115 and Recommendations of ICRP 60. Values which prescribe limits, radioactive contamination levels, clearance levels and modality of decontamination are defined by Regulation concerning the limits of radioactive contamination of the environment and the modality of decontamination, Official Gazette of the FRY, No. 9/99.

Regulation 9/99 was partly put in practice during the last years because of a lack of resources humal and financial in radiation protection. Therefore, problems of applying Regulation 9/99 were not identified earlier eventhough there are discrepancies, print errors and contradictory criteria (some articals are too restrictiv).

The Project of Decommissioning of the Vinca nuclear reactor and waste management facilities (Program VIND), requires urgent revision of the Regulation 9/99 and applying of IAEA standards as well as the standards of EU.

Though the Draft Law of Radiation Protection and Nuclear Safety is in adopting procedure it is necessary to amend Regulation 9/99. There will be last some period after adopting the new law until new regulations will be finished. It could be problem for complying tasks inside Program VIND.

NOVE PREPORUKE ICRP U ZAŠTITI OD ZRAČENJA

R. Kljajić, M. Kovačević¹, R. Mitrović
Naučni institut za veterinarstvo, Novi Sad
¹ Institut za nuklearne nauke, Vinča

SADRŽAJ

U postupku revizije postojećeg sistema zaštite ICRP je obezbedila smernice, metode i niz podataka da se proceni doza zračenja i da se odredi rizik koji bi generalno mogao da sintetiše zaštitu ljudi i životne sredine u jedan koherentan radni okvir. Ovo zahteva da se sadašnji sistem zaštite proširi, da se razvije sistem procene rizika ne samo za čoveka već i za ostale vrste kao i životnu sredinu u celini. U tom smislu i sistem zaštite od zračenja koji razvija ICRP a koji treba da se usvoji u obliku preporuka do kraja 2005. godine podrazumeva procenu rizika za ljude, floru, faunu i životnu sredinu, reviziju postojećih preporuka i reformu sistema zaštite od zračenja. U radu su razmatrani opšti okviri reforme sistema zaštite od zračenja koju je najavila ICRP i poziv za aktivnije učešće istraživača, stručnih tela, državnih organa i javnosti u celini u reviziji sistema zaštite od zračenja.

UVOD

Sistem zaštite od zračenja koji je uspostavljen 1990, a opisan u Publikaciji 60 (ICRP, 1991.), razvijan je tokom nekih 30 godina [4]. Prethodne preporuke iz 1977. godine objavljene u Publikaciji 26 (ICRP, 1977.), odredile su tri osnovna principa sistema ograničenja doze: **opravdanost, optimizaciju i ograničenje** [1]. Optimizacija zaštite se primenjivala na izvore zračenja u cilju određivanja da li su doze "**onoliko niske koliko se to realno može postići, uzimajući u obzir socijalni i ekonomski momenat**", a predložene su i pomoćne tehnike [3]. Pored toga ICRP je preporučila i analizu tipa cena-korist [2]: "**Koliko to košta i koliko života se time spašava?**"

Preporuke koje su objavljene u Publikaciji 60 su u kontinuitetu dopunjavane tokom narednih 12 godina dodatnim publikacijama (ukupno 9 publikacija). U tom periodu sistem zaštite od zračenja je postajao sve kompleksniji, pošto je ICRP težila da obuhvati različite situacije u kojima bi se on mogao primenjivati. Ova kompleksnost uključuje opravdanost prakse, optimizaciju zaštite, uključujući i primenu ograničenja doze, kao i primenu ograničenja individualnih doza [5]. Komisija se posebno pozabavila aktivnostima koje bi obuhvatile izloženost zračenju, "**praksu**" kod koje je postojala mogućnost neograničenog planiranja u cilju redukovanja očekivanog porasta doza zračenja, kao i postojećim situacijama gde je jedina moguća aktivnost u okviru zaštite bila neka vrsta "**intervencije**" kako bi se doze zračenja smanjile. Komisija je smatrala neophodnim da se ove preporuke na različite načine primene kod **profesionalne, medicinske i javne izloženosti zračenju**.

Očigledno je da su sve preporuke ICRP od 1990. godine, kako za praksu tako i za intervencije, napravljene u smislu inicijalne restrikcije maksimalne individualne doze u datoj situaciji, nakon čega slede zahtevi za optimizacijom zaštite. U tom smislu napravljen je pomak u smislu svesti o značaju individualne zaštite od izvora zračenja.

Tokom poslednjih nekoliko godina ICRP je preduzela niz aktivnosti u cilju rekapitulacije velikog broja numeričkih vrednosti koje je preporučila u oko deset svojih izveštaja. U tom smislu obavljena je široka rasprava o najboljem načinu da se izrazi filozofija zaštite od zračenja, čije se objavljivanje u vidu narednih preporuka planira do kraja 2005. ili početkom 2006. godine, a koje bi se primenjivale u 21. veku.

OSNOVNE IZMENE U ODNOSU NA PREPORUKE IZ 1990. GODINE

U novim preporukama ICRP je kao primarni cilj definisala uspostavljanje i primenu odgovarajućih standarda zaštite od zračenja ljudi, drugih živih bića i životne sredine. Ovaj cilj se mora postići tako da se u što manjoj meri ograniče poželjne aktivnosti čoveka koje bi pokrenule ili intenzivirale izloženost jonizujućem zračenju. Pri tome se moraju uzeti u obzir pored naučnih podataka etički i ekonomski aspekti kao i procena relativnog značaja različitih vrsta rizika i usklađivanje stepena rizika i koristi.

U slučajevima gde je neophodno izbeći izloženost ili je kontrolisati ljudskim delovanjem, definisani su i zahtevi da se obezbedi odgovarajući minimum ili standard za zaštitu i izloženog pojedinca i društva u celini. Pored toga postoji obaveza, čak i kod niske izloženosti zračenju sa malim rizikom, da se preduzmu koraci kako bi se obezbedio viši nivo zaštite ukoliko su ovakvi koraci efikasni i razumno primenljivi u praksi. Primarni akcenat se trenutno stavlja na zaštitu pojedinca od pojedinačnog izvora, dok bi sledeći korak bio da se zahteva optimizovana zaštita kako bi se postigao najviši nivo zaštite koji je moguć u preovlađujućim okolnostima.

Da bi se realizovali postavljeni ciljevi u novim preporukama je definisano da se postojeći koncept ograničenja (zaštite) proširi i na niz situacija sa nivoima koji obuhvataju i proces optimizacije kod pojedinačnih izvora. Optimizacija zaštite od izvora zračenja može obuhvatiti sam izvor i/ili modifikaciju putanje koja vodi od izvora do doza kod pojedinaca. Ovim pristupom se zamenjuje čitav niz termina koji obuhvataju nivoe intervencije i nivoe aktivnosti. U tom smislu urađena je i revizija faktora zračenja i težinskog faktora za tkiva prilikom definisanja efektivne doze. Novim preporukama obuhvaćena je i koherentna filozofija izloženosti prirodnom zračenju, kao i jasna politika radiološke zaštite životne sredine [6].

NOVI SISTEM ZAŠTITE OD ZRAČENJA OD 2005. GODINE

Osnovno polazište ICRP u novim preporukama je da postoji raspodela odgovornosti za stvaranje novih izvora koji dovode do izloženosti zračenju. Odgovornost pre svega leži na društvu u celini, ali odgovornost jednako imaju i odgovarajuće institucije koje sprovode sisteme zaštite od zračenja.

U tom smislu neophodna je primena principa **opravdanosti**, kako bi se obezbedila opšta korist od datog izvora. Odluke o opravdanosti moraju biti zasnovane na ekonomskim, strateškim, medicinskim, odbrambenim kao i naučnim postavkama. Komisija ima nameru da primeni sistem zaštite u praksi samo ako se to pokazalo opravdanim, pri čemu će biti obuhvaćeni i prirodni izvori zračenja koji se mogu kontrolisati. Opravdanost izlaganja pacijenta u cilju dijagnostike takođe je uključena u nove preporuke. Ona se obrađuje kao posebna tema u okviru preporuka jer obuhvata dve faze donošenja odluke. Prvo, generička procedura mora biti opravdana

za primenu u medicini i drugo, lekar mora opravdati izloženost svakog pojedinačnog pacijenta u smislu koristi koju će on imati od pomenute procedure. Nakon toga sledi zahtev za optimizacijom zaštite pacijenta, a ICRP navodi specifikaciju nivoa dijagnostičkih referenci kao indikatore dobre prakse.

Sistem zaštite od zračenja koji je ICRP razvila u novim preporukama zasniva se na principima, koji se moraju posmatrati kao prirodna evolucija principa navedenih u Publikaciji 60, s tim što se svaki princip detaljnije objašnjava i pojednostavljuje primena u praksi. Za svaki izvor, osnovni standardi zaštite primenjuju se za najizloženije pojedince (ako je pojedinac u dovoljnoj meri zaštićen od izvora zračenja, tada je i društvo zaštićeno od tog izvora zračenja). Ipak, i dalje postoji obaveza za redukciju doza zračenja, a time se postiže i viši nivo zaštite [8].

Sistem zaštite pojedinaca i grupa ima za cilj obezbeđenje koherentnije osnove za zaštitu u odnosu na prethodni. Neophodni osnovni standard zaštite od svakog relevantnog izvora zračenja postiže se kod pojedinaca tako što se postavljaju ograničenja koja se odnose na vrednosti kvantiteta, obično doze, ali to mogu biti i koncentracije aktivnosti. Ograničenja su uglavnom vrednosti na godišnjem nivou, ali to mogu biti i pojedinačne vrednosti, u zavisnosti od okolnosti. Odgovornost za optimizaciju preuzimaju korisnici izvora i odgovarajući nacionalni organi vlasti. Korisnik je odgovoran za svakodnevnu optimizaciju i za obezbeđenje inputa za optimizaciju koja će predstavljati autorizovani nivo za primenu odobrene i dozvoljene prakse [10].

Postojeći sistem, koji je izuzetno kompleksan i koristio je najmanje šest različitih metoda za određivanje numeričkih vrednosti, postavio je maksimalna ograničenja koja su u principu oko deset puta strožija od globalnih prosečnih prirodnih uslova. Pretpostavlja se da je to određeni nivo na kome doza zahteva određenu akciju, bilo da se radi o praksi ili intervenciji, o radnicima ili o javnosti. Postojanje zračenja iz prirodne sredine ne predstavlja opravdanje za dodatnu izloženost zračenju, ali može biti standard za procenu njenog relativnog značaja. Činjenica da efektivna doza prirodnog zračenja na svetskom nivou varira najmanje za faktor deset od regiona do regiona, čak i više ako se uzmu u obzir i najviše doze radona, podržava teoriju da je potrebno pooštriti zabrinutost već na višem stepenu skale prirodnog zračenja. U preporukama se zato navodi skala stepena zabrinutosti i individualne efektivne doze koje se prime u toku godine pri čemu se za referentnu vrednost uzima globalna prosečna godišnja efektivna doza zračenja iz prirode, iz svih izvora od 2,4 mSv prema podacima UNSCEAR iz 2000. godine [12]:

Stepen zabrinutosti	Individualna efektivna doza koja se primi u toku godine
Visok	veća od 100 mSv
Povišen	više od nekoliko desetina milisieverta
Nizak	1-10 mSv
Vrlo nizak	manje od 1 mSv
Ne postoji	manje od 0.01 mSv

Na višim nivoima individualne efektivne doze iznad 100 mSv godišnje, rizik izvora se ne može opravdati, osim u posebnim okolnostima kao što su mere za spasavanje života u slučaju nesreće ili u slučaju letova u svemir. Ovo tako postaje individualno-određena restrikcija doze i odgovarajući organi vlasti moraju obezbediti da ovakvi pojedinci budu zaštićeni od dodatnih doza iz drugih izvora koji se mogu kontrolisati. S druge strane, dodatne efektivne doze koje su ispod godišnjeg nivoa prirodnog zračenja ne bi trebalo da predstavljaju predmet zabrinutosti pojedinca. Ako je efektivna doza kod najizloženijih pojedinaca, ispod 0,01 mSv godišnje, rizik je zanemarljiv i zaštita se može smatrati optimizovanom, pa tako ne zahteva dalju pažnju u smislu novih zakonskih propisa. U oblasti umerenih doza zračenja (doze između milisieverta i nekoliko desetina milisieverta) bilo da se primaju kao pojedinačne doze ili ponovljeno, predstavljaju legitimni razlog zabrinutosti, što zahteva delovanje zakonodavnih tela.

U novim preporukama zadržan je termin "optimizacija zaštite" i primenjuje se i na pojedince i na grupe pod uslovom da se zadovolji restrikcija na nivou individualne doze definisane relevantnim ograničenjem. Proces optimizacije se sada može izraziti mnogo kvalitativnije. Korisnik je odgovoran, na principu dan-za-dan, da obezbedi optimalni nivo zaštite, a to se može postići ako se uključe svi subjekti, radnici i profesionalci, koji će sebi postavljati zadatke u cilju poboljšanja zaštite od zračenja. Za formalniju autorizaciju, koju reguliše zakonodavac u saradnji sa korisnicima, u budućnosti će se vršiti uključivanjem svih subjekata koji su direktno zainteresovani, uključujući predstavnike izloženih grupa, kako bi se odredio ili razmotrio najbolji nivo zaštite u datim okolnostima.

Sistem zaštite se primenjuje i na nove izvore zračenja koji se mogu kontrolisati ili kontinuirano pratiti, kao i na prirodne izvore zračenja koji se mogu kontrolisati. Preporuke se primenjuju u cilju redukovanja doza u slučajevima kada se sam izvor zračenja ili putanja od izvora do izloženih pojedinaca mogu kontrolisati razumnim sredstvima. Izvori koji se ne uklapaju u definiciju "moguće kontrole" isključuju se iz procesa redovne kontrole. U preporukama ICRP definiše koji izvori i izloženosti se isključuju iz sistema zaštite i za koje se neće koristiti termin "izuzeće". Izuzeće se smatra zakonskom odlukom koja se primenjuje na ne-isključene izvore, što određuje odgovarajuće zakonodavno telo. Zakonodavno telo je odgovorno za odlučivanje o tome kada će radioaktivni materijal biti izuzet od kontrole, što u stvari predstavlja "autorizovano izuzeće". Ovo ima za cilj izradu preporuka koje se mogu primenjivati u što širim razmerama i što konzistentnije, bez obzira na poreklo izvora zračenja. Preporuke tako obuhvataju izloženost i prirodnim i veštačkim izvorima zračenjima, sve dok se oni mogu kontrolisati.

U sistem zaštite od zračenja su uključene i eksplicitne preporuke za zaštitu od prirodnih izvora zračenja, s tim da mogućnost kontrolisanja izloženosti određuje da li će ova izloženost biti isključena ili uključena u sistem zaštite [7]. Dobar primer je kontrola radona-222. Komisija predlaže da se ICRP preporuke za radon-222 iz Publikacije 65 (ICRP, 1994.) koje su široko su prihvaćene primenjuju i dalje. Analogan pristup kao kod radona-222 predlaže se i za zaštitu kod ostalih prirodnih izvora zračenja koji se mogu kontrolisati. Za glavne izvore interne i eksterne izloženosti kod materijala iz životne sredine (kalijum-40 i seriju proizvoda raspada urana-238 i torijuma-232) Komisija preporučuje maksimalna ograničenja ovih materijala, zato što ih je nemoguće kontrolisati kao prirodni izvor zračenja. Ograničenja, kao kod radona, ne bi bila izražena u dozimetrijskim veličinama nego više kao koncentracija aktivnosti, pošto je ovaj način prihvatljiviji, uz vrednosti na gornjem delu postojećeg raspona prirodnog zračenja. Odgovarajući zakonodavni organi bi primenili generičku optimizaciju ili široko iskustvo u pogledu praktične primene, kako bi odredili nivo isključenja koji je niži od ograničenja.

Kosmičko zračenje na osnovnom nivou i rezultatna izloženost ne mogu se kontrolisati. Zbog toga se oni isključuju iz novih preporuka. Ograničavanje vremena koje putnici i posada aviona provode na velikim visinama je jedina mera koja se može primeniti za kontrolisanje izloženosti kosmičkim zračenjima. Komisija je preporučila da izloženost posade aviona treba tretirati kao profesionalnu izloženost u sistemu zaštite, a da ne postoji opravdanost za kontrolisanje doza kod putnika i da se ova izloženost zračenju mora isključiti iz sistema zaštite.

Prilikom definisanja dozimetrijskih veličina u prethodnom periodu konstantno su se javljale određene poteškoće i nesuglasice. Komisija je ove nedostatke otklonila tako što je razjasnila definicije i odredila njihovu specifičnu primenu. Predloženo je da se kao novi termin koristi **izmerena prosečna apsorbovana doza** u određenom organu ili tkivu. Više se ne koristi termin "ekvivalentna doza" kako bi se izbegla konfuzija sa terminom "ekvivalent doze" kod prevoda na druge jezike. Implicitno uprosečivanje je validno samo ako je raspon doza takav da važi proporcionalni odnos doza-efekat. Numeričke vrednosti težinskih faktora za tkiva i zračenje kod protona i neutrona su revidirani u skladu sa novim naučnim saznanjima. Predviđeno je da se efektivna doza primenjuje kao kvantitet zaštite i zbog toga se ne sme koristiti za epidemiološke

procene, niti za bilo kakva specifična ispitivanja izloženosti ljudi. Apsorbovana doza bi se trebala koristiti sa odgovarajućim podacima iz oblasti biokinetike, biološke efikasnosti i faktora rizika.

Primena zračenja u medicinske svrhe za tretiranje pacijenata definiše se kroz posebne smernice. Ograničenje doze kod pojedinačnog pacijenta se ne preporučuje, pošto može da donese više štete nego koristi jer često može da umanjí efikasnost kod postavljanja dijagnoze ili efikasnost terapije terapije. U ovakvim slučajevima akcent se stavlja na opravdanosti same medicinske procedure.

U pogledu zaštite životne sredine ICRP nije objavila preporuke o tome kako treba sprovesti zaštitu životne sredine od jonizujućih zračenja. Komisija je 2003. godine usvojila izveštaj o zaštiti životne sredine koji se odnosi se na ulogu koju bi imala ICRP u ovoj značajnoj oblasti, a zasnovan je na konceptu koji je napravljen za zaštitu ljudi i na specifičnoj stručnoj oblasti same Komisije, odnosno radiološkoj zaštiti. Komisija smatra da je neophodan sistematski pristup proceni efekata zračenja za ne-humane vrste kako bi se obezbedila naučna osnova koja bi podržala kontrolu dejstva zračenja u životnoj sredini. Predloženi sistem nema nameru da postavlja zakonske standarde. Komisija samo preporučuje okvir koji može predstavljati praktično sredstvo kojim bi se obezbedio visok savetodavni nivo i preporuke koje bi pomogle zakonodavcu i korisnicima da postignu usaglašenost sa postojećim zakonskim propisima.

Trenutno ne postoje međunarodno prihvaćeni i usaglašeni kriterijumi ili politika koja se eksplicitno odnosi na zaštitu životne sredine od jonizujućeg zračenja, iako veliki broj međunarodnih sporazuma i konvencija ističe potrebu za zaštitom od zagađenja, uključujući tu i zračenje. Nedostatak tehničke osnove za procenu, kriterijuma i standarda priznatih na međunarodnom nivou otežava određivanje da li je životna sredina adekvatno zaštićena od potencijalnog uticaja zračenja u različitim okolnostima [11]. Stav Komisije je da se stvori eksplicitan okvir za procenu koji će podstaći i obezbediti transparentnost procesa donošenja odluka u ovoj oblasti. Komisija predlaže da ciljevi zajedničkog koncepta radiološke zaštite ne-humanih organizama moraju da zaštite okolinu tako što će sprečiti ili smanjiti učestalost pojava za koje postoji verovatnoća da će izazvati ranu smrtnost ili smanjiti reproduktivni efekat kod pojedinih pripadnika flore i faune do nivoa kad će njihov negativan uticaj biti zanemarljiv u pogledu održanja date vrste, biološke raznolikosti ili zdravstvenog stanja prirodne sredine ili zajednice [9].

Na 11. kongresu IRPA 2004. godine u Madridu predstavljene su nove preporuke ICRP. Komisija je do sada potvrdila 5 ključnih dokumenata i stavila ih na raspravu putem interneta sa namerom da rok za konsultaciju bude od aprila do sredina jula 2005. godine:

- Biološke i epidemiološke informacije o riziku za zdravlje koji se pripisuje jonizujućem zračenju: pregled procena svrhe radiološke zaštite
- Osnova dozimetrijskih kvantiteta koji se koriste u radiološkoj zaštiti.
- Procena doza za reprezentativnog pojedinca u svrhu radiološke zaštite pojedinca.
- Optimizacija zaštite: proširenje procesa.
- Zaštita životne sredine: koncept i primena referentnih životinja i biljaka

Navedeni dokumenti se smatraju esencijalnom podlogom za preporuke Komisije, čije se usvajanje i zvanično publikovanje očekuje početkom 2006. godine.

ULOGA PROFESIONALACA, STRUKOVNIH UDRUŽENJA, VLASTI I JAVNOSTI U ODNOSU NA NOVE PREPORUKE ICRP

Nove preporuke ICRP iz oblasti zaštite od zračenja, bez obzira što neće doneti radikalne promene, zahtevaju detaljnu analizu i pripremu za njihovu implementaciju pre svega od strane profesionalaca iz ove oblasti. Posebna pažnja mora se posvetiti pripremi i

usaglašavanju nacionalne zakonske regulative i većem učešću javnosti (posebno izloženih grupa) kako u postupku donošenja tako i primeni zakonskih rešenja. Bez neposrednog učešća svih subjekata, koji su direktno zainteresovani za primenu izvora zračenja i sprovođenje sistema zaštite, nove preporuke i najbolja zakonska rešenja neće moći sprečiti nesporazume, neopravdani strah od zračenja, konfliktne situacije i različita tumačenja o šteti i/ili koristi u primeni izvora zračenja. Uloga javnog mnjenja i modeliranje njegovog stava, o pojmu zračenja, efektima i sistemu zaštite, od raznih interesnih grupa (politike, vlasti, medija, eksperata, trgovačkih lobija i dr.) prema trenutnim potrebama, predstavlja ozbiljan problem koji se može rešiti smo kroz kontinuiranu edukaciju i pružanju pravovremenih, istinitih i razumljivih informacija najširem javnom mnjenju. U tom smislu profesionalci i strukovna udruženja moraju kontinuirano informisati javnost o bezbednosti i zaštiti od zračenja, a politika i vlast obezbediti učešće javnosti u donošenju odluka.

Kontinuirana komunikacija profesionalaca iz oblasti zaštite od zračenja sa javnim mnjenjem je neophodan preduslov pri čemu treba razmotriti:

- Kakva je naša poruka javnosti?
- Kakav je protok informacija između nas i ostalih članova javnosti?
- Koje su to situacije i razlozi kada je potrebno informisati javnost?
- Koliko je rizik zaista visok?
- Ko je onaj ko treba da govori o zaštiti od zračenja?

Odgovore na navedena pitanja treba svakako da da strukovno udruženje koje okuplja profesionalce iz oblasti zaštite od zračenja. Pri tome treba voditi računa da je osnovni zadatak i cilj zaštite od zračenja da svede na minimum ili bar da smanji rizik, kao i da informiše javnost o rizicima od zračenja u najširem smislu. Međutim, profesionalci iz oblasti zaštite od zračenja nemaju kompetenciju da daje izjave o koristi određenih načina primene zračenja. U principu, ovo je vrlo komplikovana situacija koja zaštitu od zračenja nameće ulogu kontrolora i sudije i koja zahteva veliku dozu discipline i kontinuirane samokritike svakog pojedinačnog predstavnika ove oblasti u njegovoj komunikaciji sa javnošću. Poseban problem predstavlja da se svaka interesna grupa pri obrazlaganju svojih uverenja iz oblasti zaštite od zračenja poziva na nauku. Zato se postavlja opravdano pitanje: kome javnost onda da veruje? Sve dok mi sami, kao društvena grupa koja se bavi zaštitom od zračenja, ne možemo ni međusobno da se usaglasimo kod procene rizika, nećemo moći da prenesemo zajedničku i ubedljivu poruku javnosti.

ZAKLJUČAK

ICRP trenutno teži da sistem zaštite od zračenja učini koherentnijim i razumljivijim, ističući potrebu za stabilnošću međunarodnih i nacionalnih zakonskih propisa. Naime, većina zemalja je tek nedavno izvršila implementaciju preporuka iz 1990. godine. Međutim, nova naučna saznanja koja potiču iz perioda nakon 1990. godine i novi zahtevi u smislu društvenih očekivanja će neizbežno dovesti do određenih promena u formulisanju ovih preporuka. Radikalna revizija sistema zaštite od zračenja nije predviđena - radi se više o koherentnom pregledu trenutne politike i pojednostavljivanju njene primene.

Nove preporuke ICRP treba posmatrati kao proširenje preporuka iz Publikacije 60 (ICRP, 1991.) i onih koje su objavljene naknadno, kako bi se dobio jedan unifikovani, jednostavan i koherentan set. Novim preporukama ICRP takođe želi da obuhvati i koherentnu filozofiju izloženosti prirodnom zračenju i da odredi jasnu politiku radiološke zaštite životne sredine.

LITERATURA

- [1] ICRP (1977) Recommendations of the ICRP on radiological protection ICRP Publication 26
- [2] ICRP (1983) Cost-benefit analysis in the optimization of radiation protection ICRP Publication 37
- [3] ICRP (1989) Optimization and decision-making in radiological protection ICRP Publication 55
- [4] ICRP (1991) 1990 Recommendations of the ICRP ICRP Publication 60
- [5] ICRP (2001) A report on progress towards new recommendations: a communication from the International Commission on Radiological Protection J. Radiol. Prot. 21; 113-123
- [6] ICRP (2003) A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species ICRP Publication 91
- [7] Kljajić R., Mašić Z., Kovačević M., Mitrović R. (2001) Međunarodni standardi u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja (International standards in the field of environmental protection from ionizing radiation). Zbornik radova, XXI simpozijum JDZZ, Kladovo, 10 - 12. oktobar, 2001, Beograd, Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Institut za nuklearne nauke 'Vinča', Str.15-24
- [8] Kljajić R. (2002) Vrste zračenja i njihovi efekti na biološke sisteme. Biofizika u poljoprivrednoj proizvodnji, Branko J. Marinković i saradnici, Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, str.15-29
- [9] Kljajić R., Kovačević M., Mitrović R. (2003) Zaštita ljudi i drugih živih bića od jonizujućih zračenja (Protection of humans and other beings from ionizing radiation). Zbornik radova, XXII simpozijum JDZZ, Petrovac n/m, 29. septembar - 01. oktobar, Beograd, Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Institut za nuklearne nauke 'Vinča', Str.35-42
- [10] Kljajić R., Mitrović R. (2004) Jonizujuća zračenja i međunarodni standardi bezbednosti = Ionizing Radiation and International Safety Standards. Veterinarski glasnik, ISSN 0350-2457, 58, 1-2, str.253-265
- [11] OECD (2002) NEA Forum "Radiological Protection of the Environment - The Path Forward to a New Policy?", Taormina, Italy, 12-14 February.
- [12] UNSCEAR (2000) Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York.

ABSTRACT

NEW RECOMMENDATIONS OF ICRP ON RADIOLOGICAL PROTECTION

R. Kljajić, M. Kovačević¹, R. Mitrović
Scientific Veterinary Institute, Novi Sad
¹ Institute For Nuclear Sciences, Vinča

In the framework of revision process of the current radiological protection system ICRP suggested guidelines, methods and scientific information with an aim of determining radiation dose and the radiation hazard, which would result in the establishing of the coherent framework integrating any approach to protection of the environment with that of the protection of human beings. In that respect, the current protection system is to be extended, including the system for risk assessment not only for human beings, but also for other living species and the environment. The new system of radiological protection that is currently being developed by ICRP, and which is to be adopted as Recommendations in 2005, encompasses risk assessment for human beings, flora, fauna and living environment as well as the revision of current recommendations and improvement of the current system of radiological protection.

In this paper general framework of the ICRP reform of the radiological protection system is analyzed, appealing to the researchers, professional and legal authorities and the public to actively take part in this process.

HACCP SISTEM U RADIJACIONO-HIGIJENSKOM NADZORU EKSTENZIVNE I INTENZIVNE STOČARSKE PROIZVODNJE

R. Mitrović, R. Kljajić¹, M. Vićentijević
Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd
¹ Naučni institut za veterinarstvo «Novi Sad», Novi Sad

SADRŽAJ

U radu su izložene preporuke sa postupcima Laboratorije za radijacionu higijenu pri Naučnom institutu za veterinarstvo Srbije u Beogradu («LABRAH»), za uspostavljanje radijaciono-higijenskog nadzora u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji, kao tipičnim predstavnicima ekstenzivnog i intenzivnog uzgoja, primenom HACCP sistema.

UVOD

U svetu i kod nas urađene su brojne studije o kvalitetu i zdravstvenoj ispravnosti namirnica sa radijaciono-higijenskog aspekta u kojim su izučavani izvori i putevi transfera radionuklida, način njihovog dospevanja i migracije, kao i njihov sadržaj u proizvodima animalnog porekla. Iz ovih izučavanja proizašle su mere radijacione higijene i zaštite u stočarstvu koje treba preduzimati u procesu proizvodnje pojedinih vrsta domaćih životinja, maksimalno dozvoljene granice za visokotoksične radionuklide, postupci i metode praćenja radiokontaminanata u pojedinim proizvodnim karikama, kao i osnovni elementi za zakonodavnu regulativu u oblasti ograničavanja ili zabrane upotrebe radijaciono-higijenski neodgovarajućih sirovina i postupaka u procesu proizvodnje stočnih proizvoda.

Početak devedesitih godina prošlog veka u široku primenu je ušao preventivni radijaciono-higijenski nadzor sa nizom postupaka koji se koriste u proizvodnji hrane, kao sistem osiguranja kvaliteta i zdravstvene ispravnosti hrane sa radijacionog aspekta. Ovaj koncept, poznat pod imenom **Sistem analize opasnosti i kritičnih kontrolnih tačaka**, razvijen je još 1959. godine za potrebe svemirskih istraživanja, a u praktičnu primenu kao integrisani sistem u procesu proizvodnje namirnica od **polja i farme do trpeze** u većini zapadnih zemalja uvodi se od 1991. godine. U novije vreme i u našoj zemlji započete su aktivnosti na ovom planu [22,23,24].

Studija praćenja efekata radioaktivnih agenasa na govedarsku i svinjarsku proizvodnju je koncept projekata u kontinuitetu – sa neprekidnim trajanjem. S' toga, neke od preporuka i postupaka o kojima se govori u ovom radu možda će biti izmenjene u budućnosti u svetlu rezultata novih radijaciono-higijenskih ispitivanja i radijacione zaštite. Ali, bez obzira na postojanje takve mogućnosti, u ovom trenutku sadržaj ovog rada je koncipiran na postulatima visoko edukativnog pristupa sa *kratkoročnim* i *dugoročnim* ciljevima [7,8,18,20,21,25,26].

Kratkoročni ciljevi:

- Da se akteri govedarske i svinjarske proizvodnje upoznaju sa mogućnošću radijacione zaštite putem radijaciono-higijenskog nadzora primenom HACCP sistema;
- Da se u redovnim i vanrednim radijacionim uslovima održi kontinuirani proces govedarske i svinjarske proizvodnje korišćenjem preventivnih mera radijacione zaštite i time omogući njihov siguran status na tržištu;
- Da se stvore uslovi za povećanje kvaliteta i bezbednosti proizvoda govedarske i svinjarske proizvodnje sa radijaciono – higijenskog aspekta.

•

Dugoročni ciljevi:

- Održanje i povećanje profitabilnosti govedarske i svinjarske proizvodnje u uslovima akutne i hronične radioaktivne kontaminacije;
- Jačanje sistema radijacione bezbednosti proizvoda govedarske i svinjarske proizvodnje;
- Obezbeđivanje uslova u govedarstvu i svinjarstvu za proizvodnju dovoljnih količina radijaciono–higijenski kvalitetnog mleka i mesa za potrebe države i izvoz;
- Razvoj i edukacija farmera na metodama savremene preventivne radijacione zaštite u funkciji jačanja radijacione bezbednosti u proizvodnim procesima govedarstva i svinjarstva;
- Promovisanje radijacione zaštite zdravlja ljudi i životinja u uzgoju (tovna i mlečna grla), poboljšanje radijaciono – higijenske kontrole, razvoj mera radijacione kontrole u kontekstu radijacione zaštite hrane za životinje, odnosno životinja i njihovih proizvoda, a sve to sa ciljem podrške radijacione bezbednosti i održanja govedarske i svinjarske proizvodnje primenom HACCP sistema u redovnim i vanrednim radijacionim uslovima;
- *Očuvanje prirodnih resursa i životne okoline kao najvažnijeg i najjačeg proizvodnog potencijala za privredu i državu Srbiju.*

PRISTUPNA PROJEKCIJA STUDIJE IZVODLJIVOSTI

Predmet edukativnog pristupa je radijacioni informativni rebalans aktera govedarske i svinjarske proizvodnje. Ostvariće se putem odgovora na projektovana pitanja:

- a) **Postupak** izvođenja radijaciono-higijenskog nadzora govedarske i svinjarske proizvodnje primenom HACCP sistema,
- b) **Procedura** izvođenja radijaciono-higijenskog nadzora govedarske i svinjarske proizvodnje primenom HACCP sistema.

Odgovori su koncipirani na postulatima HACCP sistema i savremene radijacione higijene i zaštite biotehnologije, od relevantnog značaja za ostvarenje nesmetanog odvijanja procesa rada primarne govedarske i svinjarske proizvodnje, u redovnim i vanrednim radijacionim uslovima i održanju kvaliteta i radijacione bezbednosti mleka i mesa [1,2,3,4,11].

POSTUPAK IZVOĐENJA STUDIJE RADIJACIONO-HIGIJENSKOG NADZORA GOVEDARSKE I SVINJARSKE PROIZVODNJE PRIMENOM HACCP SISTEM

Studiju **radijaciono-higijenskog nadzora** (v.) govedarske i svinjarske proizvodnje primenom HACCP sistema treba da obavi **radijacioni HACCP tim** (v.) koji je

završio obuku iz metodologije izvođenja HACCP studije. Sastav i veličina ovog tima treba da budu takvi da se može stručno diskutovati o svim relevantnim pitanjima radijaciono-higijenskog nadzora govedarske i svinjarske proizvodnje i davanje odgovora na ista [1,11]. Stoga je uputno da se radijacioni HACCP tim sastoji, pored stručnjaka iz oblasti govedarske i svinjarske proizvodnje, i od saradnika iz oblasti radijacione higijene i zaštite, kvalifikovanih za **upravljanje radijacionim rizikom** (v.) – [5,6,9,15,16,17,19,20,27,28,29].

Pre sastavljanja radijacionog HACCP tima, kao i njegove obuke, **analize radijacione opasnosti** (v.) u postojećem procesu odgovarajuće primarne govedarske i svinjarske proizvodnje, planiranja projekata, itd., potrebno je obaviti odgovarajuće pripreme koje se odnose na [9,10,11] :

- a) analizu toka i prepoznavanje potencijalne **radijacione opasnosti** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- b) identifikaciju **radijaciono kritičnih kontrolnih tačaka** /RCCPs/ (v.) upravljanja u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- c) utvrđivanje uslova upravljanja za RCCPs u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- d) obrazovanje sistema radijaciono-higijenskog nadzora i **radijaciono-higijenske kontrole** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- e) utvrđivanje interventnih **radijaciono preventivnih mera** (v.) zaštite prilikom gubljenja radijaciono-higijenske kontrole, odnosno radijaciono-higijenskog nadzora u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.
- f) sastavljanje sistema **radijacione verifikacije** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- g) obrazovanje dokumentacionog sistema, odnosno sistema čuvanja **radijacionog zapisa** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

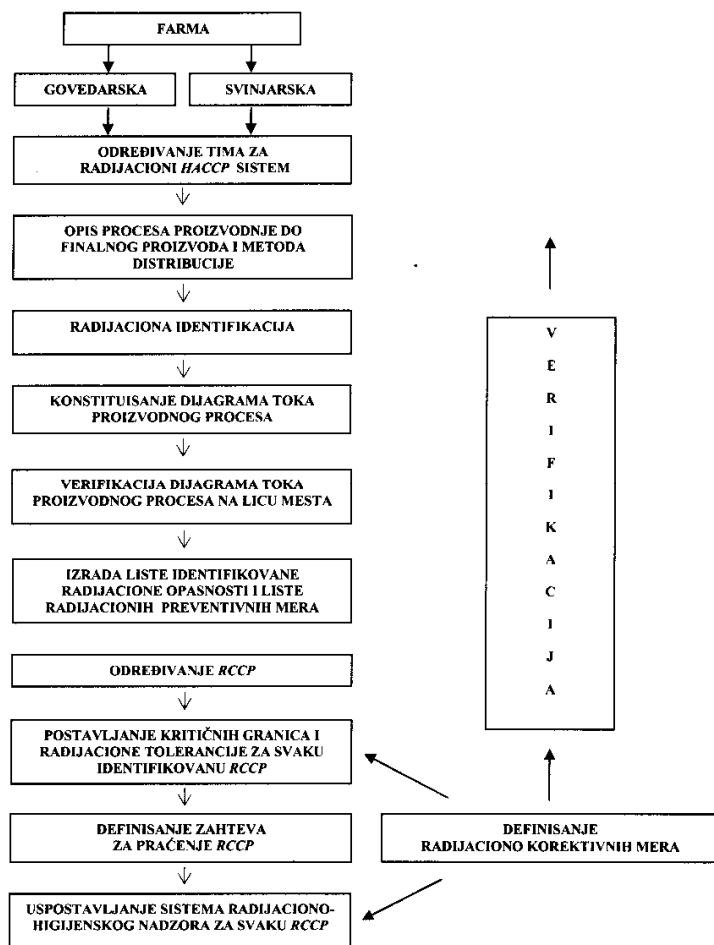
Studija **radijacionog HACCP sistema** (v.) se izvodi u 12 koraka, slika 1 u prilogu, i to [11,12,13]:

- a) sastavljanje radijacionog HACCP tima;
- b) opis govedarske i svinjarske proizvodnje sa svim proizvodno-tehnoškim fazama i distributivnim uvidom od zapata do proizvoda, odnosno od početka uzgoja/tova do finalnog proizvoda;
- c) izrada dijagrama toka procesa odvijanja govedarske i svinjarske proizvodnje;
- d) verifikacija dijagrama toka procesa odvijanja govedarske i svinjarske proizvodnje;
- e) **analiza radijacione opasnosti** (v.), odnosno **radijacionog rizika** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- f) definisanje **radijaciono preventivnih mera** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- g) identifikovanje **radijaciono kontrolnih tačaka** /RCP/ (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- h) uspostavljanje **radijaciono kritična granica** (v.) za radijaciono preventivne mere za svaku identifikovanu RCP u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- i) definisanje zahteva za praćenje **radijaciono kritičnih kontrolnih tačaka** /RCCP/ (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- j) definisanje **radijaciono korektivnih mera** (v.) u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji;
- k) definisanje efektivnih sistema za čuvanje radijacionih zapisa u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji; i
- l) uvođenje postupka za radijacionu verifikaciju funkcionisanja radijacionog HACCP sistema u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

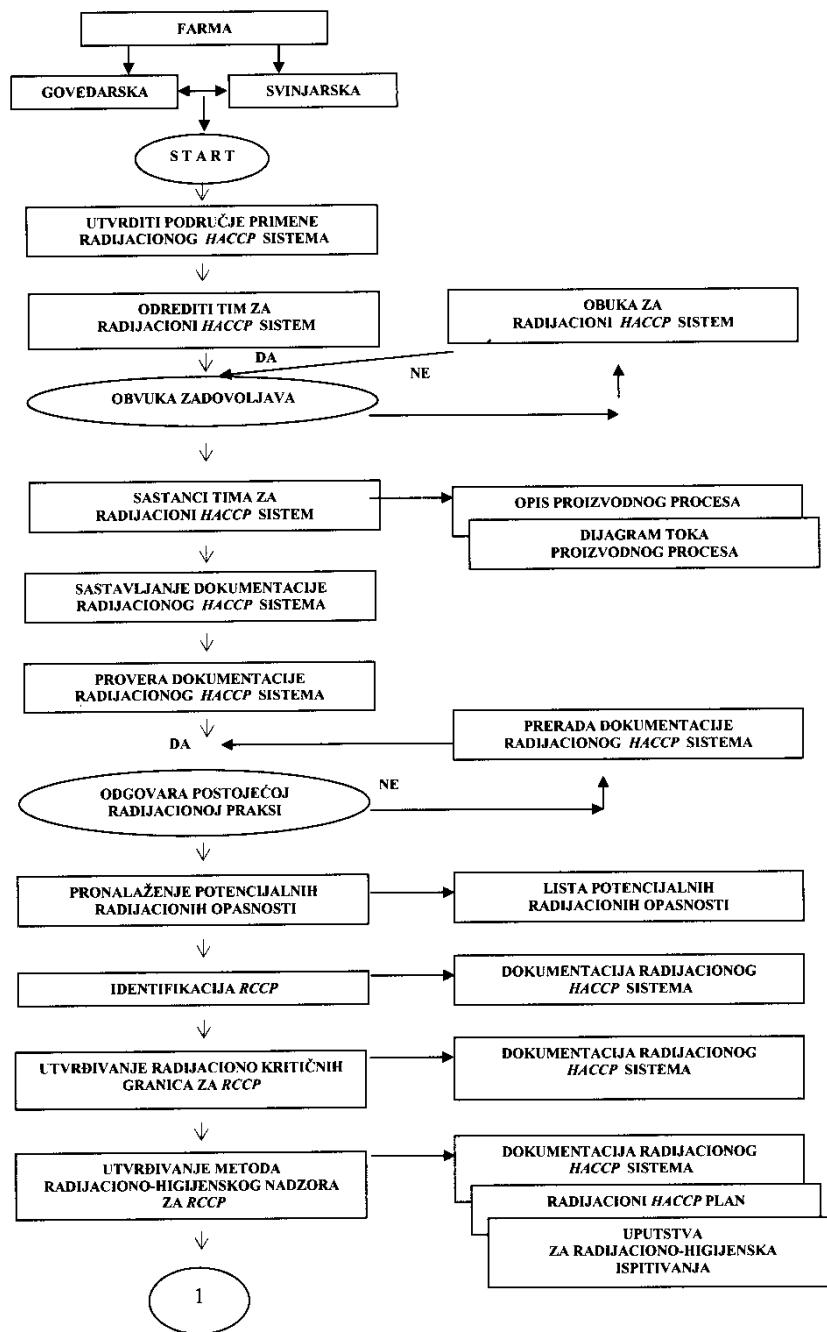
PROCEDURA IZVOĐENJA STUDIJE RADIJACIONO-HIGIJENSKOG NADZORA
PRIMENOM HACCP SISTEMA

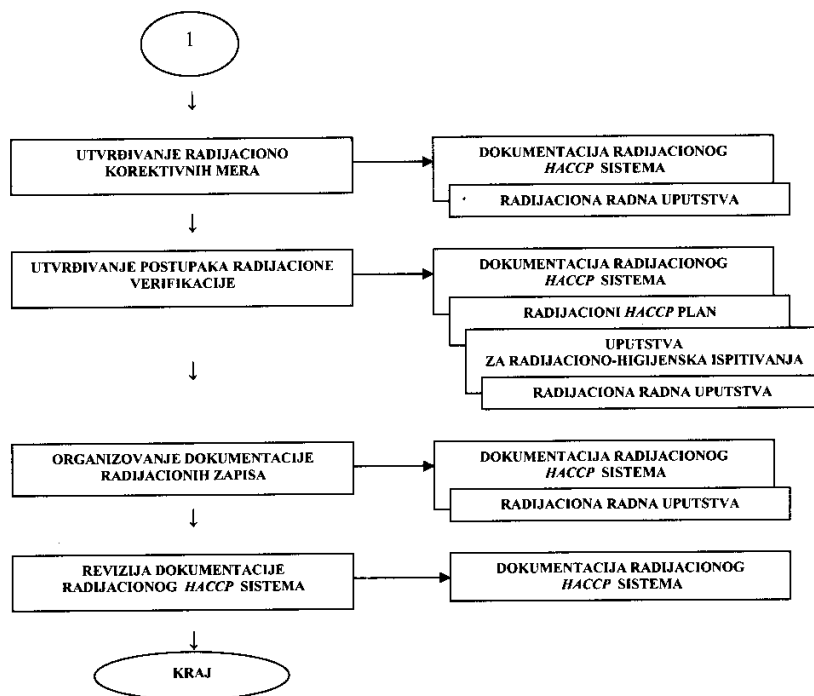
Procedura izvođenja studije radijaciono-higijenskog nadzora primenom HACCP sistema u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji je u načelu slična u svim proizvodnim procesima i ona treba da obuhvati sve do sada navedene postupke prikazane na slici 1.

Na slici 2, u prilogu, dat je dijagram toka takve procedure, bez utvrđenih odgovornosti i ovlašćenja, koje treba da utvrdi svaka govedarska ili svinjarska farma shodno svojim potrebama.



Slika 1. Faze uspostavljanja HACCP sistema u ekstenzivnoj govedarskoj i intenzivnoj svinjarskoj proizvodnji sa radijaciono-higijenskog aspekta





Slika 2. Tok studije HACCP sistema u ekstenzivnoj govedarskoj i intenzivnoj svinjarskoj proizvodnji sa radijaciono-higijenskog aspekta

RADIJACIONE HACCP DEFINICIJE

Radijaciono kritična kontrolna tačka (RCCP) - svaka tačka, faza ili postupak koji se može radijaciono-higijenski kontrolisati da bi se opasnost po radijacionu bezbednost u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji sprečila, eliminisala ili svela na prihvatljiv nivo.

Radijaciono kritična granica - maksimalna i/ili minimalna vrednost u kojoj se radijacioni parametri mogu kontrolisati u *radijaciono kritičnoj kontrolnoj tački* u cilju eliminisanja ili smanjenja na prihvatljiv nivo moguće pojave radijacione opasnosti po zdravstvenu ispravnost proizvoda u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijacioni HACCP plan - pisani dokument zasnovan na principima HACCP-a koji opisuje procedure radijaciono-higijenske kontrole po kojima treba postupiti da bi se održao pod radijacionom kontrolom određeni postupak ili proces u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijaciona opasnost - predstavlja fizičko-hemijsku karakteristiku koja može da uzrokuje da govedarska i svinjarska proizvodnja bude radijaciono nebezbedna, anjoihovi proizvodi (mleko, meso) zdravstveno neispravni.

Radijaciono-higijenski nadzor - predstavlja sprovođenje planirane radijaciono-higijenske kontrole u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji radi utvrđivanja *radijaciono kritičnih*

granica da bi se ustanovilo da li je *radijaciono kritična kontrolna tačka* pod radijaciono-higijenskim nadzorom i da bi se napravio tačan zapis koji će se koristiti pri verifikaciji.

Radijaciono preventivna mera - predstavlja postupak kojim bi se kontrolisala identifikovana radijaciona opasnost u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji, odnosno svaka akcija pomoću koje se izuzima, odstranjuje, eliminiše ili smanjuje radijacioni rizik i sprečava ponovno radijaciono zagađivanje primenom odgovarajućih efektivnih mera.

Radijaciona verifikacija - korišćenje metoda, postupaka i testova koji se dodatno koriste za utvrđivanje da je u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji primenjeni sistem HACCP usaglašen sa *radijacionim HACCP planom*.

Radijaciono odstupanje - predstavlja nepoštovanje *radijacionih kritičnih granica* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijaciona korektivna mera - predstavlja akcije koje se sprovode kada se pojave *radijaciona odstupanja* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijaciono prihvatljivi nivo - predstavlja prisustvo radijacione opasnosti kod koje ne postoji verovatnoća da će se izazvati neprihvatljivi radijacioni rizik u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijaciono kontrolna tačka (RCP) - svaka tačka, faza ili postupak gde se mogu kontrolisati radionuklidi i njihov uticaj u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijacioni rizik - procenjena verovatnoća pojave *radijacione opasnosti* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Kategorija radijacionog rizika - jedna od kategorija *radijacionog rizika* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji određena na osnovu radijaciono nebezbedne hrane za životinje u uzgoju/tovu.

Radijaciono osetljivi sastojak - svaki sastojak za koji se zna da uzrokuje ili doprinosi u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji potencijalno radijaciono-higijensku opasnost.

Radijaciono-higijenska kontrola - upravljanje uslovima rada u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji u cilju održavanja usaglašenosti sa uspostavljenim radijacionim kriterijumima, odnosno stanje u okviru koga se sprovode odgovarajući radijaciono-higijenski postupci i zadovoljavaju postavljene radijacioni kriterijumi.

Stablo odlučivanja o radijacionim kritičnim kontrolnim tačkama - predstavlja niz pitanja pomoću kojih se utvrđuje da li je neka tačka *radijaciono kontrolna tačka* i *radijaciono kritična kontrolna tačka* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijacioni HACCP tim - tim ljudi odgovornih za izradu *radijacionog HACCP plana* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijacioni ciljni nivoi - radijacioni kriterijumi koji su mnogo strožiji od *radijaciono kritičnih granica*, koje koristi operater da smanji *radijacioni rizik*, odnosno *radijaciono odstupanje* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijacioni HACCP sistem - rezultat primene *radijacionog HACCP plana* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Analiza radijacione opasnosti - proces sakupljanja i evaluacija informacija o *radijacionom riziku* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji u cilju određivanja njegove značajnosti i evidencije u *radijacionom HACCP planu*.

Hrana za životinje - podrazumeva sve što se upotrebljava u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji za hranu ili piće u prerađenom ili neprerađenom stanju.

Radijaciono-higijenski neispravna hrana za životinje - podrazumeva hranu za životinje koja sadrži radionuklide ili su ozračene iznad granica određenih propisima.

Upravljanje radijacionim rizikom - sistematska primena politike upravljanja, procedura i prakse za analizu, evaluaciju, kontrolu i izveštavanje o *radijacionom riziku* u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

Radijacioni zapis - dokument kojim se iskazuje dobijeni radijacioni rezultat ili daju dokazi o izvršenim radijaciono-higijenskim aktivnostima u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji.

ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

Na početku novog milenijuma široko je prisutna svest da opasnost od radioaktivnih agenasa po zdravlje humane populacije dolazi putem lanca ishrane gde na različite i mnogostruke načine postoji mogućnost radioaktivne kontaminacije koja se može preneti i na konačan proizvod. Očigledno je da se radijacioni rizik po zdravlje može najefikasnije smanjiti ako su tačke radijacione opasnosti identifikovane i ako je radijacioni rizik u svakoj od njih smanjen primenom adekvatnih mera radijaciono-higijenske kontrole i radijacione zaštite.

Nova filozofija u inspekcijском nadzoru hrane koja se razvija u Evropskoj uniji zasniva se na samokontroli. Prihvaćeno je da je u najboljem interesu proizvođača hrane da preduzme i primeni sve neophodne preventivne mere radijacione higijene i zaštite za obezbeđenje zdravstvene ispravnosti i kvaliteta hrane do nivoa potrošača. Stoga, očekuje se od samih farmara da obrate posebnu pažnju na problem *radijacione higijene i zaštite* i koristeći proaktivnu, u ovom radu izloženu, sistematsku metodologiju, na primeru govedarske i svinjarske proizvodnje, obezbede da gotov stočni proizvod (mleko i meso) bude pouzdanog prethodno utvrđenog radijacionog kvaliteta, a samim tim i nivoa zdravstvene ispravnosti.

Primenom HACCP sistema u govedarskoj i svinjarskoj proizvodnji, obezbediće se da se u proizvodnom sistemu sve akcije odvijaju na transparentno jasan i dokumentovan način, čime se obezbeđuje sticanje poverenja potrošača, i ono što je posebno i najvažnije mogućnost dobijanja zvaničnog sertifikata o radijaciono-higijenskim uslovima proizvodnje i radijacionom opterećenju gotovih proizvoda - mleka i mesa.

LITERATURA

- [1] Aćamović N., R. Kljajić. 2003. Razvoj sistema analize opasnosti i kritične kontrolne tačke (HACCP) u proizvodnji hrane. *Monografija, 1-209 str.* Naučni institut za veterinarstvo, Novi Sad.
- [2] Codex Alimentarius Food Hygiene Basic Text – Food and Agricultural Organization of the United Nations – World Health Organization. 1997. Roma.
- [3] Commission of the European Communities. 2000. *White paper on food safety*, COM (1999) 719 final. Brussels.
- [4] Food Safety Issues. 1997. *HACCP - Introducing the Hazard Analysis and Critical Control Point System*. Food Safety Unit - Programme of Food Safety and Food Aid, WHO/FSF/FOS/97.2, World Health Organization.
- [5] Kaiser Thomas-Christian. 2002. Methods of organization of national institutions for standardization-foreign experience - the din example. *Total quality management, Vol. 30, Br. 2, 22-27*, Yugoslav Union for Standards and Quality, Belgrade.
- [6] Kljajić R., Z. Mašić, V. Katić, L. Stojanović. 2000. Primena analize rizika u kontroli namirnica životinjskog porekla. 12. Savetovanje veterinarara Srbije, Vrnjačka Banja. *Zbornik radova i kratkih sadržaja, 169-178*, Srpsko veterinarsko društvo, Beograd.
- [7] Kljajić R., Z. Mašić, M. Kovačević, R. Mitrović. 2001. Međunarodni standardi u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja. XXI Simpozijum JDZZ, *Zbornik radova, 15-24*, Kladovo.
- [8] Kljajić R. 2002. Međunarodni standardi i bezbednost hrane. Zdrastveno bezbedna hrana, Eko-konferencija 2002, 25-28 septembar, *Zbornik kratkih sadržaja, 301-* Novi Sad, Ekološki pokret Grada Novog Sada.
- [9] Kljajić R., G. Ušćebrka, D. Žikić. 2002. Regulativa EU u oblasti zdravstvene zaštite stočarske proizvodnje. *Savremena poljoprivreda, Vol. 51, 3-4, str. 257-260*, Novi Sad.

- [10] Kljajić R., G. Ušćebrka. 2002a. Standardization and Quality in the Production of the Health-Safe Foodstuffs of Animal Origin. IV International Congress, May 29-31, 2002, *Total Quality Management, Vol. 30, No. 3-4, pp. 127-130*, (CD-ROM), Yugoslav Union for Standards and Quality, Belgrade.
- [11] Kljajić R., D. Nedić, N. Aćamović, B. Vidić, J. Petrović. 2003. Integrirani sistemi za bezbednost hrane, 9. Savetovanje veterinarar Republike Srpske, Teslić, 2003., *Veterinarski žurnal Republike Srpske, Vol. III, br. 1-2, 50-57*.
- [12] Kljajić R., Vidić B., Petrović J. 2003a. Standardi za bezbednost hrane. Savremeni trendovi u mlekarstvu, Simpozijum mlekarske industrije Srbije i Crne Gore, 07-11.maj, Zlatibor, *Zbornik radova, 6-10*, Beograd, Zajednica stočarstva.
- [13] Kljajić R., R. Mitrović. 2003. Jonizujuća zračenja i međunarodni standardi bezbednosti. *Zbornik radova Clinica veterinaria 2003, 244-246*, Budva.
- [14] Kljajić R., M. Živkov-Baloš, J. Petrović, O. Rackov. 2003b. HACCP sistem i bezbednost hrane za životinje. *Bezbednost i kvalitet, X Simpozijum tehnologije stočne hrane sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, 56-64*, Vrnjačka banja.
- [15] Mitrović R. 1995. Osnove preventivne radijacione zaštite u vanrednom događaju i preporuke Međunarodne agencije za atomsku energiju. *Monografija, 1-137 str.* Izd. Veterinarska komora Srbije, Beograd.
- [16] Mitrović R. 1996. Upravljanje radijaciono-higijenskim kvalitetom u biotehnologiji. *Kvalitet, Vol VI, br. 1-2*, Beograd.
- [17] Mitrović R., R. Kljajić, B. Petrović. 1996. Sistem radijacione kontrole u biotehnologiji - vodeća knjiga. *Monografija, 1-386 str.* Izd. Naučni institut za veterinarstvo "Novi Sad", Novi Sad.
- [18] Mitrović R. 1997a. Upravljanje radijaciono-higijenskim kvalitetom u živinarskoj proizvodnji. *Nauka u živinarstvu, № 1-2, 93-105*, Beograd.
- [19] Mitrović R. 1997b. Radioaktivnost u funkciji poboljšanja kvaliteta hrane sa zdravstvenog aspekta. *Kvalitet, No 5-6, 63-70*, Beograd.
- [20] Mitrović R. 2001. Radioaktivnost u životnoj sredini – ugroženost, zaštita, preventiva, radioaktivna dekontaminacija. *Monografija, 1-238 str.* Izd. "VRELO", Zemun.
- [21] Mitrović R. 2003. Terorizam u poljoprivredi preko biološke sabotaže. *Glas veterinara, Vol. 1, Br. 3, 8-9*, NIVS-Beograd.
- [22] Mitrović R., R. Kljajić, M. Vićentijević. 2004a. HACCP sistem garant kvaliteta i nosilac preventivne zdravstvene zaštite od RHB agenasa preko terorizma i sabotaža u poljoprivredi. *Biotechnology in animal husbandry, Vol 20, №3-4, 133-150*, Belgrade.
- [23] Mitrović R., M. Vićentijević, R. Kljajić. 2004b. Primena HACCP sistema u radijaciono-higijenskom nadzoru biotehničke proizvodnje. *Veterinarski glasnik, Vol. 58, Dodatak 1-2, 265-279*, Beograd.
- [24] Mitrović R., R. Kljajić, M. Vićentijević, Suzana Bogojević. 2004c. Postupak uspostavljanja radijaciono-higijenskog nadzora biotehnologije primenom HACCP sistema. *Tehnologija mesa, Vol. 45, № 3-4, 136-148*, Beograd.
- [25] Morrison, R.M., J.C. Buzby, and C.-T.J. Lin. 1997. Irradiating ground beef to enhance food safety. *Food Review, Volume 20, Pages 33-35*.
- [26] Pczola, D.E. 1992. Irradiated produce reaches Midwest market. *Food Technologies, Volume 45, Number 5, Pages 89-92*.
- [27] Petrović B., R. Mitrović. 1991. Radijaciona higijena u biotehnologiji. *Monografija, 1-333 str.* Izd. "Naučna knjiga", Beograd.
- [28] Petrović B., R. Mitrović. 1994. Radijaciona zaštita u biotehnologiji. *Monografija, 1-206 str.* Izd. "DP Institut za mlekarstvo", Beograd.
- [29] WHO. 1994. "Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food". World Health Organization, Geneva,.

ABSTRACT

HACCP SYSTEM

R. Mitrović, R. Kljajić¹, M. Vićentijević

Scientific Institute for veterinary, Serbia in Belgrade

¹ Scientific Institute for veterinary, „Novi Sad“, Novi Sad

In this paper are presented recommendations along with methods of Laboratory for radiation hygiene, (Scientific Institute for veterinary, Serbia in Belgrade), for establishing radiation monitoring of cattle and swine production, as a typical examples of extensive and intensive breeding, with the use of HACCP system.

2. Radioekologija

RADIOCEZIJUM-137 U ŽIVOTNOJ SREDINI PLANINE MALJEN I TOPLIČKOG OKRUGA

G. Vitorović, B. Mitrović, V. Andrić¹, D. Vitorović²

Fakultet Veterinarske medicine, Beograd,

¹Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd;

²Poljoprivredni fakultet, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja nivoa aktivnosti ¹³⁷Cs u uzorcima iz životne sredine planine Maljen i Topličkog okruga. Dobijeni rezultati su pokazali da je područje planine Maljen region sa povišenim nivoom aktivnosti radiocezijuma. Čak i 20 godina posle nuklearne nesreće u Černobilu izmeren je povećan nivo ¹³⁷Cs u zemljištu (145,7 Bq/kg), gljivama (226 Bq/kg), mleku ovaca (16,5 Bq/kg) i mleku koza (24,0 Bq/kg). U odnosu na ove vrednosti, područje Topličkog okruga predstavlja region sa niskim nivoom aktivnosti ¹³⁷Cs u životnoj sredini.

UVOD

Radioaktivni izotop ¹³⁷Cs je dospao u životnu sredinu putem fallout-a nakon nuklearnih proba šezdesetih godina i posle nesreće u Černobilu 1986. godine. Sudbina ¹³⁷Cs koji je dospao u zemljište bitno zavisi od karakteristika samog zemljišta a njegovo kumuliranje je moguće tokom dugog vremenskog perioda. Iz zemljišta, ¹³⁷Cs dospeva u biljke procesom translokacije preko korenovog sistema. Domaće životinje, konzumiranjem biljne mase unose ga i deponuju u tkiva i organe, a preko animalnih proizvoda (mleko, meso) može doći do ugrožavanja zdravlja ljudi. Tome u velikoj meri doprinose i šumski plodovi, posebno gljive. Veliki broj autora izveštava o visokoj koncentraciji ¹³⁷Cs u gljivama (Gasó i sar., 1998; Barnet i sar., 1999; Gillet i Crout, 2000; Steiner i sar., 2002; Vitorović i sar., 2004). Jedan od glavnih razloga za to je visok afinitet gljiva za koncentrisanjem velike količine radiocezijuma u svom telu. To ih čini dobrim bioindikatorima prisustva radiocezijuma u životnoj sredini.

Zbog dugog vremena poluraspada (27 godina) ¹³⁷Cs se i danas, posle 20 godina od Černobila, može detektovati. Stepenn njegovog prisustva nije isti u svim regionima Srbije, što je, između ostalog, uslovljeno nejednakom aktivnosti ¹³⁷Cs u padavinama 1986. godine. Tako Pantelić i sar. (2004) navode da je u regionu Užica aktivnost ¹³⁷Cs u padavinama bila najveća, što je dovelo do njegove veće aktivnosti u zemljištu, ljudskoj i stočnoj hrani. Slično tome, Vitorović i sar. (2004) ističu i da je područje planine Maljen region sa povećanom aktivnosti ¹³⁷Cs.

Cilj ovog rada je da se prikažu uporedni rezultati merenja nivoa aktivnosti ¹³⁷Cs u uzorcima iz životne sredine dva regiona Srbije sa potencijalno različitim prisustvom ¹³⁷Cs.

MATERIJAL I METOD RADA

Uzorci zemljišta, sena, mleka krava, ovaca i koza, kao i gljiva i meda, sakupljani su tokom maja i juna meseca 2003. i 2004. godine na više lokaliteta sa različitim nadmorskom visinom na području planine Maljen i Topličkog okruga.

Uzorci zemljišta su sušeni na 105 °C, homogenizovani i ostavljeni 40 dana do uspostavljanja ravnoteže. Uzorci sena su spaljeni i mineralizovani ostavljeni 40 dana do uspostavljanja ravnoteže. Uzorci mleka su mineralizovani uz prethodno oslobađanje viška vode a zatim ostavljeni 40 dana do uspostavljanja ravnoteže. Uzorci gljiva su sušeni, usitnjavani, spaljivani i mineralizovani a zatim ostavljeni 40 dana do uspostavljanja ravnoteže.

U svim uzorcima je određivana aktivnost ^{137}Cs . Gamaspektrometrijska merenja obavljena su na HP Ge detektoru, rezolucije 1,95 keV, relativne efikasnosti 25 % na 1,33 MeV firme ORTEC (relativna greška pripreme uzoraka i merenja je $\pm 10\%$). Vreme merenja uzoraka iznosilo je 86 400 s.

REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Sa porastom nadmorske visine povećava se aktivnost ^{137}Cs u zemljištu, kako na području planine Maljen tako i Topličkog okruga (tabela 1). Međutim, znatno veće vrednosti su izmerene na panini Maljen. Aktivnost ^{137}Cs u zemljištu je prosečno više od 6 puta veća nego na području Topličkog okruga.

Tabela 1. ^{137}Cs u zemljištu područja planine Maljen i Topličkog okruga (Bq/kg)

Nadmorska visina (m)	Maljen	Toplički okrug
Do 300	21,1 \pm 0,7	6,4 \pm 0,2
650	32,4 \pm 1,2	6,4 \pm 0,1
1000	145,7 \pm 4,5	17,5 \pm 0,5
Prosečno	66,4 \pm 1,9	10,1 \pm 0,4

Srednja vrednost \pm standardna devijacija

Visok nivo aktivnosti ^{137}Cs u zemljištu odrazio se i na aktivnost ovog radionuklida u senu (tabela 2). Pri tome je aktivnost ^{137}Cs u senu sa planine Maljen bila četiri puta (32,4 Bq/kg) veća u odnosu na Toplički okrug (8,1 Bq/kg).

Tabela 2. ^{137}Cs u senu i mleku krava područja planine Maljen i Topličkog okruga (Bq/kg)

Uzorak	Maljen	Toplički okrug
Seno	32,4 \pm 1,9	8,1 \pm 4,1
Mleko krava	4,5 \pm 0,2	0,1 \pm 0,05

Srednja vrednost \pm standardna devijacija

Aktivnost ^{137}Cs u mleku krava je direktna posledica konzumiranja sena, s obzirom da su uzorci mleka uzimani u toku proleća, kada je dominantna još uvek zimska ishrana, posebno na visokoj nadmorskoj visini (1000 m). Iz tabele 2 se može videti da mleko krava iz Topličkog okruga ima nisku aktivnost ^{137}Cs (0,1 Bq/kg) koja je višestruko manja u odnosu na krave sa planine Maljen (4,5 Bq/kg).

Povišen nivo aktivnosti ^{137}Cs u mleku domaćih životinja sa planine Maljen je posebno izražen u analizi mleka ovaca i koza (tabela 3). Mleko ovih životinja je imalo 4 do 5 puta veću aktivnost ^{137}Cs nego mleko krava.

Tabela 3. ^{137}Cs u mleku krava, ovaca i koza područja planine Maljen

Vrsta mleka	^{137}Cs (Bq/kg)
Mleko krava	$4,5 \pm 0,2$
Mleko ovaca	$16,5 \pm 0,4$
Mleko koza	$24,0 \pm 1,0$

Srednja vrednost \pm standardna devijacija

Najizraženiju potvrdu da se radi o dva regiona sa izrazitim razlikama u prisustvu ^{137}Cs u životnoj sredini, dala su ispitivanja gljiva (Tabela 4). Aktivnost ^{137}Cs u gljivama sa planine Maljen je iznosila 226 Bq/kg, što je oko 100 puta više nego u gljivama ($1,9 \text{ Bq/kg}$) Topličkog okruga. O gljivama kao dobrim bioindikatorima za ^{137}Cs izveštavaju takođe Gaso i sar. (1998), Barnet i sar. (1999), Gillet i Crout (2000), Steiner i sar. (2002), Vitorović i sar. (2004).

Tabela 4. ^{137}Cs u medu i gljivama krava planine Maljen i Topličkog okruga (Bq/kg)

Uzorak	Maljen	Toplički okrug
Gljive	$226,0 \pm 27,0$	$1,9 \pm 0,3$
Med	$0,8 \pm 0,3$	$0,5 \pm 0,1$

Srednja vrednost \pm standardna devijacija

Aktivnost ^{137}Cs u medu je bila niska i nije se razlikovala između planine Maljen ($0,8 \text{ Bq/kg}$) i Topličkog okruga ($0,5 \text{ Bq/kg}$).

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je područje planine Maljen region sa povišenim nivoom aktivnosti ^{137}Cs u životnoj sredini. U svim uzorcima a posebno zemljištu, gljivama, senu i mleku ovaca i koza ustanovljena je i danas, 20 godina posle Černobila, visoka aktivnost ^{137}Cs . Nasuprot tome, za Toplički region se može reći da je radioekološki ispravan, odnosno, region sa niskom aktivnošću ^{137}Cs u životnoj sredini.

LITERATURA

- [1] Barnet C., Beresford N., Self P., Howard B., Franland J., Fulker M., Dodd B., Marriot J.: Radiocesium activity concentration in the fruit-bodies of macrofungi in Great Britain and an assessment of dietary intake habits. The Sci. of Total Envir., 231, 67-83, 1999.
- [2] Gaso M., Segovia N., Herrera T., Perez-Silva E., Cervantes M., Quinteri E., Palacios J., Acosta E.: Radiocesium accumulation in edible mushrooms from coniferous forests around the Nuclear centre of Mexico. The Sci. of Total Envir., 223, 119-129, 1998.
- [3] Gillet A., Crout M.: A review of Cs-137 transfer to fungi and consequences for modeling environmental transfer. Journal of Environmental Radioactivity, 48, 95-121, 2000.
- [4] Pantelić G., Tanasković I., Javorina L.J., Vitorović G., Vuletić V.: Aktivnost ^{137}Cs u uzorcima iz životne sredine regiona Užica. Veterinarski glasnik 58 (Suppl.), 233-239, 2004.
- [5] Steiner M., Linkov I., Yoshida S.: The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems. Journal of Environmental radioactivity, 58, 217-241, 2002.

[6] Vitorović G., Slavata B., Vitorović D.: ^{40}K i ^{137}Cs u gljivama planine Maljen. Veterinarski glasnik, 58 (Suppl.), 207-210, 2004.

ABSTRACT

RADIOCESIUM-137 IN THE ENVIRONMENT OF MALJEN MOUNTAIN AND TOPLICA AREA

G. Vitorović, B. Mitrović, V. Andrić¹, D. Vitorović²
Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade,
¹Institute of Nuclear Science „Vinča“, Belgrade,
²Faculty of Agriculture, Belgrade

The activity of ^{137}Cs was measured in the samples taken from environment of Maljen mountain and Toplica area. Obtained results showed that Maljen mountain is area with elevated ^{137}Cs activity. 20 years after the Chernobyl accident, high ^{137}Cs activity was established in the samples of soil (145,7 Bq/kg), mushrooms (226 Bq/kg), milk of sheep (16,5 Bq/kg) and milk of goats (24,0 Bq/kg). These activities were much higher than in the Toplica area which is area with low ^{137}Cs activity in the environment.

KRITERIJUM ZA ODREĐIVANJE POVIŠENOG NIVOA AKTIVNOSTI PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA REČNOG SEDIMENTA

E. Varga, M. Krmar
Departman za fiziku, PMF, Novi Sad

SADRŽAJ

Analizirane su vrednosti koncentracija aktivnosti izotopa ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K izmerene u uzorcima sedimenta iz Dunava i kanala DTD. Pokazano je da se vrednosti međusobnih odnosa koncentracija aktivnosti kreću u bitno užem opsegu nego što je to slučaj kod samih vrednosti koncentracija aktivnosti pojedinačnih radioizotopa. To otvara mogućnost da se na osnovu većeg broja merenja uzoraka iz prirode, na osnovu distribucije vrednosti odnosa aktivnosti radionuklida donese zaključak da li je u nekim od njih povišena koncentracija nekog od izotopa.

UVOD

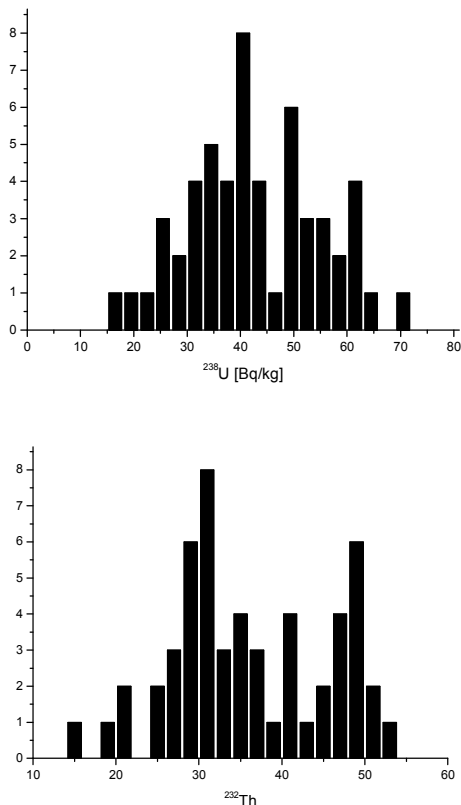
Rečni sediment je kompleksan materijal koji se sastoji od mineralne (neorganske), kao i organske komponente koja potiče od taloženja delova tela nekadašnjih živih organizama. Neorganska, ili mineralna komponenta kao i zemljište poseduje izvesnu količinu prirodnih radioaktivnih elemenata, članova torijumovog i dva uranova niza, kao i ^{40}K . Budući da je nošen rečnim tokom, sediment je daleko mobilniji od okolnog zemljišta. Zbog mogućnosti transporta na veća rastojanja i intenzivnog mešanja rečni sediment je veoma često ispitivan [1]. U ovom radu će posebna pažnja biti posvećena prirodnim radionuklidima. Oni već postoje u mineralnoj komponenti sedimenta, ali takođe mogu biti i uneseni u rečne tokove da bi konačno dospeli taloženjem u sediment. Površinske vode koje konačno doppevaju do rečnih tokova ispiraju sa površine i nose sa sobom i prirodne i veštačke radionuklide. Takođe postoji verovatnoća da se u reke putem otpadnih voda ispusti i određena količina radioaktivnih elemenata. Od svih prirodnih radioaktivnih elemenata, svakako je najzanimljiviji ^{238}U , pošto se on može naći u malim količinama u mineralim đubrivima, sirovinama od kojih se proizvode deterdženti itd. Ukoliko se uzmeri koncentracija aktivnosti ^{238}U u nekom uzorku sedimenta, i ako ona dramatično ne odstupa od nekih ustaljenih vrednosti merenih ranije, budući da ^{238}U već postoji u količini od nekoliko desetina Bq/kg u sedimentu, ostaje otvoreno pitanje, kako bi se na osnovu dobijene vrednosti moglo zaključiti da li se ona može smatrati normalnom za datu lokaciju ili je nešto povišena.

MERENJA I REZULTATI

Uzorci sedimenta su uzeti sa 54 lokacije na Dunavu i 20 lokacija na DTD kanalima. Uzorci su sušeni do konstantne mase na 80°C , da bi nakon toga bili mehanički

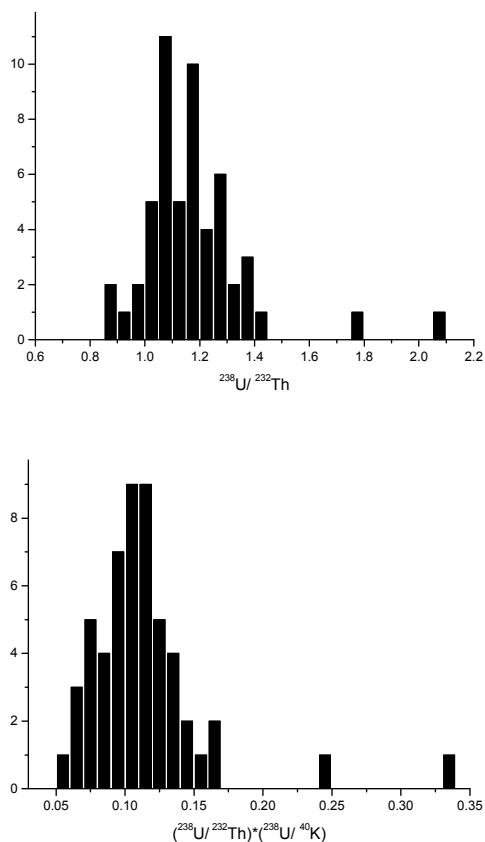
usitnjeni i upakovani u standardnu cilindričnu geometriju ($D = 7.65$ cm i $h = 6.2$ cm). Gama spektri su snimati HPGe detektorom u gvozdenoj zaštiti debljine 25 cm. Na osnovu intenziteta gama linija, izračunate su koncentracije aktivnosti ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K za svaki od uzoraka.

Na slici 1 je prikazana distribucija izmerenih vrednosti aktivnosti ^{238}U i ^{232}Th dunavskog sedimenta. Može se videti da je maksimalna vrednost koncentracije ^{238}U odprilike pet puta veća od minimalne izmerene koncentracije. Opseg kod kod ^{232}Th je nešto uži, najveća i najmanja vrednost se razlikuju za nešto manje od četiri puta.



Slika 1. Izmerene vrednosti koncentracija aktivnosti ^{238}U i ^{232}Th u sedimentu iz Dunava

Na osnovu gornje slike teško je odrediti da li se neka od izmerenih vrednosti ^{238}U može smatrati povišenom ili ne. U našim prethodnim radovima [2], ustanovljeno je kako se u uzorcima zemljišta odnos prirodnih radionuklida održava. Ukoliko bi u nekom od uzoraka postojala povišena koncentracija ^{238}U , to bi se moglo uočiti preko promene odnosa koncentracije ^{238}U i ^{232}Th , ili ^{238}U i ^{40}K . Na slici 2 je prikazana distribucija ovih odnosa za uzorke sedimenta iz Dunava.

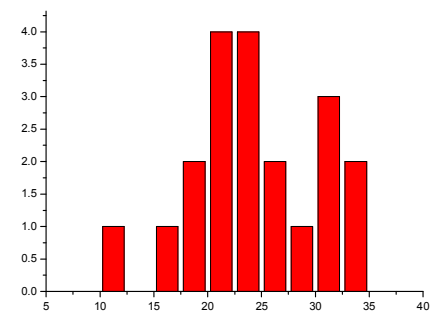
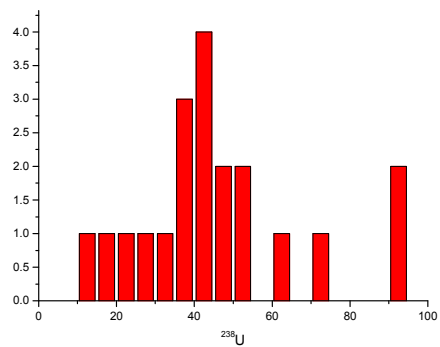


Slika 2. Raspodela vrednosti odnosa koncentracija prirodnih radionuklida u dunavskom sedimentu

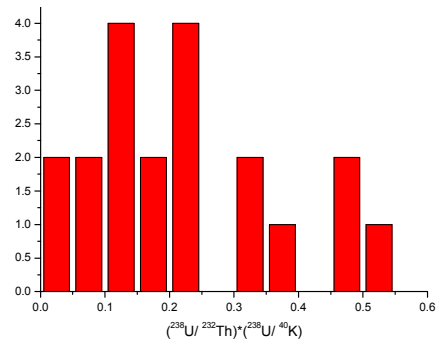
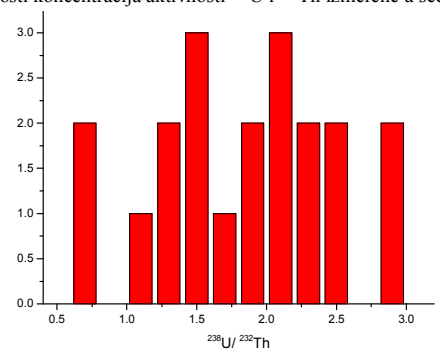
Sa slike 2 se može videti kako su vrednosti odnosa koncentracija ^{238}U i ^{232}Th izmerenih uzoraka dunavskog sedimenta grupisane oko neke srednje vrednosti od otprilike 1.1, sa znatno manjom disperzijom nego što je to slučaj sa vrednostima koncentracija oba izotopa. Osim kod par uzoraka, kod odnosa ^{238}U i ^{232}Th najmanja i najveća vrednost se razlikuju za faktor manji od 2. Može se videti da dve vrednosti odnosa ^{238}U i ^{232}Th znatno odstupaju od ostalih. Sličan je slučaj i sa odnosom ^{238}U i ^{40}K , tako da je odstupanje dve vrednosti od ostalih još uočljivije kod proizvoda odnosa koncentracija ^{238}U i ^{232}Th i odnosa ^{238}U i ^{40}K . Dakle kod dva uzorka dunavskog sedimenta dolazi do vidnog odstupanja koncentracije ^{238}U u odnosu na koncentracije druga dva prirodna radioizotopa. Koncentracije ^{238}U kod pomenutih uzoraka su 50 i 60 Bq/kg, dakle, ne radi se o maksimalnim izmerenim koncentracijama.

Identična procedura je ponovljena na uzorcima sedimenta iz kanala DTD. Na slici 3 se mogu videti distribucije izmerenih vrednosti koncentracija aktivnosti ^{238}U i ^{232}Th .

Poređenjem podataka prikazanim na slikama 1 i 3 može se zaključiti da se koncentracije ^{238}U u Dunavu i DTD kanalima kreću u sličnom opsegu, ali su vrednosti ^{232}Th izmerene u kanalima nešto niže nego sto je to slučaj u dunavskom sedimentu.

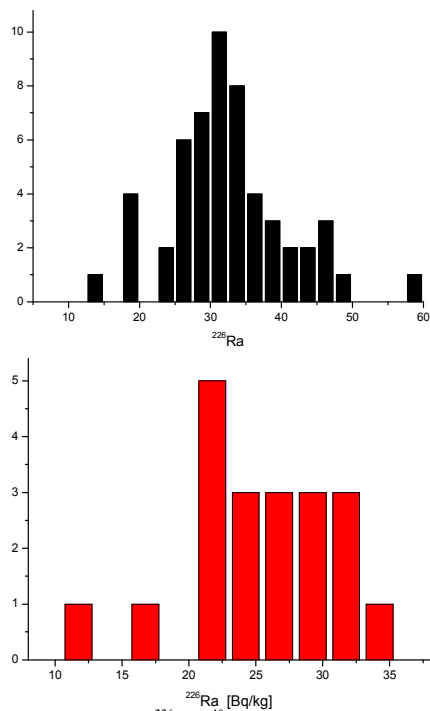


Slika 3. Vrednosti koncentracija aktivnosti ^{238}U i ^{232}Th izmerene u sedimentu iz DTD



Slika 4. Raspodela vrednosti odnosa koncentracija prirodnih radionuklida u sedimentu iz kanala DTD

Upoređivanjem slika 2 i 4 može se videti kako su odnosi aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima iz kanala DTD nešto viši nego što je to slučaj sa uzorcima iz Dunava. To bi moglo da potiče od povišene koncentracije ^{238}U u kanalima, ali i od drugačijeg mineralnog sastava sedimenta. Ukoliko bi sediment u kanalima DTD sadržavao veću količinu prirodnog ^{238}U , u tom slučaju bi trebala da bude povišena koncentracija i drugih članova uranovog niza u odnosu na adekvatne koncentracije u Dunavu. Na slici 5 su prikazane raspodele koncentracija ^{226}Ra u sedimentu Dunava i DTD kanala. Može se videti da su koncentracije ^{226}Ra u kanalima DTD nešto niže nego što je to slučaj sa koncentracijama u dunavskom sedimentu. Iz ovoga bi se moglo zaključiti da su povišeni odnosi ^{238}U i ostalih radionuklida u sedimentu kanala posledica povišenog sadržaja samog ^{238}U .



Slika 5. Odnos koncentracija ^{226}Ra i ^{40}K u sedimentu Dunava i DTD kanala

LITERATURA

- [1] E. Varga, I. Bikit, J. Slivka, J. Vesković, Lj. Čonkić, N. Todorović, Sixt Int. Symposium on Env. Contamination in Central and Eastern Europe, www.prague2003.fsu.edu
- [2] M. Krmar, J. Slivka, Ž. Đurčić, N. Žikić, I. Bikit, Lj. Čonkić: XX Simpozijum JDZZ, Tara, Zbornik radova 87-91 (1999)

ABSTRACT

**CRITERIA FOR DETERMINATION OF INCREASED LEVEL
OF NATURAL RADIONUCLIDE ACTIVITY
IN RIVER SEDIMENT SAMPLES**

E. Varga, M. Krmar
Physics department, Faculty of Science, Novi Sad

Concentrations of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K measured in sediment samples taken from Danube and DTD channels were analyzed. It was shown that values of concentration ratios are spread in much narrower region than concentrations of measured isotopes. In the case when certain number of samples is measured, it is possible using distribution of ratios of measured concentrations, conclude is concentration of some natural isotope in some sample higher than usual.

PRIRODNA RADIOAKTIVNOST FLAŠIRANIH MINERALNIH VODA U SRBIJI

J. Joksić, M. Radenković
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine,
Institut za nuklearne nauke Vinča

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja aktivnosti prirodnih radionuklida u nekim flaširanim mineralnim vodama u Srbiji. Aktivnost radionuklida u uzorcima voda je određena spektrometrijom gama emitera (HP Ge detektor, relativne efikasnosti 23%) i alfaspektrometrijski (PIPS detektor, efikasnost 15%, površina 300 mm²). Rezultati merenja na niskofonskom proporcionalnom brojaču, pokazuju da sve ispitivane mineralne vode imaju ukupnu alfa i beta aktivnost unutar preporučenih vrednosti [1-3] izuzev mineralne vode Heba, koja ima ukupnu beta aktivnost veću od 1 Bq/l jer je sadržaj ⁴⁰K 1530 mBq/l i mineralne vode Karadorđe u kojoj je sadržaj ⁴⁰K 2800 mBq/l.

UVOD

Formiranje određenog tipa mineralne vode se vrši uglavnom kroz složene geohemijske procese i konačan sastav vode u izvoru je najvećim delom posledica interakcije voda-stena. Prelaz hemijskih elemenata iz stena u vodu zavisi i od vremena trajanja interakcije, pa se u složenim hidrogeološkim strukturama u okviru istih stena registruju vode različitog sastava. U datoj hidrogeološkoj strukturi obično preovlađuje jedna vrsta akvifera (vodonosni sloj), pa geohemijska analiza neke mineralne vode može ukazati na akvifer, u kome je akumulirano ležište vode. Pod hidrogeološkom strukturom se podrazumeva geološko telo sa vodom, unutar čijih granica je nepromenljiv karakter raspodele podzemne vode u stenama, uslova formiranja resursa i njihovog sastava.

Na osnovu hidrogeološke strukture tj. tipa akvifera na teritoriji Srbije su izdvojene četiri grupe mineralnih voda [4]:

- 1) mineralne i termalne vode vulkanogenih masiva
- 2) mineralne i termalne vode karstnih područja
- 3) mineralne i termalne vode oblasti metamorfita
- 4) mineralne i termalne vode hidrogeoloških basena.

Mineralne vode koje su ispitivane u ovom radu su: *Mivela*, *Karadorđe*, *Kopaonik*, *Heba* (pripadaju mineralnim vodama oblasti metamorfita), *Prolom* (voda vulkanogenih masiva) i *Skadarska* (voda hidrogeoloških basena). Karakteristike mineralnih voda i geološka struktura lokacija sa kojih vode potiču date su u tabeli 1 [5].

METODE

Gama spektrometrijskom analizom su određeni izotopi radijuma (^{226}Ra , ^{228}Ra) i ^{40}K . Da bi se dobile merljive vrednosti prirodnih radionuklida potrebno je koncentrisati uzorak od 10-12 l vode. Uzorak se nakon toga zatopi i ostavi 28 dana do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže. Iz dobijenog gama spektra se identifikuju linije i izračunava se koncentracija radionuklida u uzorku. Linije koje se koriste za odedivanje ^{226}Ra su linije ^{214}Pb na 295,09 keV i 351,87 keV i ^{214}Bi na 609,31 keV, 1120,27 keV i 1764,49 keV.

Gama linije koje su korišćene za određivanje aktivnosti ^{228}Ra su linije ^{228}Ac na 338,42 keV i 911,07 keV. Za određivanje aktivnosti ^{40}K korišćena je linija na 1460,8 keV.

Postupak određivanja sadržaja izotopa uranijuma i torijuma u ispitivanim vodama obuhvata: uzorkovanje i pripremu uzoraka za radiohemijski tretman, radiohemijsku separaciju, pripremu tankoslojnih radioaktivnih izvora, merenje na alfa-spektrometerskom sistemu i obradu i interpretaciju rezultata.

REZULTATI I DISKUSIJA

Sve ispitivane vode su slabo kisele tj. pH vrednost im je oko 6 (osim za *Prolom* vodu, gde je pH = 9). Takođe su skoro sve vode bikarbonatne.

Rezultati merenja na niskofonskom proporcionalnom brojaču, Canberra 2400 pokazuju da sve ispitivane mineralne vode imaju ukupnu alfa i beta aktivnost unutar preporučenih vrednosti [1-3] izuzev mineralne vode *Heba*, koja ima povećan sadržaj ^{40}K (1530 mBq/l) i mineralne vode *Karadorđe* u kojoj je sadržaj ^{40}K (2800 mBq/l). Sadržaj prisutnih radionuklida u ispitivanim uzorcima flaširanih mineralnih voda je dat u tabeli 2. Sadržaj radijumovih izotopa u svim flaširanim vodama je nizak ili je ispod granice detekcije, dok je od torijumovih izotopa detektovan samo ^{228}Th .

Tabela 1. Karakteristike mineralnih voda i geološka struktura lokacija sa kojih vode potiču.

Komercijalni naziv	Lokacija	Dubina bušotine (m)	Tip vode	Geološka struktura tla
Mivela	Velučće	90-120	HCO_3 -Na, Mg	različiti škriljci
Karadorđe	Smederevska Palanka	10-12	HCO_3 -Na, Mg, Ca	krečnjački kristalasti škriljci
Kopaonik	Brus	700	HCO_3 -Na	krečnjaci, vulkaniti
Prolom	Prolom Banja	200	HCO_3 -Na	vulkaniti
Skadarska	Skadarlija, Beograd	61	HCO_3 , SO_4 -Ca, Mg	sarmatski sedimenti
Heba	Bujanovačka Banja	200	HCO_3 -Na	kristalasti škriljci

Rezultati merenja na niskofonskom proporcionalnom brojaču, Canberra 2400 pokazuju da sve ispitivane mineralne vode imaju ukupnu alfa i beta aktivnost unutar preporučenih vrednosti [1-3] izuzev mineralne vode *Heba*, koja ima povećan sadržaj ^{40}K (1530 mBq/l) i mineralne vode *Karadorđe* u kojoj je sadržaj ^{40}K (2800 mBq/l). Sadržaj radijumovih izotopa u svim flaširanim vodama je nizak ili je ispod granice detekcije, dok je od torijumovih izotopa detektovan samo ^{228}Th .

Određivanje prirodne radioaktivnosti i sadržaja radionuklida u flaširanim mineralnim vodama u Italiji je dalo slične rezultate [6]. Koncentracije ^{238}U se kreću od 2,5 do 122 mBq/L a ^{226}Ra su niže od 10 mBq/L.

Tabela 2. Sadržaj radionuklida u ispitivanim uzorcima flaširanih voda

Uzorak vode	U-238	U-234	U-235	Th-228	Ra-228	Ra-226	K-40
	mBq/l						
Mivela	0,29±0,06	0,21±0,07	<0,02	14±5	<3	<26	155±26
Karadjordje	7,61±1,00	5,05±0,75	0,22±0,11	4,75±0,53	<3	<26	2800±400
Kopaonik	0,21±0,08	<0,16	<0,02	4,75±0,53	18±5	29±7	300±31
Prolom	9,38±1,10	18,89±2,10	0,34±0,1	10,4±1,9	<3	<26	<70
Skadarska	43,41±4,60	26,31±2,80	1,80±0,41	6,91±0,85	<3	34±5	230±75
Heba	0,22±0,05	0,73±0,11	<0,03	15,04±1,62	100±15	60±6	1530±130

ZAKLJUČAK

Spektrometrijskim metodama je određen sadržaj prirodnih radionuklida u nekim flaširanim mineralnim vodama u Srbiji. Rezultati pokazuju da sve ispitivane vode imaju ukupnu alfa i beta aktivnost unutar preporučenih vrednosti i da najveći deo pripada ^{40}K .

LITERATURA

- [1] WHO, Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd Edition, Vol.I+II, WHO (World Health Organization), Geneva, 1996.
- [2] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl.list SRJ 42/98.
- [3] Pravilnik o kvalitetu prirodnih mineralnih voda, Sl.list SRJ 45/93.
- [4] Protić D., Mineralne i termalne vode Srbije, Posebna izdanja, knjiga 17, Beograd, (1995).
- [5] Miljević N. Golobočanin D., Joksić J., Žujic A., Cent. Europ. J. Occup. Environm. Med., 9(4), 310 (2003).

ABSTRACT

NATURALLY RADIOACTIVITY IN BOTTLED MINERAL WATERS IN SERBIA

J. Joksić, M. Radenković
INS VINČA

The results of activities of naturally occurring radionuclides in bottled mineral waters in Serbia are presented in this paper. Concentrations of all present naturally occurring radionuclides were determined by gamma spectrometry (HP Ge detector, relative

efficiency 23%) and alpha spectrometry analysis (PIPS-detector with the counting efficiency 15% and 300 mm² surface). All samples of bottled mineral waters have gross alpha and beta activities within recommended values [1-3] except *Heba* mineral water (content of ⁴⁰K was 1530 mBq/l) and *Karadžorđe* mineral water (content of ⁴⁰K was 2800 mBq/l).

UKUPNA ALFA I BETA AKTIVNOST PIJAĆIH VODA U REPUBLICI SRBIJI OD 2001. DO 2004. GODINE

I. Tanasković, G. Pantelić, V. Vuletić,
Lj. Javorina, M. Eremić Savković
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr Dragomir Karajović ", Beograd

SADRŽAJ

Prikazani su rezultati ispitivanja radiološke ispravnosti pijaćih voda, poreklom sa teritorije Republike Srbije u periodu od 2001. do 2004. godine. Ispitano je 324 uzoraka merenjem ukupne alfa i beta aktivnosti. Od ispitanih uzoraka 95 % pijaćih voda je radiološki ispravno.

UVOD

Značajnu ulogu u ukupnom ozračivanju stanovništva, između ostalog, ima sadržaj radionuklida u vodi za piće. Svaka voda sadrži male, ali merljive količine radioaktivnosti. Pored prirodnih radionuklida u vodi se mogu naći i veštački radionuklidi koji nastaju kao posledica nuklearnih akcidenata, eksperimenata ili eksplozija. Svetska zdravstvene organizacija preporučuje da očekivana efektivna doza od jednogodišnjeg konzumiranja vode za piće ne bude veća od 0,1 mSv. Ispod ovog referentnog nivoa doze, pijaća voda je prihvatljiva za ljudsku konzumaciju. U praktičnom smislu preporučeni nivoi specifične aktivnosti su 0,1 Bq/l za ukupnu alfa i 1 Bq/l za ukupnu beta aktivnost. U skladu sa ovim preporukama doneti su propisi u našoj zemlji [1,2].

METODOLOGIJA

Za analizu ukupne α i β aktivnosti potrebna je količina od 1l vode. Uzorak se upari do suva, žari na 450 °C i potom meri [3]. Merenja su vršena na niskofonskom proporcionalnom gasnom alfa beta brojaču Tennelec model LB 5100 serija III, USA. U toku rada detektora koristi se smeša P-10 (90% argona i 10% metana). Efikasnost za α aktivnost je 41 %, a za β aktivnost 33 %.

REZULTATI

U periodu od 2001. do 2004. godine na teritoriji Republike Srbije ispitano je 324 uzoraka pijaćih voda merenjem ukupne alfa i beta aktivnosti [4]. Za vreme rata u

Jugoslaviji 1999. godine NATO snage su koristile specijalnu municiju proizvedenu od osiromašenog urana [5]. U neposrednoj blizini kontaminiranih terena na jugu Republike Srbije nalazi se veći broj bunara iz kojih stanovništvo koristi vodu za piće. Na ovim terenima su izvršena godišnja planska uzorkovanja pijaćih voda.

Tabela 1. Ukupna α i β aktivnost pijaćih voda sa nekonaminiranih terena

Vrsta	(Bq/l)	2001. godina	2002. godina	2003. godina	2004. godina
Bunarska	max α akt	0,108 \pm 0,016	0,198 \pm 0,030	0,157 \pm 0,023	0,590 \pm 0,088
	max β akt	1,994 \pm 0,299	0,161 \pm 0,024	1,781 \pm 0,237	2,206 \pm 0,330
Izvorska	max α akt	0,618 \pm 0,093	0,080 \pm 0,012	0,033 \pm 0,005	0,292 \pm 0,033
	max β akt	2,543 \pm 0,381	0,381 \pm 0,057	0,177 \pm 0,027	0,676 \pm 0,100
Vodovod	max α akt	0,070 \pm 0,010	0,030 \pm 0,004	0,096 \pm 0,014	0,092 \pm 0,044
	max β akt	0,866 \pm 0,130	0,047 \pm 0,007	0,222 \pm 0,033	0,735 \pm 0,110

U tabeli 1. su date maksimalne vrednosti ukupne alfa i beta aktivnosti bunarskih, izvorskih i voda iz vodovoda sa nekontaminiranih terena. Vode uzete iz gradskih vodovoda potpuno zadovoljavaju kriterijume o radiološkoj ispravnosti vode u periodu od 2001. do 2004. godine. Kod izvorskih i bunarskih voda izmerene su i vrednosti koje prelaze dozvoljene kriterijume.

Tabela 2. Ukupan broj ispitanih uzoraka pijaćih voda i broj koji prelazi dozvoljene granice ukupne alfa i beta aktivnosti

Vrsta	Broj uzoraka	2001.god.	2002.god.	2003.god.	2004.god.
Bunarska	ispitivanih	27	23	41	60
	neispravnih	1	1	2	5
Izvorska	ispitivanih	10	18	20	18
	neispravnih	3	0	0	5
Vodovod	ispitivanih	15	8	27	22
	neispravnih	0	0	0	0

U tabeli 2. se vidi da od ukupno 151 ispitane bunarske vode, 9 bunarske vode nisu ispunile kriterijum radiološke ispravnosti u periodu od 2001. do 2004. godine. U navedenom periodu od ukupno 66 ispitanih izvorskih voda, 8 izvorske vode nisu ispunile kriterijum radiološke ispravnosti. U periodu od 2001. do 2004. godine sve ispitane vode iz gradskih vodovoda su radiološki ispravne.

U tabeli 3. su date maksimalne vrednosti ukupne alfa i beta aktivnosti bunarskih, izvorskih i voda iz vodovoda sa kontaminiranih terena južne Srbije. Ukupno je ispitano 56 pijaćih voda od 2001 do 2004 godine i sve ispunjavaju kriterijum radiološke ispravnosti.

Tabela 3. Ukupna α i β aktivnost pijaćih voda sa konaminiranih terena

Vrsta	(Bq/l)	2001. godina	2002. godina	2003. godina	2004. godina
Bunarska	max α akt	< 0,010	< 0,010	0,024 \pm 0,004	0,054 \pm 0,008
	max β akt	0,250 \pm 0,038	0,451 \pm 0,068	0,352 \pm 0,053	0,370 \pm 0,056
Izvorska	max α akt	nema	< 0,010	< 0,010	< 0,010
	max β akt	nema	0,106 \pm 0,016	0,575 \pm 0,086	0,124 \pm 0,019
Vodovod	max α akt	0,031 \pm 0,005	< 0,010	< 0,010	0,061 \pm 0,009
	max β akt	0,351 \pm 0,053	0,166 \pm 0,025	0,183 \pm 0,027	0,236 \pm 0,035

ZAKLJUČAK

Rezultati merenja ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama, poreklom sa teritorije Republike Srbije u periodu od 2001. do 2004. godine, pokazuju da od ispitivanih uzoraka 95 % ispunjava navedeni kriterijum radiološke ispravnosti. Kod uzoraka pijaćih voda koje prelaze dozvoljene granice za ukupnu alfa i beta aktivnost, potrebno je izvršiti kvalitativnu i kvantitativnu analizu prisutnih radionuklida radiohemijski ili gamaspektrometrijski.

LITERATURA

- [1] Guidelines for drinking water quality, Second edition, Vol.1, Recommendations, World Health org., 1993.
- [2] Službeni list, SRJ, Beograd, broj 9, 19. februar 1999.
- [3] Procedures for Measurement of Radioactivity in Drinking Water, Gross alpha and gross beta radioactivity in drinking water method 900.0, EPA-600, August 1980, pp 1-9.
- [4] Radioaktivnost životne sredine u Republici Srbiji, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd, 2001, 2002, 2003.
- [5] UNEP, Depleted Uranium in Serbia and Montenegro, Post-Conflict Environmental Assessment in the Federal Republic of Yugoslavia. Geneva, 2002.

ABSTRACT

TOTAL ALPHA AND BETA ACTIVITY OF DRINKING WATER IN THE REPUBLIC OF SERBIA IN THE PERIOD 2001 TO 2004

I. Tanasković, G. Pantelić, V. Vuletić, Lj. Javorina, M. Eremić Savković
Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajovic"

Our paper presents the results of testing of radiological safety of drinking water obtained from the territory of the Republic of Serbia, in the period 2001 to 2004. The measurements were carried out by low-photon proportional gas alpha beta counter Tennelec model LB 5100 series III, USA. Efficiency for α and β activity was 41% and 33%, respectively. A total of 324 samples were tested by measuring the total alpha and beta

activities. Out of tested samples, 95% of drinking water met the defined criteria of radiological safety. Recommended levels of specific activity for total alpha and beta activities were 0.1 Bq/l and 1 Bq/l, respectively. In compliance with these recommendations, the regulations have been passed in our country ("Official Gazette", SRY 1999/9). In drinking water samples exceeding the admissible limits of total alpha and beta activities, it is necessary to perform qualitative and quantitative analysis of the existing radionuclides, by means of radiochemical measurements and gamma spectrometry.

**ПОРЕЂЕЊЕ НИСКОФОНСКИХ УСЛОВА
МЕРЕЊЕМ УЗОРАКА ИЗ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ
МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИЈЕ ГАМА ЕМИТЕРА**

Р. Бањанац, Д. Тодоровић¹, А. Драгић,
Д. Јоковић, В. Удовичић

Институт за физику, Београд

¹ ИИН "Винча" Лабораторија за заштиту од зрачења, Београд

САДРЖАЈ

Природа нискофонских мерења малих нивоа радиоактивности поред довољно ниског фона захтева и његову константност током времена пошто се повећање осетљивости постиже дуготрајним мерењима. У раду се пореде фонски услови мерења узорака из животне средине и анализирају компаративне предности нискофонске подземне лабораторије у Земуну у односу на надземну лабораторију у Винчи.

УВОД

Мерења ретких и маловероватних нуклеарних процеса поред технички савремене опреме најпре захтевају специфичне услове ниског фона оне врсте зрачења које је у конкретном случају од интереса. Са друге стране сличне услове захтевају и примењена истраживања којима се систематично и врло прецизно контролише радиоактивност биосфере. Поред услова довољно ниског фона ништа мање значајан услов није константност нивоа фона током времена јер се одређена статистичка тачност, односно повећање осетљивости, постиже дуготрајним мерењима. Апсолутна мерења концентрације појединих изотопа у разним узорцима (који емитују гама зрачење) најчешће се врше методом гама спектрометрије.

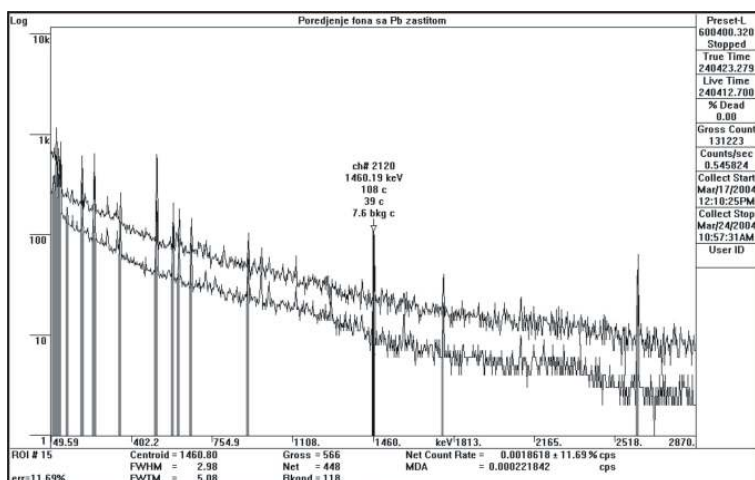
Када се ради са узорцима из животне средине систематична и континуирана мерења њихових активности могу да пруже разноврсне информације, [1]. Посебно је интересантно да се нпр. промена концентрације космогеног радионуклида Ве-7 може повезати са променом броја сунчевих пега, [2]. Средње вредности концентрација мерених радионуклида Ве-7 и Pb-210 у приземном слоју атмосфере су реда 10^{-3} Вqm⁻³ односно 10^{-4} Вqm⁻³, [3], док је у случају Cs-137 средња концентрација на нивоу 10^{-6} Вqm⁻³, [4]. Јасно се зато уочава потреба за условима нижег фона гама зрачења да би се статистички значајни резултати добијали мерењима у краћем временском трајању што би повећало сигнификантност у анализи варијација концентрација поменутих изотопа.

Поменута мерења извршена су у надземном амбијенту лабораторије за заштиту од зрачења у Винчи германијумским детектором у оловној заштити. Услови потенцијално нижег фона у нискофонској подземној лабораторији у Земуну, чије су

карактеристике детаљно описане у [5], анализирају се мерењима истих узорак у скоро идентичном експерименталном аранжману.

КОМПАРАТИВНА МЕРЕЊА

Провера нивоа фона гама зрачења систематично се врши у Лабораторији за заштиту од зрачења у Институту за нуклеарне науке у Винчи германијумским детекторима којима се и мере узорци из животне средине. Један од тих детектора активне запремине 48.1 cm^3 , унутрашње релативне ефикасности од 15% и номиналне енергетске резолуције од 1.8 keV-а, током 2004. године, премештен је у нискофонску лабораторију Института за физику у Земуну. Најпре је анализиран фон у надземној и подземној лабораторији са и без пасивне оловне заштите и прелиминарни резултати су представљени у [6]. На слици 1 приказано је поређење фона (интегрално приказани) измереног у пасивној заштити у надземној и подземној лабораторији у Земуну. Уочава се редукција целог континуума фона за око 2 пута што је последица смањеног флукса космичког зрачења. Повољније фонске услове у лабораторији у Земуну илуструју и средње брзине бројања у интервалу од 40 keV-а до 3 MeV-а, респективно за лабораторију у Винчи, надземну и подземну лабораторију у Земуну у истој заштити (10 cm олова): 1.15 одброја у секунди (cps), 0.9 cps и 0.45 cps.



Слика 1. Интегрално поређење фона измереног у надземној (горњи спектар) и подземној лабораторији у Земуну у идентичној пасивној заштити од 10 cm олова

Фон је сниман током целе 2004. године у обе лабораторије, у правилним размацима, или када је то мерење узорак дозвољавало. Мање варијације фона у надземним лабораторијама, а посебно пострадонских линија, најчешће су последица промене концентрације радона. Упоредне карактеристике типичних фонских спектра приказане су у табели 1.

Из табеле се може јасно уочити постигнута редукција фона у подземној лабораторији у Земуну. Постигнута редукција интензитета пострадонских линија на 352 и 609 keV-а за око 6 пута, одговара нижој концентрацији радона. У области

енергија око 477 keV-а, која одговара енергији фотона из Ве-7, фон у подземној лабораторији мањи је око 5 пута у односу на надземну локацију.

Табела 1. Интензитети карактеристичних линија и области у фонским спектрима мереним истим детектором у две лабораторије

E (keV)	СРЕДЊИ ФОН (импулса по keV-у за 1000 s)		
	Винча Надземна лабораторија	Земун Надземна лабораторија	Земун Подземна лабораторија
63.3	2.6	1.0	1.4
71-80	5.5	3.3	1.4
84.6-97.3	9.4	3.2	1.6
185.7	3.8	3.2	3.3
235.2-244.7	9.1	5.6	5.3
295.2	3.6	0.9	0.4
351.9	6.9	1.5	1.1
511	9.3	10.3	3.8
609.3	5.5	1.5	0.9
661.6	2.5	0.9	0.9
911.2	0.7	0.7	0.7
1120.4	0.9	0.2	0.2
1460.8	2.3	1.0	1.8
1764.6	1.0	0.3	0.2
2614.5	-	0.9	0.9

У зависности од анализаног узорка, у области енергија гама зрачења где се очекује карактеристична линија у спектру, могуће је додатно редуковати фон пасивном заштитом са материјалима мањег редног броја. Ово се посебно односи на мерење концентрације Pb-210 где је енергија емитованог зрачења мала (46.5 keV) и налази се у области мале ефикасности детекције. Планира се и активна вето заштита гама детектора што ће додатно редуковати фон смањењем доприноса космичких миона.

У периоду од марта 2004. године до априла 2005. године упоредно су мерени исти месечни узорци из животне средине у две лабораторије. Анализирани су изотопи Ве-7, Pb-210 и Cs-137 у узорцима наталожене прашине који се годинама систематично прикупљају и мере у лабораторији у Винчи. Уочене су извесне разлике у осетљивости мерења.

Енергија фотона из космогеног изотопа берилијума 7, (477.8 keV), у области је фона где нема карактеристичних фонских линија. Последица тога је и изузетно слагање резултата из две лабораторије за све мерене узорке у оквиру 5 %.

Извесна неправилна одступања уочена су у анализи изотопа олова 210. Констатовано је да ниска ефикасност детекције (46.5 keV) и разлика у пасивној заштити детектора могу да утичу на измерене разлике.

Мерење малих активности цезијума 137 најјасније је указало на предност мерења у нискофонским условима подземне лабораторије. У извесном броју случајева (узорака) мерена активност је у лабораторији у Винчи била испод минималне детектибилне вредности. У Земуну се иста активност могла измерити иако је и грешка таквих мерења била пропорционално већа.

Уступањем германијумског детектора током 2004. године од стране Лабораторије за заштиту од зрачења нискофонској лабораторији у Земуну, реализована су компаративна мерења анализе нискофонских услова и уочене су конкретне предности подземног амбијента лабораторије у Земуну. Земунска лабораторија је од средине 2005. године опремљена новим германијумским детектором високе ефикасности и радијационо чистог криостата који ће пружити још боље услове за нискофонска мерења али и могућност даље сарадње две лабораторије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Тодоровић: Дистрибуција природних (Be-7, Pb-210) и произведених (Cs-137) радионуклида у приземном слоју атмосфере и слободно наталоженој прабини у урбаним срединама, докторска дисертација, Београд, 2000.
- [2] F. Cannizzaro *et al.*, Nuclear geophysics Volume 9, No-6, (1995), 597-607
- [3] Д. Тодоровић, М. Раденковић, Зборник радова 21. Симпозијума Југословенског друштва за заштиту од зрачења, Кладово (2001) 99-102
- [4] Д. Тодоровић, М. Раденковић, Зборник радова 21. Симпозијума Југословенског друштва за заштиту од зрачења, Кладово (2001) 103-106
- [5] Р. Бањанац: Оптимизација карактеристика нискофонске подземне лабораторије, магистарски рад, Београд, 2000.
- [6] Р. Бањанац *et al.*, Зборник радова 11. Конгреса физичара Србије и Црне Горе, Петровац на мору (2004) 5.49-52

ABSTRACT

THE COMPARISON OF THE LOW-LEVEL BACKGROUND CONDITIONS IN THE MEASUREMENTS OF NATURAL SAMPLES BY GAMMA EMITTERS SPECTROMETRY

R. Banjanac, D. Todorović¹, A. Dragić, D. Joković, V. Udovičić
Institute of Physics, Belgrade, Serbia

¹INN "Vinča" Laboratory for radiation protection, Belgrade, Serbia

The higher sensitivity of the low radioactivity measurements mainly requires low-level background and its constancy during usually long measuring time. In this paper the low-level background conditions between the ground level laboratory in Vinca and the underground laboratory in Zemun are compared. The results are obtained for specific natural samples by gamma emitters spectrometry.

IZOTOPSKI SASTAV POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA U SLIVU VELIKE MORAVE

V. Šipka, N. Miljević, D. Golobočanin
Institut za nuklearne nauke "Vinča"

SADRŽAJ

U saradnji sa Republičkim hidrometeorološkim zavodom a u okviru projekta "Isotopic age and composition of streamflow as indicators of groundwater sustainability in the Velika Morava catchment", 12889/RO/RBF, 2004, IAEA, započeta su istraživanja izotopskog sastava površinskih i podzemnih voda u slivu Velike Morave. Cilj istraživanja je da se odredi, ispitivanjem izotopskog sastava, uticaj reka na podzemne vode u slivu Velike Morave. Rezultati ovih istraživanja dali bi odgovor i na pitanja o mogućnosti zagađenja podzemnih voda bilo kojim drugim vrstama zagađivača.

SISTEM UZORKOVANJA

U okviru postojeće mreže stanica (slika 1.), koje održava Republički hidrometeorološki zavod, od septembra 2004-te, započeto je redovno sakupljanje padavina, rečne i podzemne vode za analizu stabilnih izotopa (deuterijum i kiseonik-18) i radioaktivnog izotopa tritijuma.

Padavine. Na tri meteorološke stanice (Smedervska Palanka, Niš, Kraljevo) svakodnevno, u toku 24 sata, sakupljani su uzorci padavina i formirani su mesečni kompozitni uzorci.

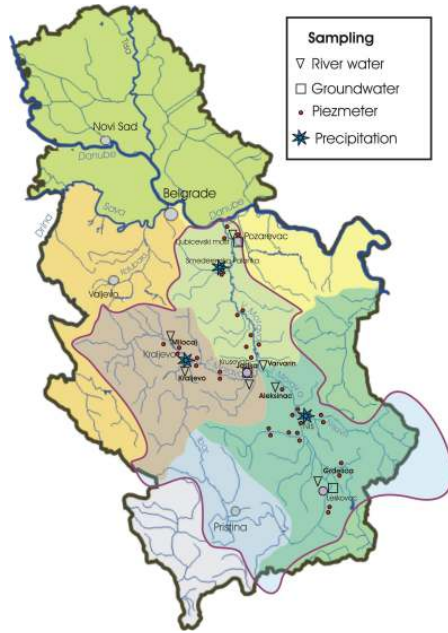
Rečna voda. Na sedam hidroloških stanica (Ljubičevski Most, Varvarin, Aleksnac, Grdelica, Jasika, Miločaj, Lopatnica lakat) uzorkovana je rečna voda dva puta mesečno. Stanice su odabrane tako da se nalaze na mestima gde je utvrđeno postojanje zagađivača, uz nastojanje da u najboljoj mogućoj meri reprezentuju područje sliva Velike Morave. Prilikom uzorkovanja merena je temperatura vode, pH vrednost i električna provodljivost. U laboratorijama je rađena kvantitativna hemijska analiza (anjona CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- i katjona K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) i izotopska analiza (^3H , ^2H , ^{18}O).

Podzemne vode. U oktobru i novembru 2004., prema programu Republičkog hidrometeorološkog zavoda, uzorkovane su podzemne vode iz 25 piezometara koji se nalaze na udaljenosti između 0.2 i 13 km od reka. Uzorci su uzimani ručnim pumpama sa 6-21 m dubine.

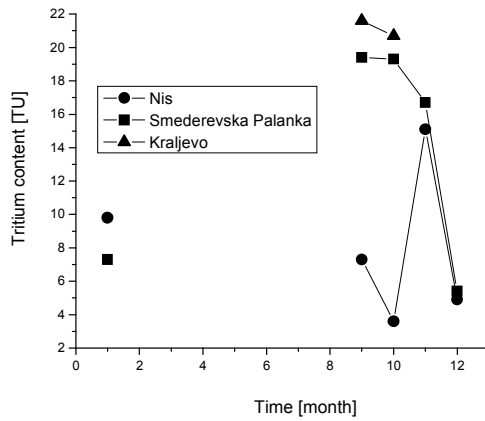
REZULTATI I DISKUSIJA

Padavine. U periodu 1961-1990 rečni basen Velike Morave imao je srednju godišnju količinu padavina od $704 \pm 130 \text{ mm(l/m}^2\text{)}$. Srednja mesečna količina padavina je približno $58 \pm 13 \text{ mm(l/m}^2\text{)}$, sa izuzetkom ekstremno kišnih godina kada se maksimalna količina

padavina kretala od 70 do 90 mm(l/m^2) u maju i junu mesecu [1]. Primećeno je da je na mernoj stanici Niš, lociranoj na istočnoj strani sliva, količina padavina oko 30% manja od mesečne količine padavina sakupljenih na mernoj stanici Kraljevo, lociranoj na desnoj strani sliva. Takođe je ustanovljeno da je količina padavina sakupljenih u aprilu i maju 2005 bila oko 300% veća nego u srednjem tridesetogodišnjem periodu za iste mesece.



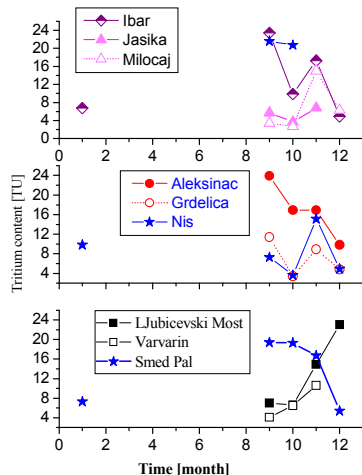
Slika1. Mreža stanica u slivu Velike Morave



Slika 2. Koncentracije tritijuma u padavinama

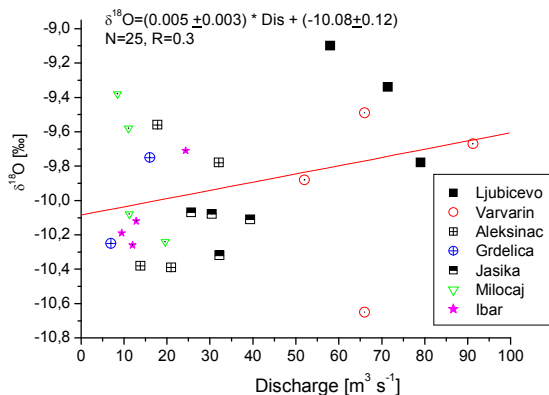
Koncentracije tritijuma u padavinama, za period septembar 2004. – januar 2005. su u opsegu od 3 do 22 TU i pokazuju sličnu zavisnost od meseca u godini na svim mernim stanicama (slika 2).

Rečna voda. Određivanjem pH vrednosti rečne vode utvrđeno je da ona varira između 5.2 i 8.5. Dobijene vrednosti predstavljaju specifičnost svake lokacije i nezavise od protoka vode u reci. S druge strane električna provodljivost pokazuje povećanje sa smanjenjem protoka vode. Koncentracije tritijuma u rečnoj vodi kreću se u opsegu od 3.4 do 24 TU sa jako izraženom vremenskom zavisnošću u ispitivanom slivu (Slika 3).



Slika 3. Koncentracije tritijuma u rečnoj vodi

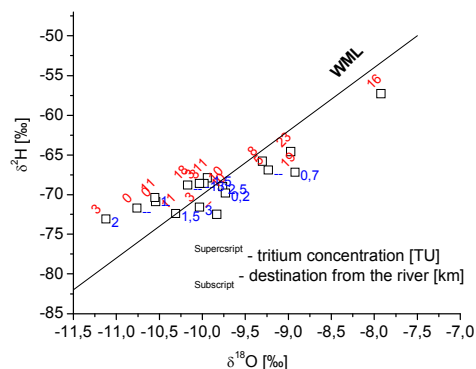
U uslovima male brzine protoka (ispod $100 \text{ m}^3/\text{s}$) u slivu, ograničen broj podataka za koncentraciju ^{18}O u rečnoj vodi pokazuje vrlo slabu pozitivnu korelaciju ($r^2=0.3$ za 25 uzoraka) sa brzinom protoka (Slika 4).



Slika 4. Sadržaj ^{18}O u vodi u zavisnosti od brzine protoka

Podzemne vode. Kod podzemnih voda zapaža se relativno konstantna vrednost pH (7.1 ± 0.3), ali i vrlo velike razlike u električnoj provodljivosti koja varira u intervalu od 540 do

1640 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Električna provodljivost podzemnih voda je znatno veća od izmerene vrednosti u rekama. Koncentracije tritijuma se kreću u intervalu od 3.4 do 24 TU. U plitkim podzemnim vodama koncentracije tritijuma su gotovo iste kao u obližnjim rekama. Prostorna raspodela izotopskog sastava ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, i ^3H) podzemnih voda u odnosu na udaljenost od reke data je na slici 5. U piezometrima koji su na većoj udaljenosti od obale reke uočava se povećanje koncentracije tritijuma.



Slika 5. Izotopski sastav $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ i ^3H u podzemnim vodama

ZAKLJUČAK

Analizom rezultata dobijenih određivanjem izotopskog sastava ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, i ^3H) površinskih i podzemnih voda utvrđeno je da su koncentracije tritijuma niske i da se međusobno malo razlikuju. Ovo ukazuje na brzu izmenu i dobru interakciju između reke i podzemnih voda. Različita vremenska zavisnost (zavisnost od godišnjeg doba) za padavine i reke bi se mogla tumačiti lokalnom hidrološkom dinamikom u basenu Velike Morave.

Detaljna karakterizacija kruženja vode u rečnom slivu, koji se ispituje, biće moguća kada se zaokruži barem dvogodišnji period redovnih analiza izotopskog sadržaja u padavinama, površinskim i podzemnim vodama.

LITERATURA

[1] <http://www.hidmet.sr.gov.yu>

ABSTRACT

ISOTOPE CONTENT IN THE VELIKA MORAVA CATCHMENT

V. Šipka, N. Miljević, D. Golobočanin
Vinča Institute of Nuclear Sciences,

A purpose of this study was to apply the tritium content, from investigations of local water resources, to give a better understanding of the hydrological processes and interactions of surface water and groundwater in alluvial aquifers within the Velika Morava catchment.

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ СЕДИМЕНТА РЕКЕ ДУНАВ НА ГРАНИЦИ СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ СА МАЂАРСКОМ У ПЕРИОДУ 2000. – 2004. ГОДИНА

М. Еремић- Савковић, Г. Пантелић, В. Вулетић,
И. Танасковић, Љ. Јаворина
Институт за медицину рада и радиолошку заштиту, КЦС, Београд

САДРЖАЈ

У раду су представљени резултати гамаспектрометријских мерења, мерења укупне бета активности и активности ^{90}Sr у речном седименту реке Дунав на граници Србије и Црне Горе (Бездан) и Мађарске (Мохач) у периоду од 2000. до 2004. године. Измерене концентрације свих радионуклида су у оквиру уобичајних вредности, а према Мониторинг програму који се спроводи у Србији. У поређењу са резултатима "нултог стања" резултати активности седимента Дунава показују да су вредности на истом нивоу као и пре почетка рада Нуклеарне електрана Паки.

УВОД

Контрола радиоактивности реке Дунав која пролази кроз више европских држава је изузетно значајна. Узводно од северне границе Србије и Црне Горе у Мађарској на реци Дунав налази се Нуклеарна електрана Пакш. Први блок Нуклеарне електране почео је са радом 29.12.1982.г. и ова година узима се као последња година за утврђивање нултог стања радиоактивности реке Дунав. Резултати ових мерења су у извештају Института Руђер Бошковић 1989. године [1]. Од децембра 1987.године НЕ Пакш има инсталисану снагу од 1760 МWe , односно саграђена су сва четири блока како је и предвиђено. Све ово наводи на додатна испитивања радиоактивности екосистема реке Дунав у местима Бездан на левој обали (Србија и Црна Гора) и Мохач на десној обали (Мађарска), а по Међународном пројекту СЦГ - Мађарске комисије. У овом раду дати су резултати гамаспектрометријских мерења , мерења активности ^{90}Sr и укупна бета активност узорка седимента од 2000. до 2004. године. Према програму овог Међународног пројекта узорци седимента су до 1998.год. узимани четири пута годишње, а од 1999.год. шест пута и то у Бездану (Србија и Црна Гора) и Мохачу (Мађарска).

МЕТОДА МЕРЕЊА

Речни седимент је узиман узоркивачем по 1 kg у пластичну посуду. Седимент је сушен на 105°C до константне тежине, просејан кроз сито и узета фракција мања од $250\mu\text{m}$. Гамаспектрометријска мерења вршена су на чистом германијумском детектору фирме EG&G "ORTEC" који је повезан са вишеканалним

анализатором (8192 канала) истог произвођача и са одговарајућом рачунарском опремом. Енергетска калибрација, као и калибрација ефикасности детектора обавља се помоћу радиоактивног стандарда AMERSHAM [2].

Радиохемијска метода одвајања ^{90}Sr заснива се на оксалатном издвајању Са и Sr, жарењу до оксида и коришћењу алуминијума као повлачивача ^{90}Y . Равнотежа се успоставља за 18 дана, након чега се ^{90}Y издваја на повлачивачу $\text{Al}(\text{OH})_3$ [3], који се затим жари до оксида који се након тога мери на $\alpha\beta$ -антикоинцидентном бројачу. Величина планшете је 2.3cm. Ефикасност бројача износи 24%, и одређена је помоћу стандарда ^{90}Sr . Укупна бета активност мери се на $\alpha\beta$ - пропорционалном гасном бројачу. Ниво основног зрачења је од 1- 1,5 imp/min. Ефикасност бројача одређује се стандардом КС1 исте дебљине као и узорак.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У табели 1 су приказане средње годишње вредности специфичне активности природних и вештачких радионуклида са стандардном девијацијом у речном седименту реке Дунава из Бездана и Мохача. Измерене активности природних радионуклида у свим узорцима седимента налазе се у границама просечних вредности за регионе у Србији, чије се испитивање врши по Програму мониторинга радиоактивности у животној средини (закон о заштити од јонизујућег зрачења, Сл.лист СРЈ бр 46/96 и одлука о систематском испитивању садржаја радионуклида у животној средини Сл.лист СРЈ 45/97).

Табела 1: Средње годишње вредности специфичних активности радионуклида са стандардном девијацијом у периоду 2000 - 2004 година

Радионуклиди	Нулно стање	Бездан	Мохач
	Активност (Bq/kg)		
^{234}Th	÷	43 ± 12	47.3 ± 14.8
^{228}Ac	÷	23.0 ± 5.0	24.5 ± 4.0
^{226}Ra	÷	25.6 ± 6.5	27.3 ± 5.7
^{214}Bi	36 ± 10	22.7 ± 5.6	24.2 ± 4.4
^{40}K	440 ± 12	370 ± 65	391 ± 45
^7Be	21 ± 11	< 5.7	13.8 ± 11.0
^{137}Cs	11.0 ± 4.0	24.6 ± 16.3	27.4 ± 20.0
^{134}Cs	2.1 ± 0.8	< 0.24	< 0.28
^{58}Co	÷	< 0.21	< 0.23
^{60}Co	< 0.70	< 0.31	< 0.38
^{75}Se	÷	< 0.22	< 0.34
^{95}Zr	< 10	< 0.50	< 0.62
^{95}Nb	< 8.0	< 0.26	< 0.31
^{103}Ru	< 2.5	< 0.23	< 0.26
^{106}Ru	< 6.5	< 1.87	< 2.20
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	÷	< 0.53	< 0.70
^{124}Sb	÷	< 0.26	< 0.29
^{125}Sb	< 4.4	< 0.78	< 0.81
^{144}Ce	< 8.0	< 1.17	< 1.25

Активност ^{137}Cs у седименту се кретала од 24.6 Bq/kg у Бездану до 27.4 Bq/kg у Мохачу суве материје, док је пре почетка рада НЕ Пакш износила 11 Bq/kg суве материје. Ово повећање активности у односу на "нулто стање" може се приписати контаминацији проузрокованој нуклеарним акцидентом у Чернобилу 1986. године. Активности осталих радионуклида, гама емитера, су на истом нивоу као и пре почетка рада НЕ Пакш.

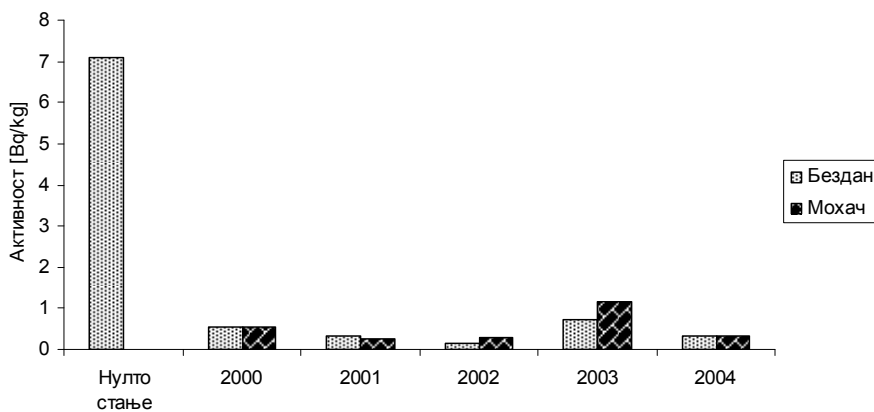


График 1. Специфична активност ^{90}Sr у седименту реке Дунав (средње годишње вредности)

Активност ^{90}Sr у седименту се кретала од 0.16 Bq/kg у Бездану до 1.17 Bq/kg у Мохачу суве материје у периоду 2000. - 2004. година, док је пре почетка рада НЕ Пакш износила 7.1 Bq/kg суве материје.

Резултати мерења у седименту показују да су средње вредности измерених активности ^{90}Sr у овим узорцима ниже него пре почетка рада НЕ Пакш (график 1).

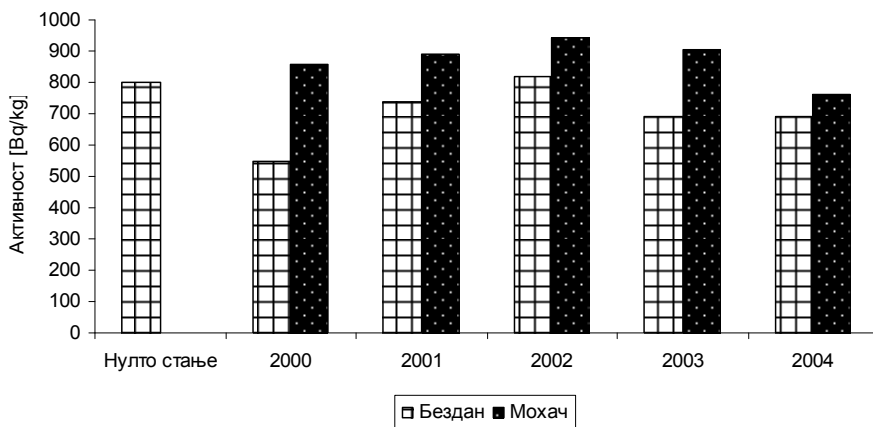


График 2. Укупна бета активност седимента реке Дунав (средње годишње вредности)

Резултати мерења укупне бета активности седимента варирају у интервалу од 547 Bq/kg у Бездану до 940 Bq/kg у Мохачу суве материје. Резултати мерења

седимента показују да су вредности укупне бета активности на истом нивоу као и пре почетка рада НЕ Пакш (график 2).

ЗАКЉУЧАК

Мерења укупне бета активности, активности ^{90}Sr и гамаспектрометријска мерења седимента на граници Србије и Црне Горе са Мађарском у периоду 2000.–2004. година показују да су вредности на истом нивоу као и пре почетка рада НЕ Пакш. Резултати мерења активности ^{137}Cs у узорцима седимента у истом периоду показују на извесно повећање активности у односу на "нулто стање", што се може приписати контаминацији проузрокованој нуклеарним акцидентом у Чернобилу 1986. године.

Наши резултати мерења показују добро слагање са резултатима мађарске стране.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] "Одрђивање радиоактивности ријеке Дунав за 1998. годину", ООУР Центар за истрживање мора, Загреб, Институт "Руђер Бошковић", 1989.
- [2] Debertin K., Helmer R.G. : "Gamma and x-ray spectrometry with semiconductor detectors", North-Holland, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1988.
- [3] Брновић Р.: "Стронцијум 90 у животној средини човека", магистарски рад, Београд, 1972

ABSTRACT

RADIOACTIVITY CONTROL OF SEDIMENT OF THE DANUBE RIVER ON SERBIAN AND MONTENEGRO – HUNGARIAN BORDER AREA DURING THE PERIOD 2000 – 2004.

M. Eremic-Savkovic, G. Pantelic, V. Vuletic,
I. Tanaskovic, Lj. Javorina

Institute of Occupational and Radiological Health, Clinical Centre of Serbia, Belgrade

In this paper we present the results of radioactivity control of the Danube sediments on Serbian and Montenegro (Bezdan left coast) – Hungarian (Mohac right coast) border area from 2000 to 2004 year. The results of measurements of gross beta activity, ^{90}Sr activity and gammaspectrometry reveal that the values are at the same level as they were before the Paks Nuclear power plant started running. The measurements of ^{137}Cs activity in sediment samples, from 2000 to 2004, show some increase of activity in relation to the "initial state", what could be assigned to contamination caused by Chernobyl Nuclear power plant accident in 1986.

RADIJACIONO OPTEREĆENJE NEKIH BIOINDIKATORSKIH VRSTA

S. Dragović, A. Čučulović
Institut za primenu nuklearne energije - INEP, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazane jačine apsorbovanih doza ^{137}Cs u mahovinama i lišajevima sakupljenim na prostoru nacionalnih parkova Kopaonik, Đerdap i Bjelasica. Maksimalne vrednosti doza u ispitivanim bioindikatorskim vrstama su daleko ispod vrednosti koje izazivaju promene u reproduktivnom ciklusu biljaka, što ove vrste čini pogodnim biomonitorima radioaktivne kontaminacije životne sredine.

UVOD

Uticaj jonizujućeg zračenja na žive organizme izučavan je na velikom broju vrsta, na svim nivoima biološke organizacije, od biomolekula preko ćelijskih organela, ćelija, tkiva, celih organizama do populacija, kako u slučaju akutnog, tako i u slučaju hroničnog izlaganja. Akutna izlaganja velikim dozama nastaju kao rezultat akcidentalnog oslobađanja radionuklida, kao što je slučaj akcidenta u nuklearnoj elektrani u Černobilju 1986. godine. U slučaju hroničnog izlaganja, ukupna akumulirana letalna doza može biti 2-10 puta veća od akutne. Brojne nacionalne i međunarodne organizacije predložile su kvantitativne kriterijume za granice izlaganja živih organizama zračenju (letalne doze) i za biljke i životinje one iznose 4 Gy i 0,4 Gy godišnje, respektivno, dok promene u reproduktivnom ciklusu izaziva doza od 0,4 do 1 Gy godišnje [1,2].

Dugo vreme poluraspada, zajedno sa hemijskom i ekofiziološkom sličnošću sa kalijumom, čine ^{137}Cs jednim od najznačajnijih radionuklida emitovanih u životnu sredinu. Zbog toga je radijaciono opterećenje ovim radionuklidom od posebnog značaja u radioekologiji. Mahovine i lišajevi su pogodni model sistemi za ovakva istraživanja, s obzirom na činjenicu da akumuliraju velike količine različitih polutanata, uključujući i radionuklide [3,4]. Procena radijacionog opterećenje vrsta iz životne sredine, kakve su bioindikator je kompleksna. Egzaktan proračun doza zahteva pun opseg informacija kako o unutrašnjoj tako i o spoljašnjoj distribuciji radionuklida i o njihovom ponašanju u životnoj sredini, koje su veoma retko dostupne, naročito za pojedinačne vrste, pa je neophodna izvesna simplifikacija i generalizacija.

MATERIJAL I METODE

Uzorci bioindikatora (mahovina i lišajeva) sakupljeni su u periodu od 2000. do 2003. godine na prostoru nacionalnih parkova Kopaonik, Đerdap i Bjelasica. Aktivnost ^{137}Cs određena je gamaspektrometrijskom metodom (NaI detektor efikasnosti 8.7% i rezolucije 6.7% za ^{137}Cs na 661,6 keV i HPGe detektor efikasnosti 34% i rezolucije 1.72 keV za ^{60}Co na 1,3 MeV). Izmerena aktivnost je konvertovana u dozu uz pretpostavku da su sve emitovane čestice (gama i beta) apsorbovane u tkivu koje je akumuliralo ^{137}Cs [5].

REZULTATI I DISKUSIJA

Jačine apsorbovanih doza izračunatih na osnovu aktivnosti ^{137}Cs u bioindikatorima sakupljenih na prostoru nacionalnih parkova Kopaonik i Đerdap prikazane su u tabelama 1 i 2.

Tabela 1. Jačina apsorbovane doze ^{137}Cs u bioindikatorima NP Kopaonik

Vrsta	Lokalitet	Jačina apsorbovane doze (mGy/god)
Mahovine		
<i>Polytrichum juniperinum</i>	Čurčicka ravan, 1700 m	5,10
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	Jelovarnik, 1450 m	10,46
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Markove stene, 1720 m	6,76
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	Markove stene, 1720 m	4,03
<i>Sphagnum fuscum</i>	Barska reka, 1300 m	2,90
Lišajevi		
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Ravni Kopaonik, 1700 m	0,53
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Čurčicka ravan, 1700 m	0,91
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Gobelja, 1800 m	2,23
<i>Cetraria islandica</i>	Čurčicka ravan, 1700 m	1,47
<i>Usnea florida</i>	Markove stene, 1720 m	0,79
<i>Bryoria fuscescens</i>	Markove stene, 1720 m	1,10
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Sunčana dolina, 1450 m	0,53
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Markove stene, 1720 m	1,27

Tabela 2. Jačina apsorbovane doze ^{137}Cs u bioindikatorima NP Đerdap

Vrsta	Lokalitet	Jačina apsorbovane doze (mGy/god)
Mahovine		
<i>Ctenidium molluscum</i>	Alibegov potok, 300 m	6,79
<i>Brachythecium mildeanum</i>	Alibegov potok, 300 m	1,70
<i>Hypnum cupressiforme</i>	PRC, hotel GJ Zlatica	1,26
<i>Schistidium sp.</i>	Šomrda, 806 m	7,81
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Šomrda, 680 m	0,55
<i>Dicranum scoparium</i>	Šomrda, 750 m	3,56
<i>Bryum argentinum</i>	Šomrda, 770 m	0,22
<i>Eurhynchium praelongum</i>	Ploče, skretanje za Ploče	13,65
<i>Homalothecium lutescens</i>	Ploče, Veliki kazan	1,47
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Ploče, Veliki kazan	5,26
<i>Isothecium myurum</i>	Ploče, Duboki potok	4,80
<i>Ctenidium molluscum</i>	Ploče, Veliki kazan	14,13
Lišajevi		
<i>Hipogymnia physodes</i>	Ploče, Veliki kazan	1,90
<i>Hipogymnia physodes</i>	Oman, vrh	4,63
<i>Hipogymnia physodes</i>	Šarbanovac, 500 m	1,16
<i>Hipogymnia physodes</i>	Jelašnica, 340 m	0,20
<i>Hipogymnia physodes</i>	Repušnica, 680 m	0,71

Dobijeni rezultati ukazuju na veliki kapacitet mahovina i lišajeva za usvajanje radiocezijuma. Osim toga, ispitivani ekosistemi predstavljaju gotovo zatvorene biogeocenoze, u kojima se nivo radioaktivne kontaminacije održava relativno stabilnim u dužem vremenskom periodu.

U tabeli 3 prikazane su jačine apsorbovane doze ^{137}Cs u bioindikatorima NP Bjelasica.

Tabela 3. Jačina apsorbovane doze ¹³⁷Cs u bioindikatorima NP Bjelasica

Vrsta	Lokalitet	Jačina apsorbovane doze (mGy/god)
Mahovine		
<i>Anomodon viticulosus</i>	Crvena stena, 1020 m	5,84
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Crvena stena, 1020 m	1,95
<i>Homalothecium sp.</i>	Crvena stena, 1020 m	3,15
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Studenca, 900 m	0,29
<i>Homalothecium sericeum</i>	Jelovica, 1100 m	1,94
<i>Homalothecium sp.</i>	Jelovica, 1100 m	11,62
<i>Polytrichum formosum</i>	Jelovica, 1100 m	5,60
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Vinicka, 700 m	1,01
<i>Tortella tortuosa</i>	Prevoja, 950 m	4,31
<i>Dicranum scoparium</i>	Prevoja, 950 m	0,95
<i>Polytrichum formosum</i>	Prevoja, 950 m	0,57
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Prevoja, 950 m	4,66
<i>Funaria hygrometrica</i>	Prevoja, 950 m	0,75
<i>Tortella tortuosa</i>	Tusta, 1500 m	4,26
<i>Leucodon sciuroides</i>	Tusta, 1500 m	1,35
<i>Pseudeskella nervosa</i>	Tusta, 1500 m	7,91
Lišajevi		
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Crvena stena, 1020 m	1,70
<i>Romalina fastigiata</i>	Crvena stena, 1020 m	0,62
<i>Parmelia sulcata</i>	Crvena stena, 1020 m	2,56
<i>Lobaria pulmonaria</i>	Crvena stena, 1020 m	2,83
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Jelovica, 1100 m	1,67
<i>Evernia prunastri</i>	Jelovica, 1100 m	1,07
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Studenca, 900 m	1,01
<i>Romalina fraxinea</i>	Studenca, 900 m	0,26
<i>Cladonia rangiformis</i>	Prevoja, 950 m	1,31
<i>Cladonia furcata</i>	Prevoja, 950 m	2,07
<i>Lobaria pulmonaria</i>	Tusta, 1500 m	0,76
<i>Parmelia sulcata</i>	Tusta, 1500 m	4,83
<i>Cladonia pyxidata</i>	Tusta, 1500 m	5,31

Poređenjem vrednosti jačina apsorbovanih doza u bioindikatorima sva tri ekosistema uočava se veće radijaciono opterećenje mahovina u odnosu na lišajeve. Razlika u stepenu akumulacije ¹³⁷Cs mahovina i lišajeva uzrokovana je razlikom u morfološkoj strukturi i fiziološkim karakteristikama ovih biljnih vrsta. Mahovine se odlikuju velikim odnosom površina-masa (skoro 10 puta većim od ovog odnosa za travu), što objašnjava veliki kapacitet ovih vrsta za usvajanje radionuklida. Iako ispitivane bioindikatorske vrste akumuliraju visoke aktivnosti ¹³⁷Cs (do 4,9 Bq/g), radijaciono opterećenje (do 14,13 mGy/god) je ispod nivoa na kojem nastaju promene u reproduktivnom ciklusu biljaka. Ovo ukazuje na pogodnost korišćenja mahovina i lišajeva kao bioindikatorskih vrsta.

Pri proceni stanja ekosistema treba uzeti u obzir brojne faktore: način uzorkovanja, prostorne i vremenske varijacije za sve uzorke i starosne indekse organizama. Osim nadmorske visine, ovde su prisutni i drugi uticaji. Zbog svog geografskog položaja, ekspozicije i stepena pokrivenosti vegetacijom ovi ekosistemi imaju različit padavinski režim, zbog čega je neophodno uzeti u obzir makroregionalnu atmosfersku cirkulaciju. Posebno je važno imati u vidu procese vertikalne migracije radiocezijuma, kao i uticaj specifičnih karakteristika ispitivanih ekosistema povezanih sa ovim procesima.

S obzirom da se mahovine i lišajevi odlikuju širokom geografskom i ekološkom distribucijom vrsta, dostupnošću tokom cele godine, dugim životom i visokim stepenom tolerancije prema zagađivačima, podaci o radijacionom opterećenju nastalom unutrašnjim

ozračivanjem ovih vrsta mogu poslužiti kao osnova za evaluaciju različitih ekosistema sa aspekta radioaktivne kontaminacije.

LITERATURA

- [1] IAEA (1992), Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards, Technical Report Series, No. 332, IAEA, Vienna
- [2] Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford, Publ. 54, 1988.
- [3] H.G. Zechmeister, K. Grodzińska, G. Szarek-Lukaszewska, Bryophytes. In: B.A. Markert, A.M. Breure, H.G. Zechmeister (Eds.), Bioindicators and Biomonitors, Elsevier, London, 2003, p. 329-375.
- [4] S. Dragović, O. Nedić, S. Stanković, G. Bačić, Radiocesium accumulation in mosses from highlands of Serbia and Montenegro: chemical and physiological aspects, J. Environ. Radioact. 77 (2004) 381-388.
- [5] DOE-STD-1153-2002, A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota, Module 3, Methods Derivation, US Department of Energy, Washington, 2002.

ABSTRACT

RADIATION BURDEN OF SOME BIOINDICATOR SPECIES

S. Dragović, A. Čučulović
Institute for the Application of Nuclear Energy - INEP, Belgrade

In this work the absorbed dose rates of ^{137}Cs in mosses and lichens collected in national parks Kopaonik, Djerdap and Tara were presented. The maximum values of dose rates in investigated bioindicator species are far beyond the values at which the disturbances in reproductive cycle should occur, indicating that these species are suitable biomonitors of radioactive contamination of environment.

RADIOAKTIVNOST U RIBAMA IZ DUNAVA U PERIODU OD 1999 – 2004. U REPUBLICI SRBIJI

Lj. Javorina, G. Pantelić, I. Tanasković,
M. Eremić-Savković, V. Vuletić
KCS, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
“Dr Dragomir Karajović”, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati ispitivanja sadržaja radionuklida prirodnog i veštačkog porekla, u ribama reke Dunav kod Bezdana u periodu od 1999 do 2004. godine. Cilj ovog ispitivanja je procena povećanja prirodne radioaktivnosti iznad prirodnog fona u uzorcima riba, kao posledica tehnološki izmenjene prirodne radioaktivnosti. Ispituje se i eventualno prisustvo veštačke radioaktivnosti.

UVOD

Razvoj nuklearne energije i korišćenje izvora jonizujućeg zračenja u medicini, industriji, poljoprivredi i dr. privrednim granama zahteva stalnu kontrolu životne sredine. Po Međunarodnom projektu jugoslovensko-mađarske komisije od 1997. godine u mestima Bezdani i Mohač, vrši se kontrola rada Nuklearne elektrane PAKŠ na sadržaj radionuklida u Dunavu nizvodno. Po ovom projektu, obavljaju se zajednička ispitivanja i usaglašavaju rezultati (vrši se ukupna beta aktivnost i gamaspektrometrijska analiza rečne vose Dunav, sedimenta, algi, raba i određuje se specifična aktivnost Sr-90 u rečnoj vodi, sedimentu i ribama a specifična aktivnost tricijuma u rečnoj vodi). Rezultati merenja 1982. godine radioaktivnosti reke Dunav koji su dati u Izveštaju Instituta Ruđer Bošković utvrđeni su kao "nulto stanje"[1]. Kako se ribe koriste u ishrani mora se uzeti u obzir jer kao i drugi prehrambeni proizvodi daju svoj doprinos ingestijom efektivnoj dozi za stanovništvo.

METODE

Za analiziranje aktivnosti uzorci riba (dve vrste po 3 kg) sakupljani su četiri puta godišnje. Gamaspektrometrijsko merenje se vrši nakon pripreme uzorka koje obuhvata sušenje na 105^o C do konstantne težine, usitnjavanje i homogenizaciju. Merenje se vrši na HP Ge detektorima, rezolucije 1.85 keV, relativne efikasnosti 25% na 1.33 MeV firme ORTEC. Povezani su sa višekanalnim analizatorom (8192 kanala) istog proizvođača i sa odgovarajućom računarskom opremom. Vreme merenja je 60000 s. Uzorci za određivanje aktivnosti Sr-90 mere se na $\alpha\beta$ antikoincidentnom proporcionalnom gasnom brojaču ("COUNTMASTER") osnovnog zračenja 1 - 1.5 imp/min. Veličina planšete je prečnika 2.3 sm. Efikasnost brojača iznosi 24% i određena je pomoću standarda ⁹⁰Sr. Radiohemijska

metoda odvajanja ^{90}Sr (posle sušenja uzorka na 105°C , žarenja na 500°C i homogenizacije) zasniva se na oksalatnom izdvajanju Ca i Sr, žarenju do oksida i korišćenju aluminijuma kao povlačivača za Y-90. Ravnotrža se uspostavlja za 18 dana, nakon čega se Y-90 izdvaja na povlačivaču $\text{Al}(\text{OH})_3$, koji se zatim žari do oksida i nakon toga meri na antikoincidentnom brojaču[2].

REZULTATI I DISKUSIJA

U periodu od 1999. do 2004. godine Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" obavljena je kontrola radioaktivnosti riba iz rečne vode Dunav kod Bezdana [3].

Tabela 1: Srednje godišnje vrednosti specifičnih aktivnosti radionuklida u ribama reke Dunav kod Bezdana

Godina	^{234}Th Bq/kg	^{238}Ac Bq/kg	^{226}Ra Bq/kg	^{214}Bi Bq/kg	^{40}K Bq/kg	^7Be Bq/kg	^{137}Cs Bq/kg	^{134}C Bq/kg
1999	< 3.2	< 0.7	< 4.0	0.75 ± 0.22	100 ± 30	< 2.5	0.48 ± 0.14	< 0.2
2000	< 1.3	< 0.21	< 0.91	0.33 ± 0.09	67 ± 19	< 0.88	0.25 ± 0.07	< 0.01
2001	< 1.1	0.16 ± 0.05	0.79 ± 0.24	0.14 ± 0.04	51 ± 15	< 0.44	0.13 ± 0.04	< 0.04
2002	< 0.90	0.13 ± 0.03	0.41 ± 0.07	< 0.51	51 ± 1.6	< 0.52	0.16 ± 0.05	< 0.04
2003	< 1.1	0.17 ± 0.05	0.40 ± 0.10	0.11 ± 0.03	49.8 ± 2.0	< 0.40	0.13 ± 0.03	< 0.04
2004	1.05 ± 0.14	1.29 ± 0.19	0.58 ± 0.19	0.19 ± 0.04	48.8 ± 2.0	< 0.49	0.14 ± 0.03	< 0.03

Tabela 2: Srednje godišnje vrednosti specifičnih aktivnosti ^{90}Sr u ribama reke Dunav kod Bezdana

Godina	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Bq/kg	0.65 ± 0.019	0.35 ± 0.10	0.24 ± 0.07	0.38 ± 0.11	0.42 ± 0.12	0.53 ± 0.15

Prikazan je samo jedan deo istraživanja [4]. U tabelama 1 i 2 prikazane su srednje godišnje vrednosti specifičnih aktivnosti prirodnih i veštačkih radionuklida iz riba reke Dunav kod Bezdana u periodu od 1999 do 2004. godine. Aktivnost ^{137}Cs kretala se od 0.48 do 0.13 Bq/kg sveže mase što su nešto niže vrednosti nego pre početka rada NE Pakš (0.6 Bq/kg sveže matrije). Aktivnost ostalih radionuklida, gma emitera su takođe na istom nivou kao i pre početka rada NE Pakš. Aktivnost ^{90}Sr u ribama se kretala od 0.24 do 0.65 Bq/kg. Ovi rezultati merenja pokazuju da su vrednosti na istom nivou kao i pre početka rada NE Pakš.

ZAKLJUČAK

Na osnovu analize rezultata gamaspektrometrijskog merenja sadržaja radionuklida, aktivnosti ^{90}Sr , u ribama rečne vode Dunav kod Bezdana možemo zaključiti

da rad NE Pakš za sada ne doprinosi povećanju specifične aktivnosti u ribama i da su vrednosti na istom nivou kao i pre početka rada elektrane, ali da je neophodno dalje praćenje rada elektrane kroz analizu svih segmenta karakterističnih za rečnu vodu Dunava.

LITERATURA

- [1] "Određivanje radioaktivnosti rijeke Dunav za 1988. godinu", OOUR Centar za istraživanje mora Zagreb, Institut Институт "Ruđer Bošković", 1989
- [2] *Brnović R.*: "Stroncijum 90 u životnoj sredini čoveka", magistarski rad, Beograd, 1972
- [3] Radioaktivnost životne sredine u Republici Srbiji, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu Dr Dragomir Karajović, 1997., 1998., 1999., 2000., 2001., 2002., 2003.,
- [4] Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije, Sl.list SRJ, br.9.februar 1999.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF DANUBIAN FISH IN SERBIA DURING 1999 TO 2004

Lj. Javorina, G. Pantelić, I. Tanasković,
M. Eremić-Savković, V. Vuletić
Institute of Occupational Medicine
and Radiological Protection "Dr. Dragomir Karajović",
Clinical Center of Serbia, Belgrade

Our paper presents the results of testing of natural and artificial radionuclides concentration in fish from the river of Danube at Bezdán in the period 1999 to 2004. The objective of our study was the evaluation of the increase of natural radioactivity over natural phon in fish samples, resulting from technologically modified natural radioactivity. Probable artificial radioactivity was also tested.

According to International Project of Yugoslav-Hungarian Commission, the control of work of Nuclear Power Plant PAKS considering the radionuclide concentration in the downstream Danube water at the locations of Bezdán and Mohac has been carried out since 1997. As defined by Project, mutual testings have been performed and the results have been harmonized (total beta activity and gammaspectrometry of the Danubian river water have been performed, as well as of sediment, algae, and fish; in addition, specific activity of S-90 in the river water, sediment, and fish has been measured, and special activity of tritium in the river water has been determined). Fish samples (two species, weighing 3 kg each) were taken four times a year. Radiochemical method was used for separation of ⁹⁰Sr, and it was measured by means of anticoincidental counter (activity of mean annual values ranged from 0.24 to 0.65 Bq/kg). Gammaspectrometry was carried out upon preparation of samples (drying at 105°C to constant weight, fragmentation and homogenization), and the mean annual values were presented (activity of ¹³⁷Cs ranged from 0.48 to 0.13 Bq/kg of fresh mass).

On the basis of analysis of gammaspectrometric results of radionuclide concentrations, i.e. activity of ⁹⁰Sr, in the fish of Danube at Bezdán, it may be concluded that the work of Nuclear Power Plant PAKS does not contribute to higher specific activity of radionuclides in fish, and the values are at the same level as before commissioning of

Nuclear Power Plant; nevertheless, it is necessary to monitor the work of the Plant through the analysis of all segments characteristic for the river water of Danube.

STANDARDIZACIJA TRASERSKIH RASTVORA ZA ALFA-SPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE PLUTONIJUMA I URANIJUMA U UZORCIMA NISKIH AKTIVNOSTI

M. Milošević, Z. Obradović¹, D. Ristić, M. Radenković, I. Vukanac¹
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine
¹ INN "Vinča", Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku

SADRŽAJ

U radu je opisan postupak standardizacije rastvora traseri ^{236}Pu i ^{232}U , pogodnih za kvantitativno određivanje izotopa plutonijuma i uranijuma u uzorcima iz životne sredine. Radiohemijsko prečišćavanje rastvora sekundarnih traseri izvršeno je metodom jonske izmene [1,2], a tankoslojni homogeni alfa-radioaktivni izvori dobijeni elektrodepozicijom [3] mereni su na alfa-spektrometrijskom sistemu. Apsolutna merenja aktivnosti su vršena na 2π -a proporcionalnom brojaču.

UVOD

Za kvantitativna određivanja izotopa uranijuma, plutonijuma u uzorcima iz životne sredine neophodno je koristiti traserske rastvore. Definisana koncentracija traserskog rastvora dodaje se u uzorke i prolazi kroz isti radiohemijski postupak [2] te se iz dobijenog odbroja može izračunati radiohemijski prinos i koncentracija izotopa od interesa. Kao traseri se koriste proizvedeni izotopi kojih nema u prirodi, a njihove alfa linije nalaze se u energetske oblasti od interesa i ne ometaju identifikaciju prirodnih izotopa istog elementa. Uranijum i plutonijum su u rastvoru traseri u ravnoteži sa svojim potomcima te se on mora hemijski prečistiti da bi se izbeglo nepoželjno pojavljivanje njihovih linija u spektru. Aktivnost izvora dobijenih primenom radiohemijske procedure prečišćavanja mora se odrediti apsolutnim mrenejem, a radiohemijska čistoća izvora proverava se alfa-spektrometriski. Obzirom da su granice detekcije većine brojačkih sistema reda veličine 10^{-5}Bq/g , merenje niskih aktivnosti može biti veoma otežano pa je od izuzetnog značaja tačno i precizno određivanje aktivnosti upotrebljenih traseri.

RADIOHEMIJSKA PROCEDURA PREČIŠĆAVANJA RASTVORA TRASERA

Radiohemijsko prečišćavanje rastvora traseri ^{232}U i ^{236}Pu obuhvata: uparavanje neprečišćenih rastvora traseri, rastvaranje u kiselini (8M HNO_3), oksidacija (NaNO_2 , H_2O_2) (za ^{236}Pu) [2].

Radiohemijsko prečišćavanje rastvora traseri zasniva se na procesu jonske izmene, gde se uranijum i plutonijum u obliku kompleksa vezuju za smolu. Korišćena je

jonoizmenjivačka smola DOWEX 1x4 100-200 mesh u hloridnom obliku. Kondicioniranje smole izvršeno je pomoću 8M HNO₃.

Selektivna adsorpcija i desorpcija uranijuma i plutonijuma na jonoizmenjivačkoj smoli je moguća usled velikih razlika u njihovim distribucionim koeficijentima u odgovarajućim oksidacionim stanjima [4].

Plutonijumska frakcija se eluira sa jonoizmenjivačke smole pomoću 0.1M NaJ / 9M HCl, dok se prilikom prečišćavanja ²³²U njegova frakcija eluira sa 1M HCl. Ovako dobijeni eluati upareni su do suva i prevedeni u odgovarajući hemijski oblik iz koga se vrši elektrodepozicija. Elektrodepozicijom se dobijaju tanki, homogeni i stabilni izvori jer alfa-spektrometrijska merenja zahtevaju takve izvore (debljine ≤ 30μg/cm²). Pri elektrodepoziciji alikvota od 50μl rastvora traseru ²³²U i 100μl rastvora traseru ²³⁶Pu, anoda je platinska žica, a katoda je pločica od nerđajućeg čelika. Elektrodepozicija se vrši 1h sa strujom od 1.2A. Elektrodeponovani izvori ²³²U i ²³⁶Pu mereni su na alfa- spektrometru, koji je prethodno kalibrisan pomoću standarda ²³⁹⁻²⁴⁰Pu [A = (26.8 ± 0.5) Bq] na osnovu koga je određen kalibracioni faktor i geometrijska efikasnost [k = 8.82 keV/ch., ε = 0.152].

APSOLUTNA I SPEKTROMETRIJSKA MERENJA

U sastav alfa-spektrometarskog sistema ulaze: izvor napona, vakuum pumpa, vakuum komora sa detektorom, pretpojačavač, pojačavač, višekanalni analizator i računar sa odgovarajućim softverom za obradu dobijenih podataka.

Karakteristike korišćenog spektrometarskog sistema (Canberra 2004): vakuum ispod 20x10⁻⁶ bara, PIPS detektor površine 100mm², rezolucija 24 keV, energija po kanalu od 8.82 keV, geometrijska efikasnost 0.15 pri udaljenosti izvora 25mm od površine detektora. Apsolutna merenja aktivnosti vrše se pomoću alfa/beta proporcionalnog brojača u 2π prostornom uglu. Izvori debljine do 100μg/cm² se pripremaju uparavanjem poznate količine rastvora nakapanog na podlogu od nerđajućeg čelika.

4π proporcionalni brojač sastoji se od: detektora zračenja, menjača izvora, olovne zaštite i gasne instalacije. Detektor zračenja je proporcionalni brojač napunjen metanom. U ravni koja deli brojač na dva jednaka polucilindra prolazi menjač izvora. Pomoću standarda ²³⁹Pu intenziteta 1560as⁻¹ određen je radni napon na 2200V.

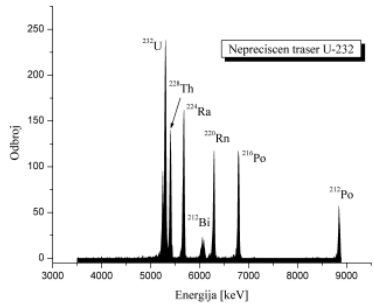
REZULTATI MERENJA

Primenjenim radiohemijskim postupkom prečišćeni su rastvori traseru ²³⁶Pu i ²³²U. Sa spektara neprečišćenih i prečišćenih traseru (sl.1, sl.2, sl.3, sl.4 i sl.5.) vidi se da su dobijeni alfa izvori traseru radiohemijski i hemijski čisti i da se u njima ne pojavljuju linije potomaka ²³⁶Pu i ²³²U.

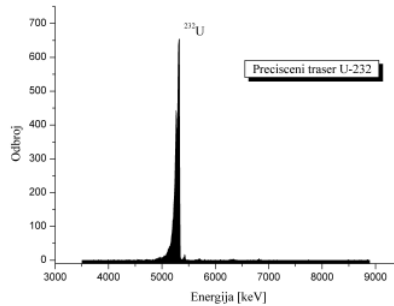
Na slikama 1-4 uočavaju se samo linije E₁ = 5.26MeV, E₂ = 5.32MeV koje potiču od ²³²U odnosno E₁ = 5.77MeV koja potiče od ²³⁶Pu. Izračunate specifične aktivnosti prečišćenih rastvora traseru su:

$$A(^{232}\text{U}) = (5.11 \pm 0.17)\text{Bq/ml}, A(^{236}\text{Pu}) = (1.84 \pm 0.07)\text{Bq/ml}$$

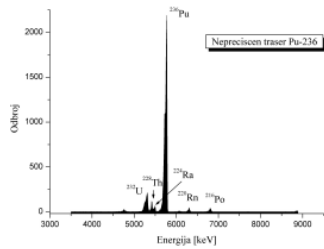
Za određivanje efikasnosti depozicije ²³⁶Pu, a samim tim i specifične aktivnosti ²³⁶Pu korišćen je rastvor ²³⁹⁻²⁴⁰Pu [A = (61.44 ± 1.44)Bq/ml] kao traser. Dobijena efikasnost depozicije je ε = 0.1211 i specifična aktivnost rastvora plutonijuma: A (²³⁶Pu) = (1.88 ± 0.15)Bq/ml.



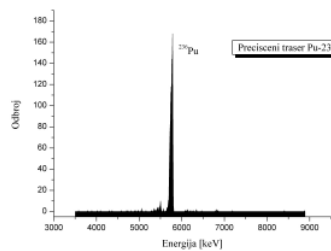
Slika 1. Spektar neprečišćenog traseru ^{232}U



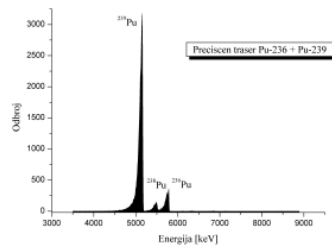
Slika 2. Spektar prečišćenog traseru ^{232}U



Slika 3. Spektar neprečišćenog traseru ^{236}Pu



Slika 4. Spektar prečišćenog traseru ^{236}Pu



Slika 5. Spektar prečišćenog traseru $^{236}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu}$

Specifične aktivnosti prečišćenih rastvora traseru ^{236}Pu i ^{232}U (Bq/ml) merenih na alfa spektrometar i $2\pi\alpha$ proporcionalnom brojaču prikazane su u Tabeli 1. Merna neizvesnost aktivnosti određena je primenom standardnog postupka [5].

Tabela 1. Specifične aktivnosti prečišćenih rastvora traseru ^{236}Pu i ^{232}U

	A (Bq/ml) preč. $^{236}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu}$	A (Bq/ml) preč. ^{232}U
alfa-spektrometar	1.97 ± 0.07	5.11 ± 0.17
$2\pi\alpha$ propor. brojač	1.88 ± 0.15	5.11 ± 0.23

ZAKLJUČAK

Primenjenim postupkom standardizacije traserskih rastvora ^{236}Pu i ^{232}U dobijeni su hemijski i radiohemijski čisti rastvori koji se mogu koristiti za kvantitativna određivanja izotopa uranijuma, plutonijuma u uzorcima iz životne sredine. Efikasnost radiohemijske procedure određivana je za svaki izvor pojedinačno sa visokom efikasnošću, a određena je iz relacije: $Y_r = N_t t^{-1} A^{-1} \epsilon^{-1}$ [1], gde je Y_r -efikasnost radiohemijske procedure, N -broj impulsa traser, A -aktivnost traser, ϵ -efikasnost brojačkog uređaja. Merenjem aktivnosti alfa izvora pripremljenih iz prečišćenih rastvora traser $2\pi\alpha$ metodom i na alfa-spektrometru pouzdano su određene vrednosti specifičnih aktivnosti dobijenih standardnih rastvora traser.

LITERATURA

- [1] Annual Book of ASTM Standards, Design. 1001, Vol. 12. 01, 1983.
- [2] M. Radenković, D. Vuković, V. Šipka, D. Todorović, J. Radioanal. Nucl. Chem., 208 (1996) 467
- [3] Talvitie, Anal. Chem., 54 (1972) 280
- [4] W. A. Kolb, R. J. Krupa, IAEA-SM-252/8
- [5] EURACHEM, C. Guide, Ed. S. L. R. Ellison (LGC, UK), Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Laboratory of the Government Chemist, London (1995). ISBN0-948926-08-2

ABSTRACT

STANDARDIZATION OF THE PLUTONIUM AND URANIUM TRACER SOLUTIONS FOR LOW-LEVEL ACTIVITY DETERMINATION IN THE ENVIRONMENTAL SAMPLES

M. Milošević, Z. Obradović¹, D. Ristić, M. Radenković, I. Vukanac¹
INS "Vinča" Radiation and Environmental Protection Department
¹ INS "Vinča" Laboratory for nuclear and plasma physic

The procedure of ^{236}Pu i ^{232}U tracer solutions standardization, applicable for quantitative determination of plutonium and uranium in the environmental samples is described. Radiochemical purification of tracer solutions was done by the ion-exchange based procedure. Homogenous thin-layer alpha-emitting radioactive sources were electroplated and analyzed by alpha spectrometry. Absolute activity measurements are performed using alpha/beta proportional counter in 2π geometry.

RADIOAKTIVNOST BILJNIH KULTURA U OKOLINI TERMoeLEKTRANE »NIKOLA TESLA«

J. Joksić, M. Radenković, D. Todorović
INN "Vinča" Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine

SADRŽAJ

Program kontrole radne i životne sredine termoelektrana TENT A i TENT B pored ispitivanja radioaktivnosti zemljišta, voda, pepela i šljake obuhvata i ispitivanja radioaktivnosti biljnih kultura. U ovom radu dati su rezultati spektrometrije gama emitera biljnih kultura za termoelektrane TENT A i TENT B za 2003. i 2004. godinu. Detektovani su prirodni radionuklidi ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Pb i ^7Be kao i proizveden radionuklid ^{137}Cs . Analize su urađene na HPGe detektoru.

UVOD

U procesu rada termoelektrana, kao posledica sagorevanja uglja, dolazi do koncentrisanja radionuklida u pepelu i šljaci. Deo pepela se zadržava na filtrima, dok drugi deo odlazi u atmosferu. Radionuklidi koji su dospeli u prizemni sloj atmosfere, deponuju se na površinu zemlje i mogu da utiču na promenu radioaktivnosti zemljišta. Zavisno od tipa zemljišta kao i hemijskog oblika radionuklida koji se nalazi u njoj, biljka može različito da vezuje radionuklide, odnosno transfer faktor za pojedinačne radionuklide je različit.

Sistematsko praćenje povećanja prirodne radioaktivnosti, odnosno kontrola radioaktivnosti radne i životne sredine termoelektrana, neophodna je kako bi se pružila mogućnost da se proceni uticaj termoelektrane na povećanje nivoa osnovnog zračenja u okolini. U toku 2003. i 2004.g. u okviru redovne kontrole radne i životne sredine termoelektrana, TENT A, TENT B analizirani su uzorci biljnih kultura uzetih neposredno u okolini termoelektrana.

METODE

Priprema uzoraka biljnih kultura sastoji se od sušenja na sobnoj temperaturi, koncentrisanja tj. mineralizacije na temperaturi od 370°C , zatapanja i čuvanja 30 dana pre merenja do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže. Biljne kulture su pripremane zajedno sa korenima, tj. nisu posebno mereni koren, stablo i list. S obzirom na veliku različitost biljaka koje su prisutne na posebnim lokacijama nije bilo moguće pravljenje pojedinačnih uzoraka određenih biljnih kultura. Biljne kulture se koncentrišu kako bi se smanjila ukupna greška merenja i minimalna detektabilna koncentracija, i povećala efikasnost detekcije.

Spektrometrija gama emitera je urađena na poluprovodničkim HPGe detektorima (CANBERRA) relativne efikasnosti 20% i 23%. Rezolucija detektora je 1.8 keV na energiji 1332 keV. Za kalibraciju matriksa biljne kulture korišćen je sekundarni

referentni radioaktivni materijal IAEA-373 (radionuclides in grass) nakapan sa ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr , ukupne aktivnosti 15 kBq/kg suve materije, na dan 31.12.1991.g. Ukupne greške merenja sa kojom su određene aktivnosti su u intervalu od 8% do 40%. Vreme merenja uzoraka je do 300 ks, zavisno od vrste uzoraka.

REZULTATI I DISKUSIJA

U uzorcima biljnih kultura detektovani su prirodni radionuklidi (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Pb i ^7Be) kao i proizvedeni radionuklid ^{137}Cs . Na osnovu rezultata može se zaključiti da nisu primetne varijacije u koncentraciji svih detektovanih radionuklida na pomenutim lokacijama. U tabelama 1 i 2, su prikazani rezultati merenja biljnih kultura u okolini termoelektrane TENT A u 2003. i 2004. godini. Sve dobijene koncentracije prirodnih i proizvedenih radionuklida u biljnim kulturama su niske i njihove vrednosti su karakteristične za biljne kulture koje se nalaze u okolini termoelektrana [1].

Koncentracije uranijuma (^{235}U , ^{238}U) u analiziranim biljnim kulturama su veoma niske i u većini slučajeva ispod granice detekcije (detektovan je samo u nekim biljkama koje su rasle na pepelu) što znači da je apsorpcija iz tla neznatna.

Proizvedeni radionuklid ^{137}Cs (posledica Černobilja) nije detektovan u biljnim kulturama koje su rasle na pepelima, jedino je detektovan u biljnim kulturama sa zemljišta.

U uzorcima biljnih kultura, izražena je aktivnost prirodnog radionuklida ^{210}Pb , koga biljka apsorbuje iz zemljišta, a takođe može da se istaloži i na lišću, obzirom da je ovaj radionuklid prisutan u aerosolima iz prizemnog sloja atmosfere.

Tabela 1. Koncentracija prirodnih i proizvedenih radionuklida (Bq/kg suve materije na sobnoj temperaturi) u biljnim kulturama u okolini termoelektrane TENT A u 2003. god.

Merno mesto	Bq/kg suve materije							
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{238}U	^{235}U	^{137}Cs	^7Be	^{210}Pb
Pasivna kasete 1	< MDC	2.8 ± 0.6	245 ± 25	< MDC	< MDC	< MDC	1) 33 ± 5 2) 89 ± 13	7 ± 2
Pasivna kasete 2	4.7 ± 0.8	4.4 ± 1.2	480 ± 48	7.1 ± 2.8	< MDC	< MDC	1) 50 ± 7 2) 163 ± 20	85 ± 14
Nasip pasivne kasete 1	1.4 ± 0.3	2.2 ± 0.4	345 ± 28	3.0 ± 0.8	< MDC	< MDC	1) 29 ± 3 2) 100 ± 10	43 ± 6
Nasip pasivne kasete 2	< MDC	6 ± 1	260 ± 26	5.3 ± 2	1.4 ± 0.5	< MDC	1) 38 ± 5 2) 104 ± 12	18 ± 4
Nasip aktivne kasete	< MDC	1.9 ± 0.6	332 ± 33	< MDC	< MDC	< MDC	1) 32 ± 4 2) 104 ± 12	18 ± 4
Zemljišta u blizini deponije	8.5 ± 2	3.2 ± 0.5	514 ± 41	< MDC	< MDC	1.4 ± 0.2	1) 32 ± 3 2) 106 ± 10	13 ± 3
Zemljišta dalje od deponije	< MDC	< MDC	311 ± 31	< MDC	< MDC	0.8 ± 0.2	1) 13 ± 2 2) 57 ± 8	27 ± 7

Tabela 2. Koncentracija prirodnih i proizvedenih radionuklida (Bq/kg suve materije) u biljnim kulturama u okolini termoelektrane TENT A u 2004. god.

Bq/kg suve materije								
Memo mesto	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³⁵ U	¹³⁷ Cs	⁷ Be	²¹⁰ Pb
Pasivna kasete 1	6.1 ±0.9	4.8 ±0.8	787 ±71	5.6 ±1.4	0.7 ± 0.1	< MDC	1) 118±12 2) 229±23	45 ± 7
Pasivna kasete 2	1.8 ±0.4	1.4 ±0.4	267 ±27	< MDC	< MDC	< MDC	1) 96±14 2) 255±38	18 ± 5
Nasip pasivne kasete 1	3.6 ±0.5	2.2 ±0.4	273 ±22	2.3 ±0.8	0.30 ±0.06	< MDC	1) 50±5 2)177±18	32 ± 4
Nasip pasivne kasete 2	2.3 ±0.5	1.5 ±0.3	245 ±24	< MDC	< MDC	0.34 ±0.08	1) 82±8 2)181±18	40 ± 6
Nasip aktivne kasete	0.7 ±0.2	1.2 ±0.5	730 ±66	< MDC	< MDC	< MDC	1) 48±5 2)174±17	35 ± 5
Zemljišta u blizini deponije	5.7 ±0.9	1.6 ±0.5	688 ±55	< MDC	< MDC	1.0 ± 0.2	1) 48±5 2)181±18	13 ± 4
Zemljišta dalje od deponije	4.0 ±0.5	3.6 ±0.8	676 ±61	< MDC	< MDC	2.0 ± 0.3	1) 87±8 2)167±15	8.1 ±0.5

Tabela 3. Koncentracija prirodnih i proizvedenih radionuklida (Bq/kg suve materije) u biljnim kulturama u okolini termoelektrane TENT B u 2003. godini

Bq/kg suve materije								
Memo mesto	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³⁵ U	¹³⁷ Cs	⁷ Be	²¹⁰ Pb
Pasivna kasete	22 ± 3	16 ± 2.4	384 ± 38	24 ± 5	1.4 ± 0.3	< MDC	1) 52 ± 8 2)140 ±21	91 ±14
Nasip pasivne kasete	14 ± 2	7 ± 1	355 ± 36	12 ± 5	0.4 ±0.09	< MDC	1) 29 ± 4 2)115± 16	21 ±6
Nasip aktivne kasete	29 ± 3	23 ± 3	597 ± 59	30 ± 8	4.7 ±0.7	1.6 ±0.4	1) 33 ± 5 2)101± 14	50 ±10
Zemljišta u blizu deponije	4.5 ± 0.7	3.9 ±0.9	407 ± 41	8.8 ± 2.6	< MDC	0.6 ± 0.2	1) 42 ± 6 2)137±19	72 ±14
Zemljišta dalje od deponije	< MDC	2.7 ± 0.9	647 ± 65	< MDC	< MDC	0.7 ± 0.2	1) 73 ± 9 2)221± 16	59 ±12

ZAKLJUČAK

U uzorcima biljnih kultura detektovani su prirodni radionuklidi čija se koncentracija ne razlikuje u odnosu na iste uzorke koji se nalaze na drugim teritorijama naše zemlje ili u okolini drugih termoelektrana u svetu (1, 2, 3).

Na osnovu urađenih analiza, u okviru postojećeg programa, rezultati ukazuju na to da nema povećanja radioaktivnosti biljnih kultura, usled rada pomenutih termoelektrana.

Tabela 4. Koncentracija prirodnih i proizvedenih radionuklida (Bq/kg suve materije) u biljnim kulturama u okolini termoelektrane TENT B u 2004. godini

Bq/kg suve materije								
Merno mesto	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³⁵ U	¹³⁷ Cs	⁷ Be	²¹⁰ Pb
Pasivna kasete	5.6 ±3.8	2.8 ±0.6	397 ±36	< MDC	< MDC	< MDC	1) 27 ± 3 2) 141 ± 17	7.4 ±3.8
Nasip pasivne kasete	< MDC	1.0 ±0.3	385 ±38	< MDC	< MDC	< MDC	1) 77 ± 8 2) 110 ± 11	15 ± 4
Nasip aktivne kasete	10 ± 1	7.9 ±1.1	459 ±41	7.4 ± 2.2	0.64 ±0.13	< MDC	1) 28 ± 3 2) 156 ± 19	34 ± 6

LITERATURA

- [1] G. Rosner, K. Bunzl, H. Hotzl and R. Winkler, Low Level Measurements of Natural Radionuclides in Soil Samples around A Coal – Fired Power Plant, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Vol.223, Nos. 2,3, 1985, 585-589.
- [2] G. Đurić, D. Popović, D. Todorović, Activity variations and concentration factors for natural radionuclides in a "soil – plant – honey" system, Environment International, Vol.22, Supp. 1, 1996, S361-S363.
- [3] E. Botezatu, C.Grecea, G.Botezatu, O.Capitanu, G. Sandor, T.Peic, Radiation exposure potential from coal – fired power plants in Romania, IRPA 9, International Congress on Radiation Protection, Proceedings Vol.2, 1996, 2-196-198

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF THE PLANTS IN THE THERMO-ELECTRIC POWER PLANT "NIKOLA TESLA" ENVIRONMENT

J. Joksić, M. Radenković, D. Todorović
Radiation and Environmental Protection Laboratory,
VINČA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade Serbia&Montenegro

The radioactivity monitoring of the "Nikola Tesla" thermo-electric power plant and environment included radioactivity analysis of soil, waters, flying ash, slag and plants. Here are presented results of the radioactivity analysis of plant samples taken in the TENT A and TENT B power plants environment, in the two years period 2003-2004. Naturally occurring radionuclides ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ²³⁵U, ²³⁸U, ²¹⁰Pb are determined by gamma spectrometry using HP Ge detector.

RADIOAKTIVNOST PEPELA I ŠLJAKE IZ TE "NIKOLA TESLA" (TENT-A, TENT-B) 2003 – 2004.

D. Todorović, J. Joksić, M. Radenković
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine

SADRŽAJ

U toku 2003. i 2004. g. Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, vršio je ispitivanje radne i životne sredine termoelektrana "Nikola Tesla". Rezultati merenja, uglja, šljake i pepela, uzetih na termoelektranama, TENT A, TENT B, prikazani su o ovom radu. Analiza je urađena spektrometrijom gama emitera na HPGe detektoru. Detektovani su prirodni radionuklidi: ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Pb .

UVOD

Glavni izvor tehnološki povišene prirodne radioaktivnosti su termoelektrane na uglj obzirom da pri sagorevanju uglja dolazi do oslobađanja i preraspodele niza zagađivača kao što su sumpordioksid, azotni oksidi, ugljenmonoksid, toksični i teški metali, organske čestice kao i radionuklidi uranijumovog, torijumovog niza i kalijuma.

Spaljivanjem uglja nastaje procentualno najveća emisija zagađivača u poređenju sa bilo kojim drugim gorivom, kao posledica visokog sadržaja pepela u uglju. Određen procenat uranijuma i torijuma, sadržan je u svakom uglju. U procesu sagorevanja uglja u termoelektranama dolazi do koncentrisanja prirodnih radionuklida tako da je faktor obogaćenja za pepeo i šljaku jako veliki. Ponašanje prirodnih radionuklida zavisi od niza faktora, kao što su vrsta i karakteristika uglja, procenat pepela u uglju, kalorične vrednosti uglja, temperature sagorevanja, hemijskog i fizičkog oblika u kome se radionuklidi nalaze u uglju i od drugih faktora. Najveći deo mineralnih materija iz uglja ostaje u pepelu dok njegov teži deo pada na dno kotla kao šljaka. Jedan deo lebdećeg pepela se zadržava na precipitatorima, dok drugi deo putem dimnjaka odlazi u atmosferu i na taj način dolazi do značajnog zagađenja životne sredine [1].

Promena prirodne radioaktivnosti kao posledica rada termoelektrana utiče na lanac ishrane, zemlja - biljka - životinja - čovek. U ovom radu prikazani su rezultati kontrole radne sredine termoelektrana TENT A, TENT B u toku 2003/2004.g.

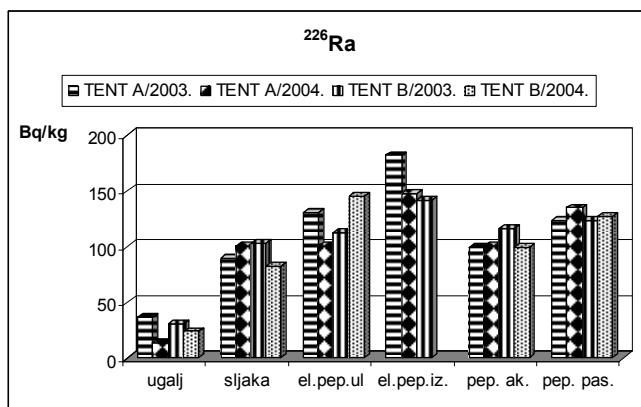
METODE MERENJA

Kontrola radne sredine termoelektrana obuhvatila je ispitivanje radioaktivnosti uglja, pepela i šljake. Priprema uzoraka obuhvata sušenje na 105°C , prosejavanje, i zatapanje pčelinjim voskom. Radi uspostavljanja radioaktivne ravnoteže pripremljeni uzorci čuvaju se u laboratoriji 30 dana pre merenja.

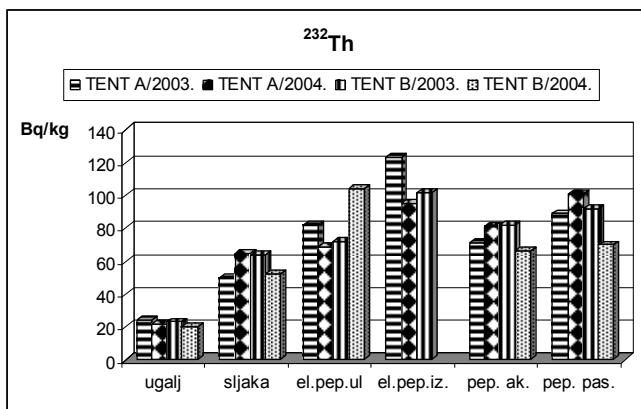
Analiza uzoraka uradjena je spektrometrijom gama emitera na poluprovodničkim HPGe detektorima relativne efikasnosti 20% i 23%, firme CANBERRA. Rezolucija detektora je 1.8 keV na energiji 1332 keV. Kalibracija detektora uradjena je referentnim radioaktivnim materijalom, MIX-OMH-SZ, koga je proizveo National Office of Measures, Budapest, matriksa zemlje, nakapanim sa ^{22}Na , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{89}Y , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ukupne aktivnosti 1.5 kBq/kg, na dan 01.07.1991.g. Vreme merenja uzoraka je oko 70 ks. Ukupne greške merenja sa kojom su određene aktivnosti su u intervalu od 8% do 30%.

REZULTATI MERENJA

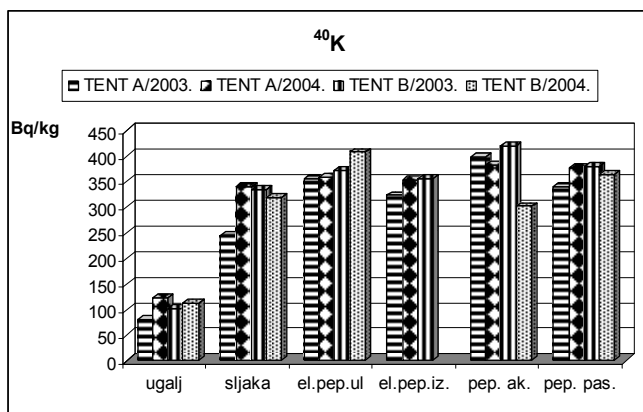
Spektrometrijom gama emitera detektovani su prirodni radionuklidi (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Pb). Rezultati mernja dati su na slikama 1, 2, 3, 4, 5, 6. Koncentracije prirodnih radionuklida u datim uzorcima ne razlikuju se između pojedinih termoelektrana, kao ni između godina. Odnos aktivnosti $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$, odgovara prirodnom uranu. Maksimalne koncentracije prirodnih radionuklida dobijene su u uzorcima elektrofilterskog pepela na izlazu.



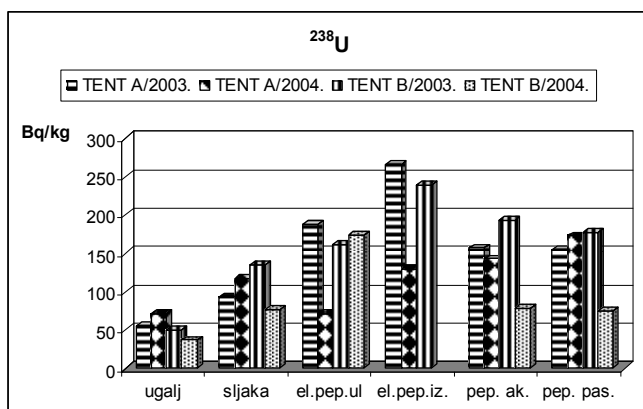
Slika 1. Promena koncentracije ^{226}Ra (Bq/kg) TENT A, TENT B



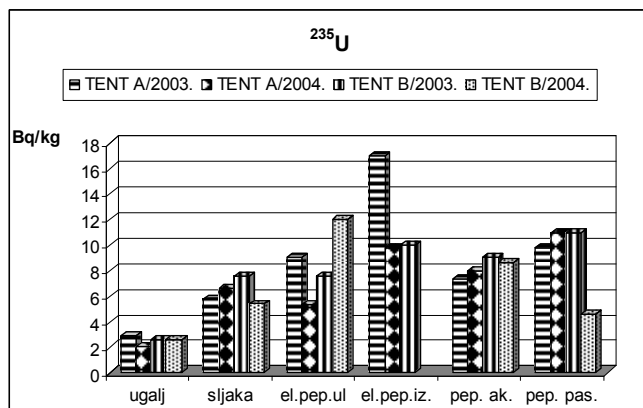
Slika 2. Promena koncentracije ^{232}Th (Bq/kg) TENT A, TENT B



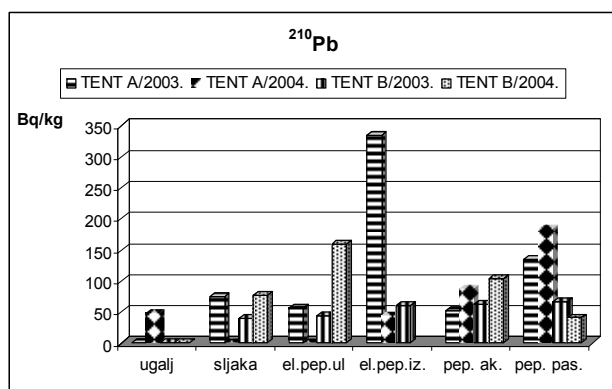
Slika 3. Promena koncentracije ^{40}K (Bq/kg) TENT A, TENT B



Slika 4. Promena koncentracije ^{238}U (Bq/kg) TENT A, TENT B



Slika 5. Promena koncentracije ^{235}U (Bq/kg) TENT A, TENT B



Slika 6. Promena koncentracije ^{210}Pb (Bq/kg) TENT A, TENT B

ZAKLJUČAK

Upoređivanjem dobijenih rezultata sa podacima iz literature, uočava se, da se dobijene vrednosti bitno ne razlikuju, odnosno sadržaj prirodnih radionuklida u uzorcima pepela, šljake, uglja bliske su rezultatima koji su dobijeni u drugim zemljama. Vrednosti dobijene u Nemačkoj, SAD, bivši SSSR, Poljska, Indiji i drugim, istog su reda veličine kao i dobijeni rezultati za pomenute termoelektrane [2, 3, 4, 5].

LITERATURA

- [1] Ronald L. Kathren, Radioactivity in the environment, Sources, Distribution, and Surveillance, Harwood academic publishers, New York, 1986.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 1988 Report to the General Assembly, with annexes, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UN, New York, 1988.
- [3] G. Rosner, K. Bunzl, H. Hotzl and R. Winkler, Low Level Measurements of Natural Radionuclides in Soil Samples around A Coal – Fired Power Plant, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Vol.223, Nos. 2,3, 1985, 585-589.
- [4] U.C.Mishra, Environmental impact of coal industry and thermal power plants in India, Journal of Environmental Radioactivity, Vol.72, Issues 1-2, 2004, 35-40.
- [5] Technical Report Series No. 419, Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological options for Mitigation, IAEA, Vienna, 2003.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF FLYING ASH AND SLAG IN THE "NIKOLA TESLA" (TENT-A, TENT-B) THERMO-ELECTRIC POWER PLANTS 2003 – 2004.

D. Todorović, J. Joksić, M. Radenković
INS VINČA

The radioactivity monitoring of the "Nikola Tesla" thermo-electric power plant and environment was performed by the Radiation and Environmental Protection Laboratory, VINČA Institute of nuclear sciences, in the two years period 2003-2004. Here are presented results of the radioactivity analysis of coal, flying ash and slag samples taken in the TENT A and TENT B power plants. Naturally occurring radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Pb are determined by gamma spectrometry using HPGe detector.

RADIONUKLIDI U UVOZNYM DIJETETSKIM PROIZVODIMA I DEČIJOJ HRANI U SRBIJI U TOKU 2005. GODINE

Lj. Janković, T. Mraović¹, M. Mišović, K. Stojković²

Institut za medicinu rada ZPM VMA

¹Institut za higijenu ZPM VMA

²Zavod za preventivno medicinsku zaštitu, Zemun

SADRŽAJ

Cilj ovog rada je praćenje radioaktivnosti u 60 uvoznih uzoraka dijetetskih proizvoda i bebi hrane u Srbiji u toku 2005.godine. Četiri uzorka su imala povećani sadržaj radionuklida ¹³⁷Cs, a ostali su zadovoljavali zakonski kriterijum radiološke ispravnosti.

UVOD

Globalni problem savremenog sveta je proizvodnja dovoljnih količina visoko kvalitetne i zdrave hrane. Savremene studije pokazuju da je jedan od najvažnijih faktora u očuvanju zdravlja ljudi i dece kvalitet ishrane. Proizvedena hrana mora da bude visoko kvalitetna, da zadovoljava hemijske, fizičke i biološke kriterijume ispravnosti.

Poslednjih decenija došlo je do velike promene u načinu ishrane, sve većeg korišćenja gotovih ili polugotovih obroka, proizvoda sa aditivima, konzervansima, raznih dodataka ishrani, dijetetskih proizvoda...

Dijetetski proizvodi se mogu koristiti u dijetoterapiji i dijetoprofilaksi mnogih bolesti, a namenjeni su deci i odraslima, zdravim i bolesnim. Njihova proizvodnja i upotreba je vrlo često diktirana modom, a ponekad zasnovana i na zabludama koje vode nepotrebnim ekonomskim gubitcima, a često i štetnim posledicama po zdravlje, posebno ako se potrošač orjentiše isključivo na takve preparate zanemarujući prirodne namirnice. Pri proceni vrednosti jednog dijetetskog preparata mora se uzeti u obzir i njegova higijenska ispravnost, dijetetsko biološka vrednost, ne sme da sadrži patogene mikroorganizme ili njihove toksine, parazitske gljivice, pesticide, hormone, radionuklide i kancerogene materije. Ako je reč o dijetetskim preparatima namenjenim deci namirnice od kojih su oni dobijeni ne smeju biti izlagane dejstvu jonizujućih zračenja [1].

Napredak nauke o ishrani, bolje poznavanje razvojne fiziologije dece i savremena tehnologija omogućuje da se napravi brojni proizvodi dečije hrane. Adaptirano mleko je po svom sastavu slično humanom mleku. Daje se odojčadi od rođenja do kraja prve godine života. Postoje dve vrste industrijski pripremljenog mleka za odojčad: adaptirano i delimično adaptirano. Adaptirano mleko je pripremljeno prema tačno određenim standardima (ESPGAN, Codex alimentarius, Američka akademija za pedijatriju). Delimično adaptirano mleko se razlikuje od jedne do druge zemlje i prilagođeno je osnovnim navikama u ishrani (nacionalni standardi) i ono se preporučuje u

ishrani odojčadi od 4 meseca do kraja prve godine života. Ova mleka su uglavnom u praškastom obliku, znatno ređe u tečnom [2,3].

MATERIJAL I METODA RADA

Analizirano je 60 uvoznih uzoraka i to 34 uzorka dijetetskih proizvoda (biljni preparati sa dodatkom Zn, Se, Fe; tečni koncentraci sa borovnicom, matičnim mlečom, kvascem; preparati sa medom, acerolom, jagodom; proteinski suplementi; preparati sa vitaminima i mineralima) iz Rusije, Kanade, SAD, Slovenije, Francuske i Italije i 24 uzorka dečije hrane (adaptirano mleko, kaše od voća i povrća i čaj za bebe) iz Holandije, Nemačke i Poljske. To su uzorci različitih proizvođača, datuma proizvodnje, svi u garantovanom roku trajanja.

Uzorci su homogenizovani, pakovani u Marineli posude zapremine 1 l i mereni od 60 000 do 80 000 s na poluprovodničkom HP Ge detektoru EG&G ORTEC rezolucije 1.85 keV na E =1332 keV za Co-60 i efikasnosti 30%. Kalibracije (enegetska i po efikasnosti) urađene su sa mešovitim stadardom u Marineli geometriji zapremine 1 l Amersham (^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{203}Hg , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{88}Y i ^{60}Co).

Analize spektara urađene su na osnovu prisutnih gama linija uz korišćenje softvera Gamma Vision [4].

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazani su rezultati specifične aktivnosti radionuklida ^{137}Cs i ^{40}K (u Bq/kg) u 34 različita dijetetska proizvoda iz uvoza koji su analizirani u toku 2005 godine.

Tabela 1. Specifične aktivnosti radionuklida ^{137}Cs i ^{40}K u dijetetskim proizvodima u 2005 godini

Article I. uzoraka	Poreklo uzoraka	Broj uzoraka	^{137}Cs [Bq/kg]		^{40}K [Bq/kg]	
			min	max	min	max
	Rusija	4	<0.22	7.23 ± 0.52	236.51 ± 11.82	344.05 ± 15.48
	Kanada	3	<0.09	<0.52	10.96 ± 0.66	17.58 ± 1.05
	Kina	2	<0.15	<0.36	252.23 ± 12.62	472.12 ± 25.96
	SAD	3	<0.92	<1.55	122.23 ± 7.05	185.24 ± 9.36
	Slovenija	3	<0.15	<1.45	282.32 ± 16.09	444.15 ± 25.75
	Francuska	4	<0.03	<0.17	626.84 ± 35.10	821.078 ± 39.41
	Italija	15	<0.15	155.50 ± 15.00	444.05 ± 23.09	1144.05 ± 53.77

Radionuklid ^{137}Cs je nađen u jednom uzorku iz Rusije (7.23 ± 0.52 Bq/kg) i tri uzorka iz Italije (od 45.56 ± 2.96 Bq/kg do 155.50 ± 15.00 Bq/kg). U svim ostalim uzorcima aktivnost ^{137}Cs je bila ispod granice detekcije.

Aktivnosti ^{40}K bile su od 10.96 ± 0.66 Bq/kg u jednom uzorku iz Kanade do 1144.05 ± 53.77 Bq/kg u jednom od uzorka iz Italije.

U tabeli 2 prikazani su rezultati specifične aktivnosti radionuklida ^{137}Cs i ^{40}K (u Bq/kg) u 24 uzorka dečije hrane iz uvoza u toku 2005 godine.

Tabela 2 Specifične aktivnosti radionuklida ^{137}Cs i ^{40}K u dečijoj hrani u 2005 godini

Uzorci	Broj uzoraka	Poreklo uzoraka	^{137}Cs [Bq/kg]		^{40}K [Bq/kg]	
			min	max	min	max
Adaptirano mleko za bebe	4	Holandija	<0.10	<0.25	36.12 ± 1.65	226.37 ± 12.45
Adaptirano mleko za bebe	4	Nemačka	<0.12	<0.49	30.73 ± 1.52	308.38 ± 12.33
Kaše za bebe	5	Nemačka	<0.23	<0.55	17.25 ± 1.02	231.28 ± 9.25
Kaše za bebe	6	Poljska	<0.17	<0.63	9.86 ± 1.34	208.55 ± 10.22
Čajevi za bebe	5	Nemačka	<0.32	<0.75	37.70 ± 2.03	57.22 ± 3.21

U svim uzorcima aktivnost ^{137}Cs je bila ispod granice detekcije.

Aktivnosti ^{40}K bile su od 17.25 ± 1.02 Bq/kg u jednom uzorku kaše za bebe iz Nemačke do 308.38 ± 12.33 Bq/kg u jednom uzorku adaptiranog mleka iz Nemačke.

ZAKLJUČAK

Rezultati gamaspektrometrijskih analiza 34 dijetetska proizvoda pokazuju da je radionuklid ^{137}Cs bio prisutan u 4 uzorka (u jednom uzorku iz Rusije i tri uzorka iz Italije) i oni nisu zadovoljavali zakonski kriterijum radiološke ispravnosti [5]. U 26 uzorka dečije hrane nije nađeno prisustvo ^{137}Cs . ^{40}K je bio prisutan u svim uzorcima. Ostalih 56 uzoraka su zadovoljavali zakonski kriterijum radiološke ispravnosti.

LITERATURA

- [1] B.Simić, Medicinska dijetetika, Nauka, Beograd, 1998, 212
- [2] R.Stepanović, B.Nestorović, Ishrana u pedijatriji, Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb, 1991, 57
- [3] D.Filipović, Ishrana zdrave i bolesne dece, Nauka-Beograd, 1995, 67
- [4] Gamma Vision -32, HP gen Gamma Ray Spectrum Analysis and MCA Emulation, Perkin Elmer
- [5] Službeni list SRJ 9/99

ABSTRACT

**RADIONUCLIDES
IN THE IMPORTED DIETARY PRODUCTS
AND BEBY FOOD OF SERBIA IN 2005**

Lj. Janković, T. Mraović, M. Mišović, K. Stojković

The aim of this work was radioactivity monitoring in 60 imported samples of dietary products and baby food of Serbia in the course of 2005. The four samples had higher activity ^{137}Cs and other samples met legal criteria.

**МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОСТИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ
И ПРОЦЕНА ЕФЕКТИВНЕ ДОЗЕ ЗРАЧЕЊА ЗА СТАНОВНИШТВО СРБИЈЕ
КОЈА ПОТИЧЕ ОД УНОСА ¹³⁷Cs И ⁹⁰Sr ИНГЕСТИЈОМ**

Г. Пантелић, Љ. Јаворина, И. Танасковић, В. Вулетић,
М. Еремић-Савковић

Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Карајовић"

САДРЖАЈ

Мониторинг радиоактивности животне средине обухвата мерење специфичне активности радионуклида у узорцима из животне средине који су релевантни за експозицију становништва. Главни путеви експозиције становништва потичу од инхалације, ингестије и од спољашњег озрачења од радионуклида из ваздуха и депонованих на земљишту. На основу резултата мерења специфичне активности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr у узорцима хране израчуната је ефективна доза зрачења за становништво од тих радионуклида унетих ингестијом.

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОСТИ

Мониторинг је контрола испуштања радиоактивног материјала и праћење његовог кретања у животној средини и обухвата мерење радијационих и других параметара ради процене и контроле излагања становништва.

Контролисано испуштање радиоактивности у атмосферу и водене екосистеме је правно уређена пракса управљања отпадом у нуклеарној индустрији и сличним постројењима [1].

Мониторинг животне средине омогућава утврђивање да ли је испуштање радиоактивности у околину у складу са прописаним границама за време нормалног рада нуклеарних постројења и осталих постројења која користе радиоактивни материјал. Такође омогућава процену утицаја испуштене радиоактивности на животну средину и на здравље становништва. Ако се појаве непланирана испуштања или акциденти који доводе до тога да радиоактивност у животној средини прелази дозвољене границе, упозоравају се надлежне институције ради покретања поступка заштите животне средине и становништва од штетног дејства јонијујућег зрачења.

Постоје три врсте мониторинга: мониторинг на извору испуштања, мониторинг животне средине и индивидуални мониторинг [2].

Мониторинг на извору испуштања је оријентисан на мерење дозе код извора и количину испуштених радионуклида.

Мониторинг животне средине обухвата мерење специфичне активности радионуклида у узорцима из животне средине који су релевантни за експозицију становништва, првенствено у ваздуху, води за пиће, пољопривредним производима и природној храни, као и у биоиндикаторима који концентришу радионуклиде.

Индивидуални мониторинг се односи на мерења вршена на појединцима из становништва. Није предвиђен у мониторингу код рутинских мерења, али може се вршити код акцидента за процену појединачне дозе.

Циљеви мониторинг програма за заштиту становништва и животне средине су:

- процена ефикасности мера контроле испуштања радиоактивних материја у животну средину и сагласност са дозвољеним нивоима испуштања;
- процена стварног или могућег излагања критичне групе или становништва радиоактивним материјама у животној средини због рада нуклеарних постројења или због коришћења извора зрачења, од акцидента или од претходног рада;
- провера да ли су испуњени важећи законски прописи и друга ограничења;
- да се благовремено открије и идентификује узрок било ког неконтролисаног извора зрачења или радиоактивног загађења;
- континуирано вођење евиденције нивоа радиоактивности у животној средини;
- информисање становништва.

МОНИТОРИНГ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ У СРБИЈИ

Програм мониторинга животне средине обухвата различита мерења у узорцима из животне средине: мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху, гамаспектрометријска испитивања, одређивање специфичне активности ^{90}Sr , мерење концентрације радона...

Врста узорака, начин и фреквенција узорковања, као и методе мерења прописане су домаћим прописима [3] и препорукама Међународне агенције за атомску енергију [4], што представља добар основ за планирање рутинског мониторинга.

Рутински мониторинг радиоактивности у животној средини обухвата систем вертикалне анализе: ваздух - падавине - земљиште - воде - биљке - животиње – човек, а таква мерења представљају добар основ за мониторинг у случају неког акцидента.

Повећана активност ваздуха и дневних падавина су први индикатори за нуклеарни акцидент или нуклеарну експлозију. Код испуштања радиоактивне контаминације у атмосферу ваздух је прва карика екосистема у којој ће се повећати концентрација радионуклида. Путем сувог и мокрог таложења радионуклиди се депонују на земљиште и биљке.

Узорци ваздуха и падавина, речне воде, воде у језерима и воде за пиће сакупљају се свакодневно, а у композитним месечним узорцима врши се гамаспектрометријско мерење и одређује се активност ^{90}Sr .

Узорци земљишта (необрадиво и обрадиво) се сакупљају два пута годишње (пролеће и јесен). Земљиште контаминирано радионуклидима има важну улогу у контаминирању циклуса биљне и сточне производње. У узорцима земљишта одређује се активност ^{90}Sr и врше се гамаспектрометријска мерења.

Испитивање контаминације радиоактивним материјама људске хране врши се у намирницама које су карактеристичне за исхрану становништва а то су намирнице које се уносе 5% или више у укупној исхрани становништва. Подаци о количини коришћених намирница добија се из статистичких годишњака. Сакупљање ових узорака врши се два пута годишње (пролеће и јесен). Приликом избора

намирница води се рачуна да то буду намирнице које се користе у исхрани деце и трудница, при чему највећи значај имају месо, млеко и млечни производи, затим житарице и поврће. Мањи значај имају водени организми (рибе, шкољке и ракови), дивљач и поједине врсте воћа јер се мање користе у исхрани.

Препоручује се да се радионуклиди анализирају у појединачним узорцима хране, а не у мешаним узорцима. Само анализа појединачних узорака може да покаже када и које противмере треба применити за редуковање дозе. Узорке за анализу треба припремити на исти начин као код употребе за исхрану, да би се у обзир узели ефекти прања, чишћења и кувања. У свим узорцима хране врши се гамаспектрометријско мерење и одређује се активност ^{90}Sr , који због дугог времена полураспада и своје радиотоксичности има посебан значај у прехранбеном циклусу са радијационохигијенског становишта. Од узорака сточне хране првенствено се контролише трава јер представља директан пут за контаминацију животиња које пасу (говедо, овце, козе), као и други карактеристични узорци за исхрану животиња.

ПУТЕВИ ЕКСПОЗИЦИЈЕ

Човек може бити изложен радиоактивности из животне средине на више начина. Ако радиоактивне материје потичу из ваздуха, радиоактивне честице могу се удахнути или депоновати на кожи. Честице депоноване на околним површинама могу се ресуспендовати ветром или људском активношћу и такође удахнути. Такође, веома комплексан механизам је онај који укључује ланац исхране.

Три су главна пута експозиције:

- спољашње озрачење од радионуклида из ваздуха и депонованих на земљишту,
- инхалација ресуспендованих материја и
- радиоактивност која потиче из хране.

Путеви експозиције човека од радиоактивних материја из ваздуха и падавина, као и преко ланца исхране веома су сложени, а поједини детаљи механизма транспорта радиоактивности нису сасвим ни познати. Физички, хемијски и биолошки путеви у животној средини су повезани кроз биофизичке и биохемијске процесе од којих зависи егзистенција свих живих организама. Неки од тих процеса доводе до значајног разблажења, други до поновног физичког или биолошког концентрисања, праћеног трансфером радиоактивности кроз различите и понекад узајамно зависне путеве до човека.

Релативна важност разичитих путева експозиције одређена је:

- врстом (алфа, бета, гама) и карактеристикама зрачења (период полураспада);
- физичким и хемијским карактеристикама средине (гасовита, течна, чврста);
- дисперзијом;
- карактеристикама животне средине (клима, живи свет, пољопривредна производња);
- карактеристикама експонованог становништва (начин исхране, навике, године старости, локација).

ПРОЦЕНА ДОЗЕ

Код било каквог испуштања радиоактивности у животну средину најважније је предвиђање резултујуће дозе за човека. Мониторинг програм треба да

омогући процену ефективне дозе за појединца из становништва и да је упореди са границом дозе од 1 mSv годишње (члан 8 правилника [5]). Процена дозе обично укључује примену модела трансфера радиоактивности кроз животну средину и мерења контаминације животне средине. Математички модели се заснивају на експерименталним резултатима, на карактеристикама испуштеног материјала и средине кроз коју се врши транспорт, путевима експозиције и ланцу исхране, као и на метаболизму одговарајућих радионуклида код човека [6, 7].

Процена дозе се врши за појединца из критичне групе. Критична група је група људи који због своје локације и навика представљају део становништва који ће примити највеће дозе од датог извора зачења. Када су познате специфичне активности радионуклида у ваздуху, води и храни, за критичну групу потребно је познавати време проведено у различитим условима експозиције, количину удахнутог ваздуха, количину потрошене хране и пића.

Да ли ће се и колико користити резултати мерења или моделирања зависи од:

- постојања одговарајућих мерења у животној средини која се односе на појединце из критичне групе;
- да ли су узорци репрезентативни;
- тачност мерења;
- број мерења испод границе детекције за радионуклиде који су испуштени из извора;
- степен ваљаности модела за дату ситуацију.

Такође је неопходно проверавати сагласност мерења са предвиђањима дати помоћу модела и модификовати моделе тако да би се смањила несигурност у проценама дозе.

У случају акцидента или неконтролисаног испуштања неопходно је становништву дати информације о величини опасности због инхалације, ингестије или изложености спољашњем зрачењу.

РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА СПЕЦИФИЧНЕ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДА У ХРАНИ

Специфична активност ^{137}Cs и ^{90}Sr у земљишту је још увек знатна [8]. Код култивисаних биљака (поврће, воће, житарице) због ниских коефицијената преласка ових радионуклида из земљишта у биљке [9], активност у биљним културама је веома ниска у последњих 10 година.

Средње вредности резултата мерења специфичне активност ^{137}Cs и ^{90}Sr у храни у Србији за период од 1999. године до 2003. године дате су у табелама 1 и 2. Број мерених узорак, минималне, максималне, средње вредности и стандардна девијација за мерења извршена у 2004. години дата су у табелама 3 и 4. Узорци хране су прикупљени 2 пута годишње у Београду, Новом Саду, Суботици, Нишу, Зајечару и Ужицу, а узорци млека сваког месеца у Београду, Новом Саду, Нишу и Зајечару.

Резултати мерења су груписани по категоријама [10, 11]: поврће, воће, житарице, месо и млеко. Риба је укључена у категорију са месом, пошто се у нашој земљи не једу превелике количине рибе, а посебно су издвојени млечни производи јер су веома заступљени у нашој исхрани.

Табела 1. Специфична активност ¹³⁷Cs у храни у Србији (средње вредности)

Год.	Поврће (Bq/kg)	Воће (Bq/kg)	Месо (Bq/kg)	Житарице (Bq/kg)	Млечни производи (Bq/kg)	Млеко (Bq/l)
1999	0.132 ± 0.032	0.097 ± 0.019	0.203 ± 0.046	0.035 ± 0.003	0.102 ± 0.024	0.051 ± 0.010
2000	0.111 ± 0.010	0.096 ± 0.017	0.576 ± 0.049	0.095 ± 0.020	0.282 ± 0.124	0.067 ± 0.007
2001	0.16 ± 0.10	0.060 ± 0.020	0.201 ± 0.040	0.075 ± 0.020	0.55 ± 0.30	0.117 ± 0.026
2002	0.136 ± 0.014	0.066 ± 0.007	0.278 ± 0.029	0.052 ± 0.001	0.201 ± 0.023	0.072 ± 0.010
2003	0.140 ± 0.016	0.054 ± 0.005	0.209 ± 0.021	0.050 ± 0.002	0.337 ± 0.081	0.102 ± 0.019

Табела 2. Специфична активност ⁹⁰Sr у храни у Србији (средње вредности)

Год.	Поврће (Bq/kg)	Воће (Bq/kg)	Месо (Bq/kg)	Житарице (Bq/kg)	Млечни производи (Bq/kg)	Млеко (Bq/l)
1999	0.300 ± 0.064	0.131 ± 0.027	0.049 ± 0.015	-	0.045 ± 0.10	0.041 ± 0.006
2000	0.441 ± 0.010	0.195 ± 0.010	0.360 ± 0.010	-	-	0.075 ± 0.010
2001	-	-	0.244 ± 0.015	-	-	0.033 ± 0.002
2002	-	-	0.380 ± 0.010	-	-	0.049 ± 0.003
2003	0.211 ± 0.077	0.035 ± 0.010	0.36 ± 0.15	0.20 ± 0.13	0.359 ± 0.029	0.087 ± 0.007

Табела 3. Специфична активност ¹³⁷Cs у храни у Србији у 2004. години

	Број узорака	Минимална вредност	Средња вредност ± стандардна девијација	Максимална измерена вредност
Поврће (Bq/kg)	50	< 0.04	0.14 ± 0.15	0.40 ± 0.04
Воће (Bq/kg)	37	< 0.04	0.29 ± 0.77	4.29 ± 0.30
Месо (Bq/kg)	28	< 0.05	0.34 ± 0.92	5.00 ± 0.30
Житарице (Bq/kg)	15	< 0.02	0.07 ± 0.09	0.40 ± 0.04
Млечни производи (Bq/kg)	24	< 0.04	0.22 ± 0.22	0.90 ± 0.07
Млеко (Bq/l)	50	< 0.02	0.08 ± 0.13	0.70 ± 0.04

Табела 4. Специфична активност ⁹⁰Sr у храни у Србији у 2004. години

	Број узорака	Минимална вредност	Средња вредност	Максимална измерена вредност
Поврће (Bq/kg)	32	0.03	0.24 ± 0.32	1.56 ± 0.23
Воће (Bq/kg)	11	0.03	0.10 ± 0.10	0.35 ± 0.05
Месо (Bq/kg)	28	0.03	0.22 ± 0.23	0.96 ± 0.14
Житарице (Bq/kg)	15	0.02	0.15 ± 0.26	1.05 ± 0.16
Млечни производи (Bq/kg)	20	0.01	0.53 ± 0.94	4.31 ± 0.65
Млеко (Bq/l)	50	< 0.005	0.064 ± 0.028	0.127 ± 0.019

ПРОЦЕНА ЕФЕКТИВНЕ ДОЗЕ ЗРАЧЕЊА ОД УНОСА ^{137}Cs И ^{90}Sr ИНГЕСТИЈОМ

Ефективна доза зрачења од уноса ^{137}Cs и ^{90}Sr ингестијом може се израчунати на основу резултата мерења активности ових радионуклида у храни (табеле 3 и 4) и годишње потрошње различитих прехранбених производа по становнику (табела 5). Потрошња намирница зависи од старосног доба, пола, годишњег доба, личног афинитета и навика. Због тога ће се за различите критичне групе користити различити подаци.

За просечног одраслог појединца из становништва узима се да годишње поједе 550 kg хране [10]. Због тога је ова количина храна узета за основу нормирања података за потрошњу намирница из четврте колоне табеле 5 и добијени су нови подаци (колона 5 исте табеле) који се користе за прорачун ефективне дозе зрачења.

Ефективна доза d_i за радионуклид i израчунава се по формули:

$$d_i = \sum_{j=1}^n m_j \cdot A_{ji} \cdot e(g)_{i,ing}$$

где су:

m_j - годишња потрошња намирнице j ,

A_{ji} - средња годишња специфична активност радионуклида i у намирници j ,

$e(g)_{i,ing}$ - очекивана ефективна доза по јединичном уношењу радионуклида i ингестијом у одговарајућој старосној групи,

n - укупан број различитих категорија намирница, у овом раду је 6.

Израчунате ефективне дозе зрачења од уноса ^{137}Cs и ^{90}Sr ингестијом за просечног одраслог становника у Србији у периоду од 1999. до 2004. године дате су у табели 6.

Табела 5. Потрошња прехранбених производа по становнику [12]

	Врста хране	Годишња потрошња по становнику у kg	Укупно у kg	Нормирано (kg)
Поврће	Кромпир	28.4	135.4	121
	Пасуљ, грашак и сочиво	6.8		
	Остало свеже поврће	100.2		
Воће	Свеже воће и грожђе	30.3	36.9	33
	Ораси и бадеми	1.8		
	Агруми	4.4		
	Суво воће	0.4		
Месо	Говеђе	11.9	88.3	78.9
	Свињско	60.5		
	Овчје	2.7		
	Живинско	7.9		
	Дивљач, риба, изнутрице, коњско	5.3		
Житарице	Пшеница и раж	165.5	195.8	175
	Кукуруз	28.4		
	Јечам	0.7		
	Пиринач и остала жита	1.2		
Млечни производи	Сир	9.6	9.8	8.8
	Путер	0.2		
Млеко	Свеже млеко и млеко у праху	99.1	99.1	88.5
Остале намирнице	Свињска маст	9.2	50.2	44.8
	Уља	11.8		
	Шећер	29.2		
УКУПНО		615.5	615.5	550

На основу ових резултата можемо закључити да је ефективна доза зрачења за становништво од тих радионуклида унетих ингестијом значајно испод препоручене годишње границе примљене дозе за појединца из становништва и да ове вредности последњих година веома мало варирају, јер су измерене специфичне активности ^{137}Cs и ^{90}Sr у истим категоријама намирница последњих година на истом нивоу.

Табела 6. Ефективне дозе зрачења од уноса ^{137}Cs и ^{90}Sr ингестијом

Година	Ефективна доза од ^{137}Cs μSv	Ефективна доза од ^{90}Sr μSv
1999	0.61	1.4
2000	1.1	2.7
2001	0.85	1.8
2002	0.75	1.4
2003	0.73	3.0
2004	0.96	2.1

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The Principle of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna, 1995
- [2] Strategies for Monitoring Radionuclides in the Environment, Safety Standard Series, Draft Safety Guide DS62, IAEA, Vienna, 2003
- [3] Одлука о систематском испитивању садржаја радионуклида у животној средини, Сл. лист СРЈ, бр. 45, 1997
- [4] Measurement of radionuclides in food and the environment, A Guidebook, Technical Report Series No. 295, IAEA, Vienna, 1989
- [5] Правилник о границама излагања јонизујућим зрачењима, Сл. лист СРЈ, бр. 32, 1998
- [6] Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Report Series No. 19, IAEA, Vienna, 2001
- [7] J.E.Till, H.R. Meyer. Radiological Assessment, A textbook on Environmental Dose Analysis, Washington, 1983
- [8] Радиоактивност животне средине у Србији, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту Др Драгомир Карајовић, Београд, 1995.. 2004
- [9] Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, Technical Report Series No. 364, IAEA, Vienna, 1994
- [10] Derived intervention levels for radionuclides in food, Guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from major radiation accident, WHO, 1988
- [11] M.W.Carter, J.H. Harley, G.D. Schmidt, G. Silini. Radionuclides in the Food Chain, Springer-Verlag, 1988
- [12] Статистички годишњак Југославије, Савезни завод за статистику, Београд, 1997

ABSTRACT

MONITORING RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT AND ASSESSMENT OF DOSES TO THE PUBLIC FROM INGESTED RADIONUCLIDES ^{137}Cs AND ^{90}Sr

G. Pantelić, Lj. Javorina, I. Tanasković,
V. Vuletić, M. Eremić-Savković

Institute of Occupational Health and Radiological Protection “Dr Dragomir Karajović”

Monitoring radioactivity in the environment comprise radionuclide concentrations in environmental samples relevant for public exposure. Main exposure

pathways to members of the public are external exposure due to radionuclides in a plume and on the ground as well as ingestion of contaminated food and inhalation of airborne radionuclides. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr were done from radioactivity measurements in the food samples.

GAMA-SPEKTROMETRIJSKE ANALIZE BOROVNICA I SOKOVA OD BOROVNICE DOMAĆEG I UVOZNOG PORIJEKLA

T. Anđelić, R. Žižić, R. Zekić,
N. Svrkota, Ž. Vuković¹, P. Vukotić¹
Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore
¹Univerzitet Crne Gore, Prirodno–matematički fakultet

SADRŽAJ

U toku 2004. godine u laboratoriji Centra za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore detektovano je prisustvo vještačkog radionuklida ¹³⁷Cs u soku od borovnica proizvođača “Fructal” iz Slovenije. Za određeni broj uzoraka je dato negativno mišljenje o njihovoj radioloskoj ispravnosti, tj. podobnosti za pustanje u promet na trzistu Crne Gore i nijesu prihvaceni argumenti proizvođača da sokovi zadovoljavaju evropske norme sadržaja radionuklida u ljudskoj hrani.

Naši nalazi su potvrđeni u superanalizama rađenim u institutima u Srbiji, kao i u analizama koje su na zahtjev “Fructala” obavljene u laboratorijama u Sloveniji i Italiji. Eksperti u Srbiji su potvrdili i prihvatili naše mišljenje, što je za posljedicu imalo da nadležni organi donesu odluku o zabrani upotrebe ovog soka i na teritoriji Republike Srbije.

Ovaj i slični slucajevi desavaju se zbog neusaglašenosti domaćih normi za sadržaj radionuklida u namirnicama sa evropskim normama. Međutim, postavlja se i pitanje da li bi trebalo usaglašavati ove nase norme sa evropskim s obzirom na ALARA princip, a imajući u vidu nizak prosječan sadržaj radionuklida u namirnicama domaćeg porijekla.

METODA MJERENJA

Svu uzorci su ispitivani metodom gama-spektrometrije na sistemu sa dva HPGe detektora. Karakteristike detektora su date u tabeli 1. Energetska kalibracija detektora je urađena korišćenjem tačkastih kalibracionih izvora ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ⁸⁸Y, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs, ¹⁵²Eu. Kalibracija efikasnosti detektora je urađena pomocu multi-standarda (²⁴¹Am, ¹³³Ba, ¹⁰⁹Cd, ¹³⁹Ce, ⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ⁸⁸Y) u Marineli posudi od 1 L, ciji je matriks silikonska smola, a u kojem su radionuklidi. Proizvođač standarda je Czech Metrological Institute.

Tabela 1.: Osnovne karakteristike HPGe detektora

Detektor	Relativna efikasnost	FWHM 1.33 MeV ⁶⁰ Co	FWHM 122 keV ⁵⁷ Co	Fon (35 keV-3 MeV)
GEM – 40190	41 %	1.80 keV	840 eV	1.23 cps
GEM – 30185	35 %	1.72 keV	700 eV	0.98 cps

U slučajevima kada u a naliziranom uzorku nijesu nađeni analitički pikovi za kvantitativnu analizu, korišćenjem metode 3 sigma fona data je procjena donje granice detekcije datog radionuklida u uzorku. Svi uzorci su snimani u Marineli posudama od 1 litra a vremena snimanja su varirala od 10.000 do 70.000 sekundi.

SADRŽAJ RADIONUKLIDA U SOKU OD BOROVNICA IZ UVOZA

U postupku redovne kontrole uvoza, Republička zdravstveno-sanitarna inspekcija dostavila nam je u periodu jun – jul 2004. godine određeni broj uzoraka soka od borovnice “Fructal”. Kvalitativna gama-spektrometrijska analiza uzoraka pokazala je prisustvo vještačkog radionuklida ^{137}Cs , a kvantitativnom analizom dobijene su vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{137}Cs koje su date u tabeli 2.

Tabela 2.: Sadržaj radionuklida ^{137}Cs u uzorcima soka od borovnica

	Vrsta uzorka	Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs (Bq/l)
1.	Bistri nektar – borovnica Fructal 0.2 l	25.9 ± 0.6
2.	Bistri nektar – borovnica Fructal 0.2 l	27.9 ± 0.1
3.	Bistri nektar – borovnica Fructal 1 l	25.8 ± 0.6
4.	Bistri nektar – borovnica Fructal 1 l	36.0 ± 0.2
5.	Bistri nektar – borovnica Fructal 1 l	38.8 ± 0.9
6.	Bistri nektar – borovnica Fructal 1 l	29.6 ± 0.5
7.	Bistri nektar – borovnica Fructal 0.2 l	21.9 ± 0.6
8.	Bistri nektar – borovnica Fructal 0.2 l	29.6 ± 0.5
9.	Bistri nektar – borovnica Fructal 0.2 l	29.1 ± 0.5
10.	Bistri nektar – borovnica Fructal 1 l	35.0 ± 0.2

Nasi rezultati gama-spektrometrijske analize “Fructalovog“ soka od borovnice potvrđeni su u superanalizama rađenim u institutima u Srbiji i u analizama koje su na zahtjev “Fructala“ obavljene u laboratorijama u Sloveniji i Italiji. Kolege u Srbiji su prihvatile naše mišljenje o neodgovarajućem kvalitetu ovog proizvoda za nase trziste sa aspekta radioloske ispravnosti, što je za posljedicu imalo da nadležni organi donesu odluku o zabrani upotrebe ovog soka i na teritoriji Republike Srbije.

Zvanično objašnjenje proizvođača je bilo da je sirovina nabavljena na evropskom tržištu i da ne postoji sirovina, u ovom slučaju borovnice, koje bi po sadržaju ^{137}Cs zadovoljila naše norme maksimalno dozvoljenog sadržaja ovog radionuklida, sto mi nijesmo prihvatili jer imamo borovnice takvog kvaliteta. Na kraju je sve ovo dovelo do toga da “Fructal“ povuče sokove od borovnica sa teritorije Crne Gore i Srbije.

Srednja vrijednost sadržaja ^{137}Cs u sokovima od borovnice proizvođača “Fructal“, koje smo analizirali tokom prošle godine je bila $A_{sr} = 30.0$ Bq/l, a vrijednosti su se kretale u opsegu (20 – 40) Bq/l. Po deklaraciji proizvođača sadržaj suve materije u soku je 40 %, tako da ako se u obzir uzme da je u procesu proizvodnje soka (pripremanje, kuvanje, cijedenje, ...) sa čvrstim materijama koji ne ulaze u sok otišao i značajan dio prvobitnog sadržaja ^{137}Cs , moze se procijeniti da je koncentracija aktivnosti ovog radionuklida u borovnicama bila znatno veća od 100 Bq/kg.

SADRŽAJ RADIONUKLIDA U BOROVNICAMA SA TERITORIJE CRNE GORE

U okviru Programa sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore, koji naša Laboratorija realizuje od 1998. godine, rađene su i analize uzoraka borovnica sa područja Crne Gore. Rezultati ovih analiza dati su u tabeli 3.

Tabela 3. Specifična aktivnosti radionuklida u borovnicama sa teritorije Crne Gore

	Lokacija	Specifična aktivnost ^{137}Cs (Bq/kg)
1.	Berane	1.02 ± 0.08
2.	Kolašin	1.11 ± 0.43
3.	Bijelo Polje	6.18 ± 0.63
4.	Plav I	2.72 ± 0.11
5.	Plav II	2.83 ± 0.11

Prikazane vrijednosti same za sebe dovoljno govore, a srednja vrijednost sadržaja ^{137}Cs u borovnicama sa teritorije Crne Gore je $A_{\text{sr}} = 2.77$ Bq/kg. Prema tome, borovnice sa teritorije Crne Gore, sa stanovišta radiološke ispravnosti, imaju kvalitet koji je teško naći na evropskom tržištu.

Sa velikom sigurnošću možemo tvrditi da, ako bi se sok pravio od ovih naših borovnica (imajući u vidu opisane specifičnosti procesa proizvodnje), koncentracija aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u soku bi bila ispod detekcionog nivoa. Osim uzoraka sokova od borovnica stranih proizvođača, analizirali smo i uzorke sokova i sirupa od borovnice skoro svih domaćih proizvođača. Radilo se o preko 50 urađenih analiza tih sokova. Samo u 2 slučajeva detektovano je prisustvo radionuklida ^{137}Cs i samo za jedan sok od borovnica domaće proizvodnje dato je negativno mišljenje. Specifične aktivnosti ^{137}Cs u ostalim domaćim sokovima od borovnice bile su ispod granice detekcije.

ZAKLJUČAK

Renomirani slovenački proizvođač sokova "Fructal" dao je obrazloženje da je sirovina za sok borovnice nabavljena na evropskom tržištu i da njihovi proizvodi bez problema prolaze kontrolu na tržištu Evropske Unije, jer njihovi normativi dozvoljavaju koncentraciju aktivnosti ^{137}Cs do 370 Bq/kg u slučaju mlijeka, mlječnih proizvoda i dječije hrane i do 600 Bq/kg za sve ostale proizvode [1].

Imajući u vidu relativno nisko prosječno radiološko opterećenje stanovništva u Srbiji i Crnoj Gori, bilo bi dobro da se ono i sačuva, tj. da se buduće norme maksimalnog dozvoljenog sadržaja radionuklida u namirnicama vežu za utvrđene nivoe radioaktivne kontaminacije odgovarajućih domaćih proizvoda, kao što je i precizirano u trenutno važećem zakonodavstvu iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja [2].

O ovim činjenicama se mora strogo voditi računa imajući u vidu da je u Srbiji i u Crnoj Gori u toku proces redefinisiranja kompletnog zakonodavstva iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja.

LITERATURA

[1] Council Regulations N° 737/90.

[2] Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije - Sl. list SRJ, br. 9/99.

ABSTRACT

**GAMMA-SPECTROMETRIC ANALYZIS OF DOMESTIC AND FOREIGN
BLUEBERRIES AND BLUEBERRY JUICES**

T. Anđelić, R. Žižić, R. Zekić,
N. Svrkota, Ž. Vuković¹, P. Vukotić¹
Center for Ecotoxicological researches of Montenegro

¹ University of Montenegro, Faculty for Natural Sciences and Mathematics

During the year 2004, our Laboratory detected presence of artificial radionuclide ¹³⁷Cs in some samples of blueberry juice of foreign origin. For some of them we gave a negative opinion what resulted in their import prohibition. Our analyses were approved in the laboratories in Serbia, Slovenia and Italy.

In this article we try to point on and explain problem of high differences between maximum permitted levels of radionuclide contents valid in European Union and in Serbia and Montenegro.

ЛИШАЈЕВИ И МАХОВИНЕ КАО БИОИНДИКАТОРИ КОНТАМИНАЦИЈЕ ОСИРОМАШЕНИМ УРАНОМ

В. Вулетић, Г. Пантелић, Љ. Јаворина,
М. Еремић-Савковић, И. Танасковић
Институт за медицину рада и радиолошку заштиту „Др Драгомир Карајовић“

САДРЖАЈ

Лишајеви немају корени систем нити кутикулу попут васкуларних биљака па хранљиве материје морају да узимају из ваздуха. Пошто континуирано акумулирају материју из атмосфере, лишајеви репрезентују просечну вредност садржаја суве и мокре депозиције из ваздуха, за одређени временски период. Маховине су структурно ближе лишајевима, него другим биљкама. Због дугог живота, лишајеви и маховине су погодни за анализу атмосферске депозиције током дужице временског периода. Узорци су сакупљени и анализирани да би се утврдила могућност коришћења лишајева и маховина као биоиндикатора за контаминацију осиромашеним ураном. Лишајеви и маховине су сакупљени у региону Врања. Сакупљени су узорци са тла, камења и дрвећа. Активности радионуклида одређене су гамаспектрометријски. Однос активности ^{235}U и ^{238}U у неким узорцима показује присуство осиромашеног урана. У појединим узорцима који су сакупљени изван простора који је ограђен и обележен као контаминиран однос активности $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ такође показује присуство осиромашеног урана.

УВОД

Након војних акција НАТО-а 1999 године, у животној средини Србије остала је одређена количина осиромашеног урана. У региону јужне Србије четири локације су обележене као локације контаминираним осиромашеним ураном. Анализе узорака земље су показале контаминацију [1, 2]. Анализе биоиндикатора као што су то лишајеви и маховине могле би показати да ли је дошло до шире контаминације.

Лишајеви су симбиоза гљива и алги. За разлику од васкуларних биљака, лишајеви немају корени систем нити кутикулу. Због тога не могу да узимају хранљиве материје из земље или друге подлоге на којој расту и зависе само од хранљивих материја из ваздуха. Континуирано акумулирају материју из ваздуха тако да узорак лишаја репрезентује просечну вредност садржаја суве и мокре депозиције из ваздуха за одређени временски период [3]. Маховине су прсте зелене биљке које имају стабљику и лишће, али немају кутикулу. Недостатак заштите омогућава маховинама да брзо узимају воду, али и да се великом брзином суше.

Због наведених карактеристика, лишајеви и маховине постају одлични биоиндикатори за тешке метале и радионуклиде.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Узорци лишјајева и маховина су сакупљани 2001, 2002, 2003 и 2004. године на четири места у региону јужне Србије. У Боровцу и Рељану узорци су сакупљени само 2001. и 2002. године. На Пљачковици узорци нису сакупљени 2003. године због деконтаминације која је тада била у току. Сакупљени су узорци са различитих подлога, земље, камена и коре дрвета. Узорци су сакупљани унутар и изван ограђеног простора.

Сакупљени узорци лишјајева и маховина су очишћени од земље, камења и других нечистоћа, сушени на 105°C – 110°C 24–48 сати, до константне масе, након чега су узорци ситно млевени, измерена им је маса, а затим су добро затворени у пластичне посуде. Након 30 дана, када је постигнута равнотежа, узорци су анализирани гамаспектрометријски. Коришћен је нискофонски HP Ge детектор (ORTEC), релативне ефикасности 25% и са енергетском резолуцијом од 1.85 keV ($1332.5\text{ keV }^{60}\text{Co}$). Због малих количина узорци су мерени 60000s–250000 s.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У табели 1. приказани су резултати анализе узорака лишјајева и маховина сакупљених на територији Боровца и Рељана, у табели 2. резултати анализе узорака сакупљених на Пљачковици, а у табели 3. резултати анализе узорака лишјајева и маховина сакупљених у Братоселцу. Измерене активности ^{238}U у лишјајевима и маховинама са земље налазе се у интервалу од 13 до 3467 Bq/kg (маховина сакупљена изнад рупе од пенетратора). Однос активности $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ је у интервалу од природног (0.046) до 0.01 што јасно указује на присуство осиромашеног урана.

У неким узорцима лишјајева који су сакупљени изван просотра који је обележен као контаминиран однос активности $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (0.014) указује на присуство осиромашеног урана, што води до закључка да контаминација није строго локализована, него да је ипак дошло до шире контаминације, иако у веома ниским нивоима. Највероватнији пут контаминације је ваздухом, ширењем прашине осиромашеног урана ветром.

Лишјајеви сакупљени са коре дрвета и стене не показују контаминацију осиромашеним ураном.

Након извршене деконтаминације на теренима Братоселца и Пљачковице, ни у једном узорку лишјајева и маховина није детектовано присуство осиромашеног урана. Мерења показују повећану активност ^{137}Cs (16 до 1075 Bq/kg), која потиче од чернобиљског акцидента. Веће активности ^{137}Cs пронађене су у маховинама, где је највећа активност ^{137}Cs (1075 Bq/kg) пронађена у маховини са земље.

ЗАКЉУЧАК

Резултати анализа лишјајева и маховина показују контаминацију осиромашеним ураном у ниским нивоима. Највероватнији начин контаминације је ваздухом, где је прашина осиромашеног урана распршена ветром.

Највећа специфична активност осиромашеног урана нађена је у маховини сакупљеној са земље изнад рупе од пенетратора где је маховина била у директном контакту са високо контаминираном земљом.

Табела 1: Узорци лишајева и маховина сакупљени у Боровцу и Рељану

Узорак	подлога	место узорковања		датум	⁴⁰ K Bq/kg	²³² Th Bq/kg	²³⁸ U Bq/kg	²³⁵ U Bq/kg	²²⁶ Ra Bq/kg	¹³⁷ Cs Bq/kg
лишај	земља	Боровац	ОП	Окт. 2001.	225 ± 16	15 ± 1	< 45	< 16	16 ± 5	165 ± 6
лишај	земља	Боровац	ВОП	Окт. 2001.	307 ± 18	9 ± 1	< 57	< 13	21 ± 2	213 ± 7
лишај	земља	Рељан	ОП	Нов. 2001.	796 ± 40	45 ± 4	124 ± 43	< 4.9	< 81	46 ± 3
маховина	земља	Рељан	ВОП	Нов. 2001.	387 ± 14	26 ± 2	49 ± 9	2.3 ± 0.4	30 ± 7	16 ± 1
маховина	земља	Рељан	ОП	Сеп. 2002.	291 ± 13	30 ± 3	73 ± 13	3.4 ± 0.4	40 ± 8	16 ± 1
маховина	земља	Рељан	ВОП	Сеп. 2002.	720 ± 26	94 ± 5	< 35	< 1.6	30 ± 3	264 ± 8

Табела 2: Узорци маховина и лишајева сакупљени на Пљачковици

Узорак	подлога	место узорковања	Датум	⁴⁰ K Bq/kg	²³² Th Bq/kg	²³⁸ U Bq/kg	²³⁵ U Bq/kg	²²⁶ Ra Bq/kg	¹³⁷ Cs Bq/kg
лишај	земља	ВОП	Окт. 2001.	402 ± 24	30 ± 6	148 ± 55	5.4 ± 1.5	19 ± 5	709 ± 22
маховина	земља	ОП	Окт. 2001.	1151 ± 58	103 ± 15	3467 ± 242	38 ± 4	78 ± 9	1075 ± 34
маховина	земља	ВОП	Окт. 2001.	451 ± 16	34 ± 3	109 ± 38	2.7 ± 0.7	22 ± 2	391 ± 12
лишај	земља	ОП	Сеп. 2002.	203 ± 13	9 ± 3	< 48	< 2.9	< 0.4	136 ± 26
маховина	земља	ОП	Сеп. 2002.	110 ± 4	9.3 ± 0.7	16 ± 6	0.7 ± 0.2	15 ± 3	28.3 ± 0.9
маховина	земља	ВОП	Сеп. 2002.	543 ± 20	42 ± 3	102 ± 20	4.0 ± 0.5	53 ± 10	105 ± 3
лишај	стена	ОП	Јул 2004.	272 ± 26	87 ± 23	352 ± 71	< 16	32 ± 11	50 ± 7
лишај	стена	ОП	Јул 2004.	166 ± 10	26 ± 6	85 ± 51	< 13	94 ± 24	751 ± 22
лишај	кора дрвета	ВОП	Јул 2004.	190 ± 15	< 12	< 45	< 5.2	< 85	47 ± 3
маховина	стена	ОП	Јул 2004.	399 ± 29	43 ± 12	277 ± 56	< 9.9	65 ± 21	96 ± 5
маховина	стена	ОП	Јул 2004.	183 ± 9	15 ± 3	< 33	< 2.6	< 43	312 ± 9

ОП – У ограђеном простору; ВОП – Ван ограђеног простора

Табела 3: Узорци маховина и лишјајева сакупљени у Братоселцу

узорак	подлога	место узорковања	датум	⁴⁰ K Bq/kg	²³² Th Bq/kg	²³⁸ U Bq/kg	²³⁵ U Bq/kg	²²⁶ Ra Bq/kg	¹³⁷ Cs Bq/kg
лишај	земља	ОП	Окт. 2001.	472 ± 21	24 ± 3	102 ± 21	4 ± 1	34 ± 3	83 ± 3
лишај	земља	ВОП	Окт. 2001.	645 ± 27	39 ± 4	834 ± 55	12 ± 1	60 ± 5	72 ± 3
маховина	земља	ОП	Окт. 2001.	463 ± 28	46 ± 6	812 ± 86	15 ± 2	58 ± 8	113 ± 5
маховина	земља	ОП	Окт. 2001.	701 ± 35	77 ± 9	390 ± 63	12 ± 2	96 ± 10	145 ± 6
лишај	земља	ВОП	Сеп. 2002.	45 ± 2	2.7 ± 0.3	15 ± 3	0.7 ± 0.3	8.7 ± 2.5	7.0 ± 0.3
маховина	камен	ВОП	Сеп. 2002.	543 ± 22	23 ± 4	96 ± 42	< 2.8	48 ± 18	79 ± 3
маховина	камен	ВОП	Сеп. 2002.	369 ± 13	40 ± 2	102 ± 23	< 1.6	52 ± 9	55 ± 11
маховина	земља	ВОП	Сеп. 2002.	476 ± 20	28 ± 3	101 ± 22	7.4 ± 0.8	96 ± 15	112 ± 4
лишај	земља	ОП	Сеп. 2003.	54 ± 8	14.0 ± 2.3	42 ± 16	1.7 ± 0.6	36 ± 10	37 ± 2
лишај	земља	ВОП	Сеп. 2003.	124 ± 5	8.0 ± 1.0	13 ± 5	< 1.6	15 ± 4	19.7 ± 0.8
маховина	стена	ОП	Сеп. 2003.	232 ± 9	12.0 ± 1.0	41 ± 10	< 1.7	24 ± 5	13.1 ± 0.6
маховина	камен	ОП	Сеп. 2003.	62 ± 2	7.5 ± 0.5	21.7 ± 3.7	0.85 ± 0.06	12.2 ± 1.2	17.6 ± 0.6
лишај	земља	ОП	Окт. 2003.	46 ± 3	2.7 ± 0.5	15 ± 4	< 0.36	8.0 ± 2.0	6.1 ± 0.3
маховина	земља	ОП	Окт. 2003.	703 ± 27	57 ± 5	182 ± 31	8.1 ± 1.0	111 ± 18	196 ± 6
маховина	камен	ОП	Феб. 2004.	222 ± 7	19.0 ± 0.9	69 ± 13	2.0 ± 0.2	31 ± 3	25.0 ± 0.8
маховина	земља	ОП	Мај. 2004.	254 ± 11	29 ± 2	52 ± 27	< 3.8	47 ± 11	84 ± 3
лишај	земља	ОП	Јул 2004.	309 ± 15	24 ± 4	113 ± 50	< 8.8	67 ± 21	50 ± 2
лишај	земља	ОП	Дец. 2004.	355 ± 20	30 ± 4	71 ± 15	< 8.2	58 ± 15	58 ± 3

ОП – У ограђеном простору; ВОП – Ван ограђеног простора

Резултати јасно указују на могућност коришћења лишајева и маховина као биоиндикатора контаминације осиромашеним ураном. Као врло осетљиви индикатори контаминације ваздуха осиромашеним ураном, лишајеви и маховине би требало да се редовно анализирају у склопу мониторинга животне средине у региону јужне Србије.

Даља истраживања требало би усмерити ка проналажењу појединих врста лишајева и маховина које би се показале као најбољи индикатори за осиромашени уран.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pantelić G, Eremić Savković M, Javorina Lj, Tanasković I, Vuletić V, Milačić S. Gammasspectrometric Determination of Depleted Uranium in Yugoslavia. European IRPA Congress, Florence, Italy, 2002: N-084
- [2] G. Pantelić, M. Eremić Savković, V. Vuletić, I. Tanasković, Lj. Javorina. Depleted Uranium in Soil in Serbia, Book of Abstracts, Fifth General Conference of the Balkan Physical Union BPU-5, Vrnjačka Banja 25.-29.08.03., Belgrade, 2003, 283
- [3] Sloof, J.E. Environmental lichenology: Biomonitoring trace-element air pollution, Thesis Technische Universiteit Delft, Delft University of Technology, 1993

ABSTRACT

LICHENS AND MOSSES AS BIOINDICATORS OF DEPLETED URANIUM

V. Vuletic, G. Pantelic, Lj. Javorina, M. Eremic-Savkovic, I. Tanaskovic
Institute of Occupational and Radiological Health, Belgrade

Lichens depend on nutrients from the atmosphere, since they have no root system or cuticle like vascular plants. Structurally, mosses are closer to lichens than they are to other plants. Lichens and mosses usually have considerable longevity, which led to their use as long term integrator of atmospheric deposition. According to their specific characteristics, lichens and mosses were collected and analyzed to estimate the possibility of using them as indicators of airborne contamination due to depleted uranium.

Lichens and mosses were collected in region of Vranje, south Serbia, and ^{235}U and ^{238}U activities were determined using gamma spectrometry. $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio in some samples indicates presence of depleted uranium. In some samples collected outside area marked as contaminated $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio also shows presence of depleted uranium, which leads to conclusion that contamination is not strictly localized but widespread, although in low levels.

3. Zaštita od zračenja u medicini

PROCENA DOZE ZA FETUS U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI

O. Ciraj-Bjelac, M. Vukčević, D. Košutić
Institut za nuklearne nauke »Vinča«, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati procene doze za fetus za sedam različitih procedura u dijagnostičkoj radijologiji. Doze su procenjene na osnovu rezultata merenja proizvoda kerme i površine (KAP) i odgovarajućih konverzionih koeficijentata za pretvaranje KAP u apsorbovanu dozu za uterus. Srednje vrednosti doza za fetus kreću se od 10 μ Gy pri radiografiji pluća do 10 mGy tokom intravenske urografije. Uočena je značajna varijacija u procenjenim dozama za različite pacijente i tipove radioloških procedura. Na osnovu procenjenih vrednosti, rizik od naslednih efekata izlaganja fetusa manji je od 10^{-4} , dok je rizik od pojave maligniteta manji od 10^{-3} .

UVOD

Korist za ozračenog pacijenta tokom procedura dijagnostičke radiologije je veoma značajna. S obzirom na veoma veliku učestalost dijagnostičkih pregleda, za očekivati je da postoje situacije kada su pacijenti i žene sa utvrđenom ili neutvrđenom trudnoćom. U ovim situacijama je veoma bitno da postoji nesumnjiva opravdanost pregleda kao i optimizacija procedure. Celokupno znanje o radijacionim rizicima tokom trudnoće potiče od kliničkih iskustava i eksperimentalnih podataka. Ekstrapolacija rezultata eksperimenata na životinjama moguća je samo ukoliko su faze razvoja kod životinjskih vrsta u analogiji sa razvojem ljudskog fetusa.

Rizik od izlaganja fetusa (*in utero*) je dobro poznat i može se podeliti u tri kategorije[1]:

- rizik od pojave maligniteta;
- nasledni efekti;
- rizik od ozbiljne mentalne retardacije.

Faktori rizika za navedene efekte dati su u Tabeli 1. Radioosetljivost embriona/fetusa je relativno visoka tokom celokupnog prenatalnog perioda. Za većinu štetnih efekata koji slede nakon prenatalnog ozračivanja je, izuzev karcinogeneze i mutageneze, karakteristično postojanje praga za manifestaciju efekta. Prenatalni razvoj organizma bazira se na proliferaciji, diferencijaciji i migraciji ćelija. To je i razlog za visoku radioosetljivost organizma tokom prenatalnog života. Tip i nivo štetnosti efekata koji nastaju kao posledica izlaganja jonizujućem zračenju izrazito zavisi od stepena razvoja fetusa (Tabela 1). Prenatalni razvoj kod ljudi podeljen je u tri faze:

- Preimplatacioni period (do 10 dana nakon začeća);
- Glavna organogeneza (do kraja drugog meseca nakon začeća);
- Fetalni period (do kraja trudnoće).

U slučaju dijagnostičkih pregleda u posljednjem tromesečju, za fetus koji tada dostiže veličinu od oko 25 cm, mogući rizici u ovom periodu se zbog završene organogeneze svode na karcinogenezu i nasledne efekte. Rizik od karcinogeneze je srazmeran srednjoj vrednosti doze za ceo fetus, imajući u vidu da je leukoza najverovatniji oblik maligniteta a crvena kostna srž gotovo uniformno raspoređena u organizmu.

Tabela 1. Biološki efekti prenatalnog izlaganja: koeficijenti rizika za relevantni period razvoja fetusa (period ozračivanja) i prag za navedene biološke efekte nakon izlaganja zračenju niske vrednosti LET [2]

Efekat	Interval prenatalnom periodu	u	Prag doze za manifestaciju efekta (mGy)	Koeficijent rizika (% /mGy)
Smrt	do 10 dana		100	0.1 ^a
Malformacije fetusa	10 dana – 8 nedelja		100	0.03 ^a
Mentalna retardacija	8-15 nedelja 16-25 nedelja		300 300	0.04 ^a 0.01 ^a
Umanjenje IQ	8-15 nedelja 16-25 nedelja		/ /	0.03 0.01
Malignitet	celokupni period		/	0.006
Nasledne promene	celokupni period		/	0.0003 (žene) 0.0001 (muškarci)

a – raste iznad vrednosti praga.

Tačna procena doze za fetus podrazumeva primenu specijelnih dozimetrijskih tehnika [3,4,5,6]. Srednja vrednost doze za fetus u prvom tromesečju, kada je veličina fetusa manja od 5 cm može se aproksimirati vrednošću doze za uterus. Prema matematičkom modelu referentnog čoveka uterus se nalazi na udaljenosti 1 cm anterior u odnosu na osu tela na rastojanju 9 cm od površine. Koristeći ovaj geometrijski model, doza za fetus se može izračinati na osnovu direktno merljivih dozimetrijskih veličina ili Monte Carlo proračuna [7].

PROCENA DOZE ZA FETUS

Procena doze *in utero* izvršena je na osnovu rezultata merenja proizvoda kerme i površine (KAP) za pacijente ženskog pola starosne dobi 15-50 godina. Merenje KAP izvršeno je transmissionom jonizacionom komorom KERMAX-Plus (Wellhofer Scanditronix, Sweden), kalibrisanom na svakom rendgen-aparatu pomoću referentnog dozimetra Baracuda R100 (RTI Electronics AB, Sweden) i filma.

Procenjena doza za fetus određena je na osnovu apsorbovane doze za uterus pri različitim radiološkim pregledima. Za procenu su korišćene normalizovane doze za uterus po jedinici KAP, za opseg napona 50-120 kVp i filtracije 2.0-5.0 mm Al pri različitim radiološkim pregledima i projekcijama [8]. Izmerene vrednosti KAP za odrasle pacijente ženskog pola i procenjene vrednosti doze za fetus prikazane su u Tabeli 2.

Tabela 2. Procenjene vrednosti proizvoda kerme i površine (KAP) i doze za fetus za nekoliko tipova radioloških pregleda pacijenata ženskog pola

Pregled	Projekcija	KAP (Gy·cm ²)		Doza za fetus (mGy)	
		srednja vrednost	interval	srednja vrednost	interval
Pluća	PA	0.42	0.04-12	<0.01	<0.01
Karlica	AP	3.9	1.4-11	1.5	0.54-4.1
LS kičma	AP	4.3	1.1-13	1.4	0.68-3.1
LS kičma	LAT	5.9	1.2-14	0.85	0.22-2.1
Urotrakt	AP	2.3	0.94-2.5	0.90	0.36-1.7
IVU		11	7.6-15	9.5	6.8-13
Gornji deo GIT		13	7.1-21	5.0	2.8-8.7

Poređenje izračunatih srednjih vrednosti doza i odgovarajućih intervala sa vrednostima referisanim u radovima drugih autora [10] prikazano je u Tabeli 3.

Tabela 3. Poređenje procenjenih doza za fetus sa vrednostima tipičnih doza za fetus iz radova drugih autora [9,10]

Pregled	Projekcija	Doza za fetus (mGy)			
		referisane vrednosti		ovaj rad	
		srednja vrednost	interval	srednja vrednost	interval
Pluća	PA	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Karlica	AP	3.4	0.55-22	1.5	0.54-4.1
LS kičma	AP	4.0	0.20-40	1.4	0.68-3.1
LS kičma	LAT	4.0	0.30-24	0.85	0.22-2.1
Urotrakt	AP	/	/	0.90	0.36-1.7
IVU		6.0	0.7-55	9.5	6.8-13
Gornji deo GIT		5.8	0.05-12	5.0	2.8-8.7

Procena doze za fetus izvršena je retrospektivno. Problem u praktičnoj primeni prospektivne procene doze sastoji se u nemogućnost da se tačno odredi unapred koji tip pregleda za pojedinačnog pacijenta rezultuje izlaganjima od nekoliko desetina mGy.

ZAKLJUČAK

Procenjene doze se odnose na pacijente ženskog pola u reproduktivnom periodu kada je verovanoća za izlaganja *in utero* konačna. Do ovog tipa izlaganja najčešće dolazi u slučajevima neutvrđene trudnoće, u prvih nekoliko nedelja gestacije. Procenjene doze za fetus su reda veličine 10 mGy, što je daleko manje od praga za determinističke efekte prenatalnog izlaganja. Ipak, pažljiva analiza opravdanosti radioloških pregleda koji se odnose na predeo abdomena i male karlice je neophodna, a posebno u slučaju ponovljenih pregleda u dijagnostičkoj radiologiji.

Na osnovu koeficijenta rizika navedenih u Tabeli 1, moguće je proceniti verovatnoću za manifestaciju naslednih efekata i maligniteta izlaganja *in utero*. Na osnovu procenjenih vrednosti, rizik od naslednih efekata ozračivanja fetusa manji je od 10^{-4} , dok je rizik od maligniteta manji od 10^{-3} . Potrebno je napomenuti da prirodni rizik od ispoljavanja krupnih malformacija i naslednih bolesti u normalnoj trudnoći iznosi 1 do 3 % a ako se uzmu u obzir i minornije promene verovatnoća raste do 6%[1].

LITERATURA

- [1] Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Proceedings of an international conference held in Malaga, Spain, 26-30 March 2001, IAEA, Vienna, 2001.
- [2] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford, Pergamon Press, 1991.
- [3] Adams E J *et. al.* Estimation of fetal and effective dose for CT examinations, Br J Radiol 70(1997):272-278.
- [4] Metzger R, Riper K. Fetal dose assessment from invasive special procedures by Monte Carlo methods. Med Phys 26(1999):1714-1720.
- [5] Osei E, Faulkner K. Fetal position and size data for dose estimation. Br J Radiol 72(1999):363-370.
- [6] Osei E, Faulkner K. Fetal dose from radiological examinations. Br J Radiol 72(1999):773-780.
- [7] Hunger J, wust P, Claussen C, Felix R, Evaluation of X-ray beam quality and film-screen combinations for detection of small low-contrast objects, Phys Med Biol 37:343-355, 1992.
- [8] Hart D, Jones D.G, Wall B.F Normalised Organ Doses for Medical X-ray Examinations Calculated Using Monte Carlo Techniques. Chilton, NRPB SR262, 1994.
- [9] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Source and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly. United Nations, New York (2000)
- [10] Tung C J, Tsai H Y, Evaluation of gonad and fetal doses for diagnostic radiology, Proc Nat Sci Counc 23 (1999):107-113.

ABSTRACT

FETAL DOSE ASSESSMENT IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

O. Ciraj-Bjelac, M. Vukčević, D. Košutić
VINCA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade

Fetal dose assessment for seven radiological examinations was performed. Using kerma area product (KAP) measurement results and corresponding conversion coefficients from KAP to absorbed dose to uterus, fetal doses were calculated. Mean fetal doses range from 10 μ Gy for chest PA to 10 mGy for intravenous urography. The considerable interpatient dose variations were observed for different examination types. Maximal risk for hereditary effects of fetus irradiation was estimated as less than 10^{-4} and risk for malignancy was less than 10^{-3} .

ПРИМЕНА СПЕКТРОСКОПИЈЕ X-ЗРАЧЕЊА У РЕНДГЕНСКОЈ ДИЈАГНОСТИЦИ КОСТИЈУ: УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДЕ УЗ СМАЊЕЊЕ ДОЗЕ

М. Крмар, К. Ганезер¹

Департман за физику, ПМФ Нови Сад

¹ Државни универзитет Калифорније Домингез Хилс, Карсон, Калифорнија

САДРЖАЈ

Развијен је метод који уместо интегралног интензитета пропуштеног x-зрачења користи енергетски спектар рендгенског дијагностичког уређаја да би се добила информација о површинској густини материјала који је симулирао кост. На основу анализе комплетног спектрамогуће је избећи проблем који настаје услед селективне апсорпције зрачења (hardening) уз значајну редукацију дозе.

УВОД

У последњих неколико година постигнут је значајан напредак у области развоја детекторских система, којима се у исто време може извршити спектроскопија дијагностичког рендгенског зрачења као и дводомензионални запис интензитета пропуштеног зрачења [1,2,3]. Но, осим у пар изузетака [4] још увек не постоје методи који би употребом спектроскопије рендгенског зрачења побољшале неке стандардне дијагностичке процедуре. Унапређивање постојећих дијагностичких метода које имају за циљ тачно одређивање минералног садржаја костију је област интензивних истраживачких активности, али тренутно ни једна од постојећих техника не задовољава у потпуности [5,6]. Од дијагностичких система у комерцијалној употреби, DEXA (Double Energy X-ray Absorptimetry) се помиње као стандард. Код ове технике се спектар закочног зрачења дели на две одвојене области на два начина, употребом одговарајућег филтра, којом се К-апсорпциона ивица налази негде око половине максималне енергије, или применом два различита потенцијала уз додатно филтрирање [7]. DEXA детектор се састоји од два слоја фосфора који су међусобно раздвојени бакарним филтром. Улога овог филтра је да у потпуности апсорбује компоненту зрачења која има нижу енергију, тако да до другог слоја фосфора практично доспева само компонента више енергије [8]. Тако се спектар закочног зрачења дели на две компоненте које се раздвојене и детектују.

У рендгенског дијагностици костију се релативно задовољавајућом апроксимацијом може сматрати техника по којој се тело апроксимира системом у коме се са аспекта атенуације x-зрачења разликују две компоненте: кост и меко ткиво. Тада је за нумеричко описивање атенуационих својстава оба ткива довољно имати информацију о релативној транспаренцији зрачења две различите енергије кроз део тела који у себи садржи коштану и меку ткиво. Претпоставимо да смо један

ставак објект експонирани ренгенским зрачењем које се састоји од две компоненте различитих ефективних енергија. Нека су интензитети упадног зрачења I_{0NE} и I_{0VE} , где су индексима NE и VE означене нижа и виша енергијска компонента респективно. Након проласка кроз објект који у себи садржи меко и коштано ткиво дебљина x_{mt} и x_k и густина ρ_{mt} и ρ_k респективно, могуће је детектовати интензитете пропуштеног зрачења I_{NE} и I_{VE} . У том случају се пролазак зрачења може описати са две једначине:

$$\mu_{kNE} \cdot \rho_k x_k + \mu_{mtNE} \cdot \rho_{mt} x_{mt} = \ln \frac{I_{0NE}}{I_{NE}} \quad (1)$$

$$\mu_{kVE} \cdot \rho_k x_k + \mu_{mtVE} \cdot \rho_{mt} x_{mt} = \ln \frac{I_{0VE}}{I_{VE}} \quad (2)$$

где су са μ и одговарајућим индексима означени масени атенуациони коефицијенти кости и меког ткива, за вишу и нижу енергију. Из горње две једначине се као непозната величина може израчунати производ $\rho_k \cdot x_k$, или површинска густина, величина која је директно зависна од минералног садржаја у костима. На овом принципу ради DEXA дијагностички систем.

СПЕКТРОСКОПСКИ МЕТОД

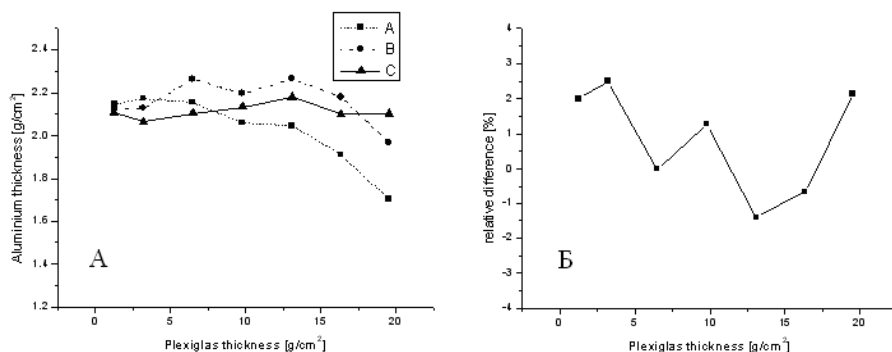
DEXA дијагностички систем заснован на апроксимацији две компоненте има један озбиљан недостатак који потиче од поли-енергетске природе употребљеног зрачења. Наиме, пошто се филтрацијом спектра закочног зрачења добијају две енергетске области, чија је полуширина већа од 20 keV, долази до различите атенуације чак и унутар исте енергетске области. Као резултат тога, ефективна енергија, којој су приписани и одговарајући атенуациони коефицијенти за коштану и меко ткиво се мења у зависности од дебљине слоја кроз који пролази. Самим тим и атенуациони коефицијенти који фигуришу у једначинама (1) и (2) у мањој или већој мери одговарају стварности, а све у зависности од величине и дебљине пацијента. Процењено је [9] да грешка у одређивању површинске густине кости која настаје услед селективне филтрације поли-енергетског зрачења може да буде и до 50%.

Сужавањем две енергетске области овај би се ефект могао уклонити, али начин на који је дефинисан DEXA сноп као и детектор не дозвољавају никакве измене. Но са снимљеним спектрима упадног и пропуштеног зрачења, могуће је одабрати две произвољно уске енергетске области па са њима одредити производ $\rho_k \cdot x_k$ уз помоћ једначина (1) и (2). На овај начин би у потпуности била избегнута селективна филтрација, али се сужавањем посматране енергетске области знатно смањује одброј којим се описују интензитети упадног и пропуштеног зрачења. То доводи до повећања статистичке непоузданости резултата која се може отклонити повећањем интензитета зрачења или продужавањем времена експозиције. У оба случаја се повећава доза, што се свакако мора избећи.

Када постоје снимљени спектри упадног и пропуштеног зрачења, два уска енергетска интервала се могу одабрати на велики број начина а за сваку од комбинација се може израчунати производ $\rho_k \cdot x_k$. Свака би од добијених вредности била одређена са релативно великом статистичком грешком због малог одброја у

уским енергетским интервалима, али усредњавањем добијених вредности, грешка би се могла редуковати.

Да би се то експериментално потврдило, снимљени су спектри јако колимисаног снопа дијагностичког рендгена од 80 KV након проласка кроз тест објект начињеном од плексигласа (еквивалент меког ткива) и алуминијума (кост). Спектри су снимани ORTEC планарним HPGe детектором. Дебљина алуминијума је била 2.143 gm/cm² док су дебљине плексигласа варирале од 1.304 до 22.82 gm/cm². На слици 1А су приказане вредности $\rho_k \cdot x_k$ добијене на три различита начина.



Слика 1. А) површинска густина алуминијума израчуната за различите дебљине плексигласа.

Б) релативна грешка вредности површинске густине алуминијума израчунате фитовањем за различите дебљине плексигласа

Крива А добијена је када су из спектра одабране само две широке енергетске области: прва је била између 32.0 и 47.9 keV док је друга била од 48.3 до 68.0 keV. Са слике се види како добијене вредности зависе од дебљине слоја плексигласа. Овај је ефект мало слабије изражен када су одабрана два ужа енергетска интервала, први од 35.5 до 44.3 keV дој је други био између 51.7 и 64.0 keV. Добијени резултати су приказани кривом В док крива С представља резултете који су добијени усредњавањем вредности добијених помоћу 10 парова енергетских интервала, од којих је сваки био ширине од 1.6 keV. Евидентно је да овако добијене вредности не зависе од дебљине плексигласа, чиме је ефект филтрације у потпуности елиминисан.

Употребом измерених спектара упадног и пропуштеног зрачења може се доћи до информације о површинској густини кости путем фитовања. Наиме, уколико се масени атенуациони коефициенти прикажу као функције енергије, из стандардног атенуационог закона имамо

$$\mu_k(E)\rho_k x_k + \mu_{mi}(E)\rho_{mi} x_{mi} = \ln \frac{I_0(E)}{I(E)} \quad (3)$$

Десна страна горње једначине може бити одређена у максимално онолико тачака у колико су канала посматрани спектри снимљени. Лева страна једначине се састоји од збира две функције где су површинске густине у ствари мултипликативни параметри који се путем фита одређују. И на овај начин се у потпуности може елиминисати проблем филтрације зрачења. На слици 1 Б, приказана су апсолутне грешке за вредности површинске густине добијене из спектара снимљених са

различитим дебљинама плексигласа. Може се видети како одступање од стварне вредности има статистички карактер и ни мало не зависи од дебљине плексигласа.

Познато је да се приликом стандардне DEXA претраге добија релативно мала доза, реда величине $5 \mu\text{Ci}$. Применом спектроскопије та би се доза могла знатно редуковати. Стандардни DEXA детектор енергетску сепарацију врши филтром дебљине до 8 g/cm^2 тако да се искористи мање од 10% зрачења које падне на њега. Спектроскопски уређаји са Ge, CdTe или NaI детекторима имају знатно већу ефикасност од DEXA детектора. Вредности приказане на слици 1 Б са грешком мањом од 2.5% добијене су од 20 експерименталних тачака од којих је свака била одређена са тачношћу од 1%. За постизање овог нивоа тачности потребна је доза знатно нижа од оне која се добија приликом DEXA процедуре пошто су спектри снимани пар десетина секунди са струјама рендгенске цеви реда величине μA .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Castoldi, A. Galimberti, C. Guazzoni, P. Rehak, L. Struder, Nucl. Instr. and Meth. A 512 (2003) 250.
- [2] R.L. Bates, S. Manolopoulos, K. Mathieson, A. Meikle, V.O'Shea, C. Raine, K.M. Smith, J. Watt, C. Whitehill, S. Pospišil, I. Wilhelm, Z. Doležal, H. Juergensen, M.Heuken, Nucl. Instr. and Meth. A 434(1999)1
- [3] B. Ramsey, D.P. Sharma, R. Austin, V. Gostilo, V. Ivanov, A. Loupilov, A. Sokolov, H. Sipila, Nucl. Instr. and Meth. A 458 (2001) 55
- [4] J. Giersch, D. Niederlöhner, G. Anton, Nucl. Instr. and Meth. A 531 (2004) 68
- [5] "Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy", NIH Consensus Statement, Volume 17, Number 1, March 27-29, 2000
- [6] M. A. Greenfield, Med. Phys., 19, 6, 1349-1357, (1992).
- [7] J. A. Sorenson, P. R. Duke, and S. W. Smith, Medical Physics 16 (1989) 75
- [8] D. R. Morgan, R. A. Sones, G. T. Barnes, Medical Physics 14 (1987) 728
- [9] G. M. Blake, D. B. McKeeney, S. C. Chhaya, P. J. Ryan, and I. Fogelman, Medical Physics 19 (1992) 459

ABSTRACT

APPLICATION OF X-RAY SPECTROSCOPY IN BONE DIAGNOSTICS: METHOD IMPROVEMENT WITH DOSE REDUCTION

M. Krmar, K. Ganezer¹

Physics Department, Faculty of Science, Novi Sad

¹ California State University Dominguez Hills, Carson, California

In this study the complete energy spectrum of an X-ray beam transmitted through two layers of different materials was utilized to calculate the mass per unit cross-sectional area (areal density) of each layer. Test objects, constructed from aluminum and Plexiglas were used to simulate cortical bone and soft tissue respectively. The spectral method presented here can be used to eliminate hardening problems of standard DEXA systems with significant dose reduction.

RADIONUKLIDI U DIJAGNOSTICI I TERAPIJI – PRIMENA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA

J. Vučina, M. Orlić, N. Nikolić, R. Han¹

Laboratorija za radioizotope, Institut za nuklearne nauke «Vinča», Beograd

¹ Institut za nuklearnu medicinu, Klinički centar Srbije, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani neki od važnih radionuklida i radiofarmaceutika koji se koriste u nuklearnoj medicini. Opsezi preporučenih aktivnosti dati su kao MBq ^{99m}Tc po testu u dijagnostici odnosno kao aktivnost korišćenog radionuklida po pacijentu u terapiji. U skladu sa savremenim konceptom određeni su neki od parametara bitnih sa aspekta zaštite pacijenata od zračenja.

UVOD

Bitni uslovi za rutinsku primenu datog radionuklida u nuklearnoj medicini, osim odgovarajućih fizičkih osobina, su dostupnost u potrebnim aktivnostima, kvalitet kao i cena. U dijagnostici najviše korišćen radionuklid je ^{99m}Tc. Razvojem ⁹⁹Mo/^{99m}Tc generatora ovaj radionuklid je postao lako dostupan u velikim aktivnostima. Visok kvalitet i pristupačna cena su, uz praktično idealne fizičke karakteristike, doprineli da ^{99m}Tc postane praktično nezamenjiv. Terapijska nuklearna medicina poslednjih godina dobija novi zamah. Pored «standardnih» radionuklida kao što su ³²P, ⁸⁹Sr ili ¹³¹I, razmatraju se i novi. Može se reći da u ovoj oblasti razvoj ide u pravcu osvajanja proizvodnje specifičnih radionuklida i radiofarmaceutika za praktično svaku namenu posebno.

U nuklearnoj medicini dolazi do izlaganja pacijenata radijacionim dozama u cilju dijagnostike ili terapije. Dok kod pacijenata ne postoji ograničenje doza, za medicinsko osoblje određene su granice izlaganja. U skladu sa najnovijim preporukama preporučuju se i dodatna ograničenja. Ovaj princip se primenjuje i kod pacijenata ali ne na račun kvaliteta primenjenog postupka već na osnovu njegovog tehničkog usavršavanja, zamene postupka drugim, korišćenjem pogodnijeg radionuklida, itd. U radu su prikazani neki od važnih radionuklida i radiofarmaceutika. Dati su preporučeni opsezi aktivnosti (aktivnost ^{99m}Tc/test u dijagnostici odnosno aktivnost/pacijent kod terapije). Za neki dijagnostičke i terapijske postupke date su vrednosti doza u ciljnom i ostalim organima i tkivima kao i efektivna doza. Na osnovu dobijenih podataka može se optimizovati primena radiofarmaceutika sa stanovišta smanjenja nepotrebnog izlaganja pacijenta.

DIJAGNOSTIKA – DOBIJANJE I PRIMENA TEHNECIJUMA-99m

Postupci za dobijanje najvažnijeg dijagnostičkog radionuklida obradjeni su u velikom broju radova i monografija [1]. Najvažniji način dobijanja ^{99m}Tc je korišćenje

radionuklidnog generatora $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Predak ^{99}Mo , dobijen fisijom uranijuma-235, adsorbuje se na Al_2O_3 . Separacija $^{99\text{m}}\text{Tc}$ vrši se propuštanjem fiziološkog rastvora (0,9% NaCl) kroz kolonu. Dobijeni $^{99\text{m}}\text{Tc}$ po svim parametrima odgovara kriterijumima propisanim u Farmakopejama [1].

U tabeli 1 date su primene pojedinih $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -radiofarmaceutika, opsezi aktivnosti $^{99\text{m}}\text{Tc}$ po testu, doze u ciljnom i ostalim organima, efektivne doze na nivou celog tela kao i rizik od smrti od karcinoma kao posledice aplikacije datog radiofarmaceutika. Rizik je računat sa koeficijentom rizika od $8\% \text{Sv}^{-1}$.

Tabela 1. Hemijski oblici $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -radiofarmaceutika, indikacije za primenu u dijagnostici, aktivnosti $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -po testu, apsorbovane doze u ciljnom i ostalim organima, efektivne doze i rizik od smrti od karcinoma

Ciljni organ	Indikacija	Hemijski oblik RF	Aktiv. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (MBq/test) [3]	Apsorbovana doza u ciljnom organu [4,5]		Apsorbovana doza u ostalim organima [4,5]		D_{ef} , mSv	Rizik
				mGy	%	mGy	%		
MOZAK	Scintigrafija mozga (statička)	TcO_4^-	500	1	0,7	152,4	99,3	6,5	5,20E-04
		DTPA	500	0,42	0,7	57,17	99,3	2,45	1,96E-04
	Scintigrafija mozga (SPECT)	TcO_4^-	800	1,6	0,7	243,8	99,3	10,4	8,32E-04
		DTPA	800	0,672	0,7	91,48	99,3	3,92	3,14E-04
TIREOIDEA	Scintigrafija	TcO_4^-	200	0,4	7,5	54,36	92,5	2,6	2,08E-04
SRCE	Radionukl. ventrikulo-grafija	Eritrociti	1110	25,53	11,8	190,1	88,2	7,77	6,22E-04
PLUĆA	Scintigrafija pluća (perfuzija)	MAA	160	10,56	36,1	18,69	63,9	0,011	0,00E+00
	Scintigrafija pluća (SPECT)	MAA	200	13,2	36,1	23,36	63,9	0,011	8,80E-07
JETRA	Scintigrafija jetre (SPECT)	Koloid	200	14,2	25,9	40,65	74,1	0,009	7,52E-07
BUBREZI	Scintigrafija bubrega (static)	DMSA	160	28,8	57,8	21,04	42,2	0,008	7,04E-07
	Scintigrafija bubrega sa renografijom	DTPA	350	1,365	3,4	38,95	96,6	0,005	3,92E-07
SKELET	Scintigrafija skeleta (SPECT)	PyP	800	50,4	36,5	87,52	63,5	0,006	4,56E-07

SPECT- single photon emission computerized tomography; DTPA- dietilentriaminpentasilicetna kiselina, MAA- humani serum albumin agregat, DMSA- dimerkaptocilicetna kiselina, PyP- pirofosfat; RF- radiofarmaceutik

Za obeležavanje odnosno za dobijanje radiofarmaceutika razvijen je niz radiofarmaceutika u tako zvanom «hladnom» obliku (eng.cold kit). Sve neaktivne komponente nalaze se u liofiliziranom obliku u penicilinskoj bočici. Korisnik treba samo da doda eluat koji sadrži potrebnu aktivnost ^{99m}Tc .

TERAPIJA

Primena radionuklida u terapiji zasniva se na primeni unutrašnjih izvora zračenja koji se vezuju za obolelo tkivo. Zračenje mora da ima mali domet i visoke vrednosti LET. Najpogodniji su alfa, beta ili beta/gama emiteri. Osnovne oblasti njihove primene u terapiji u nuklearnoj medicini su onkologija, reumatologija i palijativna terapija bolova. Važno je pomenuti njihovu ulogu u razvoju novih pristupa u tretiranju karcinoma kao što je karcinom štitaste žlezde, zatim u tretiranju leukemije i limfoma (radioimuno terapija - RIT), primarnog i sekundarnog maligniteta kostiju, itd. Dosadašnji rezultati su pozitivni što je dovelo do razvoja komercijalnih tehnika i agenasa [2].

U tabeli 2 prikazane su terapijske indikacije za primenu radionuklida i radiofarmaceutika i preporučene aktivnosti po pacijentu, kao i parametri od interesa za zaštitu od zračenja. Treba naglasiti da su radionuklidi poredjani po rastućim masenim brojevima a ne po važnosti. Na primer, nekada vrlo korišćeni ^{32}P je sada, bar u Evropi, skoro potpuno potisnut zbog velike mijelotoksičnosti.

Tabela 2: Radionuklidi u terapiji, indikacije za primenu, aktivnosti po pacijentu, apsorbovane doze u ciljnom i ostalim organima, efektivne doze kao i rizik od smrti od karcinoma

Ciljni organ	Hemijski oblik RF	Aktivnost (GBq/test) [3]	Apsorbovana doza u ciljnom organu [4]		Apsorbovana doza u ostalim organima [4]		D _{ef} , mSv	Rizik	
			Gy	%	Gy	%			
KOSTI	^{32}P Orto-fosfat	16,65	183,15	31,6	396	68,4	2,2	1,76E-04	
	^{89}Sr Hlorid	5,55	943,5	5,51	162	94,49	2,9	2,32E-04	
TIREOIDEA	^{131}I	0%*	3,70	0,1073	44,18	467	0,072	0,072	5,76E-06
		5%	3,70	0,318	44,18	33,7	2,3	2,3	1,84E-04
		15%	3,70	0,078	1,05	7,29	6,6	6,6	5,28E-04
		25%	3,70	1332,0	99,45	7,40	11	11	8,80E-04
		35%	3,70	1850,00	99,60	7,47	15	15	1,20E-03
		45%	3,70	2368,00	99,68	7,62	19	19	1,52E-03
		55%	3,70	2923,00	99,73	7,78	24	24	1,92E-03

*«Uptake» u tiroidei

ZAKLJUČAK

U radu su prikazane neke indikacije za primenu radionuklida i radiofarmaceutika u dijagnostičkoj i terapijskoj nuklearnoj medicini. Posebna pažnja posvećena je zaštiti pacijenata od zračenja. Date su apsorbirane doze kako u ciljnom (koristan efekat zračenja) tako i u ostalim organima i tkivima (koje treba budu što niže). Ovi podaci mogu da se koriste pri optimizaciji zaštite od zračenja. Tome ide u prilog i novi razvoj u ovoj oblasti. Razvijaju se postupci proizvodnje novih radionuklida i radiofarmaceutika. Lekari će tako za određenu dijagnostičku ili terapijsku indikaciju imati na raspolaganju više mogućnosti. U dijagnostici dominantan radionuklid je ^{99m}Tc . U radu je pokazano da se u nekim slučajevima vrednost efektivne doze zračenja može znatno smanjiti korišćenjem nekog drugog radiofarmaceutika. Dalja poboljšanja se očekuju pri radu sa drugim radionuklidima kao što su ^{123}I ili ^{201}Tl za SPET (Single Photon Emission Tomography) ili ^{11}C ili ^{18}F za PET (Positron Emission Tomography). Kod terapije efekat postupka ne zavisi samo od fizičkih, hemijskih i biohemijskih osobina radioaktivnih lekova već i od prirode i lokalizacije tumora. U radu su data tri tipična terapijska radionuklida. Razvoj u ovom slučaju ide ka dobijanju radiofarmaceutika obeleženih sa alfa i beta emiterima, kao što su $^{212,213}\text{Bi}$, $^{186,188}\text{Re}$, i drugi.

LITERATURA

- [1] Vučina, J., u: Tehnecijum-99m generator na bazi molibdena visoke specifične radioaktivnosti, Proizvodnja, kontrola i vidovi primene (ur.J.Vučina), Institut za nuklearne nauke «Vinča», 2003
- [2] Vučina, J., Han, R., Medicinski pregled, vol.LIV, str.245-250, 2001
- [3] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources, IAEA, Vienna, 1996.
- [4] Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, ICRP Publication 53, 1987.
- [5] Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, ICRP Publication 80, 1997.

ABSTRACT

RADIOISOTOPES IN DIAGNOSTICS AND THERAPY – USE AND RADIATION PROTECTION

J. Vučina, M. Orlić, N. Nikolić, R. Han¹

Vinča Institute of Nuclear Sciences, Laboratory for Radioisotopes, Belgrade

¹ Clinical Centre of Serbia, Institute of Nuclear Medicine, Belgrade

In the paper shown are some of the important radioisotopes and radiopharmaceuticals which are used in nuclear medicine. The recommended ranges of activities are given as MBq ^{99m}Tc per test in diagnostics and the activity of the corresponding radioisotope per patient in therapy, respectively. In accordance with the modern concept some parameters relevant for the radiation protection of patients were determined.

IZLOŽENOSTI PACIJENATA TOKOM INTRAVENSKE UROGRAFIJE

O. Ciraj-Bjelac, J. Vasić-Vilić¹, V. Šaranović-Vujnović¹, D. Košutić

Institut za nuklearne nauke VINČA, Beograd

¹ Institut za radiologiju, Vojnomedicinska akademija, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja proizvoda kerme i površine (KAP) za 24 odrasla pacijenta tokom intravenske urografije. Srednja vrednost KAP bila je $(16 \pm 5.0) \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$, što odgovara dozi na površini kože pacijenta od $(8.3 \pm 2.2) \text{ mGy}$. Prosečan broj radiografija po pregledu iznosio je 6 ± 1 , a procenjena efektivna doza 4 mSv . Individualne varijacije KAP bile su veće od faktora 3. Lokalni dijagnostički referentni nivo, izračunat kao treći kvartil distribucije izmerenih vrednosti, iznosi $19 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$. Uočene varijacije u pacijentnim dozama pripisane su veličini polja X-zračenja, broju radiografija i telesnoj masi pacijenta.

UVOD

Intravenska urografija (IVU) je najznačajniji i najčešći radiološki pregled u urologiji. Iako IVU čini manje od 2% svih radioloških pregleda, doprinos ove metode ukupnoj kolektivnoj dozi iznosi preko 11% [1]. Uprkos tome, podaci o izloženosti pacijenata u literaturi su veoma oskudni, dok u našoj zemlji i ne postoje.

MATERIJAL I METODE

Merenje proizvoda kerme i površine (KAP) tokom IVU izvršeno je za ukupno 24 odrasla pacijenta prosečne telesne mase. Dan pre izvođenja IVU, obavljena je priprema pacijenata. Nivo pripremljenosti pacijenta verifikovan je nativnim snimkom abdomena nakon čega je pacijentima intravenski aplikovan ne jonski jodni kontrast Ultavist-300. Radiografije su snimljene pomoću rendgen-aparata Super M, Philips sa trofaznim, dvanaestopulsnim generatorom i stativom Polytome U (Philips, Netherlands). Tokom pregleda je korišćena rešetka za sperčavanje rasejanog zračenja i kombinacija film-pojačivačka folija klase 300. Debljina poluslabljenja snopa X-zračenja pri naponu od 80 kVp bila je 4.2 mm (Al) a radijacioni izlaz $17 \mu\text{Gy/mAs}$.

Na osnovu dozimetrijskog protokola, za svakog pacijenta prikupljeni su podaci o pacijentu (pol, starost, visina, telesna masa, indikacija za IVU) i radiografskoj tehnici (broj i format korišćenih filmova, napon rendgenske cevi i KAP za svaku radiografiju). Relacija između KAP i ESD za polja X-zračenja date veličine u ovom slučaju ima oblik:

$$KAP = D_0(FCD) \cdot A(FCD) = \frac{ESD}{BSF} A(FFD) \cdot \left(\frac{FSD}{FFD}\right)^2 \quad (1)$$

gde je rastojanje fokus-film označeno sa FFD , rastojanje fokus-pacijent sa FSD a rastojanje fokus-detektor sa FCD . D_0 je apsorbovana doza u vazduhu u osi snopa X-zračenja, A površina snopa X-zračenja na navedenom rastojanju od fokusa a BSF faktor rasejanja unazad. Za intervale visokog napona i veličine polja korišćenih tokom IVU, varijacije vrednosti BSF nisu značajne, tako da je korišćena vrednost od 1.35 za sve projekcije [2]. S obzirom da dozimetrijski podaci zavise od telesne mase i visine pacijenta, za potrebe statističke analize izračunat je efektivni dijametar pacijenta D_e na osnovu izraza:

$$D_e = 2 \sqrt{\frac{m}{\rho h \pi}} \quad (2)$$

gde je m telesna masa pacijenta, h visina a ρ gustina vode. Proizvod kerme i površine je meren transmissionom jonizacionom komorom KERMAX-Plus (Wellhofer Scanditronix, Sweden) postavljenom na kućište rendgenske cevi rendgen-aparata. Kalibracija je izvršena pomoću referentnog dozimetra Baracuda R100 (RTI Electronics AB, Sweden) i filma. Za indirektnu procenu doza za organe i efektivne doze korišćen je softverski paket NRPB-SR262, sa bibliotekom konverzionih koeficijenta iz ESD ili KAP u efektivnu dozu [3].

REZULTATI

Analizom izloženosti su obuhvaćeni pacijenti oba pola, telesne mase (77 ± 15) kg i starosti (54 ± 19) godina. Srednja vrednost KAP iznosila je (16 ± 5.0) $\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$, što odgovara srednjoj vrednosti doze na površini kože pacijenta od (8.3 ± 2.2) mGy. Srednja vrednost napona rendgenske cevi bila je (72 ± 6) kVp dok je prosečan broj radiografija po pregledu iznosio 6 ± 1 .

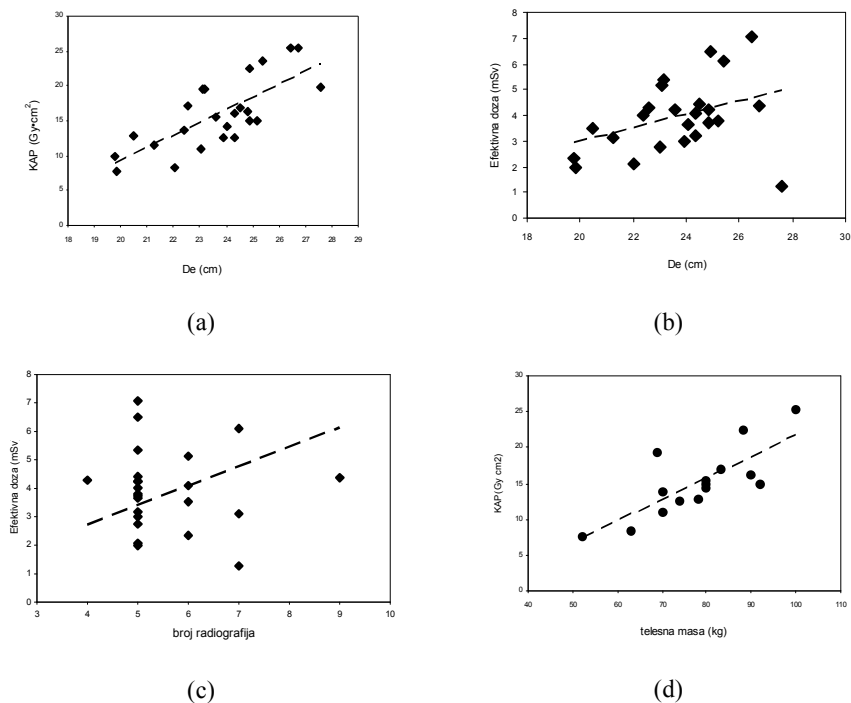
Tabela 1. Proizvod kerme i površine (KAP), doza na površini kože pacijenta (ESD) i efektivna doza (E) za 24 odrasla pacijenta tokom IVU

	Min	Med	Srednja vrednost \pm SD	Treći kvartil	Maksimum
KAP ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$)	7.6	15	16 ± 5.0	19	25
ESD (mGy)	4.2	8.3	8.3 ± 2.2	9.7	12
E (mSv)	1.4	1.3	3.9 ± 1.2	4.4	7.1

Utvrđena je značajna zavisnost KAP kako od broja radiografija i formata filma tako i od telesne mase pacijenta iskazane preko efektivnog dijametra ($r=0.73$, $p<0.0001$). Zavisnost dozimetrijskih pokazatelja: KAP i efektivne doze od efektivnog dijametra prikazana je na Slici 1 (a) i (b). Na Slici 1(c) je prikazana zavisnost efektivne doze od broja radiografija po jednom pregledu. Nije uočena značajna korelacija između efektivne doze i broja radiografija ($r=0.33$, $p=0.81$). Takođe, nije uočena ni značajna korelacija između efektivne doze i efektivnog dijametra pacijenta ($r=0.37$, $p=0.12$). Razlozi za odsustvo korelacije između efektivne doze, broja radiografija i dimenzija pacijenta nisu potpuno jasni. Jedno od mogućih objašnjenja je nepravilna kolimacija snopa. Konverzioni koeficijenti koji povezuju efektivnu dozu i KAP određeni su na osnovu matematičkog modela referentnog čoveka, za standardne geometrijske uslove i veličinu polja $A(FFD)$. U

realnim uslovima, odstupanja u odnosu na pretpostavljene vrednosti $A(FFD)$ su neizbežna, što se reflektuje i na tačnost procene efektivne doze. U cilju pojašnjenja simultanog uticaja različitih faktora na izloženost pacijenata, potvrđena je značajna zavisnost integralne vrednosti KAP od telesne mase pacijenta ($r=0.77$, $p<0.0001$) pri konstantnom broju radiografija. Na Slici 1(d) je prikazana zavisnost KAP od telesne mase za grupu pacijenata čiji se pregled sastoji od identičnog broja radiografija, $n=5$.

Koeficijent konverzije KAP u efektivnu dozu bio je konstantan sa vrednošću od $(0.26\pm 0.03)\text{mSv/Gy}\cdot\text{cm}^2$ ($r=0.9$, $p<0.0001$). Procenjena vrednost efektivne doze za ove pacijente iznosi (3.9 ± 1.2) mSv, što odgovara dodatnom riziku usled izlaganja X-zračenju od $2\cdot 10^{-4}$ [4].



Slika 1. Zavisnost proizvoda kerme i površine od efektivnog dijametra pacijenta (a), zavisnost efektivne doze od efektivnog dijametra pacijenta (b), zavisnost efektivne doze od broja radiografija po pregledu (c) zavisnost proizvoda kerme i površine od telesne mase pacijenta, kod pacijenata sa istim brojem radiografija, $n=5$ (d)

Statistički podaci karakteristični za vrednosti KAP, ESD, i efektivnu dozu prikazani su u Tabeli 1. Dostupni literaturni podaci o izloženosti pacijenata tokom IVU ukazuju na velike varijacije u pacijentnim dozama. Srednja vrednost KAP za IVU od $16\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ izmerena u ovom radu slična je vrednostima referisanim u radovima drugih autora [5,6] i značajno manja od predloženih dijagnostičkih referentnih nivoa (DRL) od $40\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ [7], odnosno $20\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ [1]. Niža vrednost doze u radu Milera i saradnika odgovara znatno manjem broju radiografija po jednom pregledu [8]. Procenjena srednja vrednost efektivne doze od 4mSv je vaoma bliska rezultatu proračuna na osnovu detaljnog merenja

ekvivalentnih doza za organe u antropomorfnom fantomu koje je rezultovalo efektivnom dozom od 2.64 mSv [9].

ZAKLJUČAK

Koristeći rezultate merenja KAP, procenjene su vrednosti efektivne doze tokom IVU za 24 odrasla pacijenta. Srednja vrednost KAP bila je $16 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$, dok je odgovarajuća efektivna doza bila 4 mSv. Individualne varijacije vrednosti KAP bile su veće od faktora 3. Lokani DRL izračunat kao treći kvartil distribucije izmerenih vrednosti iznosi $19 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ i predstavlja korisnu polaznu osnovu za poređenje rezultata daljih merenja pacijentnih doza. Uočene varijacije u pacijentnim dozama pripisane su veličini polja X-zarčenja, broju radiografija i telesnoj masi pacijenta. Ograničavanjem veličine polja, kao parametra koji se u potpunosti pod kontrolom rukovaoca, može se postići značajno smanjenje nepotrebnog izlaganja pacijenata.

LITERATURA

- [11] NRPB. Patient dose reduction in diagnostic radiology. Report by the Royal College of Radiologists and the National radiological Protection Board. Documents of the NRPB Vol 1, No 3, NRPB 1990
- [12] Grosswendt B, Dependence of photon backscatter factor for water on source-to-phantom distance and irradiation field size. *Phys Med Biol* 35 (1990):1233-1245.
- [13] Hart D, Jones D.G, Wall B.F Normalised Organ Doses for Medical X-ray Examinations Calculated Using Monte Carlo Techniques. NRPB SR262, 1994.
- [14] ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford, Pergamon Press, 1991.
- [15] Hart D, Hiller M C, Wall BF, et al. Doses to patients from medical X-ray examinations in the UK-1995 review, NRPB report R289. London: HMSO, 1996.
- [16] Iakob O, Diaconescu C, Doses to patients from diagnostic radiology in Romania. Proceedings of International Conference on Radiation Protection in Diagnostic Radiology, Malaga, Spain, September 26-30, 2001, IAEA-CN-85-105.
- [17] Wall B F, Implementation of DRLs in UK, *Rad Prot Dosim* 114 (2005):183-188.
- [18] Muller et al, The average dose-area product at intravenous urography in 205 adults, *Br J Radiol* 71 (1998):210-212.
- [19] Calzado A, Vano E, Moran P, et al. Estimation of doses to patients from complex conventional X-ray examinations. *Br J Radiol* 64 (1991): 749-46.

ABSTRACT

PATIENT DOSE ASSESSMENT DURING INTRAVENOUS UROGRAPHY

O.Ciraj-Bjelac, J. Vasić-Vilić¹, V. Šaranović-Vujnović¹, D.Košutić
VINCA Institute of nuclear sciences, Belgrade
¹ Military medical academy, Belgrade

Results of kerma area product (KAP) measurements for 24 adult patients in intravenous urography are presented. The average KAP value was $(16\pm 5.0)\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ with corresponding entrance surface dose of $(8.3\pm 2.2) \text{ mGy}$. The average number of radiographs per examination was 6 ± 1 , while average effective dose was estimated to 4 mSv. Individual KAP variations were up to factor 3. Local DRL obtained as a third quartile of dose distribution was $19 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$. Dose variations are related to field size, number of radiographs and patient body weight.

INOVIRANI GAMASPEKTROMETRIJSKI KOMPLET ZA MERENJE RADIONUKLIDNE ČISTOĆE ^{99m}Tc -ELUATA

M. Orlić, J. Vučina, M. Jovanović, S. Vranješ-Đurić
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za radioizotope, Beograd

SADRŽAJ

U radu je prikazan inovirani gama spektrometrijski komplet za merenje radionuklidne čistoće eluata dobijenog eluiranjem ^{99}Mo - ^{99m}Tc generatora u Laboratoriji za radioizotope u INN Vinča. Zadržan je postojeći detektorski blok na bazi NaI(Tl) scintilacionog detektora, a zamenjen je blok višekanalnog analizatora novim baziranim na PC kartici. Date su karakteristike PC kartice i pratećeg softverskog paketa. Izvršena je kalibracija novog kompleta i prikazani dobijeni rezultati.

UVOD

Tehnecijum-99m je najvažniji radionuklid u *in vivo* dijagnostičkoj nuklearnoj medicini [1,2]. U svetu se njime izvede na milione tretmana godišnje, sa tendencijom povećanja. Može se bez preterivanja reći da nuklearna medicina u velikoj meri svoj razvitak i sadašnji položaj duguje upravo ovom radionuklidu. Skoro čisto gama zračenje energije 140 keV je optimalno za standardnu mernu opremu. Relativno kratko vreme poluraspada od 6,0 h dovoljno je za efikasnu distribuciju radiofarmaceutika po organima i onda kada se merenja moraju ponavljati. Uredno i ekonomično snabdevanje korisnika čak i vrlo udaljenih od mesta proizvodnje rešeno je razvojem $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generatora.

Od svih radionuklida tehnecijum-99m se najviše koristi za dobijanje radiofarmaceutika. Od prve generacije relativno jednostavnih preparata iz šezdesetih godina prošlog veka, došlo se već do treće koja je usmerena na praćenje složenih metaboličkih i fizioloških procesa u organizmu pomoću obeleženih monoklonskih antitela, peptida i drugih molekula nosača [3].

Osnovni preduslov za razvoj radionuklidnog generatora je postojanje dugoživećeg radionuklida pretka čijim radioaktivnim raspadom nastaje željeni kratkoživeći potomak. Predak, vezan za određeni substrat, šalje se korisniku gde se vrši separacija potomka. Predak, radioaktivnim raspadom, generiše novu aktivnost potomka tako da se separacija ponavlja sve dok se predak ne raspadne odnosno njegova aktivnost ne opadne do nivoa kada se više ne može vršiti separacija ili dobijeni potomak, po svojim karakteristikama, više ne zadovoljava postavljene kriterijume. U ovom slučaju predak je ^{99}Mo ($T_{1/2} = 66$ h) a potomak ^{99m}Tc ($T_{1/2} = 6$ h).

Glavni izvor za dobijanje ^{99}Mo je fisija ^{235}U u nuklearnom reaktoru. Prinos ^{99}Mo pri fisiji iznosi 6,1%. Pri fisiji koristi se uran sa prirodnim sadržajem ^{235}U (0,7 %) ili obogaćen u ^{235}U do skoro 100 %.

Radionuklidna čistoća (n,f) ^{99}Mo direktno zavisi od pouzdanosti postupaka odvajanja i prečišćavanja. Pored beta i gama emitera mogu biti prisutni i alfa emiteri. Na

primer, prisustvo ^{238}U izaziva kontaminaciju ^{99}Mo transuranima. Poslednjih godina procesi odvajanja i prečišćavanja su usavršeni i daju (n,f) ^{99}Mo visoke radionuklidne čistoće. Na primer, odnos aktivnosti alfa emitera prema aktivnosti ^{99}Mo , po pravilu, je oko 10^{-12} .

Tabela 1: Odnosi aktivnosti radionuklidnih nečistoća gama emitera i molibdena-99 u (n,f) ^{99}Mo [2]

Radionuklidna nečistoća	Aktivnost nečistoće/aktivnost ^{99}Mo	
	Deklaracija proizvođača	Ekperimentalne vrednosti
^{103}Ru	$\leq 5 \times 10^{-5} - 8 \times 10^{-8}$	$(2,2 \pm 1) \times 10^{-5}$
^{106}Ru	-	$\approx (2,8 \pm 1) \times 10^{-7}$ *
^{125}Sb	-	$(1,8 \pm 0,9) \times 10^{-5}$
^{127}Sb	$2 \times 10^{-6} - 9 \times 10^{-8}$	n.d.*
^{131}I	$5 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-8}$	$\leq 1,66 \times 10^{-6}$ **
^{132}Te	5×10^{-8}	n.d.
^{133}I	$\leq 3 \times 10^{-8}$	n.d.
^{181}W	-	$< 2,7) \times 10^{-5}$ ***
^{185}W	-	$(3,6 \pm 0,6) \times 10^{-4}$
^{188}W	-	$(4,6 \pm 2,7) \times 10^{-6}$
Ukupno alfa	7×10^{-12}	-
$^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$	5×10^{-5}	-

*Procenjena vrednost (relativna greška 50-70 %)

**Linija na 364,5 keV se ne vidi u spektru; procena na osnovu integraljenja na 2FWHM i 3σ kriterijuma

*** $\sigma_{n(\gamma)}$ nije tačno poznato; mala izotopna obilnost ^{180}W (0,12 %)

+nije detektovano

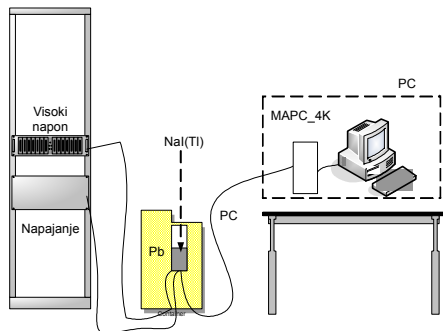
Eluiranjem Mo-99/Tc-99m generatora dobija se sterilan rastvor natrijum-pertehnetata (Tc-99m) koji se u nuklearnoj medicini koristi za vizualizaciju štitaste i paratireoidnih žlezda, a najčešće za obeležavanje različitih jedinjenja tehnećijumom-99m tj. za dobijanje ^{99m}Tc -radiofarmaceutika. Tc-99m-radiofarmaceutici se najčešće primenjuju intravenski, a kontrola kvaliteta se vrši prema propisima Farmakopeje (3- Jugoslovenska Farmakopeja 2000, Ph.Jug.V) [4,5]. Ph Jug.V za natrijum-pertehnetat (Tc-99m) predviđa ispitivanje pH vrednosti, radionuklidne čistoće, radiohemijske čistoće, prisustva aluminijuma i sterilnosti. Radionuklidna čistoća se definiše kao "odnos radioaktivnosti datog radionuklida prema ukupnoj radioaktivnosti izvora, izražen u %". Prema zahtevima Ph.Jug.V natrijum-pertehnetat sadrži najmanje 90,0% i najviše 110% radioaktivnosti ^{99m}Tc , deklarisan na dan i čas označen na signaturi. Radioaktivnost koja odgovara radionuklidima različitim od ^{99m}Tc (radionuklidne nečistoće), izuzev tehnećijuma-99 koji je rezultat raspada ^{99m}Tc , izražena kao procenat ukupne radioaktivnosti i preračunata na dan i čas primene, nije veća od 0,1% za molibden-99, $5 \cdot 10^{-3}$ % za jod-131 i rutenijum-103, $6 \cdot 10^{-5}$ % za stroncijum-89, $6 \cdot 10^{-6}$ % za stroncijum-90, $1 \cdot 10^{-7}$ % za druge alfa emitere i 0,01% za druge gama emitere. Iz ovoga se vidi da je najvažnija radionuklidna nečistoća u natrijum-pertehnetatu molibden-99.

Do sada se u Laboratoriji za radioizotope u INN Vinča za merenje specifične aktivnosti molibdena-99 u eluatu koristila aparatura stara preko 30 godina. Sastojala se od detektorskog bloka na bazi standardnog scintilacionog detektora NaI(Tl), i zastarelog bloka višekanalnog analizatora sa 256 kanala. Detektorski blok je još uvek aktuelan, dok je blok višekanalnog analizatora zastareo. Soga je osnovni cilj ovog rada je prikaz inovacije ovog sistema, prvenstveno u delu bloka višekanalnog analizatora.

INOVIRANI GAMA SPEKTROMETRIJSKI SISTEM

Novi gama spektrometrijski sistem sastoji se od: detektorskog i pojačavačkog bloka i bloka višekanalnog analizatora i prikazan je na sl. 2.

Proizvođač korišćene PC (MAPC_4k) kartice višekanalnog analizatora je JINR Dubna. Ona se sastoji od ADC i PC-bus interfejsa. ACD je konvertor Vilkinsonovog tipa sa 4096, 2048 ili 1024 kanala koji meri amplitude pikova koji se javljaju na izlazu detektorskog bloka. Kartica ima mogućnost rada u režimu koincidencije i antikoincidencije. Diskriminator donjeg nivoa (LLD) omogućuje odsecanje donjeg dela spektra koji nepotrebno zagušuje sistem. Njime se najčešće odseca šum. ACD prihvata pozitivne unipolarne i bipolarne impulse, amplitude 0-5 V i vremena porasta impulsa 0,5-30 μ s. Ulazna impedansa je 1 k Ω . Vreme konverzije iznosi 1,5 μ s. Brzina akvizicije veća je od 30000 impulsa/s.



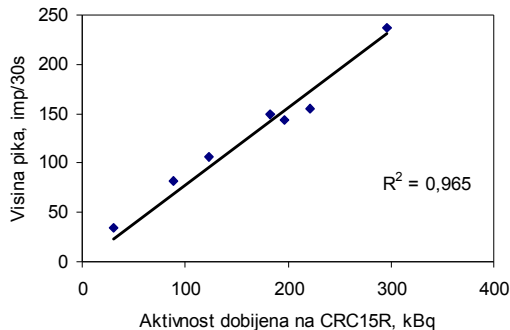
Prateći softverski paket radi pod operativnim sistoom DOS i omogućuje: kontrolu displeja, manipulaciju fajlovima, analizu snimljenih spektara, podešavanje vrste vremena akvizicije (realno ili živo), podešavanje oblasti od interesa (ROI), brisanje snimljenog spektra, ručni start i zaustavljanje merenja.

Prateći drajveri su rezidentni pa mogu da rade sa ostalim DOS-ovim programima nezavisno od emulatora višekanalnog analizatora.

Slika 1. Prikaz inoviranog sistema

KALIBRACIJA SISTEMA

Kalibracija ovog gama spektrometrijskog sistema za potrebe merenja samo radionuklidne čistoće eluata iz ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatora može da se obavi pomoću etaloga proverenih ili na HP Ge gama spektrometru, što je bolje, ili pomoću kalibratora doza, što je urađeno u ovom slučaju. Kao kalibrator doza korišćen je instrument Capintec CRC 15R sa standardnom greškom $\pm 5\%$. Pošto se kao detector u njemu koristi jonizaciona komora bunarastog tipa, on ima sve odlike sekundarnog standarda za merenje aktivnosti radionuklida. Uzorci eluata sa Mo-99/Tc-99m generatora mereni su prvo na kalibratoru doza CRC 15, zatim na novom gama spektrometrijskom kompletu. Iznad detektora nalazi se olovna ploča debljine 6 mm. To obezbeđuje odsecanje šuma i dela spektra koji potiče od $^{99\text{m}}\text{Tc}$, koji je pri prvom eluiranju generatora značajno prisutan, što utiče na povećanje mrtvog vremena sistema. Faktor slabljenja gama zraka iz $^{99\text{m}}\text{Tc}$, koji imaju energiju 140,51 keV, iznosi 10^5 . Gama zraci koji potiču iz molibdena imaju energiju od 739,58 keV, pa je odgovarajući faktor slabljenja 50%. Merena aktivnost molibdena-99 (kao nečistoće u eluatu) treba da korelira sa površinom ispod pika molibdena-99 na spektru. U slučaju dominantnog jednog pika na spektru moguće je ovu korelaciju uspostaviti i sa visinom pika. Kalibracija je vršena 10 dana posle eluiranja tako da se udeo $^{99\text{m}}\text{Tc}$ u ukupnoj aktivnosti postao beznačajan. Ispitivanje radionuklidne čistoće u realnim uslovima izvodi se neposredno posle eluiranja kada je doprinos $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dominantan i kada merenja na instrumentu tipa kalibrator doza nije moguća.



Slika 2. Korelacija merenja aktivnosti eluata na gama spektrometru i kalibratoru doza.

Dobijeni rezultati prikazani su na sl. 2. Merenja na gama spektrometru trajala su po 30 s kako je to inače ustanovljeno internom procedurom. Rezultati pokazuju dobro slaganje. Koeficijent korelacije iznosi 96,5%, što za ovakav tip instrumenata predstavlja dobar rezultat.

ZAKLJUČAK

Prikazani inovirani gama spektrometrijski sistem za merenje radionuklidne čistoće eluata dobijenog iz Mo-99/Tc-99m generatora predstavlja korisnu zamenu za dosadašnji sistem pa je našao svoju primenu u Laboratoriji za radioizotope u INN Vinča. Kalibracija je obavljena pomoću instrumenta kalibrator doza. Ova kalibracija treba da se obavi i na verifikovanom gama spektrometrijskom sistemu sa HP Ge detektorom.

LITERATURA

- [1] J.Vučina, E.Karanfilov, Dvadeset godina iskustva na razvoju i proizvodnji tehnećijum-99m generatora na bazi fisionog molibdena-99m, pp 15-23, u Monografiji Tehnećijum-99m generator na bazi molibdena-99 visoke specifične radioaktivnosti, Urednik J.Vučina, INN Vinča, Beograd, 2003.
- [2] J.Vučina, E.Karanfilov, Radionuklidni generator molibden-99/tehnećijum-99m: status i perspektive, pp 23-50, u Monografiji Tehnećijum-99m generator na bazi molibdena-99 visoke specifične radioaktivnosti, Urednik J.Vučina, INN Vinča, Beograd, 2003.
- [3] Vanlić-Razumenić N.M., Maksin T., Vuksanović Lj.P., Coordination complexes of technetium as model compounds for radiopharmaceuticals, J.Serb. Chem.Soc., vol.60, pp. 641-678 (1995).
- [4] Jugoslovenska farmakopeja 2000, peto izdanje, Beograd 2000.
- [5] M.Jovanović, T.Maksin, M.Orlić, Kontrola kvaliteta tehnećijum-99m eluata, pp 51-66, u Monografiji Tehnećijum-99m generator na bazi molibdena-99 visoke specifične radioaktivnosti, Urednik J.Vučina, INN Vinča, Beograd, 2003.

ABSTRACT

NEW GAMMASPECTROMETRIC ASSEMBLY FOR MEASUREMENT OF RADIONUCLIDIC PURITY OF ^{99m}Tc-ELUATES

M. Orlić, J. Vučina, M. Jovanović, S. Vranješ-Đurić
INS VINČA

In this paper new gamma spectrometric system for measurement of radionuclidic purity of ⁹⁹Mo - ^{99m}Tc generator eluates in Laboratory for Radioisotopes in VINČA Institute of Nuclear Sciences has been presented. Recent detector block on the basis of NaI(Tl) detector has been retained, and multichannel block has been changed with a PC based card. The characteristics of PC card and supported software are given. The calibration of new system has been performed. The obtained results are given.

4. Dozimetrija i merna instrumentacija

MERENJE SPECIFIČNE ALFA AKTIVNOSTI URANA U DEBELIM IZVORIMA SCINTILACIONIM ZnS(Ag) DETEKTOROM

M. Đurašević, A. Kandić, I. Vukanac, Z. Obradović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd,

SADRŽAJ

U radu je predstavljena metoda za određivanje specifične alfa aktivnosti debelih izvora scintilacionim ZnS(Ag) detektorom velike površine. Metoda je zasnovana na primeni kvadratne zavisnosti brzine brojanja od debljine prozora detektora. Za potvrdu teorijskih jednačina u eksperimentu je korišćen referentni materijal U_3O_8 .

UVOD

Procena nivoa kontaminacije alfa radionuklidima u uzorcima iz životne sredine (vazduh, voda, zemljište, vegetacija, industrijski proizvodi i hrana biljnog i životinjskog porekla) je važna za donošenje odluke da li su potrebne dodatne analize, odnosno, preciznija merenja i identifikacija radionuklida [1].

Da bi se izbegli komplikovani postupci za pripremu uzoraka koristi se standardna metoda za merenje ukupne alfa aktivnosti debelih izvora. Priprema uzoraka svodi se uglavnom na usitnjavanje, homogenizaciju, uparavanje ili taloženje uzoraka.

U ovom radu prikazana je metoda merenja ukupne alfa aktivnosti debelih izvora scintilacionim ZnS(Ag) detektorom velike površine. Kod ove metode izmerena brzina brojanja alfa čestica sa površine izvora proporcionalna je specifičnoj aktivnosti, pod uslovom da je debljina izvora veća od dometa alfa čestice u materijalu izvora. Sva merenja i ispitivanja su obavljena u cilju da se, u našoj laboratoriji postavi standard metoda za merenje alfa aktivnosti uzoraka iz okoline. Prema standardu ISO9696 ova metoda se preporučuje za merenje ukupne alfa aktivnosti u vodi [2].

METODA ODREĐIVANJA SPECIFIČNE ALFA AKTIVNOSTI DEBELIH IZVORA

Za merenje ukupne alfa aktivnosti beskonačno debelih izvora koristi se TSAC (thick source alpha counting) metoda, koja se bazira na teorijski dobijenoj vezi između brzine brojanja i debljine prozora. [3, 4]. Sama metoda podrazumeva tri koraka: pripremu uzoraka, merenje i obradu izmerenih rezultata. Za monoenergetski alfa izvor veza između brzine brojanja i debljine prozora je data jednačinom:

$$y = \left(\frac{CAR_s}{4} \right) - \left(\frac{CAR_s}{2R_w} \right)x + \left(\frac{CAR_s}{4R_w^2} \right)x^2, \quad (1)$$

gde su:

- C - specifična alfa aktivnost izvora,
- A - površina izvora,

- x - debljina prozora izražena u jedinicama površinske mase,
- R_S - efektivni domet alfa čestice u izvoru izražen u jedinicama površinske mase i
- R_W - efektivni domet alfa čestice u prozoru izražena u jedinicama površinske mase.

Efektivni dometi se ne razlikuju znatno od srednjeg dometa (dobijenog po programu TRIM) pa se zbog toga u proračunu koriste srednji dometi [5].

Merenjem brzine brojanja y za različite debljine prozora x mogu se odrediti numeričke vrednosti parametara jednačini 1. Na osnovu vrednosti parametra a i dometa alfa čestice u izvoru, R_S , specifična alfa aktivnost se može dobiti na sledeći način: $C = 4a / AR_S$ [3]. Drugi način je da se specifična alfa aktivnost odredi na osnovu vrednosti parametra b iz $C = -2b/kA$, pri čemu se konstanta k definiše kao odnos efektivnih dometa alfa čestice u izvoru i prozoru, ($k = R_S / R_W$), i zavisi od odnosa dometa alfa čestice u izvoru i apsorberu, a ne od samog dometa. Da bi se odredio odnos dometa u izvoru i prozoru detektora, neophodno je poznavati hemijski sastav apsorbera i uzorka koji se meri. Dometi u apsorberu i izvoru (uzorku) računaju se pomoću programa TRIM ili SRIM za određenu energiju [6, 7].

Jednačina (1) se može proširiti na mešavinu radionuklida. Tada se ukupna brzina brojanja, y_M , može izraziti preko specifične alfa aktivnosti, C_i , za svaki radionuklid. Eksperimentalno se pokazalo da odnos dometa k_i malo zavisi od energije za određenu vrstu materijala. Za ^{232}Th odnos dometa varira oko 1.5% u energetsom opsegu od 3.99 MeV do 8.78 MeV. Zbog toga, k_i može da se zameni sa K [5, 8]:

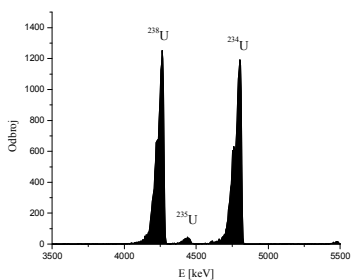
$$y_M = \frac{AK}{4} \left[\sum_i C_i R_i \right] - \frac{AK}{2} \left[\sum_i C_i \right] x + \frac{AK}{4} \left[\sum_i \frac{C_i}{R_i} \right] x^2. \quad (2)$$

Za ukupnu specifičnu alfa aktivnost smeše radionuklida uzima se vrednost parametra uz linearni član iz jednačine (2):

$$\sum_i C_i = -\frac{2b}{AK}. \quad (3)$$

EKSPERIMENT

Za merenje uzoraka korišćen je scintilacioni ZnS(Ag) detektor (Bicron, 3M.125PP/3M-X) debljine prozora 0.57 mg/cm^2 Mylara. Za razvoj metode korišćen je referentni materijal U_3O_8 .



Slika 1a. Spektar prirodnog U_3O_8



Slika 1b. Posuda sa pripremljenim izvorom

Odnos uranovih izotopa u U_3O_8 određen je iz alfa spektra elektrodeponovanog izvora pripremljenog od rastvora U_3O_8 . Spektar prirodnog U_3O_8 izmeren na alfa spektrometru Canberra 7401 silicijumskim detektorom sa površinskom barijerom (300 mm²; rezolucija 21 keV; MCA Ortec 916) prikazan je na slici 1a. Sa slike se vidi da su izotopi ^{238}U i ^{234}U u ravnoteži. Izračunata referentna vrednost specifične aktivnosti U_3O_8 je (21437 ± 750) Bq/g.

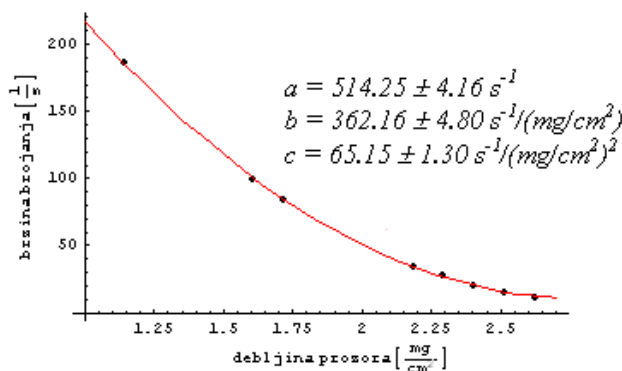
Svi pripremljeni izvori stavljeni su u posude posebno napravljene od sipasa i pogodne za merenje debelih uzoraka na scintilacionom ZnS(Ag) detektoru (slika 1b). Na donji deo posude stavlja se odgovarajuća folija koja se zateže pomoću prstena. Korišćena Mylar folija je debljine 0.57 mg/cm², i na nju se direktno sipa izvor. Tako pripremljen izvor stavlja se na prozor detektora. Aktivna površina izvora je 11.34 cm².

ODREĐIVANJE KONSTANTE K ZA U_3O_8

Programom SRIM određeni su dometi za svaki od uranovih izotopa (^{238}U , ^{235}U , ^{234}U srednjih energija 4184.36 keV, 4390.87 keV i 4761.34 keV, respektivno) u Mylary (C:H:O = 10:8:4) i u samom U_3O_8 . Izračunate vrednosti k za ^{238}U , ^{235}U i ^{234}U su 2.72, 2.752 i 2.717, respektivno. Za dalje proračune korišćena vrednost za konstantu K je 2.73 ± 0.02 .

SNIMANJE APSORPCIONE KRIVE ZA RAZLIČITE DEBLJINE PROZORA

Za U_3O_8 mereno je pet uzoraka. Debljina prozora menjana je od 1.14 mg/cm² do 2.622 mg/cm². Na slici 2. predstavljena je apsorpciona kriva uzorka broj 1 zajedno sa funkcijom fita i mernom nesigurnošću svih parametara fita, a sumirani rezultati za sve uzorke dati su tabeli 1. Za svaku tačku na slici 2. rezultati su predstavljeni sa standardnom statističkom greškom brzine brojanja.



Slika 2. Odbroj u funkciji debljine prozora za U_3O_8 , uzorak broj 1; a, b i c su koeficijenti fita po jednačini (1)

ZAKLJUČAK

Metoda merenja specifične alfa aktivnosti debelih izvora scintilacionim ZnS(Ag) detektorom predstavlja indikativnu metodu. Njena prednost je što ne zahteva komplikovane

radiohemijske postupke za obradu izvora, i što predstavlja apsolutnu metodu, tj. ne zahteva korišćenje etalonskog izvora. Za razvoj metode korišćen je referentni materijal U_3O_8 . Merna nesigurnost je u granicama prihvatljivim za ovu metodu (do 20 %). U planu je nastavak eksperimenta u kome će se primenom ove metode određivati specifična alfa aktivnost drugih uzoraka iz životne sredine.

Tabela 1. Rezultati merenja pet uzoraka U_3O_8

Broj uzorka	Specifična alfa aktivnost [kBq/g]	Odstupanje od referentne vrednost [%]
1	$23.40 \pm 0.47^{a)}$	+ 9.2 ^{c)}
2	23.16 ± 0.53	+ 8.1
3	23.13 ± 0.58	+ 7.9
4	22.42 ± 0.73	+ 4.6
5	22.46 ± 0.53	+ 4.8
Srednja vr.	$22.91 \pm 0.44^{b)}$	+ 6.9

^{a)} apsolutnu mernu nesigurnost usled fitovanja $\left(\left(\frac{\Delta b}{b} \right)^2 + \left(\frac{\Delta K}{K} \right)^2 \right) \cdot \sum C_i$; ^{b)} standardna devijacija;

^{c)} odstupanje u odnosu na referentnu vrednost specifične aktivnosti

LITERATURA

- [1] V. T. Bowen, Natural Matrix Standards, Environment International 1, pp. 35 – 39, 1978
- [2] ISO (international Organization for Standardization), Water Quality: Measurement of Gross Alpha activity in Non - Soline Water, Thick Source Method, ISO9696, Geneve, 1992
- [3] R. C. Turner, J. M. Radly, W. V. Mayneord, The alpha – ray activity on human tissues, Br. J. Radiology, Vol 31, pp. 397 – 406, August 1958
- [4] S. Somana, J. Fain, D. Miallier, M. Montret, Th. Pilleyre and S. Sanzelle, Alpha Counting using Scintillation techniques: observations on TSAC calibration and gas cell use, Radiation Measurements, Vol. 27, No. 2, pp. 365 – 372, 1997
- [5] K. W. Skrable, K. A. Phoenix, G. E. Chabot, C. S. French, M. Jo and G. A. Falo, Theoretical response of a ZnS(Ag) scintillation detector to α – emitting sources and suggested applications, Health Physics, Vol. 60, No. 3, pp. 381 – 392, 1991
- [6] J. F. Ziegler, J. P. Biersack and U. Littmark, "The Stopping and Range of Ions in Solids", Pergamon Press, New York, 1985
- [7] J. P. Biersack, J. F. Ziegler, SRIM Version – 2003.20
- [8] K. A. Phoenix, K. W. Skrable, G. E. Chabot, C. S. French, M. Jo and G. A. Falo, Determining the specific alpha activity of thick sources using a large – area zinc sulfide detector, Health Physics, Vol. 64, No. 1, pp. 64 – 69, 1993

ABSTRACT

MEASUREMENT OF SPECIFIC ALPHA ACTIVITY OF URANIUM IN THICK SOURCES USING A LARGE AREA ZnS(Ag) SCINTILLATION DETECTOR

M. Đurašević, A. Kandić, I. Vukanac, Z. Obradović
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade, Serbia and Montenegro

A method for determining the specific alpha activity of thick sources using a large area ZnS(Ag) scintillation detector is presented. A quadratic relationshi between the detector response and window thickness is applied in this method. The teoretical assumption is aproved by experiment using reference materiale of U_3O_8 .

MEĐUNARODNA INTERKOMPARACIJA MERENJA AKTIVNOSTI SEDIMENTA IRSKOG MORA

I. Vukanac, D. Novković, A. Kandić, L. Nadđerđ
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Marine Environmental Laboratory koja se nalazi u sklopu IAEA (International Atomic Energy Agency) iz Beča, organizovala je 2002. godine međunarodnu interkomparaciju određivanja aktivnosti različitih radionuklida u sedimentu iz Irskog mora, IAEA-385. U ovom radu prikazani su rezultati koji su dobijeni u našoj laboratoriji i koji se odlično slažu sa rezultatima interkomparacije. Uzorci sedimenta mereni su gamaspektrometrijskom metodom. U interkomparaciji je učestvovalo 99 laboratorija. Naša laboratorija je imala identifikacioni broj 35.

UVOD

U aprilu 2002. god. Marine Environmental Laboratory iz IAEA, organizovala je međunarodnu interkomparaciju merenja aktivnosti prirodnih i veštačkih radionuklida u uzorcima sedimenta iz Irskog mora, IAEA-385. Uzorci su distribuirani zainteresovanim laboratorijama zajedno sa relevantnim informacijama vezanim za uzorkovanje sedimenta, pripremu i homogenizaciju materijala za merenje. IAEA-385 uzorak pripremljen je tako da sadrži prirodne radionuklide u koncentracijama u kojima se oni nalaze u životnoj sredini, kao i veštačke radionuklide u koncentracijama nešto većim od onih koje se uobičajeno nalaze u okolini. Od eksperimentatora se zahtevalo da odrede koncentracije sledećih radionuklida: prirodnih – ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Th , U i Th izotopa, veštačkih – ^{90}Sr , ^{99}Tc , gama emitera (^{60}Co i ^{137}Cs ...), alfa emitera (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am ...). Očekivana koncentracija veštačkih radionuklida gama emitera bila je od 0.1 Bqkg^{-1} do 50 Bqkg^{-1} [1]. Takođe su laboratorijama učesnicima u interkomparaciji dostavljene preporučene vrednosti za periode poluraspada radionuklida od interesa, zbog korekcije za raspad, kao i obrazac izveštaja u kome će svaka od laboratorija učesnica u interkomparaciji referisati rezultate – izmerene koncentracije pojedinih radionuklida sa ukupnom mernom nesigurnošću na referentni datum 01.01.1996. god.

GAMASPEKTROMETRIJSKA METODA

Uzorak sedimenta iz Irskog mora u plastičnoj kutijici mase 100 g meren je u kontakt geometriji na poluprovodničkom HPGe gama spektrometru, EGPC 12, Enertec-Schlumberger relativne efikasnosti 15 %. Za snimanje spektara korišćena je MCA kartica Maestro II, Ortec. Za obradu podataka korišćen je softverski program Aptec.

Spektrometar je kalibrisan pomoću referentnih materijala zemlje IAEA-375 i pepela IAEA-110A. Njihova aktivnost je određena u prethodnim interkomparacijama organizovanim od strane Agencije. U cilju postizanja odgovarajuće tačnosti uzorci IAEA-385, 375 i 110A mereni su 210000s, 270000 s i 200000 s, respektivno. Brzine brojanja korigovane su za fon, kao i za sumacioni efekat [2] pri datoj geometriji merenja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Za računanje koncentracije pojedinih radionuklida korišćeni su sledeći fotopikovi: ^{40}K – energije 1460.75 keV; ^{137}Cs – 661.662 keV; ^{226}Ra – fotopikovi ^{214}Bi na energijama 609.32 keV, 1120.28 keV, 1764.51 keV i ^{214}Pb na energijama 295.22 keV, 351.99 keV; ^{232}Th – linije ^{228}Ac na energijama 911.07 keV, 968.90 keV; ^{228}Th – linije ^{208}Tl na energijama 510.72 keV, 583.14 keV, 2614.47 keV i ^{212}Bi na 727.17 keV.

Rezultati merenja aktivnosti gamaspektrometrijskom metodom su u Tabeli 1. Svi rezultati koje je dala naša laboratorija su prihvaćeni.

Tabela 1. Rezultati merenja koncentracije pojedinih radionuklida u uzorku IAEA-385; greške su date na nivou poverenja 95 %

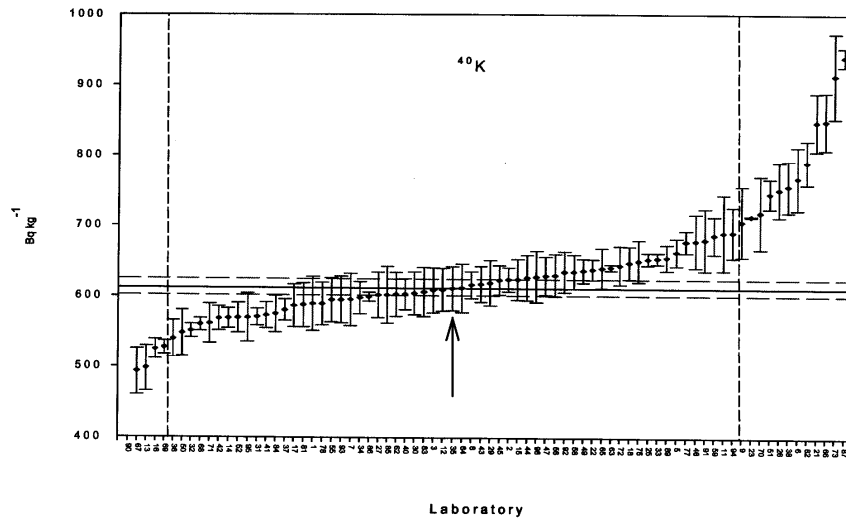
Radionuklid	Specifična aktivnost [Bq kg^{-1}]		
	Rezultat merenja	Rezultat interkomparacije	Interval poverenja
^{40}K	612 ± 31	611	603 – 625
^{137}Cs	36.7 ± 2.0	33.7	32.4 – 34.7
^{226}Ra	18.1 ± 1.9	22.7	21.8 – 24.0
^{228}Th	30.9 ± 4.1	34.0	32.0 – 35.0
^{232}Th	36.0 ± 3.6	33.8	32.6 – 34.5

Rezultati su korigovani za raspad na referentni datum 01.01.1996. god., pri čemu su korišćene preporučene vrednosti za periode poluraspada. U ukupnu mernu nesigurnost uračunata je statistička merna nesigurnost brzine brojanja u spektru nepoznatog uzorka, fona i referentnog materijala, kao i nesigurnost fitovanja krive efikasnosti spektrometra. Ukupna nesigurnost data je na nivou poverenja 95 %, (2σ).

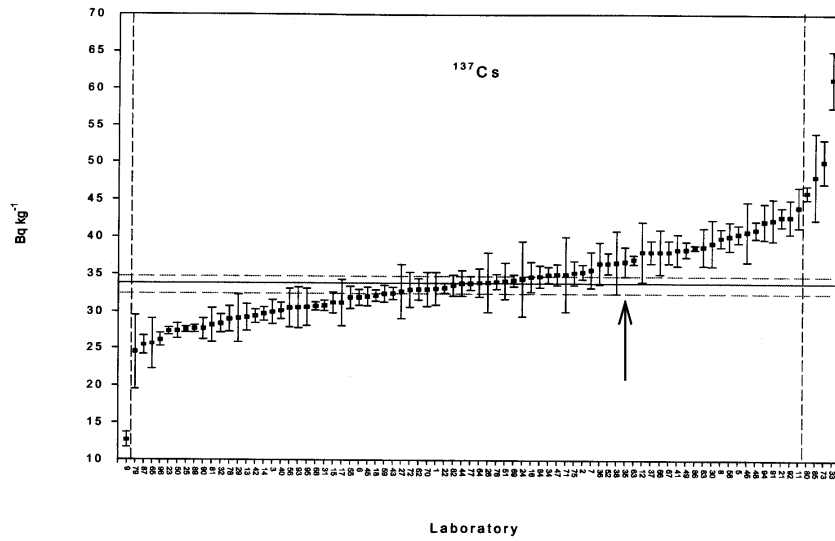
Na Slici 1. prikazani su rezultati za svaki od merenih radionuklida zajedno sa rezultatima dobijenim u ostalim laboratorijama učesnicama interkomparacije [1]. Identifikacioni broj naše laboratorije je 35 i rezultati su obeleženi strelicom.

ZAKLJUČAK

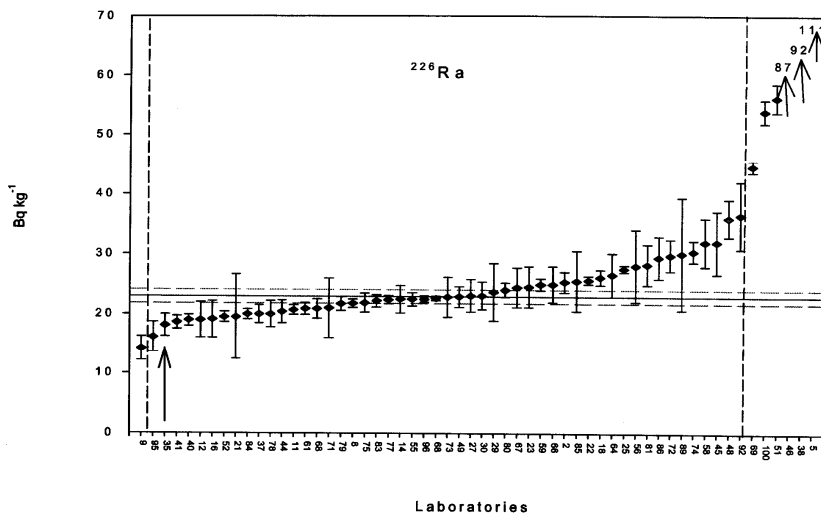
Učešćem u interkomparativnim merenjima uzorka IAEA-385 sedimenta iz Irskog mora, gama spektrometrijska metoda koja se primenjuje u našoj laboratoriji za određivanje koncentracije radionuklida gama emitera u uzorcima iz životne sredine, dobila je međunarodnu potvrdu.



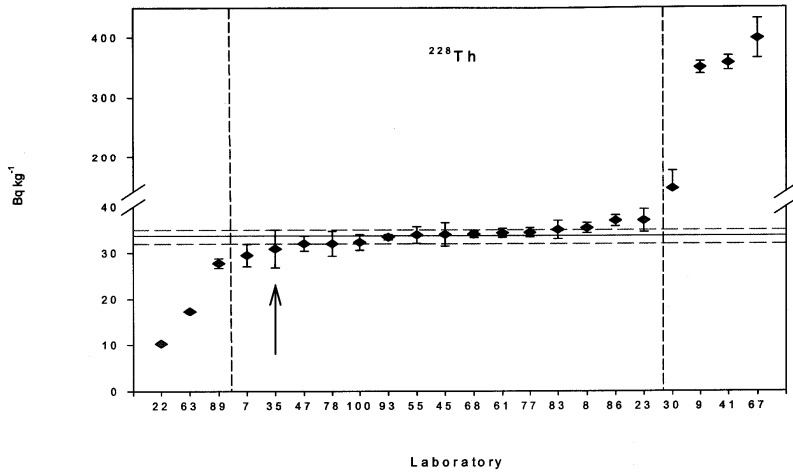
a)



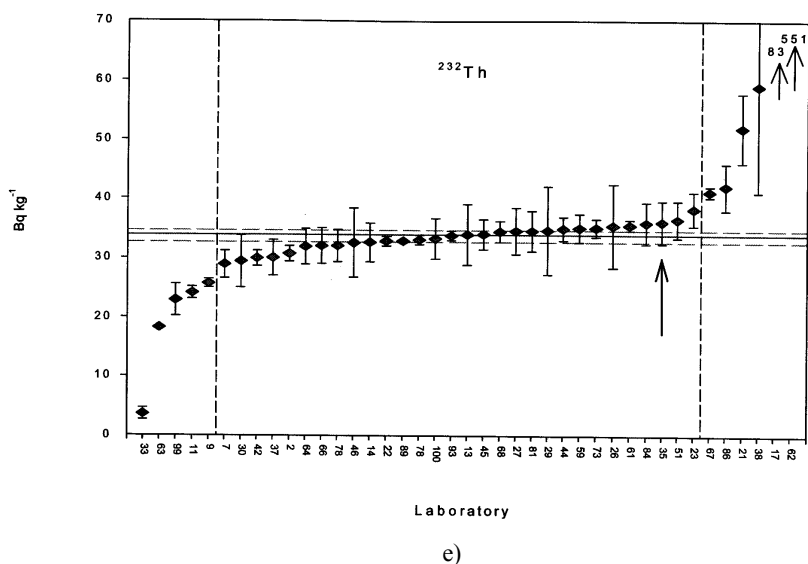
b)



c)



d)



Slika 1. Rezultati gamaspektrometrijskih merenja koncentracije radionuklida u uzorku IAEA-385.
a) ^{40}K , b) ^{137}Cs , c) ^{226}Ra , d) ^{228}Th , e) ^{232}Th .

LITERATURA

- [1] Pham, M.K., Sanchez-Cabeza, J.A., Povinec, P.P., 2005. Report on the Worldwide Intercomparison Exercise IAEA-385, Radionuclides in Irish Sea Sediment, IAEA Marine Environmental Laboratory, 4, Quai Antoine 1^{er}, MC 98000 Monaco
- [2] Debertin, K., Schötzig, U., 1990. Bedeutung von Summationskorrekturen bei der Gammastrahlenspektrometrie mit Germaniumdetektoren. PTB-Bericht PTB-Ra-24, Braunschweig.

ABSTRACT

INTERNATIONAL INTERCOMPARISON OF ACTIVITY MEASUREMENTS IN IRISH SEA SEDIMENT

I. Vukanac, D. Novković, A. Kandić and L. Nadderđ
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade

The IAEA Marine Environmental Laboratory in Monaco has conducted intercomparison exercise in 2002, on radionuclides in Irish sea marine sediment samples, IAEA-385. In this paper we presented the results obtained in our laboratory. Sediment samples were measured by gamma-spectrometric method and results show a very good agreement with the reported exercise results. 99 laboratories worldwide participated in this intercomparison measurements. Our laboratory had a code number 35.

UTICAJ ANIZOTROPIJE PRESEKA KOMPTONOVOG RASEJANJA NA NISKOENERGETSKU REFLEKSIJU X - ZRAKA

D. M. Davidović, J. Vukanić, D. Arsenović¹
Institut za nuklearne nauke, Vinča, Beograd
¹ Institut za fiziku, Beograd

SADRŽAJ

Klasični, egzaktno rešivi model refleksije X-zraka, u kome se uzima da se fotoni rasejavaju izotropno i bez gubitaka energije, poboljšan je uzimanjem u obzir anizotropije rasejanja u događajima jednostruke refleksije fotona. Za vodu kao metu, upoređeni su i diskutovani rezultati dobijeni u okvirima ovako poboljšanog modela i rezultati Monte Karlo simulacije.

TEORIJSKI MODEL

Pod pretpostavkom da je rasejanje čestica izotropno i bez gubitaka energije, Chandrasekhar je našao egzaktno analitičko rešenje za ugaonu raspodelu čestica reflektovanih od polubeskonačne mete [1]. Detaljnom analizom refleksije X-zraka od vodene mete, pokazali smo da je ovaj model primenljiv za upadne energije fotona veće od 30 keV [2]. Na nižim energijama razlika između rezultata Chandrasekharovog modela i Monte Karlo simulacija je velika tako da se postavlja pitanje poboljšanja modela. U ovom radu, u izlaganjima koja slede, to poboljšanje je ostvareno na jednostavan i fizički transparentan način.

Ugaona raspodela reflektovanih fotona u Chandrasekharovom modelu data je sa

$$R(\mu_0, \mu) = \frac{\omega}{2} \frac{\mu}{\mu + \mu_0} H(\omega, \mu_0) H(\omega, \mu), \quad (1)$$

gde su μ_0 i μ kosinusi uglova upadnog i reflektovanog fotona u odnosu na normalu na površinu mete. $H(\omega, \mu)$ je dobro poznata Chandrasekharova H funkcija [1]. Meta se u modelu karakteriše preko parametra

$$\omega = \frac{\sigma_r}{\sigma_r + \sigma_a} = \frac{\sigma_r}{\sigma_r + \sigma_a}, \quad (2)$$

gde su σ_r i σ_a totali preseki za rasejanje i fotoapsorpciju. Velike vrednosti parametra ω ($\omega \approx 1$) opisuju slučaj velikog broja fotonskih sudara pre refleksije. U tim uslovima dolazi do izotropizacije i tada je osnovna pretpostavka modela realistična. U suprotnom slučaju kada je ω malo ($\omega \ll 1$) refleksija je određena događajima jednostrukog rasejanja pa zato zavisi od detalja diferencijalog preseka koji nisu uključeni u model. Pokazaćemo kako se u tom slučaju model može učiniti realističnijim na jednostavan način.

Pri jednostrukom rasejanju, verovatnoća $R_S(\mu_0, \mu) d\mu$ da se foton reflektuje sa kosinusom ugla između μ i $\mu + d\mu$, sa bilo kojom vrednošću azimuta φ , dat je sa

$$R_S(\mu_0, \mu) = \frac{\mu}{\mu_0 + \mu} \frac{1}{\sigma_T} \int_0^{2\pi} \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} d\varphi. \quad (3)$$

Ovde je $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$ diferencijalni presek za rasejanje fotona a $d\Omega$ je elementarni prostorni

ugao. Ugao rasejanja θ povezan je sa kosinusima μ_0 i μ i azimutom φ relacijom

$$\cos\theta = -\mu_0\mu + \sqrt{1-\mu_0^2} \sqrt{1-\mu^2} \cos\varphi. \quad (4)$$

U Chandrasekharovom modelu uzima se da je diferencijalni presek izotropan

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\sigma_R}{4\pi}, \quad (5)$$

gde je σ_R totalni presek za Comptonovo rasejanje. Sa tom pretpostavkom dobija se iz (3)

$$R_S(\mu_0, \mu) = \frac{1}{2} \frac{\mu}{\mu_0 + \mu} \omega. \quad (6)$$

U oblasti dominacije jednostrukog rasejanja potrebno je uključiti tačniji izraz za diferencijalni presek. Na niskim energijama, Klein Nishinina formula daje

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = \frac{3}{16\pi} \sigma_R (1 + \cos^2\theta)(1 + \beta \cos\theta). \quad (7)$$

Ovde je $\beta = 2\alpha/(1-2\alpha)$ a α energija upadnog fotona, data u jedinicama enerije mirovanja elektrona. Kombinovanjem jednačina (7) i (3), dobijamo posle integracije

$$R_S^a(\mu_0, \mu) = \frac{\omega}{16} \frac{\mu}{\mu_0 + \mu} \left\{ (1-3\mu_0^2)(1-3\mu^2) + 8 - \frac{3}{5} \beta \mu_0 \mu [(3-5\mu_0^2)(3-5\mu^2) + 16] \right\} \quad (8)$$

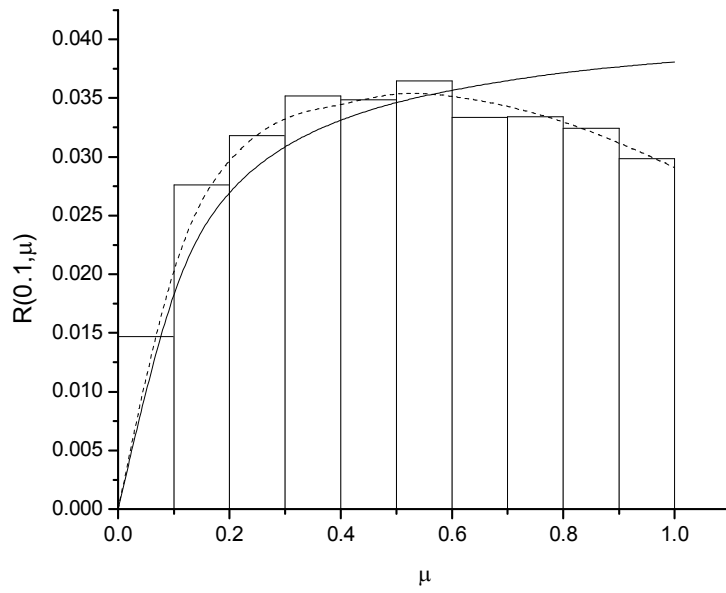
Uvršćujući ovaj izraz u jednačinu (1) umesto izraza (6), koji tamo implicitno figuriše, dobijamo traženu korekciju

$$R^a(\mu_0, \mu) = \frac{\omega}{2} \frac{\mu}{\mu_0 + \mu} H(\omega, \mu_0) H(\omega, \mu) + [R_S^a(\mu_0, \mu) - R_S(\mu_0, \mu)]. \quad (9)$$

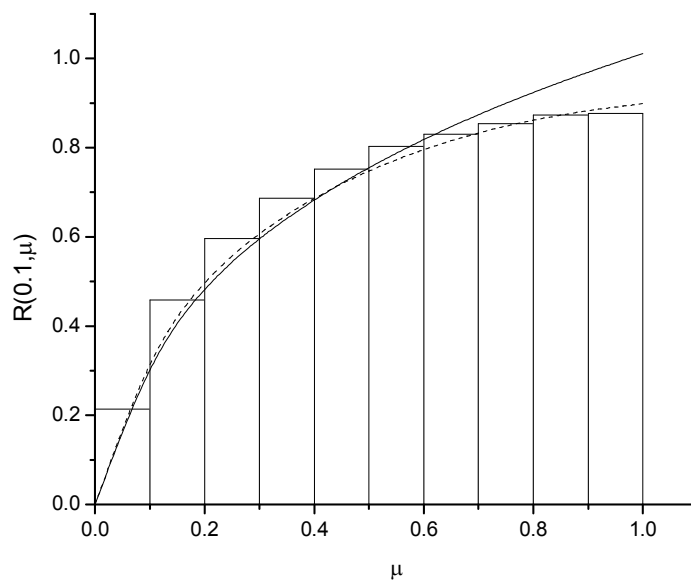
Ova formula predstavlja analitičku korekciju Chandrasekharovog modela, i to je glavni analitički rezultat ovog rada.

DISKUSIJA REZULTATA

Na slikama 1. i 2. prikazani su rezultati dobijeni u dva opisana modela i upoređeni sa rezultatima Monte Karlo simulacije za slučaj vodene mete, za vrlo kos upad snopa fotona. Izabrali smo dve granične tačke energetskog intervala od 10 do 60 keV, koji smo posmatrali. Kada je upadna energija fotona 10 keV, parameter ω je vrlo mali ($\omega=0.0806$), što znači da su glavni činioci refleksije događaji jednostrukog rasejanja, a ono nije izotropno. Otuda neslaganje između Chandrasekharovog modela (puna linija) i Monte Karlo histograma (sl.1). Isprekidana linija, dobijena u našem modelu, u znatnoj meri poboljšava slaganje sa rezultatima simulacije, kako po obliku raspodele tako i po njenim brojnim vrednostima.



Slika 1. Ugaona raspodela reflektovanih fotona na energiji $E=10\text{keV}$, za $\mu_0=0.1$



Slika 2. Ugaona raspodela reflektovanih fotona za energiju $E=60\text{keV}$ za $\mu_0=0.1$

Na slici 2. prikazana je ugaona raspodela reflektovanih fotona za upadnu energiju od 60 keV. Sada je parametar ω velik ($\omega = 0.936$). Vidi se da je isprekidana linija, dobijena primenom jednačine (9) opet nešto bliža rezultatima Monte Karlo simulacije nego puna linija dobijena iz jednačine (1), mada na toj energiji ni ona nije od njih daleko.

Dobijeni rezultati pokazuju da se na posmatranim energijama, rezultati simulacije i rezultati dobijeni unutar našeg modela dobro slažu, što opravdava njegovu primenu.

LITERATURA

- [1] Chandrasekhar, S., *Radiative Transfer*, (New York, Dover, 1960).
[2] Davidović, D. M., Vukanić, J. i Arsenović, D., Phys. Med. Biol. 48, N 213 (2003)

ABSTRACT

INFLUENCE OF ANISOTROPY OF COMPTON SCATTERING ON LOW ENERGY X-RAY REFLECTION

D. M. Davidović, J. Vukanić and D. Arsenović¹
The Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade
¹ Insitute of Physics, Belgrade

The model for the classical albedo problem for isotropic scattering without energy loss is improved by inclusion of the anisotropy of single backscattering events. For water as a scatterer results obtained within this model and the Monte Carlo simulation are compared and discussed.

METODA RADIOHEMIJSKE SEPARACIJE I ALFASPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE URANOVIH IZOTOPA U UZORCIMA VODE IZ BOSNE I HERCEGOVINE

Z. Ilić, A. Vidić, D. Deljković, D. Sirko, S. Marić¹

Zavod za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine, Sarajevo

¹ Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet, Sarajevo

SADRŽAJ

Potreba ispitivanja kontaminacije vode osiromašenim uranom, na lokalitetu Hadžići, u okolini Sarajeva, uslijedila je kao posljedica bombardovanja NATO snaga ovog područja. Cilj rada je bio kvalitativno i kvantitativno određivanje uranovih izotopa u uzorcima vode u okviru redovnog monitoringa započetog 2004. godine.

U martu 2005. godine prikupljeno je 10 uzoraka vode, a izbor lokacija uzorkovanja je napravljen prema istraženim lokacijama tokom misije UNEP 2002. godine u Bosni i Hercegovini. Uzorci su podvrgnuti radiohemijskoj separaciji urana od prisutnih interferirajućih elemenata, uz korištenje anion-izmjenjivačke smole. Priprema alfa izvora za mjerenje je rađena metodom elektrodepozicije, a samo mjerenje je vršeno na alfa spektrometru.

UVOD

Uran kao sastavni dio Zemljine kore izgrađuje gotovo stotine minerala i na Zemlji ga prosječno ima od 2-3mg/kg [1]. Prirodni uran mješavina je tri izotopa, a sastav po masi je U^{238} 99.2745%, U^{235} 0.7200% i U^{234} 0.0054%, [2].

Vrijednosti izmjerenih aktivnosti urana u prirodnim vodama se kreću od manje od 1µg/L pa do preko 100 µg/L [2].

NATO zračne snage su 1995. godine bombardovale, municijom na bazi osiromašenog urana, Tehničko remontni zavoda (TRZ) i skladište municije u Hadžićima, okolina Sarajeva. Bitan dio ove municije je vrh, udarna igla (penetrator) napravljena od legure u kojoj je glavni sastojak osiromašeni uran, sastava po masi U^{238} 99.7990%, U^{235} 0.2000% i U^{234} 0.0010% [2].

Pored razornog mehaničkog dejstva, municija na bazi osiromašenog urana, zbog njegove radioaktivnosti predstavlja opasnost po zdravlje ljudi, kao i štetan uticaj na životnu sredinu. Veliki broj radioaktivnih zrna, ispaljeno oko 3400, je ostao skriven u zemlji te postoji potencijalna opasnost od kontaminacije podzemnih voda i vode za piće. Uzimajući u obzir da se neke od njih nalaze blizu linije napada javila se potreba ispitivanja i određivanja koncentracije urana u vodama, lokaliteta Hadžići.

EKSPERIMENTALNI DIO

Lokacije uzorkovanja su birane prema onima na kojima je UNEP u toku svoje misije 2002. godine vršio ispitivanja i mjerenja.

Prikupljenih 10 uzoraka vode (5 površinskih, 3 podzemne, 1 tehnička i 1 vodovodna) je profiltrirano i zakiseljeno koncentrovanom HCl (5ml/L). Za pripremu uzoraka su korištene hemikalije visoke čistoće (p.a.).

Odmjerenim alikvotima uzoraka vode, dodat je traser U^{232} , proizvođač Isotrak, AEA Technology, QSA, radi mogućnosti računanja hemijskog prinosa. Tako pripremljenim uzorcima je dodat H_2O_2 (30%), radi razaranja organske i mineralne tvari prisutne u uzorku, uz zagrijavanje na rešou do blizu ključanja, a sve do potpunog oslobađanja od CO_2 [3].

Nakon prohlađivanja, uzorcima je dodat hloridno kiseli rastvor Fe^{3+} (0.2N) i nastavljeno je zagrijavanje uz ključanje narednih deset minuta. U vrelo rastvor se dodavao u kapima koncentrovani NH_4OH , sve do nastajanje Fe-hidroksida.

Formirani Fe-hidroksid je na ovaj način koprecipitovao uran i torijum, a nastali koprecipitat, oslobođen alkalnih i zemnoalkalnih metala, ostavljen je da stoji u matičnom rastvoru preko noći. Bistri dio nakon stajanja je pažljivo dekantiran, a precipitat je uz dodatak destilovane vode centrifugiran na 3000 obrtaja, 5 minuta.

Precipitat nakon centrifugiranja je rastvoren u koncentrovanoj HCl i 8M HCl te prebačen u lijevak za odvajanje sa izopropil eterom, s ciljem selektivnog uklanjanja željeza, obzirom da je interferirajući elemenat pri procesu elektrodepozicije.

Vodeni dio nakon ekstrakcije je uparen do suha, rastvoren u 7M HCl i apliciran na jonoizmjenjivačku kolonu ispunjenu anion izmjenjivačkom smolom (DOWEX 1x-8, resin, 100-200 mesh, Cl^- forme), prethodno kondicioniranu 7M HCl.

Torij je uklonjen i odbačen ispiranjem sa 7M HCl, a uran iz kolone, oslobođen interferirajućih elemenata, eluiran 0.5M HCl.

Eluat sa uranom je uparen do suha i rastvoren u par mL 0.5M HCl i sa 5.7% $(NH_4)_2C_2O_4$ [4] prenesen u ćeliju za elektrodepoziciju, proizvođača TracerLab, GMBH. Izmjereni pH rastvora, pripremljenog za elektrodepoziciju, se kretao od 1.4 do 2.4.

Elektrodepozicija je trajala dva sata na 300 mA. Nakon završene elektrodepozicije pločica sa elektrodepozitom je žarena 30 sekundi nad Bunsenovim plamenikom, i nakon hlađenja stavljena na mjerenje.

Mjerenje je vršeno na alfaspektrometru, »OASIS«-Oxford Alphaspectrometry Integrated System (Tennelec), opremljen silicijskim detektorima aktivne površine od $450mm^2$ (rezolucije 25 keV FWHM na 5.468 MeV).

Određivanje energetske rezolucije i kalibracija na efikasnost detektora je vršena kalibracionim izvorom Am^{241} , Pu^{239} i Th^{230} , proizvođača The Source Incorporated.

Vrijeme brojanja uzoraka je bilo 172800 sekundi, a hemijski prinos se kretao od 87-97%.

REZULTATI MJERENJA

U tabeli 1. su dati rezultati specifičnih aktivnosti mjerenja U^{238} , U^{235} i U^{234} , odnos specifičnih aktivnosti U^{234}/U^{238} i masa urana U^{238} .

Za računanje specifičnih aktivnosti i nesigurnost mjerenja korišten je Eurachem/Citac Guide 2000 [5]. Granica detekcije računata prema Currie [6] za U^{234} i U^{238} je iznosila 0.20 mBq/L, a za U^{235} 0.15 mBq/L.

Tabela 1.

#	Naziv	U^{238} (mBq/L)	U^{235} (mBq/L)	U^{234} (mBq/L)	U^{234}/U^{238}	Masa U^{238} (μ g/L)
1	Zujevina 1	2.24±0.22	0.09±0.04	2.44±0.24	1.09±0.15	0.18
2	Zujevina 2	2.00±0.21	0.09±0.04	3.15±0.27	1.58±0.21	0.16
3	Vihrica 1	5.31±0.40	0.20±0.06	6.90±0.47	1.30±0.13	0.43
4	Vihrica 2	5.30±0.38	0.23±0.06	7.10±0.47	1.34±0.13	0.43
5	Žunovnica	1.87±0.20	0.09±0.04	3.30±0.28	1.76±0.24	0.15
6	Izvor 1	5.51±0.40	0.22±0.06	8.07±0.50	1.46±0.14	0.44
7	Izvor 6	3.16±0.27	0.06±0.03	3.54±0.30	1.12±0.13	0.25
8	Izvor 41	10.71±0.80	0.37±0.12	15.04±1.00	1.40±0.14	0.86
9	Vod. voda	2.03±0.21	0.09±0.004	2.50±0.24	1.23±0.17	0.16
10	Teh. voda	6.46±0.43	0.27±0.07	6.50±0.43	1.01±0.09	0.52

Iz rezultata se može vidjeti da se specifična aktivnost U^{238} kretala od 1.87±0.20 mBq/L do 5.31±0.40 mBq/L ili izraženo preko mase od 0.15 μ g/L do 0.43 μ g/L za površinske vode.

Za podzemne vode od 3.16±0.27 mBq/L do 10.71±0.80mBq/L ili izraženo preko mase od 0.25 μ g/L do 0.86 μ g/L.

Odnos U^{234}/U^{238} se kretao od 1.09 do 1.76 za površinske vode, a za izvorske od 1.12 do 1.46, što je u skladu sa literaturnim podacima (0.8-10) [2], kada se radi o prirodnom uranu.

Nivo U^{238} od 0.16 μ g/L za vodovodnu vodu je niži od granične vrijednosti 2 μ g/L propisane od strane Svjetske zdravstvene organizacije (WHO).

Zbog visoke nesigurnosti mjerenja za U^{235} nije računat odnos U^{235}/U^{238} .

Hemijski prinos, na osnovu dodatog U^{232} , se kretao od 87-97%.

ZAKLJUČAK

Rezultati alfaspektrometrijske analize prikupljenih uzoraka vode iz 2005. godine, izraženi kao srednje vrijednosti masene koncentracije urana su se kretale od 0.27 μ g/L za površinske vode do 0.52 za podzemne vode, i ukazuju da nije došlo do kontaminacije uranom u odnosu na rezultate analize provedene 2004. godine [7]

Koncentracija urana u analiziranim uzorcima ne prelazi granice prirodnih, koje se kreću između 1 μ g/L i 100 μ g/L [8].

U vodovodnoj vodi masena koncentracija urana je iznosila 0.16 μ g/L urana što je znatno niže od granične vrijednosti za pitku vodu, prema preporukama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO).

S obzirom da nisu poznati detalji mehanizma kojim se voda kontaminira, iako je mobilnost osiromašenog urana niska, zaključak je da se treba nastaviti sa uzorkovanjem i mjerenjima tokom sljedećih nekoliko godina.

LITERATURA

- [1] <http://e-skola.hfd.hr>
- [2] UNEP, Depleted Uranium in Bosnia and Herzegovina, post-conflict environmental assesment. United Nations Environment Programme, Geneva, 2003
- [3] UNLV, Department of Health Physics, Laboratory Operating Procedure, Isotopic Determination of Thorium and Uranium in Environmental and Bioassay Samples, 2000
- [4] IAEA Regional Training Course on Depleted Uranium in the Environment, Alpha Spectrometry, FTU, H. Schuttelkopf, 2001

- [5] EURACHEM/CITAC, Guide 2000, Quantifying uncertainty in analytical measurements. 2nd Edition, 2000
- [6] Currie, L.A., Limits for qualitative detection and quantitative determination, Anal.Chem.1968;40:586- EURACHEM/CITAC Guide 2000. Quantifying uncertainty in analytical measurement. 2nd Edition 2000
- [7] A.Vidic, Z. Ilić, D. Deljkić, U. Repinc, R. Jakopič, Lj. Benedik, S. Marić, The activities of uranium radioisotopes in water samples from Bosnia nad Hercegovina, 14th International Symposium, Spectroscopy in Theory and practice, Slovenia, 2005
- [8] UNSCEAR 2000, The 2000 report to the general Assembly with scientific annexes, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, United Nations, New York 2000

ABSTRACT

RADIOCHEMICAL SEPARATION AND ALPHA SPECTROMETRY DETERMINATION OF URANIUM ISOTOPES IN WATER SAMPLES FROM BOSNIA AND HERZEGOVINA

Z. Ilić, A.Vidic, D. Deljkić, D. Sirko, S. Marić¹

Institute for Public Health of FB&H, M. Tita 9, 71000 Sarajevo

¹ University of Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, Sarajevo

During the war in Bosnia depleted uranium was used at several locations. Two of them were Tank Repair Facility and Ammunition Storage Depot at Hadžići, near Sarajevo. The aim of this work was to accompany possible alteration in concentration of uranium radioactive isotopes, in water samples.

The choice of sampling sites was according to UNEP mission in B&H from October 2002. and our mission in 2004.

Ten collected samples were submit for radiochemical separation, of uranium radioisotopes from interfering metals by ion-exchange chromatography (DOWEX 1X8, resin). Sources were prepared for measurement by electrodeposition metode. In all experimentes analytical grade reagents and deionized water were used.

The uranium sources were counted by alpha-spectrometry (»OASIS«-Oxford Alphaspectrometry Integrated System ,Tennelec).

The results showed that a mean value of mass concentration of uranium in river water was 0.27 µg/L, in wells 0.52 µg/L and in the drinking water 0.16 µg/L.

All results are in good agreement with literature data and there is no changes corresponding with the results of last year.

**UTICAJ MATERIJALA ELEKTRODA I PRITISKA
NA KARAKTERISTIKE MODELA GASNOG ODVODNIKA PRENAPONA
U POLJU X ZRAČENJA U JEDNOSMERNOM REŽIMU RADA**

B. Lončar, N. Kartalović¹, S. J. Stanković², M. Vukčević², M. Kovačević²

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

¹ Viša železnička škola, Beograd

² Institut za nuklearne nauke "VINČA, Beograd

SADRŽAJ

Cilj ovog rada je da pokaže mogućnosti poboljšanja karakteristika gasnih odvodnika prenapona u polju X zračenja odgovarajućim izborom konstrukcionih parametara. U tu svrhu ispitivan je uticaj materijala elektroda i pritiska na pretprobajnu struju modela gasnog odvodnika prenapona u jednosmernom režimu. Dobijeni rezultati pokazuju da je optimalno rešenje model odvodnika sa elektrodama od mesinga pri većoj vrednosti pritiska.

EKSPERIMENT

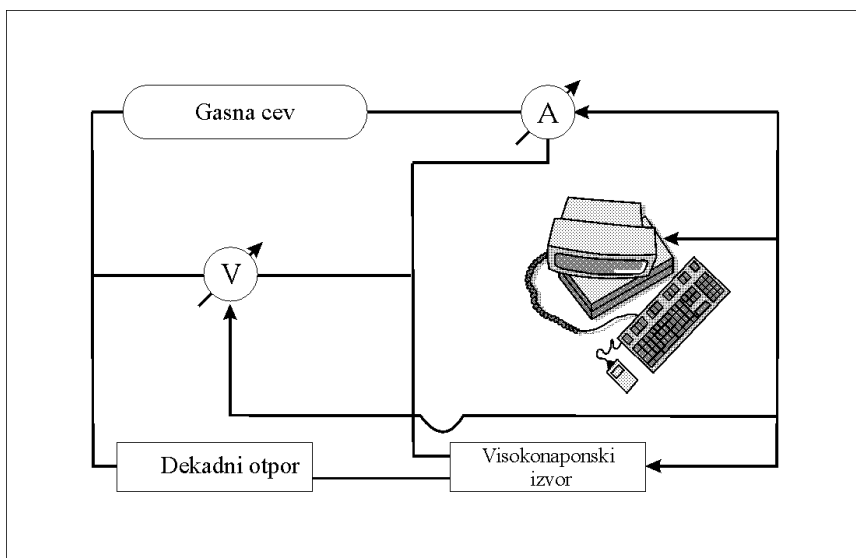
Instrumentacija korišćena u eksperimentalnim ispitivanjima sastojala se od sledećih osnovnih delova: 1) gasno – vakuumaska komora, 2) merač pritiska SPEEDIVAC, 3) čelična boca sa argonom pod pritiskom, 4) vakuum pumpa EDWARDS 5, 5) izvor jednosmernog napona CANBERRA, 6) AVOMetar ISKRA MI 7006, 7) digitalni multimetar LDM – 852 A, 8) dekadna kutija MA 2110 i 9) koaksijalni kablovi i priključci.

Ispitivanja gasnih odvodnika prenapona vršena su prema sledećoj proceduri: 1) formiranje modela gasnog odvodnika prenapona. Pod tim se podrazumeva izbor odgovarajućeg materijala od koga su napravljene elektrode, smeštanje elektroda u gasno-vakuumsku komoru i podešavanje rastojanja između elektroda; 2) povezivanje formiranog modela (gasne cevi) u gasno – vakuumski sistem, pomoću odgovarajućih ventila sa vakuumskom pumpom sa jedne strane i dovodom gasa iz čelične boce sa komprimovanim gasom sa druge strane, kao i povezivanje sa meračem pritiska; 3) vakuumiranje sistema, koje podrazumeva uspostavljenje stabilnog pritiska pomoću ventila ka vakuum pumpi i igličastih ventila, koji služe za "doziranje" pritiska (pritisak mora biti stabilan, tj. njegova vrednost se ne sme menjati tokom eksperimenta); 4) pozicioniranje gasne komore na određenu jačinu doze; 5) povezivanje modela gasnog odvodnika u električno kolo prema šemi predstavljenoj na slici 1; 6) kondicioniranje elektrodnog sistema, tj. izlaganje pražnjenju određeno vreme kako bi se dobili stabilni radni uslovi, što omogućava ponovljivost mernih rezultata, odnosno pouzdanost merenja; 7) merenje vrednosti pretprobajne struje u funkciji primenjenog napona, koji se povećava u određenim koracima pri definisanoj jačini doze; 8) promena položaja radne tačke modela gasnog odvodnika i ponavljanje postupka merenja. To podrazumeva promenu parametara gasno-vakuumske

komore (pritiska u gasnoj cevi, materijala elektroda, jačine doze); 9) crtanje grafika zavisnosti pretprobojne struje modela gasnog odvodnika prenapona u zavisnosti od primenjenog napona uz statističku obradu dobijenih rezultata [1-9].

Tokom eksperimentalnog ispitivanja zavisnosti pretprobojne struje od primenjenog napona korišćene su dve vrste elektroda: čelične i mesingane. Rastojanje između elektroda je iznosilo 0,5 mm. Eksperimenti su vršeni pri pritiscima od 2666,44 Pa i 4666,27 Pa. Rastojanje između izvora zračenja i ispitivanih komponenti je iznosilo 272,4 cm, 86,1 cm i 60,9 cm, respektivno. Parametri polja X zračenja dozimetrijskog generatora PHILIPS MG – 320 prilikom ispitivanja navedenih komercijalnih komponenti bili su sledeći: napon X cevi 60 kV, 150 kV i 300 kV, respektivno, struja cevi 15 mA, 10 mA i 10 mA, respektivno i energija X zraka 45 keV, 115 keV i 250 keV, respektivno. Jačina ekspozicione doze je iznosila $2,83 \times 10^{-6}$ C/kgs, $5,89 \times 10^{-6}$ C/kgs i $3,46 \times 10^{-6}$ C/kgs, respektivno. Korišćena je filtracija prema ISO standardima. Sva testiranja su obavljena na sobnoj temperaturi od 25°C.

Električna blok šema korišćene aparature prikazana je na slici 1.

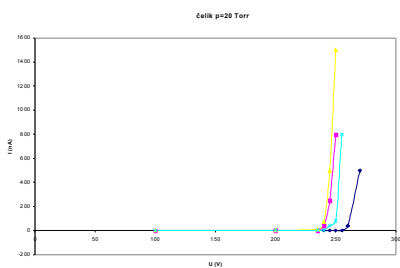


Slika 1. Blok šema aparature

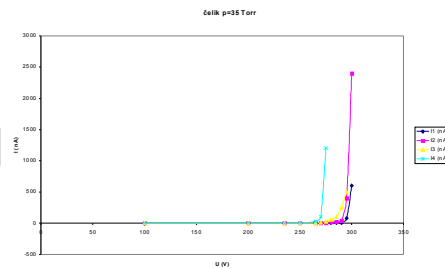
REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja zavisnosti pretprobojne struje od primenjenog napona u odsustvu zračenja i u polju X zračenja (za čelične i mesingane elektrode i za dve vrednosti pritiska) prikazana je na slikama 2-5.

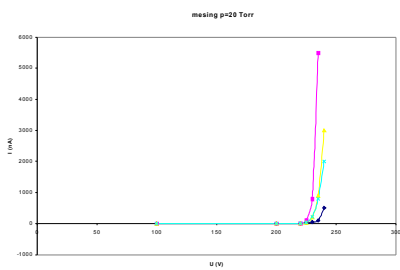
Materijal od koga su napravljene elektrode i vrednost primenjenog pritiska prikazani su u vrhu svake slike. U legendi prikazanoj na slikama 2.-5., struja I_1 odgovara slučaju kada nema zračenja, struja I_2 energiji X zračenja od 45 keV, struja I_3 energiji X zračenja od 115 keV, struja I_4 energiji X zračenja od 250 keV.



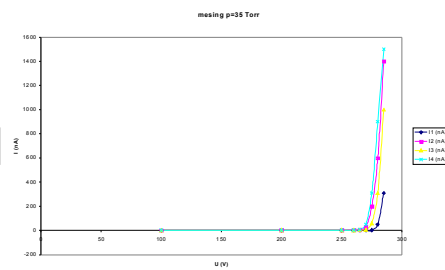
Slika 2. Pretprobojna struja u funkciji primenjenog napona u polju X zračenja (čelične elektrode, $p = 2666,44$ Pa)



Slika 3. Pretprobojna struja u funkciji primenjenog napona u polju X zračenja (čelične elektrode, $p = 4666,27$ Pa)



Slika 4. Pretprobojna struja u funkciji primenjenog napona u polju X zračenja (mesingane elektrode, $p = 2666,44$ Pa)



Slika 5. Pretprobojna struja u funkciji primenjenog napona u polju X zračenja (mesingane elektrode, $p = 4666,27$ Pa)

Na osnovu dobijenih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

- 1) U pretprobojnom režimu struja se ne menja sa porastom napona, bez obzira na vrednosti primenjene energije X zračenja. Dakle, X zračenje u pretprobojnom režimu praktično ne utiče na karakteristike gasnih odvodnika prenapona,
- 2) Proboj se pri većoj vrednosti pritiska javlja pri većim vrednostima probojnog napona, nego pri manjem pritisku,
- 3) U svim slučajevima proboj nastupa pri manjim vrednostima napona (pri pritisku od 2666,44 Pa pri naponima od 230 V do 250 V, a pri pritisku od 4666,27 Pa pri naponima od 260 V do 280 V),
- 4) Nezavisno od materijala od koga su napravljene elektrode pri većoj energiji X zraka proboj nastupa pri manjim vrednostima napona, tj. najveća vrednost probojnog napona se dostiže u slučaju kada na odvodnik ne deluje X zračenje,
- 5) Mesingane elektrode su najotpornije na dejstvo X zračenja.

ZAKLJUČAK

Na osnovu svih dobijenih rezultata zaključujemo da X zračenje degradira osobine odvodnika i dovodi do proboja pri relativno niskim vrednostima napona. Dobijeni rezultati pokazuju da je u polju X zračenja najbolje upotrebiti mesingane elektrode, koje su najotpornije na dejstvo zračenja. Ustanovljeno je da su ove promene reverzibilnog karaktera i da nakon određenog vremena, gasni odvodnici prenapona ponovo imaju iste

karakteristike, kao bez prisustva zračenja. Dalja istraživanja, u cilju dobijanja modela odvodnika optimalnih performansi, treba usmeriti u pravcu ispitivanja uticaja prečnika elektroda i načina obrade elektrodnih površina na relevantne karakteristike odvodnika, kako u jednosmernom, tako i u impulsnom režimu rada.

LITERATURA

- [1] G. C. Messenger, M. S. Ash, The Effects of Radiation on Electronic Systems, Second Edition, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1992.
- [2] A. Holmes – Siedle, L. Adams, Handbook of Radiation Effects, Second Edition, Oxford and New York: Oxford University Press, 2002
- [3] P. Osmokrović, B. Lončar and S. Stanković, "Investigation the optimal method for improvement the protective characteristics of gas filled surge arresters-with/without the built in radioactive sources," IEEE Trans. Plasma Science, **5**, 1876-1880, 2002.
- [4] B. Lončar, P. Osmokrović and S. Stanković, "Radioactive resistance of gas filled surge arresters," IEEE Trans. Nuclear Science, **5**, 1725-1731, 2003.
- [5] P. Osmokrović, B. Lončar, R. Šašić, "Influence of the electrode parameters on pulse shape characteristics of gas-filled surge arresters at small pressure and inter-electrode gap values," IEEE Trans. Plasma Science, **5**, 2005.
- [6] B. Lončar, S. Stanković, N. Kartalović, P. Osmokrović.: Uticaj gama zračenja na pretprobajnu struju i otpornost nekih komercijalnih gasnih odvodnika kao elemenata za zaštitu od prenapona, XXII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Petrovac, Septembar 2003, Zbornik radova, str.75-78.
- [7] B. Lončar, S. Stanković, A. Vasić, P. Osmokrović.: "Uticaj X zračenja na karakteristike nekih komercijalnih gasnih odvodnika prenapona," Kongres fizičara Srbije i Crne gore, Petrovac na moru, Jun 2004, Zbornik radova (CD), str. 8.99-8.102.
- [8] B. Lončar, S. Stanković, A. Vasić, P. Osmokrović.: "Usporedna analiza uticaja gama i X zračenja na karakteristike nekih komercijalnih gasnih odvodnika prenapona," XLVIII Konferencija ETRAN, Čačak, Jun 2004, Sveska IV, str. 68-71.
- [9] B. Lončar, N. Kartalović, S. Stanković, A. Vasić, P. Osmokrović, "Uticaj materijala elektroda i pritiska na karakteristike modela gasnog odvodnika prenapona u polju gama zračenja," XLIX Konferencija ETRAN, Budva, Jun 2005.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF ELECTRODE MATERIAL AND PRESSURE ON GAS FILLED SURGE ARRESTERS MODEL CHARACTERISTICS IN X RADIATION FIELD IN D.C. REGIME

B. Lončar, N. Kartalović¹, S. J. Stanković², M. Vukčević², M. Kovačević²

Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade

¹ Technical College for Railway Engineering, Belgrade

² Institute of Nuclear Sciences "VINČA", Belgrade

The aim of this paper is to find the possibility for improvement of the gas filled surge arresters (GFSAs) model characteristics in X radiation field by appropriate choice of construction parameters. Examination of the influence of electrode material and gas pressure to pre-breakdown current of GFSAs model in d.c. regime was performed, and the results were presented in this paper. The obtained results show that the optimal solution for GFSAs model was with brass electrodes and higher values of pressure.

TEORIJSKE OSNOVE METODA REKONSTRUKCIJE NIVOVA KONTAMINIRANOSTI TERITORIJE IZOTOPIMA TRANSURANIJUMSKIH ELEMENATA

N. Antović, E. A. Rudak¹, A. Ja. Tulubcov¹
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica
¹ Institut za fiziku, Akademija nauka Bjelorusije, Minsk

SADRŽAJ

Predstavljen je jednostavan fenomenološki model koji čini teorijsku osnovu metoda za rekonstrukciju nivoa kontaminiranosti teritorije transuranijumskim izotopima, usljed havarije u nuklearnoj elektrani. Za razliku od ranije korišćenih, složenih numeričkih proračuna, ovaj model daje analitička rješenja pomoću kojih se proračunavaju količine nuklida u jezgru termalnog reaktora, kao i njihove aktivnosti.

UVOD

Zbog ispitavanja mogućnosti korišćenja postojećih eksperimentalnih γ -spektrometrijskih podataka za posredno određivanje nivoa kontaminiranosti teritorije izotopima transuranijumskih elemenata, veoma važno je korektno proračunati količine i aktivnosti nuklida u jezgru reaktora. U pitanju je složen računski zadatak koji je do sada bio rješavan uglavnom numeričkim metodama.

RANIJE KORIŠĆENI METODI

Shema proračuna količina nuklida u jezgru reaktora prilično je poznata. U razmatranje se najčešće uvodi vektor koncentracije nuklida, čija je vremenska promjena u matričnom obliku određena nelinearnim sistemom diferencijalnih jednačina, u kome značajnu ulogu igra matrica brzina reakcija [1].

Najprije, neophodno je odrediti neutronske fizičke karakteristike jezgra reaktora u toku cijele kampanje (posebno koncentracije najvažnijih izotopa uranijuma, neptunijuma i plutonijuma), a zatim dobijene podatke iskoristiti za rješavanje sistema diferencijalnih jednačina koje opisuju transformacije jezgara, uzimajući u obzir promjene fluksa neutrona sa vremenom.

Nuklidni sastav jezgra reaktora RBMK-1000 u nuklearnoj elektrani Černobilj, proračunavan je mnogo puta numeričkim metodama po istoj ili približno istoj shemi koju čine dvije etape. U prvoj etapi, modelira se proces sagorijevanja goriva za cijelu kampanju reaktora i računa zavisnost specifičnih masa nuklida od dubine sagorijevanja. U drugoj etapi, na osnovu podataka o dubini sagorijevanja goriva u svakom od aktivnih reaktorskih

gdje su λ_i , y_i^n i $A_i(t)$ – konstanta raspada, apsolutni nezavisni izlaz i aktivnost i–tog člana linaernog lanca.

Za i-ti član, dobija se:

$$A_i(t) = A_i(^{239}\text{Pu}, t) + A_i(^{235}\text{U}, t)^\beta - A_i(^{239}\text{Pu}, t)^\beta, \quad (3)$$

tj. rješenje u kojem su sadržana tri pojedinačna rješenja vezana za procese njegovog stvaranja pri: fisiji ^{235}U sa $P(^{235}\text{U}, t) = P_{of}e^{-\beta t}$, fisiji ^{239}Pu sa $P(^{239}\text{Pu}, t) = P_{of}$ (tj. konstantnom brzinom), fisiji ^{239}Pu sa $P(^{239}\text{Pu}, t) = P_{of}e^{-\beta t}$, data kao: $A_i(^{239}\text{Pu}, t) = b_i(^{239}\text{Pu}) + \sum_{j=1}^i C_{ij} (^{239}\text{Pu}) e^{-\lambda_j t}$, $A_i(^{235}\text{U}, t)^\beta = b_i(^{235}\text{U})^\beta e^{-\beta t} + \sum_{j=1}^i C_{ij} (^{235}\text{U})^\beta e^{-\lambda_j t}$, a analogno je i $A_i(^{239}\text{Pu}, t)^\beta$. Opšte rješenje izraza (3) može se predstaviti u obliku:

$$A_i(t) = b_i(^{239}\text{Pu}) + [b_i(^{235}\text{U})^\beta - b_i(^{239}\text{Pu})^\beta] e^{-\beta t} - [b_i(^{235}\text{U})^\beta - b_i(^{239}\text{Pu})^\beta] e^{-\lambda_i t} + \sum_{j=1}^{i-1} [C_{ij} (^{239}\text{Pu}) + C_{ij} (^{235}\text{U})^\beta - C_{ij} (^{239}\text{Pu})^\beta] [e^{-\lambda_j t} - e^{-\lambda_i t}], \quad (4)$$

gdje su: $b_i(^{239}\text{Pu}) = P_{of} \sum_{j=1}^i y_j^n (^{239}\text{Pu})$, $j \leq i$; $b_i(^{235}\text{U})^\beta = P_{of} \sum_{k=1}^i y_k^n (^{235}\text{U}) \prod_{j=k}^i [\lambda_j / (\lambda_j - \beta)]$; $C_{ij} (^{235}\text{U})^\beta = C_{ij-1} (^{235}\text{U})^\beta [\lambda_j / (\lambda_i - \lambda_j)]$, $j \neq i$; $C_{ij} (^{239}\text{Pu}) = C_{ij-1} (^{239}\text{Pu}) [\lambda_j / (\lambda_i - \lambda_j)]$, $j \neq i$; $C_{11} (^{239}\text{Pu}) = -b_i(^{239}\text{Pu})$; $C_{22} (^{239}\text{Pu}) = -b_2(^{239}\text{Pu}) - C_{21} (^{239}\text{Pu})$; $C_{11} (^{235}\text{U})^\beta = -b_i(^{235}\text{U})^\beta$, itd; $y_j^n (^{239}\text{Pu})$ apsolutni nezavisni izlaz i–tog člana izobarnog lanca pri fisiji ^{239}Pu , λ_i – konstanta raspada i–tog nuklida. Za reaktor tipa RBMK-1000, početni uslov: $A_i(0) = 0$.

Odgovarajuća količina jezgara je:

$$N_i(t) = b_i(^{239}\text{Pu}) [1 - e^{-\lambda_i t}] / \lambda_i + [b_i(^{235}\text{U})^\beta - b_i(^{239}\text{Pu})^\beta] (e^{-\beta t} - e^{-\lambda_i t}) / \lambda_i + \sum_{j=1}^{i-1} [C_{ij} (^{239}\text{Pu}) + C_{ij} (^{235}\text{U})^\beta - C_{ij} (^{239}\text{Pu})^\beta] [e^{-\lambda_j t} - e^{-\lambda_i t}] / \lambda_i, \quad (5)$$

a za stabilne nuklide:

$$N_i(t) = b_i(^{239}\text{Pu}) \{ t + [b_{i-1} (^{235}\text{U})^\beta - b_{i-1} (^{239}\text{Pu})^\beta + P_{of} y_i^n (^{235}\text{U})] - P_{of} y_i^n (^{239}\text{Pu}) \} [1 - e^{-\beta t}] / [\beta b_i (^{239}\text{Pu})] + \sum_{j=1}^{i-1} [C_{ij} (^{239}\text{Pu}) + C_{ij} (^{235}\text{U})^\beta - C_{ij} (^{239}\text{Pu})^\beta] [e^{(1 - \exp(-\lambda_j t))} / \lambda_j b_i (^{239}\text{Pu})]. \quad (6)$$

Gornje formule moguće je znatno uprostiti, ukoliko su predmet interesovanja fisioni fragmenti sa periodima poluraspada reda dana i više. U radioekologiji takvi nuklidi i predstavljaju praktični interes.

Ukoliko se razmatra i-ti član izobarnog lanca sa $\lambda_i \ll \lambda_j$, tada, ako je $\lambda_j \gg \beta$ (uslov po pravilu ispunjen), izraz $b_i(^{235}\text{U})^\beta$ biva značajno prostiji: $b_i(^{235}\text{U})^\beta \approx P_{of} y_i^k (^{239}\text{Pu}) [\lambda_i / (\lambda_i - \beta)]$, gdje $y_i^k (^{239}\text{Pu})$ predstavlja kumulativni izlaz i-tog člana izobarnog lanca pri fisiji ^{239}Pu . U tom slučaju je $\lambda_i / (\lambda_i - \beta) \ll 1$, zbog čega članovi koji sadrže C_{ij} u izrazima (4), (5) i (6) u prvoj aproksimaciji mogu biti zanemareni. Konačno, umjesto (4) i (6), korišćenjem koeficijenta $\alpha = \lambda_i [y_i^k (^{235}\text{U}) - y_i^k (^{239}\text{Pu})] / (\lambda_i - \beta) y_i^k (^{239}\text{Pu})$, dobijaju se:

$$A_i(t) = P_{of} y_i^k (^{239}\text{Pu}) [1 + \alpha e^{-\beta t} - (1 + \alpha) e^{-\lambda_i t}], \quad (7)$$

$$N_i(t) = P_{of} y_i^k (^{239}\text{Pu}) \{ t + [y_i^k (^{235}\text{U}) - y_i^k (^{239}\text{Pu})] [1 - e^{-\beta t}] / \beta y_i^k (^{239}\text{Pu}) \}. \quad (8)$$

Navedene formule su pogodne za mnoge termalne reaktore, uključujući i černobiljski RBMK-1000. Razvijeni model je mnogo jednostavniji od numeričkih proračuna, a tačnost rezultata se očuvava. Naime, specifične aktivnosti mnogih

radioekološki značajnih fisionih fragmenata ($^{89,90}\text{Sr}$, ^{91}Y , $^{95,97}\text{Zr}$, ^{99}Mo , ^{103}Ru , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba , $^{141,143,144}\text{Ce}$ itd), proračunate korišćenjem uprošćenog modela, faktički se poklapaju sa rezultatima numeričkih proračuna za černobiljski RBMK-1000 iz, na primjer, [1]. Ipak, u slučaju ^{106}Ru odstupanje je približno 10 %. Sa fizičkog aspekta to je razumljivo, pošto se izlazi ^{106}Ru pri fisiji ^{239}Pu i ^{235}U termalnim neutronima razlikuju za red veličine, tj.: $y(^{106}\text{Ru}, ^{239}\text{Pu})/y(^{106}\text{Ru}, ^{235}\text{U}) \approx 11$. Kako je, pri radu reaktora godinu dana i više, stvaranje ^{106}Ru uglavnom uslovljeno fisijom ^{239}Pu , to on mora biti lokalizovan gdje i ^{239}Pu . Ovaj i drugi nuklidi sa sličnim karakteristikama pogodni su za posredno određivanje sadržaja izotopa transuranijskih elemenata u reaktorskom gorivu i u radioaktivnim padavinama. U tom smislu značajni su ^{125}Sb (odnos izlaza pri fisiji ^{239}Pu i fisiji ^{235}U približno jednak 3.8) i, posebno, ^{111}Ag (odnos izlaza pri fisiji ^{239}Pu i fisiji ^{235}U približno jednak 15), čije je stvaranje praktično u potpunosti uslovljeno fisijom ^{239}Pu i ^{241}Pu . Sa ovim u vezi, model je potrebno usavršiti i u obzir uzeti i mogući doprinos ^{241}Pu (fisija termalnim neutronima), kao i ^{238}U (fisija neutronima fisionog spektra).

LITERATURA

- [1] N. V. Gorbačeva, G. A. Šarovarov: Metod rasčeta i sozdanie banka dannyh po nakopleniyu radionuklidov pri različnoj glubine vygoraniya topliva reaktora RBMK-1000. Minsk, 1998 (Preprint IREP-22, 17s).
 [2] Yu. A. Izrael: Radiativnye vypadeniya posle yaderyh vzryvov i avarij. Progres – Pogoda, 1966, s. 356.
 [3] A. S. Gerasimov, T. S. Zarickaya, A. P. Rudik: Spravočnik po obrazovaniyu nuklidov v yaderyh reaktorah. Moskva, Energoatomizdat, 1989, 575 s.

ABSTRACT

THEORETICAL BASIS OF METHOD FOR RECONSTRUCTING LEVEL OF TRANSURANIUM CONTAMINATION OF TERRITORY

N. Antovic, E. A. Rudak¹, A. Ya. Tulubtsov¹

Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

¹Institute of Physics, National Academy of Sciences, Minsk, Belarus

The simple phenomenological model, as the theoretical base of a method for reconstructing the level of transuranium contamination of a territory due to an accident in a nuclear power plant, has been shown. In contrast to complicated numerical calculations that mostly have been used so far, this model gives analytical solutions for calculating quantities of nuclides in a thermal reactor core, as well as their activities.

KORELACIJE ZNAČAJNE ZA PROCJENU AKTIVNOSTI IZOTOPA TRANSURANIJUMSKIH ELEMENATA

N. Antović, E. A. Rudak¹, A. Ja. Tulubcov¹, P. Vukotić
Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica
¹Institut za fiziku, Akademija nauka Bjelorusije, Minsk

SADRŽAJ

Prikazani su odnosi među aktivnostima radionuklida, značajni za rekonstrukciju nivoa kontaminacije teritorije koja je izazvana havarijom u nuklearnoj elektrani Černobilj. Takođe, predstavljeni su i neki od rezultata analize korelacija značajnih za procjenu aktivnosti izotopa transuranijskih elemenata.

UVOD

Iako su se mnogi od radionuklida koji su usljed havarije u nuklearnoj elektrani Černobilj izbačeni u atmosferu praktično raspali do danas, neki od njih – sa većim periodima poluraspada, još dugo će imati značajnu ulogu u ekologiji životne sredine. Dovoljno pouzdani eksperimentalni podaci dobijeni su samo u vezi sa kontaminacijom teritorija Cs¹³⁴ i Cs¹³⁷. Nedovoljno je podataka u vezi sa kontaminacijom teritorija u radioekološkom smislu opasnijim izotopima transuranijskih elemenata i Sr⁹⁰. Zbog toga je potrebno ispitati mogućnosti posrednog određivanja nivoa kontaminacije teritorije α -emitujućim izotopima transuranijskih elemenata, na osnovu postojećih γ -spektrometrijskih rezultata.

POSREDNO ODREĐIVANJE NIVOA KONTAMINACIJE TERITORIJE

Određivanje sadržaja izotopa plutonijuma moguće je na osnovu rezultata relativno proste γ -spektrometrije niza fisijonih fragmenata, uz korišćenje odnosa među aktivnostima radionuklida [1]. Neke od radio-hemijskih analiza pokazale su da se, u zavisnosti od nivoa kontaminacije teritorije koju je izazvala havarija u černobiljskoj elektrani, odnosi plutonijuma i fisijonih fragmenata (γ -emitera) veoma razlikuju. Ustanovljeno je, na primjer, da se, pri prelazu sa jednog tipa kontaminacije na ostale, odnos Ce/Pu smanjuje približno 10 puta, dok je odnos Ru/Pu skoro neizmijenjen [2]. U početnom periodu, greška određivanja plutonijuma pomoću cerijuma bila je oko 32 %, a pomoću rutenijuma oko 17 % [3]. Tokom vremena, netačnost se povećavala zbog raspada Ce¹⁴⁴ ($T_{1/2} = 285$ dana), Ru¹⁰³ ($T_{1/2} = 39.3$ dana) i Ru¹⁰⁶ ($T_{1/2} = 373$ dana), a uticaj je pokazala i migracija radionuklida u dubinu tla. Ako se u obzir uzmu svi značajni faktori, jasno je da je već u jesen 1988. godine netačnost pomenutih procjena porasla do (70 – 100) %.

U principu, pri posrednom određivanju sadržaja izotopa transuranijumskih elemenata na osnovu γ -zračenja fisionih fragmenata moguće je ograničiti se na radionuklide: Y^{91} , Zr^{95} , Zr^{97} , Nb^{95} , Mo^{99} , Ru^{103} , Ru^{106} , Sb^{125} , Sb^{127} , I^{131} , Cs^{134} , Cs^{136} , Cs^{137} , Ba^{140} , Ce^{141} , Ce^{143} , Ce^{144} , Nd^{147} . Međutim, treba imati u vidu da se, pri izučavanju odnosa među α -aktivnostima izotopa plutonijuma i γ -aktivnostima fisionih fragmenata Ru^{103} , Ru^{106} , Ce^{141} , Ce^{144} i drugih, mora uzeti u obzir i principijelna razlika u metodama mjerenja α - i γ -aktivnosti. Takođe, za analizu rezultata mjerenja, neophodno je znati teorijske odnose među aktivnostima radionuklida u jezgru reaktora, imajući u vidu da su u havarijnom izbačenom materijalu ti odnosi izmijenjeni zbog procesa frakcionisanja.

Zahvaljujući jednostavnom fenomenološkom modelu, analitički su proračunate specifične aktivnosti radionuklida stvorenih u jezgru termalnog reaktora, u zavisnosti od vremena njegovog rada. Koristeći ta rješenja, proračunate su potrebne teorijske korelacije za černobljški reaktor RBMK-1000.

Budući da se koeficijenti frakcionisanja: $f_{i,95} = (A_i/A_{95})/(Y_i/Y_{95})$, gdje A_i i A_{95} predstavljaju izmjerene aktivnosti i-tog radionuklida i Zr^{95} , a Y_i i Y_{95} njihove teorijski proračunate aktivnosti u jezgru reaktora u trenutku havarije, izračunavaju na ovakav način, prvenstveni je interes znati odnos aktivnosti konkretnog radionuklida i aktivnosti Zr^{95} , tj:

$$\begin{aligned} \rho &= A(Sr^{89},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Sr^{90},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Y^{91},t)/A(Zr^{95},t), \\ \rho &= A(Zr^{97},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Mo^{99},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Ru^{103},t)/A(Zr^{95},t), \\ \rho &= A(Ru^{106},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Sb^{125},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(I^{131},t)/A(Zr^{95},t), \\ \rho &= A(Cs^{137},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Ba^{140},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Ce^{141},t)/A(Zr^{95},t), \\ \rho &= A(Ce^{143},t)/A(Zr^{95},t), \rho = A(Ce^{144},t)/A(Zr^{95},t). \end{aligned}$$

Zr^{95} se kao etalon koristi zbog visoke temperature topljenja $T_i = 1852$ °C i visoke temperature ključanja $T_k = 4377$ °C. Međutim, čini se da je povoljnije koristiti na primjer Mo^{99} , kod koga je: $T_i = 2617$ °C i $T_k = 4612$ °C. Kumulativni izlazi Mo^{99} pri fisiji U^{235} i Pu^{239} termalnim neutronima skoro su jednaki: $y^k(Zr^{95},U^{235}) = 6.1105(-2)$ i $y^k(Zr^{95},Pu^{239}) = 6.1403(-2)$, zbog čega njegova specifična aktivnost praktično ne zavisi od vremena ekspozicije goriva. Osim toga, period poluraspada Mo^{99} je $T_{1/2} = 2.75$ dana, što je sasvim dovoljno za ekspresna mjerenja.

Za teorijsku procjenu nepoznate aktivnosti jednog izotopa hemijskog elementa, može se koristiti eksperimentalno određena aktivnost drugog izotopa tog istog elementa, tj. odnos tipa: $\rho = A(Sr^{89},t)/A(Sr^{90},t)$, $\rho = A(Ru^{103},t)/A(Ru^{106},t)$, $\rho = A(Ce^{141},t)/A(Ce^{144},t)$, $\rho = A(Cs^{134},t)/A(Cs^{137},t)$.

Kako je jedan od osnovnih pokazatelja nivoa kontaminacije teritorije aktivnost Cs^{137} , sljedeći odnosi mogu biti veoma korisni za opštu cjenu radijacione situacije:

$$\begin{aligned} \rho &= A(Sr^{89},t)/A(Cs^{137},t), \rho = A(Sr^{90},t)/A(Cs^{137},t), \rho = A(Zr^{95},t)/A(Cs^{137},t), \\ \rho &= A(Ru^{103},t)/A(Cs^{137},t), \rho = A(Ru^{106},t)/A(Cs^{137},t), \rho = A(I^{131},t)/A(Cs^{137},t), \\ \rho &= A(Ba^{140},t)/A(Cs^{137},t), \rho = A(Ce^{141},t)/A(Cs^{137},t), \rho = A(Ce^{144},t)/A(Cs^{137},t). \end{aligned}$$

Zbog bliskosti fizičko-hemijskih svojstava stroncijuma i barijuma, β -aktivnost Sr^{90} može biti procijenjena na osnovu γ -aktivnosti Ba^{140} , za što je potrebno znati $\rho = A(Sr^{90},t)/A(Ba^{140},t)$. Na primjer, specifične aktivnosti Sr^{90} i Ba^{140} u ([Bq/t]), računane prema pomenutom modelu, pri brzini fisije jezgara u 1 t goriva: $P_{of} \approx 6.13 \cdot 10^{17}$ [s⁻¹], za vrijeme rada reaktora RBMK-1000 t = 0.6 godina (cijela kampanja: približno 2.71 godina), su: $A(^{90}Sr,t) = P_{of} \cdot 2.1011(-2) [1 - 0.1287e^{-0.365t} - 0.8713e^{-0.02424t}] = 4.86(+14)$ i $A(^{140}Ba,t) = P_{of} \cdot 5.5453(-2) [1 + 0.1377e^{-0.365t} - 1.1377e^{-19.85t}] = 3.77(+16)$, pa je $\rho = 1.3(-2)$.

Za opštu ocjenu γ -spektra fisionih fragmenata mogu biti korisni odnosi:

$$\rho = A(Ru^{103},t)/A(Ce^{141},t), \rho = A(Ru^{106},t)/A(Ce^{144},t), \rho = A(Ru^{103},t)/A(Ce^{144},t),$$

$$\rho = A(\text{Ru}^{106}, t) / A(\text{Ce}^{141}, t).$$

Veoma korisni mogu biti i odnosi među aktivnostima četiri radionuklida:

$$\rho = A(\text{Ru}^{103}, t) A(\text{Ce}^{144}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t) A(\text{Ce}^{141}, t), \quad \rho = A(\text{Ru}^{106}, t) A(\text{Sr}^{89}, t) / A(\text{Ru}^{103}, t) A(\text{Sr}^{90}, t),$$

$$\rho = A(\text{Sr}^{89}, t) A(\text{Ce}^{144}, t) / A(\text{Sr}^{90}, t) A(\text{Ce}^{141}, t), \quad \rho = A(\text{Sr}^{90}, t) A(\text{Cs}^{134}, t) / A(\text{Sr}^{89}, t) A(\text{Cs}^{137}, t),$$

kao i odnosi:

$$\rho = A(\text{Ru}^{106}, t) A(\text{Sr}^{89}, t) / A(\text{Ru}^{103}, t) A(\text{Sr}^{90}, t), \quad \rho = A(\text{Sr}^{90}, t) A(\text{Cs}^{134}, t) / A(\text{Sr}^{89}, t) A(\text{Cs}^{137}, t),$$

koji relativno slabo zavise od vremena, zbog čega bi se, na primjer, nepoznata aktivnost $A(\text{Sr}^{89})$ mogla izračunati ukoliko su eksperimentalno određene aktivnosti $A(\text{Sr}^{89})$, $A(\text{Ru}^{103})$, $A(\text{Ru}^{106})$ ili $A(\text{Sr}^{89})$, $A(\text{Cs}^{134})$, $A(\text{Cs}^{137})$.

KORELACIJE ZNAČAJNE ZA REKONSTRUKCIJU NIVOA KONTAMINACIJE TERITORIJE TRANSURANIJUMSKIM IZOTOPIMA

Za procjenu aktivnosti izotopa transuranijskih elemenata mogu se koristiti odnosi čiji su rezultati (dobijeni na isti način kao i u slučaju Sr^{90} i Ba^{140}), kao ilustracija, navedeni u Tabelama 1, 2, 3 i 4, ali i odnosi tipa:

$$\rho = A(\text{Pu}^{239}, t) / A(\text{Ce}^{144}, t), \quad \rho = A(\text{Pu}^{240}, t) / A(\text{Ce}^{144}, t), \quad \rho = A(\text{Pu}^{241}, t) / A(\text{Ce}^{144}, t),$$

$$\rho = A(\text{Pu}^{238}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t), \quad \rho = A(\text{Pu}^{239}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t), \quad \rho = A(\text{Pu}^{240}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t),$$

$$\rho = A(\text{Pu}^{241}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t), \quad \rho = A(\text{Np}^{237}, t) / A(\text{Ce}^{144}, t), \quad \rho = A(\text{Np}^{237}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t),$$

$$\rho = A(\text{Np}^{239}, t) / A(\text{Ce}^{144}, t), \quad \rho = [A(\text{Pu}^{239}, t) + A(\text{Pu}^{240}, t)] / A(\text{Ce}^{144}, t),$$

$$\rho = [A(\text{Pu}^{238}, t) + A(\text{Pu}^{239}, t) + A(\text{Pu}^{240}, t)] / A(\text{Ru}^{106}, t).$$

Analogni odnosi mogu se dobiti i za još kraće živeće radionuklide Ru^{103} i Ce^{141} .

Analize navedenih korelacija, γ -spektara i temperatura topljenja i ključanja Ru^{106} i Ce^{144} , uzimajući u obzir efekat migracije u dubinu zemljišta i efekat samoapsorpcije, pokazuju da je pri posrednom određivanju sadržaja izotopa transuranijskih elemenata u mnogim slučajevima pogodniji Ru^{106} od Ce^{144} , koji se u ove svrhe češće koristio. Ovo tim prije što se, pri radu reaktora godinu dana i više, Ru^{106} uglavnom stvara zbog fisije Pu^{239} , zbog čega su i lokalizovani na istim mjestima, za razliku od Ce^{144} koji se uglavnom stvara usljed fisije U^{235} .

Tabela 1: $\rho = A(\text{Pu}^{238}, t) / A(\text{Ce}^{144}, t)$

t [god]	0.15	0.30	0.60	0.90	1.20	1.35
ρ	1.7(-6)	5.8(-6)	2.0(-5)	4.7(-5)	9.0(-5)	1.2(-4)
t [god]	1.50	1.65	1.95	2.25	2.55	2.70
ρ	1.5(-4)	1.9(-4)	2.9(-4)	4.2(-4)	5.8(-4)	6.8(-4)

Tabela 2: $\rho = [A(\text{Pu}^{238}, t) + A(\text{Pu}^{239}, t) + A(\text{Pu}^{240}, t)] / A(\text{Ce}^{144}, t)$

t [god]	0.15	0.30	0.60	0.90	1.20	1.35
ρ	3.4(-4)	3.9(-4)	4.4(-4)	5.2(-4)	6.2(-4)	6.7(-4)
t [god]	1.50	1.65	1.95	2.25	2.55	2.70
ρ	7.3(-4)	8.0(-4)	9.5(-4)	1.1(-3)	1.4(-3)	1.5(-3)

Tabela 3: $\rho = [A(\text{Pu}^{239}, t) + A(\text{Pu}^{240}, t)] / A(\text{Ru}^{106}, t)$

t [god]	0.15	0.30	0.60	0.90	1.20	1.35
ρ	4.6(-3)	4.2(-3)	3.4(-3)	2.9(-3)	2.6(-3)	2.5(-3)
t [god]	1.50	1.65	1.95	2.25	2.55	2.70
ρ	2.4(-3)	2.3(-3)	2.2(-3)	2.1(-3)	2.0(-3)	1.9(-3)

Tabela 4: $\rho = A(\text{Np}^{239}, t) / A(\text{Ru}^{106}, t)$

t [god]	0.15	0.30	0.60	0.90	1.20	1.35
ρ	1100	480	200	120	90	79
t [god]	1.50	1.65	1.95	2.25	2.55	2.70
ρ	70	64	56	49	45	44

U praksi su se kao najvažniji pokazali odnosi $\rho = [A(\text{Pu}^{239}, t) + A(\text{Pu}^{240}, t)] / A(\text{Ce}^{144}, t)$ i $\rho = [A(\text{Pu}^{239}, t) + A(\text{Pu}^{240}, t)] / A(\text{Ru}^{106}, t)$ koji, pri $t \approx 1$ godina i više, slabo zavisi od vremena, što ga čini znatno pogodnijim i primjenjivijim od analognog odnosa za Ce^{144} .

Treba napomenuti da je parcijalne i ukupnu α -aktivnost izotopa $\text{Pu}^{238,239,240}$ moguće posredno odrediti i na osnovu β -aktivnosti Pu^{241} , pri čemu se na prethodno opisan način definišu i računaju značajne korelacije.

LITERATURA

- [1] S. T. Belyaev, A. A. Borovoy, Yu. L. Dobyinin: Informacionnaya sistema »PROBA«. Atomnaya energiya, t. 68, vyp. 3, 1990, s. 197-2000.
- [2] Ocenka sootnošeniya meždu alfa-aktivnostyu americiya i plutoniya v probah počvy PGREZ. Otčet o NIR IYAE ANB, N. 216, 1996, 31 s. Nauč. rukovod. O. I. Yaroševič.
- [3] I. A. Lebedev, B. F. Myasoedov, F. I. Pavlockaya, V. Ya. Frenkel: Soderžanie plutoniya v počvah evropejskoj časti strany posle avarii na Černobiljskoj AES. Atomnaya energiya, t. 72, vyp. 6, 1992, s. 593-599.

ABSTRACT

CORRELATIONS SIGNIFICANT FOR ESTIMATION OF TRANSURANIUM ISOTOPES ACTIVITIES

N. Antović, E. A. Rudak¹, A. Ya. Tulubtsov¹, P. Vukotić
Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

¹ Institute of Physics, National Academy of Sciences, Minsk, Belarus

The ratios between activities of radionuclides, significant for reconstructing the level of territory contamination due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant, has been shown. Some results of analysing the correlations which are important for estimating activities of transuranium isotopes, are also presented.

**ПРИМЕНА CdTe ДЕТЕКТОРА
У ОДРЕЂИВАЊУ НОМИНАЛНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА
РЕНДГЕНСКЕ ЦЕВИ: ПРЕДНОСТИ И ОГРАНИЧЕЊА**

М. Крмар, К. Ганезер¹

Департман за физику, ПМФ Нови Сад

¹Државни универзитет Калифорније Домингез Хилс, Карсон, Калифорнија

САДРЖАЈ

У раду су анализирани могућности комерцијалних CdTe детектора у одређивању максималне енергије дијагностичких рендгенских уређаја. Примећени су неки нежељени ефекти који у великој мери ограничавају могућности употребе ових детектора. Наиме, са повећањем одброја, код CdTe детектора долази до знатног помераја спектра на енергетској скали, као и до видног смањења резолуције.

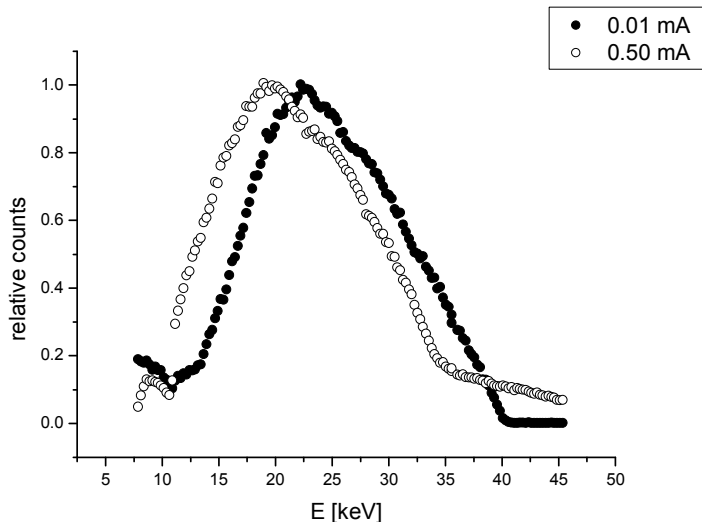
УВОД

Мале промене потенцијала рендгенске цеви могу произвести значајне варијације апсорбоване дозе у рутинској дијагностичкој процедури [1], или пак довести до смањења контраста слике, посебно у мамографији [2]. Због тога је препоручено да се потенцијал дијагностичких рендгенских цеви (или максимална енергија снопа зрачења) рутински контролише мада стандардна метода и мерна техника још увек нису прописани. Различити облици пенетраметра се користе у неинвазионим техникама, али њихови резултати зависе од материјала мете, филтрације итд. Предложено је неколико алтернативних метода од којих треба поменути мерење максималне енергије спектра закочног зрачења силицијумском диодом [3,4]. Недавно су CdTe детектори постали комерцијално доступни [5] за мерење максималне енергије дијагностичког снопа. Спектри добијени CZT или CdTe детекторима [6,7], након малих корекција могу да се упореде са спектрима снимљеним Ge детекторима. По резолуцији не заостају за Ge детекторима, при чему не морају да буду хлађени до температуре течног азота. Но, примећена су нека ограничења CdTe у вези са прикупљањем шупљина [8] тако да је било неопходно проверити могућности ових детектора да у директној спектроскопији дијагностичког рендгенског зрачења одреде максималну енергију закочног зрачења.

МЕРЕЊА И РЕЗУЛТАТИ

У мерењима је коришћен детектор АМРТЕК XR-100T-CdTe, димензија кристала (3x3x1) mm са извором напајања и појачавачем АМРТЕК PX2T-CZT. За енергијску калибрацију детектора коришћени су изотопи ⁵⁷Co, ¹⁰⁹Cd и ¹³³Ba. Као извор зрачења је послужила дијагностичка рендгенска цев која је имала волфрамску

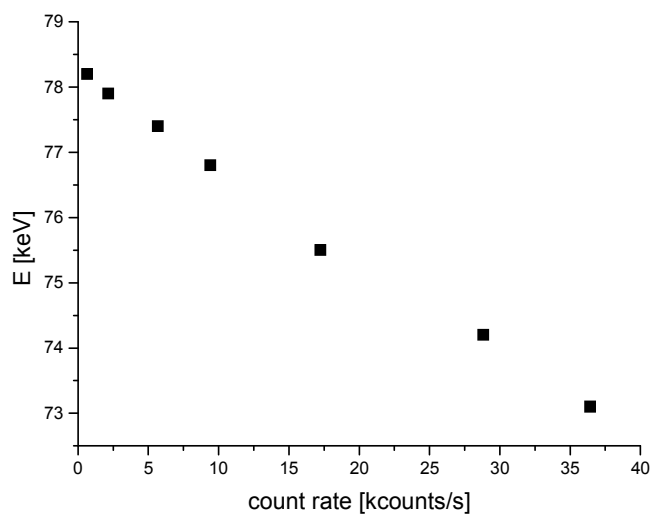
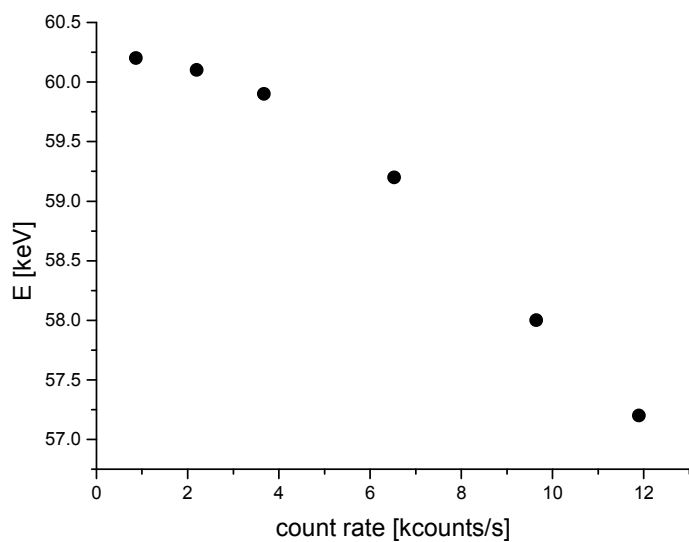
аноду и могућност континуираног подешавања високог напона од 35 до 80 kV и струје од 2 μ A па све до 1 mA. Детектор је био изложен уском снопу, обликованом помоћу два колиматора са отворима од 1 mm. Дужина мерења је варирала од неколико секунди до преко 10 минута, у зависности од интензитета снопа. Како за одређивање максималне енергије нискоенергетски део спектра не игра никакву улогу, сноп је филтриран различитим дебљинама бакра или алуминијума, опет у зависности од интензитета зрачења. Максимална енергија закочног зрачења је одређена на основу енергетске координате на којој се спектар пресеца са фоном. Пресечна тачка је одређивана на основу отежаног линеарног фита последњег сегмента спектра, ширине око 2.5 keV (преко 12 канала) и дуго већег енергетског интервала фона. Спектри су снимани све док одброј у прва два канала последњег сегмента спектра није био преко 1000. На тај начин је преко 10 тачака било одређено са грешком мањом од 10%.



Слика 1. 40 keV-ски спектри при различитим брзинама бројања

На слици 1 су приказана два спектра нефилтрираног снопа од 40 kV. Један од њих је сниман током 700 s, струја је била 0.01 mA, а интегрални одброј је био $0.54 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ са мртвим временом детекторског система од 2.2%. Други спектар је сниман у идентичним геометријским условима током 22 s са струјом цеви од 0.5 mA. Интегрални одброј је био $80.6 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ док је мртво време било 62%. Са слике се може видети како је спектар сниман када је струја цеви била виша, комплетно померен ка нижим енергијама.

Одређено је да је максимална енергија спектра снимљеног са мањом струјом 40.4 keV док је код спектра са већом брзином одброја одређено да је та енергија 34.7 keV.

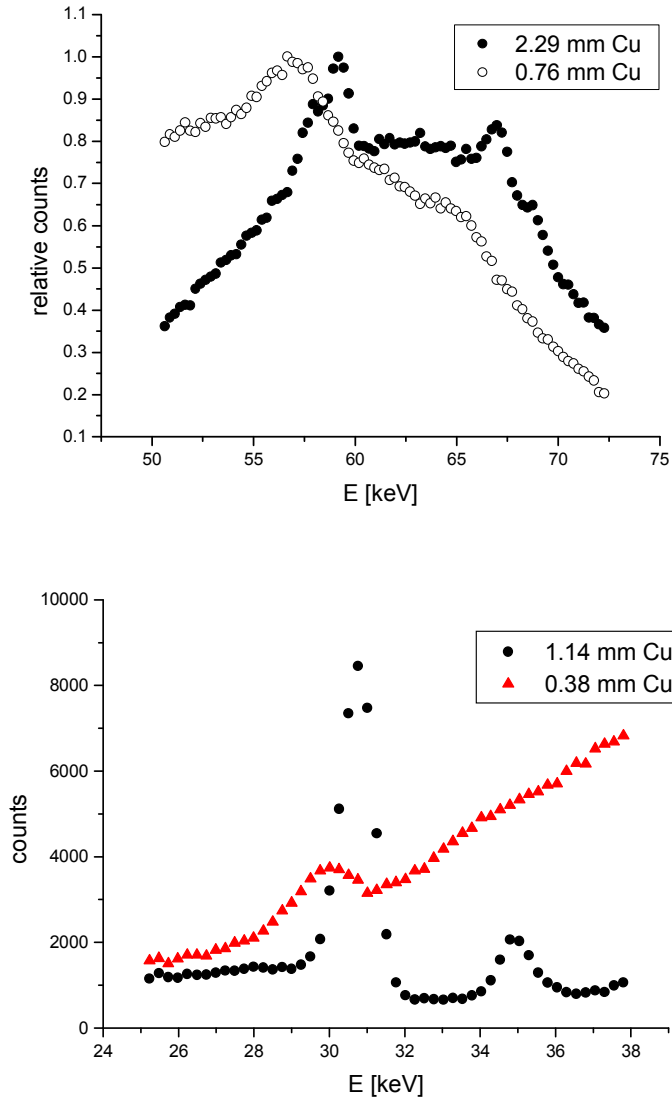


Слика 2. Зависност максималне енергије спектра од 60.0 и 78.8 kV снимљени различитим брзинама бројања

Да би се установило до које мере померај целог спектра зависи од брзине бројања, и како то може утицати на одређивање максималне енергије зрачења, за два различита потенцијала, од 60 и 78.8 kV су снимани спектри са струјама које се кретале од 0.05 до 1 mA. За сваки снимљени спектар је одређена максимална

енергија, а њена зависност од интегралног одброја је приказана на слици 2. На обе слике се може видети како се информација о тачној максималној енергији снопа закочног зрачења може добити само у случају детекције са веома малом брзином бројања.

То практично значи да се спектрима снимљеним CdTe детектором за сваку појединачну брзину бројања мора одредити нова енергетска калибрација.



Слика 3. Резолуција CdTe детектора у зависности од брзине бројања

Како је основна намена испитиваног система мерење рендгенског спектра, могуће би било употребити линије карактеристичног зрачења материјала мете за његову рекалибрацију. На слици 3 су приказана два спектра снимљена са потенцијалом цеви од 78.8 kV и струјом од 0.2 mA. Различита брзина бројања је постигнута различитим дебљинама филтера. У првом случају, када је коришћен бакарни филтер дебљине 0.76 mm, интегрални одброј је био $15.3 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ док је употребом филтра дебљине 2.29 mm тај одброј редукован на $0.73 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$. Како је употребљени потенцијал био довољно висок, карактеристичне линије волфрама су се могле уочити у спектру. Са слике 4 се јасно може видети како се у спектру мереном при малој брзини бројања јасно могу видети карактеристичне линије волфрама. Спектар снимљен са већом брзином бројања је померен ка нижим енергијама, али је и резолуција знатно нарушена, K_{α} линија је знатно проширена док се K_{β} линија једва разазнаје. Дрastiчно нарушење резолуције се може видети на истој слици где је приказан доњи део спектра ^{133}Ba суперпониран на филтрирани спектар закочног зрачења. Различитим дебљинама бакарних филтера постигнута је различита брзина бројања. Јасно се може видети како се са тањим филтром и већом брзином бројања драстично смањује резолуција. Битно лошија резолуција при великој брзини бројања у многоме смањује могућност тачне прекалибрације спектра снимљених уз помоћ карактеристичних линија материјала од кога је мета начињена или додавањем спољашњег извора током детекције спектра закочног зрачења.

ЗАКЉУЧАК

У литератури се поменути недостаци CdTe до сада нису посебно анализирали, али највероватније је да они потичу од релативно спорог кретања шупљина које се стварају приликом проласка јонизујућег зрачења. Процењено је да кристали CdTe имају око $10^{11} - 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ дефеката у кристалној решети који поседују ефективно негативно наелектрисање, које је у стању да зароби шупљине, па је средње време за њихово ослобађање, негде око 100ms [8]. При великим брзинама бројања, успорене шупљине стварају континуирану струју која помера DC ниво детектора, што умањује амплитуду сваког појединачног сигнала, те се као коначан ефект добија померај комплетног спектра ка нижим енергијама. Публиковано је неколико радова у којима се CdTe детектор користи за одређивање максималне енергије дијагностичког снопа [9,10], али су аутори по правилу користили веома јаку колимацију (волфрамски колиматори са отворима реда величине 50 μm), тако да им је требало преко 15 експозиција да са ниском брзином бројања региструју спектар са задовољавајућом статистиком. Тако мала брзина бројања CdTe детекторе у многоме чине непрактичним за рутинску контролу максималне енергије рендген апарата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Basic Quality Control in Diagnostic radiology, Task force on Quality Assurance Protocol, AAPM Report 4 (1977).
- [2] J. Law, K. Faulkner, and S. Smith, "Phys. Med. Biol. 34, 717-725 (1989).
- [3] K. Aoki, and M. Koyama, Med. Phys., 16, 529-536 (1989).
- [4] M. C. Silva, S. B. Herdade, P. Lammoglia, P. R. Costa, and R. A. Terini, Med. Phys., 27, 2617-2623 (2000).
- [5] <http://www.amptek.com/medical.html>.
- [6] M. Matsumoto, A. Yamamoto, I. Honda, A. Taniguchi, and H. Kanamori, Med. Phys., 27, 1490-1502 (2000).

- [7] S. Miyajima, Med Phys., 30, 771-777 (2003).
- [8] A. Jahnke, and R. Matz, Med. Phys., 26, 38-48 (1999)
- [9] R. Kunzel, S. B. Herdade, R. A. Terini, P. R. Costa, Med. Phys., 31, 2996-3003 (2004)
- [10] S. Stumbo, U. Bottigli, B. Golosio, P. Oliva and D. Tangaro Med. Phys., 31, 2763-2770 (2004)

ABSTRACT

**APPLICATION OF CdTe DETECTORS IN MEASUREMENTS OF X-RAY TUBE
NOMINAL POTENTIAL: ADVANTAGES AND LIMITATIONS**

M. Krmar, K. Ganezer¹

Physics Department, Faculty of Science, Novi Sad

¹ California State University Dominguez Hills, Carson, California

We have considered the use of CdTe detectors and commercially available spectroscopy systems for the determination of end-point energies for diagnostic X-ray tubes. We observed some unexpected detector-related effects such as significant shifts in the energy calibration at high count rates. High rates also decrease energy resolution too.

DETEKCIJA ALFA ZRAČENJA POMOĆU STANDARDNE FOTODIODE

V. Drndarević, A. Kandić¹

Saobraćajni fakultet, Beograd

¹Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd

SADRŽAJ

U radu su analizirane mogućnosti primene standardne fotodiode domaće proizvodnje za detekciju i spektrometriju alfa zračenja. Na bazi izvršenih analiza realizovana je alfa sonda pogodna za merenja na terenu. Sonda poseduje linearni i impulsni izlaz, te se može koristiti za povezivanje sa spektrometarskim ili brojačkim mernim sistemima. Karakteristike sonde eksperimentalno su verifikovane i u radu su dati rezultati nekih merenja.

UVOD

U akcidentalnim uslovima, ali i pri rutinskim proverama, potrebno je detektovati alfa zračenje i vršiti spektrometrijsku analizu alfa zračenja. Detekcija alfa zračenja zahteva se i kod sistema za kontinualno praćenje kvaliteta vazduha, pri čemu se merenje vrši preko odgovarajućeg filtra. Za uspešno obavljanje ovakvih merenja, posebno kada se zahteva rad na terenu, potrebno je posedovati iskustvo u pripremi uzoraka i raspolagati odgovarajućom mernom instrumentacijom. Pored zahtevane osetljivosti, pri merenju alfa zračenja zahteva se velika selektivnost detekcije alfa u odnosu na beta i gama zračenje.

Poluprovodnički materijali se danas široko koriste u proizvodnji detektora nuklearnog zračenja. Zahvaljujući poznatom svojstvu da je za stvaranje slobodnog elektrona u poluprovodničkom materijalu potrebno oko 3 eV, za razliku od 30 eV kod gasnih detektora, pri prolasku kroz detektor nuklearno zračenje će stvarati oko deset puta više slobodnog naelektrisanja u poluprovodniku nego u gasu. Ovo za posledicu ima veći nivo signala i veću energetsku rezoluciju poluprovodničkih u odnosu na gasne detektore. Pored toga, poluprovodnički detektor pokazuje linearnost u širokom opsegu i kratko vreme odziva. Zahvaljujući većoj specifičnoj gustini poluprovodnika u poređenju sa gasom, poluprovodnički detektori pokazuju veću efikasnost od gasnih.

Posebna prednost koju donosi primena poluprovodničkih materijala u realizaciji detektora nuklearnog zračenja odnosi se na činjenicu da se isti materijal koristi i za realizaciju neophodnih pojačavačkih elektronskih kola. Ovim je omogućena jednovremena proizvodnja detektora i neophodne elektronike primenom standardne tehnologije proizvodnje integrisanih kola. Na taj način dolazi se do integrisanih silicijumskih senzora koji imaju zahtevane, često veoma složene funkcije, koji su malih dimenzija, imaju malu potrošnju i, zahvaljujući masovnoj automatizovanoj proizvodnji, veoma nisku cenu [1].

U ovom radu analizirane su mogućnosti primene standardne fotodiode u instrumentaciji i sistemima za detekciju i spektrometriju alfa zračenja. Rad je organizovan

na sledeći način: u drugom poglavlju izvršena je analiza konstrukcije i predložene modifikacije standardne fotodiode tako da se ona može uspešno koristiti kao detektor alfa zračenja; u trećem poglavlju opisan je postupak realizacije alfa sonde koja se može koristiti u brojačkim i spektrometerskim uređajima; u poslednjem, četvrtom poglavlju dati su neki od rezultata merenja koja su vršena sa realizovanom alfa sondom.

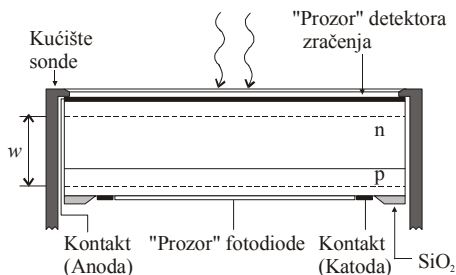
FOTODIODA KAO DETEKTOR ZRAČENJA

Fotodiode se, kao što je dobro poznato, koristi za detekciju svetlosti. Međutim, uz neznatne modifikacije, standardna fotodiode se uspešno može koristiti za detekciju zračenja. Na slici 1. šematski je prikazan presek fotodiode i detalj konstrukcije alfa sonde.

Kada se pn spoj izloži inverznoj polarizaciji, što se postiže dovođenjem pozitivnog potencijala na n stranu a negativnog na p stranu spoja, unutar spoja se obrazuje oblast bez slobodnih elektrona i šupljina (aktivna oblast detektora) čija je širina:

$$w \approx \sqrt{\mu\rho(V_0 + V_D)}, \quad (1)$$

koja, kao što se vidi iz jednačine (1), zavisi od pokretljivosti nosilaca naelektrisanja μ , otpornosti poluprovodničkog materijala ρ i vrednosti primenjenog inverznog napona V_D . Sa V_0 je označen napon potencijalne barijere koji se uspostavlja na pn spoju u odsustvu spoljne polarizacije i koji iznosi oko 0.5 V.



Slika 1. Prikaz strukture fotodiode i detalja konstrukcije alfa sonde

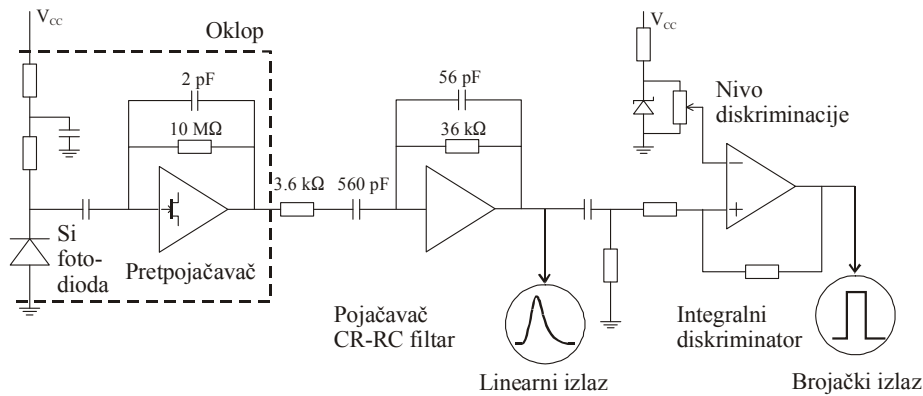
Pri konstrukciji fotodiode vodi se računa o tome da se preko jedne strane spoja, npr. preko poluprovodnika p tipa kao na slici 1., omogući prodor svetlosti u aktivnu zapreminu. Ta strana spoja je transparentna. Na drugu, n stranu pn spoja nanosi se tanak sloj od nekoliko μm zlata ili aluminijuma preko koga se ostvaruje kontakt poluprovodnika sa metalnim kućištem u koje se pakuje pn spoj, odnosno sa drugom elektrodom diode.

Standardna dioda sa slike 1 može se uspešno primeniti za detekciju nuklearnog zračenja. Da bi se ona učinila neosetljivom na svetlost, površina presvučena zlatom se izlaže zračenju dok se naspramna transparentna površina okreće prema unutrašnjosti sonde u koju ne prodire svetlost. Na taj način izbegnuta je osetljivost detektora na svetlost, a omogućeno prodiranje alfa čestica u aktivnu zapreminu detektora.

REALIZACIJA ALFA SONDE

Za realizaciju alfa sonde iskorišćena je standardna fotodiode u čipu, tj. polufabrikat fotodiode pre pakovanja u odgovarajuće kućište [2]. Električna šema prikazana je na slici 2.

Alfa zračenje koje proдре u aktivnu zapreminu detektora oslobađa količinu naelektrisanja $q = \Delta E / \epsilon$, pri čemu je ΔE energija apsorbovana u aktivnoj zapremini detektora a ϵ energija potrebna za stvaranje jednog para elektron-šupljina (3.6 eV za silicijum). Naelektrisanje oslobođeno u detektoru konvertuje se posredstvom prepojačavača naelektrisanja u naponski impuls čija je amplituda q/C_f , pri čemu je C_f kapacitivnost kondenzatora u povratnoj sprezi prepojačavača (u kolu sa slike 2. ova kapacitivnost iznosi 2 pF). Pojačanje signala i povećanje odnosa signal/šum ostvareno je pomoću linearnog pojačavača u okviru koga je realizovan i kvazigausov RC-CR filtar vremenske konstante 2 μ s. Na izlazu linearnog pojačavača dobijaju se impulsi pogodni za spetrometersku analizu detektovanog zračenja. Naravno, imajući u vidu da upotrebljeni detektor i elektronska kola nisu optimizirana za kvalitetnu spektrometriju, ovako dobijena alfa sonda pogodna je za rutinska merenja koja se sprovode na terenu.



Slika 2. Blok šema alfa sonde

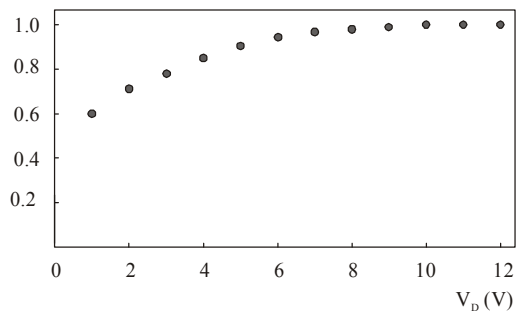


Na izlazu integralnog diskriminatora, koji predstavlja drugi izlaz iz alfa sonde, dobija se impuls kada detektovano zračenje ima energiju iznad predodređenog nivoa diskriminacije. Ova funkcija sonde, u kombinaciji sa brojačem impulsa, daje mogućnost merenja površinske alfa kontaminacije ili masene alfa aktivnosti uzoraka uz veliku selektivnost u odnosu na beta i gama zračenje. Velika selektivnost predstavlja inherentnu karakteristiku detektora, a na nju se može uticati i pogodnim izborom nivoa diskriminacije. Na slici 3. dat je izgled realizovane alfa sonde.

Slika 3. Fotodiode u standardnom pakovanju (levo), izgled alfa sonde (u sredini) i konstrukcija alfa sonde sa standardnom fotodiodom koja se koristi kao detektor (desno)

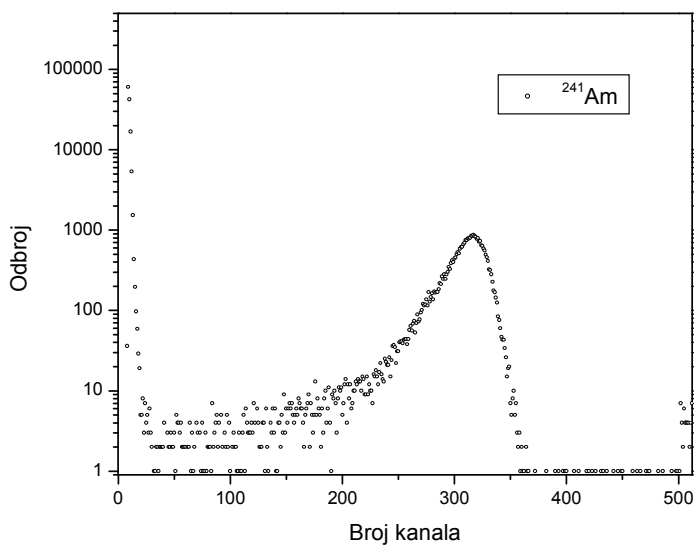
EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Posebna prednost fotodiode kao detektora alfa zračenja ogleda se u činjenici da za njeno napajanje nije potrebno koristiti visoki jednosmerni napon. Aktivna oblast širine 30 μm , koliko je potrebno za potpunu apsorpciju alfa zračenja, postiže se kod detektora koji su realizovani korišćenjem veoma čistog silicijuma već pri naponima od oko 10 V. Na slici 4. prikazan je relativni položaj alfa linije ^{239}Pu kada se menja napon napajanja detektora.

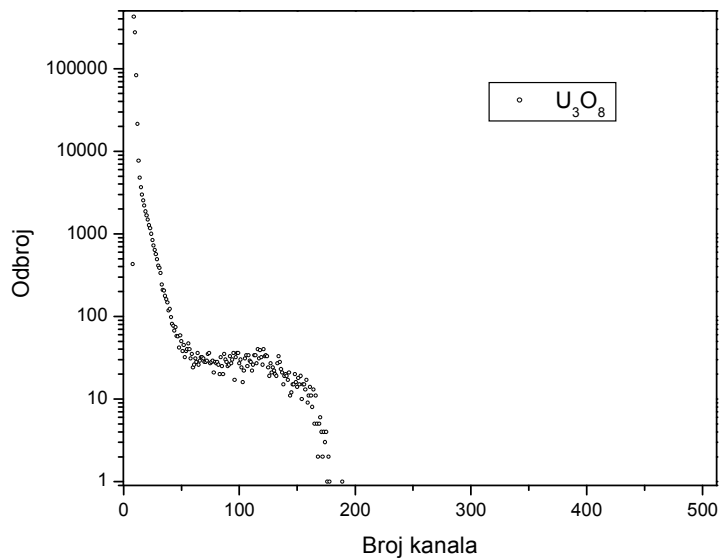


Slika 4. Relativni položaj alfa linije ^{239}Pu u funkciji napona napajanja detektora. Poređenje je izvršeno u odnosu na položaj ove linije pri naponu napajanja detektora od 12 V.

Spektar tankog alfa izvora ^{241}Am (5. 49 MeV) koji je snimljen u normalnoj radnoj sredini prikazan je na slici 5a. Na slici 5b prikazan je energetski spektar debelog alfa izvora U_3O_8 (4.20 MeV, 4.40 MeV, 4.77 MeV).



(a)



(b)

Slika 5. Spektar tankog izvora alfa zračenja ^{241}Am (a) i spektar debelog izvora alfa zračenja U_3O_8 (b).

Na osnovu slike 5b jasno je da je efikasnost detekcije funkcija nivoa diskriminacije. Međutim, i selektivnost detekcije alfa zračenja u prisustvu beta zračenja zavisi od nivoa diskriminacije, do čije konačne vrednosti se dolazi postupkom optimizacije.

LITERATURA

- [1] S. Middelhoek, S. A. Audet, *Silicon Sensors*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 1994.
- [2] Fotodioda FD-80, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd.
- [3] G. Hahn, "Photodiode and op amps form wideband radiation monitor", *Electronics*, August 3, 1978, p. 106-107.
- [4] Dobrilović Lj., Novković D., Orlić M., Drndarević V., Kovačević K., Paligorić D., "Neke karakteristike Si detektora i foto dioda od značaja za merenje jačina apsorbovanih doza", *Zbornik radova XII Jugoslovenskog simpozijuma o zaštiti od zračenja, Ohrid 1983.*, str.

ABSTRACT

DETECTION OF ALPHA RADIATION WITH STANDARD PHOTODIODE

V. Drndarević, A. Kandić¹

School of Traffic Engineering, Belgrade

¹ Institute of Nuclear Science Vinča, Belgrade

Possibilities of using standard silicon photodiode as a detector of alpha radiation has been studied. Based on the analysis carried out, alpha probe suitable for field measurements is designed. The probe contains two outputs: linear output for alpha spectrometry and pulse output for counting measurements. The probe has been experimentally validated and some results are presented.

UPOREDNA ANALIZA KOSMIČKOG ZRAČENJA MEREKOG U LABORATORIJAMA U ZEMUNU I NOVOM SADU

M. Krmar, E. Varga, R. Banjanac¹, A. Dragić¹,
D. Joković¹, V. Udovičić¹, I. Aničin²
Departman za fiziku, PMF Novi Sad,

¹ Institut za fiziku, Beograd, Srbija i Crna Gora,

² Fizički fakultet, Beograd, Srbija i Crna Gora,

SADRŽAJ

U radu su analizirane gama linije koje se u spektrima javljaju usled interakcije kosmičkog zračenja sa gvožđem od koga je načinjena pasivna zaštita poluprovodničkog detektora. Na osnovu 60 spektara dobijenih sumiranjem pojedinačnih spektara snimanih u tokom jedne nedelje, izvršena je spektralna analiza vremenskih nizova i dobijene su neke periodičnosti koje potiču od periodike rotacija Sunca. Isti signal od 27 dana postoji u periodogramu vremenskog niza inteziteta kosmičkih miona, koji se kontinuirano prate na površini zemlje i u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji Instituta za fiziku u Zemunu od 2002. godine.

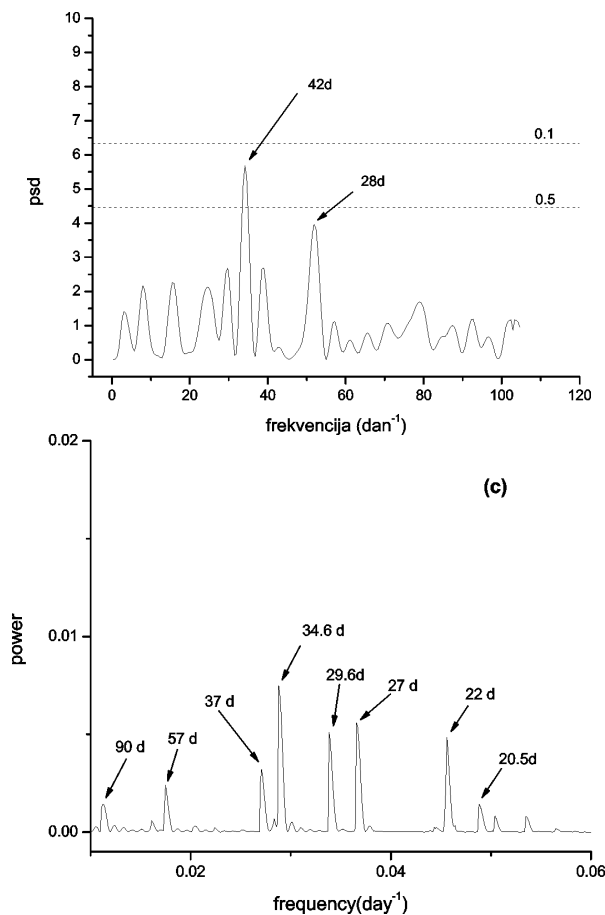
UVOD

Sekundarno kosmičko zračenje, koje nastaje interakcijom primarnog kosmičkog zračenja sa jezgrima atoma u gornjim slojevima atmosfere, sastoji se od širokog spektra različitih čestica. Takozvana nuklearno aktivna komponenta, koju uglavnom čine nukleoni i mezoni, zbog snažnih interakcija s jezgrima, ima kraći domet od leptona, tako da u manjoj meri dospevaju do tla te u ukupnom fluksu čestica na nivou mora učestvuje samo sa 1%. Na nivou mora se kosmičko zračenje uglavnom sastoji od visokoenergetskih miona, elektrona i fotona. No mioni visoke energije, kao i mali broj nukleona, koji dospeju do tla, mogu da stupe u različite nuklearne reakcije sa jezgrima materijala kroz koje prolaze i na taj način ga aktiviraju. Ovde se radi o veoma niskim nivoima aktivnosti, dva reda veličine nižim od 1 Bq/kg, ali i ta aktivnost postaje značajna ukoliko se indukuje u nuklearnim detektorima ili materijalima koji se upotrebljavaju kao njihova zaštita. Pogotovo je značajno poznavati mehanizme stvaranja i nivoe aktivnosti koje kosmičko zračenje proizvede u niskofonskim detektorima. Gvožđe, pogotovo ono proizvedeno pre drugog svetskog rata se često koristi za zaštitu detektora od spoljašnjeg zračenja. U ovom radu je analizirana aktivnost koja se indukuje interakcijom kosmičkog zračenja sa gvožđem, izvršena je spektralna analiza vremenskih nizova inteziteta linije gvožđa i upoređena sa varijacijama intenziteta kosmičkih miona koje se kontinuirano prate na površini zemlje i u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji Instituta za fiziku u Zemunu od 2002. godine.

Jedan od HPGe detektora laboratorije za nuklearnu fiziku u Novom Sadu smešten je u pasivnu gvozdenu zaštitu debljine 25 cm. Ukupna količina gvožđa oko detektora je 20 tona. Najintenzivnije linije u fonskim gama spektrima ovog detektora pripadaju potomcima ^{222}Ra , ali se osim njih u merenjima od nekoliko desetina hiljada sekundi uočava i gama linija sa energijom od 846.8 keV. U odsustvu bilo kakvog izvora zračenja u okolini detektora, ova linija nastaje detekcijom gama zračenja emitovanog sa prvog pobuđenog nivoa ^{56}Fe . Najverovatniji način na koji se ovaj nivo popunjava je putem (n,n') nuklearne reakcije na jezgrima ^{56}Fe [1]. Neutroni koji se neelastično rasejavaju na jezgrima gvožđa mogu da nastanu prilikom interakcija visokoenergetskih miona [2] unutar same gvozdene zaštite, kao i sa svim okolnim materijalima. Da bi se potvrdila pretpostavka da pomenuta gama linija potiče od interakcije kosmičkog zračenja sa gvozdenom zaštitom detektora, analizirana je vremenska promena njenog intenziteta tokom godine dana. Spektri izmereni tokom jedne nedelje su sabirani da bi nakon toga za svaki od njih bio određen intenzitet gama linije od 846.8 keV. Ustanovljeno je da se srednji intenzitet ove linije kreće oko 10broj/ks sa greškom od oko 10%. Na ovaj način je određeno 60 vrednosti intenziteta posmatrane gama linije izmerene u intervalu od oktobra 2002 do decembra 2003. Izvršena je spektralna analiza vremenskih nizova sa dobijenim tačkama. Metod korišćen u spektralnoj analizi je Lomb-Scarglov periodogram [3,4]. Prednost ovog metoda je dobro zasnovana statistička interpretacija periodograma. Naime, spektralna gustina (power spectral density) $P(\nu)$, računata na diskretnom setu frekvencija, ima statističku signifikantnost $\exp(-z)$, gde je $z = P(\nu)/\sigma^2$ spektralna snaga, normalizovana na ukupnu statističku varijansu. Za periodogram, računat na setu od N nezavisnih frekvencija, verovatnoća nalaženja barem jednog pika iznad neke vrednosti z je $p_0 = 1-F$, gde je $F = 1 - (1 - e^{-z})^N$, tzv. false alarm probability. Dodatna prednost Lomb-Scargleovog periodograma je mogućnost detektovanja signala male amplitude. Ova osobina je od presudnog značaja za naš problem zbog male statistike, odnosno velike statističke greške, te nepovoljnog odnosa signal-šum. Cilj spektralne analize je da proveriti da li su varijacije intenziteta γ linije ^{56}Fe od 846.8 KeV-a korelisane sa varijacijama intenziteta kosmičkih miona. Intenzitet kosmičkih miona se kontinuirano prati na površini zemlje i u podzemnoj laboratoriji Instituta za fiziku u Zemunu od 2002. godine. Kvazi-periodične varijacije mionskog fluksa su ispitivane u periodu 2002-2004 [5]. Većina identifikovanih signala može se dovesti u vezu sa različitim parametrima solarne aktivnosti.

Rezultati spektralne analize vremenskog niza intenziteta γ linije ^{56}Fe od 846.8 KeV, usrednjenog na periode od po 7 dana, predstavljeni su na Slici 1. (levi grafik). U periodogramu nisu prisutni signali čiji je nivo poverenja veći od 90%. Dva najizraženija pika su sa periodima ~ 42 dana i ~ 28 dana. Pik od 28 dana odgovara približno periodu rotacije Sunca (27 dana). To je dobro verifikovan signal, prisutan u mnogim vremenskim nizovima kosmičkog zračenja, pa i u vremenskom nizu kosmičkih miona [5] (Slika 1., desni grafik). Signal od 42 dana se sporadično javlja u varijacijama pojedinih parametara solarne aktivnosti, dok je u našem mionskom vremenskom nizu označen kao nesignifikantan.

Tako je, na primer, periodičnost od 42 dana prisutna u fluktuaciji B_z komponente međuplanetarnog magnetnog polja [6], kao i u fluktuaciji LDE-tipa sunčanih pega tokom 20-og i 22-og solarnog ciklusa [7]. Isti signal je prisutan na nivou poverenja većem od 4σ , u podacima X-ray pega, klase $>M5.0$ u periodu 1999-2003 [8].



Slika 1. Periodogrami vremenskih nizova intenziteta: γ linije ^{56}Fe od 846.8 KeV (levo) i kosmičkih miona (desno).

Spektralna analiza daje indicaciju o povezanosti intenziteta ispitivane linije gvožđa sa intenzitetom kosmičkog zračenja (preko procesa solarne modulacije), dostupna statistika ograničava značaj izvedenog zaključka. Ukoliko je dati izotop gvožđa proizveden kosmičkim zračenjem, za očekivati je da veći doprinos njegovoj produkciji daje neutronska nego mionska komponenta sekundarnog kosmičkog zračenja. Zahvat μ^- postaje dominantni mod produkcije kosmogennih radionuklida posle prolaska kroz apsorpcioni sloj debljine 10-100 hg/cm². Za apsorpcione slojeve većih debljina glavnu ulogu imaju interakcije brzih miona. Iz ovog razloga, bilo bi korisno sprovesti sličnu analizu u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji Instituta za fiziku u Zemunu (dubina $\sim 25\text{hg/cm}^2$), gde bi jedini neutronske doprinos bio od ambijentalnih neutrona, dok bi kosmički neutroni bili eliminisani. Dalja istraživanja kosmogennih radionuklida su od izvesnog značaja za geologiju, geomorfologiju, ali i za neutrinske eksperimente, kao i eksperimente potrage za tamnom materijom. Prilikom izvođenja neelastičnog rasejanja na jezgrima ^{56}Fe , sa energijama neutrona od 6.3 i 7.3 MeV [9], kao i 14.2 MeV [10] detektovan je veliki broj, mahom slabih gama linija.

Nekoliko najjačih linija, sa relativnim intenzitetom normiranim na liniju od 846.8 keV navedene su u Tabeli 1. Sumiranjem većeg broja fonskih spektara, merenih detektorom u zaštiti od gvožđa dobijen je spektar od 5000 ks, da bi iz njega bile određeni relativni intenziteti nekoliko gama linija, koji su takođe prikazani u Tabeli 1. U Tabeli 1 su prikazane i relativni intenziteti gama prelaza nakon beta raspada ^{56}Mn , koji može da nastane nakon zahvata miona od strane jezgara ^{56}Fe . Intenzitet linije od 1037 keV, koja se inače uočava u svim eksperimentima neelastičnog rasejanja neutrona na jezgrima ^{56}Fe u dobijenom sumiranom spektru nije mogao biti određen. Intenzitet ove linije iz raspada ^{56}Mn je takođe veoma mali. Takođe se može videti da se intenzitet linije od 1238.3 keV u fonskim spektrima veoma razlikuje od intenziteta merenog prilikom raspada ili (n,n') reakcijama.

Tabela 1. Relativni intenziteti nekih linija iz spektra pobudenog ^{56}Fe

E_γ [keV]	p_γ [%] (6.3MeV)	p_γ [%] (7.3MeV)	p_γ [%] (14.2MeV)	p_γ [%] (raspad ^{56}Mn)	p_γ [%] (fon)
846.8	100	100	100	100	100
1037.9	6.4	7.0	10.3	0.040	> 0.014
1238.3	28	29	50	0.099	8.4
1810.8	11.9	9.8	7.5	27.2	12.2

LITERATURA

- [1] G. Heusser, *NIM A* 369, 539-543 (1996).
- [2] Stephen Croft*, Ludovic C.A. Bourva, *NIM A* 505, 536-539 (2003).
- [3] N.R. Lomb, *Ap&SS*, 39, 447-462 (1976).
- [4] J.D. Scargle, *ApJ*, 263, 835-853 (1982).
- [5] A. Dragić, R. Banjanac, V. Udovičić, D. Joković, I. Aničin and J. Puzović, *Int. J. Mod. Phys. A* (in press).
- [6] R. Caballero and J.F. Valdes-Galicia, *Solar Phys.* 213, 413-426 (2003).
- [7] A. Antalova, *Adv. Space. Res.* 14, 721, (1994).
- [8] Y.Q. Lou, Y.M. Wang, Z. Fan, S. Wang and J.X. Wang, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 345, 809-818 (2003).
- [9] J.Lachkar, J.Sigaud, Y.Patin, G.Haouat, *Nuclear Science and Engineering Vol.55*, 168 (1974).
- [10] Shi Xia-Min, Shen Rong-Lin, Xing Jin-Qiang, Shen Rong-Lin, Ding Da-Zhao *Chinese J. of Nuclear Physics (Beijing)*. Vol.4, Issue.2, 120 (1982).

ABSTRACT

PARALLEL ANALYSIS OF COSMIC RADIATION MEASURED IN LABORATORIES IN ZEMUN AND NOVI SAD

M. Krmar, E. Varga, R. Banjanac, A. Dragić,
D. Joković, V. Udovičić, I. Aničin

Gamma lines appearing in spectra in interaction of cosmic radiation with iron passive shield of HPGe were analyzed. 60 spectra obtained by summing single spectra recorded during one week were used for time series spectral analysis. Periodic changes caused by Sun rotation were obtained. The same signal (27 days) is found in the time series periodogram of the cosmic-ray muons intensity, which are continually measured at the ground and in the underground low-level laboratory of the Institute of Physics, Zemun.

PROMENA IZLAZNE STRUJE STABILIZATORA NAPONA SA SERIJSKIM PNP TRANZISTOROM NAKON IZLAGANJA JONIZUJUĆEM ZRAČENJU

V. Vukić, P. Osmokrović¹, S. J. Stanković², M. Kovačević²
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla"

¹ Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu

² Institut za nuklearne nauke "Vinča"

SADRŽAJ

U radu je prikazan uticaj jonizujućeg zračenja na degradaciju koeficijenta strujnog pojačanja serijskog tranzistora stabilizatora napona sa niskim padom napona. Stabilizatori napona su izlagani uticaju γ i X zračenja u dva režima: bez polarizacije, i sa polarizacijom i opterećenjem. Ispitivana su kola sa lateralnim i vertikalnim serijskim pnp tranzistorom: LM2940 i L4940. Predstavljeni su rezultati ispitivanja promene maksimalne izlazne struje stabilizatora napona u funkciji ukupne apsorbirane doze, pri izlaganju zračenju srednje jačine doze.

UVOD

Savremeni merni uređaji i sistemi u velikoj meri su zasnovani na mikroprocesorskoj i digitalnoj elektronici. Sa povećanjem stepena integracije i minijaturizacije elektronskih kola, sve više dolazi do izražaja problem napajanja kola naponom i strujom u dozvoljenom opsegu. Rad na veoma niskim naponima i velikim strujama savremenih mikroprocesora, potreba za održavanjem stabilnog napona napajanja i pri pojavi tranzijenata čije se trajanje meri nanosekundama, kao i zahtevi za minimalnom disipacijom u prvi plan ističu potrebu za adekvatnim napajanjima. Ovako strogi zahtevi kao rešenje nameću upotrebu stabilizatora sa niskim padom napona (*eng. Low Dropout Voltage Regulator*). U sistemima koji moraju da funkcionišu u uslovima povišenog jonizujućeg zračenja, poput elektronskih sklopova u dozimetrijskim uređajima i nuklearnoj tehnici, dodatni zahtev koji moraju da ispune elektronske komponente je radijaciona otpornost.

Predmet istraživanja predstavljenog u ovom radu je ispitivanje strujnih karakteristika stabilizatora sa niskim padom napona na uticaj srednjih doza jonizujućeg zračenja, pri izlaganju X i γ zračenju srednje jačine doze. Ispitivan je maksimalna izlazna struja stabilizatora napona, bez polarizacije kola i uz postojanje ulaznog napona i struje opterećenja.

TEORIJA

Osnovne manifestacije dejstva jonizujućeg zračenja na integrisana kola su povećanje provodnosti (u poluprovodniku se ostvaruje generisanjem parova elektron -

šupljina), zahvat naelektrisanja u izolatorima, nastanak električnih polja i ispoljavanje hemijskih efekata [1]. U izolacionim materijalima, nosioci naelektrisanja nastali pod uticajem jonizujućeg zračenja, prvenstveno raskidanjem veza kristalne rešetke (npr. Si - O₂), formiraju struju pod uticajem internog električnog polja, što se odražava na rast provodnosti izolatora. Nosioci naelektrisanja u izolatoru ostaju zarobljeni u kompleksnim defektima, što može da dovede do trajne degradacije električnih karakteristika dielektrika, čak i ako pokazuju električnu neutralnost.

Kompleksni defekti predstavljaju zahvaćena energetska stanja u energetskom procepu materijala. Na diskontinuitetima kristalne rešetke, odnosno graničnim površima materijala, zahvaćena energetska stanja formiraju površinska energetska stanja. Ova površinska stanja predstavljaju rekombinacione centre, i predstavljaju osnovni mehanizam rekombinacije u materijalu izloženom dejstvu jonizujućeg zračenja - mehanizam površinske rekombinacije [1].

Dominantan uticaj jonizujućeg zračenja na koeficijent strujnog pojačanja β kod bipolarnih tranzistora ostvaruje se preko mehanizma površinske rekombinacije. Fotoni jonizujućeg zračenja imaju dominantan efekat na površini poluprovodnika, što može da se predstavi uprošćenim oblikom Mesindžer - Spratove relacije [1]:

$$\Delta\left(\frac{1}{\beta_S}\right) = \frac{1}{\beta_S} - \frac{1}{\beta_{S0}} \approx \frac{SA_S W}{D_b A_e} = \frac{I_S}{I_e} \quad (1)$$

gde je β_S - strujno pojačanje usled površinske rekombinacije, β_{S0} - strujno pojačanje usled površinske rekombinacije pre početka zračenja ($\beta_S \ll \beta_{S0}$), S - brzina rekombinacije, A_S - površina oblasti na kojoj se vrši površinska rekombinacija, W - efektivna širina baze tranzistora, D_b - difuziona konstanta nosilaca u bazi, A_e - površina emitorskog spoja, I_S - struja površinske rekombinacije, I_e - struja emitora.

Zbog manjeg strujnog pojačanja ($\beta = 5 - 10$) i niže radne frekvencije (f_T), PNP tranzistori su mnogo osetljiviji na dejstvo jonizujućeg zračenja od NPN tranzistora. Kako je korišćenje pnp tranzistora kao serijskog tranzistora kod stabilizatora napona sa niskim padom napona ključni element dizajna, očekivan je presudan uticaj konstrukcije integrisanog kola na njegovu radijacionu otpornost.

Low-dropout stabilizatori napona prve generacije, poput kola LM2940, imali su lateralne serijske pnp tranzistore [2], dok LDO stabilizator napona druge generacije predstavlja stabilizator L4940, koji ima vertikalni pnp serijski tranzistor [2].

Cilj eksperimenta je utvrđivanje razlike u otpornosti dve generacije stabilizatora napona na uticaj dve vrste jonizujućeg zračenja, odnosno uticaj γ i X zračenja na dve različite tehnologije za konstruisanje bipolarnih integrisanih kola.

EKSPERIMENTALNA METODA I MERNA OPREMA

Integrisani stabilizatori napona "National Semiconductor" LM2940CT5 i "ST Microelectronics" L4940V5 ispitivani su u Metrološko - dozimetrijskoj laboratoriji Instituta za nuklearne nauke "Vinča". Po pet integrisanih kola iz iste serije svakog proizvođača ispitivano je u polju γ zračenja, bez polarizacije, dok je naredna grupa od pet stabilizatora napona ispitivana sa opterećenjem tokom ozračivanja. U ovom slučaju je ulazni napon bio 7V, dok je izlazna struja održavana na 100 mA. Sva kola su izlagana zračenju na istim pozicijama u okolini izvora. Nakon završetka ispitivanja u polju γ zračenja, isti postupak je sa po deset novih uzoraka svakog integrisanog kola ponavljan u polju X zračenja.

Kao izvor γ zračenja, energije fotona 1,25 MeV, korišćen je ^{60}Co , dok je za dobijanje X zračenja, odnosno fotona energije 150 keV, korišćen dozimetrijski generator PHILIPS MG 320. Napon i struja rentgenske cevi MC 321 su tokom eksperimenta podešeni na 300 kV, 10 mA. Merenje jačina ekspozicionih doza je vršeno jonizacionom komorom Dosimeter PTW M23361, zapremine $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

Uzorci stabilizatora napona su ozračivani u grupama od po dva kola, gde je po jedno bilo L4940 i LM2940. Kola su napajana preko kablova dužine 10 metara. Napajanje stabilizatora je vršeno pomoću izvora jednosmerne struje, kojim je omogućeno istovremeno napajanje četiri galvanski izolovana kola. Sva merenja, kao i ozračivanje komponenata, vršena su na sobnoj temperaturi od 19°C . Više detalja o izvorima jonizujućeg zračenja, mernoj opremi i eksperimentu dato je u literaturi [3],[7].

Detekcija degradacije strujnih karakteristika stabilizatora napona nakon izlaganja jonizujućem zračenju vršena je praćenjem promene maksimalne izlazne struje stabilizatora napona. Ispitivanje je vršeno na sledeći način: pri konstantnom ulaznom naponu od 8V podizana je struja potrošača sve dok izlazni napon kola ne bi pao do 4,7 V. Izmerena vrednost predstavlja maksimalnu izlaznu struju stabilizatora napona. Vrednost izlaznog napona manja od 4,7 V može da se smatra graničnom vrednošću pri kojoj stabilizator napona ulazi u režim samogašenja [4].

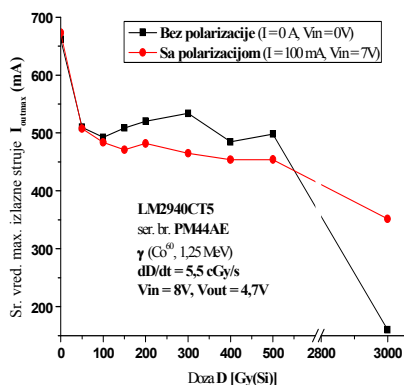
Kola su ozračivana do određenih vrednosti doza, nakon čega je prekidano izlaganje zračenju, i ispitivane su karakteristike ozračenih kola. Da bi se izbegao uticaj efekta rekombinacije u poluprovodniku nakon ozračivanja, sva merenja su vršena u roku od najviše dva sata nakon prestanka dejstva zračenja. Nakon ispitivanja električnih karakteristika kola za određenu apsorbovanu dozu, nastavljalo se dalje ozračivanje komponenata. Kola u polju γ zračenja izlagana su ukupnoj dozi od 3 kGy(Si), uz jačinu doze od 5,5 cGy/s, dok su komponente u polju X zračenja apsorbovale dozu od 1 kGy (Si), uz jačinu doze 11,6 cGy/s. Stabilizatori u polju γ zračenja su apsorbovali dozu od 500 Gy tokom dana, dok su noću ostavljani u polju zračenja do apsorbovanja doze od 3 kGy.

REZULTATI

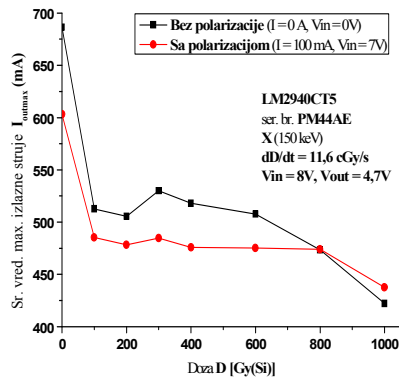
Na slikama 1 i 2 prikazane su srednje vrednosti maksimalne izlazne struje kola LM2940CT5 pri izlaganju nepolarizovanih i polarizovanih komponenata γ i X zračenju. Podaci prikazani na ovim slikama su dobijeni ispitivanjem kola firme "National Semiconductor" iz serije PM44AE. Nakon izlaganja uticaju jonizujućeg zračenja, bez obzira na uslove polarizacije, uočava se veliki pad maksimalne struje nakon izlaganja manjim dozama (50 - 100 Gy(Si)).

Pretpostavljeni uzrok ovakve degradacije karakteristika stabilizatora napona pri uticaju malih doza je povećani zahvat pozitivnih naelektrisanja u izolacionom oksidu kola [5]. Izolacioni oksidi lošeg kvaliteta (visokog faktora dielektričnih gubitaka) imaju realtivno veliku provodnost i u početnoj fazi izlaganja jonizujućem zračenju dolazi do intenzivnog zahvata pozitivnih naelektrisanja u oksidu, izazivajući povećanje struje površinske rekombinacije, uspostavljanja provodnog kanala kroz bazu i smanjenja koeficijenta strujnog pojačanja [6]. Nakon apsorbovanja nešto veće doze jonizujućeg zračenja dolazi do zasićenja oksida u zahvatu pozitivnih naelektrisanja, uz povećani nivo rekombinacije zahvaćenih pozitivnih naelektrisanja, što može da dovede do blagog oporavka karakteristika serijskog tranzistora stabilizatora napona na srednjim dozama. Nakon prolaska faze uticaja malih doza, maksimalna vrednost struje kod kola LM2940CT5 iz serije PM44AE ustaljuje se u opsegu doza 100 - 600 Gy(Si), dok se značajan pad maksimalne vrednosti nepolarizovanih komponenata uočava nakon apsorbovanja većih

doza jonizujućeg zračenja. Veća osetljivost nepolarizovanih komponenata na uticaj jonizujućeg zračenja potiče od postojanja plitkih zahvata naelektrisanja u oksidu [5]. Plitki zahvati pozitivnih naelektrisanja se rekombinuju sa elektronima koji protiču kroz serijski tranzistor, ispod površine oksida, prilikom postojanja polarizacije tokom ozračivanja, što utiče na smanjenje degradacije koeficijenta strujnog pojačanja serijskog tranzistora. Uočena pojava ukazuje i na visok faktor dielektričnih gubitaka izolacionog oksida (SiO_2) [7]. Kola visoke radijacione otpornosti karakteriše i visok kvalitet izolacionog oksida, koji se ogleda u sporijoj degradaciji koeficijenta strujnog pojačanja tranzistora, ali i sporom oporavku nakon prestanka izlaganja zračenju.



Slika 1. Promena maksimalne izlazne struje stabilizatora napona LM2940CT5 pod uticajem γ zračenja



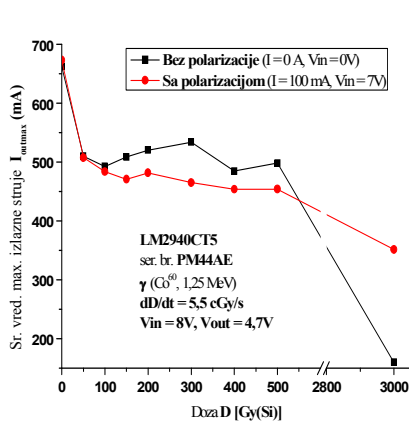
Slika 2. Promena maksimalne izlazne struje stabilizatora napona LM2940CT5 pod uticajem X zračenja

Pored visokog faktora dielektričnih gubitaka oksida, koji utiče na povećani zahvat naelektrisanja, geometrija serijskog tranzistora, koji je u slučaju kola LM2940CT5 lateralni pnp tranzistor [2], ima još veći uticaj na njegove karakteristike u radijacionom okruženju. Zbog toka struje neposredno ispod sloja površinskog oksida tokom izlaganja kola jonizujućem zračenju, drastično se povećava brzina površinske rekombinacije [1], pa korišćenje lateralnog tranzistora kao serijskog elementa presudno utiče na gubitak strujnog pojačanja.

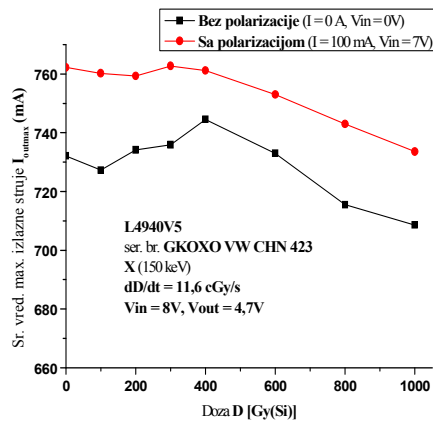
Razlika u početnim vrednostima maksimalne struje, pri apsorbovanoj dozi od 0 Gy, potiče od razlika u vrednosti ovog parametra kod uzoraka u seriji koji su bili ispitivani i za koje je izračunata srednja vrednost. Nepolarizovana kola su pokazala nešto veću otpornost na dejstvo γ i X zračenja pri izlaganju manjim i srednjim dozama zračenja (do 600 Gy(Si)), dok pri izlaganju integrisanih kola većim dozama znatno veću otpornost pokazuju polarizovana kola. Nisu uočene značajne razlike u makroskopskim efektima između uticaja γ zračenja i X zračenja za posmatrane vrednosti doza.

Na slici 3 prikazane su srednje vrednosti maksimalne izlazne struje kola L4940V5 pri izlaganju nepolarizovanih i polarizovanih komponenata γ zračenju, dok su na slici 4 prikazane zavisnosti maksimalne struje od apsorbovane doze X zračenja. Podaci prikazani na ovim slikama su dobijeni ispitivanjem kola firme "ST Microelectronics", iz serije GKOXO VW CHN 423. Ovaj stabilizator napona sa vertikalnim pnp tranzistorom [2] je pokazao izuzetno veliku radijacionu otpornost, jer ni nakon apsorbovanja doze od 3

kGy(Si), bez obzira na uslove polarizacije, nije došlo do značajnije degradacije njegovih karakteristika. Za doze do 1 kGy(Si) nema veće razlike u karakteristikama između nepolarizovanih i polarizovanih kola. Degradacija maksimalne izlazne struje je u ovom opsegu doza veoma mala. Rezultati ispitivanja ukazuju da je nepolarizovano kolo L4940V5 nešto osetljivije na uticaj velikih doza γ zračenja od polarizovanog, ali ni pri izlaganju dozi od 3 kGy(Si) nije došlo do njegovog razaranja. Izlaganje nepolarizovanog kola dozi od 3 kGy(Si), kao nepovoljniji slučaj, dovodi do smanjenja maksimalne izlazne struje za oko 10%. Razlog za nešto bolje karakteristike polarizovanih kola treba tražiti u odsustvu plitkih zahvata naelektrisanja, koja se rekombinuju sa elektronima prilikom proticanja struje ispod sloja oksida. Veoma visok nivo apsorbovanih doza pri kome se uočava uticaj plitkih zahvata pozitivnih naelektrisanja ukazuje na visok kvalitet izolacionog oksida, odnosno nizak faktor dielektričnih gubitaka oksida [5].



Slika 3. Promena maksimalne izlazne struje stabilizatora napona L4940V5 pod uticajem γ zračenja



Slika 4. Promena maksimalne izlazne struje stabilizatora napona L4940V5 pod uticajem X zračenja

ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanja promene maksimalne izlazne struje stabilizatora napona sa serijskim pnp tranzistorom L4940V5, ustanovljeno je da komercijalni tehnološki postupak izrade serijskog tranzistora na integrisanom stabilizatoru napona L4940V5 ICV PNP HDS² P² (eng. *Isolated Collector Vertical PNP Transistor - High Density Super Signal/Power Process*) [2] kompanije "ST Microelectronics" pokazuje otpornost na izlaganje dozi γ zračenja od 3 kGy(Si), uz minimalne degradacije karakteristika na svim komponentama, bez obzira na prisustvo polarizacije. Pored velikog uticaja geometrije serijskog tranzistora, uočen je i visok kvalitet izolacionog oksida, jer i pri apsorbovanju doze od 3 kGy (Si) nije bilo problema sa povećanim nivoom rekombinacije zahvaćenih naelektrisanja, bez obzira na jačine struja stabilizatora napona.

Za razliku od kola L4940V5, stabilizator napona "National Semiconductor" LM2940CT5 sa lateralnim serijskim tranzistorom je pokazao veoma nisku otpornost na uticaj jonizujućeg zračenja. Do pada ispod dozvoljenih vrednosti maksimalne struje dolazilo je pri dozama od 60 krad(Si), što ukazuje na degradaciju strujnog pojačanja serijskog tranzistora.

Na osnovu dobijenih rezultata se može izvesti zaključak da su stabilizatori napona L4940V5, sa vertikalnim pnp tranzistorima, pogodni za primenu u mernim sistemima namenjenim za upotrebu u radijacionom okruženju, dok kola LM2940CT5, sa lateralnim pnp tranzistorima, treba izbegavati u svim uslovima gde se očekuje uticaj jonizujućeg zračenja.

LITERATURA

- [1] G.C. Messenger, M.S. Ash, "*The Effects of Radiation on Electronic Systems*", Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- [2] P. Antoniazzi, A. Wolfgruber, "*Very Low Dropout Regulators Enhance Supply Performance*", SGS-Thomson Microelectronics, 1995.
- [3] V. Vukić, "*Uticaj uslova eksploatacije na karakteristike stabilizatora napona*", Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
- [4] S.S. McClure, J.L. Gorelick, R.L. Pease, A.H. Johnston, "*Dose Rate and Bias Dependency of Total Dose Sensitivity of Low Dropout Voltage Regulators*", *IEEE Radiation Effects Data Workshop, IEEE Doc. 00TH8527*, pp. 100-105, 2000.
- [5] R.L. Pease, "*Total Ionising Dose Effects in Bipolar Devices and Circuits*", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Volume 50, pp. 539 - 551, 2003.
- [6] Schmidt, D.M. et al, "*Modeling ionizing radiation induced gain degradation of the lateral PNP bipolar junction transistor*", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Volume 43, pp. 3032-3039, 1996.
- [7] V. Vukić, P. Osmokrović, S. Stanković, M. Kovačević, "*Uticaj X i γ zračenja i uslova polarizacije na pad napona na serijskom tranzistoru stabilizatora napona*", XLIX Konferencija "ETRAN", Budva, 2005.

ABSTRACT

CHANGE OF OUTPUT CURRENT FOR VOLTAGE REGULATORS WITH SERIAL PNP TRANSISTOR AFTER EXPOSURE TO IONIZING RADIATION

V. Vukić, P. Osmokrović¹, S. Stanković², M. Kovačević²

Institute of Electrical Engineering "Nikola Tesla"

¹ University of Belgrade, Faculty of Electrical Engineering

² Institute of Nuclear Sciences "Vinča"

In the paper was shown influence of ionizing radiation on degradation of common emitter current gain of low-dropout voltage regulator's serial transistor. Voltage regulators were exposed to the influence of γ and X radiation in two modes: without bias conditions, and with bias and load. Tested circuits are low-dropout voltage regulators with lateral and vertical pnp serial transistor: LM2940 and L4940. Experimental results of maximum output current as function of total ionizing dose, for medium-dose-rate, were presented.

METODE AKTIVNE ZAŠTITE GAMA-SPEKTROMETARA

D. Mrđa, I. Bikit, S. Forkapić, J. Slivka, M. Vesković
Departman za fiziku, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

SADRŽAJ

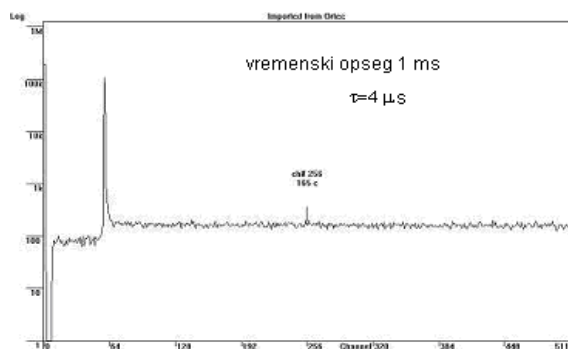
Prikazani su rezultati podešavanja i testiranja aktivno šticehog niskofonskog gama spektrometrijskog sistema koji je smešten površinski. Aktivna veto zaštita u energetskom intervalu od 50 keV do 2800 keV smanjuje integralni odbroj oko 3 puta.

UVOD

Kod niskofonskih merenja u nuklearnoj fizici osnovni problem predstavlja suzbijanje registracije zračenja iz poznatih izvora u detektorima. Prvi korak u smanjenju uticaja zračenja iz zemaljskih radioaktivnih izvora je oklopljavanje detektora sa materijalima visoke gustine, visokog rednog broja i visoke radionuklidne čistoće (pasivna zaštita). Kod aktivnih zaštita se detektori osim pasivnog sloja materijala okružuju posebnim zaštitnim (guard, veto) detektorima. Veto detektori rade u antikoincidentnom režimu sa osnovnim detektorom i elektronski odbacuju istovremene događaje u oba detektora. Ovakav sistem izgrađen po principu "aktivna zaštita unutar pasivne zaštite" je bio operativan nekoliko godina u grupi za nuklearna istraživanja u Novom Sadu [1]. Ovaj sistem kao i drugi slični sistemi u svetu je pokazao da je sopstvena radioaktivnost guard detektora limitirajući faktor u redukciji fona. Detekcioni sistem kod kojih aktivna zaštita okružuje pasivnu se najčešće [2] koristi u podzemnim laboratorijama. Novi sistem Laboratorije za nuklearnu fiziku PMF-a u Novom Sadu je niskofonski γ -spektrometrijski sistem u kojem aktivna zaštita okružuje pasivno zaštićen detektor. U radu su izloženi principi podešavanja i prvi rezultati smanjenja fona antikoincidentnom tehnikom.

EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

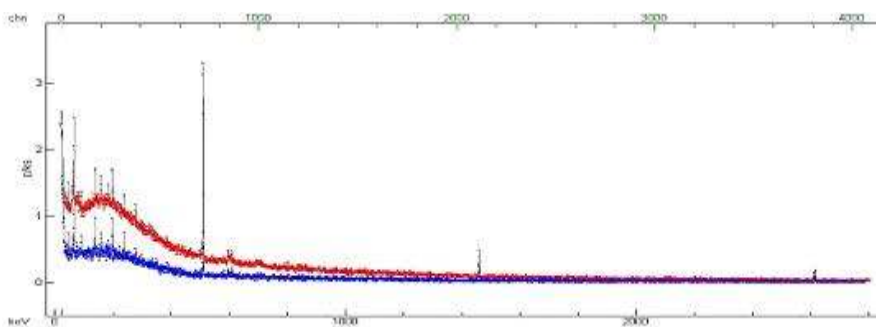
U osnovi novog sistema je extended range HP germanijumski detektor tipa GMX "ORTEC" niskofonske izvedbe. Ovaj detektor ima nominalnu efikasnost od 36% i zbog tankog površinskog mrtvog sloja i berilijumskog ulaznog prozora ima dobru efikasnost i na 10 keV. Detektor je testiran [3] u cilindričnoj olovnoj zaštiti zidova 12 cm obloženoj sa 3 mm Sn i 0.5 mm Cu. Integralni odbroj pasivno zaštićenog detektora u oblasti 50-1800 keV je 0.9 c/s što je veoma solidna vrednost za nadzemne pasivne zaštite. Detektorski sistem je opremljen plastičnim veto detektorima dimenzija 50cm×50cm×5cm. Najverovatniji gubitak energije kosmičkih miona u ovim detektorima je oko 10 MeV, dovoljno visok da se tragovi kosmičkog zračenja razdvoje od zemaljskog γ -fona koji dostiže energije do 2.6 MeV-a.



Slika 2. Fonski vremenski spektar (start plastični detektor, stop GMX)

REZULTATI MERENJA

Na Slici 3. prikazan je fonski spektar detektora bez veta i sa aktivnim vetom. Na prvi pogled je uočljivo smanjenje intenziteta linije od 511 keV i kontinuuma ispod 500 keV. Jasno je da antimionska zaštita iz spektra najviše eliminiše anihilacione događaje uzrokovane kosmičkim mionima. Kao što se moglo očekivati većina fonskih linija potiče od prirodne radioaktivnosti u unutrašnjosti zaštite tako da na njihove intenzitete malo utiče aktivan veto. Anihilacionu liniju veto smanjuje oko sedam puta što jasno pokazuje da je pretežno proizvode mioni.



Slika 3. Fonski spektar bez veta (gornja kriva) i sa vetom (donja kriva)

Može se zaključiti da elektronska zaštita na niskim energijama redukuje kontinuum za oko 3 puta i da veto efekat raste sa energijom. Vidi se da veto smanjuje totalni intenzitet na energijskom intervalu od 50 – 2800 keV oko tri puta.

Slika 4. ilustruje granice detekcije sistema za izvor dimenzija $\Phi=67$ mm, $h=62$ mm sa $p_\gamma=1$. Granica detekcije su izračunate iz formule:

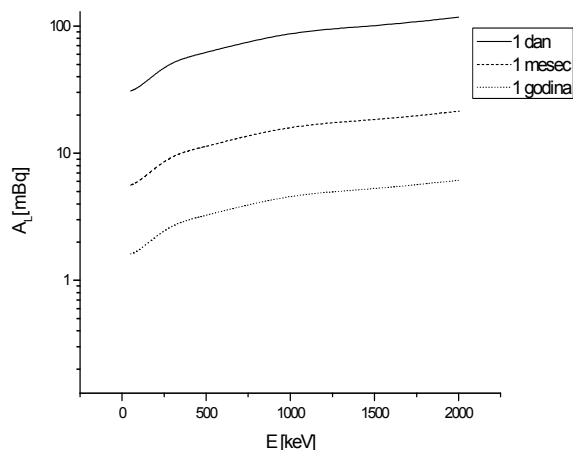
$$A_L = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{R_B}}{\varepsilon \cdot \sqrt{t}} \quad (1)$$

gde je R_B brzina brojanja u fonu, ε efikasnot detekcije, a t vreme merenja.

Granica detekcije je oko dva puta veća nego kod antikoptonskog [2] sistema, s tim da spoljašnji veto ne remeti intenzitete koincidentnih linija iz izvora.

ZAKLJUČAK

Novo razvijen sistem se najbolje može uporediti sa sistemom [4] razvijenim u Južnoj Koreji koji je takođe smešten na površini zemlje. Ova aktivna zaštita takođe redukuje intenzitet fotovrha od 511 keV za 7 puta, dok ima faktor redukcije totalnog odbroja od 3.5. Poboljšanje zaštitnih svojstava novog sistema u Novom Sadu sa neutronske apsorbirima je u toku.



Slika 4. Granice detekcije izračunate po formuli (1)

LITERATURA

- [1] I. Bikit, J. Slivka, M. Krmar, Ž. Đurčić, N. Žikić, Lj. Čonkić, M. Vesković, I. Aničin, "Detection limits of the NaI(Tl) shielded HPGe spectrometer", Nucl. Instr. And Meth in Phys. Res. A421 (1999) 266-271
- [2] G. Heusser, "Background in Ionizing Radiation Detection – Illustrated by Ge-spectrometry", Proc. 3rd International Summer School, Huelva, Spain 1993, Editor: M. Garcia-Leon and G. Madurga, World Scientific Singapore, 1994
- [3] I. Bikit, J. Slivka, M. Vesković, J. Hansman, D. Mrđa, N. Todorović, E. Varga, S. Čurčić, Lj. Čonkić, "Background reduction using Fe and Pb shielding", Proc. of Fifth Gen. Conf of BPU, izdanje na CD-u, 2003
- [4] J. In Byun et al. "An anticoincidence-shielded gamma-ray spectrometer for analysis of low level environmental radionuclides", Applied Radioation and Isotopes, 58 (2003) 579-583

ABSTRACT

ACTIVE SHIELDING METHODS OF GAMMA-SPECTROMETERS

D. Mrđa, I. Bikit, S. Forkapić, J. Slivka, M. Vesković
Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Novi Sad

The results of the adjusting and testing of the actively shielded low level gamma-spectrometry system are presented. The veto action of the shield reduces the background in the energy region of 50 keV to the 2800 keV for about 3 times.

UTICAJ Pb-210 U OLOVNOJ ZAŠTITI NA FON GAMA SPEKTROMETRA

D. Mrđa, I. Bikit

Departman za fiziku, Prirodnomatemički fakultet, Novi Sad

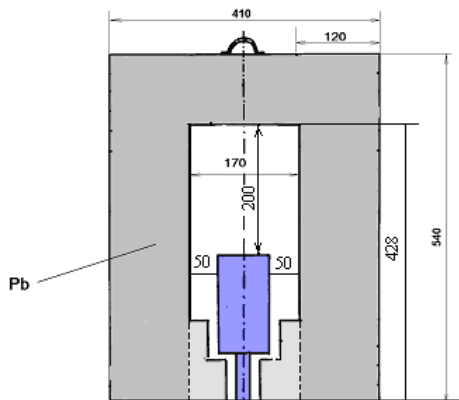
SADRŽAJ

Zbog prisustva Pb-210, odnosno njegovog potomka Bi-210 u olovnoj zaštiti za gama spektrometre, dolazi do pojave zakočnog zračenja koje vodi povećanju intenziteta fonskog spektra. Polazeći od raspodele elektrona po energijama nastalih u raspadu Bi-210, i verovatnoće emisije gama kvantata od strane emitovanih elektrona, uzimajući u obzir karakteristike olovne zaštite i poluprovodničkog HPGe GMX detektora, izračunat je doprinos zakočnog zračenja fonskom spektru.

UVOD

Beta raspadom Pb-210 nastaje Bi-210, koji je takođe beta emiter sa maksimalnom energijom elektrona $E_{\beta_{\max}} = 1.16$ MeV. Elektroni emitovani pri raspadu Bi-210 generišu zakočno zračenje koje doprinosi povećanju intenziteta gama spektra na energijama nižim od $E_{\beta_{\max}}$.

Poluprovodnički Ge GMX detektor, proizvođača «ORTEC» za koji je analiziran uticaj bremsstrahlung-a ima relativnu efikasnost 32 % i smešten je u olovnu zaštitu čiji je izgled prikazan na Sl.1. Koncentracija aktivnosti Pb-210 u štitu iznosi $a = 25 \pm 5$ Bq / kg, a metod određivanja ove vrednosti opisan je u [1].



Slika 1.

VEROVATNOĆA EMISIJE ELEKTRONA IZ RASPADA BI-210
SA KINETIČKIM ENERGIJAMA U ODREĐENOM ENERGETSKOM INTERVALU

Analički oblik funkcije raspodele $N(E_\beta)$ emitovanih elektrona Bi-210 po energijama (verovatnoća emisije po jediničnom intervalu energije) nađena je na osnovu eksperimentalno utvrđene distribucije koja je prikazana u [2]. Za račun je korišćen program Table Curve 2, a analitički oblik glasi :

$$N_\beta(E_\beta) = a + b E_\beta + c E_\beta^{2/3} + d E_\beta^2 \ln E_\beta + g e^{-E_\beta}, \quad \text{gde su}$$

$$a = -1074.2113, \quad b = 1307.8285, \quad c = -631.69764, \quad d = 31.006627, \quad g = 1084.6598.$$

Verovatnoću emisije elektrona sa energijama u intervalu $(E_\beta, E_{\beta\max})$ nalazimo iz

$$w(E_\beta, E_{\beta\max}) = k \int_{E_\beta}^{E_{\beta\max}} N(E_\beta) dE_\beta.$$

gde je $k=0.107787$ faktor normiranja, dobijen iz uslova $k \int_0^{E_{\beta\max}} N(E_\beta) dE_\beta = 1$.

Treba naglasiti da će verovatnoći emisije fotona energije E_γ , npr. $E_\gamma = 0.1$ MeV, doprinositi samo elektroni sa energijama $E_\beta \leq E_{\beta\max}$.

VEROVATNOĆA EMISIJE GAMA KVANTA ZAKOČNOG ZRAČENJA
PO JEDINIČNOM INTERVALU ENERGIJE $D\Sigma/DE_\gamma$

Veličina $d\sigma/dE_\gamma$ [cm^2/MeV] je funkcija početne kinetičke energije elektrona E_β i energije emitovanog fotona E_γ [3] :

$$\frac{d\sigma}{dE_\gamma} = f(E_\beta, E_\gamma).$$

U situaciji koju razmatramo zakočno zračenje se generiše u olovu ($Z=82$), pa eksplicitni oblik izraza glasi :

$$\frac{d\sigma}{dE_\gamma} = \frac{1.558947 \times 10^{-23}}{E_\gamma} \left\{ \left(1 + \varepsilon^2 \right) \left[\frac{\phi_1(\xi)}{4} - 1.800665 \right] - \frac{2}{3} \varepsilon \left[\frac{\phi_2(\xi)}{4} - 1.800665 \right] \right\}, \quad \text{gde je:}$$

$$\varepsilon = \frac{E_\beta - E_\gamma + 0.511}{E_\beta + 0.511}, \quad \xi = \frac{0.511 E_\gamma}{(E_\beta + 0.511)(E_\beta - E_\gamma + 0.511)4.34448},$$

$$\phi_1(\xi) = 20.863 - 2 \ln \left[1 + (0.55846 \xi)^2 \right] - 4 \left(1 - 0.6 e^{-0.9\xi} - 0.4 e^{-1.5\xi} \right)$$

$$\phi_2(\xi) = \phi_1(\xi) - \frac{2}{3} \left(1 + 6.5 \xi + 6 \xi^2 \right)^{-1}.$$

EMISIONI SPEKTAR

Broj fotona zakočnog zračenja, energije E_γ po jedinici vremena i jedinici energije, $\frac{dN(E_\gamma)}{dE_\gamma}$ može se dobiti kao proizvod broja elektrona po jedinici vremena sa

energijama u intervalu ($E_\beta = E_\gamma, E_{\beta\max}$) i *ukupne* verovatnoće generisanja fotona po jedinici energije od strane elektrona koji se kreću, odnosno zaustavljaju u Pb.

$$\frac{dN(E_\gamma)}{dE_\gamma} = A \cdot w(E_\gamma, E_{\beta\max}) \int_{E_\gamma}^{E_{\beta\max}} \rho_{Pb} \frac{N_A}{M_{Pb}} \bar{r}_\beta(E_\beta) \frac{d\sigma}{dE_\gamma}(E_\beta, E_\gamma) dE_\beta \left[\frac{1}{s \cdot MeV} \right] \quad (1)$$

Ovde je $A = 25 \text{ Bq/kg} \cdot 706.477 \text{ kg} = 17662 \text{ Bq}$ ukupna aktivnost Pb štita, dok

$\rho_{Pb} \frac{N_A}{M_{Pb}} \bar{r}_\beta(E_\beta)$ predstavlja broj centara za interakciju po jedinici površine za elektrone

koji generišu zakočno zračenje. Veličina $\bar{r}_\beta(E_\beta) = \frac{1}{\rho_{Pb}} 0.412 \times E_\beta^{(1.265 - 0.0594 \ln E_\beta)}$ [cm]

je srednji domet elektrona u Pb [4]. Izraz (1) izračunava se za niz zadatih vrednosti E_γ : $E_\gamma = 0.07, 0.1, 0.15, 0.20, \dots, 1.05, 1.10 \text{ MeV}$. Na taj način se dobija emisioni spektar zakočnog zračenja. Da bi se izračunati spektar uporedio sa eksperimentalno dobijenim fonskim spektrom poluprovodničkog Ge GMX detektora, broj čestica koje nastaju u jedinici vremena izražen je po kanalu gama spektra, umesto po MeV-u.

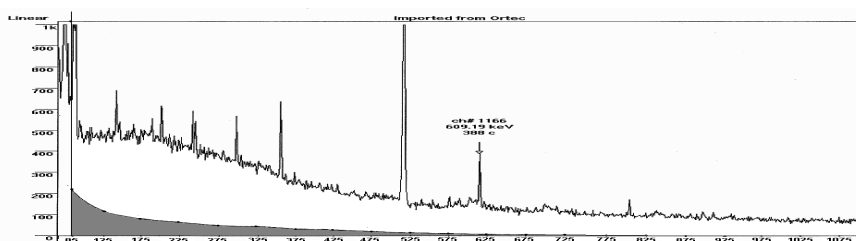
Tabela 1.

E_γ [MeV]	$\frac{dN(E_\gamma)}{dE_\gamma} \left[\frac{1}{s \cdot \text{chn}} \right]$
0.07	0.02841
0.1	0.02247
0.15	0.01739
0.2	0.01389
0.25	0.01092
0.3	0.008846
0.35	0.006755
0.40	0.005249
0.45	0.003870
0.5	0.002892
0.55	0.002080
0.60	0.001474
0.65	0.001015
0.70	6.7787×10^{-4}
0.75	4.3897×10^{-4}
0.80	2.7589×10^{-4}
0.85	1.7646×10^{-4}
0.90	1.0313×10^{-4}
0.95	5.3468×10^{-5}
1.00	2.2735×10^{-5}
1.05	6.6654×10^{-6}
1.10	7.1203×10^{-7}

U sledećem koraku se analizira koji iznos emisionog spektra registruje detektor. Iz tog razloga mora se izračunati efikasnost detekcije fotona energije E_γ za Ge detektor, i to totalna efikasnost jer je bitan doprinos fotona zakočnog zračenja koji potiče ne samo od njihove totalne apsorpcije u aktivnoj zapremini detektora, već i od komptonski rasejanih fotona. Za ovu svrhu je upotrebljen program ANGLE, budući da se Pb štit može aproksimirati Marineli geometrijom, pri čemu je korekcija fotoefikasnosti za Ge na totalnu

efikasnost izvršena množenjem fotoefikasnosti sa faktorima koji predstavljaju odnos ukupnog preseka za fotoefekat i komptonovo rasejanje zajedno i preseka za fotoefekat. Izračunati detektovani spektar dat je u tabeli 1.

Sada je potrebno izvršiti pravilnu interpretaciju dobijenih vrednosti. Svaka dobijena vrednost predstavlja integral odbroja na intervalu $E_{\gamma \text{ max}} = 1.1 \text{ MeV}$ do E_{γ} . To je zbog toga što *detekciji* na energiji E_{γ} doprinose svi *fotoni* sa energijom većom od E_{γ} . Da bi se dobio odbroj po jedinici vremena u pojedinim kanalima (visinu spektra po kanalima) i da bi se ta visina mogla porediti sa realnim fonskim spektrom, izvršeno je sukcesivno oduzimanje integralnih vrednosti izračunatog detektovanog spektra - prethodna minus sledeća i dobijene razlike su podeljene sa brojem kanala između susednih integralnih vrednosti. Rezultat je osenčena površina (Sl. 1). i upoređena sa realnim fonskim spektrom.



Slika 1. Doprinos zakočnog zračenja eksperimentalno dobijenom fonskom spektru

Izračunato je da ukupan doprinos zakočnog zračenja niskoenergetskom kontinualnom delu fonskog spektra (85 keV-511 keV) iznosi $\approx 20 \%$, pri koncentraciji aktivnosti 25 Bq/kg Pb-210 u olovnoj zaštiti.

LITERATURA

- [1] Jaroslav Slivka, Dušan Mrda, Ester Varga , Miroslav Vesković, Određivanje koncentracije aktivnosti Pb-210 u olovnim zaštitama , ETRAN, Budva,2005.
- [2] H. Semat and J.R.Albright, Introduction to Atomic and Nuclear Physics, Fifth Edition,Chapman and Hall, London,1973. ; p 444
- [3] W.R.Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Berlin Heidelberg New York, 1994
- [4] P.Marnier and E.Sheldon, Physics of Nuclei and Particles, Academic Press, New York,1969

ABSTRACT

Pb-210 CONTRIBUTION TO THE BACKGROUND OF LED SHIELDED GAMMA SPECTROMETER

D. Mrdja, I. Bikit

Department of Physics, Faculty of Science, Novi Sad

Led, which is often used as shielding material contains Pb-210 which contributes to the background, mainly by the bremsstrahlung of the electrons from β decay of its daughter Bi-210. Taking into account the energy distribution of Bi-210 electrons, probability of photons generating by the electrons and characteristics of shielding and Ge detector , the bremsstrahlung contribution to the background spectrum is calculated.

OPTIMIZACIJA NEKIH FIZIČKIH PARAMETARA KRUPNIH CILINDRIČNIH IZVORA FOTONA

S. Dapčević

Univerzitet Crne Gore, Prirodno-matematički fakultet Podgorica.

SADRŽAJ

U radu su prezentirani rezultati određivanja adekvatne visine za dati radijus i gustinu izvora, kao i uticaj promjene gustine uzorka na brzinu brojanja pod vrhom totalne apsorpcije.

UVOD

Polazeći od koncepta efektivnog prostornog ugla $\bar{\Omega}$ i razvijenog kompjuterskog programa EXTSANGLE [1, 2, 3, 4], željeli smo da ispitamo mogućnost njihovog korišćenja za optimizaciju nekih parametara krupnih cilindričnih izvora, sa aspekta što efikasnije detekcije iz njih emitovanih fotona. Baveći se uobičajenim problemima spektrometrijske prakse, tražili smo: -poželjnu visinu izvora ako su radijus i gustina materijala izvora konstantni, a raspoložemo praktično neograničenom količinom materijala; -uticaj promjene gustine uzorka, ako je radijus njegovog kontejnera konstantan, uz uslov da su masa ili zapremina uzorka konstantna.

ODREĐIVANJE POŽELJNE VISINE IZVORA ZA DATI RADIJUS I GUSTINU UZORKA

Brzinu brojanja impulsa u VTA, upoređivali smo sa izračunatom vrijednošću, koristeći relaciju:

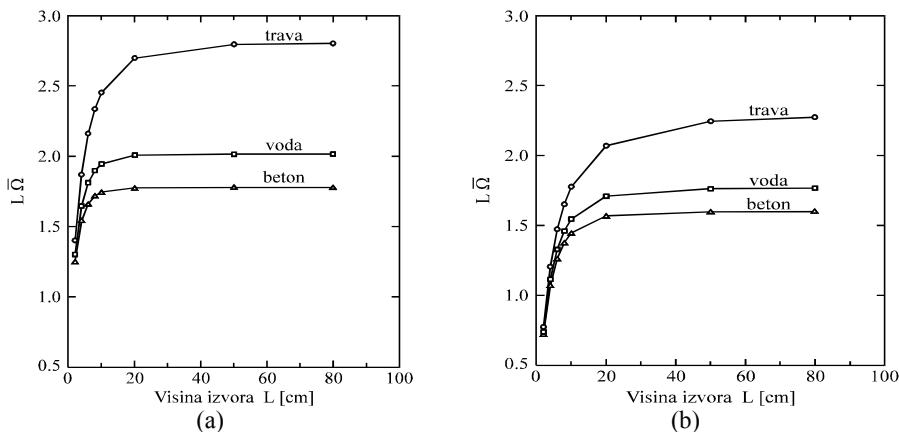
$$\frac{N}{t} = c_1 c_2 c_3 L \bar{\Omega} = A I_\gamma \frac{\mathcal{E}_{ref}}{\Omega_{ref}} \bar{\Omega} \quad (1)$$

gdje je: N - broj impulsa u VTA, t - vrijeme snimanja spektra, $c_1 = A_{sp} \rho$ - konstanta materijala posmatranog izvora zračenja, gdje je A_{sp} - specifična aktivnost izvora ($A \cdot m^{-1}$), a ρ - gustina uzorka, $c_2 = r_0^2 \pi$ - konstanta oblika izvora, $c_3 = I_\gamma \frac{\mathcal{E}_{ref}}{\Omega_{ref}}$ - konstanta posmatranog γ - prelaza, a

I_γ - vjerovatnoća tog prelaza, L - visina izvora i $\bar{\Omega}$ - efektivni prostorni ugao koji izračunava program EXTSANGLE. Za dati materijal, gustinu i radijus izvora i za energije fotona od interesa, iz jednačine 1. slijedi proporcionalnost:

$$\frac{N}{t} \sim L \bar{\Omega} \quad (2)$$

Da bi ispitili zavisnost brzine brojanja impulsa pod VTA od visine izvora, proračunavali smo $L\bar{\Omega}$ za uzorke trave, vode i betona, predpostavljajući da se ovi izvori snimaju u neposrednoj blizini kape detektora (mala distanca između izvora i kristala detektora). Rezultati proračuna za fotone energije 186 keV-a i 1460 keV, su na Slici 1.

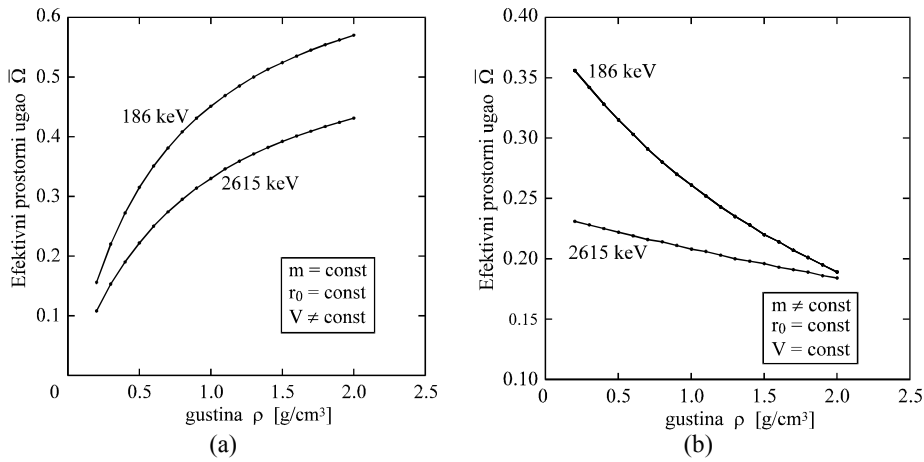


Slika 1. Zavisnost $L\bar{\Omega}$ od visine uzorka za fotone energije: 186 keV-a (a) i 1460 keV-a (b)

Dobijeni rezultati, kao što je i očekivano, pokazuju da dodavanje materijala uzorka ne proizvodi linearno povećanje brzine brojanja. U radovima D. Vesića, J. Puzovića i I.V. Aničina [5, 6, 7] pokazano je da dodavanje materijala preko određene visine, zanemarljivo malo utiče na tačnost određivanja spektralnog intenziteta za linije viših energija (iznad 583.3 keV-a), a istovremeno može pogoršati tačnost pri određivanju spektralnog intenziteta za niže energije (270.6 keV-a). Pomenuti autori su pokazali da postoji i može se odrediti optimalna (željena) visina pojedinačnog krupnog cilindričnog izvora. Za materijale i radijus koji smo mi proučavali, poželjna visina krupnog cilindričnog izvora, morala bi biti oko dva puta veća od poluprečnika, jer je, u tom slučaju, visok procenat maksimalno moguće brzine brojanja pod VTA.

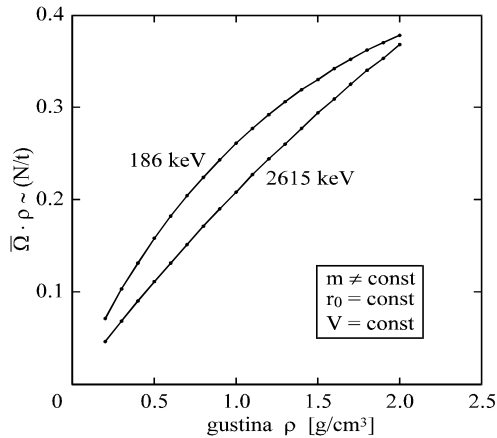
UTICAJ PROMJENE GUSTINE UZORKA NA BRZINU BROJANJA IMPULSA U VRHU TOTALNE APSORPCIJE

Za dati cilindrični kontejner radijusa r_0 , u koji se smješta materijal za gama spektrometrijsku analizu, promjenu gustine uzorka moguće je ostvariti na dva načina: presujući (zbijajući) u kontejneru datu masu materijala $m = \text{const.}$, $L \neq \text{const.}$), zbijajući u datu zapreminu kontejnera sve veću količinu materijala ($m = \text{const.}$, $L = \text{const.}$). Predpostavili smo da je gustina uzorka, u oba slučaja, homogena, a kao primjer stišljivog materijala za analizu, uzeli smo uzorak trave iz prirodne sredine. Proračun je izvršen za uzorak u plastičnom kontejneru, unutrašnjeg radijusa 46.2 mm, debljine zidova 1 mm, koji je smješten neposredno na kapu HPGe detektora. Gustinu uzorka varirali smo od 0.2 g/cm^3 do 2 g/cm^3 . Masa uzorka, za slučaj konstantne mase, iznosi $m = 301.75 \text{ g}$, a za slučaj konstantne zapremine, zapremina je $V = 603.5 \text{ cm}^3$. Rezultati proračuna $\bar{\Omega}$, pomoću programa EXTSANGLE, za fotone energija 186 keV-a i 2615 keV, su na Slici 2.



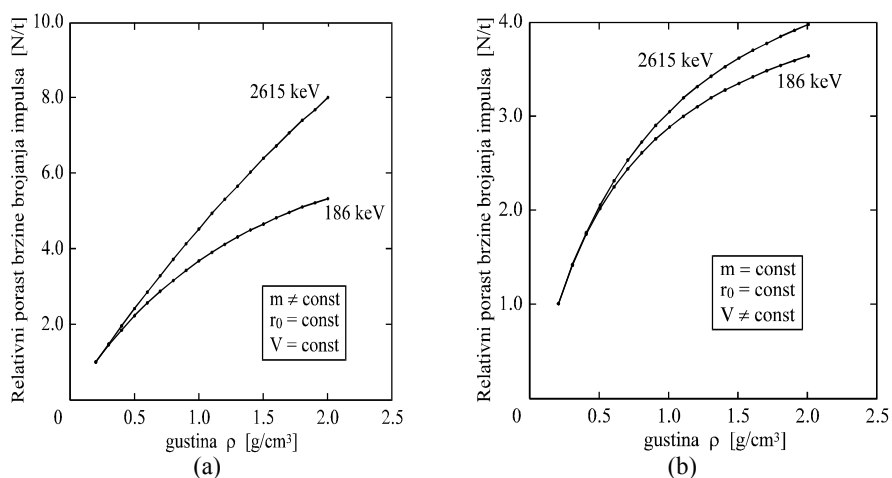
Slika 2. Zavisnost efektivnog prostornog ugla $\bar{\Omega}$ od gustine uzorka ($V \neq \text{const}$, $r_0 = \text{const}$, $m = \text{const}$.)
 (a) i ($m \neq \text{const}$, $r_0 = \text{const}$, $V = \text{const}$.) (b)

Pri povećanju gustine uzorka, u slučaju njegove konstantne mase, efikasnost detekcije fotona ϵ_p , odnosno njegov efektivni prostorni ugao $\bar{\Omega}$, mijenja se pod dejstvom dva međusobno suprotstavljena efekta: usljed geometrijskog efekta smanjenja visine izvora, $\bar{\Omega}$ raste, a zbog povećanja efekata atenuacije fotona u uzorku, $\bar{\Omega}$ opada. Sa Slika 2.(a) se vidi da geometrijski faktor ima znatno veći uticaj na efikasnost detekcije fotona, nego atenuacioni faktor. U slučaju konstantne zapremine uzorka, sa promjenom gustine, mijenja se samo atenuacioni faktor i radi toga efikasnost detekcije opada, naravno brže za fotone nižih energija Sl.4. (b). Međutim, i u ovom slučaju, brzina brojanja impulsa pod VTA, raste sa povećanjem gustine uzorka jer, prema relaciji 1., brzina brojanja tada nije proporcionalna samo sa $\bar{\Omega}$, kao u slučaju $m = \text{const}$., već sa $\rho \bar{\Omega}$, a proizvod $\rho \bar{\Omega}$ raste sa povećanjem gustine uzorka i kada je $V = \text{const}$. (Slika 3).



Slika 3.

Na Slici 4. prikazan je porast brzine brojanja impulsa (N/t) pod VTA sa povećanjem gustine uzorka, u oba razmatrana slučaja:



Slika 4.

Iz prethodnih razmatranja, može se izvesti jednostavan zaključak: ako je uzorak za gama-spektrometrijsku analizu male specifične aktivnosti stišljiv, poželjno ga je, maksimalno moguće, presovati da bi se dobila što veća efikasnost detekcije, odnosno veća brzina brojanja impulsa pod vrhom totalne apsorpcije fotona posmatrane energije.

LITERATURA

- [1] N. Mihaljević et.al., J. Radioanal. Nucl. Chem., Articl., Vol. 169, 1993.
- [2] P. Vukotić et. all., J. Radioanal. Nucl. Chem., Articl., Vol. 218, 1997.
- [3] S. Dapčević, Semiempirijska metoda određivanja efikasnosti detekcije fotona iz krupnih cilindričnih izvora, magistarski rad, Beograd 1997.
- [4] S. Dapčević, Multiparameterska optimizacija gama spektrometrijskih mjerenja niskih specifičnih aktivnosti, doktorska disertacija, Beograd 2004.
- [5] J. M. Puzović, I. V. Anićin, NIM A 414, 1998.
- [6] D. Vesić, I. V. Anićin, NIM a 276, 1989.
- [7] D. Vesić, J. M. Puzović, I.V. Anićin, Appl. Radiat. and Isit. 50, 1999.

ABSTRACT

OPTIMISATION SOME PHYSICAL PARAMETERS INFLUENCING THE PHOTON DETECTION EFFICIENCY FROM LARGE CYLINDRICAL RADIATION SOURCES

S. Dapčević
Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

Results of optimisation the photon detection efficiency from large cylindrical radiation sources are presented and some favourable parameters estimated.

**OPTIMIZACIJA USLOVA MERENJA
NA NISKOFONSKOM α/β PROPORCIONALNOM BROJAČU
THERMO-EBERLINE FHT 770 T**

D. Ristić, M. Radenković, J. Joksić, M. Milošević, Z. Obradović¹
INN "VINČA", Laboratorija "Zaštita"

¹ INN "VINČA", Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku

SADRŽAJ

U radu je prikazana optimizacija rada protočnog niskofonskog α/β brojača THERMO-EBERLINE FHT 770T. Opisan je postupak određivanja radnog napona i energetske kalibracije detektora za rad u alfa/beta režimu. Određene su osnovne karakteristike instrumenta, granice detekcije i uradjena je provera stabilnosti rada. Instrument je predviđen za merenja alfa / beta izvora niskih aktivnosti te je pogodan za određivanje aktivnosti uzoraka iz životne sredine.

THERMO-EBERLINE FHT P770T PROPORCIONALNI BROJAČ

Osnovne karakteristike detektora. Niskofonski THERMO-EBERLINE FHT P770T proporcionalni brojač koristi se za određivanje niskih aktivnosti alfa i/ili beta emitera u uzorcima iz životne sredine. Predviđen je za istovremeno merenje 6 uzoraka do 60 mm prečnika. Površina prozora svakog od šest detektora iznosi 28 cm², od čega je aktivni deo površine 21,2 cm². Za merenje se koriste bakarne planšete dijametra 60 mm rasporedjene na tri horizontalna klizača. Temperaturski opseg za rad sa detektorom je od +5°C do +40°C. Zaštita od zračenja okoline je izvedena olovnim pločama debljine 10cm. Za ispiranje radne zapremine detektora može se koristiti smeša Ar/CH₄ ili Ar/CO₂ [1].

Određivanje radnog napona. Pri određivanju radnog napona potrebno je odabrati sredinu platoa visokog napona kao najpouzdaniju tačku za merenja [2]. Za svih šest mernih pozicija u detektoru postoji tzv. test kanal. Vrednost brzine brojanja u test kanalu mora biti manja od 1/4 ili veća od 3/4 od brzine brojanja u ($\alpha+\beta$) kanalu. Vrednost radnog napona za koju odnos test i mernog kanala iznosi 0,5 uzima se kao operativna tačka. Za β režim rada detektora za svih šest mernih mesta određena je optimalna vrednost visokog napona 1850 V, dok je za α režim radni napon 1000 V.

Granica detekcije. Najniži nivo detekcije [1] izračunava se pomoću izraza:

$$NWG(\beta) = \left[(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \sqrt{NE(\beta) \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T} \right)} + \frac{1}{4} (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta})^2 \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T} \right) \right] K(\beta)$$

gde su: $k_{1-\alpha}$ i $k_{1-\beta}$ - koeficijenti standardne normalne distribucije, $NE(\beta)$ - osnovno zračenje, T_0 - vreme merenja osnovnog zračenja, T - vreme merenja uzorka, $K(\beta)$ - korekcionni faktor.

Za vreme merenja osnovnog zračenja (fona) T_0 i vreme merenja uzorka T od 1800s, i koeficijente standardne normalne distribucije $k_{1-\alpha}$ i $k_{1-\beta}$ koji imaju vrednost 2,000 primenom gornje formule dobijene su vrednosti prikazane u Tabeli 1, a odnose se na merenja beta aktivnosti uzoraka vode pripremljenih standardnom procedurom.

Tabela 1. Granica detekcije

Oznaka uzorka	NE (β)	K(β)	NWG (β)
S-1	0.0233	0.422	0.059
S-2	0.0144	0.421	0.048
S-3	0.0117	0.418	0.045
S-4	0.0183	0.418	0.054
S-5	0.0167	0.429	0.050
S-6	0.0222	0.437	0.056

Kalibracija detektora. Da bi se odredila efikasnost brojanja u alfa i beta kanalu potrebno je izvršiti kalibraciju detektora. Kalibracija se vrši softverski za svako merno mesto odnosno detektor, merenjem brzine brojanja kalibracionih izvora i odgovarajućeg fona u istom vremenskom intervalu. Korišćeni su standardni izvori ^{90}Sr (EM145, Prag) aktivnosti 179.9 Bq na dan 1.2.2003.g. za beta aktivnost i ^{241}Am (EM445, Prag) aktivnosti 181.2 Bq na dan 1.2.2003.g. za alfa aktivnost. Kalibracijom dobijene efikasnosti za merenja u alfa i beta režimu su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Efikasnosti izmerene u alfa i beta režimu

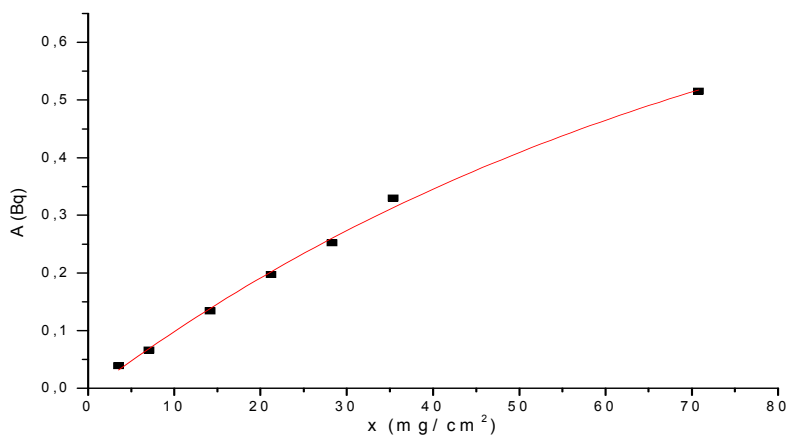
merno mesto	kalibracioni izvor	režim rada	osnovna aktivnost (Bq)	Efikasnost(%)
1	Am-241	alfa	0,000	22,1
	Sr-90	beta	0,015	33,4
2	Am-241	alfa	0,000	21,5
	Sr-90	beta	0,012	33,2
3	Am-241	alfa	0,000	21,7
	Sr-90	beta	0,027	33,8
4	Am-241	alfa	0,001	21,4
	Sr-90	beta	0,022	33,2
5	Am-241	alfa	0,000	21,7
	Sr-90	beta	0,017	33,6
6	Am-241	alfa	0,003	21,7
	Sr-90	beta	0,027	34,0

Korekcija na samoapsorpciju. Zbog apsorpcije zračenja u materijalu samog izvora, što je naročito izraženo kod alfa- i mekih β -emitera, mora se izvršiti korekcija na samoapsorpciju [3]. Da bi se izvršila korekcija rezultata merenja na samoapsorpciju, uparen je uzorak rečne vode od 30 l (Dunav, maj 2003. godine) i izaren na 550°C . Od dobijenog taloga pripremljen je set uzoraka različite debljine čije su aktivnosti prikazane u Tabeli 3. Rezultati merenja aktivnosti izvora prikazani su na Slici 2. Interpolacijom krive aktivnosti pri beskonačnoj debljini uzorka dobijena je vrednost A_i . Za jednu vrednost debljine apsorbera x i odgovarajuću vrednost izmerene aktivnosti A_m , iz $\mu = -1/x \ln(1 - A_m/A_i)$, dobijena je vrednost za maseni apsorpcioni koeficijent od $\mu = 0,022\text{ cm}^2/\text{mg}$.

Tabela 3. Podaci za crtanje krive samoapsorpcije

uzorak	masa (mg)	x (mg/cm ²)	A _m (Bq)
1	100	3,54	0,039
2	200	7,08	0,066
3	400	14,15	0,134
4	600	21,23	0,197
5	800	28,31	0,252
6	1000	35,39	0,330
7	2000	70,77	0,515

Specifična aktivnost α je određena izrazom $\alpha = A_i \mu / S$. Površina uzorka u planšeti za merenje iznosi $S = 28,26 \text{ cm}^2$. Dobijena specifična aktivnost, koja odgovara beskonačnoj debljini uzorka, je $\alpha = 0,4 \text{ mBq /mg}$. Zaključak je da se korekcija na samoapsorpciju može zanemariti pri merenju uzoraka ispod 1000 mg.



Slika 2. Kriva samoapsorpcije

U iste uzorke je dodato po 0,827 Bq rastvora traseru ⁹⁰Sr i određena je kriva samoapsorpcije. I u ovom slučaju je uočeno da se efekat samoapsorpcije može zanemariti kod merenja uzoraka mase do 1000 mg, odnosno debljine do 36,00 mg/cm².

Stabilnost rada instrumenta. Za proveru stabilnosti najpogodnije je primeniti statistički Chi-Square test [3]. Za seriju od $n = 20$ merenja za svaku mernu poziciju, sa standardnim izvorom Sr-90, iz tabelarnih podataka [4] je očitana vrednost praga značajnosti (χ^2) sa koeficijentom rizika od 5 % tj. $\chi_1^2 = 30,14$. Za svih šest mernih pozicija izračunata vrednost praga značajnosti se određuje prema formuli $\chi_0^2 = \sum (x_i - x_{sr})^2 / x_{sr}$. Ukoliko za sva merna mesta izračunata vrednost praga značajnosti manja od njene tabelarne vrednosti sa koeficijentom rizika od 5 % ($\chi_0^2 < \chi_1^2$) instrument radi u stabilnom režimu, a eventualne razlike pri ponovljenim merenjima, sa sigurnošću od 95%, mogu se pripisati statističkoj prirodi procesa. Ovakva provera se radi pre merenja svake serije uzoraka.

ZAKLJUČAK

Kalibracija detektora i određivanje radnog napona na instrumentu Thermo Eberline FHT 770 T je veoma jednostavna i softverski kontrolisana. Instrument radi u stabilnom režimu, što redovno treba proveravati nekim od statističkih testova. Granice detekcije na ovom uređaju su izuzetno niske i kreću se u opsegu od 0,04 - 0,06 Bq. Snimanjem krive samoapsorpcije uočeno je da se efekat samoapsorpcije može zanemariti kod merenja uzoraka mase do 1000 mg, odnosno debljine do 36,00 mg/cm².

LITERATURA

- [1] Uputstvo za rad sa niskofonskim brojačem Thermo-Eberline FHT 770 T
- [2] I. Draganić, "Radioaktivni izotopi i zračenja", Naučna knjiga, Beograd, 1963.
- [3] Savezna komisija za nuklearnu energiju, "Radiohemijski praktikum", Naučna knjiga, Beograd, 1959.
- [4] B. Ivanović, "Teorijska statistika", Beogradski grafički zavod, Beograd, 1966. knjiga, Beograd, 1959.

ABSTRACT

OPTIMISATION OF THE MEASUREMENT PROCEDURE FOR ALPHA/BETA ACTIVITY DETERMINATION BY LOW-LEVEL COUNTER THERMO-EBERLINE FHT 770 T

D. Ristić, M. Radenković, J. Joksić, M. Milošević, Z. Obradović¹
INS "Vinča" Radiation and Environmental Protection Department
¹ INS "Vinča" Laboratory for Nuclear and Plasma Physic

The optimization of the measurement procedure for alpha/beta measurements by low-level proportional counter Thermo Eberline FHT 770 T is presented. The procedure of operating voltage determination and energy calibration for alpha/beta measurements is described. The basic instrument characteristics including the lowest detection limits and instrument stability check was carried out. The counter will be used for total alpha/beta and strontium-90 activity determinations in the environmental samples.

JEDNA ANALIZA NISKOENERGETSKOG ALBEDA FOTONA

S. Marković, R. Simović, V. Ljubenov
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

U radu je razmatrana refleksija niskoenergetskih fotona u oblasti energija upadnog zračenja od 60 keV do 150 keV, za vodu, aluminijum i gvožđe. Uočen je univerzalni oblik diferencijalnog brojnog albeda struje fotona, i upoređeni su rezultati Monte Karlo simulacije i jednog analitičkog pristupa.

UVOD

U medicinskoj dijagnostici zasnovanoj na X-zračenju od velike je važnosti procena neželjene ozračenosti profesionalnog osoblja u toku jedne rutinske dijagnostičke intervencije, kao i nivo ukupne ozračenosti pojedinaca i ekipa tokom dužeg vremenskog perioda. Kontrolu i istraživanje primljenih doza zračenja dugi niz godina vrše saradnici Instituta za nuklearne nauke "Vinča". Deo ovih istraživanja je teorijskog karaktera i tiče se proučavanja refleksije fotona niskih energija [1,2].

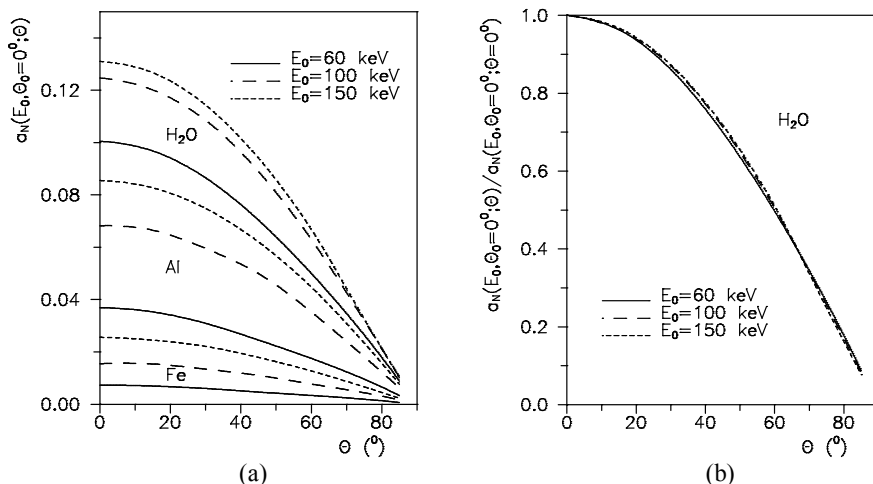
Tokom više od pola veka prakse i izučavanja zaštite od zračenja, najveći interes opravdano je pokazan za zračenja neutrona i fotona mevskih energija, što je odgovaralo dominantnom energetsom području karakterističnom za rad nuklearnih elektrana, nuklearnih eksperimentalnih postrojenja i vojnu primenu. Otuda je visokoenergetska oblast zračenja uglavnom predmet analiza u najvećem broju monografija [3,4,5], ili najranijih naučnih radova [6,7].

Interes za oblast kevskih energija fotona porastao je poslednjih decenija kao znak uvećane medicinske primene zračenja. Pri energijama fotona u intervalu od 20 keV do 100 keV, opravdano je process komptonovskog rasejanja fotona razmatrati pojednostavljeno, korišćenjem Tomsonovog preseka za rasejanje, pri čemu se reflektovani fotoni, gustine fotonog fluksa i struje, ili koeficijenti refleksije, mogu odrediti analitičkim ili semianalitičkim metodama [8,9]. Na ovaj način zapisani su diferencijalni i integralni albedo koeficijenti u obliku jednostavnih analitičkih funkcija. U ovom radu analiziran je diferencijalni brojni albedo struje fotona u niskoenergetskoj oblasti, i razmotrene su mogućnosti formulisanja jedinstvenog analitičkog izraza ovog koeficijenta za vodu, aluminijum i gvožđe.

DIFERENCIJALNI BROJNI ALBEDO STRUJE FOTONA

Za analizu u ovom radu koristićemo klasične rezultate Bulatova i saradnika objavljene u prvoj celovitoj monografiji posvećenoj albedu gama zračenja [3]. U njoj su

sabrani originalni Monte Karlo proračuni refleksije zračenja u oblasti energija izvora od 60 keV do 10 MeV, za vodu, aluminijum, gvožđe i olovo. Takođe je dat opsežan pregled tada dostupnih rezultata u svetskoj literaturi o refleksiji fotona. Analiziraćemo samo diferencijalni brojni albedo struje fotona a_N koji je definisan kao integral po energiji dvostruko diferencijalnog spektralnog albeda struje, to jest, spektralno-ugaone raspodele reflektovanog zračenja. Ograničićemo se na podatke za vodu, aluminijum i gvožđe, i energetski interval od 60 keV do 150 keV za normalni upad tankog snopa fotona na površinu rasejavaljela u vidu beskonačne ploče veće debljine.



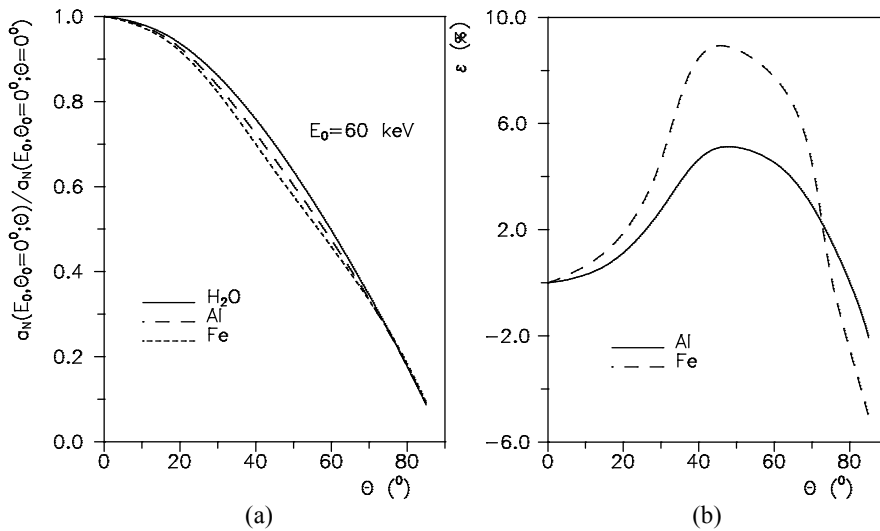
Slika 1. Diferencijalni brojni albedo struje fotona (a) i normalizovani brojni albedo (b)

Na slici 1(a) grafički su prikazane vrednosti diferencijalnog brojnog albeda. Očividno je da vrednosti albeda zavise od vrste materijala-rasejavaljela, kao i od energije primarnih fotona. Od lakih materijala reflektuje se veći broj fotona nego od težih. Takođe, za niže energije inicijalnih fotona u izabranom opsegu energija, albedo je za isti materijal niži. Oba efekta posledice su preovlađujuće apsorpcije nad komptonovskim rasejanjem fotona pri energijama nižim od 200 keV, kada se presek za fotoelektričnu apsorpciju fotona menja po zakonu E_0^{-3} , a uvećava sa porastom atomskog broja Z po zakonu Z^n ($n \approx 4-5$). Uticaj atomskog broja Z preteže, te je diferencijalni brojni albedo struje fotona pre svega određen vrstom materijala.

Ukoliko se diferencijalni brojni albedo struje grafički prikaže normalizovan na jedinicu za refleksiju fotona pod pravim uglom na površinu (što odgovara vrednosti polarnog ugla $\theta = 0^\circ$), pokazuje se da funkcija albeda ima bezmalo univerzalni oblik. Na primer, sa slike 1(b) vidi se da se za vodu u rasponu energija od 60 keV do 150 keV, tri krive sa prethodnog dijagrama koje se odnose na isti rasejavalj - vodu, sažimaju približno u jednu. Sa izuzetkom područja uglova $\theta \approx 90^\circ$, kada je i inače brojni albedo najniži, odstupanja su oko 1-2 %, ili manja.

Na slici 2(a) prikazan je normalizovani albedo za sva tri materijala pri energiji upadnih fotona od 60 keV. Ponovo se uočava da su se grafici funkcija znatno približili jedan drugom, u odnosu na prvobitne oblike sa slike 1(a). Međutim, u saglasnosti sa ranije

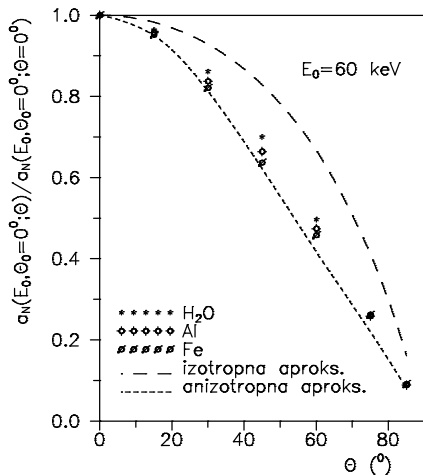
ukazanom predominacijom uticaja vrste materijala na vrednosti albeda, relativna odstupanja među krivama su veća. Ukoliko se kao referentne uzmu vrednosti albeda za vodu, tada su relativna odstupanja albeda za aluminijum uvek manja od 3%, a za gvožđe uvek manja od 9%.



Slika 2. Diferencijalni brojni albedo struje fotona za vodu, aluminijum i gvožđe pri $E_0=60$ keV(a), i relativno odstupanje albeda (b)

Utvrđeno je da se vrednosti međusobnog relativnog odstupanja albeda bitno ne menjaju u čitavom području energija inicijalnih fotona, te da zaključak o dobroj saglasnosti funkcija normalizovanog albeda važi za sve materijale u oblasti od 60 keV do 150 keV.

MOGUĆNOSTI ANALITIČKIH IZRAZA ZA DIFERENCIJALNI BROJNI ALBEDO STRUJE FOTONA



U literaturi se mogu naći semianalički ili empirijski određeni izrazi za diferencijalni brojni, energetske ili dozni albedo struje fotona [3,4,7]. Međutim, po pravilu, formule se odnose na oblast energija fotona iznad energija zračenja primenjenog u medicinskoj dijagnostici. Prethodna analiza diferencijalnog brojnog albeda za energije fotona do 100 keV upućuje na traženje jedinstvene formule, pri čemu su ugaona i energetska zavisnost albeda sasvim ili skoro razdvojene.

Slika 3. Normalizovane vrednosti albeda; simboli -Monte Karlo proračun; linije – analitički rezultat

Na osnovu Tomsonovog modela rasejanja niskoenergetskih fotona bez transfera energije, ranije su analitički izvedene funkcije reflektovanog fluksa fotona jednostrukim rasejanjem za anizotropnu i izotropizovanu funkciju rasejanja [8,9]. U klasičnoj energetski nezavisnoj transportnoj teoriji čestica, takođe je na egzaktan način određena refleksija čestica od poluprostora i rezultat za reflektovan fluks zapisan pomoću Čandrasekarove H-funkcije [10]. Koristeći se ovim rezultatima, može se funkcija diferencijalnog brojnog albeda u normalizovanom obliku zapisati za slučaj izotropizovane i anizotropne Tomsonove funkcije rasejanja i jednostruki sudar fotona u vidu jednostavnih analitičkih izraza. U ovom radu prikazani su samo preliminarni rezultati poređenja analitički određenog albedo koeficijenta i klasičnih Monte Karlo simulacija (slika 3).

ZAKLJUČAK

Analizom refleksije niskoenergetskih fotona u domenu energija od 60 keV do 150 keV ustanovljeno je da normalizovani diferencijalni brojni albedo struje fotona ima skoro univerzalni karakter za osnovne zaštitne materijale. To omogućava da se jednom analitičkom formulom opiše proces niskoenergetske refleksije korišćenjem simplifikovane Tompsonove funkcije rasejanja u izotropizovanom i anizotropnom obliku. Preliminarni rezultati poređenja Monte Karlo simulacija i analitičkog pristupa opravdavaju ova očekivanja.

LITERATURA

- [1] S. Marković, O. Ciraj, *Nuclerna Tehnologija* 16 (2001), 2, 55-59
- [2] S. Marković, V. Ljubenov, O. Ciraj, R. Simović, *Radiation Physics and Chemistry* 71 (2001), 989-990
- [3] B.P. Bulatov et al., *Gamma radiation albedo*, Atomizdat, Moscow, 1968 (in Russian)
- [4] V.P. Maškovič, *Radiation shielding*, Energoatomizdat, Moscow, 1982 (in Russian)
- [5] A.B. Chilton et al., *Principle of radiation shielding*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984
- [6] M.J. Berger, D.J. Raso, *Radiation Research* 12 (1960), 20-37
- [7] A.B. Chilton, C.M. Huddleston, *NSE* 17 (1963), 419-424
- [8] R. Simović, S. Marković, V. Ljubenov, "Effect of Scattering Function Anisotropy on the Low-Energy Photon Reflection", Fifth General Conference of the Balkan Physical Union(BPU-5), Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro, August 25-29, 2003., Proceedings, (CD-ROM, ISBN 86-902537-4-2), 313-316
- [9] S. Marković, R. Simović, V. Ljubenov, *Nuclear Technology and Radiation Protection* 19 (2004), 1, 39-44
- [10] S. Chandrasekhar, *Radiative transfer*, Oxford University Press, London, 1950

ABSTRACT

AN ANALYSIS OF LOW-ENERGY PHOTON ALBEDO

S. Marković, R. Simović, V. Ljubenov
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Beograd

Low-energy photon reflection from water, aluminum and iron is analysed in the energy range of initial radiation from 60 keV to 150 keV. The universal form of the number albedo coefficient is noticed and a comparison of the Monte Carlo simulation data and the results of an analytical approach is done.

TL DOZIMETRIJA S JEDNIM I DVA DOZIMETRA

B. Bašić, D. Samek¹, A. Beganović²,
A. Drljević², A. Skopljak-Beganović²

Centar za zaštitu od jonizirajućeg zračenja, Sarajevo

¹ Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu,

² Klinički centar Univerziteta u Sarajevu

davorin@lol.ba, rpc@bih.net.ba, adnan.klinika@bih.net.ba,

linac@bih.net.ba, amraskopljak@yahoo.com

SADRŽAJ

U ovom radu prikazana je razlika u dozama koje na različitim radnim mjestima prima osoblje pri obavljanju svojih svakodnevnih (ili povremenih) radnih zadataka.

UVOD

Pred savremenu dozimetriju zračenja postavljaju se sve veći i složeniji zahtjevi kao što su i mjerenja ekstremno niskih doza sa visokom tačnošću od 1-2 %, te mjerenja doza različitih tipova i energija.

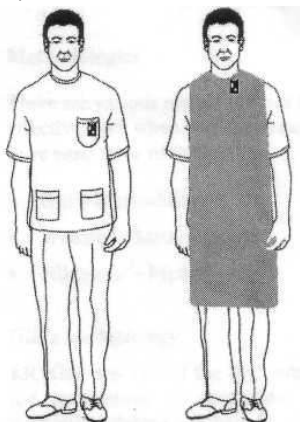
Prednosti termoluminiscentne dozimetrije u odnosu na ostale metode koje koriste čvrste dozimetre uslovljene su činjenicom da termoluminiscentna dozimetrija uvodi nov kvalitet u dozimetriju zračenja: visoku osjetljivost, tačnost i pouzdanost, registriranje širokog opsega doza pogodno za različite promjene, približnu tkivnu ili zračnu ekvivalentnost nekih tipova termoluminiscentnih dozimetara, veliku fleksibilnost oblika i dimenzija u odnosu na ostale tipove čvrstih dozimetara, mogućnost njihovog korištenja praktično neograničen broj puta kao i pogodnost za automa-tizaciju procesa mjerenja i mašinsku obradu rezultata mjerenja.

Osoblje uposlano u interventnoj radiologiji može biti izloženo značajno visokim dozama zračenja, pošto relativno dugo vrijeme boravi u neposrednoj blizini radionog polja. Primljene doze u pojedinim situacijama mogu dostići dozvoljene granice izlaganja za osobe koje se bave radom sa izvorima jonizirajućih zračenja [3]. Primljena doza u radiološkim procedurama zavisi od više faktora: vrste i starosti korištenih uređaja za proizvodnju jonizirajućih zračenja, efikasnosti opreme za zaštitu osoblja koje rukuje sa njima, udaljenosti osoblja od samog izvora zračenja, vremena provedenog uz uređaj pri izvođenju radioloških procedura itd [2,3]. Da bi se što tačnije procjenila efektivna ekvivalentna doza koju prima osoblje uposlano u interventnoj radiologiji, oni bi, prema preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju, trebali nositi 2 dozimetra – jedan ispod i jedan iznad zaštitne keclje.

MATERIJALI I METODE

Cilj ovog rada bio je pokazati razliku u dozama koje na različitim radnim mjestima prima osoblje pri izvođenju radioloških procedura. Prilikom mjerenja korišteni su TL dozimetri Harshaw tipa TLD 100 (Li, Mg, Ti) i čitač dozimetara Harshaw 4500. Da bi se odredila ECC (osnovni koeficijent korekcije) za TL dozimetre oni se zrače Sr-90, dok je čitač kalibrisan radioaktivnim izvorom Cs-137.

Osobe uposlene u interventnoj radiologiji nose olovne kecelje ekvivalentne debljine 0,5 mmPb. Većina njih nosi i zaštitni okovratnik. Prema preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju, osobe zaposlene na ovim radnim mjestima trebale bi nositi 2 dozimetra – jedan ispod i jedan iznad zaštitne kecelje. Način nošenja TL dozimetara je prikazan na Slici 1.



Slika 1. Položaj dozimetara

Mjerenja u interventnoj radiologiji su vršena u 6 kabineta gdje se obavljaju interventne procedure – 3 u Sarajevu i 3 u Tuzli. U istraživanja je bilo uključeno 11 radiologa, 3 medicinska tehničara i 7 medicinskih sestara u trajanju od jedne godine. Slika 2 pokazuje položaj radiologa, medicinskog tehničara i medicinske sestre u toku procedure. Mjerenja u dijagnostičkoj radiologiji su bila vršena na Institutu za radiologiju, KCUS, pri čemu je korištena standardna metoda sa jednim TL dozimetrom.

Postoje više različitih metoda za procjenu efektivne ekvivalentne doze sa dva dozimetra, a u ovom radu su u uporedno korištena tri danas najpopularnija metoda: Gillov, Websterov i Niklasonov [1].

Procijenjena efektivna ekvivalentna doza prema Gillovoj metodi je [4]:

$$E \approx 0,6H_U + 0,4H_O,$$

dok je prema Websterovoj metodi [5]:

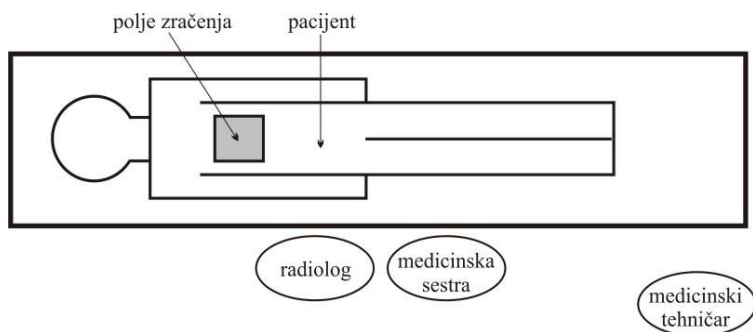
$$E \approx 1,5H_U + 0,04H_O,$$

a prema Niklasonovoj metodi iznosi [6]:

$$E = 0,06(H_O - H_U) + H_U \quad (\text{bez okovratnika}),$$

$$E = 0,02(H_O - H_U) + H_U \quad (\text{sa okovratnikom}),$$

gdje je H_0 - ekvivalentna doza izmjerena sa TL dozimetrom postavljenim na površinu olovne kecelje i H_U – ekvivalentna doza izmjerena ispod olovne kecelje.



Slika 2. Položaj osoblja u toku interventne procedure

REZULTATI I DISKUSIJA

Sve prikazane doze odnose se na vremenski period od jedne godine. U Tabeli 1 date su izmjerene ekvivalentne doze u toku jedne godine za profesionalne radnike u interventnoj radiologiji.

Tabela 1. Ekvivalentne doze za profesionalce u interventnoj radiologiji primljene za jednu godinu

Br.	Radnik	TLD	Hp(10) (mSv)
1	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,920 25,910
2	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,555 1,960
3	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	1,470 14,010
4	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	1,415 20,730
5	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	1,465 14,000
6	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,455 5,960
7	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,485 2,145
8	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,445 1,305
9	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	1,095 6,580
10	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,505 5,855
11	Radiolog	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,570 4,250

12	Tehničar	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,540 1,990
13	Tehničar	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,490 3,660
14	Tehničar	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,540 1,770
15	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,520 1,560
16	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,515 2,105
17	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	1,210 2,340
18	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,530 2,250
19	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,470 3,485
20	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,420 5,175
21	Medicinska sestra	Ispod kecelje Iznad kecelje	0,535 4,225

Vidi se, da bez obzira na značajno visoke primljene doze na površini olovne kecelje (radnici 1, 3, 4 i 5), doza koja stiže do tijela radnika u interventnoj radiologiji ne prelazi dozvoljene granice izlaganja za osobe koje se bave profesionalno radom sa izvorima jonizirajućih zračenja [3].

U Tabeli 2 je dat uporedni prikaz procjenjenih srednjih vrijednosti efektivnih ekvivalentnih doza, dobivenih na osnovu Niklasonove, Gillove i Websterove metode, prema radnom mjestu uposlenika. Sva tri primjenjena metoda za procjenu efektivnih ekvivalentnih doza daju dosta dobre rezultate, mada Gillov i Websterov metod nose u sebi neke suštinske propuste vezane za neodgovarajuće vrijednosti težinskih faktora koji ulaze u proračune [7], kao i neuzimanja u obzir zaštitnika za štitnu žlijezdu (okovratnika).

Tabela 2. Srednje vrijednosti efektivnih ekvivalentnih doza za jednu godinu prema radnom mjestu uposlenika

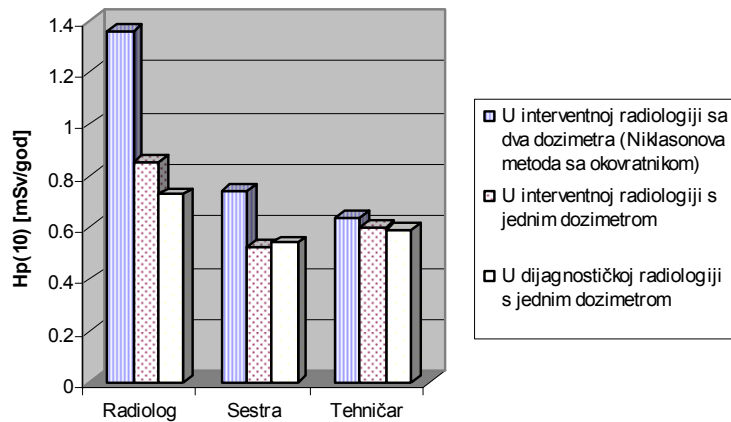
Radno mjesto	Hp(10) (mSv)		Niklasonova metoda (bez okovratnika)	Niklasonova metoda (sa okovratnikom)	Gillova metoda	Websterova metoda
	H _U	H _O	E (mSv)	E (mSv)	E (mSv)	E (mSv)
Radiolog	0,853	9,337	1,362	1,023	4,246	1,653
Sestra	0,600	3,020	0,745	0,648	1,568	1,021
Tehničar	0,523	2,473	0,640	0,562	1,303	0,883

Izmjerene vrijednosti doza za radiologe, medicinske tehničare i medicinske sestre koji koriste samo jedan dozimetar (osoblje koje ne radi u interventnoj radiologiji) prikazane su u Tabeli 3.

Tabela 3. Ekvivalentne doze primljene za godinu dana kod osoblja koje ne radi u interventnoj radiologiji

Identifikacioni broj radnika	Radiolog	Tehničar	Sestra
	Hp(10) (mSv)	Hp(10) (mSv)	Hp(10) (mSv)
1	0,770	0,440	0,410
2	1,620	0,415	0,260
3	0,835	0,400	0,385
4	0,615	0,455	0,370
5	0,665	0,260	0,810
6	0,895	0,465	1,105
7	1,180	0,750	1,030
8	0,465	0,360	0,505
9	0,395	0,600	0,450
10	0,645	0,560	
11	0,650	0,170	
12	0,540	0,745	
13	0,655	0,830	
14	0,615	0,665	
15	0,470	0,635	
16	0,890	0,545	
17	0,805	0,375	
18	0,305	0,505	
19	0,575	0,560	
20	1,225	0,665	
21	0,645	0,395	
22	0,475	0,415	
23	0,800	1,180	
Srednja vrijednost	0,728	0,539	0,592

Na Slici 3 je dat komparativni prikaz srednjih vrijednosti primljenih godišnjih doza osoblja koje radi u interventnoj i dijagnostičkoj radiologiji. Sa grafikona se jasno vidi da radiolozi primaju najveće doze zračenja, kako u interventnoj, tako i u dijagnostičkoj radiologiji. Međutim, doza koju mjeri dozimetar ispod kecelje približno je jednaka vrijednosti koju pokazuje dozimetar koje nosi osoblje u dijagnostičkoj radiologiji.



Slika 3. Srednje vrijednosti primljenih godišnjih doza osoblja koje radi u interventnoj i dijagnostičkoj radiologiji

ZAKLJUČAK

Naša istraživanja pokazuju da radiolozi primaju najveće doze zračenja, kako u interventnoj, tako i u dijagnostičkoj radiologiji. Međutim, doza koju mjeri dozimetar ispod olovne kecelje približno je jednaka vrijednosti doze koju pokazuje dozimetar koji nosi osoblje u dijagnostičkoj radiologiji. Prema tome, olovna kecelja za uslove ekspozicije osoblja kod interventne radiologije ostvaruje isti zaštitni efekat kao i radna kabina u dijagnostičkoj radiologiji..

LITERATURA

- [1] Lima F.R.A., Khoury H.J., Hazin C.A. and L.P. Luiz, Doses to the Operating Staff during Interventional Cardiology Procedures, Departamento de Energie Nuclear, UFPE, Brasil, 2000
- [2] Rene Michel and Sandy Perle, Application of Occupational Dose Estimates in Diagnostic Radiology with Multiple Dosimeters, RSO Magazine, Vol. 6, No. 1, 2001,
- [3] Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology, WHO, Geneva, 2000
- [4] Gill J.R., Beaver P.F. and J.A. Dennis, The Practical Application of ICRP Recommendations Regarding Dose Equivalent Limits for Workers to Staff in Diagnostic X-ray Departments, 5th International Congress of the International Radiation Protection Association, Book of Papers 1:15-18, 1980
- [5] Webster E.W., EDE for Exposure with Protective Aprons, Health Phys., 56:568-569, 1989
- [6] Niklason L.T., Marx M.V. and H.P. Chan, The Estimation of Effective Dose in Diagnostic Radiology with Two Dosimeters, Health Phys., 67:611-615, 1994
- [7] Huda W., McLean J. and Y. McLean, How Will the New Definition of "Effective Dose" Modify the Estimates of Dose in Diagnostic Radiology?, J. Radiological Protection 11:241-247, 1991

INDIVIDUALNA DOZIMetriJA U INSTITUTU ZA NUKLEARNE NAUKE VINČA

M. Prokić, J. Kaljević
Institut za nuklearne nauke Vinča
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd,

SADRŽAJ

Dozimetrijske karakteristike TL dozimetra na bazi magnezijum borata razvijenih i proizvedenih u Institutu za nuklearne nauke Vinča, kao što su približno tkivnaekvivalentnost, visoka osetljivost i dobre performanse za X, gama, beta i neutronska dozimetriju, bili su osnova za uspešno korišćenje ovog tipa TL dozimetara za legalnu individualnu dozimetriju poslednjih 27 godina.

U ovom radu su ispitivane dozimetrijske osobine TL materijala na bazi $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$ uključujući oblik krive isijavanja, TL osetljivost, merni opseg doza X i gama zračenja, prag doze, mogućnost višestrukog korišćenja, preciznost merenja TL, reproducibilnost, energetska zavisnost i feding.

UVOD

Dozimetrijske karakteristike TL dozimetra na bazi magnezijum borata razvijenih i proizvedenih u Institutu za nuklearne nauke Vinča (Prokić 1979 i Prokić 2005)^(1,2), kao što su približno tkivna ekvivalentnost, visoka osetljivost i dobre performanse za X, gama, beta i neutronska dozimetriju, bili su osnova za uspešnu primenu ovog tipa TL dozimetara za legalnu individualnu dozimetriju u poslednjih 27 godina .

Lična dozimetrijska kontrola se obavlja sa TLD na bazi magnezijum borata ugrađenim u TLD kartice takođe sopstvene proizvodnje koje su kompatibilne sa Harshow Model 2271 Automated TLD System . Tokom navedenog perioda individualna dozimetrijska kontrola je obavljena u proseku za oko 3500 lica na mesečnoj ili tromesečnoj dozimetrijskoj kontroli.

Tokom ovoga perioda sistematskim unapređenjem metoda preparacije (Prokić 1986)⁽³⁾ i (Prokić 1996; Prokić 2005)^(4,1) sintetizovana je nova generacija TL dozimetara na bazi magneziju borata , preko $MgB_4O_7: Dy, Na$ ⁽⁴⁾ do optimalnog TL materijala $MgB_4O_7: Dy,Ca,Na$ ⁽¹⁾. TL dozimetri $MgB_4O_7: Dy,Ca,Na$ su sintetizovani na osnovu suštinski nove tehnologije koja je omogućila da struktura dozimetrijskog pika na krivoj TL isijavanja umesto multistrakturnog TL pika (na temperaturi između 175°C – 185°C ima unistrakturni TL pik na oko 205°C. Ujedno, ovaj tip TLD se i po hemijskom sastavu razlikuje od svih TL materijala na bazi magneziju borata⁽⁵⁾.

Dozimetrijske karakteristike TLD $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$ su ispitivane u radu (Prokić 2005)⁽²⁾ korišćenjem tri tipa komercijalnih TLD čitača, Harshow Model 2000 TL Analyzer, Harshow Model 2271 Automated TLD System i Rados TL Reader (ranije Alnor Dosacus TLD Reader). Ovaj tip TLD čitača, Rados TL Reader se zasniva na tehnici brojanja pojedinačnih fotona i korišćenju vrelog azota za zagrevanje TL dozimetara čime je omogućena visoka efikasnost merenja emitovane TL. Pri tome, Rados TL Reader koristi specijalni tip fotomultiplikatora sa s-20 fotokatodom koja ima veću efikasnost za svetlosnu emisiju talasne dužine čak i do 700nm. Ova karakteristika je od bitnog značaja s obzirom da se spektralna emisija Dy jona nalazi u opsegu talasnih dužina od 475 do 585nm. Naime, svetlosnu emisiju jona Dy na talasnoj dužini od 585nm standardni PM sa s-11 fotokatodom (koji ima maksimum osetljivosti u plavoj oblasti svetlosnog spektra na oko 400nm) ne registruje. To znači da drugu liniju u spektru Dy na 585nm (žuta svetlost) koja je intenzivnija u odnosu na plavu-zelenu svetlosnu emisiju na 475nm, standardni TLD čitači ne registruju. Rezultat ovoga je skoro tri puta povećana osetljivost (Furetta et al, 2000)⁽⁵⁾ za merenja na Rados TL Reader u odnosu na oba tipa Harshaw Models TLD Readers. U ovom radu su iznete dozimetrijske karakteristike ovog TL materijala uključujući oblik krive isijavanja, TL osetljivost, merni opseg doza X i gama zračenja, prag doze, mogućnost ponovnog korišćenja, preciznost merenja TL, reproducibilnost, energetska zavisnost za X i gama zračenje i feding, tj. spontano opadanje TL ozračenih dozimetara u funkciji vremena.

MATERIJALI I METODE

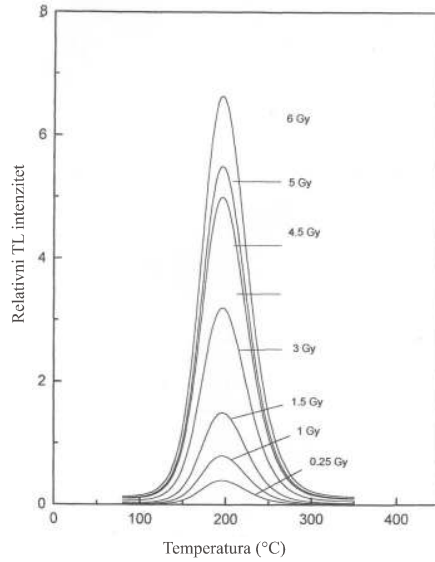
TL materijal, magnezijum borat sintetizovan po optimalnoj metodi preparacije (Prokić 1996)⁽⁴⁾ sastoji se od oko 70% MgB_4O_7 i od oko 30% MgB_2O_4 . Povećanje sadržaja MgB_2O_4 utiče na pomeranje glavnog pika TL krive isijavanja prema višim temperaturama, ali i opadanje inteziteta emitovane termoluminiscencije. Primenom koaktivatora, odnosno primenom efekta senzibilizacije emisije osnovnog aktivatora, jona Dy, sintetizovan je unikatni TL materijal čija je empirijska formula $MgB_4O_7 \cdot MgB_4O_7$ aktiviran sa Dy, Ca, Na. Ovaj TL materijal ima samo jedan TL pik na temperaturi od oko 205°C i visoku TL osetljivost. TL dozimetri se proizvode u obliku čvrstih sinterovanih tableta prečnika 4,5 mm i debljine 0.85 mm (za posebne namene proizvode se TLD većih, kao i manjih dimenzija i različitih debljina). Za potrebe individualne dozimetrije, TLD tablete su fiksirane na TLD karticama sopstvene proizvodnje koje su kompatibilne sa Harshow Model 2271 Automated TLD System koji se koristi za očitavanje i evaluaciju TL dozimetara u okviru servisa za ličnu dozimetrijsku kontrolu u Institutu Vinča. Ove TLD kartice sa malom korekcijom su kompatibilne i sa Harshow Model 6600 Automated TLD Card Reader, instrumentom koji se koristi u većini servisa za ličnu dozimetriju u svetu.

REZULTATI I DISKUSIJA

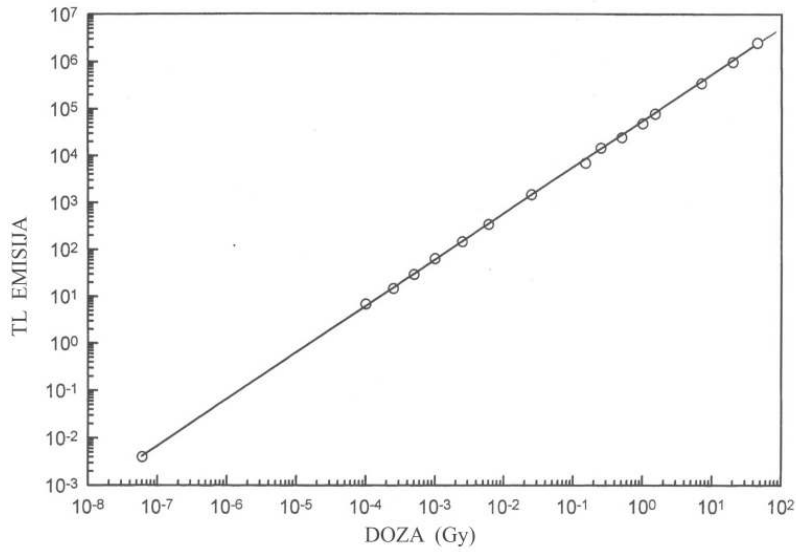
Kriva isijavanja. TL materijal na bazi $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$ po svom hemijskom sastavu se značajno razlikuje od svih drugih TL materijala na bazi magnezijum borata, ranije sintetizovanih. Približno je tkivno ekvivalentan, sa efektivnim atomskim brojem za fotoelektričnu apsorpciju, $Z_{eff} = 8.55$. Osnovna karakteristika ovog materijala je jednostavan oblik krive termoluminiscentnog isijavanja, koja ima samo jedan intezivan TL pik čiji je maksimum na oko 205°C i drugi TL pik sasvim niskog inteziteta na temperaturi

višoj od 300°C. Na Sl. br.1 prikazan je oblik krive isijavanja za TLD $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$ za različite vrednosti doza, od 0,25 do 6 Gy.

Očigledno je da se oblik krive isijavanja za ovaj TL materijal ne menja sa veličinom doze zračenja, a što je inače slučaj za neke tipove TL materijala (za $LiF:Mg,Ti$, kao i za $Li_2B_4O_7:Mn$ itd.).



Slika 1. Kriva isijavanja TLD na bazi $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$



Slika 2. Zavisnost emitovane TL za $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$ od doze zračenja

Aniling i reproducibilnost. U cilju postizanja optimalne osetljivosti i eliminisanja efekata ranijih ozračivanja, ispitan je uticaj različitih anilinga (temperaturnog tretiranja TL dozimetara) na magnezijum boratne TLD. Eksperimentalni rezultati ^(2,5) su pokazali da se termičkim tretiranjem na 300°C u toku 30min u potpunosti dostiže inicijalna TL osetljivost dozimetra. Međutim, u rutinskoj primeni, posebno na TL dozimetre koji su fiksirani na TLD karticama ne može se primeniti navedeni tretman. Rezultati eksperimenata su pokazali da je za ovaj tip TL dozimetara samo zagrevanje u toku procesa očitavanja u TLD čitaču na 320°C u toku 10sec dovoljno da se pri ponovnom ozračivanju dobije početna TL osetljivost. U tom cilju je izvršeno poređenje TL osetljivosti TLD-a posle anilinga u peći i tokom procesa očitavanja posle ozračivanja dozom od 0,50 Gy. Obe procedure su pokazale dobro slaganje, odnosno identičnu TL osetljivost kao i vrednost za drugo očitavanje istog TLD-a, za manje od 2%, posle testiranja u više od 20 ponovljenih ciklusa. Tek za vrednosti doza koje su bliske maksimalno dozvoljenim u ličnoj dozimetriji neophodno je ciklus očitavanja ponoviti uzastopno više puta da bi se ista TLD kartica mogla i dalje da koristi bez "zaostale TL". Neophodno je istaći da je ovo izuzetna prednost TLD na bazi magnezijum borata s obzirom da to nije slučaj sa nekim drugim tipovima TLD. Sva merenja iz ove studije obavljena su sa TLD koji su bili ozračeni nakon procesa očitavanja u TLD čitačima.

Da bi se odredila reproducibilnost merenja doza zračenja sa TLD, urađen je veliki broj ponovljenih očitavanja za doze zračenja od 1mGy do 0,25 Gy. Rezultati su pokazali da se doza gama zračenja može da meri sa manje od 2% varijacije bazirajući na standardnoj devijaciji za 10 uzastopnih merenja. Takođe TLD na bazi MgB₄O₇: Dy,Ca,Na pokazuju otpornost na sve nepovoljne uticaje prouzrokovane rukovanjem, kao i na uticaj vlage, prašine, povišene temperature itd.

TL osetljivost. TL osetljivost termoluminiscentnog materijala se definiše kao intezitet emitovane TL po jediničnoj masi TL materijala, po jediničnoj dozi zračenja, uz korekciju inteziteta emitovane TL na spektralnu efikasnost fotomultiplikatora korišćenog TL čitača. U ovom radu TL osetljivost je određena preko površine ispod glavnog TL pika krive isijavanja (T_{max} = 205°C) po jedinici mase dozimetra i po jedinici doze gama zračenja (TL · mg⁻¹ · Gy⁻¹) relativno u odnosu na TL osetljivost za TLD na bazi LiF:Mg,Ti (TLD-100). Uzimajući u obzir da (relativna) TL osetljivost zavisi od spektralne karakteristike TL čitača (PM cevi), TLD MgB₄O₇: Dy,Ca,Na imaju TL osetljivost koja je 6, odnosno 15 puta viša od osetljivosti TLD na bazi LiF:Mg,Ti (TLD-100), u zavisnosti od toga da li je korišćen Harshow Model 2000 TL Analyser, odnosno Harshow Model 2271 Automated TLD sistem ili Rados TLD Reader, respektivno.

Merni opseg doza X i gama zračenja. Generalno, linearnost u oblasti visokih doza gama zračenja preko 10 Gy je izuzetno retka, dok je supralinearnost karakteristika velikog broja TL materijala. Merni opseg doza za TLD na bazi MgB₄O₇: Dy,Ca,Na je ispitivan za doze gama zračenja ⁶⁰Co u opsegu od 10⁻⁵ Gy do 5 x 10² Gy. Dobijena je linearna zavisnost do vrednosti od oko 10² Gy (Slika br.2). TL dozimetri su ozračivani gama zračenjem ⁶⁰Co istovremeno po 5 TLD-a tako da svaka tačka na grafiku pretstavlja srednju vrednost od pet očitanih vrednosti. Sa Slike br.2 se takođe može izračunati prag doze.

Kriva sa Slike br.2 se može aproksimirati jednačinom

$$A = K \cdot D^n \quad (1)$$

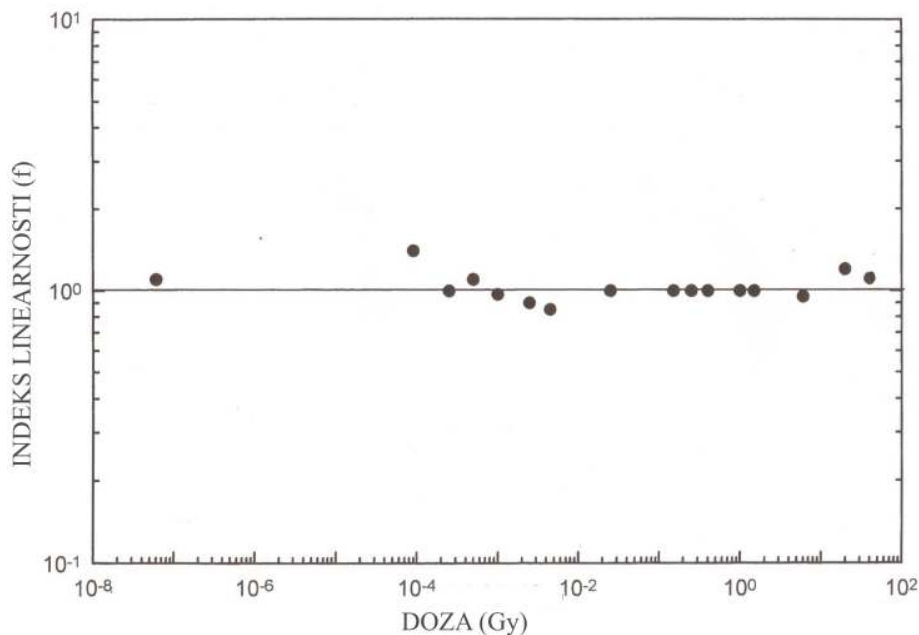
gde je A površina ispod glavnog ili dozimetrijskog TL pika krive isijavanja; K je konstanta, a D je odgovarajuća doza zračenja. U slučaju linearnosti u celom opsegu doza, eksponent n u gornjoj jednačini mora biti jednak jedinici. Za dati slučaj jednačina (1) postaje

$$A = 55667 \cdot D^{0,999} \quad (2)$$

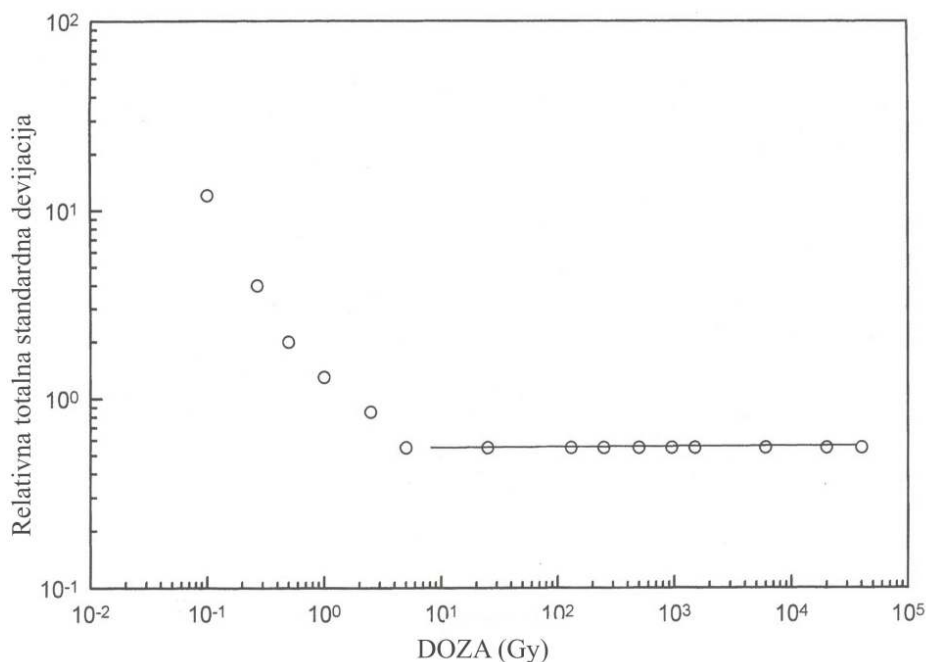
sa regresivnim faktorom od 0.997. Kako je vrednost n (0,999) srednja vrednost svih eksperimentalnih tačaka, provera linearnosti za TL materijal može se izvesti preko tzv. indeksa linearnosti $f(D)$ koji se definiše kao

$$f(D) = \frac{\frac{TL(D)}{D}}{\frac{TL(D_1)}{D_1}} \quad (3)$$

gde je D_1 doza normalizovanja u linearnoj oblasti opsega doza. Vrednost $f(D)$ je izračunata za svaku eksperimentalnu tačku. Na Slici br.3 prikazana je zavisnost indeksa linearnosti $f(D)$ u funkciji doza zračenja. Na osnovu ovog grafika, sasvim slaba supralinearnost počinje od vrednosti doza oko 10^2 Gy.



Slika 3. Zavisnost indeksa linearnosti $f(D)$ od doze zračenja



Slika 4. Zavisnost totalne relativne standardne devijacije od doza zračenja

Prag doze i minimalna doza detekcije. Prag doze se može odrediti preko sledećeg izraza

$$\bar{B} + 2\sigma_B \quad (4)$$

gde je \bar{B} srednja vrednost TL intenziteta za termički tretirane TLD koji nisu ozračeni, dok je σ_B standardna devijacija srednje vrednosti izmerene TL za neozračene TLD. U ovom eksperimentu korišćeno je 20 TLD, pri čemu je za svaki TLD očitana vrednost TL intenziteta neozračenih dozimetara korigovana sa pojedinačnim faktorom osetljivosti s , za svaki TLD. Prag doze je izračunat iz izraza

$$D_0 = (\bar{B} + 2\sigma_B) \cdot F \quad (5)$$

gde je F kalibracioni faktor izražen u Gy/TL; dobijena vrednost za D_0 , prag doze iznosi oko 6×10^{-8} Gy. D_0 leži na na ekstrapolacionoj pravoj liniji (Slika br.2) i dobijena je fitovanjem eksperimentalnih podataka. Minimalna doza detekcije je uslovljena pre svega visokom TL osetljivošću samog TLD kao i optimalnom kombinacijom emisionog spektra TL materijala i spektralne osetljivosti korišćenog fotomultiplikatora. Eksperimentalno određena minimalna doza koja se može detektovati definiše se kao trostruka standardna devijacija očitane vrednosti doze neozračenih TLD, izražene u jedinici doze. Procenjeno je da ona iznosi 6 μ Gy za Harshaw 2000 TL Analyser, 10 μ Gy za TLD kartice merene na 2271 Automatic TLD Reader, i da iznosi 2 μ Gy za Dosacus TLD Reader.

Preciznost TL merenja. Procena preciznosti koja se postiže TL merenjima u ispitivanom opsegu doza zračenja je dobijena po metodi predloženoj od strane Burkhardt et al ⁽⁶⁾. Ukupna standardna devijacija za nekoliko identičnih dozimetara ozračenih različitim dozama zračenja data je dvoparametarskom funkcijom

$$\frac{\sigma_{\tau}}{D} = \sqrt{(\sigma_s)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{D}\right)^2} \quad (6)$$

gde je σ_{τ}/D relativna ukupna standardna devijacija, σ_{τ} je relativna standardna devijacija za dozu D, σ_B/D je relativna standardna devijacija za neozračene dozimetre.

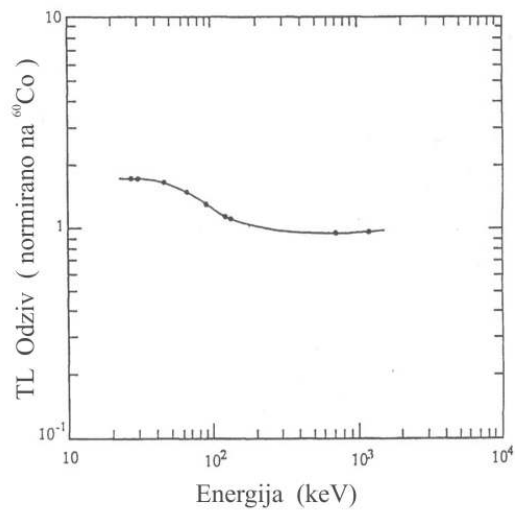
Iz jednačine (6) se vidi da se drugi član ispod kvadratnog korena smanjuje sa povećanjem doze zračenja tako da vrednost σ_{τ}/D dostiže konstantnu vrednost σ_s za visoke doze. Eksperimentalne vrednosti prikazane na Slici br. 4 pokazuju dobro slaganje sa teorijskim vrednostima dobijenim iz jednačine (6): relativna standardna devijacija naglo opada od vrednosti za niske doze sve do oko 5mGy, a zatim ostaje konstantna.

Relativna energetska zavisnost za X i gama zračenje. TL materijal na bazi MgB_4O_7 : Dy,Ca,Na ima efektivni atomski broj za fotoelektričnu apsorpciju $Z_{eff} = 8,55$ koji je veoma blizak vrednosti za TLD LiF:Mg,Ti (100) a koji iznosi $Z_{eff} = 8,2$. S obzirom da za tkivo Z_{eff} iznosi 7,4 kao i LiF:Mg,Ti i MgB_4O_7 : Dy,Ca,Na se može smatrati približno tkivno-ekvivalentnim TL materijalom.

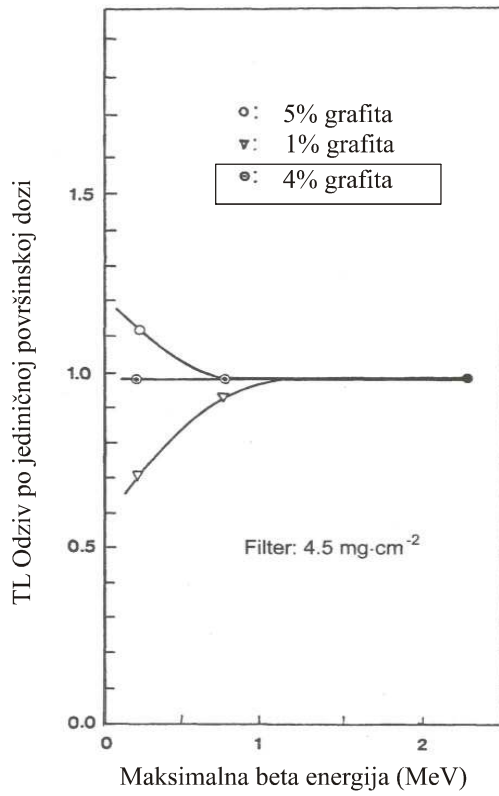
U cilju određivanja relativne energetske zavisnosti za TLD MgB_4O_7 : Dy,Ca,Na, TL dozimetri su ozračivani u vazduhu u uslovima elektronske ravnoteže sa filtriranim X zračenjem u saglasnosti sa ISO kriterijumima za uzan spektar. Korišćen je spektar X zračenja sa srednjom energijom u oblasti od 33 keV do 161 keV, kao i gama zračenje ^{137}Cs i ^{60}Co . Vrednosti izmerenih TL inteziteta za različite energije X zračenja normalizovane su na vrednost TL inteziteta dobijen za gama zračenje ^{60}Co (za istu dozu zračenja).

Rezultati su pokazali (Slika br.5) da relativna energetska zavisnost za MgB_4O_7 : Dy,Ca,Na za X zračenje energije 33 keV iznosi 1,75 što je veoma blisko vrednosti za LiF:Mg,Ti koja iznosi 1,35.

Analiza fedinga. Da bi se odredio feding (odnosno spontano opadanje TL inteziteta ozračenih dozimetara u funkciji proteklog vremena između ozračivanja i očitavanja TLD) TL dozimetri su nakon anilinga ozračeni dozom od 0,1 Gy gama zračenja ^{60}Co i do očitavanja držani u mraku na sobnoj temperaturi od 25 – 27 °C. Da bi se minimizirali efekti mogućeg odstupanja čitača, dozimetri su ozračivani u različitim periodima vremena pre očitavanja, od 6 meseci do 1 dana, a očitavanje svih ozračenih TLD je izvršeno istovremeno. Rezultati merenja su pokazali da TLD MgB_4O_7 : Dy,Ca,Na čak i za period od 6 meseci posle ozračivanja nisu pokazali feding



Slika 5. Energetska zavisnost TLD za X i gama zračenje



Slika 6. Energetska zavisnost TLD sa grafitom za beta zračenje

TLD sa grafitom za dozimetriju beta zračenja. Optimalni TL dozimetar za merenje doza u mešovitim poljima beta / gama zračenja za potrebe lične dozimetrije zahteva realizaciju tankog, približno tkivno-ekvivalentnog detektora, dovoljno osetljivog, a koji poseduje mehaničku čvrstinu i oblik koji omogućava automatsko očitavanje. Ugrađivanjem nekoliko procenata grafita tokom procesa preparacije i sinterovanja TLD $MgB_4O_7: Dy, Ca, Na$, efikasno se smanjuje transparentnost dozimetra uslovivši da se samo iz tankog sloja oko 0,07 mm sa površine TLD-a emituje termoluminiscencija. Na taj način je dobijen TL dozimetar efektivne debljine od oko 5-10 mg \cdot cm⁻² (Prokić 1985)⁽⁷⁾. Ovom tehnologijom je omogućena preparacija TL dozimetara za površinsku (kožnu) dozu (dozni ekvivalent H_s (0,07)) u saglasnosti sa ICRP preporukama za merenje apsorbovane doze na površini tela, tj. na koži u sloju debljine 5-10 mg \cdot cm⁻². Ovim je ujedno postignuta energetska nezavisnost na beta zračenje niskih energija, tj. srednje energije iznad 60 keV, ekvivalentna tankom detektoru (Slika br.6). Sinterovani TLD sa 4% grafita imaju prag detekcije od 20 μ Sv (iako je ICRP preporuka za površinsku (kožnu) dozu mnogo viša, čak i mSv / nedeljno).

$MgB_4O_7: Dy, Ca, Na$ TLD sa 4% grafita se koristi u ličnoj dozimetriji za određivanje površinske ili kožne doze (odnosno doznog ekvivalenta) od slabo prodirućeg zračenja, s obzirom na njihovu visoku osetljivost približno tkivno- ekvivalentnost na fotonsko zračenje i energetska nezavisnost na beta zračenje niskih energija, uz mehaničku čvrstinu koja omogućava njihovo ugrađivanje u standardne TLD kartice, kao i očitavanje na već pomenutim TLD čitačima.

Izuzetne dozimetrijske karakteristike ovoga TLD su uslovile da se ovaj " grafitni TLD" godinama koristio u Risoe National Laboratory , Danska u okviru rutinske lične dozimetrije kao TLD za beta zračenje, i ujedno u okviru obimnih istraživačkih projekata (Christensen et al)⁽⁸⁾ .

TLD na bazi magnezijum borata kao albedo neutronske dozimetar. TL dozimetri na bazi magnezijum borata sa prirodnim izotopskim sastavom ili sa ¹⁰B obogaćenim TLD, u paru sa ¹¹B obogaćenim TLD, omogućavaju realizaciju para osetljivog – neosetljivog dozimetra na termalne neutrone koji se mogu uspešno koristiti za separatan merenje doza neutronske i gama zračenja u albedo neutronske dozimetru za potrebe lične dozimetrije u (n, gama) mešovitim poljima zračenja. Naime, visok izotopski efikasni presek ¹⁰B na termalne neutrone, odnosno nizak za ¹¹B (ekvivalentno kao ⁶Li i ⁷Li u TLD- LiF:Mg,Ti) omogućavaju realizaciju ličnog albedo neutronske dozimetra. Albedo dozimetri baziraju na principu da neutroni viših energija, napuštajući ljudsko telo kao termalni i intermedijarni neutroni, i posle reflektovanja od tela bivaju detektovani pomoću albedo neutronske dozimetra (Prokić 1981, Prokić 1997)^(10,9). Za potrebe lične dozimetrije u mešovitim n,gama poljima zračenja u Institutu Vinča prema potrebi, koriste se dvokomponentne TLD kartice sa fiksiranim parom osetljivog i neosetljivog TLD na neutrone, $Mg^{10}B_4O_7: Dy, Ca, Na$ i $Mg^{11}B_4O_7: Dy, Ca, Na$. Ova TLD kartica je smeštena u specijalnu kapsulu od smeše borkarbida i plastike koja je funkcionalno dizajnirana i koja omogućava da se obračuna dozni ekvivalent za neutrone. Kako se termalni neutroni apsorbuju već u tankom, površinskom sloju debljine 0,2-0,3 mm u TL dozimetru osetljivog na neutrone, primenom adaptirane tehnologije za preparaciju tankoslojnih TLD-a za zračenje niskih energija, realizovani su i TLD - $Mg^{10}B_4O_7: Dy, Ca, Na$ sa aktivnom TLD debljinom od oko 65 mg \cdot cm⁻² (Prokić 1996)⁽⁴⁾.

Lični albedo neutronske dozimetar je kalibrsan sa monoenergetskim neutronima na Van De Graaf-ovom akceleratoru (GSF, Nemačka). Osetljivost na termalne neutrone je

određena ozračivanjem fluksom termalnih neutrona od 4×10^7 neutrona $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Risoe Lab, Danska).

TL dozimetri su takođe ozračivani i na moderiranom neutronskom izvoru ^{252}Cf (Institut Vinča). Vrednosti za osetljivost razvijenih dozimetara na neutrone normalizovana je na vrednost za $^6\text{LiF:Mg,Ti}$ (TLD-600) i predstavljene su u Tabeli 1.

Tabela 1. Relativni Neutronske i Fotonske Odgovor za ^{252}Cf (parafinsko moderiranje) i ^{60}Co

Tip Detektora	Relativni Neutronske (N) Odgovor (normalizovan na TLD-600)	Relativni Fotonske (P) Odgovor (normalizovan na TLD-600)	Relativni N/P Odgovor (normalizovan na TLD-600)	Minimalna Doza Detekcije	
				Fotoni (μGy)	^{252}Cf (Rel. jedinice)
TLD-600	1,00	1,00	1,00	5	1,0
TLD-100	0,32	0,91	0,35	5	1,2
$\text{MgB}_4\text{O}_7\text{:Dy,Ca,Na}$	0,88	2,6	0,34	3	1,1
$\text{Mg}^{10}\text{B}_4\text{O}_7\text{:Dy,Ca,Na}$	1,40	1,72	0,81	3	1,0
$\text{Mg}^{10}\text{B}_4\text{O}_7\text{:Dy,Ca,Na}$ Aktivan TLD sloj $\sim 65\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	0,97	0,81	1,20	5	1,0

PRIMENA U DOZIMETRIJI ZRAČENJA

Individualna dozimetrija u Institutu Vinča

Termoluminiscentni dozimetri razvijeni i proizvedeni u Institutu Vinča imaju dozimetrijske karakteristike koje su omogućile njihovo uspešno korišćenje u ličnoj dozimetriji, te se od 1978.god koriste za merenje doza zračenja koje primaju lica profesionalno izložena zračenju. Tokom navedenog perioda individualna dozimetrijska kontrola je obavljana u proseku za oko 3500 lica na mesečnoj ili tromesečnoj dozimetrijskoj kontroli.

Lična dozimetrijska kontrola u Institutu Vinča se obavlja sa TLD na bazi magnezijum borata ugrađenim u TLD kartice sopstvene proizvodnje koje su kompatibilne sa Harshaw Model 2271 Automated TLD System. Za većinu kontrolisanih lica koja su izložena X ili gama zračenju koriste se jednokomponentne TLD kartice sa dva TLD-a. Za izdvojenu grupu lica koja su izložena beta ili beta-gama zračenju koriste se TLD za telo i šaku (prst). Ova TLD kartica sadrži dva TLD-a za gama zračenje kojima se određuje dozni ekvivalent Hp (10) na dubini od 10 mm u telu, i jedan grafitni TLD za površinsku dozu, odnosno Hs (0.07) u sloju kože ove debljine i koji su prekriveni transparentnom PTFE folijom debljine $4,5 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$. Po potrebi TLD kartice se mogu koristiti i na zglobovima šake. Dozimetri koji se nose na prstu u obliku prstena sadrže jedan "čist" i jedan TLD sa grafitom. Za kontrolu lica profesionalno izloženih mešovitim poljima neutrona i gama zračenja na raspolaganju su lični albedo neutronske dozimetri koji se, prema iskustvu u sličnim laboratorijama u svetu koriste zajedno sa (CR-39) trag detektorima.

ZAKLJUČAK

Dozimetrijske karakteristike TL dozimetara na bazi magnezijum borata razvijenih i proizvedenih u Institutu za nuklearne nauke Vinča, kao što su približno tkivna-ekvivalentnost, visoka osetljivost i dobre performanse za X, gama, beta i neutronske dozimetriju, bili su osnova za uspešno korišćenje ovog tipa TL dozimetra za legalnu ličnu dozimetrijsku kontrolu za proteklih 27 godina.

Iskustva stečena u praksi u individualnoj dozimetrijskoj kontroli u Institutu Vinča pokazala su da se TL dozimetri na bazi $MgB_4O_7:Dy,Ca,Na$ mogu svrstati u malu grupu pouzdanih TL dozimetara pogodnih za ličnu dozimetriju.

LITERATURA

- [1] Prokić, M. *Karakteristike Termoluminiscentnih Dozimetara koji se proizvode u Institutu "Boris Kidrič"*, Vinča, Zbornik X Simpozijuma JDZZ, Arandelovac, 29.05.-01.06., 1979, pp. 247-260 (1979)
- [2] Prokić, M. *Individual Monitoring Based on Magnesium Borate*, Proc. European Workscop on Individual Monitoring of Ionising Radiation, Vienna, Austria, April 11-15, (2005)
- [3] Prokić, M., *Magnesium borate in TL dosimetry*, Rad. Prot. Dosimetry, **17**, 393-396, (1986).
- [4] Prokić, M. *Optimization of Magnesium Borate Thermoluminescent Material for Radiation Protection Dosimetry*, Proc. IRPA 9, Internat. Cong. on Rad. Prot., Vienna, Austria, April 14-19, 1996, Vol. 4 pp. 296-298
- [5] Furetta, C., Prokić, M., Salamon, R., Kitis, G. *Dosimetric Characterisation of a new production of $MgB_4O_7:Dy,Na$ TL material*, Int.I. of Appl. Rad. and Isotopes, Vol. 52, N° 2 pp. 293-250 (2000).
- [6] Burgkhard, B., Piesch, E., *Reproducibility of TLD Systems – a comprehensive analysis of experimental results*, Nucl. Instrum. Meth. **175**, 159-161 (1980).
- [7] Prokić, M., *Beta dosimetry with newly developed graphite mixed TL detectors*, Phys. in Med. and Biol., **30**, 4, 323-329 (1985).
- [8] Christensen, P., Prokić, M., *Energy and angular responses of TL doseimeters for beta ray dosimetry*, Rad. Prot. Dosimetry, **17**, 451-455, (1986).
- [9] Prokić, M., *Dosimetric Characteristics of Magnesium Borate Solid Thermoluminescent Detectors for Multiple Applications*, Medical&Biol. Enging&Computing. Vol. **35**, Suppl. Part 2, p. 897 (1997).
- [10] Prokić, M. *Novi Tip Ličnog Albedo Neutronskeg Dozimetra*, Tehnika **36**, 11,1587-1590 (1981).

ABSTRACT

INDIVIDUAL MONITORING BASED ON MAGNESIUM BORATE

M. Prokić, J. Kaljević
INS VINČA, Radiation Protection Laboratory, Beograd

Valuable features of magnesium borate sintered solid TL doseimeters developed and produced at Institute of Nuclear Sciences Vinča, such as near tissue equivalency, high sensitivity and its good performances for X, gamma, beta and neutron dosimetry were the base for successfully using of this type of TL doseimeters for legal personnel dosimetry control in Serbia during last 27 years.

The dosimetric properties of this TL material are presented including glow curve shape, TL sensitivity, photon dose response, dose threshold, reusability, precision of TL measurements, reproducibility, photon energy response and long term fading characteristics.

5. Radiobiologija

PRIKAZ SLUČAJA: Ir-192
ZDRAVSTVENE POSLEDICE TOKOM 20 GODINA

S. Milačić, J. Simić
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu KCS, Beograd

SADRŽAJ

U radu je prikazan slučaj ozračivanja iridijumom 192 i praćenje zdravstvenog stanja ozračene osobe tokom dve decenije.

UVOD

Iridijum 192 je radioaktivni izvor, koji se koristi u industrijskoj radiografiji. Upotrebljava se kao zatvoren i čuva zaštićen, po preporukama Internacionalne Komisije za Zaštitu od Radijacije (ICRP). Jačina izotopa, nizak LET a visoka prodornost eksternog gama zračenja, kod rukovaoca može da izazove štetne efekte posle dugotrajne primene. Opasnost po zdravlje ljudi nastaje pri otvaranju ili ispadanju izvora i kontaminaciji životne okoline. Ima privlačan izgled, kao ukrasni predmet ili nakit.

Akcidentalni događaj. M.L. star 53 godine po zanimanju portir jedne fabrike motornih vozila 14 avgusta 1982.godine našao je u fabričkom dvorištu izgubljeni izvor Ir 192 početne jačine 296GBq koji je služio za defektoskopsku gamaradiografiju. U vreme akcidenta je imao jačinu 275GBq (7,43Ci). M.L. je nosio gama izvor 3 dana u gornjem levom džepu radničke bluze a zatim ga je ostavio u fioku stola za kojim je svakodnevno radio 1-2h narednih 19 dana, kada je izvor detektovan i zbrinut.

METODOLOGIJA

Praćenje zdravstvenih efekata i posledica posle ozračenja velikom dozom gama zračenja započeto je 3 nedelje nakon događaja i nastavljeno nakon 3, 6 i 12 meseci, a zatim posle 2, 5 i 11 godina. Praćeni su klinički simptomi i znaci, kliničko-laboratorijski pokazatelji, promene na koži, u krvi, na hromozomima u kariotipu limfocita, na srcu, jetri, očnom sočivu, tj., na radiosenzitivnim ćelijama i tkivima i na delovima tela i organima koji su bili u neposrednoj blizini izvora Ir192. Iz jačine izvora, vremena ekspozicije i udaljenosti od izvora, izračunata je ekspoziciona i apsorbovana doza na telo ispitanika.

REZULTATI

Procena apsorbovane doze. Aproximativno izračunata doza u funkciji starosti izvora i rastojanja iznosila je oko 22,50 Gy odnosno 42Gy, za odstojanje 7cm, odnosno 5cm. Frekvencija hromozomskih aberacija (dicentrika) karakterističnih za neposredno ozračenje,

bila je povećana. Na osnovu kalibracione krive za procenu apsorbovane doze u akcidentu, utvrđeno je da se radi o visokoj dozi. Medjutim, analiza dicentrika, ponavljana u više navrata u kratkim vremenskim intervalima, nije dala očekivani rezultat za akutnu radijacionu bolest. Frekvencija je nepravilno varirala u funkciji vremena, tako da umesto da se smanjuje, ona se povećavala. Dobile vrednosti apsorbovane doze na telo ispitanika ovom metodom bile su nepravilno distribuirane tako da se nisu mogle egzaktno primeniti za procenu biološkog efekta. To je najverovatnije posledica neravnomernog ozračenja tela pa su limfociti iz predela bližih izvoru nesrazmerno više oštećeni u odnosu na one iz udaljenih delova tela. Obzirom da se izvor nalazio u blizini limfnih nodusa u aksili i preponama, u naknadnim analizama kariotipa limfocita frekvencija dicentrika je značajno rasla i posle dužeg vremenskog perioda nakon akcidenta, kada se, kod ravnomernog ozračenja tela, očekuje njihovo postepeno isčezavanje.

Klinički simptomi i znaci. Prvi put je hospitalizovan 3 septembra 1982. godine na Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu u Beogradu sa znacima akutnog radiodermatitisa na mestima kontakta sa izvorom: Najintenzivnije promene na koži bile su na prednjem zidu levog hemitoraksa a zatim na prednjoj strani gornjeg dela desne butine i u predelu desnog ručnog zgloba. Osim nesanice i brzog zamaranja, radijacioni sindrom nije bio praćen drugim tegobama niti objektivnim nalazom. Nakon godinu dana žali se na povremeno probadanje (bolove) u predelu srca i pojačano znojenje noću. Ulceronekrotične promene na koži grudni i butine pokrivene su autotransplantatom (tiršom, kalemom) a koža neposredno oko kalema kao i koža u predelu desnog ručnog zgloba je mramorizovana, sa teleangijektazijama, depigmentovanim i tamnim poljima (black pot) kao kod hroničnog radiodermatitisa. Nakon 2 godine nekroza na ručnom zglobu je progredirala u radijacioni ulkus tako da je izvršena ekscizija a patohistološki je potvrđen radiodermatitis hronica ulceroza non specifica, bez morfoloških elemenata za malignitet. Nisu nadjeni radiološki znaci osteoradionekroze.

Dvanaest godina nakon akcidenta koža na mestima prethodnih lezija bila je tamno-crvena, delom edematozna, delom atrofična bez znakova maligne alteracije.

Očno sočivo ostalo je transparentno. Radijaciona katarakte se nije razvila

Kliničko – laboratorijski pokazatelji. U krvi prisutna je trombocitopenija i leukocitopenija. Jetra je uvećana za 2cm. Povišen je bilirubin u serumu, transaminaze a poremećeni su faktori koagulacije i fibrinoliza, odnosno činioci protrombinskog kompleksa. Krvna slika i faktori koagulacije potpuno su se normalizovali nakon 2 godine od ozračenja. Limfne žlezde nisu bile uvećane. Posle 11 godina (1993) svi elementi hematopoeze kao i sve jetrine funkcije bile su u fiziološkim granicama. Citogenetskom analizom kariotipa limfocita isključene su strukturne hromozomske aberacije a 14 mikronukleusa na 1000 ćelija je uobičajeni nalaz i kod ne izloženih ispitanika.

Elektrokardiografski nalaz (EKG) je bez promena. Nakon 6 meseci, u februaru 1983. pojavljuju se promene u EKG-u, negativan T-zubac u D1, D2, AVF i prekordijalnim odvodima V2-V6. Ovakav nalaz nije bio praćen subjektivnim tegobama niti objektivnim nalazom na srcu. Nalaz ne regredira na terapiju koronarodilatatorima, održava se do 1984. god. a ehokardiogram ne ukazuje na patološke promene. Krajem 1984. ergometrijski test nije dao rezultate smanjene koronarne rezerve a posle zamora je čak došlo do smanjenja ST denivelacije. Ponovljeni ehokardiogram ovoga puta pokazuje debele listove perikarda i perikardne priraslice. Dve godine nakon ozračivanja i 20 meseci nakon njihove prve pojave, promene na ST segmentu EKG-a počinju da regrediraju, ma da se ni narednih nekoliko godina nisu normalizovale. Od 1993. godine nalaz u EKG-u je potpuno normalan.

Osim povremene hipertenzije, nije bilo drugih smetnji kardiovaskularnog sistema. Jedine zaostale tegobe bile su povremene vrtoglavice, bez gubitka svesti, praćene nekad mučninom i malsalošću.

Krajem 2003. godine, 21 godinu posle akcidenta, razvio se infarkt miokarda i pacijent je umro od akutne srčane insuficijencije u 74 –oj godini života.

Blizina limfnih nodusa i sternuma (koštana srž) mogla je da dovede do nekroze u limfnom i hematopoeznom tkivu odnosno fibroze ili aplazije koštane srži, mijelodisplastičnog sindroma i imunodeficijencije. Promene u kariotipu limfocita su bile strukturne i nestabilne, te su isčezle bez kliničkih posledica. Očigledno nije došlo do pojave mutacija i stabilnih aberacija koje bi se fiksirale u deobi i potstakle kancerogenezu, tako da se ni 20 godina posle ozračenja nije razvio sistemski (leukemija) ni solitarni tumor na okolnim organima. Pod uticajem velikih doza reparacione mogućnosti radioosetljivih tkiva su vrlo velike, zbog visokog indeksa samoobnavljanja, dok se i pri manjim dozama zapaža inhibicija funkcije relativno radiorezistentnih tkiva.

Ireverzibilne promene kože (ulcero-nekrotični radiodermatitis) obično se ne razvijaju kao rezultat subletalnih doza na celo telo, već pri dozama većim od 20-40Gy, lokalizovanih na kožu. Akutni radiodermatitis retko maligno alteriše, jer je došlo do prestanka deoba ćelija. Na poljima ozraćene kože posle terapijskih tretmana mogu nastati vaskularne proliferacije, koje posle latentnog perioda 3-20 godina mogu da razviju angiosarkom. Na koži oko radijacionog ulkusa (odnosno, kasnije, autotransplantata) razvio se Radiodermatitis chronica. Koža u neposrednoj okolini ekscidiranih mesta do kraja je bila izmenjena sa znacima hroničnog radiodermatitisa a ni posle 21 godinu nije maligno alterisala. Promene na krvnim ćelijama i u jetri imale su isključivo reverzibilni karakter zbog manje ekspozicije, koja je dovela samo do funkcionalnih ispada.

DISKUSIJA

Radiodermatitis nastao je već nakon 3 nedelje, dok su se promene na srcu razvijale postepeno, tek nakon 6 meseci do 2 godine. Pokazatelji srčane funkcije (ergometrija, ehokardiografija i elektrokardiogram kao i enzimi u serumu) normalizovali su se posle 10 godina možda zato što je mali deo srca direktno ozračen u starijeg pacijenta.

Akutni radiodermatitis je hiruski izlečen, a hronični ni posle 21 godinu nije maligno alterisao (1-4). Nije se razvila kompletna, sistemska, akutna radijaciona bolest i pored vrlo visoke doze, jer je ona delovala lokalno i telo je neravnomerno ozraćeno. Lokalno, kratkotrajno ozraćivanje visokom, smrtnom dozom, razvilo je akutni radijacioni sindrom sa reverzibilnim poremećajem funkcije pojedinih organa koji su bili i najviše eksponovani. Najveće promene su, osim na koži, bile na srcu, na mestima najveće ekspozicije. Jedini trajni (zaostali) simptomi su bili hipertenzija i vrtoglavica, a smrt je nastupila usled infarkta miokarda, što može biti u vezi sa promenama na srcu i krvnim sudovima, ma da može biti i posledica prirodnog starenja. Svakako su i godine starosti (53 – 74) uticale na manju radioosetljivost (5-8).

LITERATURA

- [1] Gourmelon P. The Medical Diagnosis and Treatment of Radiation Overexposed people. 11th International Congress of the International Radiation Protection Association 23-28 May 2004, Madrid, Spain. Proceeding of the IRPA 11, published on CD (*full papers*) 2004; produced by SENDA
- [2] Conde-Salazar L, Guimaraens D, Romero L.V. Occupational radio dermatitis from Ir192 exposure. Contact Dermatitis 1986;15(4):202-4.

- [3] George A, Siegmund B. Symptomatology of acute radiation effects in humans after exposure to doses of 0,5-30 Gy. *Health Physics* 1989; 56(6): 821-838.
- [4] Wondergem J, Strootman EG, Frölich M, Leer JW, Noordijk EM. Circulating atrial natriuretic peptide plasma levels as a marker for cardiac damage after radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology* 2001; 58(3): 295-301
- [5] Stewart RJ, Fajardo L, Gillette Sh, Constine LS. Radiation injury to the heart *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics* 1995; 31(5): 1205-1211
- [6] Joensuu H. Acute myocardial infarction after heart irradiation in young patients with Hodgkin's disease. *Chest* 1989; 95(2): 388-90.
- [7] Hardenbergh P, Munley M, Bentel G, Kedem R, Borges-Neto S, Hollis D, Prosnitz L Marks L. Cardiac perfusion changes in patients treated for breast cancer with radiation therapy and doxorubicin: preliminary results. *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics* 2001;49(4):1023-1028.
- [8] Milačić S. Radiobiologija kože, U: *Dermatologija*, Karadaglić Đ, ur. Monografija, Ed. Vojnoizdavački zavod, Verzal Press, Beograd 2000:1350-1357.

ABSTRACT

CASE REPORTS: Ir192-HEALTH EFFECTS FOR A 20 YEARS

S. Milačić, J. Simić

Institute of Occupational Medicine and Radiological Protection, Belgrade

Introduction. Iridium 192 is gamma source, used to in industrial radiography. This isotope used to close, with permit, according to recommendations International Commission on Radiation Protection (ICRP). Persons, who was daily working with Iridium 192 for a long time, could have radiation injury tissue caused by low level Linear Energy Transfer (LET) and high penetration gamma rays. The biologic effects produced by gamma rays depended on strength irradiation from source and level of dose. Risks for health could arise when the radioactive isotope have been opened or lost. Ir192 likes decorative as jewelry and it is may use on purpose to terrorism.

Reports have presented health effects for a 21 years in person, irradiated with gamma rays from Ir192, on purpose to investigate radiation consequences for a long time.

Methodology. Monitoring of health effects after the irradiation with high level of radiation started three weeks after the accident and has continued after three, six, and twelve months, as well as later on after two and half and eleventh years. Mentioned monitoring included clinical symptoms, laboratory indicators, blood and chromosomal changes, changes on the heart using ergometric test, electrocardiogram and echocardiograph, changes on the liver, eye lens and blood vessels. The diagnosis skin changes were confirmed histologically.

Results. Approximately calculated dose was about 22,50 Gy. Radiodermatitis had begun already after three weeks, while changes on the heart began gradually, not earlier than six months up to two years after the incident. Symptoms of heart function have been normalized after 10 years. Death happened after 21 years because of an infarct of the myocardium. Acute radiodermatitis was surgically cured, but chronic radiodermatitis did not malignly alternate. Changes on the liver, blood and enzymes, as well as chromosomes have had reversible character.

Conclusion. More than two decades after irradiation, system nor solitary tumor on near organs did not happened in spite of very large dose.

UČESTALOST MALIGNIH BOLESTI U LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH MALIM DOZAMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

S. Milačić, T. Pekmezović¹, T. Dašić
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu KCS, Beograd;
¹ Medicinski fakultet, Institut za epidemiologiju;

SADRŽAJ

Pojava malignih bolesti u lica profesionalno izloženih vrlo malim dozama jonizujućih zračenja nalaže potrebu ozbiljnog epidemiološkog praćenje. Analiziran je morbiditet i mortalitet izazvan malignim bolestima u kohorti od 1560 lica zaposlenih u zoni jonizujućih zračenja. Procena ekspozicije radijaciji vršena je personalnim termoluminiscentnim dozimetrom (TLD), periodičnim pregledima i biodozimetrijom (hromozomske aberacije). Konvencionalnim epidemiološkim metodom izračunati su: incidenca, prevalenca, morbiditet i mortalitet u retrospektivnoj kohortnoj studiji. Prikazani su rezultati incidence, prevalencije i mortaliteta usled malignih bolesti tokom 10 godina rada u zoni jonizujućih zračenja, od 1992. do 2002. godine. Incidenca malignih bolesti je 230 na 100000 izloženih osoba. Prevalenca je 1,79%. Najveća učestalost malignih bolesti je u radioloških tehničara. Incidenca karcinoma značajno raste u radnika posle 20 godina ekspozicije malim dozama (1-2mSv) jonizujućeg zračenja. Učestalost karcinoma je veća u pušača (69,4%) nego u nepušača (30,6%), izloženih zračenju.

UVOD

Brojne epidemiološke kao i eksperimentalne studije ukazuju na kancerogeni efekat jonizujućeg zračenja. Pojava malignih bolesti u lica profesionalno izloženih vrlo malim dozama jonizujućih zračenja nalaže potrebu ozbiljnog epidemiološkog praćenje.

METODOLOGIJA

Epidemiološkim metodom retrospektivne kohortne studije upoređeni su podaci o oboljevanju i umiranju od malignih bolesti zdravstvenih radnika u zoni jonizujućih zračenja i opšte populacije u istom regionu (Centralna Srbija) (1).

Kohortu čini 1560 zdravstvenih radnika u zoni jonizujućih zračenja u centralnoj Srbiji koji su jednom godišnje sistematski pregledani od 1992. do 2002. godine, po programu za radiološku zaštitu lica, koja su profesionalno izložena zračenju (2).

Godišnje ekvivalentne doze jonizujućih zračenja koje su primili ispitanici kohorte, merene su personalnim termoluminiscentnim dozimetrima (TLD) i izražene u milisivertima (mSv).

Struktura odabrane kohorte po zanimanju prikazana je tabelarno (tabela 1). Od 1560 ispitanika, od 20 do 79 godina, najzastupljeniji su (oko 40%) u starostnom dobu 40-50 godina; zastupljenost polova je 43% žena prema 57% muškaraca.

Standardnim epidemiološkim postupkom izračunate su stope incidencije, prevalencije i mortaliteta za odabranu kohortu za određeni desetogodišnji period i upoređene sa analognim stopama u opštoj populaciji na istoj teritoriji. Rezultati su prikazani relativnim brojevima (postotcima i stopama).

Tabela 1. Zdravstveni radici u zoni jonizujućih zračenja distribuirani po zanimanju i po polu

Br	Zanimanje	Pol				Ukupno	
		Muški		Ženski		n	%
		N	%	N	%		
1	Rtg. tehničar	233	34.5	435	49	668	42.8
2	Visi rtg. tehničar	130	19.3	101	11.4	231	14.8
3	Pneumoftiziolog	32	4.7	28	3.2	60	3.8
4	Spec. nuklearne medicine	4	0.6	14	1.6	18	1.2
5	Radiolog	110	16.3	81	9.1	191	12.2
6	Stomatoloski tehničar	1	0.1	9	1	10	0.6
7	Anesteziolog	0	0	1	0.1	1	0.1
8	Stomatolog	21	3.1	9	1	30	1.9
9	Hirurg	8	1.2	1	0.1	9	0.6
10	Kardiolog	4	0.6	13	1.5	17	1.1
11	Ginekolog	0	0	1	0.1	1	0.1
12	Fotolaborant	7	1.0	14	1.6	21	1.3
13	Medicinski tehničar	2	0.3	68	7.7	70	4.5
14	Laboratorijski tehničar	12	1.8	26	2.9	38	2.4
15	Ostali	110	16.3	86	9.7	196	12.6
Ukupno		675	100	887	100	1560	100

REZULTATI I DISKUSIJA

Najveći broj obolelih ispitanika apsorbovao je ekvivalent dozi od 1 do 2 milisiverta (mSv), vrlo malu dozu, približnu onoj koju prima opšta populacija od prirodnog zračenja (tabela 2). Hromozomske aberacije, kao biomarkeri ekspozicije, su prisutne. Učestalost (frekvencija) kao biodozimetrijski pokazatelj prekoračenja doze je 0,2% - 0,4% (ukupno 24 na $36 \times 200 = 7200$ mitoza,) što odgovara prosečnoj učestalosti (0,2-0,5%) kod profesionalno ne izloženih lica (Milačić, 2003) i istom relativnom riziku (Milačić, 2004) od zračenja kao u opštoj populaciji, od 1%, (tabela 3).

Tabela 2. Prosečna godišnja doza izmerena personalnim TL dozimetrom u radnika obolelih od malignih tumora

MSv/1g	N	%
0.50-1.00	9	25
1.01-1.50	15	41,70
1.51-2.00	11	30,60
2.01-2.50	1	2,80
Ukupno	36	100

Tabela 3. Učestalost hromozomskih aberacija kod obolelih od malignih tumora

Specifične aberacije				Nespecifične lezije				Ukupno	
Dicentrik		Acentrik		Ring		Prekidi i izmene		n	%
n	%	n	%	N	%	N	%	n	%
3	12.5	14	58.4	/	/	7	29.1	24	100

Tabela 4. Prosečna godišnja incidenca malignih tumora

Stopa na 100.000	Muškarci	Žene
Izložena populacija	163.00	281.80
Opšta populacija	374.00	347.00

Tabela 5. Učestalost malignih tumora prema zanimanju

Zanimanje	Maligni tumori (%)
Rtg. Tehničar	41.70
Viši rtg. Tehn.	19.50
Radiolog	19.50
Med. sestra	8.40
Laborant	2.80
Stomatolog	2.80
Spremačica	2.80
Pneumofiziolog	2.08
Ukupno	100

Tabela 6. Incidenca malignih tumora po lokalizaciji u muškaraca izloženih jonizujućem zračenju i u opštoj populaciji

LOKALIZACIJA	Stopa incidence na 100 000	Sirova stopa incidence na 100 000
Pluća	89	57
Koža	30	46
Hipofarings	15	3
Larings	15	20
Debelo crevo	15	22

Tabela 7. Incidenca malignih tumora po lokalizaciji u žena izloženih jonizujućem zračenju i u opštoj populaciji

LOKALIZACIJA	Stopa incidence na 100 000	Sirova stopa incidence na 100 000
Dojka	101	96
Telo materice	45	21
Grlić materice	45	35
Koža	23	38
Jajnik	23	17
Koštana srž	11	2
Štitna žlezda	11	3
Grlo	11	2
Limfni čvor	11	1

Tabela 8. Maligni tumori kod izloženih muškaraca u periodu 1992-2002. rangirani po učestalosti

Br	Maligni tumori po lokalizaciji	N	%
1	Carcinoma pulmonum	6	54.5
2	Carcinoma cutis	2	18.2
3	Carcinoma laryngis	1	9.1
4	Carcinoma rectii	1	9.1
5	Carcinoma hypopharyngis	1	9.1
Ukupno		11	100

Tabela 9. Maligni tumori kod izloženih žena u periodu 1992-2002. rangirani po učestalosti

Br	Maligni tumori	N	%
1	Carcinoma mammae	9	36
2	Carcinoma cervicis uteri	4	16
3	Carcinoma corporis uteri	4	16
4	Carcinoma cutis	2	8
5	Carcinoma ovarii	2	8
6	Carcinoma laryngis	1	4
7	Carcinoma thyroidae	1	4
8	Leukaemia	1	4
9	Lymphoma non-Hodgkin	1	4
Ukupno		25	100

Tabela 10. Rang najčešćih malignih tumora u Srbiji po lokalizaciji i polu

Rang	Muškarci	stopa incidence *	Žene	stopa incidence *
1	Pluća	97	Dojka	96
2	Prostata	30	Grlić materice	35
3	Mokraćna bešika	26	Pluća	27
4	Debelo crevo	22.3	Telo materice	21
5	Želudac	22.2	Jajnik	17

*Sirova stopa incidence na 100 000; Prema izveštaju registra za rak za centralnu Srbiju (2000god.)

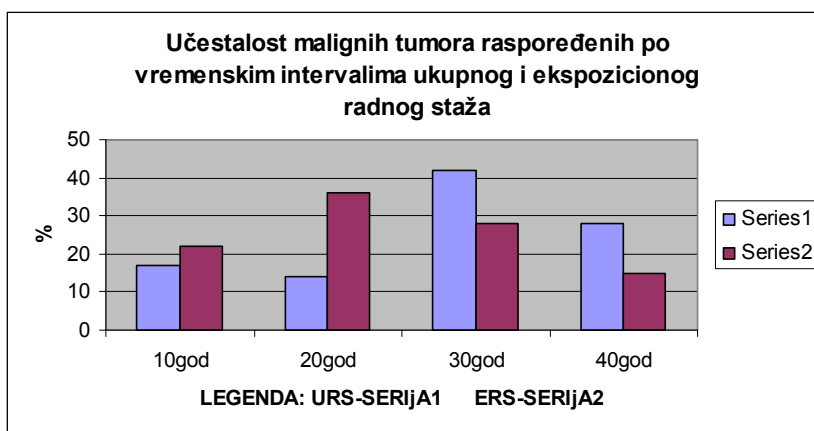
Tabela 11. Prosečan godišnji mortalitet

Stopa na 100.000	Muškarci	Žene
Izložena populacija	44	11
Opšta populacija	267	191

Tabela 12. Preminuli radnici u zoni jonizujućih zračenja od malignih tumora u periodu 1992-2002.

Br	Pol	Godine u trenutku smrti			Zanimanje	Hromozomske aberacije	Lokalizacija malignih tumora
		Godine života	URS	ERS			
1	Muški	62	40	30	Radiolog	0	Pluća
2	Muški	52	32	28	Rtg-tehničar	0	Pluća
3	Ženski	56	37	31	Viši rtg-tehničar	Dicentrik	Materica
4	Muški	61	20	20	Rtg-tehničar	Acentrik	Pluća

Uticao drugih faktora i navika kao što su dužina ekspozicije i radnog staža, pušenja i naslednog faktora, pokazani su na grafikonu 1 i tabelama 13.



Grafikon 1. Uticaj radnog staža i dužine ekspozicije

Tabela 13. Uticaji naslednog faktora i pušenja

Nasledni faktor	Maligni tumori	
	n	%
Da	12	33.4
Ne	24	66.6
Ukupno	36	100

Pusenje	Maligni tumori	
	n	%
Da	25	69.4
Ne	11	30.6
Ukupno	36	100

Incidenca malignih bolesti je 230 na 100000 izloženih osoba. Prevalenca je 1,79% . Najveća učestalost malignih bolesti je u radioloških tehničara. Incidenca karcinoma značajno raste u radnika posle 20 godina ekspozicije malim dozama (1-2mSv) jonizujućeg zračenja. Učestalost karcinoma je veća u pušača (69,4%) nego u nepušača (30,6%), izloženih zračenju.

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ne ukazuju na povećano oboljevanje od malignih bolesti lica zaposlenih u zoni jonizujućeg zračenja u odnosu na opštu populaciju u istom vremenskom periodu i na istoj teritoriji.

LITERATURA

- [1] Milačić S. The incidence of Malignant Morbidity and Mortality in Individuals Professionally Exposed to ionizing Irradiation, 11th International Congress of the International Radiation Protection Association 22- 28 May 2004, Madrid. Spain. Proceeding of the IRPA 11, published on CD (ful paper) 2004; Produced by SENDA, ISBN: 84-87078-05-2 available on line et www. IRPA 11.com
- [2] Milačić S. Učestalost hromozomskih aberacija pod uticajem malih doza jonizujućeg zračenja, Zbornik XXII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja Petrovac 2003:315-318.
- [3] Milačić S. Promene u kariotipu limfocita radnika na rendgenu, Zbornik XXII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja Petrovac 2003:311-314.
- [4] Milačić S. Changes in Leukocytes Caused by Tritium contamination, Health Physics 2004; 86(5) : 457-459.
- [5] Milačić S. The Frequency of Chromosomal Lesions and Damaged Lymphocytes of Workers Occupationally Exposed to x-rays, Health Physic 2005; 88(4):334-339.

ABSTRACT

THE INCIDENCE OF MALIGNANT DISEASES IN OCCUPATIONAL EXPOSURE TO LOW LEVEL IONIZING RADIATION

S. Milačić, T. Pekmezović¹, T. Dašić

Institute of Occupational Medicine and Radiological Protection, Belgrade

¹ University of Belgrade, Faculty of Medicine, Institute of Epidemiological

Introduction. Lots of epidemiological data as well as experimental studies indicate carcinogenic effect of ionizing irradiation. Occurrence of malignant diseases in individuals professionally exposed to low level ionizing irradiation has been suggested by several studies.

Method. Morbidity and mortality induced by malignant diseases in cohort of 1560 individuals working in the area of ionizing irradiation, were analysed. Degree of irradiation was recorded by TL (Thermo-Luminescent) personal dosimeters, the regular health check-ups and biodosimetric data (chromosome aberrations). There were used conventional epidemiological method for calculating incidence, prevalence, morbidity, mortality in the retrospective cohort's study.

Results. The results of the regular health check-ups and dosimetric data were used for evaluation of the radiation risk and calculation of the expected incidence of malignancies with fatal outcome, during 10 years, from 1992 to 2002 year. Incidence of malignancies is 230 on 100000 exposed individuals. Prevalence is 1,79%. High incidence of malignancies has found in x-ray technicians. The incidence of carcinoma significantly increased in workers after 20 years of exposure to low level (1-2mSv) ionizing radiation. The frequency of carcinoma is higher in smokers (69,4%) than in nonsmokers (30,6%), exposed to radiation.

Conclusion. The actual annual rate of malignancies not significantly different from incidence of malignant diseases in general population.

VREMENSKI ZAVISTAN EFEKAT JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA HIDROLIZU VANČELIJSKOG ATP-a U MOZGU ŽENKI PACOVA

A. Horvat, S. Petrović, Maja Milošević,
I. Stanojević, M. Demajo
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju, INN Vinča

SADRŽAJ

*Cilj ovog rada je izučavanje vremenski-zavisnog efekta letalne doze jonizujućeg zračenja na aktivnost membranski-vezanog enzima, ekto-nukleotidtrifosfo difosfohidrolaze (NTPDaze), odgovornog za hidrolizu vančelijskog adenozintrifosfata (ATP) u nervnim završetcima mozga ženki pacova. Ženke pacova su nakon imobilizacije izložene γ -zracima (^{60}Co , dozom 9,6Gy, 10,7cGy/min) i označene kao zračena grupa (Z). Druga grupa životinja je tretirana kao i Z, samo što nisu bile izložene ozračivanju i označene su kao imobilisana grupa (I) i treća grupa životinja je bila u fiziološkim uslovima i označena kao kontrolna grupa (K). Sve tri grupe životinja su žrtvovane 1h, 24h i 72h nakon ozračivanja Z grupe. Iz celih mozgova izolovane su plazma membrane presinaptičkih nervnih završetaka (SPM), a aktivnost NTPDaze je praćena na osnovu nivoa hidrolize ATP-a u *in vitro* uslovima. Rezultati istraživanja su pokazali da 1-72 sata nakon stresa nivo hidrolize ATP nije promenjen u odnosu na kontrolne životinje. Ozračivanje celog tela dozom od 9,6Gy smanjuje aktivnost NTPDaze, već 1h nakon ozračivanja kako u odnosu na I, tako i u odnosu na K životinje i ostaje na istom nivou sve do 72h nakon ozračivanja.*

UVOD

U centralnom nervnom sistemu, vančelijski purinski nukleotidi, adenozintrifosfat (ATP) i njegovi derivati, pored uloge neurotransmitera i neuromodulatora [1], uključeni su u procese neurogeneze i čelijske adhezije kao i u procese nastanka apoptoze [2]. Nakon depolarizacije nervnih ćelija iz sinaptičkih vezikula se oslobađa ATP u vančelijski prostor zajedno sa drugim neurotransmiterima, i moduliše nervnu aktivnost delovanjem na jonotropne (P2X) ili metabotropne (P2Y) receptore. U fiziološkim uslovima, purinergička signalizacija se završava brzim hidrolizom ATP-a do adenzina, lancem ekto-nukleotidaza. NTPDaza (ekto-nukleotid trifosfo difosfohidrolaza) je membranski vezani enzim koji hidrolizuje vančelijski ATP i ADP jer mu je mesto za vezivanje substrata okrenuto ka vančelijskom prostoru. Maksimalna katalitička aktivnost ovog enzima prilagođena je na vančelijsku sredinu i zahteva prisustvo dvovalentnih jona: Ca^{2+} i Mg^{2+} , i alkalni pH. Ovaj enzim je neophodni inaktivirajući agens u purinergičkoj signalizaciji [3], i omogućuje brzu eliminaciju njihovih citotoksičnih efekata, a kao produkt nastaje adenzin kao neuroprotektivni molekul.

Poznato je da jonizujuće zračenje može modulisati aktivnost nervnih ćelija delovanjem na membranske receptore i enzime, kao i na puteve signalne transdukcije [4].

Otpuštanje i hidroliza nukleotida, nakon depolarizacije u fiziološkim uslovima, može biti modulirano različitim endo- i egzogenim faktorima. Dramatičnije oslobađanje ATP-a i ostalih purina se dešava nakon velikih oštećenja ćelija (nakon traume mozga ili ishemije) pa i nakon ozračivanja jonizujućim zračenjem, kada se u vanćelijskoj sredini mogu naći velike koncentracije purina. Jonizujuće zračenje može indukovati oštećenja tkiva preko različitih simultanih puteva, genozom slobodnih radikala, preko lipidne peroksidacije i nastajanjem oksidativnih oštećenja indukovanih ROS-om (reaktivne kiseonične vrste). Endogeni antioksidanti eliminišu akumulaciju ROS-a u fiziološkim uslovima. Izlaganjem egzogenim agensima, količina ROS-a može prevazići kapacitet antioksidanata i izazvati oksidativni stres u nervnim ćelijama [5] kao i u ćelijama ostalih tkiva.

Kako se jonizujuće zračenje primenjuje u dijagnostičke i terapijske svrhe, svi efekti na različite procese u ćeliji do kojih ono dovodi nisu poznati, cilj ovog rada je ispitivanje efekta jonizujućeg zračenja na hidrolizu vanćelijskog ATP-a, odnosno na aktivnost NTPDaze, u zavisnosti od vremena proteklog od jednokratnog izlaganja celog tela životinja letalnoj dozi jonizujućeg zračenja.

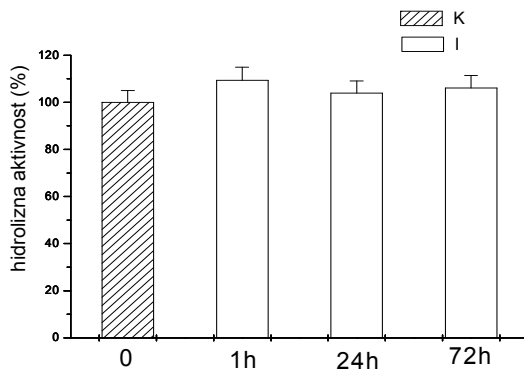
MATERIJALI I METODE

Ženke pacova soja Wistar stare oko 3,5 meseca, podeljene su u tri grupe: prva, kontrolna grupa (K) u toku eksperimenata držana je u fiziološkim uslovima, druga grupa životinja, stavljana je u kutije od šper-ploče i zračena (Z). Treća grupa životinja, imobilisane (I), je stavljana u kutije od šper-ploče, ali nije bila izložena zračenju. Kao izvor jonizujućeg (gama) zračenja korišćen je ^{60}Co , a celo telo životinja zračeno je jednokratnom dozom od 9,6Gy (10,7cGy/min). Nakon tretmana i ozračene i imobilisane kontrolne životinje izvađene su iz kutija i vraćene u fiziološke uslove u kojima su gajene, do žrtvovanja. Životinje su žrtvovane 1h, 24h i 72h nakon ozračivanja Z grupe. Izolovane su plazma membrane iz prečišćenih presinaptičkih nervnih završetaka (SPM) izolovanih iz celih mozгова. Aktivnost NTPDaze, odnosno nivoa hidrolize ATP-a meren je kolorimetrijskim određivanjem produkta hidrolize ATP, oslobođenog neorganskog fosfata (Pi), u prisustvu 40 μg SPM proteina, 1mmol/l ATP, 5 mmol/l MgCl_2 , 50 mmol/l Tris-HCl, pH 7.8, u trajanju od 10 min na 37°C. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost \pm SEM iz tri nezavisna eksperimenta rađena u triplikatu, iz tri ponovljena zračenja. Za statističku analizu korišćen je t-test, sa nivoom značajnosti $p < 0,05$.

REZULTATI I DISKUSIJA

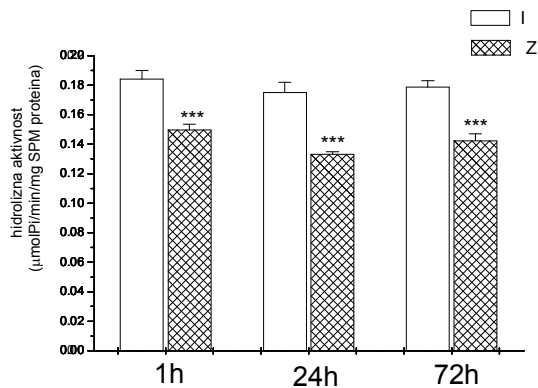
Da bi pokazali da li imobilizacija dovodi do promena u hidrolizi ATP-a, upoređena je hidrolizna aktivnost enzima SPM životinja izloženih imobilizacionom stresu i ne-tretirane kontrolne grupe. Dobijeni rezultati ukazuju da akutni imobilizacioni stres, koji je trajao oko 90 min nema efekta na hidrolizu ATP-a (slika 1). Ovi rezultati su u saglasnosti sa podacima iz literature gde je pokazano da se ATPazna aktivnost povećava ukoliko je imobilizacija trajala duže od 120 min [6].

Na slici 2. prikazani su rezultati ispitivanja vremenski-zavisnog efekta jonizujućeg zračenja (Z) i imobilizacije (I) na hidroliznu aktivnost enzima. Nakon ozračivanja letalnom dozom (9,6Gy), već 1h nakon zračenja dolazi do značajne inhibicije enzimske aktivnosti u odnosu na imobilisanu kontrolu ($p < 0,001$) i nivo inhibicije enzimske aktivnosti se ne menja do 72h nakon ozračivanja.



Slika 1. Efekat imobilizacionog stresa na hidrolizu ATP-a u zavisnosti od vremena proteklog od imobilizacije (I), prikazan u relativnim jedinicama, kao procenat hidrolize ATP-a u odnosu na netretiranu kontrolu (100%-K).

U literaturi postoje podaci o značajnoj redukciji aktivnosti nekih membranskih enzima u mozgu pacova nakon ozračivanja [7], zbog promena u molekularnoj strukturi enzima (odgovornih za hidrolizu supstrata) koje mogu redukovati afinitet aktivnog centra enzima za supstrat ili smanjiti nivo disocijacije kompleksa enzim-supstrat [8]. Slobodni radikali generisani visokim dozama zračenja dovode do peroksidacije membranskih lipida što dovodi do poremećaja anatomskog integriteta i fluidnosti membrane, a kao posledica može doći do inhibicije aktivnosti membranskih enzima.



Slika 2. Hidrolizna aktivnost NTPDaze u zavisnosti od vremena proteklog od zračenja. Nivo hidrolize ATP prikazan kao specifična aktivnost ($\mu\text{molPi}/\text{min}/\text{mg}$ SPM proteina), 1h, 24h i 72h nakon ozračivanja životinja dozom od 9,6Gy (Z) u odnosu na imobilisane (I) životinje. Statistička značajnost: *** $p < 0,001$.

Reaktivne oksidovane vrste takođe mogu oksidovati tiolne grupe u strukturi enzima i formirati disulfidne veze [9]. Kako u amino-kiselinskoj sekvenci NTPDaza postoje konzervirani vančelijski cisteinski regioni [10], može se pretpostaviti da je uzrok inhibicije aktivnosti NTPDaza u mozgu pacova izloženih zračenju, oksidacija ovih amino-

kiselinskih grupa i formiranje ili raskidanje disulfidnih mostova što bi moglo dovesti do promene u strukturi enzima i do progresivnog smanjenja aktivnosti enzima.

Zahvalnica: Ova istraživanja finansiralo je MNZŽS Srbije, projekat br. 1956. Zahvaljujemo se kolegama iz Lab. Za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine INN "Vinča", za pomoć pri ozračivanju i dozimetriji.

LITERATURA

- [1] Zimmermann H, 1994. Signaling via ATP in the nervous system. Trends. Neurosci. 17,420-426.
- [2] Weaver D.R, 1996. A₁-adenosine receptor gene expression in fetal rat brain. Dev.Brain Res. 94,205-223
- [3] Zimmerman H, 2000. Extracellular metabolism of ATP and other nucleotides. Naunyn-Schmiedeberg's Arch.Pharmacol. 362,299-309.
- [4] Hunt W.A, Dalton T.K, 1981. Synthesis and degradation of cyclic nucleotides in brain after a high dose of ionizing radiation. Radiat.Res. 85,604-608.
- [5] Halliwell B, 1989. Protection against tissue damage in vivo by desferrioxamine: what is its mechanism of action? Free Radic.Biol. Med, 7,645-651.
- [6] Tsakiris S, Kontopoulos A.N, 1993. Time changes in Na⁺,K⁺-ATPase, Mg²⁺-ATPase and acetylcholinesterase activities in the rat cerebrum and cerebellum caused by stress. Pharmacol.Biochem. Behav, 44,339-342.
- [7] Othman A.L, 1995. Modification of irradiation effect by ascorbic acid. J.Egypt.Ger.Soc.Zool, 17, 109-120.
- [8] Dreval V.I, 1992. The effect of ionizing radiation on the Ca²⁺,Mg²⁺-ATPase activity of plasma membranes. Radiobiol. 32,222-224.
- [9] Multon E, Lehmann S, Fournier C, Fatome M, 1994. Study of acetyl- cholinesterase activity of murine neuroblastoma NIE-115 after γ -irradiation. Travaux Scientificatus des chercheurs du Service de Sante des Armees, 10,45-46.
- [10] Wang T.F, Rosenberg P.A, Guidotti G, 1997. Characterization of brain ecto-apyrase: evidence for only one ecto-apyrase (CD39) gene. Mol.Brain Res, 47,295-302.

ABSTRACT

TIME-DEPENDENT IONISING IRRADIATION EFFECTS OF EXTRACELLULAR ATP HYDROLYSIS IN FEMALE RAT BRAIN

A. Horvat, S. Petrović, M. Milošević, I. Stanojević, M. Demajo
Laboratory for Molecular Biology and Endocrinology
"Vinča" Institute of Nuclear Sciences, Belgrade

The aim of this work is to study time-dependent effect of lethal dose of ionising irradiation on membrane-bound enzyme (NTPDase) which hydrolyses extracellular ATP in neuronal cell endings of female rat brain. After immobilization, female rats were exposed to whole-body γ -ray radiation (⁶⁰Co, 9,6Gy, 10,7cGy/min) denoted as irradiated group (Z). Another group was treated as Z but not irradiated and denoted as immobilised (I) and third group was under physiological conditions-control group (K). All groups were sacrificed 1h, 24h and 72h after irradiation of Z group. Synaptic plasma membranes (SPM) were isolated from whole brains and NTPDases activity were determined by monitoring ATP hydrolyses *in vitro*. It was shown that the levels of ATP hydrolyses were not affected within 72h by immobilisation. Whole-body irradiation with 9.6Gy decreased SPM NTPDase activity as early as 1h after irradiation, and remained at the same level 72h after irradiation.

EFEKAT FLAVONOIDA PROCIJANIDOLA NA UČESTALOST MIKRONUKLEUSA U HUMANIM LIMFOCITIMA OZRAČENIM IN VITRO

M. Stanković, A. Leskovic, S. Petrović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za fizičku hemiju

SADRŽAJ

U radu je praćena promena učestalosti mikronukleusa u neozraćenim i ozraćenim kulturama humanih limfocita tretiranih ($0,87\mu\text{M}$ i $4,37\mu\text{M}$) procijanidolom. Učestalost mikronukleusa u uzorcima koji su tretirani $0,87\mu\text{M}$ procijanidolom je ~40% manje u odnosu na učestalost mikronukleusa kontrolnih uzoraka, dok je u ozraćenim uzorcima tretiranim $0,87\mu\text{M}$ procijanidolom, učestalosti mikronukleusa ~15% manje u odnosu na učestalost mikronukleusa ozraćene kontrolne grupe. Ovako značajno smanjenje učestalosti mikronukleusa u uzorcima tretiranim $0,87\mu\text{M}$ procijanidolom potvrđuje njegov značajan protektivni efekat na kulture humanih limfocita.

UVOD

Ubrzani razvoj nauke i tehnologije doprineo je da se neprekidno povećava broj raznovrsnih genotoksičnih agenasa, prisutnih u životnoj sredini. Pojačano stvaranje slobodnih radikala mogu favorizovati spoljašnji činioci kao što su: jonizujuće zračenje, metaboliti različitih toksičnih jedinjenja i lekova kao i povećana koncentracija kiseonika. U uslovima nekontrolisanog stvaranja slobodnih radikala, njihova količina može prevazići kapacitet ćelije i tada nastaje oksidativni stres.

Baldi i saradnici [1], su izvršili kvalitativnu i kvantitativnu analizu polifenola iz grožđa i vina i zatim ispitivali antioksidativnu aktivnost frakcija i nekih pojedinačnih komponenti *in vitro* i *ex vivo* i pokazali da su frakcije koje sadrže proantocijanidole najefikasniji hvatači slobodnih radikala. Proantocijanidoli su proizvodi polimerizacije flavan-3-ola do oligomera. To su jedinjenja koja pripadaju grupi flavanola koji su derivati fenil-2-hromana. Osnovni skelet, kao i kod flavonoida, čine dva benzenova prstena (A i B) i jedan oksidovani heterociklični prsten. Za njih je karakteristično da pored OH grupe na C_3 atomu, istu funkcionalnu grupu uvek imaju i na C_7 i C_4 atomima. Gotovo sve aktivnosti proantocijanidola zasnivaju se na njihovoj antioksidativnoj aktivnosti dobrih hvatača slobodnih radikala [2,3]. Zahtevi za maksimalnom tačnošću i sigurnošću u ispitivanju oštećenja nastalih delovanjem jonizujućeg zračenja i genotoksičnih agenasa, na humanu populaciju su sve veći, jer čak i male nepravilnosti pri tako osetljivim istraživanjima mogu imati značajne posledice. U vezi sa tim analiza mikronukleusa citohalazin-B metodom za sada predstavlja najbolje rešenje. Sigurnost citohalazin-B mikronukleusnog testa zasniva se na činjenici da se iz jednog uzorka može analizirati više desetina hiljada binuklearnih limfoblasta, što daje objektivnu sliku učestalosti i distribucije hromozomskih aberacija. Osnovna prednost citohalazin-B mikronukleusnog testa je pouzdana identifikacija ćelija

koje su prošle samo jednu deobu. Danas, citohalazin-B mikronukleusni test nalazi široku primenu u ispitivanju mutagenog efekta različitih agenasa. Od strane velikog broja autora ova metoda je predložena kao alternativa za dugotrajne metafazne analize hromozoma [5], naročito kada se radi o populacionim monitoring studijama u kojima je potrebna brza i precizna informacija da li je data supstanca genotoksična ili ne.

MATERIJAL I METODE

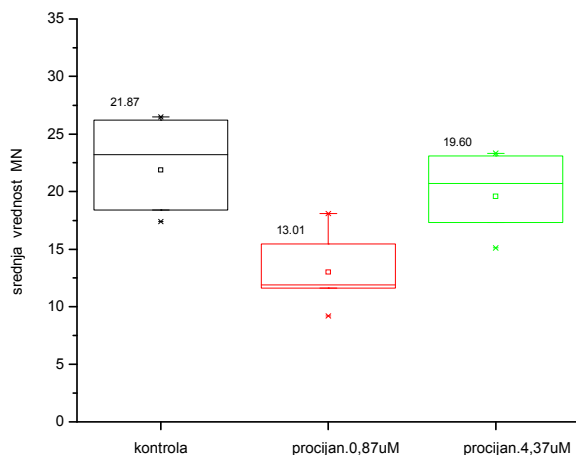
Za analizu mikronukleusa korišćeni su kriterijumi Countryman and Heddle [4]. Preparacija je obavljena po metodi Fenech and Morely [5]. Pregledano je 1000 binuklearnih ćelija po uzorku.

REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom radu smo pratili promenu učestalosti mikronukleusa u neozračenim i ozračenim kulturama humanih limfocita tretiranih ($0,87\mu\text{M}$ i $4,37\mu\text{M}$) procijanidolom.

Na grafiku:1, je prikazana učestalost mikronukleusa u neozračenim uzorcima koji su tretirani različitim koncentracijama procijanidola ($0,87\mu\text{M}$, $4,37\mu\text{M}$).

Srednja vrednost učestalosti mikronukleusa u kontrolnim uzorcima iznosi: $21,87\pm 3,99$. U uzorcima koji su tretirani $0,87\mu\text{M}$ procijanidolom, srednja vrednost učestalosti mikronukleusa je $13,01\pm 3,20$ (~40% manje u odnosu na učestalost mikronukleusa kontrolnih uzoraka). Srednja vrednost učestalosti mikronukleusa u uzorcima tretiranim $4,37\mu\text{M}$ procijanidolom, iznosi: $19,60\pm 3,32$ (~10% manja učestalost mikronukleusa nego u kontrolnim uzorcima), (grafik:1).

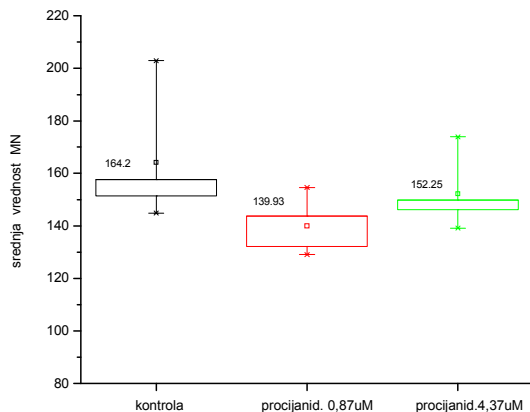


Grafik:1. Srednja vrednosti MN u neozračenim kontrolnim uzorcima uzorcima tretiranim procijanidolom

Dobijeni rezultati pokazuju da postoji statistički značajna razlika u učestalosti mikronukleusa između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih procijanidolom u koncentracijama: $0,87\mu\text{M}$; $4,37\mu\text{M}$, ($t = 7,51$; $p = 0,0006$., $t = 2,83$; $p = 0,036$). Statistička značajnost postoji i između uzoraka tretiranih koncentracijama procijanidola od $0,87\mu\text{M}$ i

4,37 μ M, ($t= 10,60$; $p= 0,00013$). Rezultati ispitivanja efekata procijanidola (konc. 0,87 μ M, 4,37 μ M) na ozračenim ćelijskim kulturama, prikazani su na grafiku:2).

Srednja vrednost učestalosti mikronukleusa u ozračenim kontrolnim uzorcima iznosi 164,20 \pm 26,32. U ozračenim uzorcima tretiranim 0,87 μ M procijanidolom, srednja vrednost učestalosti mikronukleusa je 139,93 \pm 11,67 (~15% manje u odnosu na učestalost mikronukleusa u kontrolnim uzorcima), a u ozračenim uzorcima tretiranim 4,37 μ M procijanidolom, srednja vrednost učestalosti mikronukleusa je 152,25 \pm 15,09 (što predstavlja smanjenje učestalosti mikronukleusa za 7% u odnosu na kontrolne uzorke), grafik 2.



Grafik:2. Srednja vrednosti MN u ozračenim kontrolnim uzorcima i u ozračenim uzorcima tretiranim procijanidolom

Rezultati dobijeni T-testom, pokazuju da nema statistički značajne razlike između ozračenih kontrolnih uzoraka i ozračenih uzoraka tretiranih 0,87 μ M i 4,37 μ M procijanidolom ($t=3,01$; $p= 0,057$., $t= 2,09$; $p= 0,127$).

Postoji korelacija između ozračenih kontrolnih uzoraka i ozračenih uzoraka tretiranih 4,37 μ M procijanidolom ($r=0,99$; $t=13,05$; $p=0,006$).

Ovako značajno smanjenje učestalosti mikronukleusa u uzorcima tretiranim 0,87 μ M procijanidolom potvrđuje njegov značajan protektivni efekat na kulture humanih limfocita. Ovaj rezultat je u toliko značajniji kad se zna da veštački protektori, (npr. Amifostin WR-2721) mogu da smanje učestalost mikronukleusa najviše za 20% u odnosu na kontrolne uzorke. Smatra se da dobra protektivna svojstva procijanidola potiču od njegove strukture. Uzimajući u obzir sve strukturne karakteristike procijanidola, u našem radu je pokazano da B2 dimeri (procijanidol 3-O-galat), predstavljaju najefikasnija jedinjenja u uklanjanju slobodnih radikala i za oko 40% smanjuju učestalost mikronukleusa u odnosu na kontrolne vrednosti. Procijanidoli efektivno štite ćeliju od jonizujućeg zračenja i pokazuju snažan antioksidativni efekat.

ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni u ovom radu su pokazali, da se genotoksični i citotoksični efekti u kulturama humanih limfocita, izazvani produkcijom slobodnih radikala, mogu meriti preko učestalosti mikronukleusa (markera DNK oštećenja). Najveći sadržaj proantocijanidola u grožđu imaju semenke [6,7], a od svih do sada ispitanih sorti, sivi

burgundac je u njima najbogatiji [8]. Procijanidoli sprečavaju oksidativnu degradaciju vitamina C, imaju antimutagena svojstva, a pokazali su se i kao efikasni inhibitori indukcije kancerogeneze. Brojna istraživanja su pokazala da vino sadrži veliku količinu derivata katehina-proantocijanodole, koje nemaju drugi proizvodi. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da bi procijanidoli mogli biti odgovorni za pozitivna fiziološka svojstva crvenih vina.

LITERATURA

- [1] Baldi,A.,Mulinacci,N.,Vincieri,F.,Ghiselli,A.: The antioxidant potencies of some polyphenols in grapes and wines. In Watkins TR, ed .Wine Nutritional and therapeutic benefits Washington DC: ASC, 166-179, (1997).
- [2] Bagchi,D.,Garg.A.,Krohn,R.L.,Bagchi,M.,Bagchi,D.J.,Balmoori,J.,Stohs,S.J.: Protective effects of grape seed proanthocyanidins and selected antioxidants against TPA-induced hepatic and brain lipid peroxidation and DNA fragmentation, and peritonealmacrophage activation in mice. *Gen.Pharmacol.* 30: 771-776, (1998).
- [3] Joshi,S.S.,Kuszynski,C.A.,Benner,E.J.,Bagchi,M.,Bagchi,D.: Amelioration of the cytotoxic effects of chemotherapeutic agents by grape seed proanthocyanidin extract. *Antioxid. Redox. Signal.* 1: 563-570 (1999).
- [4] Countryman,P.I., and Heddle,J.A.: The production of micronuclei from chromosome aberration in irradiated cultures of human lymphocytes. *Mut.Res.*, 41, 321-332, (1976).
- [5] Fenech,M., and Morley,A.A.: The cytokinesis-block micronucleus technique: A detailed description of the method and its application to genotoxicity studies in human population. *Mutation Research.*, 285, 35-44, (1993).
- [6] Sun,SB.,Rinto,T.,Leandro,CM.,Ricardo da Silva,MJ.,Spranger,IM.:Transfer of catechins and proanthocyanidins from solid parts of the grape cluster into wine. *Am.J.Enol.Vitic.* 50:179-184 (1999).
- [7] Revilla,E.,Alonso,E.,Kovač,V.: The content of catechins and proanthocyanidins in grapes and wines as affected by agroecological factors and technological practices. In: Watkins TR,ed. *Winw: Nutritional and therapeutic benefits.* Washington DC: ASC, 69-80, (1997).
- [8] Kovač,V.,Pekić,B.: Procijanidoli grožđa i vina. *Savr. poljoprivreda*, 39:5-17, (1991).

ABSTRACT

THE EFFECT OF FLAVONOID PROCYANIDOL ON INDUCTION OF MICRONUCLEI IN HUMAN LYMPHOCYTES EXPOSED TO IONIZING RADIATION *IN VITRO*

M. Stanković, A. Leskovic, S. Petrović
Institute of Nuclear Sciences "Vinca" Physical Chemistry Laboratory

Phenolic components (procyanidols), common to red wine may be important in prevention of oxidative DNA damage. We have tested the hypothesis that the phenolic components of red wine are protective against the DNA-damaging by γ -radiation in vitro. The procyanidol (concentration, 87 μ M), added to unirradiated and irradiated samples, significantly reduced the yield of micronuclei, ~40% and ~15%, respectively. The study confirms strong radioprotective properties of procyanidols.

**PRIKAZ SLUČAJA KONTAMINACIJE RADNIKA
U INCIDENTU NA REAKTORU RA
U INSTITUTU ZA NUKLEARNE NAUKE „VINČA“**

Ž. Ilić, O. Čuknić, S. Milanović, J. Perišić, I. Miljković-Šukalo,
J. Đurić, G. Vasilev, G. Joksić, V. Pavelkić, J. Konstantinović¹
Institut za nuklearne nauke „Vinča“
¹ Medicinski fakultet Novi Sad

SADRŽAJ

U ovom radu opisan je incident koji se dogodio 22. 02. 2005. godine na reaktoru RA u INN „Vinča“, kada je radnik D. L. u toku tehničkih priprema za izvođenje eksperimenta upao u bazen u kojem je uskladišteno isluženo gorivo sa reaktora RA. Rad sadrži opis primenjenog medicinskog tretmana u postupku humane dekontaminacije u Zavodu za radiološku zdravstvenu zaštitu „Vinča“, ocenu trenutnog zdravstvenog stanja pacijenta i procenu efekta incidenta na njegovo zdravlje u budućnosti.

UVOD

Institut za nuklearne nauke „Vinča“ u Beogradu obzirom na nuklearne sadržaje koje u svom sastavu poseduje, predstavlja ustanovu povećanog rizika u pogledu realne opasnosti od radijacionih akcidenata različitih obima. Iz tih razloga nikako se ne sme izgubiti iz vida potencijalna opasnost od moguće radiokontaminacije kako radnika zaposlenih u objektima sa nuklearnim sadržajima, tako i životne sredine u okolini Instituta.

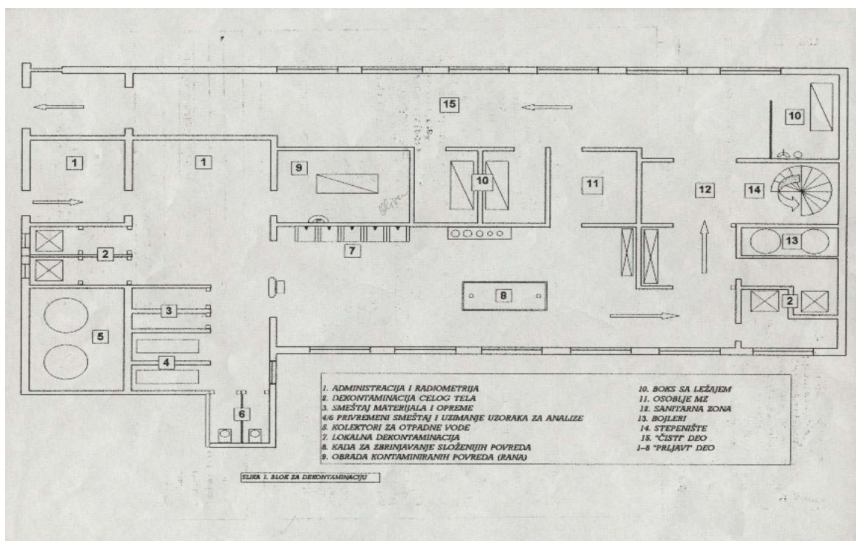
U INN „Vinča“ u Beogradu se od osnivanja Instituta desilo više radijacionih akcidenata. Najveći i najpoznatiji među njima je onaj iz 1958. godine, kada je na reaktoru RB ozračeno i od akutne radijacione bolesti obolelo šestoro radnika Instituta, od kojih je jedan preminuo u toku lečenja u Francuskoj. Na sreću, akcident ovakvih razmera i posledica se nikada više nije ponovio. Svi dosadašnji incidenti u Institutu bili su značajno manjeg obima, i uglavnom su rešavani u Zavodu za radiološku zdravstvenu zaštitu u INN Vinča. Ovaj Zavod, tačnije Punkt za humanu dekontaminaciju u okviru Zavoda za radiološku zdravstvenu zaštitu »Vinča« u INN Vinča ima osnovnu i veoma značajnu ulogu u ostvarivanju zdravstvene zaštite i medicinskom zbrinjavanju lica kontaminiranih radioaktivnim materijalom. Dekontaminacija ovih lica obavlja se prema zakonskoj regulativi sadržanoj u Zakonu o zaštiti od jonizujućih zračenja i pratećim pravilnicima, oslonjenim na publikacije IAEA, pre svega na TECDOC-869 [1, 2, 3].

OPIS DOGAĐAJA

Dana 22. februara 2005.g na reaktoru RA vršene su pripreme za eksperiment vezan za realizaciju planiranih aktivnosti na projektu uklanjanja isluženog goriva iz

reaktora. Oko 10:30 h, tokom radova na platformi iznad samog bazena za isluženno gorivo, a zbog propusta u tehničkom obezbeđenju istog, došlo je do upadanja tehničara mašinske opreme reaktora RA D.L. u vodu aneksa bazena. U tom trenutku na platformi se nalazio još jedan radnik, D.M., koji je pomogao D.L. da izađe iz bazena. D.L. je izašao potpuno pokvašen bazenskom vodom čiji je glavni kontaminant cezijum Cs-137 (aktivnosti oko 90 Bq/ml) [4]. Sem kvašenja, D.L. je prilikom pada zadobio povredu sedalnog dela tela i desne butine, i veruje da nije progutao bazensku vodu tokom kratkog boravka u bazenu.

Radnik D.L. je na mestu udesa skinuo mokru radnu odeću, skupio tečnost sa tela vatrom, odlazeći sav kontaminirani materijal u posebni kontejner. Na mestu radijacionog akcidenta nije započeta dekontaminacija pranjem, niti mu je pružena prva pomoć koja bi se odnosila na dve pomenute rane, zadobijene prilikom pada. D.L. je u zaštitnom odelu, sa rukavicama, nazuvcima i kapom prebačen u Punkt za humanu dekontaminaciju Zavoda za radiološku zdravstvenu zaštitu „Vinča“ u INN „Vinča“. Dopremljen je u Zavod u pratnji i dozimetriste, gde je izvršen dekontaminacioni postupak. Na slici 1 shematski je prikazan prostor u kome je izvršen postupak humane dekontaminacije nad D.L.



Slika 1. Punkt za dekontaminaciju u Zavodu za radiološku zdravstvenu zaštitu »Vinča« (shematski prikaz)

Radnik D.M., koji mu je pomogao prilikom izlaska iz bazena, takođe je primljen u Punkt, ali nakon procene doze odlučeno je da nema potrebe za provođenjem postupka dekontaminacije, i D.M. je podvrgnut vanrednom medicinskom pregledu, prema programu predviđenom Zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja i pratećim pravilnicima (Sl.list SRJ 46/96, Sl. list SRJ 45/97, i Sl. list SRJ 32/98). Kod njega nisu utvrđena nikakva patološka stanja .

PRINCIPI MEDICINSKOG ZBRINJAVANJA KONTAMINIRANE OSOBE


Osnovni princip medicinskog zbrinjavanja je da ono počinje odmah po prepoznavanju potencijalno kontaminirane osobe od strane dozimetriste koji detektuje i

meri nivo kontaminacije i obučenog medicinskog tehničara koji vrši medicinsku trijažu na prijemu u Punktu za dekontaminaciju, na mestu događaja. U ovom slučaju, pomenuti princip nije ispoštovan, i na mestu događanja sem skidanja kontaminirane odeće i skupljanja preostale tečnosti po telu uz pomoć sušera, nije preduzeto ništa, a prva pomoć je pružena u Punktu za humanu dekontaminaciju.

U prostoru Punkta za dekontaminaciju u kojem se vrši prijem kontaminiranih osoba zabranjeno je svako nepotrebno prisustvo drugih osoba (nekontaminiranih, ali i kontaminiranih koji nisu u postupku zbrinjavanja).

Prva pomoć uvek počinje procenom ugroženosti vitalnih funkcija, uz sagledavanje sveukupne situacije (postoji stalna opasnost od nastanka panike koju treba preduprediti), nakon čega se pristupa tzv. trijažnom monitoringu, koji obuhvata detaljno merenje nivoa prisutnog zračenja, obeležavanje „vrućih tačaka“, zamenu i pakovanje kontaminirane odeće na prvom sanitarnom propustu, otvaranje medicinskog kartona-kontaminacione liste, koji sadrži neophodne podatke kao što su ime i prezime pacijenta, starost, pol, mesto i vreme nastanka kontaminacione povrede, nivo izmerene kontaminacije, status pacijenta na prijemu, obavljene intervencije, i sve drugo što može biti od značaja za pacijenta[5,6].

O svemu se vodi precizna dokumentacija koje je jasna i pregledna i sadrži sve podatke o onome što je ikada konstatovano i urađeno, i ona prati povređenog. Na slici 2 prikazan je medicinski karton koji sadrži podatke o kontaminiranoj osobi, izvršenoj dekontaminaciji i obavljenim medicinskim pregledima.

 INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "VINC'A" , sa poš. <small>11001 Beograd, 222 Telefon centrala: (011) 414 66 71 i (011) 42 21</small> LABORATORIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA I ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE "ZAŠTITA" <small>ul. Bata 301, 11000 Beograd</small> ZAVOD ZA RADIOLošKU ZDRAVSTVENU ZAŠTITU "VINČA" Punkt za dekontaminaciju <small>ul. Bata 301, 11000 Beograd i (011) 444 43 71, tel. 259 1702</small>				Primenjena terapija			
Ime i prezime, godina rođenja				Objektivni nalaz	psih.stanje	neupadljiv agitovan depresivan	somnolent komatozan
Radna organizacija					cefalea	ne	da
Datum prijema					nauzea		
Pol					vomitus		
Identifikacija medicinskog osoblja					diarhea		
Identifikacija akcidenta					febris		
Identifikacija dozimetrije					puls		
Primenjena dekontaminacija					vertigo		
Primenjena lična zaštita					tensio arter.		
Klinički simptomi na prijemu					cutis et subcutis	normalan nalaz	edem, eritem, bule
				Laboratorijske analize			
				hematologija			
				urin			
				hromozomske aberracije			
				ostalo:			
				Džurni lekar			

Slika 2. Medicinski karton kontaminirane osobe primljene u Punkt za humanu dekontaminaciju Zavoda za radiološku zdravstvenu zaštitu „Vinča“.

U vođenju dokumentacije posebnu ulogu ima detaljno uzeta anamneza, pre svega radna i lična, jer ona po pravili sadrži podatke koji su od ogromnog značaja za procenu zdravstvenog stanja pacijenta nakon okončanja postupka.

Sledeći korak je otpočinjanje dekontaminacionog tretmana (slika 3), koji se sastoji od opšteg ili lokalnog spoljašnjeg pranja primenom neutralnog sapuna (pH oko 5) ili blagog rastvora (2-5%) deterdženta, uz primenu meke četke od prirodne dlake ili tampona od sanitetske gaze, mlakom tekućom vodom, u za to specijalno namenjenim prostorima sa posebnim odvodom vode. Primena vruće vode i sredstava koja izazivaju hiperemiju kože zabranjena je zbog smanjenja mogućnosti prodora kontaminanta u krvne sudove kože.



Slika 3. Dekontaminacija pranjem

U postupku humane dekontaminacije veoma je važna dobra procena stepena kontaminacije kože i vidljivih sluzokoža. Koža je organ čija je kontaminacija usvakom incidentu praktično neizbežna, i ta kontaminacija predstavlja najveći rizik skopčan sa radom sa radioaktivnim materijalima. Pri tome, apsorbovana doza iznad određenog praga, može promeniti kako morfologiju, tako i funkciju kože. Stepenn oštećenja kože zavisi od veličine primljene doze, prirode zračenja, dužine ozračivanja, rastojanja između kože i izvora kontaminacije, veličine polja ozračenog kože i njene anatomske lokalizacije. Zato je važno definisati vreme kontaminacije, dužinu trajanja kontaminacije, vrstu prisutnog radionuklida, površinu polja i topografiju kontaminirane kože kao i trajanje različitih etapa kontaminacije, jer suština dekontaminacije kože jeste uklanjanje radionuklida i redukcija prisutne doze. Kako je koža po svojoj prirodi dinamički organ koji se neprekidno obnavlja iz svog bazalnog sloja, njena ćelijska dinamika pomaže „samodekontaminaciji“

Zato se posebno pažljivo peru ruke, kosa, lice, odnosno delovi tela koji su „otkriveni“, i to obilnim pranjem koje u jednom intervalu traje 3-5 minuta, a zatim se nakon brisanja i sušenja, vrši kontrolno dozimetrijsko merenje. Ukoliko je i dalje prisutna aktivnost, čitav postupak pranja ponavlja se bar još 2-3 puta, sve do pada doze i njenog održavanja na nivou oko ili ispod ispod 10 $\mu\text{Sv/h}$, ako je moguće. Pranje se uvek višekратно ponavlja uz primenu isključivo mlake, skoro hladne vode i nekog od sredstava za dekontaminaciju.

Osnovna sredstva za spoljašnju dekontaminaciju čine pH neutralni sapuni i deterdženti, koji emulzifikuju i rastvaraju kontaminaciju i uz mlaku tekuću vodu uspešno uklanjaju čestice radionuklida sa površine kože. Primena abrazivnih sapuna ili granula veoma je ograničena i svedena na uklanjanje pre svega lokalnih „vrućih tačaka“ kako bi se izbeglo sekundarno oštećenje kože i otvaranje direktnog puta unosa nuklida u dublje slojeve kože. Ponekad je dobro primeniti čak i fino šmirglanje radi brzog uklanjanja lokalizovane kontaminacije. Tabela 1 daje nam pregled najčešće korišćenih sredstava za dekontaminaciju [7,8].

Tabela 1: Najčešće primenjivana sredstva za dekontaminaciju

SREDSTVO	OSOBI NE	PRIMENA
Običan sapun	mala kiselost, pH 5	pranje kose i kože
Helatogeno sredstvo	DTPA 1% kiseli rastvor pH4	pranje kose i kože, kontaminacija transuranima
	EDTA 10 %	pranje kose i kože, kontaminacija transuranima i metalima- Co, Mn, Zn, Fe
Hipermangan	Ka-permanganat, 5% vodeni rastvor, jako oksidaciono sredstvo, skida rožasti sloj kože	NE za lice, genitalije i prirodne otvore, odmah primeniti neko redukciono sredstvo
Hidroskilamin	5% sveži vodeni rastvor, jako redukciono sredstvo	nakon primene hipermangana ili lugolovog rastvora, ispirati vodom
Fiziološki rastvor	9% Na Cl, ispiranje očiju	intenzivno ispiranje očiju i sluzokoža
Acidi borici	pH 4-5, slab rastvor kiseline, traži ispiranje sa dosta vode	kontaminacija radioaktivnim fosforom,
Lugol-ov rastvor	80 g joda i 100 mg kalijum jodida	kont. jodom, ispirati vodom
Antiflogistik	mast, ide pod okluzivni zavoj, stoji 24 do 48 h	primenjuje se kod fiksirane kontaminacije

REZULTATI POSTUPKA DEKONTAMINACIJE RADNIKA D.L.

Na prijemu u Punkt za humanu dekontaminaciju, oko 11h, pacijent D.L. je bio veoma uznemiren, ali svestan, orijentisan u prostoru i vremenu i spreman za saradnju. Nije se žalio na muku, nije povraćao, nije imao simptome prostracije, nije bio febrilan, nije imao vrtoglavicu, izmerena vrednost krvnog pritiska na prijemu bila je 140/80 mmHg. Objektivni status pacijenta, nalaz na srcu, plućima, abdomenu i po ostalim organima je bio uredan. Nalaz na koži i vidljivim sluzokožama, sem povreda na butini desne noge i levom gluteusu, bio je takođe uredan. Postupak dekontaminacije preuzele su lekar i medicinska sestra, a fizičarka sa Whole Body Counter-a (WBC) nastavila je postupak merenjem aktivnosti celog tela. Nakon dozimetrijskih merenja, i saopštavanja izmerene doze od strane dozimetriste, pristupilo se spoljašnjoj humanoj dekontaminaciji. Podaci o izmerenim dozama saopštavani su usmeno, bez vođenja pisane dokumentacije o istim.

Sledi prvo tuširanje i primarna obradi rana. Konstatuju se dve rane, jedna na desnoj butini, dimenzija 6x10cm², koja je ustvari površinska oguljotina sa podlivom i hematomom, slabo krvareća, plitka. Druga rana nalazi se na levom gluteusu, prečnika nešto preko 4 cm, okruglasta je po formi, i ustvari je podliv sa hematomom i vrlo malom površinskom oguljotinom. Obe rane se primarno obrađuju, ispiranjem prema spolja, destilovanom vodom i rastvorom EDTA, zatim rastvorom rivanola. Destilovanom vodom ispiraju se oči, ušni kanali, ispiraju se usta i čiste nozdrve.

Po izvršenoj primarnoj obradi rana, ponovo je izmeren nivo kontaminacije i pacijent je upućen na ponovno tuširanje. Ono se obavlja u tuš-kabini Punkta, obilnim količinama mlake vode uz nežno trljanje neutralnim tečnim sapunom. Svako tuširanje traje oko 15 min, nakon čega se ponovo rade dozimetrijska merenja (posebno se pažljivo mere kosmati delovi). U ovom slučaju, rađena su četiri dozimetrijska merenja pre nego što se dekontaminacija mogla proceniti uspešnom, odnosno pre nego što je stabilna vrednost jačine doze pala ispod 10 μ Sv/h. Tek tada se moglo pristupiti definitivnoj obradi i previjanju obe rane, uobičajenim postupkom previjanja.

Po izvršenoj dekontaminaciji u Punktu za dekontaminaciju, pacijent se prema nalogu lekara iz Punkta, čist i spolja dekontaminiran, upućuje na WBC instalaciju za merenje aktivnosti celog tela [9,10,11]. Pacijent D.L. je oko 12:30 h preuzet od strane nadležnog fizičara, i smešten na merenje u kabinu WBC-a. Merenje je trajalo 1 sat, i po izlasku pacijenta iz WBC, odlučeno je da se pacijent koji je u dobrom opštem stanju otpusti kući, i da se sutradan ujutru, 23.02.2005. godine javi na dalja ispitivanja u Zavod za radiološku zdravstvenu zaštitu „Vinča“ i ponovno merenje interne kontaminacije u trajanju od 3 sata.

VANREDNI MEDICINSKI PREGLED RADNIKA D.L.

Dana 23. februara 2005., pristupa se kompletnom vanrednom medicinskom pregledu, prema zakonom predviđenom programu, koji obuhvata: klinički pregled lekara specijaliste medicine rada, detaljnu ličnu, porodičnu i posebno radnu anamnezu, laboratorijske analiza (hematološke, biohemijske i analiza sedimenta kao i radiotoksikološka analiza 24-časovnog urina), analizu aktivnosti alkalne fosfataze u leukocitima periferne krvi, analizu učestalosti strukturnih hromozomskih aberacija, intervju kliničkog psihologa, pregled lekara specijalista oftalmologa, neuropsihijatra, radiologa i ortopedskog hirurga. Anamnestički se dobijaju podaci da je pacijent 1981. preležao teže oboljenje pluća, da je 1991. godine imao kontaminaciju u „vrućim komorama“ reaktora RA (koja nije registrovana u njegovom zdravstvenom kartonu), da je oženjen i otac troje žive dece, da ima ukupno 39 godina radnog staža, da svih 39 godina radi u zoni jonizujućih zračenja, da je od 1989. do 1995. radio i na sečenju americujumskih traka za radioaktivne javljače požara, da je od 1989. do 1999. radio i na uklanjanju radioaktivnih gromobrana.

Posедуje TLD dozimetar koji se kontroliše u INN „Vinča“, ukupna primljena doza za period od januara 1989. do marta 2005. godine iznosi 27,86 mSv. Periodični sistematski pregled urađen novembra 2004.g. U porodičnoj anamnezi nema ničeg značajnog za hereditet. Pacijent se na pregledu žali na jake bolove u lumbosakralnom delu kičmenog stuba (verovatna posledica pada).

Što se funkcionalne dijagnostike tiče, urađen je EKG, koji je normogram, sinusnog ritma i frekvence 89/ min. Krvni pritisak je 120/80 mm Hg, radi se spirometrija koja ukazuje na vrlo lak restriktivni poremećaj ventilacije, klinički bez značaja.

Uzet je uzorak krvi za predviđene laboratorijske analize. Počinje se sa prikupljanjem 24-časovnog urina radi radiotoksikološke analize, radi procene eventualne interne kontaminacije.

Pacijent je upućen na oftalmološki pregled, psihološku obradu i neuropsihijatrijski pregled, na Rtg pregled LS- kičme i pregled specijaliste ortopeda.

Pacijentu se savetuje hidriranje, polivitaminska terapija i odmor. U toku narednih dana, pacijent je praćen svakodnevnim kontaktima u Zavodu, dolaskom na dodatna ispitivanja i kontrolne preglede.

REZULTATI DOZIMETRIJSKIH MERENJA

A. GAMASPEKTROMETRIJSKA MERENJA

Gamaspektrometrijskim merenjima sadržaja radionuklida u 24 časovnom urinu izmerena je specifična aktivnost Cs-137, i to od $1,49 \pm 0,01$ Bq/ml [4], što se tumači kao nalaz radionuklida u tragu, ali potvrđuje kontaminaciju organizma ovim radionuklidom, koji ima vreme poluraspada od 30,0 godina.

Gamaspektrometrijskim merenjima sadržaja radionuklida u celom telu na instalaciji za merenje aktivnosti celog tela (WBC - Whole Body Counter) dobijeno je da je aktivnost radioaktivnog Cs-137 u celom telu ukupno 246 Bq [4], što je znak interne kontaminacije ovim radionuklidom.

B. LIČNA DOZIMETRIJA

Prema izveštaju o ličnoj dozimetriji (TLD), za period od 01.01.2004.g do 31.12.2004.g, radnik D.L. primio je ukupnu dozu zračenja od 1,59 mSv. U periodu od januara 1989.g. do marta 2005.g. primio je ukupno 27,26 mSv.

Nakon akcidenta, lični TL dozimetar se kontaminirao i kao takav nije očitavan. Od akcidenta D.L. više nije ulazio u zonu jonizujućih zračenja i nije nosio lični dozimetar. Prema izveštaju o izmerenim i procenjenim nivoima izlaganja jonizujućim zračenjima usled pada u bazen sa isluženim gorivom reaktora RA, procenjeni ukupni nivo izlaganja kod radnika D.L. usled spoljašnjeg i unutrašnjeg izlaganja u toku akcidenta procenjen je maksimalno na $6,6 \mu\text{Sv}$ [4].

REZULTATI MEDICINSKOG PREGLEDA

Uvidom u karton sistematskih pregleda lab 150/180 dobijamo sledeće podatke: pacijent je pristupio redovnom kontrolnom sistematskom pregledu dana 22. 11. 2004 g., na pregledu vrednost leukocita je $8,5 \times 10^9/l$, a svi ostali parametri su uredni.

Sledi pregled svih rezultata dobijenih u kontrolnim pregledima rađenim od dana akcidenta do kraja jula 2005. godine:

I. Pregled hematoloških rezultata:

Tabela 2:

Datum	leukociti	granulociti	limfociti	Eritrociti
23. 02. 2005.	<u>12,9</u>	81,8	15,5	5,15
24. 02. 2005.	9,8	81,1	16,9	4,88
28. 02. 2005.	9,0	76,9	19,5	4,69
02. 03. 2005.	8,0	70,6	26,5	4,86
15. 03. 2005.	<u>15,8</u>	71,6	28,5	4,94
24. 03. 2005.	<u>11,2</u>	77,8	19,0	5,11
29. 03. 2005.	<u>14,5</u>	80,8	15,8	4,94
04. 04. 2005.	9,0	68,9	26,3	5,11
27. 06. 2005.	7,5	70,7	23,2	5,16
24. 07. 2005.	7,6	68,4	26,4	4,2

II. Alkalna fosfataza u granulocitima periferne krvi:

(referentne vrednosti: Lap score 20-100, aktivnost U/l 10-50)

sistematski pregled od 17.11.04. Lap score 66, aktivnost 34
post- accidentalno: dana 23.02.05. Lap score 52, aktivnost 27
dana 28.02.05. Lap score 204, aktivnost 104
dana 07.03.05 Lap score 212, aktivnost 109
dana 27.06.05. Lap score 124, aktivnost 54

III. Analiza učestalosti strukturnih hromozomskih aberacija:

- Nalaz hromozomskih aberacija radenih na sistematskom pregledu od 17.11.2004.g pokazuje da strukturne hromozomske aberacije nisu nađene.
- Izveštaj od 23. 02. 2005.: U analiziranom materijalu nađena su 3 hromozomska prekida (Cq 1-3, centromernog regiona 1 i 2), i dva hromatidna prekida (Dq terminalno, Bq subcentromerno). Učestalost HA je u granicama dozvoljenih vrednosti za profesionalno izložena lica.
- Izveštaj od 07.03.2005.: U analiziranom materijalu nađena su dva hromatidna prekida (Dq terminalno, Bq terminalno). Nalaz normalan.
- Izveštaj od 26.04.2005.: U analiziranom materijalu nisu nađene aberacije. Nalaz normalan.

IV. Nalaz oftalmologa:

Motilitet uredan, medije providne, VOU 1.0. FOU: Druze u obe makule (degenerativne promene). Zaključak: Potreban kontrolni pregled za 6 meseci (kontrola providnosti očnog sočiva).

V. Nalaz ortopedskog hirurga i Rtg nalaz:

Dg. Contusio regio lumbosacralis prec. lat. dex. Haematoma regio lumbosacralis dex.
Rtg: LS kičma, ne uočavaju se znaci sveže traume, prisutna spondiloartroza i sakralizacija L5. Karlica sa kukovima b.o.

VI. Izveštaj psihološkog ispitivanja:

Ispitanik je u psihološkom, a pre svega emocionalnom stanju koje je primereno situaciji u kojoj se nalazi, dijagnostikovano kao akutna reakcija na stres (Dg. F 43.0 Reactio stressogenes acuta).

VI. Izveštaj neuropsihijatra:

- 24.02.2005: Dg. F 42.0 Anksiozna reakcija na stres. Potrebno dalje praćenje kod ordinirajućeg lekara.
- 12. 05. 2005: Dg. F 43.1 Hronični posttraumatski stresni sindrom. Potrebna kontrola za dve nedelje.
- 27. 05. 2005: Dg. F 43.1 Hronični posttraumatski stresni sindrom. Potrebna kontrola za tri meseca.

VII. Rezultati merenja na WBC:

- Izveštaj o izmerenim i procenjenim nivoima izlaganja jonizujućim zračenjima pacijenta D. L. usled pada u bazen sa isluženim gorivom br. 143 urađen u INN „Vinča“ dana 23. 02. 2005. a izdat 04. 03. 2005.g ukazuje na sledeće: aktivnost Cs-137 u celom telu iznosi 246 Bq, a gamaspektrometrijska merenja sadržaja radionuklida u urinu pokazuju specifičnu aktivnost Cs-137 od $1,49 \pm 0,01$ Bq/l urina. Na osnovu ovoga, procenjeni ukupni nivo izlaganja usled spoljašnjeg i unutrašnjeg izlaganja je maksimalno procenjen na $6,6 \mu\text{Sv}$.

- Izveštaj o ispitivanju unutrašnje kontaminacije D.L. iz Nacionalnog istraživačkog instituta za radiobiologiju i radiohigijenu u Budimpešti, Mađarska [12], gde je D.L. odveden 26.04.2005.g na kontrolni pregled, sadrži podatke o izvršenom merenju na WBC, u geometriji skenirajućeg ležaja za 1500 s, koji ukazuju da je a aktivnost ^{137}Cs tada bila 60 ± 19 Bq, a aktivnost $^{60}\text{Co} < 70$ Bq, odnosno ispod minimalne detektabilne aktivnosti datog WBC-a za taj nuklid.

Izveštaj sadrži i rezultate merenja ekskrecije (merenje aktivnosti urina), urađenih 27. aprila i 09. maja 2005. godine, i to rezultate gama spektrometrijskog merenja pomoću HPG detektora (u trajanju 80 000 s), i merenja alfa zračenja pomoću PIPS silikonskih detektora nakon radiohemijskih separacija za radionuklide Am(Cm) i Pu, sa vremenom merenja od 300 000 s.

Rezultati su sledeći: dana 27. aprila, aktivnosti gama emitera u dnevnoj ekskreciji urina za Co-60 su $< 0,35$ Bq/d, za Cs-137 su $< 0,34$ Bq/d. Aktivnosti alfa emitera u dnevnoj ekskreciji urina radene su 09. maja 2005. godine i dobijeni su sledeći rezultati: Am-241 $4,1 \pm 0,37$ mBq/d, Pu-238 $< 1,4$ mBq/d, Pu-239/240 $< 0,8$ mBq/d. Pojam „<“ znači da su rezultati merenja ispod minimalne detektabilne aktivnosti.

Procena unosa i unutrašnje doze zasnovana je na rezultatima merenja *in vivo* (pomoću WBC) i *in vitro* (urin), izvršena MONDAL softverom, uz pretpostavku da je gutanje bilo verovatni način unosa. Rezultati procenjenih unosa i dobijenih efektivnih doza sumirani su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati procenjenih unosa i dobijene efektivne doze

Radionuklid	Unos (Bq)	Dobijena efektivna doza (mSv)
Co-60	< 5000	$< 1,7 \text{ E-}02$
Cs-137	100	$1,3 \text{ E-}03$
Am-241	*	*
Pu-238	< 23000	$< 5,4$

* Umesto vrednosti za Am-241 stavljen je ovaj znak, jer nalaz ovog radionuklida verovatno nema nikakve veze sa slučajem kontaminiranja [13,14].

KOMENTAR MEDICINSKIH NALAZA:

Kod pacijenta L. D., rođenog 1947 godine, i povređenog u radijacionom incidentu na reaktoru RA u INN „Vinča“ dana 22.02.2005 godine, utvrđene su sledeće dijagnoze:

T 66.0 Effectus radiationis,

D 72.8 Leucocytosis transitoria,

S 71.0 Excoriatio cutis et regio femoris lat.dex.,

S 70.0 Haemathoma regio glutei lat. dex.,

S 30.0 Contusio reg. lumbosacralis,
H 35.3 Degeneratio maculae oculi bil.,
F 43.1 Hronični posttraumatski stresni sindrom.

Spoljni uzrok povrede je:

W 88. Izlaganje jonizujućim zračenjima,

W 16. Upad u bazen

Laboratorijski rezultati u prvom danu nakon akcidenta ukazuju na povećan broj leukocita periferne krvi, kao i povećane vrednosti hemoglobina. Visoke vrednosti Hgb uobičajeni su nalaz kod radnika na Reaktoru koji rade u zoni potpritiska, a koji simulira visinsku razliku koja odgovara trajnom boravku na planini od 800 do 1000 m nadmorske visine, stimulišući eritropoezu i povišavajući nivo hemoglobina u krvi. Prvi nalaz ukazuje na verovatnu tranzitornu leukocitozu izazvanu stresom, dok dalji nalazi bele loze ukazuju na naknadnu ponovnu pojavu tranzitorne leukocitoze, koja je uobičajena ovakvim situacijama (suštinu delovanja jonizujućih zračenja na ćeliju organizma, čini oksidativni stres sa svim posledicama koje kumulativni stohastički efekti imaju na ćeliju organizma).

Analiza vrednosti i aktivnosti alkalne fosfataze u granulocitima periferne krvi ukazuje na izrazito pojačanu aktivnost granulocita periferne krvi tokom skoro tri meseca nakon akcidenta, što bi bio jedan od značajnih pokazatelja mogućih posledica delovanja malih doza jonizujućih zračenja u organizmu pacijenta.

Analiza učestalosti strukturnih hromozomskih aberacija, sa nađena tri hromozomska i dva hromatidna prekida je u granicama dozvoljenih vrednosti za profesionalno izložena lica. Na kontroli nakon mesec dana, u analiziranom materijalu nađena su samo dva hromatidna prekida, pa se nalaz smatra normalnim. Ovaj pokazatelj genotoksičkih efekata jonizujućih zračenja biće praćen u određenim intervalima tokom sledećih godinu dana, iako kontrolne analize pokazuje da je došlo do dobrog odgovora imunog *repair-sistema* organizma i do restitucije genotoksičkih efekata jonizujućih zračenja na limfocitima periferne krvi. Svakako da obzirom na godine pacijenta (58g) promene na genetskom materijalu u ovom slučaju nisu od posebnog značaja.

Oftalmološkim pregledom utvrđene su degenerativne promene na oba oka, verovatno vezane za dugotrajnu ekspoziciju jonizujućim zračenjima. Na ovom pregledu nisu nađene akutne promene na očima vezane za akcident. Pojava eventualnih novih promena utvrdiće se na kontrolnom pregledu zakazanom za 6 meseci (augusta 2005.g).

Pacijent se od incidenta koji se dogodio pre više od četiri meseca i dalje nalazi u stanju koje je od strane neuropsihijatra dijagnostikovano kao hronični posttraumatski stresni sindrom. Ovo njegovo stanje reflektuje na ukupnu situaciju u porodici, koja je bez izuzetaka izrazito zabrinuta za zdravstveno stanje supruga i oca (D.L. je otac troje odrasle dece). Sam pacijent pokazuje emotivnu nestabilnost, strah od povratka na radno mesto i sklon je neurotskim reakcijama. Iako se prema dosadašnjim medicinskim nalazima ne očekuju ozbiljnije akutne posledice po zdravlje, može se smatrati da se kod pacijenta razvio hronični radijacioni sindrom kao posledica kumulacije stohastičkih efekata jonizujućih zračenja kojem je u toku rada na reaktoru RA bio izložen. Od posebnog značaja je ovde kontaminacija Cs- 137 i Am-241 [15,16,17].

Cs- 137 je vodeći radionuklid u isluženom gorivu, poluživota od 30 godina, specifične aktivnosti od 88 Ci/gr, dominantni beta- emiter, između ostalog, često primenjivan i u brahiterapiji raznih vrsta kancera. Putevi unošenja u organizam su inhalacija i ingestija. Jednom uneti Cs-137 ravnomerno se raznosi po organizmu putem krvotoka u koji dospeva iz pluća ili iz intestinalnog trakta. Teži da se koncentriše u mišićima, a ekskretuje se iz organizma relativno brzo, oko 10% unete količine izbaci se sa poluživotom od 2 dana, a ostatak od 90% se eskretuje sa biološkim poluživotom od 110

dana. Prisustvo Cs-137 u organizmu skopčano je sa rizikom i od beta i od gama zračenja, i osnovni rizik jeste rizik od indukcije karcinoma. Tako je njegov LCM (Lifetime Cancer Moratlity) rizik vezan za način unosa i za unos inhalacijom reda veličine $8,1 \times 10^{-12}$ pCi, dok je za unos ingestijom reda $2,5 \times 10^{-11}$ pCi.

Am-241, otkriven na Čikaškom univerzitetu 1944 godine našao svoju široku primenu u industriji javljača požara. Poluživot ovog radionuklida iznosi 432 godine, specifična aktivnost mu je 3,5 Ci/gr, dominantno je alfa emiter, ali ima i beta i gama linije.

Kontaminacija ovim nuklidom moguća je inhalacijom i ingestijom, udisanjem i gutanjem, a put radionuklida unetog u organizam bilo kroz pluća ili gastrointestinalni trakt ide apsorpcijom u krvotok nekih 0,05 % unete količine. Nakon eliminacije preko pluća i ekskrecijom kroz urin, ostatak radionuklida taloži se podjednako u kostima i zadržava u jetri, sa biološkim vremenom poluživota od 20 do 50 godina. Depozicija u kostima i jetri je u tesnoj vezi sa uzrastom kontaminirane osobe, pri čemu je taloženje u jetri proporcionalno starosti organizma, dok je taloženje u kostima intenzivno i trajno u svim uzrasnim dobima.

I njegov LCM (Lifetime Cancer Moratlity) rizik tesno je u vezi sa načinom unosa, pa je za unos inhalacijom reda veličine $2,4 \times 10^{-8}$ pCi, dok je za unos ingestijom reda veličine $9,5 \times 10^{-11}$ pCi.

Iako je dobro poznato da izlaganje jonizujućim zračenjima povećava stopu nastanka gotovo svih maligniteta i da je povećanje incidence malignoma u direktnoj zavisnosti od veličine doze, takođe se dobro zna da tačni mehanizam nastanka maligniteta kao posledice radijacije nije poznat. Veruje se da je on posledica serije akumuliranih mutacija tokom dugog vremenskog perioda, sa najčešćim latentnim periodom od oko deset godina. Uzimajući u obzir gore navedeni LCM za oba nađena radionuklid, ostaje da se nasluti broj potencijalnih mutacija i verovatnoća pojave malignog oboljenja, te se i u ovom slučaju mora ceniti rizik od moguće pojave maligniteta, a ne samo objektivna težina povrede na radu. I za slučajeve malih doza, a na bazi konsenzusa međunarodnih organizacija kao što su IAEA, WHO, ICRP utvrđena je verovatnoća nastanka kancera usled hroničnog izlaganja zračenju, i kvantifikovana je u iznosu od 5 % po 1 Sv. Pri akutnom izlaganju ova vrednost je veća i iznosi 8% po 1 Sv. To daje mogućnost da se u svetlu savremenog pristupa u zaštiti od zračenja a u skladu sa stavovima gore pobrojanih međunarodnih organizacija, može reći da ako je neko u svom radnom veku bio izložen efektivnoj dozi od 1 Sv, verovatnoća umiranja od bilo koje vrste raka je kod njega na nivou oko 5 %. Tačnije, iako se ne može tvrditi da je neko umro od raka izazvanog baš jonizujućim zračenjima, može se precizno utvrditi i kvantifikovati verovatnoća za to.

ZAKLJUČAK

Iz opisanog slučaja nametnulo se nekoliko zaključaka:

1. Sistem zaštite u INN „Vinča“ u slučaju ovog incidenta nije funkcionisao ispravno.
2. Zavod za radiološku zdravstvenu zaštitu „Vinča“ poseduje kadar koji je obučen i osposobljen da izvrši humanu dekontaminaciju iako postoje nedostaci u organizaciji ovog posla. Na primer, u prostor Punkta za humanu dekontaminaciju je ušlo više osoba koje su se zatekle u pratnji kontaminiranog pacijenta, iako to ne bi smelo biti dozvoljeno.
3. Velik problem je nedostatak pisanih i prihvaćenih procedura za ovakve situacije. Neophodnost donošenja pisanih procedura, njihovo poštovanje i striktna primena u procedurama sa prefiksom „nuklearni“ ne bi trebali biti predmet ma kakvih rasprava. To se prosto mora uraditi odmah.

LITERATURA

- [1] IAEA- TECDOC 869, 1998
- [2] IAEA- Radiation, Health and Society, 1999
- [3] IAEA- Safety Reports Series No 4, iz 1998
- [4] Izveštaj o izmerenim i procenjenim nivoima izlaganja jonizujućim zračenjima Dragiše Lukića usled pada u bazen sa isluženim gorivom reaktora RA, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita“, izv.br.143 od 04.03.2005.g.
- [5] Wong T.W.: Medical Surveillance for Radiation Workers and the Role of the Occupational Physician, Occupational Medicine, 3rd ed. St Louis: Mosby, 1994: 393-427
- [6] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication No.26. Annals of the ICRP (Oxford), 1977: 1-54
- [7] IAEA- SafetyStandard Series No.RS-G-1.5- Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation
- [8] Acute Radiation Syndrome, Fact sheet for Physicians, Department of Health and Human Services USA, ed. 234, 2002: 34-37
- [9] Čuknić O., Orlić M., Ilić Ž.: Prikaz i mogućnosti sadašnje instalacije brojača za celo telo u Zavodu za radiološku zdravstvenu zaštitu u INN „Vinča“, Zbornik radova XXII Simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac na moru 2003 115-118
- [10] Ilić Ž., Spasojević–Tišma V., Čuknić O., Joksić G., Milanović S., Šukalo I., Perišić J.: Rezultati zdravstvene kontrole radnika angažovanih na uklanjanju ozračenog nuklearnog goriva u INN „Vinča“, Zbornik radova XXII Simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac na moru 2003, 335- 338
- [11] Ilić Ž., Perišić J., Čuknić O., Spasojević –Tišma V.: Medicinsko zbrinjavanje ljudi kontaminiranih radioaktivnim materijalom, Zbornik radova XXII Simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac na moru 2003, 339- 344
- [12] Report on the investigation of internal contamination of D.Lukic (Vinca, Beograd), „Frédéric Joliot-Curie“ National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene (NRIRR), Budapest, Hungary, May 2005
- [13] M. Pešić., O. Šotić., S. Cupać., T. Maksin, N. Dašić: Assesment of Conditions of the Spent Nuclear Fuel Stored in the Stainless Chanell-Cholders, 2003 International Meeting on Reduced Enrichment and Test Reactors, Chicago, Illinois, October 5-10, 2003
- [14] V. Ljubenov, M. Pešić, V. Kolundžija: RA Reaserch Reactor in Vinča Institute- Decommissioning Project«, USDOE/CNCAN Joint Decommissioning Workshop, PP Presentation, CDroom, Buchurest, Romania, May 05-09, 2002
- [15] Cesium, Human Health Fact Sheet, ANL, December 2002
- [16] Americium, Human Health Fact Sheet, ANL, October 2001
- [17] Radioisotope brief: Americium- 241, Radiation Emergencies CDC, August 2004

ABSTRACT

CASE OF CONTAMINATION WITH SPENT NUCLEAR FUEL STORED IN THE NUCLEAR SCIENCES INSTITUTE “VINČA”

Ž. Ilić, O. Čuknić, S. Milanović, J. Perišić, J. Đurić, G. Vasilev,
G. Joksić, V. Pavelkić, J. Konstantinović¹
Institut of Nuclear Sciences „Vinča“, Belgrade
¹ Medical faculty Novi Sad

This paper deals with the problems connected with the incident with spent nuclear fuel that happened on February 22th 2005 at the Vinca RA Reaserch Reactor. One of the workers on removal of spent fuel fell into the pool with water contaminated with different radionuclides, and dominantly with Cs-137. This paper content's the procedure of medical human decontamination that occurred in the decontamination facility of Medical Radiological Protection in the Vinca Institute, as well as prognosis of health radiological risk of that case of contamination.

**UČESTALOST PREVREMENE SEGREGACIJE CENTROMERA
KOD LICA EKSPONOVANIH DEJSTVU
JONIZUJUĆEG ZRAČENJA**

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević, B. Rakić, M. Stevanović¹, D. Drakulić¹, R. Rakić²,
N. Bukvić³

KCS- Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr Dragomir Karajović"

¹ Institut za molekularnu genetiku i genetičko inženjerstvo, Beograd

² Prirodno-matematički fakultet, Departman za Biologiju i Ekologiju, Novi Sad

³ DIMIMP- Medical Genetic Section, University of Bari, Italy

SADRŽAJ

U ovom radu istraživana je učestalost prevremene centromerne deobe (PCD) u metafazama medicinskog osoblja profesionalno izloženog jonizujućem zračenju, koji su imali pozitivan nalaz hromozomskih aberacija, u odnosu na kontrolnu grupu koja nije profesionalno izložena efektima pomenutog zračenja. Evaluacija klastogenog efekta izvedena je pomoću Moorchaedove mikrometode te aplikacijom tehnika fluorescentne in situ hibridizacije (FISH). Analizom rezultata zapaženo je da postoji statistički značajna razlika ($p < 0.05$) u frekvenciji metafaza PCD na bilo kom od observiranih hromozoma kao i na ukupnom broju hromozoma sa PCD između dve grupa ispitanika (profesionalno izloženi i kontrole). Fluorescentnom in situ hibridizacijom (FISH) praćen je centromerni region hromozoma 18 na metafazama i interfaznim jedrima, što je pokazala da je pojavljivanje PCD na hromozomu 18 bilo 11,19% na metafazama i 10,88% na interfaznim jedrima, dok je kod kontrolne grupe ispitanika pojavljivanje PCD na hromozomu 18 bilo 7,58%, na metafazama, i 7,78% na interfaznim jedrima. Dakle, ovim istraživanjem je utvrđeno da kod ispitanika profesionalno izloženih jonizujućem zračenju, postoji fenomen PCD, verifikovan u metafazama i interfaznim jedrima, u značajno frekventnijem obimu nego što je to slučaj sa kontrolnom grupom ispitanika. Indukcija PCD raznim genotoksičnim agensima upućuje da se PCD sagleda kao parametar genotoksičnog rizika po čoveka i njegovu životnu sredinu.

UVOD

Prevremena centromerna deoba (PCD) predstavlja prevremenu deobu konstitutivnog heterohromatina na nivou centromera. Ovaj fenomen karakteriše se razdvojenim hromatidama hromozoma već u metafazi. Na činjenicu da PCD dovodi do aneuploidije prvi je u svojim radovima ukazao [1]. Mehanizmi poremećaja hromozomske segregacije u smislu nastanka PCD je nepoznat. Literaturni podaci ukazuju da PCD možemo svrstati u sindrome poremećaja vremena segregacije i separacije centromera. Takođe treba istaći da delenje centromera u humanom hromozomskom komplementu nije slučajan proces. Naime, normalan redosled centromerne separacije započinje od

hromozoma 18, zatim hromozoma 2, 10, i 8, dok se akrocentrični hromozomi dele poslednji. [2,3].

Fenomen PCD-a je povezan sa većim brojem maligniteta i sindroma kao što je akutna mijeloidna leukemija, Burkettov limfom, karcinom bešike, Atxiateleangiectasia, Fankonijeva anemia. Pevremena centromerna deoba predstavlja znak nestabilnosti genoma sa povećanim rizikom od kancera. U naučnoj literaturi dolazimo do podataka koji ukazuju da genomski nestabilnost ima ključnu ulogu u pojavi maligniteta. Primećeno je da nekoliko oblika hromozomske nestabilnosti uvećava verovatnoću za dobijanje karcinoma. Povećana incidencija PCD-a, aneuploidija, smanjenje mitotičkog indeksa govori o poremećaju reparativnog kapaciteta kod individua predisponiranih za neke arcinome [4].

Vreme separacije se nalazi pod striktnom genetičkom kontrolom, ali se ne zna koji geni su zato odgovorni. Naša istraživanja bazirala su se na određivanju vremena nastanka PCD-a kroz ćelijski ciklus i učestalost PCD-a kod eksponovanih lica, koji su imali pozitivan hromozomski nalaz, u odnosu na kontrolnu grupu koja nije profesionalno izložena delovanju jonizujućeg zračenja. Kao dodatnu metodu, u cilju potvrde prisustva prevremene centromerne deobe na metafazama i interfaznim nukleusima, koristili smo fluorescentnu in situ hibridizaciju (FISH).

MATERIJAL I METODE

Naša istraživanja su obuhvatila grupu od 30 ispitanika koja su profesionalno izložena delovanju jonizujućeg zračenja i 25 ispitanika kontrolne grupe (K) koja nije profesijski izložena genotoksičnim agensima.

Biološka dozimetrija izvedena je pomoću modifikovane mikrometode za limfocite periferne krvi i konvencionalne citogenetske tehnike za analizu hromozomskih aberacija [5]. Analiza PCD-a praćena je na 200 prometafaznih figura. Za analizu prevremene segregacije centromernih regiona korišćena je i FISH metoda. Za detekciju centromernog regiona koristili smo probu pL1. 84a repetitivne DNK za hromozom 18. [6]

Proba je obeležena biotin-16 dntp nukleozid- trifosfatom u reakciji "NICK-TRANSLACIJE". Za svaki preparat je korišćeno oko 50 ng obeležene probe. Detekcija signala vršena je pod olympus BH2 epifluorescentnim mikroskopom sa filterom za FITC (0-515). Preparati su fotografisani korišćenjem kolor filma Fuji 100 asa.

U ovom radu rezultati su obradjeni pomoću studentovog t-testa. Matematički proračuni su vršeni u SPSS 10 (statistical package for the social science).

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja PCD, kod profesijski izloženih lica, koji su imali pozitivan nalaz hromozomskih aberacija su predstavljani na tabelama 1, 2, 3 i 4.

Istraživanjem je obuhvaćeno 30 ispitanika koji su bili izloženi delovanju jonizujućeg zračenja, prosečne starosti 36.00 ± 8.94 , i 25 ispitanika kontrolne grupe, prosečne starosti 37.08 ± 7.47 koji nisu bili izloženi delovanju genotoksičnih agenasa.

Statistička analiza podataka je pokazala da postoji statistička razlika ($p < 0.05$) u frekvenciji metafaza sa PCD na bilo kom hromozomu kao i na ukupnom broju hromozoma između dve ispitivane grupe (profesionalno izloženi i kontrolne grupe). Pored toga statistička naliza je pokazala da i broj metafaza sa PCD na akrocentričnim hromozomima i ukupan broj akrocentričnih hromozoma sa PCD su statistički značajne u odnosu na kontrolu ($p < 0.05$).

Na isti način je izvršeno poređenje broja metafaza sa PCD kod muškaraca i žena i konstatovano je da je vrednost broja metafaza sa PCD i vrednost ukupnog broja hromozoma sa PCD veća kod muškaraca, te postoji statistička značajnost ($p < 0.05$), dok je vrednost metafaza sa PCD na akrocentričnim hromozomima i vrednost ukupnog broja akrocentričnih hromozoma sa PCD veća kod žena ($p < 0.05$) (tabela 3).

Na osnovu vrednosti korelacije (r), u tabeli 3 se mogu uočiti rezultati koji pokazuju da postoji značajna pozitivna korelacija između godina starosti, ERS i pojave metafaza sa PCD. Fluorescentnom in situ hibridizacijom (FISH), koja omogućava verifikaciju izvesnih promena na genetičkom materijalu, primećena je razlika u frekvenciji PCD-a na interfaznim jedrima i metafazama mitoze kod izloženih radnika i kontrolne grupe ispitanika. Naša istraživanja su utvrdila da kod izloženih ispitanika, koji su imali pozitivan hromozomski nalaz, postoji fenomen prevremene centromerne deobe. Naši rezultati u saglasnosti su sa istraživanjima [7,8] koji su konstatovali da se PCD javlja u značajnom frekventnom obimu kod lica izloženih genotoksičnim agensima, nego što je to slučaj sa kontrolnom grupom ispitanika. U svom istraživačkom radu [9] pretpostavlja da PCD možda ukazuje na poremećaj vremenske kontrole replikacije i segregacije centromera. Obzirom da se PCD može posmatrati kao fenomen koji predstavlja manifestaciju genomske nestabilnosti, koja je uzrokovana i promenama u kariotipu, koje se javljaju kao posledica dejstva jonizujućeg zračenja, upućuje, da se PCD sagleda kao parametar genotoksičnog rizika po lica koja rade u zoni zračenja.

Tabela 1. Prikaz analize prevremene centromerne deobe (PCD) u grupi profesionalaca sa pozitivnim nalazom hromozomskih aberacija i kontrolne grupe

	Ispitanici	Kontrola	t-test
	X ±SD	X ±SD	
Godine starosti	36.00 ± 8.94	37.08 ± 7.47	
ERS	12.70 ± 7.37	12.88 ± 6.48	
Br. metafaza sa PCD na bilo kom hromozomu	27.83 ± 5.62	12.96 ± 3.61	$p < 0.05^*$
Ukupan broj hrom. sa PCD	30.87 ± 6.00	16.16 ± 4.04	$p < 0.05^*$
Br metafaza sa PCD na akroc. hrom.	5.03 ± 2.75	1.36 ± 0.91	$p < 0.05^*$
Ukupan br. akroc. hrom. sa PCD	6.47 ± 3.43	1.80 ± 1.15	$p < 0.05^*$

X- Aritmetička sredina (Mean); *statistička razlika ($p < 0.05$) SD – Standardna devijacija (Std. Deviation)
SE- Standardna greška aritmetičke sredine (Std. Error of Mean)

Tabela 2. Prikaz analize prevremene centromerne deobe (PCD) kod muškaraca i žena koji su profesionalno izloženi delovanju jonizujućeg zračenja .

	Muškarci	Žene	t-test
	X ±SD	X ±SD	
Br. metafaza sa PCD na bilo kom hromozomu	29.86 ± 6.27	26.06 ± 4.45	
Ukupan broj hrom. sa PCD	33.50 ± 6.89	28.56 ± 4.03	$p < 0.05^*$
Br metafaza sa PCD na akroc. hrom.	3.07 ± 2.20	6.73 ± 1.91	$p < 0.05^*$
Ukupan br. akroc. hrom. sa PCD	4.21 ± 3.14	8.44 ± 2.31	$p < 0.05^*$

X- Aritmetička sredina (Mean) SE- Standardna greška aritmetičke sredine (Std. Error of Mean)
* statistička razlika ($p < 0.05$) SD – Standardna devijacija (Std. Deviation)

Tabela 3. Prikaz vrednosti korelacije (r) u pojavljivanju prevremene centromerne deobe (PCD) kod lica izloženih jonizujućem zračenju

	Godine starosti	Pol	ERS	Pušenje	Br.meta. sa PCD na bilo kom hr.	Ukupan broj hr. sa PCD	Broj metafaza sa PCD na akroc.hr.	Ukupan broj akroc.hr. sa PCD
Godine starosti	1.00							
Pol	0.76	1.00						
ERS	0.915**	-0.131	1.00					
Pušenje	0.364*	0.134	0.382*	1.00				
Br.meta. sa PCD na bilo kom hro	0.711**	-0.343	0.764**	0.151	1.00			
Ukupan broj hrom. sa PCD	0.701*	-0.418	0.780**	0.147	0.967**	1.00		
Broj metafaza sa PCD na akroc.hrom	0.390*	0.679**	0.275	0.333	0.043	-0.060	1.00	
Ukupan broj akroc.hrom. sa PCD	0.451*	0.624**	0.349	0.277	0.133	0.053	0.938**	1.00

* statistička razlika (p<0.05)

** statistički značajna razlika (p<0.01)

Tabela 4. Distribucija fluorescentnih signala za centromerni region hromozoma 18 na metafazama i na interfaznim nukleusima korišćenjem DNA repetitivne probe, kod izloženih lica i kontrolne grupe.

	Bez PCD (%)	PCD na hromozomu 18 (%)	Bez PCD (%)	PCD(%) na interf.jedrima
Ispitanici	88.81	11.19	89.12	10.88
Kontrola	92.42	7.58	92.22	7.78

LITERATURA

- [1] Vig, B.K., Wodnicki Separation of sister centromeres in some chromosomes from cultured human leukocytes. The Journal of Heredity 1974: 65: 149-152.
- [2] Vig, BK., Sternes, K.L. Centromeres without kinetochore proteins. Another mechanism for origin of aneuploidy in neoplasia. Cancer. Genet. Cytogenet.1991: 51: 269-272.
- [3] Vig, BK..., Paweletz, N., schoeter, D. The centromere-kinetochore complex in cancer. The Cancer Journal 1993,6: 242- 252.
- [4] Rao, N.M., Pai, S.A., Shinde, S.R., Gosh, S.NReduced DNA repair capacity in breast cancer patients and unaffected individuals from breast cancer families. Canc. Genetics. and Cytogenetics 1998: 102(1): 65- 73.
- [5] Moorhead, P.S. et all. Chromosome preparation of leukocytes cultured from human peripheral blood. Exp. cell. 1960;RES, 20: 613 – 616.
- [6] Devilee P.; Slagboom P.; Cornelisse C.J.; Pearson P.L.: Sequence heterogeneity within the human alphoid repetitive DNA family. Nucleic Acids Research (1986) 14 (5): 2059-2073
- [7] Jenó M., Matyas G.J., Tompa A.The frequency of induced premature centromere division in human populations occupationally exposed to genotoxic chemicals
- [8] Spremo- Potparević, B., Bajic V., Nedeljković, A. Premature centromere separation syndromes: a manifestation of genomic instability Balkan Journal of Medical Genetics.2000: 3: 19-22.
- [9] BajicVladan (2002): Značaj prevremene centromerne deobe kao parametra genomske nestabilnosti u proceni genotoksičnog dejstva citostatika, Doktorska disertacija, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu.

ABSTRACT

**THE FREQUENCY OF PREMATURE SEGREGATION
OF CENTROMERES IN PERSONS EXPOSED
TO IONIZING RADIATION**

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević, B. Rakić, M. Stevanović,¹

D. Drakulić¹, R. Rakić², N. Bukvić³

Institute of Occupational Medicine and Radiological Protection "Dr. Dragomir Karajović",
Clinical Center of Serbia, Belgrade, Serbia and Montenegro

¹ Institute of Molecular Genetics and Genetic Engineering, Belgrade.

² Department for Biology and Ecology, University of Novi Sad,

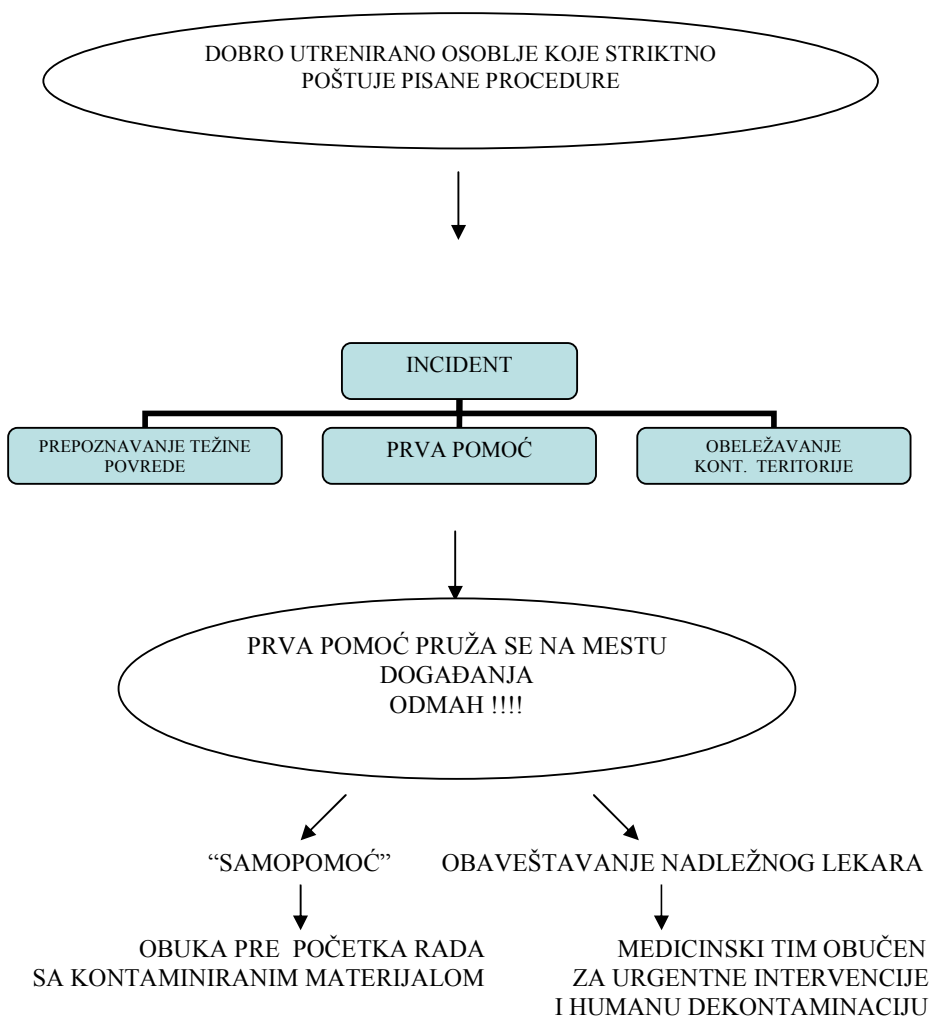
³ DIMIMP-Medical Genetic Section, University of Bari, Italy

The objective of study was to establish the incidence of PCD in metaphases of medical personnel occupationally exposed to ionizing radiation in relation to the controls. Moorchaed's micromethod and fluorescent in situ hybridization (FISH) were used for evaluation of clastogenic effect. The analysis of results revealed statistically significant difference ($p < 0.05$) of PCD manifestation in metaphases any chromosome and the control group. In addition, significantly higher values were found in a total number of chromosomes with PCD than in the controls ($p < 0.05$). Fluorescent in situ hybridization (FISH) was used to monitor the centromeric region of chromosome 18 in metaphases and interphasic nuclei. Cytogenic analysis showed that the manifestation of PCD in chromosome 18 was 11.19% in metaphases and 10.88% in interphasic nuclei, while in the controls, the presentation of PCD in chromosome 18 was 7.58% in metaphases and 7.78% in interphasic nuclei.

The study confirmed that the subjects occupationally exposed to ionizing radiation had PCD phenomenon, which was verified in metaphases and interphasic nuclei in a significant frequency rate. The induction of PCD by various genotoxic agents directs us to recognize PCD as a parameter of genotoxic risk to mankind and its environment.

**ALGORITAM UKAZIVANJA PRVE POMOĆI
KOD POVREĐIVANJA RADIOAKTIVNIM KONTAMINENTOM**

Ž. Ilić
Zavod za radiološku zdravstvenu zaštitu "Vinča"
INN Vinča, Beograd



SADRŽAJ
“LIČNOG PORTABILNOG KONTEJNERA ZA DEKONTAMINACIJU”

- Latex ili vinil rukavice
- Neutralni sapun
- Mala četka za čišćenje noktiju
- Nekoliko komada malih sunđerā
- Nekoliko paketa hidrofilne sanitetske gaze
- Nekoliko manjih plastičnih kesa
- Bar dve velike plastične kese
- Plastične navlake za obuću
- Peškiri mali
- Peškiri srednje veličine
- Plastična folija

LITERATURA

- [1] IAEA- TECDOC 869, 1998
- [2] IAEA- Radiation, Health and Society, 1999
- [3] IAEA- Safety Reports Series No 4, iz 1998
- [4] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication No.26. Annals of the ICRP (Oxford), 1977: 1-54
- [5] IAEA- Safety Standard Series No.RS-G-1.5- Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation

CITOGENETSKA ANALIZA LIMFOCITA KOD ZDRAVSTVENIH RADNIKA PROFESIJSKI IZLOŽENIH MALIM DOZAMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević, B. Rakić
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr Dragomir Karajović"

SADRŽAJ

Cilj istraživanja je bio da se utvrdi perzistencija hromozomskih aberacija i posle isključenja iz zone zračenja. Prva grupa (I) od 30 ispitanika je bila izložena delovanju jonizujućeg zračenja i kod njih su konstatovane nestabilne hromozomske aberacije. Drugu grupu (II) su predstavljali isti ispitanici (30), devet meseci, nakon izlaganja jonizujućem zračenju. Kontrolu (K) su sačinjavala 64 ispitanika koja nisu bila izložena genotoksičnim agensima na svojim radnim mestima. Konstatovano je da su kod 5 (16.67%) ispitanika i dalje prisutne nestabilne aberacije u većem frekventnom obimu, i nakon isključenja iz zone zračenja. U poređenju sa kontrolom u obe ispitivane grupe došlo je do smanjenja nestabilnih hromozomskih aberacija ($p < 0.05$). Zapaženo je da ukupna efektivna doza raste sa godinama rada u zoni, a da je učestalost hromozomskih aberacija u korelaciji sa apsorbovanom dozom, očitano sa TL dozimetara. Prisustvo hromozomskih promena i nakon prestanka izlaganju jonizujućem zračenju ukazuje da njihovo prisustvo zavisi od individualne radiosenzitivnosti i sposobnosti reparativnog odgovora ćelije.

UVOD

U profesionalnoj patologiji, otkrivanje radijacionih oštećenja je veoma važno, posebno u dokazivanju da neke promene u zdravstvenom stanju ispitanika, mogu biti posledica hronične ekspozicije jonizujućem zračenju. Mnogi istraživači su ispitivali uticaj malih doza zračenja kod radnika zaposlenih u zdravstvenim ustanovama i konstatovali da je došlo do povećanja incidence hromozomskih aberacija u odnosu na kontrolnu grupu. [1,4]

Savremena istraživanja su pokazala da je radiološka izloženost zadržavala "povrede" na DNA-a i hromozomima u mnogim događajima u ćelijskim generacijama i nekoliko dekada nakon izloženosti. Naša istraživanja obuhvatila su analizu hromozomskih aberacija kod radnika Kliničkog Cenra Srbije, koji su profesionalno izloženi delovanju jonizujućeg zračenja i vreme oporavka DNA-a povreda nakon određenog vremenskog perioda, po prestanku rada u zoni zračenja. Rezultate istraživanja obe grupe radnika poredili smo sa kontrolnom grupom.

MATERIJAL I METODE

Istraživane su dve iste grupe ispitanika: 30 zdravstvenih radnika (I grupa) koji rade u zoni zračenja i 30 istih ispitanika (II grupa) nakon 9 meseci posle isključenja iz

zone. Kontrolu (K) su sačinjavala 64 ispitanika prosečne starosti 33.2 ± 9.7 i radnog staža 2.7 ± 4.7 koja nisu bila izložena delovanju genotoksičnih agenasa na svojim radnim mestima. Istraživanjem su obuhvaćeni ispitanici oba pola sa prosečnom starošću 39.7 ± 7.8 i prosečnim ekspozicionim radnim stažom 13.9 ± 8.7 .

Za analizu indukovanih hromozomskih aberacija u ćelijama limfocita periferne krvi čoveka, korišćena je modifikovana Moorhead-ova mikrometoda [5] i klasična citogenetska tehnika. Analizirano je 200 metafaza po ispitaniku [6].

Apsorbovane doze zračenja na ispitanicima merene su termoluminiscentnim ličnim dozimetrima (TLD) mesečno u toku izloženosti na radnim mestima [7].

STATISTIČKA ANALIZA

Rezultati su obrađeni pomoću studentovog t- testa, Wilcoxon testa i Z - testa. Nivo značajnosti za sve primenjene analitičke metode je bio 0.05.

REZULTATI I DISKUSIJA

U Tabeli 1 prikazani su rezultati eksponovanih grupa (I i II) i kontrole (K) Učestalost hromozomskih aberacija je u korelaciji sa apsorbovanom dozom očitanoj sa personalnih dozimetara (Tab.2). Naši rezultati u saglasnosti su sa literaturnim podacima Kosube i sar. koji su pratili nestabilne aberacije duži vremenski period u limfocitima periferne krvi osoba koje su izložene jonizujućem zračenju. Promene su praćene u više vremenskih intervala. Dobijeni rezultati nisu pokazali da popravak oštećenja zavisi od vremena u svim slučajevima, što upućuje na individualne razlike [8].

Tabela 1. Prikaz hromozomskih aberacija kod dve grupe profesionalno izloženih radnika i kontrolne grupe.

	Prvi pregled (n=30)	Pregled nakon 9 meseci (n=30)	Kontrola (n=64)
Broj aberantnih ćelija			
X (sd)	3.4 (1.8)	2.4 (1.4)* ‡	0.8 (0.9)†
Opseg	1-7	0-7	0-4
Dicentrik			
X (sd)	0.8 (0.7)	0.2 (0.4)* ‡	0 (0.1)†
Opseg	0-3	0-1	0-1
Acentrični fragment			
X (sd)	2.1 (1.2)	0.7 (0.9)* ‡	0.3 (0.6)†
Opseg	1-5	0-4	0-3
Ring			
X (sd)	0.7 (0.4)	0 (0)*	0 (0.1)†
Opseg	0-1	0-0	0-1
Hromat.prekid			
X (sd)	0.8 (1.0)	0.9 (1.0) ‡	0.5 (0.6)†
Opseg	0-3	0-3	0-2
Hromozomski prekid			
X (sd)	0.5 (1.1)	0.7 (0.7) ‡	0.2 (0.5)†
Opseg	0-5	0-2	0-2
Hromatidne inter -izmene			
X (sd)	0.1 (0.3)	0 (0)	0 (0)†
Opseg	0-1	0-0	0-0

x Vrednosti prikazane na 200 pregledanih ćelija.

* $p < 0.05$ u odnosu na prvi pregled

† $p < 0.05$ u odnosu na prvi pregledin

‡ $p < 0.05$ u odnosu na kontrolu godine

kontrola

X(sd) 33.2(9.7)

radni staž X(sd) 2.7(4.7)

Pod uticajem malih doza kakve se obično i apsorbuju u radnoj sredini ili na kontaminiranim područjima, mogu se pojaviti promene u humanom kariotipu a neke od njih i duže zadržati. Razlike u učestalosti hromozomskih aberacija posledica su različite radioosetljivosti, varijabilnosti DNA reparativnih procesa, uslova rada, i neadekvatnoj primeni mera zaštite na radu.

Tabela 2. Prikaz ukupne efektivne doze za period ekspozicije u mSv kod ispitanika zaposlenih u zdravstvenim ustanovama.

Broj Ispitanika	Zanimanje	Godine rada u zoni	Merenje doze u poslednjoj god. u mSv (2003)	Ukupna efektivna doza u mSv	Dicentrik +ring %
1	Tehničar	7	0.45	9.65	0.5
2	.	19	0.94	106.76	1
3	.	1	0.96	4.90	0.5
4	.	4	ND	ND	0.5
5	.	13	0.95	28.21	0.5
6	.	12	ND	24.67	0.5
7	.	7	1.95	11.62	1
8	.	12	ND	17.73	1
9	.	7	1.41	13.28	0.5
10	.	3	ND	3.21	0.5
11	.	9	1.70	21.07	0
12	.	9	ND	11.72	0.5
13	.	6	0.89	7.29	0.5
14	.	7	ND	ND	0
15	.	8	ND	13.77	0.5
16	.	5	1.03	7.31	1
17	.	12	ND	14.89	1
18	.	1	ND	0.95	0
19	.	2	ND	ND	0
20	.	8	ND	10.24	1.5
21	.	9	ND	18.48	0.5
22	.	5	1.21	18.95	0.5
23	.	3	1.83	3.77	1
24	.	12	ND	ND	0.5
25	.	15	ND	ND	0
26	.	11	ND	ND	0.5
27	.	19	1.11	24.11	0.5
28	.	15	0.97	16.42	0.5
29	.	20	ND	ND	0.5
30	.	11	ND	ND	0.5

ND-nije detektovan

LITERATURA

- [1] Pincheira J, I Lopez and S Sanhueza: G2 repair and chromosomal damage in lymphocytes from workers occupationally exposed to low-level ionizing radiation. *Biol Res*1999; 32, 297-306
- [2] Bonassi S, Forni A, Bigatti P, Canevarollo N, Ferrari M De, Lando C, Padovani P, Bevegni M, Stella M, Vecchio D, Puntoni R. Chromosome aberrations in hospital workers: Evidence from surveillance studies in Italy (1963 – 1993). *Am J Ind Med* 1997;31:353-360.
- [3] Rozgaj R, Kosuba, V, Perić, M. Chromosome Aberrations in Operating Room Personnel. *American Journal of Industrial Medicine* 1999;35:646-66

- [4] Rozgaj R, Kasuba V, Simic D. The frequency of dicentrics and acentrics and the incidence of rogue cells in radiation workers. *Mutagenesis* 2002; 17(2):135-139
- [5] Moorhead, P.S. et al. Chromosome preparation of leukocytes cultured from human peripheral blood. *Exp. cell. 1960; RES*, 20: 613 – 616
- [6] Manual M. Cytogenetic Analysis for Radiation dose Assessment. Vienna:International atomic energy agency, Technical reports series No.405. 2001:14-40.
- [7] U.German, B.Ben-Shachar, M. Weinstein, Twenty Five Years of TL-Dose Measurements at the NRC-NEGEV, IRPA-10 2000; Proceedings, Hiroshima, Japan, P-3b-168
- [8] Kašuba V, Rožgaj R. and Šentija K: Chromosomal aberrations in medical staff occupationally exposed to X-rays: a follow-up study. *Arh hig rada toksikol* 1998;49,1-8

ABSTRACT

CYTOGENETIC ANALYSIS OF LYMPHOCYTES FROM HOSPITAL WORKERS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING RADIATION EFFECTS

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević, B. Rakić
Clinical Centre of Serbia, Institute of Occupational Health and Radiological Protection
“Dr. Dragomir Karajovic”, Belgrade,

Occupational exposure is particularly delicate because of chronic exposure to low doses of ionizing radiation and its cumulative effect, where is important to consider the biological response of body to given conditions of exposure. The objective of this study was the observation of the recovery of the DNA damages in subjects working in the radiation area in two different intervals. Group I, consisting of 30 subjects, was exposed to ionizing radiation and unstable chromosomal aberrations were identified. Group II included the same, re-examined subjects (30) 9 months later. It was verified that 5 (16.67%) subjects still had unstable chromosomal aberrations, although they had been excluded from radiation area. Controls groups (C) consisted of 64 subjects that were not exposed to mutagenic agents. The comparison of the control group with the two studied groups revealed the reduction of the unstable aberrations ($p < 0.05$). The total effective doses, which increased with the years spent in radiation area, reflected the yield of chromosomal aberrations. The presence of chromosomal aberrations in some subjects, after the exclusion from the ionising radiation exposure, suggests that the time needed for the recovery of the DNA damages is different, which indicates the individual differences in radiosensitivity as well as different of the reparatory cellular response.

KAKO NAS ŠTITE RADIOPROTEKTORI

A. Leskovac, T. Janković¹, K. Fodulović-Šavekin²,

N. Menković², G. Joksić

Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za fizičku hemiju

¹ Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“, Beograd

² Institut za proučavanje lekovitog bilja „Dr. Josif Pančić“

SADRŽAJ

*Prikazani su rezultati ispitivanja radioprotektivnih svojstava lincure (vrste *Gentianella austriaca* i *Gentiana dinarica*). Ispitivani su različiti ekstrakti ovih biljaka na modelu humanih limfocita koji su ozračeni in vitro, izvorom γ -zračenja (⁶⁰Co), dozom 2 Gy. Analizirana je učestalost mikronukleusa, stepen lipidne peroksidacije i apoptoza. Rezultati ispitivanja su pokazali da je najznačajnija biološki aktivna komponenta lincure belidifolin koji deluje kao dezmutagen umanjujući stepen genomskih ozleda za 41%. Aktivne komponente lincure su izvanredni prirodni radioprotektori.*

UVOD

Poslednja decenija prošlog veka bila je obeležena intenzivnim traganjem za supstancama koje mogu sačuvati zdravlje, pri čemu su naučna istraživanja imala za cilj da objasne koji nas molekuli i kako štite. Naučna literatura često je ličila na komplikovane spiskove hemijskih jedinjenja iz voća, povrća, i lekovitog bilja. Čitave studije su bile posvećene katehinima iz zelenog čaja, flavonoidima brokola, genisteinu soje, aminokiselinama iz pšenice, šećerne repe, trske, groždja [1,2]. Razvila se nova disciplina u genetici-farmakogenomika, sa njom i nova terminologija o vrstama i mehanizmima delovanja biološki aktivnih jedinjenja. Smatra se da biološki aktivna jedinjenja mogu delovati na tri načina: kao antioksidanti-sakupljači slobodnih radikala, da mogu vrlo efikasno da inaktiviraju toksične materije i onemoguće njihovo dejstvo, ili da direktno deluju na enzime repera povećavajući njihovu efikasnost. Rezultati brojnih epidemioloških studija o povezanosti načina života, i oboljevanja od kardiovaskularnih i malignih bolesti ukazivali su na sve veću potrebu za istraživanjem mehanizma dejstva biološki aktivnih jedinjenja, posebno onih koji utiču na reper [3,4].

Ispitivanja efekata biološki aktivnih jedinjenja sprovode se na različitim biološkim modelima: od *E.coli* do čoveka. Naša ispitivanja su na humanim ćelijama: leukocitima i limfocitima. Do sada smo utvrdili da mnoga jedinjenja poseduju radioprotektivna svojstva: skrining ekstrakata lekovitog bilja pokazao je da najveći protektivni potencijal poseduju ekstrakti lincure, gloga, drena i flavonoidi groždja.

Cilj istraživanja je identifikovati biološki aktivna jedinjenja i utvrditi mehanizam njihovog dejstva. Detaljno smo ispitivali ekstrakte lincure: hemičari su izolovali biljne ekstrakte od kojih svaki sadrži određenu grupu jedinjenja: ksantone i

flavone. Farmakognozisti su HPLC analizom proverili hemijski sastav. Ekstrakti su korišćeni za posttretman limfocita ozračenih *in vitro* terpijskim dozom γ zračenja (^{60}Co). Ispitivana je učestalost mikronukleusa, stepen oksidativnog oštećenja membrana i apoptoza leukocita.

MATERIJAL I METODE

Ekstrakti lincure pripremani su po standardnoj proceduri: odabrani delovi biljaka su oprani, osušeni i usitnjeni. Zatim su ekstrahovani različitim organskim rastvaračima, liofilizovani i rastvarani u vodi. Neposredno pred ekperiment dodavani su u kulture ozračenih limfocita u koncentraciji od 0.1-0.4 mg/ml. Paralelno su tretirani i kontrolni neozračeni uzorci. Sve kulture su postavljene u triplikatu kako bi se mogli analizirati svi navedeni parametri: mikronukleusi, apoptoza i malondialdehid. Za analizu mikronukleusa korišćena je citokinesis-blok metoda [5], apoptoza je analizirana flow-citometrijski, a malondialdehid 2-tiobarbiturat (TBA) testom spektrofotometrijski [6].

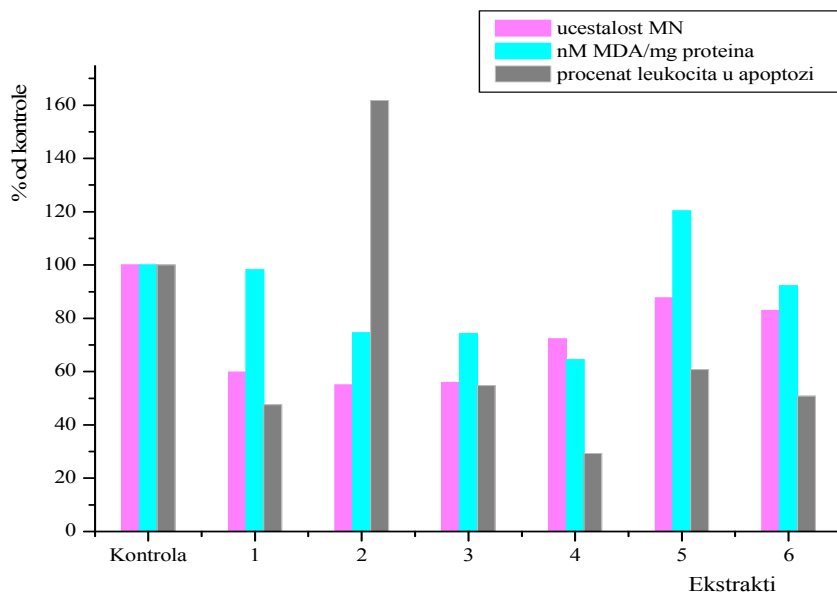
REZULTATI

Dobijeni rezultati prikazani su na Tabeli 1 i Grafiku 1.

Tabela 1. Učestalost mikronukleusa, količina malondialdehida i procenat leukocita u apoptozi u kulturama ozračenih limfocita tretiranih ekstraktima lincure.

Ekstrakti lincure	Učestalost MN/1000 celija	nM MDA/mg proteina	Procenat leukocita u apoptozi
Kontrola	187,11	6,44	3,01
1	111,90	6,33	1,43
2	102,96	4,80	4,87
3	104,77	4,79	1,65
4	135,14	4,15	0,88
5	164,06	7,75	1,83
6	155,34	5,94	1,53

- 1- ksanton demetilbelidifolin
- 2- ksanton belidifolin-glukozid
- 3- flavon svertizin
- 4- ksanton genciakohianin,
- 5- ksanton norsvercianin-8-primverozid
- 6- flavon izoorientin



Grafik 1. Učestalost mikronukleusa pozitivno koreliše sa koncentracijom malondialdehida (koeficijent korelacije $r=0.59$) i negativno sa procentom leukocita u apoptozi ($r=-0.12$)

DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja, pokazuju da biološka aktivnost lincure potiče od ksantona i flavona. Ova jedinjenja značajno smanjuju stepen oksidativnog oštećenja biomolekula, povećavaju apoptotski potencijal leukocita, usled čega je i stepen oštećenja DNK značajno manji. Biološki aktivne komponente lincure značajno smanjuju koncentraciju slobodnih radikala nastalih ozračivanjem. Prisutnost slobodnih radikala može se detektovati isključivo preko krajnjih produkata lančane reakcije (MDA), budući da krajnji produkti imaju znatno duže vreme poluzivota od slobodnih radikala, što ih čini pogodnim za merenje. Za molekule u ćeliji predstavljaju i dodatnu opasnost, jer mogu direktno reagovati sa proteinima, aminokiselinama i jedarnom DNK. Posledice reakcije MDA i DNK najčešće su supstitucije baznih parova (76%); od toga 43% su transverzije G u T, 16% «frameshift» mutacije a 10% DNK adukti koji sigurno vode nastajanju novih mutacija. Mutageno svojstvo MDA je dokazano *in vitro* na bakterijskim i sisarskim ćelijama, a kancerogeno *in vivo* kod pacova [7].

Rezultati naših ispitivanja pokazali su da koncentracija MDA pozitivno koreliše sa incidencom mikronukleusa ($r=0.59$, $p<0.05$). Povećanjem koncentracije MDA povećava se i učestalost mikronukleusa. Ksantoni i flavoni, bilo da se nalaze u kompleksu sa drugim jedinjenjima lincure, ili u obliku čistih jedinjenja uspešno uklanjaju reaktivne slobodne radikale smanjujući mogućnost oksidativnog oštećenja DNK. Njihovim delovanjem učestalost mikronukleusa je smanjena za 41%. Pored toga belidifolin, značajno povećava eliminaciju oštećenih ćelija apoptozom. Aktiviranje apoptoze predstavlja željeni cilj svih

farmakoloških istraživanja, a jedinjenja koja pokazuju takve efekte svakako će naći svoje mesto u kliničkoj primeni.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da lekovito bilje rodova *Gentianella* i *Gentiana* sadrži dragocena biološki aktivna jedinjenja koja deluju mehanizmom dezmutagena: neutrališu dejstvo slobodnih radikala i aktiviraju fiziološke mehanizme eliminacije oštećenih ćelija. Biološki aktivna jedinjenja vrsta *Gentianella austriaca* i *Gentiana dinarica* su dobri prirodni radioprotektori.

LITERATURA

- [1] Cox B.D., Whiclow M.J., Prevostat A.T. (2000) Seasonal consumption of salad vegetables and fresh fruit in relation to the development of cardiovascular disease and cancer. *Public Health Nutr* 3:19-29
- [2] Higdon J.V., Frei B. (2003) Tea catechins and polyphenols: health effects, metabolism, and antioxidant functions. *Crit Rev Food Sci Nutr* 43:89-143.
- [3] Yang C.S., Landau J.M., Huang M.T., Newmark H.L. (2001) Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds. *Annu. Rev. Nutr.* 21:381-406.
- [4] Nijveldt R.J., van Nood E., van Hoorn D.E.C., Boelens P.G., van Norren K., van Leeuwen P.A.M. (2001) Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am. J. Clin. Nutr.* 74:418-25.
- [5] Fenech, M., and Morley, A.A. (1993) The cytokinesis-block micronucleus technique: A detailed description of the method and its application to genotoxicity studies in human population. *Mutat. Res.* 285, 35-44.
- [6] Aruoma O.L., Halliwell B., Laughton M.J., Quinland G.J., Gutteridge J.M.C. (1989) *Biochem. J.* 258, 617-620.
- [7] Fink S.P., Reddy G.R., Marnett L.J. (1997) Mutagenicity in *Escherichia coli* of the major DNA adduct derived from the endogenous mutagen malondialdehyde, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 94:8652-8657.

ABSTRACT

HOW RADIOPROTECTORS PROTECT US

A. Leskovac, T. Janković¹, K. Fodulović-Šavekin²,
N. Menković², G. Joksić

Institute of Nuclear Sciences "Vinca", Department of Physical Chemistry, Belgrade

¹ Institute for Biological Research, Belgrade

² Institute for Medicinal Plants Research, Belgrade

The purpose of this study was to assess the radioprotective properties of *Gentianella* medicinal plant. Micronuclei formation, ability of leucocytes undergoing apoptosis and concentration of malondialdehyde were quantified in cultured peripheral blood lymphocytes irradiated with γ rays (⁶⁰Co), dose of 2 Gy. Obtained results have shown that the most important biologically active compound is demethylbelidifolin acting as desmutagen reducing the level of radiation-induced micronuclei for 41 %. Biologically active compounds of *Gentianella* species are good natural radioprotectors.

PROTEKTIVNI EFEKTI: *IN VITRO-*IN VIVO**

G. Joksić, N. Ilić¹, V. Spasojević-Tišma, A. Leskovac
Institut za Nuklearne nauke "Vinča",
¹ Biofarm, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati ispitivanja nutraceutika Gonebazola ("Bofarm" Beograd). Gonebazol sadrži vitamine (A, E, C, B3, B6) ekstrakt Echincea purpurea, polen, propolis, Ca, Mg, i aminokiseline u medu. Preparat je ispitan in vitro na ozračenim humanim limfocitima i in vivo na grupi volontera, zdravstvenih radnika, kojima je zbog hematološkog i nalaza hromozomskih aberacija stavljena privremena zabrana rada u zoni jonizujućeg zračenja. U in vitro uslovima smanjena je učestalost mikronukleusa za 69%, stepen lipidne peroksidacije za 50%, pri čemu je 25% ozračenih leukocita eliminisano apoptozom. In vivo ispitivanja su pokazala veliku sličnost sa in vitro efektima: vreme za regeneraciju kostne srži i perzistencija hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi značajno je smanjeno. Iako preliminarni, rezultati in vivo ispitivanja su veoma ohrabrujući jer značajno smanjuju posledice kumulativnog efekta jonizujućeg zračenja.

UVOD

Dugi niz godina sintetišu se hemijska jedinjenja namenjena zaštiti od jonizujućeg zračenja. Prepoznaju se po skraćenici WR, pri čemu različiti hemijski oblici nose različite brojeve, npr WR-2721 (amifostin, hemijsko ime 1,2 aminopropil, aminoetil cisteamin). Sintetski radioprotektori najčešće su derivati amino kiseline L-cistein ili derivati amina L-cisteina=cisteamina. Mehanizam radioprotektivnog svojstva ogleda se u sposobnosti tiolnih (SH) grupa da apsorbuju elektrone. Zbog neurotoksičnih metabolita (jedan od njih spada u grupu bojnih otrova CS₂-ugljendisulfid) sintetski radioprotektori se retko koriste. Zato se za ublažavanje efekata zračenja, često koriste vitamini, najčešće C i E. Mehanizam njihovog dejstva zasniva se na sakupljanju slobodnih radikala, a u naučnoj javnosti još uvek su podeljenja mišljenja o dozama i kombinacijama vitamina koje treba koristiti [1].

Naša istraživanja usmerena su na iznalaženju efikasnijih protektora od tiolnih jedinjenja i vitamina. Mnogi kompleksi organskih niskomolekulskih jedinjenja biljnog porekla imaju sposobnost da apsorbuju elektrone, ne daju toksične metabolite, poseduju komponente sa antioksidativnim svojstvima i deluju kao dezmutageni [2]. Takva jedinjenja uklanjaju i epoksidne metabolite koji dnevno nastaju u organizmu metabolizmom ksenobiotika. Dosadašnja ispitivanja obuhvatila su nekoliko desetina ekstrakata lekovitog bilja kao što je zečji trn, uva, breza, lincura, glog dren, kantarion, gavez, dinjica, žalfija. Ispitivani su flavonoidi groždja, pčelinji otrov, propolis i složeni dijetetski proizvodi koji se koriste kao nutraceutici. Ispitivanja su najčešće obavljena *in vitro*, a iz dobijenih rezultata mogli smo da zaključimo da su žalfija, breza i uva samo antioksidanti, gavez i zečji trn toksični [3], dok su glog, list dreva i lincura odlični radioprotektori [4]. Utvrdili smo da

ozračene ćelije bolje preživljavaju u prisustvu pčelinjeg otrova, dok je o efektima propolisa i kantariona teško dati konačni zaključak jer su njihove aktivne komponente nerastvorne u vodi, što predstavlja posebnu teškoću za naš eksperimentalni sistem. Dugogodšnje iskustvo, analiza hromozomskih aberacija i mikronukleusa kod profesionalno izloženih lica pokazala da hronična izloženost jonizujućem zračenju u sulovima profesionalne ekspozicije remeti fiziološke procese u ćeliji: indukuje hromozomske aberacije, povećava nekrozu leukocita i smanjuje apoptozu [5]. U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja složenog nutraceutika iz programa "Biofarm" koji su u *in vitro* ispitivanjima pokazali izvanredna radioprotektivna svojstva i visok stepen apoptoze ozračenih leukocita. U ispitivanju *in vivo* efekata preparata dobrovoljno je učestovalo je 10 medicinskih radnika, zaposlenih na odeljenju radiološke dijagnostike jedne naše bolnice, kod kojih je na rutinskom zdravstvenom pregledu ustanovljena povećana učestalost hromozomskih aberacija.

MATERIJAL I METODE

Rutinskom analizom hromozomskih aberacija zaposlenih u zoni jonizujućeg zračenja, od pregledanih 47 izdvojeno je 10 osoba: kod 6 učestalost hromozomskih aberacija je bila iznad maksimalno dozvoljenih vrednosti za profesionalno izložena lica, zbog čega im je preporučena pauza sa radom u zoni zračenja; dok je kod 4 osobe učestalost aberacija bila na gornjoj granici dozvoljenih vrednosti za profesionalno izložena lica.

Preparat su uzimali 20 dana. Prva kontrola urađena je nakon 10, a druga posle 20 dana. Kontrola se sastojala u lekarskom pregledu, određivanju osnovnih hematoloških parametara (krvna slika i leukocitarna formula), analizi hromozomskih aberacija i mikronukleusa. Rezultati su predstavljeni na Tabeli 1.

Gonebazol sadrži vitamin A, E, C, B3, B6, ekstrakt echinacea purpurea, polen, propolis, Ca, Mg, i aminokiseline u medu.

Rezultati su statistički analizirani t-testom i Sperman-runk korelacionim testom. Statistički značajno je snižen broj granulocita na poslednjoj kontroli u odnosu na početne vrednosti, postoji pozitivna, statistički značajna korelacija između ukupnog broja leukocita i granulocita na početku i kraju uzimanja Gonebazola ($r=0.98$, $p<0.05$); negativna statistički značajna korelacija između apsolutnog broja limfocita i učestalosti hromozomskih aberacija na prvoj kontroli posle 10 dana ($r=-.78$, $p<0.05$) i pozitivna statistički značajna korelacija između ukupnog broja leukocita i učestalosti mikronukleusa na kontroli posle 20 dana ($r=0.80$, $p<0.05$).

DISKUSIJA

Iako *in vitro* ispitivanja predstavljaju najbrži način ispitivanja osnovnih karakteristika mnogih jedinjenja, ne može se sa sigurnošću proceniti efekat koji će se postići *in vivo*. Preparat je u *in vitro* uslovima pokazao izvanredna protektivna svojstva, smanjujući incidencu indukovanih mikronukleusa za 69% i lipidnu peroksidaciju za 50%.

Tabela 1: hematološki parametri, hromozomske aberacije i mikronukleusi kod radnika u zoni jonizujućeg zračenja

Br.	Broj leukocita	Limfociti		Granulociti		Monociti		Učestalost		Indeks promene
		%	Aps. br.	%	Aps. br.	%	Aps. br.	hr. prekida po ćeliji	MN/ćeliji	
1. *	4000	35	2365	54	2160	10	400	0.02	-	
	8400	24.5	2996	67.1	5636.4	5.44	456.96	0	0.024	
2. *	11300	20	3205.8	73	8249	6	678	0.03	-	
	13000	22.5	2314.6	69.5	9035	5.52	717.6	0.015	0.020	
3. *	5500	43	1982.2	44	2420	11	605	0.025	-	-22%
	5600	53.5	932.1	36.5	2044	7.46	417.76	0.03	0.036	
	5400	54.4	1631.7	34.4	1857.6	8.76	473.04	0.025	0.028	
4. *	7800	41.1	2155.2	54.7	4266.6	4.2	327.6	0.035	-	-3%
	7100	32.6	2639.1	54.1	3841.1	10	710	0.015	0.039	
	5500	23.5	2492	61.2	3366	11.2	616	0	0.038	
5.	5300	37.4	2146.2	56	2968	6.6	349.8	0.015	-	-69,6%
	3900	23.9	2692.4	58.4	2277.6	10.4	405.6	0.03	0.023	
	4900	33.3	2672.6	52.2	2557.8	9.06	443.94	0.01	0.007	
6. *	4800	44.9	3199.5	50.9	2443.2	4.2	201.6	0.015	-	-58,1%
	5700	46.3	3618	43	2451	6.2	353.4	0.01	0.043	
	5600	44.5	3172	44.7	2503.2	7.11	398.16	0.005	0.018	
7. *	4200	51.1	1321.6	43.8	1839.6	5.1	214.2	0.015	-	+50%
	5300	50.8	1397.4	38.9	2061.7	8.45	447.85	0.035	0.041	
	4600	58.1	1367.1	34	1564	5.85	269.1	0	0.011	
8.	7900	40.5	2584.4	55.7	4400.3	3.8	300.2	0.01	-	
	7700	34	2029.2	56	4312			0.015	0.017	
	7700	41.2	1679	46.8	3603.6	5.79	445.83	0.005	0.034	
9.	2800	47.2	2365	48.4	1355.2	4.4	123.2	0.015	-	-59,3%
	3400	41.1	2996	48.8	1659.2	7.92	269.28	0	0.027	
	3100	44.1	2937.6	43.9	1360.9	8.74	270.94	0	0.011	
10.	7100	36.4	3205.8	60.1	4267.1	3.5	248.5	0.025	-	-8,7%
	8900	22.8	2314.6	68.9	6132.1	6.47	575.83	0	0.023	
	4600	36.5	1298	51.1	2350.6	8.49	390.54	0	0.021	

* osobe koje su imale zabranu za rad u zoni jonizujućeg zračenja

Pod tim uslovima više od 25% ozračenih leukocita eliminisano je apoptozom. U *in vivo* uslovima, nakon 10 dana zapaža se povećana ekspulziju limfocita sa hromozomskim aberacijama iz kostne srži u periferiju, smanjenje apsolutnog broja granulocita i povećanje broja monocita. Nakon 20 dana učestalost hromozomskih aberacija je značajno smanjena u 9 osoba; izrazito smanjena kod 4 osobe. Apoptoza leukocita nije merena. Iako preliminarni, rezultati ispitivanja su ohrabrujući, jer postoji velika sličnost između *in vitro* i *in vivo* efekata. Značajno je smanjeno vreme za regeneraciju kostne srži i brzo su eliminisane oštećene ćelije. Budući da pri profesionalnoj izloženosti jonizujućem zračenju najveći problem predstavljaju kumulativni efekti, eliminacija oštećenih ćelija bez zapaljenja i nekroze, fiziološkim mehanizmima održavanja homeostaze je izuzetno značajna. Neophodno je što pre sprovesti klinička ispitivanja ne samo osoba profesionalno izloženim jonizujućem zračenju, već i pacijenta na radioterapiji, kako bi preparat bio dostupan onima kojima je najpotrebniji.

LITERATURA

- [1] Fenech M. The Genome Health Clinic and Genome Health Nutrigenomics concepts: diagnosis and nutritional treatment of genome and epigenome damage on an individual basis. *Mutagenesis* 2005; 20: 255-69

- [2] Fenech M, Baghurst P, Luderer W, Turner J, Record S, Ceppi M, Bonassi S (2005) Low intake of calcium, folate, nicotinic acid, vitamin E, retinol, β -carotene and high intake of pantothenic acid, biotin and riboflavin are significantly associated with increased genome instability – results from a dietary intake and micronucleus index survey in South Australia. *Carcinogenesis* 2005; 26: 991-9.
- [3] G.Joksić, M Stanković, A. Novak. (2003) Medicinal plants, *Equseti herba*, *Ononidis radix* and *Uvae ursi* modulate induction of micronuclei in human lymphocytes irradiated *in vitro*. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, Vol 20,1:286-292.
- [4] A. Leskovic, T. Momic, T. Jankovic, G. Joksic, (2004), The radioprotective properties of polyphenols on human lymphocytes, Proceedings of the 7th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, "Physical Chemistry 2004", Sept. 21-23, 2004, Belgrade, Serbia and Montenegro, E-26-P, pp. 410-412.
- [5] Joksić G Petrović, S (2004) Lack of adaptive response of human lymphocytes exposed *in vivo* to low doses of ionizing radiation. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, Vol 23,3:195-206.

ABSTRACT

RADIOPROTECTIVE EFFECTS: IN VITRO-IN VIVO

G. Joksić, N. Ilić¹, V. Spasojević-Tišma,
INS VINČA
¹ Biofarm, Beograd

The results of investigation of beneficial radioprotective properties of nutraceutical Gonebazol-«Biofarm» Belgrade are presented in this study. Gonebazol is consisted of propolis, extracts of *Phaseophycea digitata* Khorbi, *Ecninacea purpurea pulvis*, Ca^{++} , Mg^{++} , vitamins B3, B6, A, E and C, amino acids, all conserved in honey.

Nutraceutical was examined *in vitro*, on human irradiated lymphocytes, as well as *in vivo* on volunteers, radiation technicians occupationally overexposed to ionizing radiation. *In vitro* investigations have shown remarkable radioprotective effects of Gonebazol: yield of radiation-induced micronuclei was reduced for 69%, which as followed with reduction of (MDA) for 50% and enhancement of apoptosis of leukocytes up to 25%. Although preliminary, results obtained *in vivo* have shown a great extent of similarity with *in vitro* effects: the incidence of chromosomal aberrations was lowered for less than 3 weeks. Baseline level of micronuclei was significantly reduced. Obtained results confirmed that supplementation with these carefully selected vitamins and minerals significantly improve genomic stability, which could used to avoid adverse effects of ionizing radiation.

ISPITIVANJE FULERENOLA C₆₀(OH)₂₄ KAO POTENCIJALNOG RADIOPROTEKTORA

S. Trajković, S. Dobrić, A. Đorđević¹, V. Dragojević-Simić,
Z. Milovanović, G. Nišović², D. Bokonjić

Nacionalni centar za kontrolu trovanja, VMA, Beograd

¹ Departman za hemiju, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad

² Institut za radiologiju, VMA, Beograd

SADRŽAJ

Fulereni i njihovi polihidroksilovani derivati fulerenoli imaju sposobnost inaktivacije visoko-reaktivnih slobodnih kiseoničnih radikala zbog čega su postali interesantni za proučavanje kao potencijalni antioksidansi. Budući da su štetna dejstva jonizujućeg zračenja na živu materiju uglavnom posredovana slobodnim radikalima, cilj ovog rada je bio da ispita mogućnost primene ovih jedinjenja kao radioprotektora. Eksperimenti su sprovedeni na odraslim mužjacima belih laboratorijskih miševa i Wistar pacova koji su bili ozračeni na celo telo X-zracima energije 8 MV u dozama od 6 Gy, 7 Gy i 8 Gy. Fulerenol C₆₀(OH)₂₄ je primenjivan i.p. u dozi od 10 mg/kg i 100 mg/kg 30 minuta pre zračenja. Kao poredbeni radioprotektor korišćen je amifostin u dozi od 300 mg/kg i.p., takođe primenjen 30 minuta pre zračenja. Protektivna efikasnost fulerenola i amifostina procenjena je na osnovu stepena preživljavanja i promena u opštem statusu i telesnoj masi ozračenih životinja tokom 30 dana posle zračenja. Rezultati pokazuju da fulerenol, dat u višoj testiranoj dozi (100 mg/kg) ispoljava značajan radioprotektivni efekat kod obe životinjske vrste. Ovaj efekat bio je komparabilan onom od standardnog radioprotektora amifostina.

UVOD

Fulereni (C₆₀) su kompleksna ugljenikova jedinjenja koja poslednjih godina privlače pažnju naučne i stručne javnosti zbog izuzetno snažne antioksidativne aktivnosti koja je čak i viša od one koju ispoljavaju prirodni biološki antioksidansi vitamin C i vitamin E [1-3]. Polihidroksilovani fulereni opšte formule C₆₀(OH)_n (n=12-26) poseduju još izraženiji antioksidativni potencijal, a u odnosu na matično jedinjenje imaju i druge prednosti, u prvom redu, dobru rastvorljivost u vodi i sposobnost prolaska kroz biološke membrane, što ih preporučuje za primenu kao antioksidanasa u stanjima „oksidativnog“ stresa [4].

Budući da su štetna dejstva jonizujućeg zračenja na živu materiju uglavnom posredovana slobodnim radikalima [5,6] i da jedinjenja koja imaju sposobnost njihove inaktivacije ispoljavaju radioprotektivni efekat (6,7), cilj ove studije bio je da ispita

radioprotektivni potencijal fulerenola $C_{60}(OH)_{24}$ u poređenju sa onim od poznatog radioprotektora amifostina (8,9).

MATERIJAL I METODE

Eksperimenti su sprovedeni na odraslim mužjacima belih laboratorijskih miševa (20-25 g) i Wistar pacova (200-250 g) odgajanih na Farmi za eksperimentalne životinje Vojnomedicinske akademije u Beogradu. Tokom trajanja oglada životinje su čuvane u standardnim laboratorijskim uslovima uz slobodan pristup hrani i vodi.

Ozračenje celog tela eksperimentalnih životinja vršeno je X-zracima energije 8 MV u dozama od 6 Gy, 7 Gy i 8 Gy na linearnom akceleratoru SL 75-20 (Philips). Fulerenol $C_{60}(OH)_{24}$ je neposredno pre primene rastvaran u destilovanoj vodi i davan i.p. 30 minuta pre zračenja u dozama do 10 mg/kg i 100 mg/kg. Radioprotektor amifostin takođe je rastvaran u destilovanoj vodi neposredno pre injiciranja i davan 30 minuta pre izlaganja životinja zračenju u dozi od 300 mg/kg i.p. Kontrolne (neštićene) životinje bile su, pod istim uslovima, pretretirane fiziološkim rastvorom (1ml/kg i.p.). Svaka eksperimentalna grupa sastojala se od 25-30 miševa, odnosno od 10 pacova.

Radioprotektivna efikasnost primenjenih tretmana procenjivana je na osnovu stepena preživljavanja i promena u opštem statusu i telesnoj masi eksperimentalnih životinja tokom 30 dana posle zračenja. Na osnovu dobijenih rezultata izračunato je srednje vreme uginjavanja ozračenih životinja (LT-50) i međusobno upoređeno [10]. Statističkim značajnim smatrane su razlike srednjih vrednosti na nivou od $p < 0,05$.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati pokazuju da fulerenol, primenjen u višoj testiranoj dozi, ispoljava značajan radioprotektivni efekat obezbeđujući visok stepen preživljavanja ozračenih životinja i značajno produžavajući njihovo srednje vreme uginjavanja. Ovaj efekat bio je podjednako zastupljen kod obe vrste eksperimentalnih životinja i komparabilan onom postignutom primenom standardnog radioprotektora amifostina (Tabela 1).

Tabela 1. Radioprotektivna efikasnost fulerenola i amifostina u miševa i pacova ozračenih X-zracima (8 MV) u dozi od 8 Gy

Specijes	Tretman (mg/kg i.p.)	Preživljavanje (%)	LT-50 (gr. poverenja) (dani)
Miš	Fiziološki rastvor	8	11,15 (9,92-12,53)
	Fulerenol (10)	0	6,54 (5,63-7,60) ^a
	Fulerenol (100)	41,2	16,72 (14,72-19,0) ^{a,b}
Pacov	Fiziološki rastvor	0	3,13 (2,03-4,83)
	Fulerenol (10)	10	10,33 (7,80-13,67) ^a
	Fulerenol (100)	60	> 30 ^{a,b}
	Amifostin (300)	80	> 30 ^{a,b}

a – $p < 0,05$ u odnosu na grupu tretiranu fiz. Rastvorom

b – $p < 0,05$ u odnosu na grupu tretiranu fulerenolom (10 mg/kg)

Kod miševa je fulerenol, primenjen u dozi od 100 mg/kg, obezbedio 40%-no preživljavanje, a kod pacova 60%-no, dok je, istovremeno, u odgovarajućim grupama

neštićenih životinja ono iznosilo 8% (miševi), odnosno 0% (pacovi). Visok stepen zaštite ovom dozom fulerenola postignut je i u grupama životinja ozračenih nižim dozama X-zraka (6 Gy i 7 Gy).

Primenjen u dozi od 10 mg/kg fulerenol nije ispoljio zadovoljavajući radioprotektivni efekat, iako je kod pacova doveo do značajnog produženja LT-50 u odnosu na neštićene životinje (Tabela 1). Naime, u grupi pacova šticevoj ovom dozom fulerenola, slično kao i kod miševa, opšte stanje ozračenih životinja tokom celog vremena posmatranja bilo je izrazito loše, a njihova telesna masa bila je konstantno niža od vrednosti izmerenih pre ozračenja. S druge strane, u grupama i miševa i pacova koje su pre zračenja dobile fulerenol u dozi od 100 mg/kg, nakon inicijalnog pada, vrlo brzo došlo je do oporavka telesne mase čiji je prirast u daljem toku pratio trend intaktnih (neozračenih) životinja. Rezultati slični ovima dobijeni su i primenom amifostina (Tabela 2).

Tabela 2. Uticaj pretretmana fulerenolom i amifostinom na promene telesne mase* pacova ozračenih X-zracima (8 MV) u dozi od 8 Gy

Tretman (mg/kg i.p.)	Dani posle zračenja					
	0.	3.	7.	14.	21.	28.
Intaktna kontrola	0	- 4,4	+ 0,46	+ 20,2	+ 37,6	+ 50,5
Fiz. Rastvor	0	- 8,5	- 10,8	- 10,8	- 10,0	-
Fulerenol (10)	0	- 1,8	- 14,9	- 17,9	- 16,7	- 12,3
Fulerenol (100)	0	- 1,3	- 1,5	+ 26,6	+ 23,6	+ 27,9
Amifostin (300)	0	- 10,0	- 8,0	+ 12,5	+ 16,7	+ 25

* % promene telesne mase u odnosu na vrednosti pre zračenja (0. dan)

Ovi rezultati ohrabruju i preporučuju fulerenol za dalja ispitivanja kao potencijalnog radioprotektora.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da fulerenol $C_{60}(OH)_{24}$, primenjen u dozi od 100 mg/kg i.p. 30 minuta pre zračenja, ispoljava značajan radioprotektivni efekat kod miševa i pacova obezbeđujući visok stepen i značajno duže vreme preživljavanja ozračenih životinja. Ovaj efekat komparabilan je onom koji se postiže primenom standardnog radioprotektora amifostina.

LITERATURA

- [1] Mashino T., Usuia N., Okuda K., Hirotab T., Mochizukia M. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 11:1433, 2003.
- [2] Bolskar R.D., Benedetto A.F., Husebo L.O. et al. *J. Am. Chem Soc.*, 9:18, 2003.
- [3] Wilson S.R. In: *Fullerenes: Chemistry, Physics, and Technology*, Wiley, New York, 2000; pp. 437–465.
- [4] Dugan L., Gabrielsen J., Yu S., Lin T., Choi D. *Neurobiol. Dis.*, 3:129, 1996.
- [5] Vranješ S., Orlić M., Vučina J. *Acta Clinica*, 5(1):50-63, 2005.
- [6] Dobrić S. *Scr. Med.*, 26 (1-4):33-37, 1995.
- [7] Kljajić R., Žunić Z., Bogdanović G. *Onkološki arhiv*, 2(4):209-213, 1994.
- [8] Koukourakis M.I. *Anti-Cancer Drugs*, 13:181-209, 2001.
- [9] Dragojević-Simić V., Dobrić S., *Vojnosanit. Pregl.*, 53(4):305-310, 1996.
- [10] Litchfield J.T., Wilcoxon F.A. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 96:99-113, 1949.

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF FULLERENOLA C₆₀(OH)₂₄
AS A POTENTIAL RADIOPROTECTOR**

S. Trajković, S. Dobrić, A. Đorđević¹, V. Dragojević-Simić,
Z. Milovanović, G. Nišović², D. Bokonjić

National Poison Control Centre, Military Medical Academy, Belgrade

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Novi Sad, Novi Sad

²Institute of Radiology, Military Medical Academy, Belgrade

Fullerens and their polyhydroxylated derivatives fullerenols have capability to inactivate highly reactive free oxygen radicals and due to this they attract an attention as a potential antioxidants. Since harmful effects of ionizing radiation on living organisms are mainly mediated by free radical species, the aim of this study has been to investigate potential use of these compounds as radioprotectors. Experiments were done on adult male white laboratory mice and Wistar rats subjected to whole-body irradiation by X-rays (8 MV) in doses of 6 Gy, 7 Gy and 8 Gy. Fullerenol C₆₀(OH)₂₄ was given i.p. in doses of 10 mg/kg and 100 mg/kg 30 min before radiation. A standard radioprotector amifostine, given in a dose of 300 mg/kg i.p., 30 min before irradiation, was used for comparison. Protective efficiency of fullerenol and amifostine was estimated regarding survival rate and mean lethal time of irradiated animals during 30 days after irradiation. Results showed that fullerenol, given in higher tested dose (100 mg/kg) produced significant radioprotective effect in both animal species. This effect was comparable to that of amifostine.

**NEOPHODNOST ZDRAVSTVENE KONTROLE
ZDRAVSTVENIH RADNIKA
U ZONI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA**

V. Spasojević-Tišma, G. Joksić¹, D. Čeleketić²
Zavod za radiološku zdravstvenu zaštitu, Institut Vinča, Beograd,
¹Laboratorija za hemiju, Institut Vinča, Beograd,
²Kliničko Bolnički Centar, Zemun.

SADRZAJ

U ovom radu prikazani su uporedni medicinski rezultati ispitivanja leukocitarne formule (granulociti, limfociti i monociti), hromozomske aberacije u limfocitima periferne krvi i aktivnosti alkalne fosfataze u granulocitima periferne krvi kod osoba profesionalno izloženih malim dozama jonizujućih zračenja i to kod onih osoba koje su imale određena odstupanja od normalnih – referentnih vrednosti, a koja predstavljaju kontraindikaciju za rad u zoni jonizujućih zračenja.

Odabrana je grupa radiologa i radioloških tehničara (27 pacijenata) Prikazani su rezultati samo pet pacijenata kod kojih su nadjene određene promene, dok su kod ostalih pacijenata nalazi u granicama referentnih vrednosti.

UVOD

Lica profesionalno izložena jonizujućim zračenjima čine i zdravstveni radnici (radiolozi, stomatolozi, radioloski tehničari i drugi). Svi oni u toku svog profesionalnog rada su izloženi delovanju jonizujućih zračenja.

Prolaskom kroz živu materiju jonizujuće zračenje izaziva određene radiobioloske efekte na nivou ćelije, tkiva, organa i na organizam u celini. Kakav će biti krajnji efekat na organizam zavisi od niza faktora medju kojima su vrsta zračenja, veličina doze, dužina izlaganja, radioosetljivost imunog sistema kao i stanje reper sistema organizma. Iz tih razloga je zakonskim propisima predviđena redovna zdravstvena kontrola lica u zoni jonizujućih zračenja.

U ovom radu prikazani su rezultati jedne takve kontrole: pregledom je obuhvaćeno 27 pacijenata. Pregledao ih je specijalista medicine rada (anamneza, klinički pregled) i specijalista oftalmolog (pregled očnog sočiva). Analizirani sledeći hematološki parametri: broj leukocita i leukocitarna formula, analiza hromozomskih aberacija i aktivnost alkalne fosfataze u granulocitima periferne krvi. Vrednosti TLD dozimetrije nisu imali jer su u međuvremenu bili pod kontrolom druge ustanove.

Cilj ovog rada je da ukaze da li kod zdravih osoba bez klinički manifestnih bolesti postoji korelacija izmedju leukocitarne formule, aktivnosti alkalne fosfataze u granulocitima i učestalosti hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi.

MATERIJAL I METODE

Analizom je obuhvaćeno 27 rentgen tehnicara radiodijagnostike (20 žena i 7 muškaraca) koji su profesionalno izloženi malim dozama jonizujućih zračenja. Srednja vrednost ekspozicionog radnog staža (ERS) je 13 godina. Ispitivani su hematološki parametri (leukociti sa leukocitarnom formulom), analiza hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi i aktivnost alkalne fosfataze u granulocitima periferne krvi. Za analizu hromozomskih aberacija korišćena je modifikovana Moorhead-ova mikrometoda za limfocite periferne krvi i pregleda se ukupno 200 ćelija (2). Aktivnost alkalne fosfataze je radjena metodom spektrofotometrije. Promena apsorbence se prati na 410 nm i temperaturi od 37°C u toku 3 minuta (1).

REZULTATI I DISKUSIJA

Svi pregledani pacijenti su bili zdravi bez subjektivnih tegoba. Pregledom oftalmologa nisu utvrđene promene na očnom socivu ni kod jednog pacijenta.

Tabela 1. Leukociti i leukocitarna formula kod pacijenata sa nadjenim promenama

Broj pacijenta	Ukupan broj Leukocita	Limfociti		Granulociti		Monociti	
		%	Aps. br	%	Aps. br	%	Aps. br
1.	4,0X10 ⁹	35	1400	54	2160	10	400
2.	11,3X10 ⁹	20	2260	73	8249	6	678
3.	4,8X10 ⁹	44,9	2155,2	50,9	2443,2	4,2	201,6
4.	4,2X10 ⁹	51,1	2146,2	43,8	1839,6	5,1	214,2
5.	2,8X10 ⁹	47,2	1321,6	48,4	1355,2	4,4	123,2

Analizom hematoloških parametara (Tabela 1) utvrđene su promene kod 2 pacijenta (redni broj 2 i 5 na Tabeli 1). Jedan je imao povišeni ukupan broj leukocita (Le) 11,3X10⁹/l, a drugi smanjene vrednosti leukocita (Le) 2,8X10⁹/l. Dva pacijenta (redni broj 1 i 4 na Tabeli 1) su imala vrednosti leukocita na donjoj granici referentnih vrednosti. Pacijenti koji su imali snižene vrednosti leukocita i oni koji su imali leukocite na donjoj granici imali su i snižene vrednosti broja granulocita dok su limfociti bili u granicama referentnih vrednosti (Sl. list 45/97).

Kod osobe koja je imala povišene vrednosti leukocita bili su povišeni i granulociti dok su limfociti bili u granicama referentnih vrednosti.

Analizom hromozomskih aberacija (HA) nadjene su promene kod 5 pacijenata. Kod 2 pacijenta su nadjene promene tipa dicentričnih hromozoma sa pratećim acentričnim fragmentom, a kod 3 ispitanika promene tipa acentričnih fragmenata i hromatidni prekidni.

Kod pacijenta kod kojeg su bili povećani leukociti nadjene su promene tipa dicentrika sa pratećim acentričnim fragmentima, a kod pacijenta sa sniženim leukocitima promene hromozoma tipa acentrični fragmenti sa hromatidnim prekidima.

Aktivnosti alkalne fosfataze (ALP) kod svih pacijenata su bile u granicama referentnih vrednosti. Ovi nalazi nisu u korelaciji sa brojem Le (3). Analiza ALP je radjena spektrofotometrijski. To je brza metoda koja nam daje uvid u trenutno stanje ali zanemaruje morfologiju ćelije koja je u citohemiji ocuvana (metoda po Kaplow-u), a što je od

presudnog značaja za dijagnozu na osnovu slike perifernog razmaza gde se tačno može uočiti broj i oblik ćelije u kojima aktivnost ALP-a nedostaje (4). Kao preventivna mera pacijenti su privremeno isključeni iz zone jonizujućih zračenja i zakazana im je kontrola za četiri meseca. Na osnovu iznetog ponovo se može zaključiti da je neophodna kontinuirana kontrola lica koja rade u zoni jonizujućih zračenja.

LITERATURA

- [1] Spasojević-Tišma V., Pavelkić V., Ilić Z., Čeleketić D.: Kinetički metod određivanja ALP u granulocitima periferne krvi, Zbornik radova XXII jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja 2003, Petrovac, 259-262.
- [2] Moorhead PS.: Chromosome preparation of leucocytes cultured from human peripheral blood, exp.cell Res 1960. 613-616.
- [3] Milačić S.: Ispitivanje aktivnosti alkalne fosfataze i peroksidaze granulocita periferne krvi pod uticajem jonizujućeg zračenja, Magistarski rad, Medicinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] Milačić S.: Citološke i citohemijske promene leukocita kao posledica interne radioaktivne kontaminacije ljudskog organizma, Doktorska disertacija, Medicinski fakultet, Beograd.

ABSTRACT

NECESSITY OF ROUTINE MEDICAL HEALTH CHECK UP OF RADIOLOGISTS AND TECHNICIANS WORKING IN THE ZONE OF IONIZING RADIATION

V. Spasojević-Tišma, G. Joksić¹, D. Čeleketić²
Vinca Institute of Nuclear Sciences, Department of Medical Protection
¹ Vinca Institute of Nuclear Sciences, department of Chemistry
² Clinic Center Zemun, Department of Haematology

In this paper we present the results of routine medical health check up of radiologists and technicians working in the zone of ionizing radiation. Medical examinations involved hematological analysis: number of leucocytes, leukocytes formula (granulocytes, lymphocytes and monocytes), chromosomal aberrations in lymphocytes and activity of granulocyte alkaline phosphatase in granulocytes. The study comprised 27 individuals professionally exposed to low doses of ionizing radiation. Disorders were found at five out of 27 patients.

6. Radioaktivni otpad i dekontaminacija

PRIMENA SEKVENCIJALNE EKSTRAKCIJE U KVANTIFIKACIJI SORPCIJE URANIJUMA U KONTAMINIRANIM ZEMLJIŠTIMA

M. Stojanović, D. Kovačević, D. Ileš, M. Grubišić
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

SADRŽAJ

Kvantifikacija sorpcije urana na kontaminiranim zemljištima određena je desorpcionim testom preko sekvencijalne ekstrakcije. Ispitivanja su obavljena na zemljištu, lokaliteta Bratoselce (11,14 gU/t) koja je za vreme NATO agresije, 1999. god., bombardovana municijom sa osiromašenim uranijumom i jalovini zatvorenog rudnika urana, u Kalni, na jugoistoku Srbije (16,76gU/t). Ispitivanja imaju za cilj pružanje geohemijskih informacija neophodnih pri izboru najpogodnije remediacione tehnologije za kontaminiran lokalitet. Rezultati u ovom radu ukazuju da je uran na jalovini Kalna više vezan u vodno rastvorljivim, izmenljivo i specifično adsorbovanim oblicima nego strukturno. Iz tih razloga se i preporučuje fitoremedijacija ili luženje na gomili kao "in situ" remediaciona tehnologija. Sa druge strane uran na zemljištu lokaliteta Bratoselce je najvećim delom strukturno vezan za zemljišni matriks sa smanjenom mogućnošću njegovog uključivanja u lanac ishrane.

UVOD

Koeficijent distribucije, K_d , na najjednostavniji način opisuje sorpciju polutanta na sediment. Predstavlja se odnosom koncentracije polutanta u čvrstoj i tečnoj fazi. Za razliku od tradicionalne sorpcione vrednosti koja nam pruža informaciju o mehanizmu i uslovima sorpcije, koeficijent desorpcije, K_{des} , nam daje podatke važne za proces mobilizacije, transporta i depozicije kontaminanta. Poznavanje mehanizma desorpcije omogućava nam sa jedne strane kvantifikaciju prelaska polutanta u mobilnu tj. vodenu fazu a sa druge strane dobijamo informacije koje nam omogućavaju definisanje tehnologije upravljanja kontaminiranim lokalitetom ujedno definišući proces "starenja" između polutanta i sedimenta.

MATERIJAL I METODE

Zemljišta koja su ispitivana u ovom radu uzorkovana su sa lokaliteta Bratoselce i jalovine zatvorenog rudnika urana u Kalni. Oba lokaliteta se nalaze u jugoistočnom delu Srbije. Takođe, je ispitivano i nekontaminirano zemljište, tipa černoze sa oglednih polja iz Zemun Polja. Uzorkovanje je obavljeno u površinskom sloju (0-30 cm) za koje se veruje da je najpodložnije prirodnim jono-izmenjivačkim procesima. pH zemljišta je određeno na 1:1 zemljište/voda sistemu. Ukupan sadržaj urana određen je fluorimetrijskom metodom na

fluorimetru Jarell Ash Division. 5 gr uzorka se kiseliniski tretira sa koncentrovanom HF i HNO₃ a potom se uran ekstrahuje sa sinergističkom smešom TOPO (tri-n-oktilfosfinsoksid) u etil acetatu [1]. Donja granica detekcije je 10⁻⁸ g urana po piluli.

Postupak sekvencijalne ekstrakcije prikazan je u tabeli 1. i ilustrovan slikom 1. [2], [3], [4], [5], [6].

Procedura obuhvata hemijsku ekstrakciju vodo rastvorljivih, izmenljivo adsorbovanih oblika urana u zemljištu, oblika urana vezanih za karbonate, organsku materiju i amorfne i kristalne okside Fe i Mn. Strukturno vezan sadržaj urana određuje se iz razlike ukupnog sadržaja urana i zbira frakcija od 2-6. Sve ekstrakcione faze su rađene u duplikatu. Između svake ekstrakcije, uzorak se ispira tri puta sa 0.01M CaCl

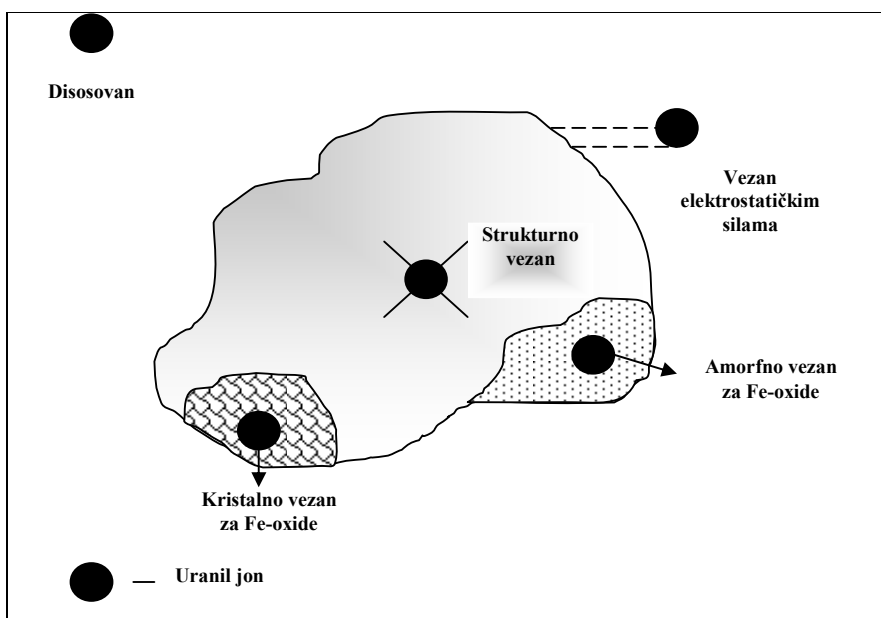
Tabela 1. Postupak sekvencijalne ekstrakcije

Br.	Željena frakcija	Ekstraktivni reagens	Uslovi ekstrakcije
1	Vodo-rastvorljiva	Destilovana voda	Uravnotežavanje čvrste i tečne faze (1:1) traje 7 dana na sobnoj temperaturi uz povremeno mešanje.
2	Izmenljivo-adsorbovana	0.1M CaCl ₂ pH=7.5	Uravnotežavanje čvrste i tečne faze (1:10) traje 1h na sobnoj temperaturi uz mešanje
3	Karbonatila	1M NaAc pH=5	Uravnotežavanje čvrste i tečne faze (1:10) traje 1h na sobnoj temperaturi uz mešanje
4	Amorfni oksidi Fe, Mn	0.04M Hidroksilaminhidrohlorid u 25% HCl pH=3	Mešanje – 4 ^h na sobnoj temperaturi
5	Organska faza	30%H ₂ O ₂ i 0.02M HNO ₃ pH=2	Mešanje – 2 ^h na 85 ^o C
6	Kristalni oksidi, hidroksidi Fe,Mn	3.33% Na-ditionata u 0.15M-Na citrata pH=58.3	Mešanje – 1 ^h na 85 ^o C
7	Strukturno vezan uran	8M HNO ₃	Određuje se iz razlike ukupnog urana i zbira razlike sadržaja urana u frakcijama 2-6
8	UKUPAN uran	Cone.HF i HNO ₃ (1:3)	Razaranje kuvanjem do suva , suvi ostatak se tretira sa 8%HNO ₃

Konstanta desorpcije je prikazana jednačinom (1)

$$K_{desorb} = \frac{C_{izmads.} + C_{org.} + C_{carb.} + C_{amFeox}}{C_{voda-rast}} \quad (1)$$

$C_{izm.ads}$, C_{org} , C_{carb} , i $C_{am·Feox}$ predstavljaju pristupačne i potencijalno pristupačne oblike urana dostupne biljkama, tj one oblike koji mogu vanredno doprineti kontaminaciji ispitivanog lokaliteta. Treba naglasiti da je K_{desorb} manja, ukoliko je zbir labilnih frakcija manji. $C_{vodo.ras}$ predstavlja oblike urana rastvornih u zemljišnim rastvorima. Takav sadržaj urana se dobije uravnotežavanjem čvrste i tečne faze (1:1) u trajanju od 7 dana na sobnoj temperaturi [7].



Slika 1. Šematski prikaz potencijalnih oblika urana u sistemu zemljište/zemljišni rastvor

REZULTATI I DISKUSIJA

Neke osobine zemljišta su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Neke osobine ispitivanih zemljišta

Karakteristike	Kontrola nekontaminirana (A)	Bratoselece (B)	Kalna (C)
pH	6.90	6.30	8.24
U ukupni sadržaj (g/t)	1.53	11.14	16.12
Fe ²⁺ (%)	3.608	2.003	2.450
Mn ²⁺ (%)	0.012	0.034	0.046

Prirodni sadržaj urana u zemljištima Srbije se kreće u opsegu od 0.08-5.9 g/kg [8], te se može zaključiti da su uzorci B i C kontaminirani. Rezultati sekvencijalne ekstrakcije prikazani su u tabeli 3.

Fracije pod brojem 1, 2, 3 i 4 predstavljaju labilne, odnosno potencijalno pristupačne oblike urana čiji se zbir koristi za izračunavanje K_{desor} (jednačina 1), dok zbir frakcija 5 i 6, predstavljaju strukturno vezan uran u silikatima i kristalnim oksidima Fe i Mn.

Sadržaj strukturno vezanog urana i urana vezanog za kristalne okside Fe i Mn ukazuje na njegovo geohemijsko poreklo a visok sadržaj pristupačnih i potencijalno pristupačnih frakcija ukazuje na njegovo antropogeno poreklo na ispitivanim lokalitetima.

Tabela 3. Koncentracije U (g/t) nakon sekvencijalne ekstrakcije

	Frakcija	A		B		C	
		Ug/t	% U _{uk}	Ug/t	% U _{uk}	Ug/t	% U _{uk}
1	Vodo-rastvorljivi izmenljivo adsorbovani oblici	0.04	2.61	0.08	0.72	0.23	1.43
2	Specifično adsorbovani i vezani za karbonate	0.08	5.23	0.03	0.28	2.41	14.95
3	Amorfno vezan za okside Fe i Mn	0.13	8.50	1.84	16.52	1.94	12.03
4	Vezan za organsku materiju	/	/	0.12	1.07	3.19	19.79
5	Vezan za kristalne okside Fe i Mn	0.30	19.60	3.18	28.54	4.01	24.81
6	Strukturno vezan	0.98	64.05	5.89	52.87	4.35	26.98
7	Ukupan uran (U _{uk})	1.53	100	11.14	100	16.12	100

Najmanji sadržaj urana od 1.53 g/t je određen u nekontaminiranom zemljištu i na nivou je prirodnog fona. 83.65% urana je strukturno vezan i ukazuje na njegovo geohemijsko poreklo. Kiselost od 6.3 doprinosi fiksaciji urana. Pri pH intervalu od 6.1-6.2 fiksacija urana na gline je najefikasnija [8].

Najveći sadržaj strukturno vezanog urana (83.65%) je određen u kontroli a najmanji u jalovini, Kalna, (51.79%) i ukazuje na njegovo geohemijsko poreklo. Visok sadržaj strukturnih oblika u uzorku zemljišta Bratoselce ukazuje da je uran čvrsto fiksiran za zemljište usled neutralnosti zemljišta.

Sadržaj vodorastvorljivih oblika urana dobijenih nakon uravnotežavanja sistema zemljište/voda u trajanju od 7 dana je 0.0001 mgU/l na nekontaminiranom zemljištu, 0.002 mgU/l na zemljištu lokaliteta Bratoselce, 0.0093 mgU/l na jalovini rudnika Kalna

Visok sadržaj ukupnog urana u jalovini (16,12g/t) ukazuje na njegovo antropogeno poreklo. Strukturno vezani oblici urana (51.79%) predstavljaju fiksirane nerastvorne oblike; potencijalno pristupačnih oblika urana ima 48.20%. Alkalnost jalovine, pH 8.24, pogoduje fiksaciji, adsorpciji i precipitaciji urana. Promenom kiselosti i redoks potencijala zemljišta započinje proces mobilizacije urana [9].

Lokalitet Bratoselce poseduje 81.41% strukturno vezanog urana i 18.59% potencijalno pristupačnih oblika. Neutralnost zemljišta, pH 6.9, pogoduje trajnom vezivanju uranil jona za limont.

Pri pH 7, uranilcarbonatin joni, se vezuje za Fe³⁺ jone taložeći se kao limonit. Proces transformacije ferihidroksida do limonita je nepovratan a uran trajno vezan, što se najverovatnije dogodilo i na ispitivanom lokalitetu, imajući u vidu visok sadržaj (28.54%) urana vezanog za kristalne oblike Fe i Mn. [9].

K_{des}. Iznosi 147 mlU/g na jalovini, 1035 mlU/g na lokalitetu Bratoselce i 3500 mlU/g na nekontaminiranom zemljištu.

ZAKLJUČAK

Primenom tehnike sekvencijalne ekstrakcije dobija se "in situ" vrednost koeficijenta desorpcije. Sorpcija kontaminanta je promenljiva veličina i osim fizičko-

hemijskih i hemijskih osobina zemljišta zavisi od perioda njegovog prisustva na lokalitetu, s obzirom da se "starenjem" polutanti inkorporiraju strukturno u čvrstu fazu ili trajno talože. Prednost K_{des} u odnosu na koeficijent desorpcije ogleda se u tome što K_{des} obuhvata podatke koji se odnose na pristupačne i potencijalne oblike urana čime se omogućava procena njegove migracije i uključivanja u lanac ishrane.

Poznavanje koeficijenta desorpcije omogućava nam evaluaciju potencijalne remedijacione strategije za kontaminirani lokalitet i procenu ugroženosti životne sredine od radioaktivnog zračenja.

LITERATURA

- [1] Stojanović M., Martinović Z., (1995): Pregled analitičkih metoda za određivanje urana, Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na kontaminaciju uranom, Naučni skup, SANU, knjiga 5, 19-25
- [2] Miller, W.P., Martens, D.C., Zelarny, L.W., Kornegay, E.T.. (1986): J. Environ. Qual.,15-69
- [3] Kaplan D.,and Serkiz S.M., (2001): Quantification of Tharium and Uranium sorption to contaminated sediment; Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 529-535.
- [4] Schultz, M.K. Burnett.W.C, and Inn, K.G.W., (1998b): Evaluation of a sequential extraction method for determining actinide fractionation in soils and sediments. J.Environ. Rad. 40, 2, 155-174.
- [5] Sparks P.L., (1996): Soil Science society of Amerika, Modisom, Wisconsin, p. 417.
- [6] Tessier A, Complbell P.G.C. and Bissen N, (1995): Sequestial Extraction procedure specification of Particulate Tracee Metale, Anul.Chem.vol.51, 844-851.
- [7] Rhodes, J.D., (1996): Electrical conductivity and total dissolved solids, in: Methods of Sail Analysis, Part 3, Chemical method, Soil Science Sopciety of America, Madison, Widscon sin, p 417.
- [8] Veselinović S.D., Gržetić I., Čarman A.Š., Marković A.D., (1995): Stanja i procesi u životnoj sredini, I Knjiga, Fakultet za fizičku hemiju, p 355.
- [9] Harmstem, K. (1988): Occurrence and Beohavior of Uranium and thrium in soil and water, Neth.J.Agric.Sci. 28, 40-62.

ABSTRACT

FROM SEQUENTIAL EXTRACTION TO QUANTIFICATION OF URANIUM SORPTION TO CONTAMINATED SOIL

M. Stojanović, D. Kovačević, D. Ileš, M. Grubišić
Institute for Tehnology of nuclear and other Mineral Raw Materials , Belgrade

Desorption test using a sequential extraction method were used to characterize and quantify uranium sorption to contaminated soils collected from Bratoselce (11,14 gU/t) which was target of depleted uranium ammunition during the NATO aggression, 1999. in Serbia and tailing (16.76 gU/t) from closed uranium mine, Kalna, in sout-east Serbia. Test were conducted to provide geochemical information relevant for selecting appropriate remediation technologies for contaminated site. Obtained results shows that uranium in tailing were associated with labile fractions and were not concentrates with the smaller sediment particies. These finding suggest that phytoremediation or heap leaching and not soil washing are viable "*in situ*" remediation approaches for this site. Obtained results in soils collected from Bratoselce show that uranium was biggest part associated structuraly.

HEMIJSKA STABILIZACIJA TOKSIČNIH METALA I RADIONUKLIDA

S. Raičević, I. Smičiklas
Institut za nuklearne nauke "Vinča"
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"

SADRŽAJ

Zagađenje zemljišta toksičnim metalima i radionuklidima predstavlja ozbiljnu pretnju pošto putem kontaminacije podzemnih voda i rezervoara vode za piće kao i lanca ishrane može ozbiljno da ugrozi zdravlje ljudi i životinja. Saniranje ovog zagađenja je vrlo specifično jer obuhvata veliku površinu i količinu zemljišta koja mora ili da se ukloni i odloži kao opasni otpad (ex situ remedijacija) ili da se tretira na samoj lokaciji jednom od in situ tehnika za remedijaciju zemljišta. U praksi se za potpunu remedijaciju zemljišta i revitalizaciju terena najčešće koristi kombinacija ova dva pristupa. Savremene tehnike za remedijaciju zemljišta zasnivaju se na fizičkim, hemijskim, biološkim i termičkim metodama tretmana. U ovom radu je dat kratak pregled hemijskih metoda tretmana i posebno postupka fosfatne stabilizacije, koji se u praksi pokazao vrlo efikasnim pri in situ tretmanu zemljišta i voda kontaminiranim teškim metalima.

UVOD

Zagađenje zemljišta i voda toksičnim metalima i radionuklidima ozbiljno narušava ekosistem, smanjuje prinose poljoprivrednih kultura i preko kontaminacije lanca ishrane i vodenih resursa ozbiljno ugrožava zdravlje ljudi i životinja. Kao posledica dugogodišnjeg zanemarivanja zaštite životne sredine u našoj zemlji i proteklih ratnih dejstava mnoge lokacije u Srbiji i Crnoj Gori su ostale kontaminirane toksičnim metalima, prvenstveno olovom (Pb) i kadmijumom (Cd) i radionuklidima, kao što su uranijum (U), uključujući i osiromašeni uranijum (depleted uranium, DU) i stroncijum (Sr) [1, 2]. Prema savremenim iskustvima najbolji rezultati u saniranju ovog zagađenja postižu se kombinacijom *ex situ* tretmana i *in situ* remedijacije [3].

IZBOR METODE ZA SANIRANJE ZAGAĐENJA

Izbor najpovoljnije metode za saniranje kontaminiranog zemljišta na određenoj lokaciji, sa aspekta efikasnosti i ekonomičnosti, zavisi od sledećih faktora:

A. Vrste i stepena kontaminacije:

- organske materije
- teški metali (Pb, Cd, Cu, Cr, As)
- radionuklidi (U, Sr, Cs)

B. Karakteristika lokacije:

- fizičko-hemijski parametri (pH, Eh, hemijski sastav)
- geohemijske karakteristike zemljišta
- hidrološke karakteristike lokacije

C. Sadašnje i buduće namene lokacije:

- industrijska namena
- naseljeno mesto
- putna mreža

Na osnovu ovih parametara bira se metoda koja je optimalna za datu lokaciju i vrstu zagađenja. Pošto je najčešće na jednoj lokaciji prisutno više vrsta zagađenja, u praksi se najčešće primenjuje kombinacija nekoliko postupaka pošto primena samo jednog postupka često nije dovoljna za potpunu remedijaciju zemljišta i revitalizaciju terena.

EX SITU REMEDIJACIJA

Ex situ remedijacija podrazumeva (i) iskopavanje visoko kontaminiranog zemljišta, (ii) fizički i hemijski tretman radi smanjenja zapremine (prosejavanje, gravitaciono razdvajanje, hemijsko ispiranje), (iii) imobilizaciju polutanta u čvrstu matricu, najčešće na bazi cementa [4] i (iv) odlaganje kao radioaktivni ili opasni otpad na za to predviđenu deponiju. Prednost ove metode je u tome što se zagađenje trajno uklanja sa lokacije. Međutim, u ovom postupku najveći problem predstavlja izuzetno velika količina zemlje koja mora da se ukloni da bi lokacija bila potpuno bezbedna za okolinu i pogodna za dalje korišćenje. Na primer, u procesu *ex situ* remedijacije samo jedne lokacije u Crnoj Gori kontaminirane sa DU uklonjeno je dve tone zemlje, stena i humusa [2]. Iako je najveći deo ovog zemljišta nisko radioaktivan, neophodan je dalji tretman radi smanjenja zapremine materijala koji mora da se odlaže kao radioaktivni otpad.

U slučaju kontaminacije toksičnim metalima, kao što su Pb i Cd, situacija je mnogo gora. Prema procenama američkih stručnjaka količina zemljišta kontaminiranog toksičnim metalima koja bi morala da se ukloni i odloži kao opasan otpad prevazilazi sav raspoloživi prostor u njihovoj zemlji. Zbog toga se primena iskopavanje kao metode sanacije kontaminiranog zemljišta uglavnom ograničava na vrlo visoku kontaminaciju na ograničenoj lokaciji i intenzivno se kombinuje sa drugim metodama tretmana i primenom *in situ* remedijacije.

IN SITU HEMIJSKA REMEDIJACIJA

In situ remedijacija zemljišta podrazumeva imobilizaciju polutanata na samoj lokaciji pomoću hemijskih, fizičkih ili bioloških postupaka. Hemijska *in situ* remedijacija zasniva se na dodatku aditiva koji smanjuje pokretljivost metalnog zagađivača prevodeći ga u stabilnu nerastvornu fazu. Osnovna prednost ovog postupaka je u tome što se aditiv dodaje direktno u zemljište, u propusnu reaktivnu barijeru (PRB) ili se postavlja kao zaštitni sloj (liner) oko kontaminirane lokacije. Ovo se postiže primenom standardnih tehnika, tako da nikakvi specifični uređaji nisu potrebni za primenu ove metode.

Aditivi, koji se koriste za hemijsku stabilizaciju metala, su reaktivni materijali koji vezuju polutante preko mehanizama kao što su:

- Adsorpcija
- Jonska izmena

- Oksidacija – redukcija
- Precipitacija

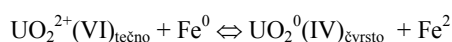
Kao aditivi za *in situ* remedijaciju koriste se različiti materijali:

- zeoliti
- gline
- gvožđe
- kalcijum fosfatni materijali

Svaki od ovih materijala reaguje na različite načine sa metalima iz okoline što uključuje (i) adsorpciju specifičnih katjonskih vrsta na modifikovanim zeolitima, (ii) precipitaciju metala i radionuklida pomoću kalcijum fosfatnih materijala na bazi apatita [5-7] ili (iii) kompletnu redukciju sistema pomoću multo-valentnog gvožđa, drugih faza gvožđa ili mikrobiološke aktivnosti [8].

OKSIDACIJA – REDUKCIJA

Stabilizacija uranijuma pomoću multo-valentnog gvožđa obuhvata oksido-redukциони proces koji se pojednostavljeno može prikazati sledećom jednačinom:



U ovom procesu šestovalentni U(VI), koji se u okolini nalazi u obliku rastvorenog uranil jona UO_2^{2+} , transformiše se do četvorovalentnog U(IV) u obliku nisko rastvorljivog UO_2 . Efikasnost ovog postupka u velikoj meri zavisi od fizičko-hemijskog sastava rastvora u kome se proces dešava (pH, Eh, CO_2).

FOSFATNA STABILIZACIJA METALA

Fosfatna stabilizacija metala pomoću reaktivnog materijala na bazi apatita zasniva se na dva osnovna mehanizma: sorpciji i precipitaciji nove stabilne faze u koju je ugrađen metalni zagađivač. Koji će od ova dva mehanizma biti dominantan zavisi od: (i) vrste i osobina reaktivnog apatita koji se koriste za imobilizaciju i (ii) fizičko-hemijskih osobina rastvora (hemijskog sastava, koncentracije metala, pH rastvora, itd.). Osnovni problem u realizaciji ovog postupka je izbor odgovarajućeg apatita, pošto apatiti predstavljaju klasu od preko tri stotine osnovnih jedinjenja, sintetičkog, mineralnog ili biološkog porekla, koja imaju različite osobine i reaktivnost [9, 10].

PRAKTIČNA PRIMENA FOSFATNE STABILIZACIJE

Jedan od apatita koji se poslednjih godina široko koristi za uklanjanje U, Pb i drugih toksičnih metala je apatit biološkog porekla - Apatit II [5]. Apatit II ima specifičnu nisko kristalnu strukturu i optimalni sastav primesa, što mu omogućava dobru rastvorljivost i formiranje stabilnih fosfatnih faza sa U i Pb.

Reaktivnost Apatita II je praktično potvrđena pri uklanjanju rastvorenog U iz kontaminiranih podzemnih voda u okolini odlagališta Y-12 u Ouk Ridžu, Tenesi [11], za imobilizaciju DU posle ispiranja zemljišta sa poligona u Los Alamosu [12] i na mnogim drugim lokacijama širom SAD:

Bunker Hil, ID	Pb, Cd, Zn	zemljište
Okolina rudnika Suces, ID	Zn, Pb, Cd	PRB – propusne reaktivne barijere
Los Alamos, NM	U (DU)	ispiranje zemljišta, imobilizacija DU
Hanford, WA	Sr	PRB
Ouk Ridž, TN	U, NO ₃	zemljište, PRB
Kamp Stenli, TX	Pb	zemljište

ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog kratkog prikaza osnovnih postupaka za remedijaciju zemljišta može se zaključiti da izbor najpogodnije metode zavisi prvenstveno od vrste i stepena zagađenja i karakteristika određene lokacije. Potpuna remedijacija zemljišta i revitalizacija terena zahteva kombinaciju više metoda uključujući i fosfatnu stabilizaciju koja je nezaobilazna, posebno u slučaju kontaminacije Pb i U pošto ovaj postupak efikasno smanjuje ne samo pokretljivost nego i biološku aktivnost metalnog zagađivača u okolini.

LITERATURA

- [1] Environmental Performance Review: Yugoslavia, Economic Commission for Europe, Committee on Environmental Policy, United Nations, Geneva, 2003.
- [2] UNEP, "Depleted Uranium in Serbia and Montenegro, Post-Conflict Environmental Assessment", United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland, 2002.
- [3] USEPA, "Treatment Technologies for Site Cleanup", EPA-542-R-03-009, 2004.
- [4] Plečaš I., J. Nucl. Mater., 327 (2004) 171-174.
- [5] Conca J.L., Strietelmeier E., Lu N., Ware S.D., Taylor T.P., Kaszuba J., Wright J.V., Chapter 8, in "Groundwater Remediation of Metals, Radionuclides, and Nutrients, with Permeable Reactive Barriers", Elsevier Sciences, 2002, p. 221.
- [6] Krestou A., Xenidis A., Panias D., Mineral Engineering, 17 (2004) 373-381.
- [7] Fuller C.C., Bargar J.R., Davis J.A., Piana M.J., Environ. Sci. Technol., 36 (2002) 158-165.
- [8] Puls R.W., Blowes D.W., Gillham R.W., J. Hazard. Mater., 68 (1999) 109.
- [9] Raičević S., Kaluderovic-Radoicic T., Zouboulis A.I., J. Hazard. Mater., B117 (1005) 41-53.
- [10] Raičević S., Wright J.V., Veljkovic V., Conca J.L., Sci. Total. Environ, 2005, in press (www.elsevier.com/locate/scitotenv).
- [11] Bostick W.D., Stevenson R.J., Jarabek R.J., Conca J.L., Advanc. Environ. Res., 3 (2000) 488-498.
- [12] Wright J., Conca J.L., Radiochem. Conference, Carlsbad, NM, July 14–16, 2003.

ABSTRACT

CHEMICAL STABILIZATION OF TOXIC METALS AND RADIONUCLIDES

S. Raičević, I. Smičiklas

INS VINCA, Radiation and Environmental Protection Laboratory

Contamination of soil with toxic metals and radionuclides seriously endangers the ecosystem, reduces agricultural productivity and by contaminating the food chain and water resources it can harm the health of humans and animals. Remediation of this large area of contaminated soil usually requires combination of *ex situ* treatment (excavation and disposal of heavy contaminated soil) and *in situ* remediation. At present many remediation technologies are used to clean up contaminated soil including physical, chemical, biological and thermal treatments. In this paper a brief overview of chemical stabilization techniques, particularly, phosphate metal stabilization for *in situ* remediation of soil contaminated with toxic metals and radionuclides are presented.

FOSFATNA STABILIZACIJA TOKSIČNIH METALA I RADIONUKLIDA

S. Raičević, I. Smičiklas
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija "Zaštita"

SADRŽAJ

Fosfatna stabilizacija metala je jedna od metoda koje se uspešno primenjuje za in situ remedijaciju zemljišta i voda kontaminiranih toksičnim metalima kao što su olovo (Pb) i kadmijum i radionuklidima, prvenstveno uranijumom (U) i stroncijumom. Fosfatna stabilizacija metala pomoću reaktivnog apatita zasniva se na dva osnovna mehanizma: sorpciji metala i precipitaciji nove stabilne fosfatne faze u koju je ugrađen metalni zagađivač. U ovom radu dat je kratak pregled osnovnih elemenata fosfatne stabilizacije zasnovane na mehanizmu precipitacije. Ovaj postupak je posebno pogodna za imobilizaciju Pb i U pošto dolazi do formiranja novih, vrlo stabilnih i nerastvornih Pb-piromorfinskih i U-autunitnih faza. Na ovaj način se toksični metali prevode u stabilne i nerastvorne hemijske forme čime se značajno smanjuje njihova pokretljivost i biološka iskoristljivost u životnoj sredini.

UVOD

Kontaminacija zemljišta i voda toksičnim metalima kao što su olovo (Pb) i kadmijum (Cd) i radionuklidima, prvenstveno uranijumom (U), uključujući i osiromašeni uranijum (depleted uranium, DU) identifikovana je na više lokacija u Srbiji i Crnoj Gori [1, 2]. Prema savremenim iskustvima najbolji rezultati u saniranju ovog zagađenja postizu se kombinacijom *ex situ* tretmana i *in situ* remedijacije [3]. *Ex situ* remedijacija podrazumeva iskopavanje kontaminiranog zemljišta, njegov tretman i odlaganje kao opasnog ili radioaktivnog otpada, dok *in situ* remedijacija obuhvata hemijski, fizički ili biološki tretman zemljišta na samoj lokaciji. U oba slučaja, bilo da se radi o zemljištu posle *in situ* remedijacije ili kontaminiranoj zemlji kao otpadnom materijalu, količina metala u efluentu mora da zadovolji vrlo stroge kriterijume koje definiše TCLP test (Toxicity Characteristic Leaching Procedure). Prema američkim propisima, koncentracija olova u efluentu posle TCLP testa urađenom na otpadnom materijalu ili kontaminiranom zemljištu ne sme da pređe vrednost od 5 mgPb/l.

Prema najnovijim propisima Evropske zajednice, koji su stupili na snagu 16. jula 2005. godine, sav otpadni materijal, uključujući i kontaminirano zemljište, koji sme da se odlaže u zemlju na deponiji (landfill disposal) mora da zadovolji WAC kriterijume (Waste Acceptance Criteria) [4]. Prema WAC kriterijumima maksimalna dozvoljena koncentracija Pb posle ličing testa je 0,5 mg/kg za odlaganje u zemlju i 50 mg/kg za odlaganje na deponiju za opasan otpad. Za Cd su ove koncentracije još niže i iznose 0,04 mg/kg i 5 mg/kg. Ovaj zakon obavezuje sve članice Evropske Unije i zemlje koje su u procesu pridruživanja toj zajednici moraće da ga uključe u svoju regulativu.

U ovom radu dat je kratak pregled osnovnih elemenata fosfatne stabilizacije metala [5], jedne od metoda koja se uspešno primenjuje za saniranje zagađenog zemljišta, posebno kontaminiranog Pb i U i koja imobilise polutante tako da količina metala u efluentu zadovoljava propisane TCLP i WAC kriterijume [6].

FOSFATNA STABILIZACIJA METALA

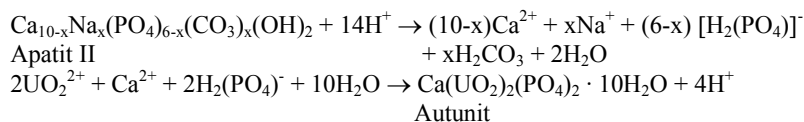
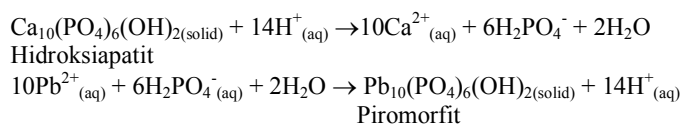
Fosfatna stabilizacija metala pomoću reaktivnog apatita zasniva se na dva osnovna mehanizma: (i) sorpciji metala i (ii) precipitaciji nove stabilne fosfatne faze u koju je ugrađen metalni zagađivač. Koji će od ova dva mehanizma biti dominantan zavisi od: (i) vrste i osobina reaktivnog apatita koji se koriste za imobilizaciju i (ii) fizičko-hemijskih osobina rastvora (hemijskog sastava, koncentracije metala, pH rastvora, itd.). Generalno, mehanizam koji obuhvata formiranje potpuno nove faze obezbeđuje za red veličine veću količinu imobilizovanog metala nego sorpcija.

Izbor reaktivnog apatita je odlučujući za efikasnost postupka fosfatne stabilizacije, pošto apatiti predstavljaju klasu od preko tri stotine osnovnih jedinjenja, sintetičkog, mineralnog ili biološkog porekla, koja imaju različite osobine i reaktivnost. Apatiti imaju specifičnu strukturu koja dozvoljava supstituciju mnogih elemenata, od dvo-, tro- i četvero- valentnih katjona do različitih anjonskih grupa, tako da dolazi do formiranja još većeg broja apatitnih jedinjenja, različitih osobina i reaktivnosti, od kojih je samo mali broj pogodan za praktičnu primenu u imobilizaciji metala.

Ispitivanje fosfatne precipitacije [7], fizičko-hemijskih, strukturnih i sorpcionih osobina apatita [8] i stabilnosti metal-fosfatnih faza [9, 10] je deo istraživačkog programa Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Instituta «Vinča», dugi niz godina. Ova istraživanja predstavljaju osnovu za razumevanje i optimizaciju procesa fosfatne stabilizacije metala kao i za izbor najpogodnijeg reaktivnog materijala koji može praktično da se primeni za saniranje zagađenja u našoj zemlji.

FOSFATNA PRECIPITACIJA

Mehanizam fosfatne stabilizacije metala u kome je dominantna precipitacija zasniva se na dva procesa: na procesu rastvaranja apatitne faze i na procesu precipitacije nove stabilne, nisko rastvorljive faze u koju je ugrađen metalni zagađivač. U sledećim jednačinama prikazani su primeri imobilizacije Pb i U, rastvaranjem hidroksiapatita i Apatita II i formiranjem stabilnih fosfatnih faza Pb-piromorfita i U-autunita:



Apatit II je apatit biološkog porekla koji se poslednjih godina praktično koristi za uklanjanje olova, uranijuma i drugih toksičnih metala iz životne sredine [5, 6]. Apatit II je

po hemijskom sastavu sličan stehiometrijskom hidroksiapatitu, sa karbonatnom grupom i primesama Na i delimično amorfnom strukturom koja obezbeđuje veliku reaktivnost ovog materijala. Nizak stepen kristaličnosti ovog materijala i optimalan sastav primesa, omogućava dobru rastvorljivost i formiranje stabilnih fosfatnih faza sa U i Pb. Apatit II u procesu rastvaranja kontinualno obezbeđuje malu ali dovoljnu količinu fosfata za precipitaciju različitih metal-fosfatnih faza kao što su Pb-fosfat (piromorfit) ili U-fosfat (autunit).

Pod skoro svim uslovima koji vladaju u okolini Pb-fosfat će se taložiti preko mehanizma heterogene nukleacije tj. mikrokristali apatita su neophodni kao «klice» za nukleaciju i rast nove piromorfitne faze. Homogena nukleacija tj. precipitacija direktno iz rastvora bez apatitnih «klica» kristalizacije, dominirala bi tek ako koncentracija Pb u rastvoru pređe 10 ppm [11], što se retko dešava u životnoj sredini čak i u slučaju kiselih voda u okolini rudnika. Ovo je izuzetno važno zato što bi bez prisustva apatita došlo do precipitacije drugih Pb-faza koje imaju mnogo veću rastvorljivost od piromorfita.

STABILNOST FORMIRANIH FOSFATNIH FAZA

Stabilnost novo formiranih faza je odlučujuća sa aspekta praktične primene apatita za *in situ* remedijaciju. U Tabeli 1 je upoređena stabilnost Pb faze koja se nalaze u kontaminiranom zemljištu pre tretmana ($PbCO_3$) [12] i stabilnost novo formiranih Pb i U faza posle fosfatne precipitacije.

Tabela 1. Stabilnost olovo i uranijumskih faza na osnovu potencijala jon-jon interakcije $V(r_0)$ [9, 10] i proizvoda rastvorljivosti ($\log K_{sp}$).

Mineralna faza	Hemijska formula	$V(r_0)$ (10^{-2} Ry)	Log K_{sp}
Ceruzit	$PbCO_3$	-9,06	-12,8
Piromorfit	$Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	-15,20	-76,8
Hloropiromorfit	$Pb_{10}(PO_4)_6Cl_2$	-69,69	-84,4
Autunit	$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2$	-41,48	-49,0

Na osnovu vrednosti potencijala $V(r_0)$ koji predstavlja meru stabilnosti čvrste faze, datih u Tabeli 1, može se zaključiti da su novo formirane faze Pb i U posle fosfatne precipitacije skoro za red veličine stabilnije od početne faze i da imaju ekstremno nisku rastvorljivost koja zadovoljava TCLP i WAC kriterijume.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih osnovnih elemenata fosfatne precipitacije može se zaključiti da je ovaj postupak posebno pogodan za imobilizaciju Pb i U pošto dovodi do formiranja novih, vrlo stabilnih Pb-fosfatnih faza (piromorfita) i U-fosfatnih faza (autunita). Ovo dalje ima za posledicu smanjenje pokretljivosti i biološke aktivnosti metalnog zagađivača u okolini, što postupak fosfatne stabilizacije čini veoma efikasnim pristupom u *in situ* remedijaciji zemljišta.

LITERATURA

- [1] Environmental Performance Review: Yugoslavia, Economic Commission for Europe, Committee on Environmental Policy, United Nations, Geneva, Switzerland, 2003.
- [2] UNEP, "Depleted Uranium in Serbia and Montenegro, Post-Conflict Environmental Assessment", United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland, 2002.
- [3] USEPA, "Treatment Technologies for Site Cleanup", EPA-542-R-03-009, 2004.
- [4] EU Landfill Directive (1999/31/EC), Council Decision, 2002.
- [5] Conca J.L., Strietelmeier E., Lu N., Ware S.D., Taylor T.P., Kaszuba J., Wright J.V., Chapter 8, in "Groundwater Remediation of Metals, Radionuclides, and Nutrients, with Permeable Reactive Barriers", Elsevier Sciences, USA, p. 221.
- [6] Chen X.B., Wright J.V., Conca J.L., Peurrung L.M., Water Air Soil Pollut., 98 (1997) 57-78.
- [7] Raicevic S., Vukovic Z., Lizunova T.L., Komarov V.F., J. Radioanal. Nucl. Chem., 204 (1996) 363-370.
- [8] Smiciklas I., Onjia A., Raicevic S., Sep. Pur. Technol., 44 (2005) 97-102.
- [9] Raicevic S., Kaluderovic-Radoicic T., Zouboulis A.I., J. Hazard. Mater., B117 (1005) 41-53.
- [10] Raicevic S., Wright J.V., Veljkovic V., Conca J.L., Sci. Total. Environ., 2005, in press (www.elsevier.com/locate/scitotenv).
- [11] Lower S.K., Maurice P.A., Traina S.J., Carlson E.H., Am. Min., 83 (1998) 147-58.
- [12] Traina S.J., Laperche V., Proc. Natl. Acad. Sci., 96 (1999) 3365-3371.

ABSTRACT

PHOSPHATE STABILIZATION OF TOXIC METALS AND RADIONUCLIDES

S. Raičević, I. Smičiklas, I. Plečaš
VINCA Institute of Nuclear Sciences,
Radiation and Environmental Protection Laboratory

Phosphate induced metal stabilization is one of the methods that have been successfully applied for *in situ* remediation of soil and water contaminated with toxic metals, such as lead (Pb) and cadmium, and radionuclides, such as uranium (U) and strontium. Phosphate induced metal stabilization, with a reactive form of apatite, is based on two main mechanisms: sorption and precipitation of a new, stable metal-phosphate phase. In this paper some elements of phosphate metal stabilization by the precipitation mechanism is presented. This mechanism is especially efficient for Pb and U, because new stable and low soluble Pb-pyromorphite and U-autunite phases are precipitated. In this way, phosphate induced metal stabilization significantly reduced mobility and bioavailability of hazardous metals and radionuclides in the environment.

IN SITU СПЕКТРОМЕТРИЈСКА МЕРЕЊА ГАМА ЗРАЧЕЊА ИЗ РАДИОАКТИВНОГ ОТПАДА У ПРИВРЕМЕНОМ СКЛАДИШТУ ИНСТИТУТА “ВИНЧА”

М. Д. Петровић, С. Ј. Станковић, Ј. Раичевић, И. Аврамовић
Институт за нуклеарне науке Винча, Београд

САДРЖАЈ

Пројекат управљања радиоактивним отпадом у ИНН Винча подразумева овладавање низом мерних методологија, као и дефинисање процедура за третман отпада. У оквиру тога, неизбежне су и различите методологије које се користе у деструктивној и недеструктивној карактеризацији отпада. У овом раду су описана спектрометријска мерења гама зрачења из историјског отпада насталог солидификовањем реакторског течног отпада, у циљу овладавања недеструктивном in situ карактеризацијом.

УВОД

Пројекат управљања радиоактивним отпадом у ИНН Винча подразумева овладавање низом мерних методологија, као и дефинисање процедура за третман отпада. У оквиру тога, неизбежне су и различите методологије које се користе у деструктивној и недеструктивној карактеризацији отпада.

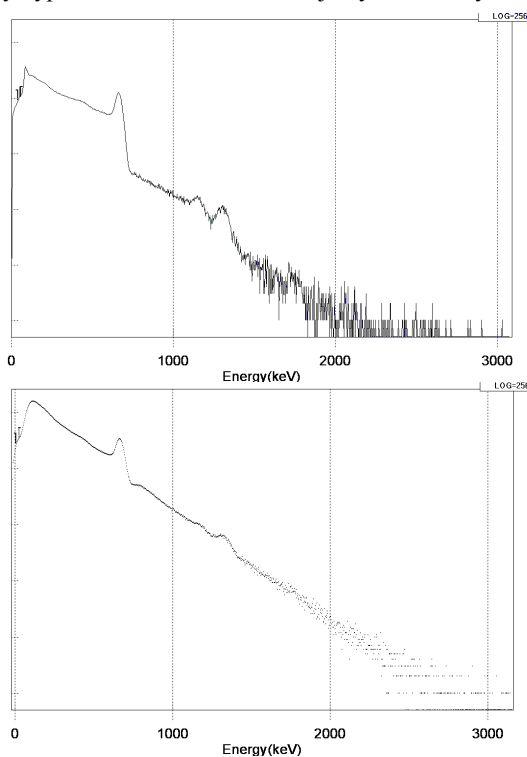
Недеструктивна карактеризација је методологија испитивања радиоактивног отпада у којој се користи мерење спонтаних или индукованих емисија зрачења да би се проценио садржај једног или више радионуклида од интереса, без утицаја на физички и хемијски облик материјала. У циљу детектовања трансуранских елемената често се користи спектрометрија неутронског зрачења. За остале намене, кад год је то могуће, спроводи се гама спектрометрија. Спектрометрија гама зрачења је у предности због продорности гама зрачења и високе ефикасности сцинтилационих детектора које су за енергије гама зрачења већине изотопа близу 100%. Данас су доступни гама скенери који помоћу гама спектрометрије и имплементираних аутоматских процедура врше недеструктивну карактеризацију отпада. Примена ових уређаја, зависно од намене, је често ограничена на карактеризацију отпада у стандардним контејнерима, (нпр. стандардним 200-литарским бурићима). Међутим, пракса често намеће потребу да се изврши недеструктивна карактеризација отпада у нестандартним паковањима, без претходног изношења из складишта.

Овај рад описује низ гама спектрометријских мерења историјског отпада насталог солидификовањем реакторског течног отпада, извршених у циљу овладавања недеструктивном in situ карактеризацијом. Проблем овог отпада је разматран у више наврата, а технологија солидификације и паковања радиоактивног муља је детаљно описана у [1], [2]. Отпад је пакован у стандардне 200-литарске буриће у које је претходно уливена бетонска заштита од 5 cm до 7 cm, а потом

унутрашњост напуњена једном трећином оцеђеног муља и две трећине житког бетона, и хомогенизована наменском мешалицом. Спроведени поступак хомогенизације обезбеђује репрезентативно мерење из једног правца, тако да за практичне потребе, мерења из различитих правца и накнадно усредњавање резултата нису неопходна. У спектру радиоактивног муља јасно се истичу фотолиније изотопа ^{137}Cs и ^{60}Co . Састав муља је такође разматран у раније објављеним радовима [1].

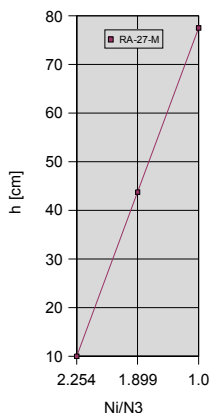
МЕРЕЊА

Мерења су изведена помоћу NaI(Tl) детектора (димензија кристала 2"x2"), са вишеканалним анализатором InSpector 2000 и програмским пакетом Genie 2000 на портабл рачунару. Приликом мерења детектор је био постављен у посебно израђени колиматор, дијаметра $\Phi=9\text{ mm}$ у челичној цеви дебљине 4 mm и дужине 400 mm, како би се детектор барем делимично изоловао од околног зрачења. Помоћна опрема са мерним системом је била постављена на гвоздена колица. Извршена су три мерења дискретног спектра гама зрачења бурета са ознаком RA-27-M на различитим висинама (10 cm од дна, средина, 10 cm од врха бурета), као и десет мерења на трећини висине од дна, на десет различитих бурића који су формирани током 1998. године. Разлог за мерење на овој висини је диктиран, пре свега, могућностима у физичком приступу бурићима због начина на који су сложени у хангару.



Слика 1. Примери снимљених спектра
а) са колиматором, б) без колиматора

На слици 1. су приказана два примера измерених спектра тако што је сонда сцинтилационог детектора постављана контактано, на средини бурета RA-27-M са колиматором и без њега. Приказани спектри показују да мерење са сондом сцинтилационог детектора у колиматору дискриминише утицај фона зрачења у хангару у коме преовлађује расејано зрачење свих присутних извора. Такође, уочава се да спектар карактеришу фотолинија ^{137}Cs (662 keV) и две фотолиније ^{60}Co (1173 keV и 1332 keV).



Слика 2. Промена интензитета зрачења ^{137}Cs са висином бурета.

Присуство ових фотолинија у спектру искоришћено је приликом анализе података, имајући у виду да је површина испод фотолиније спектра пропорционална интензитету зрачења извора у бурету. Мерења на различитим висинама од дна бурета су показала знатно смањење интензитета зрачења са висином (слика 2.).

Ова чињеница је вероватно последица примењене технологије. Наиме, могуће је да мешањем материјала састојака није постигнута потпуна хомогенизација смеше по висини. Међутим, овај закључак не мора бити генерално исправан, имајући у виду да је овакав тип мерења спроведен само на једном бурету.

У табели 1 су приказани резултати мерења карактеристика зрачења на изабраном узорку од десет бурића. Приказана је прво доза мерена дозиметром Automess AD6, укупна релативна активност прорачуната из површина фотолинија ^{137}Cs и ^{60}Co , као и однос активности цезијума и кобалта из мерења и објављених резултата [1]. Из табеле 1. се може видети да се варијације измерених вредности еквивалентних доза доста добро поклапају са варијацијом релативних укупних активности процењених на основу фотолинија цезијума и кобалта. Такође, средња вредност и стандардна девијација измерених односа активности цезијума и кобалта се добро слажу са ранијим литературним подацима [1]. Међутим, знатно већа одступања која се појављују код RA-14-M су последица одступања од примењене технологије формирања буради са солидификованим муљем. Када се муљ помеша са бетоном, добија се бетон измењеног састава и мање густине (око 1.8 g/cm^3 [1]). Повећање релативног удела муља доводи до промена у апсорпционим карактеристикама и повећање активности материјала смеше бетона и муља. Концизније речено, повећање односа измерених одброја цезијума и кобалта у зависности од густине материјала смеше бетона и муља је функција релативне

промене вредности апсорпционих коефицијената за енергије линија цезијума и кобалта.

Табела 1. Преглед података мерења карактеристика зрачења на изабраном узорку од десет бурића (r - нето одброј испод фотолинине, w - принос линије)

Ознака бурета	Екв. доза, контакт. (μSv)	Одступање дозе од средње вредности $\frac{D_i - \bar{D}}{\sigma_D}$	Рел. укупна активност *	Одступање релативне укупне активности од средње вредности $\frac{P_i - \bar{P}}{\sigma_P}$	Однос измерених активности $\frac{A_i(^{137}Cs)}{A_i(^{60}Co)}$	Подаци из литературе [1] $\frac{A(^{137}Cs)}{A(^{60}Co)}$
RA-14-M	19	-1,64	0,46	-1,56	48,1	151,6
RA-18-M	77	1,65	1,41	1,19	211,1	
RA-20-M	35	-0,73	0,75	-0,73	107,9	
RA-22-M	57	0,52	1,11	0,31	145,1	180,2
RA-24-M	51	0,18	1,12	0,35	168,6	
RA-26-M	71	1,31	1,49	1,43	135,1	
RA-27-M	43	-0,28	0,68	-0,92	117	109,9
RA-28-M	52	0,23	1,33	0,96	131,7	
RA-29-M	41	-0,39	0,89	-0,33	155,4	
RA-30-M	33	-0,85	0,76	-0,7	101,5	
Средња вредност	47,9		1		132,2	147,2
Станд. девијација	17,59		0,35		43,6	35,4

$$* P_i = \frac{A_i}{A}, A_i = \varepsilon \cdot \left(\frac{r_{Cs}}{w_{Cs}} + \frac{r_{Co}}{2} + \frac{r_{Co}}{2} \right)$$

ЗАКЉУЧАК

Спроведена спектрометријска мерења гама зрачења показују да су раније објављени подаци о делу историјског радиоактивног отпада који садржи солидификовани радиоактивни муљ из реакторских базена реализовани на бази исправне рутинске методе мерења. Потврђено је да су разлике у измереним активностима, последица варијација активности радиоактивног муља. Установљено је да је повећање односа измерених одброја цезијума и кобалта у зависности од густине материјала смеше бетона и муља је функција релативне промене вредности апсорпционих коефицијената за енергије линија цезијума и кобалта. Регистрована су одређена већа одступања мерних података од средњих вредности истих, што је вероватно последица извесног одступања од установљене технологије приликом поступка солидификације.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] M.Pesić, I.Plečaš, R.Pavlović, S.Pavlović, Calculation of Gamma-ray Dose Rate from Storage Cask with Radioactive Sludge, YUNSC-2002, Belgrade, p.277-284, 2002.
- [2] M.Petrović, J.Raicević, I.Avranić, Design of Shielding of LILW Containers by Monte Carlo Codes, YUNSC 2004, Belgrade

ABSTRACT

**IN SITU SPECTROMETRIC MEASUREMENTS GAMMA RADIATION
OF RADIOACTIVE WASTE IN INTERIM STORAGE AT
THE INSTITUTE OF NUCLEAR SCIENCES VINČA**

M.Petrović, S. J. Stanković, J. Raicević, I. Avramović
INS VINČA

Waste management project at the Institute of Nuclear Sciences Vinca demands mastering of number of measurement methodologies and formulating all procedure for waste treatment. Methodologies used in destructive and non-destructive characterization are inevitable, and in situ spectrometric measurements gamma radiation are one of them. In this article, gamma-spectrometric measurements of historic waste, originated by solidifying of reactor liquid waste, are described.

7. Radon i građevinski materijali

MERENJE UNUTRAŠNJE KONCENTRACIJE RADONA NA TERITORIJI SRBIJE U PROLEĆE 2004. GODINE

R. Banjanac, A. Dragić, B. Grabež, B. Panić,
D. Joković, V. Udovičić, I. Aničin¹
Institut za fiziku, Beograd,
¹ Fizički fakultet, Beograd

SADRŽAJ

U radu je opisan metod merenja radona čvrstim detektorima tragova. Metoda je pogodna za simultano merenje na velikom broju lokacija što omogućava mapiranje radona. Urađen je probni eksperiment tako što je profesorima u više mesta u Srbiji podeljen određen broj detektora tipa CR-39. Detektori su eksponirani u periodu od tri meseca (proleće 2004. god.) na različitim lokacijama u nekoliko gradova u Srbiji. Nakon toga su poslani u niskofonsku laboratoriju Instituta za fiziku, Zemun gde je izvršen hemijski tretman i analiza eksponiranih i razvijenih detektora. Preliminarni rezultati su prikazani u radu.

UVOD

Radon je jedinstven prirodni element jer je inertan gas ujedno i radioaktivan u svim svojim izotopima. To što je gas bitno je iz više razloga. Svojom mobilnošću prenosi informacije duž velikih rastojanja prolazeći kroz zemlju i atmosferu a s druge strane njegovo udisanje predstavlja problem za zdravlje ljudi. Činjenica da je radon inertan gas ima za posledicu da je hemijski nereaktivan sa medijumima kroz koje prolazi. Jedini način na koji radon nestaje je radioaktivni raspad. Njegova radioaktivnost sa jedne strane omogućava da se sa velikom osetljivošću može detektovati, ali to je ujedno i problem jer u povećanim koncentracijama postaje jedan od uzročnika raka pluća. Detekcija i merenje koncentracije radona čini jednu od najvažnijih mera u zaštiti životne okoline. U radu je opisan metod merenja koncentracije radona čvrstim detektorima tragova. Zbog svoje jednostavnosti, dobre geometrije i mogućnosti dobijanja integralnog signala nakon merenja u dužem vremenskom periodu (čak i do nekoliko godina), čvrsti detektori tragova su našli primenu u najrazličitijim oblastima nauke. Od osnovnih i krajnje egzotičnih istraživanja (traganje za superteškim elementima, magnetnim monopolima, svemirskim programima, ...) preko akceleratorске i nisko-energetske nuklearne fizike do geologije i dozimetrije kao i ništa manje bitnom problemu radona. Upravo ovo poslednje i jeste glavna tema rada. Poseban deo posvećen je merenju koncentracije radona čvrstim detektorima tragova. Metoda je pogodna za simultano merenje na velikom broju lokacija što omogućava mapiranje radona. Do sada nije bilo pokušaja mapiranja teritorije Srbije osim, do sada jedinom ozbiljnijem pokušaju mapiranja teritorije Vojvodine [1]. U tom smislu urađen je eksperiment tako što je profesorima u više mesta u Srbiji podeljen određen broj detektora tipa CR-39. Detektori su bili eksponirani u periodu od tri meseca (proleće 2004. god.) na različitim lokacijama. Nakon toga, eksponirani detektori su poslani u niskofonsku laboratoriju Instituta za fiziku, Zemun gde je izvršen hemijski tretman i brojanje tragova.

Preliminarni rezultati prikazani su u radu. U analizi dobijenih rezultata i zaključku dat je predlog za program osposobljavanja škola po Srbiji da samostalno obavljaju ceo postupak merenja koncentracije radona detektorima tipa CR-39, čime bi se učenici i profesori aktivno uključili u proces dobijanja prve radonske mape Srbije.

MERENJE RADONA ČVRSTIM DETEKTORIMA TRAGOVA

Radon i njegovi izotopi vode poreklo iz prirodnih radioaktivnih nizova i to: ^{222}Rn (radon) iz ^{238}U ; ^{220}Rn (toron) iz ^{232}Th i ^{219}Rn (aktinon) iz ^{235}U . Relativan značaj ova tri izotopa raste sa vremenima poluživota ($\tau_{1/2}$) i relativnom obilnošću. Aktinon je kratkoživeći ($\tau_{1/2} = 3.96$ s) i praktično se uvek proizvodi u mnogo manjim količinama nego radon ($\tau_{1/2} = 3.82$ dana), s obzirom da je prirodni $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ odnos 0.00719. Toron je takođe kratkoživeći ($\tau_{1/2} = 55.6$ s) i prelazi manja rastojanja od izvora u odnosu na radon. Radon, njegovi izotopi kao i potomci, radioaktivnim raspadom emituju α čestice različitih energija. Merenje radona zasniva se na njegovoj radioaktivnosti. Sam radon je α emiter, ali su neki njegovi potomci β radioaktivni uz emisiju gama zračenja. To pruža veliki broj različitih eksperimentalnih i tehničkih mogućnosti za detekciju radona i merenje njegove koncentracije. U ovom radu akcenat je stavljen na pasivne uređaje u kojima je detektorska sredina jedan od standardnih trag detektora α čestica. Takvi tipovi radonskih dozimetara su skoro idealni za dugotrajna merenja (od nekoliko dana do par godina) kakvo je mapiranje radona određene teritorije relativno stabilne geološke strukture. Konkretno u slučaju mapiranja, vreme eksponiranja detektorskih sistema ne sme biti manje od bar jednog klimatskog ciklusa između ostalog i zbog poznate sezonske varijacije radona tokom jedne kalendarske godine. Zbog svoje osetljivosti, stabilnosti na različite spoljašnje uticaje i dobrih optičkih osobina, CR-39 detektor tragova (polikarbonat) izdvojio se kao najčešće korišćen čvrsti detektor tragova u većini pasivnih radonskih uređaja. Za svaki radonski dozimetar najvažnije je kako na bazi izmerene gustine tragova dobiti koncentraciju radona izraženu u jedinicama Bq m^{-3} (broja raspada u sekundi u jednom kubnom metru vazduha). Nakon eksponiranja, nagrizanja i brojanja optičkim mikroskopom, kao integralni odgovor svakog detektora tragova dobija se gustina tragova ρ (broj tragova cm^{-2}). Kod dozimetara sa dugim vremenom eksponiranja ($t_e > 3$ h) važi relacija dobro poznata iz literature [2]:

$$K = \frac{\rho}{\langle A_0 \rangle t_e} \quad (1)$$

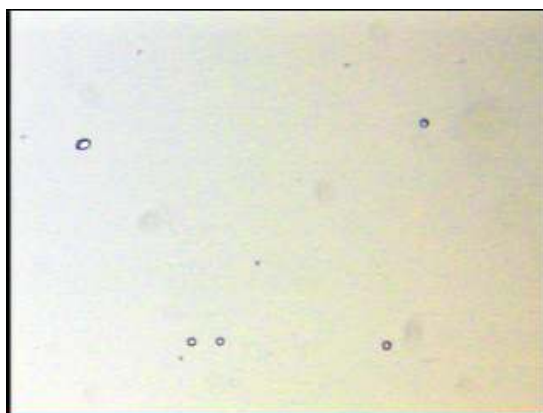
gde $\langle A_0 \rangle$ označava koncentraciju aktivnosti radona usrednjenu po vremenu eksponiranja t_e , a K označava kalibracioni koeficijent za dati dozimetar. Teorijska granica za kalibracioni koeficijent golog detektora CR-39 je:

$$K = 3.2 \text{ traga cm}^{-2}/\text{kBq m}^{-3} \text{ h}^{-1}$$

EKSPERIMENT

Merenju radona u našoj zemlji do sada se nije pristupalo sistematski i ozbiljnije. Nedavno objavljeni rezultati kolega iz Novog Sada [1] ukazuju da i u ravničarskim krajevima kao što je Vojvodina na skoro 20% lokacija (od ukupno 1000 mernih mesta) izmerena koncentracija radona prelazi 200 Bq m^{-3} a čak 4% ukupnih merenja značajno

prevazilazi referentne vrednosti unutrašnje koncentracije radona. U ovom radu dat je jedan od predloga kako je moguće rešiti ovaj problem. U tom smislu je u proleće 2004. godine u više gradova u Srbiji prosleđeno oko tridesetak golih detektora CR-39 profesorima fizike u osnovnim i srednjim školama. Detektori su na osnovu pisanog uputstva eksponirani u proseku oko tri meseca. Merna mesta su bila razne unutrašnje prostorije, od podrumskih do tavanskih. Dimenzije detektorskih proba bile su 2×2 cm. Nakon isteka tri meseca detektori su skinuti, i zaštićeni aluminijumskim folijama, poslani običnom poštom u niskofonsku laboratoriju Instituta za fiziku, Zemun. U našoj laboratoriji postoji duga i uspešna tradicija rada sa čvrstim detektorima tragova, posebno merenja radona istim. Eksponirani detektori su razvijani u 25% (6.25 N) rastvoru NaOH na temperaturi od 70° C puna tri sata. Nešto manje vreme nagrizanja primenjeno je zbog toga što se prvo pojavljuju tragovi samog radona čime se pri brojanju isključuju tragovi α čestica radonovih potomaka koji se vide tek nakon dužeg vremena razvijanja (od 6 do 8 sati). Skeniranje razvijenih detektora urađeno je korišćenjem polu-automatskog sistema za brojanje tragova. Na slici 1. je prikazano jedno vidno polje sa mikroskopa (površine od oko 0.5 mm^2) na kome se uočava pet tragova α čestica radona.



Slika 1. Tragovi α čestica iz radona u CR-39 detektoru.

REZULTATI MERENJA I ANALIZA

Rezultati merenja radona detektorima CR-39 u proleće 2004. godine u više mesta po Srbiji dati su u Tabeli 1. Iz Tabele 1 vidi se da je od trideset poslanih detektora vraćena tek polovina. Tako da je i inače mala statistika prepolovljena. Dobijene vrednosti predstavljaju standardne vrednosti unutrašnje koncentracije radona bez nekih ekstremnih odstupanja od srednje vrednosti. Ipak za neku ozbiljniju analizu potrebna je mnogo veća statistika. U tom smislu, a zbog jednostavnosti metode kao i relativno skromnih sredstava potrebnih za kompletiranje laboratorije za merenje koncentracije radona, moguće je osposobiti škole da samostalno obavljaju ceo postupak opisan u radu. Pogotovo što bolje opremljene škole po Srbiji sigurno već poseduju nešto od neophodne opreme i tako vrlo brzo mogu postati regionalni centri za merenje koncentracije radona.

Tabela 1. Rezultati merenja radona (proleće 2004. godine) u više gradova u Srbiji.

MESTO MERENJA	KONCENTRACIJA RADONA (Bqm ⁻³)
ARANDELOVAC	33(6)
ZAJEČAR	35(6)
DETEKTOR BROJ 25	29(5)
BOR	22(4)
PODGORICA	21(4)
PANČEVO	29(5)
BOR	26(5)
PIROT	35(6)
PIROT	33(6)
PIROT	31(6)
NIŠKA BANJA	30(5)
VLADIČIN HAN	31(6)
TRSTENIK	27(5)
DETEKTOR BROJ 21	31(6)
DETEKTOR BROJ 12	27(5)
NIŠKA BANJA	21(4)
NIŠ	30(5)
BEOGRAD	27(5)

LITERATURA

- [1] S. Ćurčić, I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Vesković, N. Todorović, E. Varga, and D. Mrda, 11th International Congress of the IRPA, Madrid, Spain, May 2004.
- [2] S.A. Durrani and R. Ilić, Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment, World Scientific Publishing, Singapore (1997).

ABSTRACT

INDOOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENTS AT THE SERBIAN TERRITORY IN SPRING 2004.

R. Banjanac, A. Dragić, B. Grabež, B. Panić,
D. Joković, V. Udovičić, I. Aničin¹

Indoor radon measurements by nuclear track detectors and application of the method in the secondary schools in Serbia were performed in the spring 2004. Thirty detectors (type CR-39) were distributed to high school professors in the several cities in Serbia. After three months of the detectors exposure, they were sent back in the low-level Laboratory, Institute of Physics, Belgrade. After exposure, CR-39 detectors were etched in a 6N NaOH at the 70⁰C for the 3 hours. The tracks have been counted by the semi-automatic track-counting system. The preliminary results are presented in this work.

RADIOAKTIVNOST NEKIH UVOZNIH GRADJEVINSKIH MATERIJALA

D. Krstić, D. Nikezić, N. Stevanović, D. Vučić¹
Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno Matematički fakultet,
¹Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika "NIŠ", Niš

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja specifičnih aktivnosti nekih uvoznih građevinskih materijala: gipsa, mermera i keramičkih pločica, koji u našu zemlju stižu iz zemalja jugoistočnog okruženja: Makedonije, Grčke, Bugarske, Turske. Gamaspetsrofskopska analiza uzoraka vršena je na HpGe-detektorom i višekanalnim analizatorom. Izmerene koncentracije prirodnih radionuklida (^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K) su u okvirima uobičajenih vrednosti (osim par izuzetaka), te se ispitivani materijali mogu koristiti u visokoj gradnji (za enterijere i eksterijere), a pogotovu u niskogradnji kao podloga ili materijal za popločavanje.

UVOD

Svi građevinski materijali sadrže prirodne radionuklide, koji povećavaju izloženost zračenju u stambenim prostorijama. U proizvodnji građevinskih materijala često se koriste i sekundarni proizvodi iz industrijskih proizvodnih procesa, kao što su elektrofilterski pepeo, fosfogips, otpadno crveno blato i dr. Potrebna je kontrola uvoznih i domaćih građevinskih materijala radi ograničavanja izloženosti stanovništva zračenju.

Na PMF-u u Kragujevcu oformljena je 2003. godine Laboratorija za gamaspetsrometriju, u kojoj se, pored studentskih vežbi, vrši stalna radiometrijska analiza hrane, vode, ambalaže, građevinskih materijala i drugih uzoraka životne sredine. Vrši se identifikacija biološki značajnih radionuklida i utvrđivanje nivoa aktivnosti što je u skladu sa Zakonom o zdravstvenom nadzoru nad životnim namirnicama i predmetima opšte upotrebe [1] i Pravilnikom o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije (čl. 21, Službeni list SRJ br.9 od 19.02.1999.god.) [2]. U ovom radu prikazani su rezultati merenja specifičnih aktivnosti u nekim vrstama građevinskih materijala: gipsu, mermeru i keramičkim pločicama.

MATERIJAL I METODE

Gamaspetsrometrijska analiza pristiglih uzoraka je vršena HpGe-detektorom, model GEM-23210 proizvođača EG&G ORTEC, rezolucije 1.87 keV na 1.33 MeV energije i relativne efikasnosti 20%. Za analizu dobijenog spektra korišćen je softver Maestro 2. Kalibracija detektora je izvršena sa etalonom izvorom ^{152}Eu , dobijenim od Laboratoire de Rayonnements Ionisants, Buureau National de Metrologie, Francuska.

Kalibracioni izvor je u istoj cilindričnoj geometriji kao uzorci, tako da korekcija na geometriju nije neophodna.

Pre merenja uzorci građevinskih materijala su usitnjeni, homogenizovani i preneti u cilindrične Marineli posude, zapremine 450 ml. Vreme merenja aktivnosti za svaki uzorak je između 5000 s i 15000 s, u zavisnosti od aktivnosti.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja specifičnih masenih aktivnosti prirodnih radionuklida ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K prikazani su u Tabelama 1–3. U Tabeli 1. dati su rezultati merenja specifičnih aktivnosti gipsa, a u Tabelama 2 i 3 - mermera i keramičkih pločica, respektivno. Greške merenja nisu unete; procenjene su relativne greške od 10%.

Tabela 1 Masena koncentracija radionuklida u gipsu

Redni broj	Poreklo materijala	Prosečna koncentracija radionuklida (Bq/kg)		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1	Makedonija	18.6	43.0	346.6
2	Makedonija	41.8	74.4	447.3
3	Makedonija	24.9	30.7	427.2
4	Makedonija	44.4	75.2	481.9
5	Grčka	20.5	33.5	369.8
6	Makedonija	7.8	0.5	318.3
7	Makedonija	1.10	51.3	668.6
8	Makedonija	81.2	186.6	715.2
9	Makedonija	19.0	23.7	148.1
10	Makedonija	20.7	24.1	394.7
11	Makedonija	74.0	104.4	628.9
12	Makedonija	60.8	79.5	512.5

Iz rezultata prikazanih u Tabeli 1, može se zapaziti da su vrednosti specifične masene aktivnosti za gips u opsegu od 1 do 81. Bq/kg, 0.5 do 187 Bq/kg i 318 do 715 Bq/kg za ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , respektivno.

Tabela 2. Masena koncentracija radionuklida u mermeru

Redni broj	Poreklo materijala	Prosečna koncentracija radionuklida (Bq/kg)		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1	Makedonija	55.3	31.3	2562.8
2	Grčka	16.6	1.5	431.2
3	Bugarska	32.4	24.1	3792.0
4	Bugarska	18.8	7.4	796.2
5	Turska	3.5	0.5	236.3
6	Grčka	17.9	1.1	922.2
7	Grčka	15.3	1.1	285.6
8	Makedonija	12.1	0.8	254.1
9	Makedonija	4.5	0.5	274.3

Koncentracija aktivnosti za mermer (Tabela 2) je u opsegu od 4.5 do 55.3 Bq/kg, 0.5 do 31.3 Bq/kg i 254.1 do 3792.0 Bq/kg za ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K , respektivno. Iz Tabele 3, koja daje srednju aktivnosnu koncentraciju keramičkih pločica, odgovarajuće aktivnosti su u opsegu: 26.3 do 206.9 Bq/kg, 28.4 do 40.9 Bq/kg i 1192.3 do 2132.1 Bq/kg.

Tabela 3. Masena koncentracija radionuklida u keramičkim pločicama

Redni broj	Poreklo materijala	Prosečna koncentracija radionuklida (Bq/kg)		
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
1	Grčka	43.4	28.4	2132.1
2	Grčka	206.9	40.9	1854.8
3	Grčka	54.4	29.7	1367.2
4	Bugarska	125.3	34.1	1514.3
5	Grčka	26.3	33.2	1192.3

ZAKJUČAK

Rezultati merenja pokazuju da u svim građevinskim materijalima dominira prirodna radioaktivnost ⁴⁰K. Najveća specifična aktivnost ²²⁶Ra je izmerena u keramičkim pločicama. Najveća specifična aktivnost ²³²Th je izmerena u uzorku gipsa, dok je za ⁴⁰K najveća vrednost izmerena u uzorku mermera. To se slaže sa istraživanjima kod nas i u svetu [3, 4, 5]. Dobijeni rezultati potvrđuju da se radijacioni rizik može smanjiti pažljivim izborom građevinskih materijala.

Imajući u vidu da se keramičke pločice koriste uglavnom za oblaganje podova i zidnih površi u enterijerima, posebnu pažnju treba obratiti na njihov gama-indeks. Naime prema važećoj zakonskoj regulativi [2], vrednost gama-indeksa mora biti manja od 1 ($I < 1$), da bi njihova upotreba bila bezbedna po zdravlje ljudi koji u tim prostorima žive. To, nažalost, nije uvek u praksi ispoštovano. Poseban problem predstavlja sprovođenje radiometrijske analize materijala koji ne dolaze iz uvoza, već su proizvedeni kod nas, a koji po zakonu ne podležu obavezi radijacione kontrole. Na tom planu bi u narednom periodu trebalo adekvatno odgovoriti preko merodavnih tela i institucija u vidu određene zakonske regulative, i to ne samo za građevinske materijale, nego, pogotovu, za životne namirnice.

Zahvaljujemo se Ministarstvu za Nauku, Tehnologiju i Zaštitu Životne Sredine za finansijsku pomoć pri izradi ovog rada kroz projekat 1425.

LITERATURA

- [1] Službeni glasnik SRS br. 48/77 i br. 29/88
- [2] Službeni list SRJ br. 9/99
- [3] N. Todorović, I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Vesković, S. Ćurčić, E. Varga, D. Mrdja. Radioaktivnost u stambenoj izgradnji. Zbornik radova XXII Simpozijuma JDZZ, Petrovac n/m 29.09.-1.10, 2003
- [4] J. A. Ademola, P. O. Oguneletu. Radionuclide content of concrete building blocks and radiation dose rates in some dwellings in Ibadan, Nigeria. Journal of Environmental Radioactivity, 81, 107-113, 2005
- [5] N.K. Ahmed. Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, Upper Egypt. Journal of Environmental Radioactivity, 83, 91-99, 2005

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF SOME IMPORTED BUILDING MATERIALS

D.Krstić, D. Nikezić, N. Stevanović, D. Vučić¹
 Faculty of Science, University of Kragujevac
¹ Institution for health protection of workers "NIŠ"

The results of gamma spectroscopy analysis of some imported constructing materials are shown. The examined materials are gypsum, stone and ceramic, that are

imported from some neighboring countries. The measurements were done by HpGe detectors and multichannel analyzer. Activities of (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) are found in the range reported by other authors. The calculated gamma index is below 1 and examined materials can be used in building construction.

RAČUNANJE DOZNIH KONVERZIONIH FAKTORA (DCF) OD UDAHNUTIH RADONOVIH POTOMAKA ZA REALNU POPULACIJU GRADA NIŠA

D. Vučić i D. Nikezić¹

Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika "NIŠ", Niš
1 Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno Matematički fakultet

SADRŽAJ

Dozni konverzioni faktor (DCF), za udahnute kratkoživeće radonove potomke u ljudskim plućima, definiše se kao utežnjena efektivna plućna doza po jediničnoj izloženosti radonovim potomcima, i data je u jedinicama mSv/WLM. Računanje DCF se obavlja kroz nekoliko sukcesivnih koraka, od kojih se svaki realizuje preko odgovarajućeg Fortran-skog programa. Najpre je DCF izračunat za standardne vrednosti parametara atmosfere, debljine slojeva bronhijalnog epitela i disanja. Dobijena vrednost za DCF iznosi 16 mSv/WLM i bliska je vrednosti izračunatoj prema [1], a koja iznosi 15 mSv/WLM. Zatim su, za realnu populaciju grada Niša (Srbija), a prema zvaničnim statističkim podacima (SGN 2001)) [2], varirani parametri disanja i plućne ventilacije i to: prema polu, uzrastu (starosti) i vrsti fizičke aktivnosti. Ostali parametri (atmosfera, bronhijalnog epitela itd.) su fiksirani na nivou "najbolje procene". Time je dobijena raspodela DCF za konkretnu, realnu populaciju i ona pokazuje log-normalan oblik.

UVOD

Evidentan radijacioni rizik koji postoji usled inhalacije radona i njegovih kratkoživećih potomaka kvantitativno je povezan sa vremenom i uslovima izlaganja. Veličina koja povezuje izlaganje pojedinca i radijacioni rizik pojave plućnog kancera je efektivna doza po jediničnom izlaganju, tzv. Dozni Konverzioni Faktor (DCF) izražen u jedinicama mSv/WLM. Zadatak dozimetrijskog modela pluća je da transformiše izlaganje radonu u DCF. U ovom radu je prikazana procedura izračunavanja DCF za realnu populaciju jednog grada – grada Niša, koji se nalazi u jugoistočnoj Srbiji, u središtu Balkanskog poluostrva. Stanovnici nisu profesionalno izloženi radonu. Prema statističkim podacima [2], populaciju čini 250180 stanovnika. Odnos broja osoba muškog i ženskog pola je u ravnoteži 50.4 : 49.6 respektivno. Raspodela stanovnika grada Niša prema uzrastu prikazana je u Tabeli 1.

METOD

DCF se određuje softverom koji se sastoji od 4 sukcesivna Fortran-ska programa, razvijena od strane autora ovog rada. Programi obavljaju sledeća izračunavanja :

- 1) računanje apsorbirane frakcije alfa čestica u osetljivim ćelijama plućnog epitela razne kombinacije izvora i meta;
- 2) računanje depozicije monodisperznih aerosola u pojedinim regionima respiratornog trakta;
- 3) računanje ukupne aktivnosti koja se pri jednom udisaju i izdisaju nataloži u različitim regionima respiratornog trakta;
- 4) izračunavanje: ravnotežne aktivnosti radonovih potomaka u pojedinim regionima;apsorbirane doze u pojedinim metama za zadate uslove izlaganja; apsorbirane doze u pojedinim metama za zadate uslove izlaganja; utežnjavanje doza i račun DCF-a.

Tabela 1. Raspodela stanovnika grada Niša prema starosnoj dobi [2]

God.	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	>65
Broj 10^3	11.0	13.1	14.4	16.6	17.5	17.6	16.5	17.2	17.6	20.8	20.6	14.0	14896	37412
Udeo %	4.4	5.2	5.7	6.6	7.0	7.0	6.6	6.9	7.0	8.3	8.2	5.6	6.0	15.0

Detaljan prikaz ovih programa dat je u referencama [3] i [4]. Programi su rađeni prema dozimetrijskom kompartment modelu respiratornog trakta, predstavljenog u Publikaciji ICRP66[1].

U četvrtm programu obavlja se množenje ravnotežne aktivnosti sa vremenom izlaganja, energijom alfa čestica (6MeV za ^{218}Po i 7.69 MeV za ^{214}Po) i apsorbiranom frakcijom, čime se dobija energija apsorbirana u osetljivim ćelijama. Konačno, deljenjem te energije sa masom slojeva ćelija, dobija se srednja apsorbirana doza u tim slojevima epitela.

Sledeći korak je utežnjavanje, i to putem težinskih faktora: za pojedine slojeve, za pluća kao organ i za alfa čestice. Time se dobija efektivna doza (u mSv), koja se deli sa ukupnom izloženošću radonovim potomcima, što daje DCF- dozni konverzioni koeficijent (u mSv/WLM).

Parametri koji utiču na DCF mogu se podeliti u dve osnovne grupe: *parametre atmosfere* (raspodela po veličinama, oblik aerosola, njihova gustina, aero - i termodinamički dijametar, slobodna frakcija radona itd.) i *parametre vezane za subjekte* (pol, uzrast, vrsta fizičke aktivnosti, spirometrijske veličine).

Najpre se DCF čuna za standardne vrednosti obe grupe parametara. Kasnije se variraju vrednosti parametara, vezanih za posmatrane subjekte: u zavisnosti od pola i uzrasta prihvaćeni su određeni nivoi fizičke aktivnosti, a u zavisnosti od vrste fizičke aktivnosti uzimane su odgovarajuće vrednosti spirometrije: frekvencija disanja, zapremina vazduha uneta u pluća pri jednom udisaju, brzina toka vazduha kroz traheju, funkcionalni rezidualni kapacitet itd.

Parametri aerosola i atmosfere održavani su na "najbolje procenjenim vrednostima" (best estimation) [5]. Takođe su konstantnim uzete vrednosti debljina plućnog epitela (slojevi: mukosa, cilija, sekretornih i bazalnih ćelija) i težinskih faktora za pluća i pomenute slojeve ćelija.

Na taj način setovani parametri simulirani su putem Monte Carlo metode. Broj simulacija je bio reda 10^5 , što odgovara redu veličine broja stanovnika grada Niša. Time se dobila raspodela DCF za jednu realnu populaciju. Pokazalo se da je oblik te raspodele log-normalan.

REZULTATI

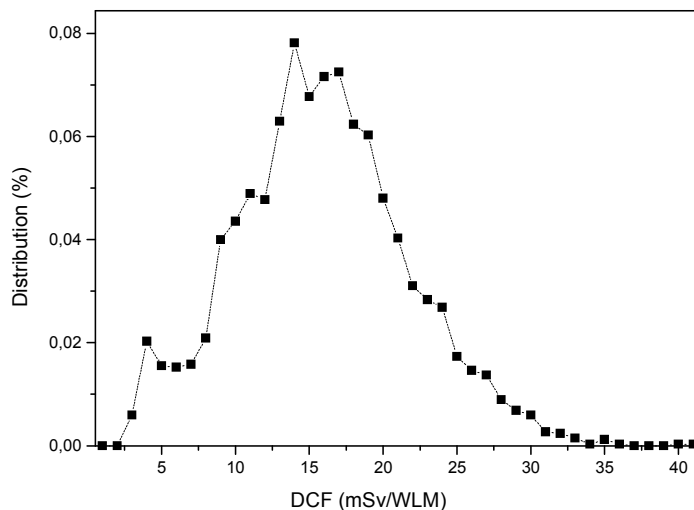
Za standardne parametre atmosfere i subjekta dobijena je vrednost DCF od 16 mSv/WLM, što je blisko vrednost datoj u [5].

Zatim su u zavisnosti od pola i uzrasta pojedinca, određivani vrsta fizičke aktivnosti i njome uslovljeni parametri disanja, u skladu sa [1] (Tab.15, str.50, Tab. B.15., B.16A, B.16B, B.17B, str.194-198). U ovom radu je usvojena raspodela fizičke aktivnosti, koja je data u Tabeli 2.

Tabela 2. Nivoi fizičke aktivnosti (u %) prema uzrastu i polu

Article II. zrast(god)	Article II. ol	Article IV. pavanje	Article V. edenje	lake vežbe	teške vežbe
0-5	oba	2.2	0.75	1.45	/
5-10	oba	2.18	1.0	2.03	/
10-15	muški	1.18	0.64	0.87	0.11
10-15	ženski	1.18	0.81	0.78	0.03
15-64	muški	/	9.0	23.75	1.25
15-64	ženski	/	11.5	22.125	0.375
> 65	muški	2.5	2.5	2.5	/
> 65	ženski	2.5	2.5	2.5	/

Nakon sprovedenih 10^5 simulacija, putem Monte Carlo metode, dobijena je raspodela DCF, prikazana na slici 1., koja ima log-normalan oblik, sa medijanom oko 15 mSv/WLM.



Slika 1. Raspodela DCF za realnu populaciju grada Niša

ZAKLJUČAK

Vrednost DCF zavisi u velikoj meri od parametara povezanih sa subjektom, kao što su parametri disanja (frekvencija udisaja, zapremina i brzina vazduha pri udisaju, razni plućni kapaciteti...), a oni, opet, zavise od nivoa fizičke aktivnosti koji je u korelaciji sa uzrastom i polom posmatrane osobe.

Raspodela DCF za realnu populaciju pokazuje log-normalan oblik.

U daljim istraživanjima veću pažnju treba posvetiti osetljivim slojevima u bronhijalnom epitelu, odnosno debljini tih slojeva i dubini na kojoj se nalaze. Debljina bronhijalnog epitela ima velikog uticaja na apsorbovanu dozu u ljudskim plućima.

LITERATURA

- [1] ICRP 1994 ICRP Publication 66. 1994 International Commission on Radiological Protection "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection" Ann. ICRP 24 (1/4), Oxford: Pergamon Press.
- [2] Statistički godišnjak grada Niša (SGN) (2001). *Grad Niš, Gradska uprava, Sekretarijat za razvoj i informacioni siste.m*
- [3] Nikezić D, K.N.Yu and Vučić D. Dosimetric Model of the Human Respiratory Tract (in Serbian), ETRAN Conference, 2003.
- [4] Nikezić D, K.N.Yu and Vučić D. Absorbed fraction and dose conversion coefficients of alpha particles for radon dosimetry, *Phys. Med. Biol.* 46 (2001), pp.1963-1974.
- [5] Marsh and Birchall 2000, Marsh J W and Birchall A 2000 Sensitivity analysis of the weighted equivalent lung dose per unit exposure from radon progeny. *Radiat. Prot. Dosim.* 87, pp.167-178.

ABSTRACT

INHALED RADON PROGENY DOSE CONVERSION FACTORS (DCF) FOR REAL POPULATION OF A CITY

D. Vučić, D.Nikezić¹

Institute of Occupational Health Protection "Niš", Niš

¹ Faculty of Sciences, University of Kragujevac, Kragujevac

Dose conversion factor (DCF) of inhaled radon short lived progeny in human lung is defined as weighted effective dose in lung per unit exposure to radon progeny. It is given in units mSv/WLM. Calculation of DCF was conducted through the several successive steps by means of home written FORTRAN90 code. By using standard aerosol and subject related parameters, our code gave a value of DCF=16 mSv/WLM, that is close to 15 mSv/WLM, recommended by ICRP66. Then, we have varied subject related parameters based on statistical data about real population of Niš, city in the southeastern part of Serbia. Inhalation parameters and lung ventilation parameters have been varied according to sex, age and the type of physical activity. Other parameters related to the atmosphere, weighting factors and the epithel thickness have been kept on their best estimates. In this way a distribution of DCF for one real population has been acquired. It has been found that DCF is log normally distributed with the median about 15 mSv/WLM.

PROBLEMI ISPITIVANJA SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U GRANITNOM GRADJEVINSKOM MATERIJALU

T. Anđelić, P. Vukotić¹, R. Žižić,
R. Zekić, N. Svrkota, Ž. Vuković¹

Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore

¹ Univerzitet Crne Gore, Prirodnomatemički fakultet

SADRŽAJ

Analiza prirodnih radionuklida, posebno ²²⁶Ra, u čvrstim uzorcima metodom gama-spektrometrije veoma je složen i zahtjevan posao koji nosi puno zamki. Potrebno je sa puno pažnje raditi pripremu uzoraka i kasnije njihove analize. Greške su veoma česte, neke gotovo neizbježne, a neke se ne mogu uspješno kontrolisati.

U ovom radu je prikazana gama-spektrometrijska analiza uvoznog granitnog građevinskog materijala u formi oveće ploče.

UVOD

U slučaju ispitivanja granitnog građevinskog materijala, otežavajući faktor predstavlja to što je on u obliku ovećeg čvrstog bloka, tj. nepogodne geometrije za snimanje na gama-spektrometru. Ovaj problem se može riješiti na dva načina. Prvi je da se obezbijede cilindrični uzorci isijecanjem granita na specijalnim mašinama, a efikasnost detekcije da se određuje korišćenjem kompjuterskih programa tipa ANGLE ili sličnih, koji su adaptabilni na bilo koju gustinu uzorka. Drugi je da se granit dovede u formu finog praha, upakuje u standardne posude, a analiza da se radi koriscenjem odgovarajućeg laboratorijskog standarda.

Homogenost i reprezentativnost uzorka granita su od bitnog znacaja za dobru analizu. Homogenost uzorka se jednostavno postiže nakon sprašivanja, a za dobru reprezentativnost sprašenog uzorka je potrebna veća količina granitnog praha, iz koje se analitički uzorak dobija metodom četrtanja. U slučaju kompaktnih uzoraka dobijenih isijecanjem iz granitne ploče, njihova homogenost i reprezentativnost su uslovljene postojanjem homogenosti samog granitnog materijala.

Kod kontrole prirodne radioaktivnosti materijala, najveći problem predstavlja određivanje sadržaja ²²⁶Ra. Postoji više faktora koji otežavaju njegovo tačno određivanje.

Raspad ²²⁶Ra praćen je emisijom gama-kvanta energije 186.2 keV i relativnog intenziteta 3.59 %, ali je u spektrima taj pik u dubletu sa pikom ²³⁵U na veoma bliskoj energiji 185.7 keV, sa relativnim intenzitetom 57.2 %. Kvantitativna analiza ²²⁶Ra preko ovog dubleta je moguća, ali nosi veliku nesigurnost i često neprihvatljivo veliku gresku.

Da bi se uspješno odredio ²²⁶Ra preko aktivnosti njegovih potomaka, potrebno je obezbijediti radioaktivnu ravnotežu ²²⁶Ra i ²²²Rn, koja je narušena praktično kod svih vrsta uzoraka koji nijesu hermetizovani. Kod hermetizacije uzorka mora se voditi računa o

difuzionoj dužini radona u materijalu od kojeg je napravljena mjerna posuda, a takođe i o spoju poklopca i posude. Standardne Marineli posude tipa MBSS ne obezbjeđuju dobru hermetizaciju, a do «Gas Tight» Marineli posuda je teško doći. Međutim, čak i da se obezbijedi dobra hermetizaciju posude sa uzorkom, nije uvijek moguće imati na raspolaganju ni par dana a pogotovo vrijeme potrebno da uzorak dostigne stanje radioaktivne ravnoteže. Ovaj problem raspoloživog vremena je jako prisutan kada se radi o kontroli materijala pri uvozu iz inostranstva.

METODA MJERENJA

Uzorci granita su analizirani gama-spektrometrijski, na sistemu sa dva HPGe detektora, čije su karakteristike date u Tabeli 1.

Tabela 1. Osnovne karakteristike HPGe detektora

Detektor	Relativna efikasnost	FWHM 1.33 MeV ^{60}Co	FWHM 122 keV ^{57}Co	Fon (35 keV-3 MeV)
GEM – 40190	41 %	1.80 keV	840 eV	1.23 cps
GEM – 30185	35 %	1.72 keV	700 eV	0.98 cps

Energetska kalibracija detektora je urađena korišćenjem tačkastih kalibracionih izvora: ^{57}Co , ^{60}Co , ^{88}Y , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu .

Za određivanje efikasnosti detekcije korišćeni su:

1.) Laboratorijski standard Czech Metrological Institute-a u Marineli posudi od 500 cm^3 , $\rho=1.22\text{ g/cm}^3$, matriks silikonska smola, radionuklidi: ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{203}Hg .

2.) Laboratorijski standard istog proizvođača u cilindričnoj posudi od 200 cm^3 , $\rho=1.22\text{ g/cm}^3$, matriks silikonska smola, radionuklidi: ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{203}Hg .

3.) Kompjuterski program ANGLE [1].

Analizirana granitna ploča dimenzija (40x30x2) cm uvezena je iz Italije, od jednog od najvećih evropskih proizvođača građevinskih unutrašnjih i spoljašnjih obloga od granita, mermera i kamena. Ta firma prerađuje kamene blokove do nivoa finalnog proizvoda, a sirovinu uvoze iz zemalja širom svijeta. Već po spoljnom izgledu granitne ploče vidi se da je ona veoma nehomogenog sastava. Površina joj je svijetlo-krem boje, sa crvenim «trakama». Te crvene trake su nepravilnog oblika, promjenljive širine od 1 do 3 cm i prolaze cijelim tijelom granitne ploče.

Analizirano je ukupno 8 uzoraka pripremljenih od te jedne granitne ploče. Analitički uzorci su pripremljeni u tri različite geometrije:

- Jedan uzorak u formi finog praha bio je u cilindričnoj posudi dijametra 6 cm i zapremine 200 cm^3 .
- Jedan uzorak u formi finog praha bio je u Marineli posudi zapremine 500 cm^3 .
- Šest uzoraka je bilo u formi cilindričnih isječaka iz granitne ploče, svaki dijametra 7.5 cm i visine 2 cm (zapremina 88.3 cm^3).

Cilindrična i Marineli posuda, u koje je smjesten sprášeni granit, napravljene su od plastike, sa zidovima debljine 2 mm.

Cilindrični kompaktni uzorci za gama-spektrometrijsku analizu dobijeni su mašinskim isijecanjem granitne ploče. Sprašivanje uzoraka (drobljenje, sitnjenje,

prosijavanje, ...) rađeno je ručno, jer naša laboratorija ne posjeduje specijalne mlinove za drobljenje čvrstih materijala. Stoga nije bilo moguće imati na raspolaganju veću količinu granitnog praha, te ni primijeniti metodu četvrtanja za dobijanje reprezentativnijih analitičkih uzoraka. Tako je sprašeni materijal pripreman posebno za svaku od navedene dvije geometrije i to u minimalnoj potrebnoj količini.

Svi uzorci, pa i ovi sprašeni, bili su snimani neposredno po pripremi, što je bilo uslovljeno hitnošću analize, jer se radilo o kontroli redovnog uvoza. Prema tome, u dva uzorka sa sprašenim granitom nije ni približno postojala radioaktivna ravnoteža ^{226}Ra i ^{222}Rn .

Dva sprašena uzorka su analizirana relativnom metodom pomoću standarda njima identičnih geometrija. Gustina granitne ploče, te i ispitivanih kompaktnih uzoraka u formi cilindričnih isječka, iznosi 2.61 g/cm^3 . Kako je najveća gustina matriksa standarda kojima raspolaže naša laboratorija znatno manja (1.22 g/cm^3), to oni nijesu mogli biti korisćeni za analizu tih kompaktnih uzoraka. Stoga je kod njih efikasnost detekcije određena semiempirijskom metodom, korišćenjem programa ANGLE, koji nema ograničenja u odnosu na vrijednost gustine analitičkog uzorka. Tih šest uzoraka su stavljeni direktno na detektor, upakovani samo u plastične kese za domaćinstvo radi zaštite detektora od kontaminacije.

Uzorak u Marineli posudi sniman je 20.000 s, u cilindričnoj posudi 65.000 s, a kompaktni cilindrični isječki iz granitne ploče snimani su po 100.000 s.

^{40}K je određivan preko pika na 1460 keV, ^{226}Ra preko pikova njegovih potomaka ^{214}Pb i ^{214}Bi na energijama 295 keV, 351 keV, 609 keV, 1120 keV i 1764 keV, ^{232}Th preko pikova ^{228}Ac na 338 keV i 911 keV, ^{235}U preko pikova na 143 keV i 163 keV, a ^{238}U preko pika $^{234\text{m}}\text{Pa}$ na 1001 keV.

REZULTATI I DISKUSIJA

Tabela 2. Koncentracije aktivnosti radionuklida u uzorcima ispitivanog granita

Vrsta uzorka	^{40}K (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{235}U (Bq/kg)	^{238}U (Bq/kg)
Prah u cilindričnoj posudi 200 cm^3	1026 ± 22	142 ± 3	9.9 ± 1.3	11.3 ± 1.7	191 ± 44
Prah u Marineli posudi 500 cm^3	1233 ± 27	170 ± 4	12.8 ± 1.4	10.4 ± 2.1	237 ± 46
Pločica 1.	956 ± 25	580 ± 12	12.9 ± 3.4	119 ± 7	1646 ± 124
Pločica 2.	940 ± 21	308 ± 7	24.9 ± 1.2	25.5 ± 1.8	419 ± 34
Pločica 3.	1034 ± 23	259 ± 6	19.4 ± 1.8	20.6 ± 2.7	358 ± 54
Pločica 4.	940 ± 21	220 ± 5	35.6 ± 1.3	16.3 ± 1.6	292 ± 31
Pločica 5.	1028 ± 23	141 ± 3	3.2 ± 0.8	13.2 ± 1.2	238 ± 26
Pločica 6.	783 ± 18	131 ± 3	4.6 ± 0.6	11.2 ± 1.0	138 ± 22

Rezultati gama-spektrometrijskog ispitivanja uzoraka granitne ploče dati su u Tabeli 2. Prisustvo vještačkih radionuklida nije detektovano. Tabela 2. jasno ukazuje na to da su dobijeni rezultati međusobno nesaglasni i to zahtijeva posebnu analizu.

Potrebno je prije svega otkloniti moguću sumnju da je nesaglasnost dobijenih rezultata mjerenja posljedica generalnog neslaganja dvije primijenjene mjerne metode – relativne, korisćene za dva sprašena granitna uzorka i apsolutne, sa semiempirijskim

određivanjem efikasnosti detekcije gama-zračenja programom ANGLE, korišćenim za šest kompaktnih cilindričnih uzoraka. U tom cilju urađena je uporedna analiza uzorka spraćenog granita u cilindričnoj posudi od 200 cm³ pomoću obje korišćene metode. Rezultati ove dvije analize su dati u Tabeli 3. Iz nje je očigledno da postoji izuzetno dobro slaganje rezultata dobijenih korišćenjem navedene dvije metode.

Tabela 3. Rezultati uporedne analize uzorka spraćenog granita pomoću dvije metode

Metoda	⁴⁰ K (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	²³⁵ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/kg)
Multistandard	1026 ± 22	142 ± 3	9.9 ± 1.3	11.3 ± 1.7	191 ± 44
ANGLE	963 ± 21	144 ± 3	9.5 ± 1.3	12.9 ± 1.8	180 ± 41

Vratimo se sada analizi rezultata mjerenja prirodne radioaktivnosti u osam uzoraka uzetih iz granitne ploče (Tabela 2). Dok su rezultati za sve mjerene radionuklide u dva spraćena uzorka granita manje-više međusobno saglasni, oni se, međutim, generalno veoma razlikuju od rezultata dobijenih za šest kompaktnih uzoraka granita, a medju ovim drugima takodje postoje neprihvatljivo velika odstupanja. Odnos najmanjeg i najvećeg izmjereneog sadržaja ²³⁸U u njima je 1:12, torijuma 1:11 i radijuma 1:4.5, dok je kod kalijuma 1:1.3. Vjerujemo da je ovakva nereproducibilnost rezultata posljedica nehomogenosti materijala granitne ploče, i to kako od uzorka do uzorka tako još i više unutar jednog pojedinačnog kompaktnog uzorka. Na to upućuje sam izgled granitne ploče, sa brojnim uključcima različitog mineralnog sastava, čiji različiti položaji u odnosu na detektor tokom snimanja proizvode različitu efikasnost detekcije gama-zračenja, koja zbog toga ne može biti pravilno određena korišćenim metodama koje pretpostavljaju homogenu distribuciju izvora zračenja po čitavoj zapremini analitičkog uzorka. U prilog tome govori i dobra saglasnost rezultata kod dva spraćena uzorka, koji jesu dobijeni od različitih dijelova granitne ploče, jesu različitih geometrija i količina granitnog materijala čije mase stoje u odnosu 1:2.5, ali sto je najbitnije, ti uzorci su mljevenjem granita do finog praha i njegovim miješanjem dobro homogenizovani. Prema tome, stvarni srednji sadržaj prirodnih radionuklida kalijuma, torijuma i urana u granitnoj ploči dobro prikazuju samo rezultati mjerenja spraćenih uzoraka, dok bi rezultate mjerenja kompaktnih uzoraka granita, iz gore navedenih razloga, trebalo odbaciti kao nereprezentativne za cjelinu granitne ploče. Kod spraćenih uzoraka prednost bi ipak dali rezultatima analize uzorka u Marineli posudi, zbog znatno veće kolicine granitnog materijala u tom uzorku, a time i bolje reprezentativnosti cjeline ispitivane granitne ploče.

Sa rezultatima za ²²⁶Ra je drugačiji slučaj. Ovdje prvo valja odbaciti kao netačne rezultate dobijene za spraćene uzorke zbog toga sto su uzorci snimani neposredno po pripremi, kada je radon bio značajno emanirao iz njih, te mjerenje aktivnosti potomaka ²²²Rn u uzorku daje znatno manje koncentracije aktivnosti ²²⁶Ra od stvarnih. Dakle, preostaju nam samo rezultati mjerenja kompaktnih uzoraka granita, kod kojih je problem otpuštanja radona tokom pripreme uzorka neuporedivo manji, jer radon može emanirati samo iz površinskog sloja uzorka, ali kod kojih imamo jako izraženu nereproducibilnost rezultata zbog vrlo nehomogene strukture svakog od uzoraka. Jedino što nas može približiti stvarnoj koncentraciji radijuma u granitnoj ploči je stoga srednja vrijednost rezultata mjerenja ²²⁶Ra u više kompaktnih uzoraka. Naravno, to daje samo procjenu aktivnosti ²²⁶Ra u nehomogenoj granitnoj ploči a ne i njenu tačnu vrijednost, ali kod potrebe brze analize na radiološku ispravnost materijala inostranog porijekla koji čeka negdje na carini dozvolu za uvoz, ona nam jedino preostaje kao osnov za davanje misljenja. U ovdje razmatranom slučaju granitne ploče, ta procijenjena vrijednost sadržaja ²²⁶Ra u ploči je 273 Bq/kg.

Kako je ispitivana granitna ploča bila namijenjena za opremanje unutrašnjosti stambenih prostora, primjenjuju se odredbe člana 21. Pravilnika o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije [2]. Te granice su prikazane u Tabeli 4. Pored toga, gama-indeks građevinskog materijala, tj. zbir količnika izmjerene vrijednosti i maksimalno dozvoljene za svaki pojedinačni radionuklid, mora biti manji ili jednak 1.

Tabela 4. Granice kontaminacije građevinskog materijala za enterijer u visokoj gradnji

Radionuklid	⁴⁰ K	ASVR	²²⁶ Ra	²³² Th
A (Bq/kg)	3000	4000	200	300

U skladu sa ovim propisima, dali smo negativno mišljenje za uvoz ispitivanih granitnih ploča, jer je procijenjena vrijednost koncentracije ²²⁶Ra u njemu (273 Bq/kg) iznad dozvoljene granice (200 Bq/kg), a gama-indeks ovog građevinskog materijala je sasvim sigurno veći od 1.

ZAKLJUČAK

Kod gama-spektrometrijske analize čvrstih građevinskih materijala mogući su brojni problemi i izvori grešaka. Međutim, glavne probleme ne uzrokuju ni izabrane metode mjerenja, ni geometrije uzoraka i njihovog snimanja, već prije svega homogenost i reprezentativnost analitičkih uzoraka. Kada je materijal prirodno nehomogen, kao što je bio slučaj granitne ploče koju smo ispitivali, nužno je pripremom tog materijala za analizu doći do homogenosti analitičkog uzorka, što se postiže sprašivanjem materijala i njegovim miješanjem. Sem toga, potrebno je pripremiti i dovoljnu količinu sprašenog materijala, da bi se iz nje metodom četvrtanja dobio analitički uzorak koji je reprezentativan za cjelinu materijala, kao i obezbijediti hermetizacija uzorka i vrijeme neophodno za postizanje radioaktivne ravnoteže ²²⁶Ra i ²²²Rn u njemu.

Ova uputstva su jasna i poznata, ali u našim laboratorijskim uslovima često teško ostvarljiva s obzirom na nedostatak odgovarajuće opreme i na potrebu brze analize za uvoznu robu koja čeka dozvolu za uvoz na carini. Tada već sve puno zavisi od iskustva i vještine analitičara da pripremi dovoljno dobre uzorke ispitivanog materijala, izabere odgovarajuću mjernu metodu i, posebno, da ispravno analizira rezultate sopstvenih mjerenja i donese pravilnu procjenu njihove validnosti i na osnovu toga odluku o radiološkoj ispravnosti uvozne robe.

LITERATURA

[1] ANGLE, S. Jovanović, A. Dlabač, V2.0 (1994 - 2002)

[2] Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije - Sl. list SRJ, br. 9/99.

ABSTRACT

**PROBLEMS IN GAMMA-SPECTROMETRY ANALYSIS OF NATURALLY
OCCURRING RADIONUCLIDES IN GRANITE BUILDING MATERIALS**

T. Anđelić, P. Vukotić¹, R. Žižić,
R. Zekić, N. Svrkota, Ž. Vuković¹

Center for Ecotoxicological researches of Montenegro

¹ University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics

Determination of naturally occurring radionuclides in solid inhomogeneous materials by gamma-spectrometry is a very complex task. Lot of attention is needed for preparing analytical samples and their later analysis. Sources of errors in the final results are numerous, some of them even can not be controlled and corrected for.

In this article we present analysis of imported granite building material, in form of a plate, which was evidently inhomogeneous.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF RADON MEASUREMENT WITH DESIGNING AND CALIBRATION DOMESTIC CANISTER WITH ACTIVE CHARCOAL

V. Urošević, D. Nikezić, R. Zekić¹
University of Kragujevac, Faculty of Science Dept. of Physics
¹ Institute of eco-toxicological investigation, Podgorica

ABSTRACT

Radon concentration in air may change significantly large variation due to atmospheric variation. Measurement with active charcoal can be inaccurate because the variation in radon concentration. We made model to simulate radon measurements with active charcoal in order to optimize and improve integration characteristic.

A numerical method and computer code based on the method of finite elements is developed for the case of variable radon concentration in air. This program simulates radon adsorption by the activated charcoal bed, enabling determination of sensitivity. The dependence of sensitivity on different parameters, such as temperature, thickness of the charcoal, etc. was studied using this program. Using results of theoretical investigation we designed and calibrated our canister with active charcoal for radon measurements.

INTRODUCTIONS

There are two broad categories of radon measuring techniques: short term grab sampling and long term integration methods. The most often used integration techniques are solid state nuclear track detectors and canisters with activated charcoal. The advantage of the former is the better integration characteristics, while the latter are cheaper and easier to manipulate. The integrating period is very important because health effects depend on the average radon concentration. This paper focuses on the active charcoal technique for radon measurement. Open face active charcoal canisters (without a diffusion barrier) can measure radon concentrations in air if the moisture is below 55% and variations of radon concentration are not larger than 5 times the average concentration (Cohen and Nason 1986). These limitations can be overcome by using diffusion barriers (Prichard and Marien 1985, Cohen and Nason 1986). Diffusion barriers reduce humidity so that moisture cannot enter into the active charcoal bed. It decreases back diffusion, which increases the period of active adsorption. This article examines the possibilities for improving the integration characteristics of active charcoal by using the simulation method. The following information is needed if improved integration characteristics are desired:

- details of the time-space distribution of radon concentrations in the active charcoal bed;
- optimization of the thickness of the active charcoal bed for the given exposure period;

By analyzing the space-time variation of radon concentration in pores inside the charcoal, two periods can be distinguished: (i) period of active adsorption and (ii) the saturation period. The active adsorption is finished (and saturation begins) when the charcoal collects 85 % of the radon activity in comparing to the long term exposition (Urošević et al. 1999).

The time of exposure should not be longer than the period of active adsorption.

So we can use this fact in evaluation of the layer thickness if the exposure time is known. The opposite is also valid.

behavior of the active charcoal as integrators in a case of variable radon concentration in the air.

It is necessary to find out the answers of the following questions if we want to describe this behavior:

a. What is the ratio between the real average radon concentration in air and detector response for the given period of exposure?

b. How much time is needed for the peak amortization when the response of the canister becomes equal to the average radon concentration in the air?

To make answer on this question we have performed simulation of the peak appearance in a different time of exposure.

It is found by the simulation that the times of the peak amortisation are 24 hour in active adsorption and 36 hour in saturation period.

As we can see measurement radon concentration with simple charcoal bed is limited by the fact that its response is highly sensitive if the peak in concentration appear at the time interval before termination of the exposure. One method for reducing this problem is skim off method. In this method the upper layer of the charcoal is removed just after the end of the exposure. If the removing is delayed, then the radon would diffuse from the upper to lower layer of charcoal and skim off method would not make useful result. Using simulation we optimisation of the skim off method, i.e. determination of the thickness of removed layer, so that the detector response is, as close as possible, to the average atmospheric radon concentration. By the simulation of skim off method with Finite Elements Method we can determine the optimal thickness of removed layer for different can geometry and type of charcoal. For the canister and charcoal that was used in our work the best results are found if 1.78 mm of active charcoal was removed.

METHOD FOR SIMULATION

(Nikezić and Urošević 1998) have developed the model based on the finite elements method (FEM) for the simulation of radon measurements with active charcoal. All relevant processes, as diffusion and adsorption of radon in active charcoal and back diffusion (from charcoal to air) in the case of sudden drop of radon concentration in air can be simulated by this method. Model takes into account radioactive decay of radon in canister. The analyses presented here is limited to open canister without diffusion barrier. To write transient equations (1) describing the diffusion and adsorption of radon a number of assumptions need to be made. The bed is assumed to be macroporous with an average pore diameter much larger than the mean free path of the diffusing radon atom. Then the transport of radon in the pores of the bed is by ordinary atomic (Fickian) diffusion predominately in the axial direction with negligible radial diffusion (Satterfield 1980). The rate of adsorption (or desorption) of Rn on the surface of carbon is much

faster than the rate of diffusion in the pores. Therefore, relative to the rate of diffusion, it may be assumed that the adsorptive process is instantaneous, and equilibrium is established as soon as the Rn comes in contact with the carbon surface (Nagarajan et al 1990). So, the additional term who describe the adsorption of radon through active charcoal is not needed. The partial differential equation (1) describing the transport of radon through active charcoal is replaced in FEM by a system of linear equations which is solved by a computer program.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_i \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) - \lambda C = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (1)$$

where C is radon concentration in the pores of active charcoal;

D_i are diffusion coefficients in x,y and z direction;

$\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ is the decay constant of radon ;

t is time and

x_i are Cartesian coordinates.

This equation, which describes the transport of radon through the active charcoal is replaced by a system of finite element equations.

In the analyzes of the radon adsorption on active charcoal the computer software package called PAK was used (Kojić et al 1986). These simulations can explain the measuring process, improve it, and enable the optimal procedure for radon measurement in environment. The output parameters of the model are the space-time distribution of the radon concentration in active charcoal and the total radon activity in the canister. The model was tested and applied for the constant and variable radon concentration in air. The experimental verification of the model was given by Nikezić and Urošević (1998).

The theoretical study presented above verified experimentally by designation and calibration of diffusion-barrier charcoal canister. Ten canister with active charcoal were made at the TRAYAL corporation (Kruševac, Serbia) based on the construction proposed on simulates results..

The calibration factor is defined as

$$f = C/N,$$

where C is concentration of radon in chamber and N i net count of impuls on the detector.

The calibration has been performed using radon exposure chamber at the Institute of eco-toxicological investigation in Podgorica.. Radon exposure chamber was filled with radon from PYLON type RN 2000 A 226Ra.

The ionization chamber AlfaGUARD PQ 2000 PRO Radon monitor was placed near the charcoal canister inside the chamber and was used for the precise, continuous registration of radon concentration in the chamber. The detectors have been calibrated for incial radon concentrations ranging from 1580 to 2620 Bq/m³. Five exposure with two detectors have been carried out. After each exposure detectors were counted for 2000 s using HP Ge spectrometer GEM- 40190.

The results of the calibration detectors are shown in figure 1.

CONCLUSION

Using results of theoretical investigation we desinged and calibrated our canister with active charcoal for radon measurements.

Theoretical and experimental results suggest that we can make commercially charcoal canister and used them for determination indor radon concentration.

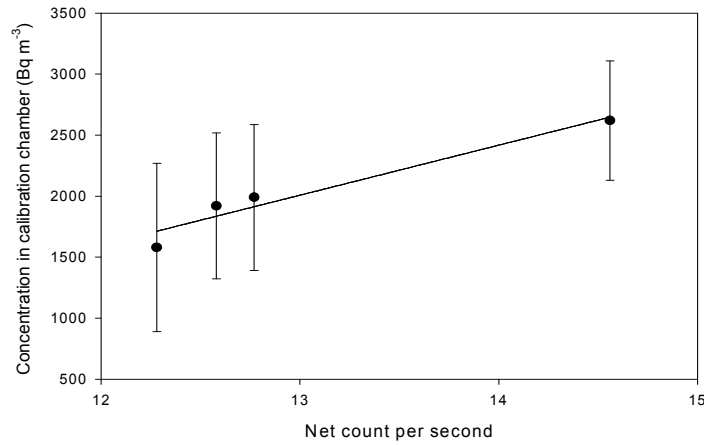


Figure 1. Calibration curve

REFERENCES

- [1] (Cohen and Nason 1986) Cohen, B. L.; Nason, R. 1986. A diffusion barrier charcoal adsorption collector for measuring radon concentrations in indoor air. *Health Phys.* 50: 457-463.
- [2] (Prichard and Marien 1985) Prichard, H. M.; Marien, K. 1985. A passive diffusion Rn-222 sampler based on activated carbon adsorption. *Health Phys.* 48: 797-803.
- [3] (Urošević et al. 1999). Urošević, V. Nikezić, D. Vulović, S. and Kojić, M. 1999. Optimization of radon measurements with active charcoal. *Health Phys.* 76 (6): 687-691.
- [4] (Nikezić and Urošević 1998) Nikezić, D. Urošević, V. 1998. A theoretical study of radon measurement with activated charcoal. *Nuclear Instruments & Methods A* 406: 486-498.
- [5] (Satterfield 1980). Satterfield, C. N. *Heterogeneous catalysis in practice*. New York; McGraw-Hill; 1980
- [6] (Nagarajan et al 1990) Nagarajan, R; Michaels, L. D; Menon, V. B; Wasan, D. T. 1990. A mathematical model for radon sampling by activated C adsorption. *Health Phys.* 58: 575-581
- [7] (Kojić et al 1986). Kojić, M., Slavković, R., Živković, M., Grujović, N., Filipović, N. 1996 PAK-A General-purpose finite element program for structural analysis, heat conduction, coupled problems and biomechanics. Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, Serbia – Yugoslavia
- [8] V. Urošević, D. Nikezić "Simulation of skim off method in radon measurements by active charcoal." *Applied Radiation and Isotopes*.55 (2001) 121-124
- [9] (UNSCEAR 1993) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations (UNSCEAR) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations, New York. (1993).

FAKTOR UZMAKA RADONOVIH POTOMAKA

N. Stevanović, D. Nikezić, D. Krstić,
D. Kostić, M. S. Kovačević
Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno Matematički fakultet, Kragujevac

SADRŽAJ

Kratkoživeći radonovi (^{222}Rn i ^{220}Rn) potomci postoje u vazduhu u dva oblika. Prvi oblik je tzv. «nepripojena frakcija» gde su atomi ili slobodni ili su pripojeni klasterima molekula vodene pare i imaju dijametar od 0.5 do 5 nm. Drugi oblik je pripojena frakcija u kojoj su atomi potomaka pripojeni postojećim prirodnim aerosolima u vazduhu. Nakon raspada atoma potomka, koji je pripojen aerosolu novonastalo jezgro se, usled uzmaka, može odvojiti od nosećeg aerosola. Verovatnoća da dođe do odvajanja naziva se faktor uzmaka. U ovom radu faktor uzmaka je računat Monte Carlo metodom za sferni aerosol od kvarca (SiO_2) pri površinskoj ili zapreminskoj kontaminaciji. Pokazano je da faktor uzmaka zavisi od dijametra aerosola i da može biti znatno manji od 0.8, što je trenutno opšte prihvaćena vrednost.

UVOD

Aerosoli različitog sastava, oblika i dimenzija su prisutni u atmosferi zatvorenih prostorija [1, 2]. Radonovi potomci se pripajaju prisutnim aerosolima i tako se grade pripojeni potomci. Udeo pripojenih potomaka u ukupnom PAEC-u naziva se pripojena frakcija. Slično tome definiše se i nepripojena, odnosno slobodna frakcija.

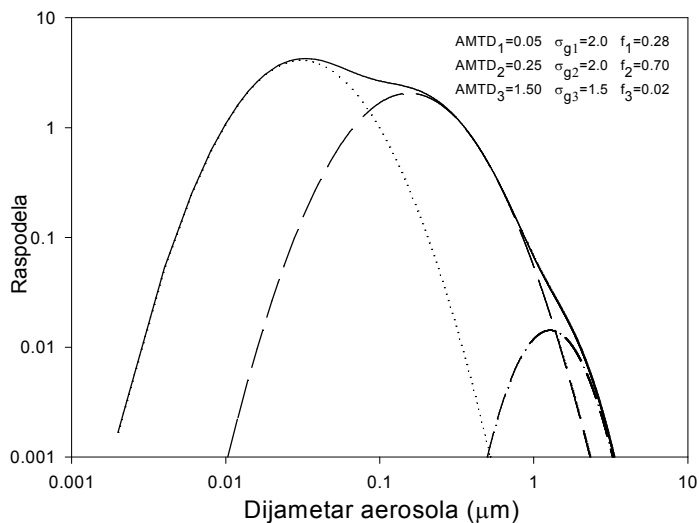
Model kojim se računaju koncentracije radonovih potomaka u pripojenom i slobodnom obliku u zatvorenoj prostoriji dat je u [3]. Model se sastoji od skupa diferencijalnih jednačina i figurišu sledeći parametri: jačina izvora, brzina ventilacije prostorije, brzina pripajanja potomaka, brzina depozicije aerosola i slobodnih potomaka, i faktor uzmaka.

Prilikom alfa raspada pripojenog potomka, energija uzmaka nastalog jezgra iznosi od 117 keV do 125 keV. Ta energija u nekim slučajevima dovoljna da se prilikom uzmaka nastalo jezgro odvoji od nosećeg aerosola. Faktor uzmaka je analitičkim putem računat u [4] i nadjena je vrednost za odvajanje ^{214}Pb od aerosola SiO_2 pri površinskoj kontaminaciji od 0.8. Ova vrednost je opšte prihvaćena i dalje je korišćena u Jacobijevom modelu i drugim proračunima vezanim za koncentracije radonovih potomaka u zatvorenim prostorijama.

Prilikom računanja faktora uzmaka u [4] razmatrana je jednododalna raspodela aerosola, koja se opisuje log-normalnom funkcijom. Prema nekim autorima aerosoli su raspoređeni prema dvo modalnoj [5] ili tri modalnoj raspodeli [6, 7]. Te tri mode su nazvani nukleaciona, akumulaciona i gruba moda i karakterišu se medijanom AMTD (μm) i geometrijskom standardnom devijacijom (σ_g). Tri modalna distribucija aerosola opisana je sledećim izrazom:

$$f(d) = \sum_{i=1}^3 f_i \cdot \frac{e^{-\frac{(d-AMTD_i)^2}{2 \cdot \ln^2(\sigma_{gi})}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \ln(\sigma_{gi}) \cdot d} \quad (1)$$

gde su prema [7] $AMTD_1=0.05 \mu\text{m}$, $\sigma_{g1}=2.0$, $f_1=0.28$, $AMTD_2=0.25 \mu\text{m}$, $\sigma_{g2}=2.0$, $f_2=0.70$; $AMTD_3=1.50 \mu\text{m}$, $\sigma_{g3}=1.5$, $f_3=0.02$. Tri modalna i pojedinačne raspodele aerosola, prikazani su na Slici 1.



Slika 1. Tri modalna raspodela aerosola kojima su pripojeni radonovi potomci
..... nukleaciona moda, ---- akumulaciona moda, -.-.- gruba moda

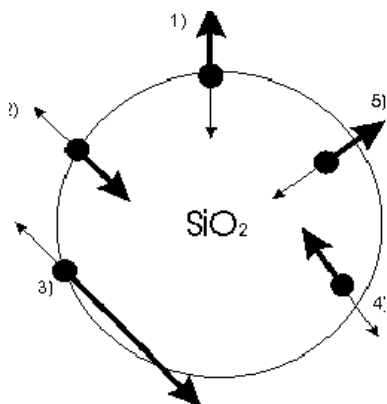
Nedavno je Monte Carlo metodom [8] izvršena re-procena faktora uzmarka ^{214}Pb . Za različite vrste aerosola pri površinskoj i zapreminskoj kontaminaciji dobijene su vrednosti znatno niže od 0.8. Pri računanju korišćena je tri modalna raspodela aerosola, a ne jednododalna kao što je korišćeno u [4]. Dodatna razlika u odnosu na [4] rad je što je rastojanje koje prelazi potomak pri uzmarku računato korišćenjem programa SRIM2003 [9].

Kratak opis računanja faktora uzmarka Monte Carlo metodom. Detaljniji opis računanja faktora uzmarka primenom Monte Carlo metoda može se naći u radu [8]. Ovde je dat samo kraći opis računanja.

Na Slici 2 šematski su prikazane moguće pozicije jezgara potomaka u aerosolu prilikom raspada i mogući pravci kretanja njihovih nastalih potomaka. Tanke strelice označavaju smer i pravac kretanja alfa čestice nastale prilikom raspada, a deblje strelice označavaju kretanje uzmarknutog atoma potomka.

U slučajevima 1, 2 i 3 atom koji se raspada je na površini aerosola (površinska kontaminacija), dok 4 i 5 označavaju zapreminsku kontaminaciju. U slučaju 1 nastalo jezgro izlazi van aerosola; u slučaju 2 ide u aerosol i njegova energija nije dovoljna da prođe kroz aerosol, već se u njemu zaustavlja; slučaj 3 prikazuje mogućnost da potomak

koji nastane prođe kroz aerosol. Broj 4 označava mogućnost da nakon raspada atoma u aerosolu, potomak krene ka njegovoj unutrašnjosti i zaustavi se; dok broj 5 je prikazuje potomak koji izlazi iz aerosola.



Slika 2 Mogući pravci kretanja atoma radonovih potomaka kroz aerosole

Domet kroz aerosol koji ima nastalo jezgro je računat korišćenjem programa SRIM 2003 [9]. Za radonove potomke on iznosi $R=(0.047 - 0.050) \mu\text{m}$ u SiO_2 .

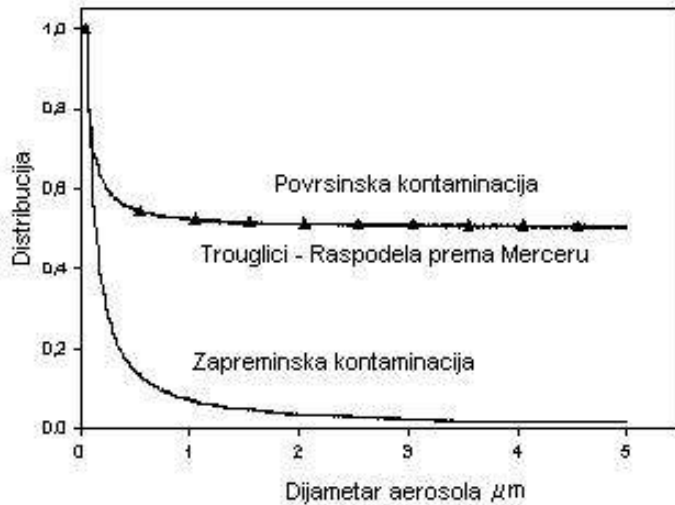
U toku Monte Carlo simulacije, početne tačke i pravci kretanja nastalog jezgra se slučajno kreiraju do $N=1 \cdot 10^5$ puta. Beleži se odvajanje potomaka od aerosola. Ukupan broj odvajanja za aerosol datog dijametra je N_0 . Verovatnoća odvajanja potomka od aerosola datog dijametra se može definisati kao $p(d_i)=N_0/N$ i funkcija je od dijametra aerosola. Verovatnoća odvajanja je računata za aerosole dimenzija od $0.001 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$. Usrednjena vrednost verovatnoće odvajanja po dijimetru aerosola predstavlja faktor uzrnaka i računa se kao:

$$\bar{p} = \frac{\sum_i p(d_i) \cdot f(d_i)}{\sum_i f(d_i)} \quad (2)$$

gde je, $p(d_i)$ verovatnoća odvajanja za dati dijimetar aerosola d_i , a $f(d_i)$ je tri-modalna raspodela aerosola po veličini.

REZULTATI

Na Slici 3 prikazana je raspodela verovatnoće odvajanja potomka ^{214}Pb u zavisnosti od dijametra aerosola- SiO_2 pri površinskoj i zapreminskoj kontaminaciji. Vidi se da verovatnoća odvajanja jako zavisi od dijametra aerosola. Pri površinskoj kontaminaciji vrednost verovatnoće odvajanja je uvek iznad 0.5, dok pri zapreminskoj kontaminaciji može biti znatno niža, i do 0.02. Na Slici 3 je, poredjenja radi, prikazana i raspodela prema Merceru [4], pri čemu se vidi dobro slaganje Monte Carlo metoda. Faktori uzrnaka radonovih potomaka koji nastaju alfa raspadom su prikazani u Tabeli 1.



Slika 3. Raspodela verovatnoće odvajanja potomaka od SiO₂ (površ. i zaprem. kontam.)

Tabela 1. Faktori uzmarka radonovih potomaka

Radonov potomak	Površinska kontaminacija				Zapreminska kontaminacija			
	P _n	P _a	P _c	P	P _n	P _a	P _c	P
²¹⁴ Pb	0.89	0.62	0.51	0.69	0.87	0.33	0.52	0.48
²¹² Pb	0.90	0.62	0.52	0.70	0.95	0.58	0.1	0.63
²⁰⁸ Tl	0.87	0.50	0.51	0.65	0.96	0.59	0.1	0.75

U tabeli 1 su date vrednosti faktora uzmarka usrednjene prema tri-modalnoj raspodeli i prema svakoj modi posebno. Najveće vrednosti se dobijaju za potomke manje mase i usrednjene prema nukleacionoj modi koja obuhvata najmanje aerosole.

ZAKLJUČAK

Iz tabele 1 se može videti da se vrednosti faktora uzmarka (p) znatno razlikuju od 0.8, i može imati vrednosti od 0.1 do 0.9. Ovo je dalo podsticaj da se faktor uzmarka u Jacobijevoj modelu može tretirati kao parametar, a ne kao konstanta. Varirajući faktor uzmarka pokazano [10] je da dozni konverzioni faktor (DCF u mSv/WLM) može biti manji i do 10% u odnosu na slučaj kada se faktor uzmarka uzima 0.8.

Zahvalnica Ministarstvu za Nauku, Tehnologiju i Zaštitu Životne Sredine za finansijsku pomoć pri izradi ovog rada kroz projekat 1425.

LITERATURA

- [1] W.C.Hinds, *Aerosol Technology, properties, behavior and measurements of airborne particles*, John Willey&Soons, New York, (1998).
- [2] P.C. Reist, *Aerosol Science and Technology*, 2nd ed., New York : McGraw-Hill, (1993).
- [3] W. Jacobi, *Health Physics*, 22, 441-450, (1972).
- [4] T.T. Mercer, *Health Physics*, 31,173-174, (1976).
- [5] J. Porstendörfer, A. Reineking, *Proceed. IRPA10, T-9-1*, Hiroshima, Japan, (2000).
- [6] A.Reineking, E.A. Knutson, A.C. George, S.B. Solomon, J. Kesten, G. Butterweck, J. Porstendörfer, *Radiation Protection Dosimetry*, 56(1-4), 113-118, (1994).
- [7] J.W. Marsh, A. Birchall, *Radiation Protection Dosimetry*, 87, 167-178, (2000).
- [8] N. Stevanović, D. Nikezić, A. Djordjevich, *Journal of Aerosol Science*, 35, 1041-1050, (2004).
- [9] J.F. Zeigler, Available on www.srim.org (2003).
- [10] D. Nikezić, N. Stevanović, *Radiation Protection Dosimetry*, 109, 197-199, (2004).

ABSTRACT

THE RECOIL FACTOR OF RADON PROGENY

N. Stevanović, D. Nikezić, D.Krstić, D.Kostić, M.S.Kovačević
Faculty of Science, University of Kragujevac

Short lived radon progeny (^{222}Rn and ^{220}Rn) exist in air in two forms. In unattached form, their atoms are free or attached to small clusters with the dimension of 0.5 to 5 nm. In attached form, atoms are attached to the natural aerosols that exist in air. After alpha decay of radon progeny, due to the recoil, the attached atom might be detached from the mother aerosol. Probability of detachment, averaged over the whole distribution of aerosols size is «recoil factor». Recoil factor is calculated in this paper by using Monte Carlo method, for spherical SiO_2 aerosol. Calculations were performed for volume and surface contaminations. It has been shown that recoil factor can be very different than previously accepted value of 0.8.

8. Slobodne teme

OPASNOSTI OD PRIMENE NUKLEARNOG ORUŽJA I RADIOAKTIVNIH MATERIJA U TERORISTIČKIM AKCIJAMA

D. Živanov
Fakultet veterinarske medicine, Beograd

SADRŽAJ

Postoji opasnost da se (mini) nuklearno oružje i radioaktivni materijali upotrebe u terorističke svrhe, odnosno kao potencijalna teroristička sredstva. Mogućnosti njihove krađe, pretnja upotrebe ili upotreba u eventualnim terorističkim akcijama predstavljaju svojevrsnu novu pojavu u ispoljavanju i ostvarivanju interesa ekstremnih društvenih grupa nasilnim putem. S druge strane proces razvoja i širenja nuklearne tehnologije u gotovo svim razvijenim zemljama stvara uslove između ostalog i za ovakve pojave. Veliki broj zemalja već koristi istraživačke nuklearne reaktore ili reaktore za proizvodnju električne energije, u kojima se godišnje proizvede više desetina tona plutonijuma. Ovo omogućava širenje i proizvodnju nuklearnog oružja za taktičku primenu, a time se povećavaju i rizici upotrebe za potencijalne kriminalne i terorističke aktivnosti.

NUKLEARNO ORUŽJE

Savremeni terorizam u svetu sve više uzima maha [3]. Zbog toga treba računati i na nuklearni terorizam kao moguću formu njegovog ispoljavanja. Teroristička akcija je nasilje u cilju izazivanja određenih posledica u državi (društvu) dejstvom na mete napada, njihovim ubijanjem, zastrašivanjem ili uništavanjem (ako je u pitanju životna sredina).

Na mogućnost upotrebe ili pretnje upotrebom nuklearnog oružja i radioaktivnih materija u terorističkim akcijama utiču mnogobrojni razlozi. Od upotrebe nuklearnog oružja niko se nije odrekao u ispoljavanju nasilja kod ostvarivanja sopstvenih interesa, i stim u vezi i nuklearnih (radioaktivnih) sredstava odnosno radioaktivnog materijala i radioaktivnih borbenih materijala. Razvoj savremenog nuklearnog oružja ide u pravcu poboljšanja kvaliteta (ne više kvantiteta) i minijaturizacije. U svetu postoji veliki broj nuklearnih reaktora različite namene. Godišnje se u njima proizvede određena količina plutonijuma-239 što je dovoljno da se na adekvatan način širi i proizvodnja nuklearnog oružja pa samim tim i nuklearnog oružja za taktičku primenu i vršenje potencijalnih terorističkih i diverzantskih akcija. Mnogi nuklearni reaktori i nuklearne elektrane su u privatnom vlasništvu a moraju da se snabdevaju fisionim gorivom sa komercijalnog tržišta. Ova činjenica povećava mogućnost ilegalne, kriminalizovane distribucije fisionog goriva van državne kontrole i njegove eventualne zloupotrebe od strane grupa i pojedinaca koje dolaze u posed ovog materijala. Razvijena je proizvodnja manjih prenosnih nuklearnih projektila za upotrebu u taktičke i diverzantske svrhe. Zbog relativno malih razornih efekata, mogu se upotrebiti u kombinaciji sa klasičnim eksplozivima. Takođe su usavršena i sredstva za disperziju radioaktivnog materijala. Sporazum o ne širenju nuklearnog oružja nisu potpisale

sve zemlje imao i nuklearnog oružja, a neke koje su ga i potpisale, nisu ispunile svoje obaveze iz člana 4. Sporazuma koji predviđa preduzimanje odgovarajućih mera u kontroli nuklearnog naoružanja.

Struktura nuklearnih borbenih sredstava koja se mogu upotrebiti i u terorističke svrhe prikazana je na tabeli:

NUKLEARNA BORBENA SREDSTVA		
Nuklearni i termonuklearni eksplozivi	Nuklearni i termonuklearni projektili	Lansirna tehnika, sistemi, snage i sredstva za njihovu primenu
Fisioni Fuzioni	Puščani Implozivni Fuzioni Fisiono-fuzioni (neutronske)	Avioni, kosmički brodovi, sateliti, artiljerijska oruđa, rakete, oružane snage, diverzanti, teroristi

Teroristi mogu napraviti tzv. "prljavu bombu" od ukradenog, odbačenog ili kupljenog radioaktivnog materijala (na crnom tržištu) i upotrebiti je u terorističke svrhe radi ostvarivanja svojih političkih ciljeva. Broj terorističkih organizacija u svetu nije zanemarljiv i postoji velika verovatnoća da se eventualno dočepaju i nuklearnih borbenih sredstava. Terorističke organizacije deluju sa pozicija različitih idejnih i političkih interesa. U nekim slučajevima ti interesi se mogu poklopiti, makar i privremeno. Neke terorističke organizacije ispoljavaju interes i za nabavku nuklearnog oružja odnosno oružja za masovno uništavanje (npr. Al Kaida i dr.) što se u praksi i pokazalo. Iako mnoge terorističke organizacije deluju sa pozicija različitih interesa, moguća je dakle i njihova saradnja na bazi "prebijanja usluga" odnosno saradnja i po pitanju nabavke nuklearnih borbenih sredstava (oružja). Organizovani kriminal bi tu imao značajnu ulogu jer je on sredstvo međunarodnog i unutrašnjeg terorizma. Međutim, i neke verske sekte mogu u tome imati određenu ulogu. Dakle i jedni i drugi bi svoje aktivnosti mogli da usmere ka nuklearnom terorizmu. Izvršeni akti nuklearnog terorizma i od strane terorista-samoubica na nuklearna i druga privredna postrojenja imali bi teške posledice po ljude i životnu sredinu na duži rok, kako u neposredno pogodjenoj zemlji tako i šire.

Radioaktivni materijali su podesne u diverzijama i terorističkim akcijama za vršenje atentata (retko), kontaminaciju hrane i vode, životne sredine, značajnih objekata gde radi mnogo ljudi i dr. Abel Gonzales, jedan od stručnjaka Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) iz Beča, prati kretanje radioaktivnog materijala u svetu i opominje da radioaktivne materije nisu stavljene pod kontrolu, za razliku od obogaćenog urana i plutonijuma, pa se tom pitanju mora posvetiti određena pažnja.

Povući jasnu granicu između "udesa" na reaktorima u nuklearnim centralama i diverzantsko-terorističkih akcija veoma je teško. Ni jedan akcident na nuklearnim reaktorima i centralama nije prošao bez sumnje da se možda radi o diverziji pojedinca ili organizovane grupe terorista ili diverzanata. Te sumnje su sve više zabrinule vlasnike nuklearnih elektrana zbog sve češćih pojava akcidenata.

SABOTAŽE I UDESI NA NUKLEARNIM POSTROJENJIMA

Nuklearni reaktori i nuklearna postrojenja mogu biti i mete sabotaže. Sabotaže su aktivnosti prikrivenog, svesnog i namernog ne vršenja radne obaveze ili prljave i neodgovorne u takvom stepenu da se njima pričinjavaju planirane štete. Da bi se dobio utisak nesreće ili udesa izvode se tiho i prikriveno. Sabotaže u nuklearnim postrojenjima, posebno u onima za proizvodnju nuklearne energije, radioizotopa i oružja na njihovoj proizvodnji, transportu i skladištenju, predstavljaju poseban vid opasnosti za čovečanstvo i životnu sredinu u celini. Opasnosti od savremenog terorizma, diverzija i sabotaža na izvorima radioaktivnog zračenja i radioaktivne kontaminacije su realnost u današnjem svetu. Terorističke akcije imaju dosta sličnosti sa diverzijama, s tim što diverzije izvode posebno obučene jedinice oružanih snaga, a terorističke akcije izvode neregularne snage, organizacije, grupe, ekstremni pojedinci, pa se različito tretiraju sa političko-pravnog stanovišta i međunarodnog prava. Pri tome teroristi mogu koristiti sva eksplozivna sredstva uključujući i mini nuklearno oružje i radioaktivne materije [2].

Udesi ili nesrećni slučajevi (akcidenti) sa nuklearnim sredstvima se događaju iz razloga nesavesnog i neodgovornog ponašanja onih ljudi koji rukuju sistemima, prenošenjem sredstava ili pogrešnim proračunima i procenama u pogledu bezbednosti. Primeri neodgovornog ponašanja kao uzroka pojava udesa su neki akcidenti i sa nuklearnim oružjem. Tačan broj udesa sa nuklearnim oružjem verovatno se neće nikada saznati, s obzirom na njihovu potencijalnu opasnost po stanovništvo zemalja koje raspolažu nuklearnim oružjem ili zemlje u kojoj se nalaze lanseri za nuklearne bojeve glave [2].

Nisu retka ozračivanja ljudi i životne sredine iz deponija radioaktivnih otpadnih materijala namernom ili nenamernom geškom. Tečni i gasoviti radioaktivni otpadni materijali često prouzrokuju pojavu nedozvoljeno visokih doza zračenja [7]. Nuklearni reaktori i nuklearne elektrane predstavljaju potencijalnu opasnost u slučaju rata i u slučaju diverzantsko-terorističkih i sabotažnih aktivnosti. Razaranje reaktorskog postrojenja izaziva oslobađanje radioaktivnog materijala u životnu sredinu oko nuklearne elektrane (i šire) čime se praktično ta teritorija čini neuslovnom za život nekoliko hiljada godina [1, 5]

ZAKLJUČAK

Postojanje još uvek znatnih zaliha nuklearnog oružja [6] i sve većih količina proizvedenog nuklearnog materijala koje se nalaze u komercijalnom prometu, stvara uslove za različite oblike zloupotrebe od strane nekih država, terorista pojedinaca i terorističkih grupa koje dolaze u posed ovog materijala. Na taj način omogućava se primena nuklearnih i radioaktivnih sredstava (materijala) i od strane ekstremnih snaga, kriminalaca, pripadnika nekih verskih sektii i terorističkih organizacija.

LITERATURA

- [1] Jović R. Udesi, diverzije i terorizam NBH sredstvima, Privredapublik, Beograd
- [2] Jović R. Protiv-nuklearna i protivradijaciona zaštita, Privredapublik, Beograd, 1989.
- [3] Pašanski M. Savremene kamikaze, Beograd, 1987.
- [4] Grupa autora: Sigurnost i pouzdanost nuklearnih elektrana u okruženju Jugoslavije, Institut Vinča, Beograd, 1996.
- [5] Petrović B. Sistem radijacione kontrole u biotehnologiji, Novi Sad, 1996.

[6] Grupa autora: Radioactive Heaven and Earth: A Report of the IPPN Int. Commission To investigate The Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons production, and Institute for Energy and Environmental research, The Apex Press, New York, 1991.

[7] Environmental Recovery of Yugoslavia, Vinca Institute of Nuclear Sciences, Beograd, 2001.

ABSTRACT

RISKS OF NUCLEAR WEAPONS AND RADIOACTIVE MATERIALS IN TERRORISM

D. Živanov

Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade

Today, nuclear weapons and radioactive materials become means of potential terrorist actions. They can be used in through different forms of diversions, sabotages and terrorist actions and thus, represent a new type of expressing violence and reaching goals of extreme social groups by force. Today nuclear technology is developed in almost all developed countries. More than 60 countries have research nuclear reactors, and nuclear reactors for production of electric power. Thus quantities of plutonium are produced every year, meaning the production of nuclear weapons for tactic application and terrorist possible activities.

КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА И РАДА РЕНДГЕНСКИХ УРЕЂАЈА ЗА ПРЕГЛЕДЕ ПРТЉАГА

З. Вејновић, П. Ђорђевић, Р. Бендераћ¹, М. Павловић²
Директорат цивилног ваздухопловства СиЦГ, Београд
¹ (ex) Институт безбедности, Београд
² Републички центар за таленте, Београд

САДРЖАЈ

Рендгенски уређаји за контролу пртљага на аеродромима су основни технички уређаји који се користе у заштити од тероризма. Због тога се, у систему заштите од тероризма посебно води рачуна о обезбеђивању квалитета рендгенске контроле. Међународне организације (ИКАО, ЕСАС) које прописују безбедносне мере које се примењују у цивилном ваздухопловству прописују стандарде које морају да испуњавају рендгенски уређаји да би могли да се користе за контролу пртљага. Примена рендгенских уређаја за контролу пртљага на аеродромима се заснива на сертификатима које издају националне организације одговорне за безбедност цивилног ваздухопловства чиме се доказује да одговарају својој намени, а свакодневно се приликом рада са уређајима врши тестирање да би се верификовала њихова исправност. Ове радње су важни елементи контроле квалитета коришћења рендгенских уређаји на пунковима заштите од тероризма.

УВОД

Рендгенски уређаји се већ више од 35 година користе за контроле пртљага на аеродромима. Од првих дана примене па до данас је дошло до великог напретка у њиховој технологији производње, техници рада и методама примене. Од самих почетака било је важно одредити квалитет рендгенских уређаја за контролу предмета опште намене јер је то једним делом одређивало и квалитет контроле која се обављала са тим рендгенским уређајем. Ти стандарди квалитета за ове типове уређаја нису били међународно усвојени и због тога су често били произвољно узимани од стране самих произвођача који су на тај начин покушавали да истакну повољне карактеристике уређаја које су сами производили. У највећем броју случајева су коришћени начини приказивања квалитета рендгенских уређаја из медицине, дефектоскопије односно из контроле материјала или из науке. Због тога се најчешће показивало да су они само механички приказ одређених карактеристика или снопа X зрачења или система за визуелизацију уређаја, а да нису у потпуности показивале способност рендгенских уређаја за откривање и препознавање опасних средстава и материја. Било је важно радити на развију метода и стандарда за контролу квалитета рендгенских уређаја како би се обезбедило да се захтеване карактеристике рендгенских уређаја могу објективно одредити у погледу свих особина које такви уређаји морају да задовољавају и да се затим обезбеди да се ти стандарди уграде у позитивне законске прописе и на крају да се обезбеди њихова примена. Међународне

организације које брину за безбедност цивилног ваздухопловства ИСАО и ЕСАС [1,2] су дефинисале основне стандарде одређивања квалитета рендгенских уређаја који су данас међународно прихваћени стандарди и које примењују све чланице ових организација. Све земље које претендују да користе међународне ваздушне путеве и желе да буду учеснице међународног ваздушног саобраћаја морају, поред осталог и као минимум, да испуне и ове стандарде у погледу захтеваног квалитета рендгенских уређаја да би могли да се користе у систему безбедности и заштите од аката незаконитог ометања авионског саобраћаја који укључује и заштиту од тероризма као кључни елемент ове заштите.

ТИПОВИ РЕНДГЕНСКИХ УРЕЂАЈА У СИСТЕМУ КОНТРОЛЕ

Са становишта корисника рендгенских уређаја који служе за рендгенску контролу предмета опште употребе важни су захтеви који се односе на коришћење уређаја [3]. Ови захтеви одређују применљивост рендгенских уређаја за одговарајућу врсту контроле и прилагођавају се типу контроле коју је неопходно обавити. Временом су се формирале врсте рендгенских уређаја које одговарају сваком одређеном типу противдиверзионог прегледа [4].

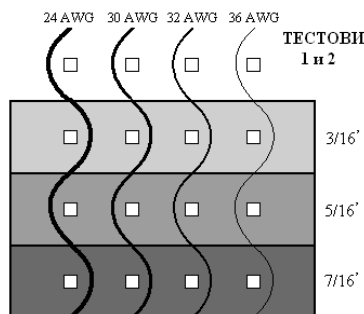
За случајеве рендгенске контроле пртљага временом су се искристалисале две групе уређаја које су се међусобно разликовале по техничким захтевима, по методологији рада са њима и по примени [1]. То су рендгенски уређаји који се користе за контроле ручног пртљага и рендгенски уређаји који се користе за контролу пртљага који се у авиону транспортују одвојено од путника и који су још познати као регистровани пртлази или пртлази за багажник. Прва група уређаја је намењена за прегледе пртљага који путник носи са собом у авион. То су обично мање торбе у којој се налазе најнеопходније личне ствари путника. Контрола ових торби се обавезно обавља у присуству путника који је после контроле поново преузимају тако да њен садржај може у потпуности да буде разјашњен на пункту контроле. Због свега наведеног од ових уређаја се не захтева да се рендгенском анализом у потпуности препознају све опасне материје, мада је то пожељно. Ови уређаји се најчешће означавају као конвенционални уређаји и њихова цена је релативно ниска. Друга група уређаја која се користи за прегледе пртљага за багажник мора да има много боље карактеристике у погледу могућности препознавања опасних материја, а пре свега експлозива. Због тога су ови уређаји много софистициранији по конструкцији и користе најсавременију технологију и рачунарске системе и веома су скупи. Конструкција ових уређаја је прилагођена начину обављања контроле овог пртљага који је по димензијама може бити прилично велики. Методе контроле са наведеним типовима уређаја су такве да се она обавља без присуства путника и на различитим нивоима контроле. Оваква контрола може бити веома сложена када су у питању појединачни пртлази док се огромна већина пртљага, уз обављену контролу, веома брзо и прецизно преноси до одговарајућег места у сортирници. Ови уређаји су познати као системи за детекцију експлозива (СДЕ) и системи за детекцију експлозивних направа (СДЕН).

СТАНДАРДНИ ТЕСТОВИ

Систем тестирања који је усвојен од међународних организација задужених за безбедност је уствари проширен систем испитивања који је коришћен

од раније и који се заснива на низу тестова и процедура испитивања у различитим фазама развоја и примене рендгенских уређаја. Читав низ година уназад је код приказа квалитета рендгенске слике коришћен такозвани жичани тест узорак (Слика 1.) који је преузет из немачког стандарда за примену у дефектоскопији код дефинисања осетљивости рендгенографа односно радиографа или снимања на филм. Овакав стандард је данас у употреби код већине европских земаља за ту врсту дефектоскопских снимања. Са њим се прописује одређивање квалитета рендгенске слике код прва два тестирања.

Са жичаним тестом резолуција једне жице (РЈЖ) се дефинише способност рендгенског уређаја да прикаже појединачну танку жицу. На овом истом тест узорку се тестира корисна продорност (КП) која дефинише степен детаља који се могу уочити иза дебелог познатог материјала. У првом случају потребно је да лице које изводи тест уочи 30 AWG (0.2540mm) неизоливану калајисану бакарну жицу упаковану у провидну чврсту пластику од перспекса, а у другом да уочи 24 AWG (0.5105mm) неизоливану калајисану бакарну жицу иза алуминијума дебљине 5/16 inch. Затим се још још изводе тестови за просторну резолуцију (ПР) која дефинише способност уређаја да разликује и прикаже објекте који су веома близу један другог, за обичну продорност (ОП) која дефинише дебљину метала кроз коју рендгенско зрачење може да прође али исто тако и способност формирања рендгенске слике танких метала и за раздвајање материјала (РМ) која дефинише способност рендгенског уређаја да раздвоји материјале са различитим средњим атомским бројевима, односно да раздвоји органску од неорганске групе материја.



Слика 1. Тест узорак који се користи за одређивање квалитета рендгенских уређаја

Ови тестови који су намењени за рендгенске уређаје који се користе у контроли пртљага су применљиви за било коју безбедносну опрему базирану на примени рендгенског зрачења, а код којих се добија слика коју оператор треба да интерпретира. Ово укључује како конвенционалне рендгенске уређаје тако и рендгенске уређаје за детекцију експлозива (СДЕ/СДЕН).

Када су питању рендгенски уређаји типа СДЕ/СДЕН који треба да открију присуство експлозива у пртљагу онда је ваома важно тестирати ову њихову способност. Ови тестови се базирају на различитим типовима и количинама експлозива. Са додатним експлозивима се могу обавити тестови ако је то неопходно. У свим случајевима се бележе, хемијски састав, ефективни атомски број (Z_{eff}) и густина експлозива (D) са којим су обављени тестови.

Узорци експлозива требали би да буду различитог облика, димензија, тежина и дебљина. Они могу бити смештени у реплику уређаја (радио-касетофон) или може бити једноставно упакован. Конзистентан приступ ће омогућити поређење добијених резултата са резултатима будућих тестова.

СДЕ систем би требало тестирати са тежинама које су изнад и испод количине експлозива за коју се сматра да претставља претњу тј. половина количине која претставља претњу или таква дупла количина. Ако се нађе значајно опадање карактеристика при увећавању количине експлозива за два пута онда треба наставити тестирање са већим количинама експлозива. Посебна пажња се посвећује ефикасности система, појави лажних аларма и условима обављања тестирања.

ЗАКЉУЧЦИ

Међународни прописи из области контроле квалитета рендгенских уређаја представљају важан елемент побољшања и уједначавања система контроле пртљага на аеродромима, а самим тим и повећања квалитета те контроле. Са становишта унапређења система безбедности важно је за нашу земљу да пратимо и примењујемо ове стандарде као минимум контроле квалитета у примени ових уређаја.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ECAC Policy Statement in the Field of Civil Aviation Security, ECAC.CEAC Doc No.30(Part II), 11th Edition/July 2003 (restricted)
- [2] Security Manual for Safeguarding Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference, Sixth Edition-2002, ICAO (restricted)
- [3] З.Вејновић, Безбедност, Београд, год.XLII, (2000) 4/00, стр.411-432.
- [4] З.Вејновић, Безбедност, Београд, год.XLIV, (2000) 1/02, стр.75-91.

ABSTRACT

QUALITY CONTROL AND USE OF X-RAY MACHINES FOR BAGGAGE SCREENING

Z. Vejnović, P. Đorđević, R. Benderać¹, M. Pavlović²

Civil Aviation Directorat SCG, Belgrade

¹(ex) Institute of Security, Belgrade

² Republic Center for Talented Youth, Belgrade

Abstract: X-ray equipment for baggage screening at the airports are basic technical means which are used against of terrorism. Because of that quality control of X-ray screening is of great importance in terrorism safeguarding system. International aviation organizations (ICAO, ECAC) set security standards and measures, which are implemented in civil aviation, for X-ray equipment that are used for baggage screening. Implementation of X-ray for baggage screening at the airports is based upon certificates, issued by national aviation authorities responsible for aviation security, that approves its purpose, and during day to day use of X-ray testing of equipment is performed in order to verify its correctness.

Testing is key element of quality control of usage X-ray equipment of terrorism safeguarding points.

NOVI PRAVCI U ZAŠTITI OD NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA

B. Vulević, S. Marković
INN "VINČA", Laboratorija "ZAŠTITA"

SADRŽAJ

Cilj ovoga rada je da pruži osnovne informacije o novim smernicama u razvoju zaštite od nejonizujućih zračenja na međunarodnom nivou u poslednje dve godine.

UVOD

Napredak naučnih istraživanja bioloških i zdravstvenih efekata nejonizujućih zračenja na žive organizme i ubrzan razvoj novih tehnologija zahteva da se sistemi zaštite, koji su razvijani u poslednjoj dekadi, stalno unapređuju.

Sistemi zaštite, uopšte, uključuju preporuke kompetentnih međunarodnih tela (ICNIRP za slučaj nejonizujućih zračenja) čiji je osnovni cilj "zaštita zdravlja" (u širem smislu), u skladu sa definicijom Svetske zdravstvene organizacije (WHO) koja "zdravlje" definiše kao "stanje ne samo odsustva bolesti ili slabosti već kompletne fizičke, mentalne i socijalne dobrobiti" [1].

U zavisnosti od prirode efekata i kvaliteta naučnih podataka usvajaju se različiti sistemi zaštite. Osnovna šematska podela sistema zaštite od nejonizujućih zračenja podrazumeva [2]:

- *Sistem zaštite baziran na dokazanim zdravstvenim efektima* primenljiv je u slučaju kada određeni biološki efekti, koji prouzrokuju štetne zdravstvene efekte, mogu biti dokazani. Ovi efekti su vezani za koncept "praga izlaganja", odnosno uslov za pojavu štetnog zdravstvenog efekta je prekoračenje "praga izlaganja". Zaštita se u ovom slučaju svodi na ograničavanje izlaganja preko osnovnih ograničenja (basic restrictions) i referentnih nivoa (reference levels) [3].

- *Optimizacija sistema zaštite* primenjuje se u oblasti ispod nivoa "praga izlaganja", a podrazumeva utvrđivanje koeficijenta rizika (verovatnoće za određeni efekat), kao i zavisnost između nivoa izlaganja i rizika.

- *Mere opreza*, kao sistem zaštite, usvajaju se u slučaju povećane nesigurnosti, tj. kada nema pouzdanih naučnih dokaza za pojavu štetnosti.

Jedino je prvi sistem zaštite baziran na pouzdanim i empirijskim činjenicama, dok je za ostala dva potrebno uzeti u obzir ekonomske, socijalne i političke faktore na posmatranom geografskom području. To je jedan od razloga što se nacionalni standardi (baza podataka na sajtu Svetske zdravstvene organizacije: <http://www.who.int/peh-emf/standards/en/>) drastično razlikuju po pitanju referentnih vrednosti [4].

“OPREZAN PRISTUP” PROBLEMU [5]

U cilju ispitivanja štetnih zdravstvenih efekata usled izlaganja stanovništva električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima do 300 GHz, Svetska Zdravstvena Organizacija (WHO) je, 1996. godine, pokrenula međunarodni projekat (International EMF Project) u kome učestvuju 54 zemlje i 8 međunarodnih organizacija širom sveta, među kojima i ICNIRP. U novembru 1998. godine, u sklopu navedenog projekta, započet je proces harmonizacije nacionalnih standarda na globalnom nivou. Rezultate Projekta WHO treba očekivati u periodu do 2007. godine.

U sklopu navedenog Projekta, a na osnovu sve veće zabrinutosti javnosti širom sveta u vezi mogućih neželjenih zdravstvenih efekata, WHO je predložila određena načela u cilju zaštite zdravlja ljudi kroz tzv. “oprezan pristup” (Precautionary approach) problemu. Okvir za »oprezan pristup« uključuje u jedinstvenu celinu sve navedene sisteme zaštite, pomenute u uvodnom delu, tako da predstavlja raznolikost opcija koje su prikazane u tabeli 1. od minimalnih do restriktivnih.

Tabela 1. Moguće opcije koje podrazumeva »okvir opreznog pristupa«

Nema formalne akcije	u slučajevima kada je posmatrani rizik mali; nema dovoljno činjenica za podršku formalnim akcijama
Istraživanja	“popunjavanje nedostataka” u znanju; pomaže u identifikaciji problema; daje bolju buduću procenu rizika
Monitoring	praćenje rezultata istraživanja i merenja; odluke na osnovu postavljenih uslova
Komunikacija	pomaže ljudima da shvate problem; daje mogućnost izbora daljih koraka
Propisi	formalni koraci od strane države u ograničavanju slučajeva i posledica potencijalno rizičnih događaja
Tehnička rešenja	obuhvata inženjerska rešenja u cilju smanjenja izlaganja a samim tim i smanjenja poznatih ili registrovanih rizika
Ograničenje i zabrana	kada je visok stepen sigurnosti za pojavu štete; kada je cena ograničenja ili zabrana mala; oba navedena slučaja zajedno

PRIORITETI U NAREDNOM PERIODU

1) Objediniti istraživanja

Veza između osnovnih istraživanja i zaštite zdravlja ljudi treba da bude dvosmerna. Sa jedne strane, prikupljena znanja predstavljaju osnovu za procenu rizika, a samim tim i za preporuke o ograničenju izlaganja. Sa druge strane, preko sveobuhvatnih podataka iz literature identifikuju se nedostaci i nesigurnosti u znanju koji se mogu otkloniti jedino predlaganjem budućih istraživanja.

Broj istraživanja, vezanih za proučavanje uticaja EMF na zdravlje ljudi u poslednjih deset godina, opao je na području Severne Amerike (SAD i Kanada) a porastao u Evropi [7]. Osnovni razlog za to je povećana zabrinutost kod stanovnika Evrope za moguće negativne posledice po zdravlje usled informaciono-tehnološke revolucije u poslednjih nekoliko godina.

Nacionalni naučni programi, koji su se u poslednjih deset godina odvijali u zemljama zapadne Evrope, predstavljali su osnovu za objedinjeni pristup istraživanjima (COST Action 244, 244bis, COST Action 281 - koji je u toku i 10 projekta u sklopu 5-og okvirnog Programa Evropske Komisije EC FP5).

Od strane Evropske Komisije pokrenuta su mnoga istraživanja vezana za uticaj EMF na zdravlje ljudi. U 6-om okvirnom Programu Evropske Komisije (6th of the European Commission Framework Programme – EC FP6), u martu 2004. godine, pokrenut je Projekat pod nazivom EMF-NET Effects of the Exposure to Electromagnetic Fields: From Science to Public Health and Safer Workplace (2004 – 2008). Osnovna ideja ovoga Projekta jeste upravo usaglašavanje rezultata istraživanja vezanih za biološke efekte EMF, u cilju procene potencijalnih rizika [8]. EMF-NET Konzorcijum okuplja 41 učesnika, uključujući sve koordinate EC (FP5) tekućih projekata i rukovodioce evropskih projekata na nacionalnom nivou (Finska, Francuska, Velika Britanija, Nemačka, Italija, Grčka, Mađarska) kao i predstavnike ostalih međunarodnih projekata (COST Action 281, WHO EMF Project), predstavnike razvijenih industrija, trgovinskih organizacija, regulatornih tela i naučnih udruženja.

Neke važnije aktivnosti EMF-NET-a:

- a) Obezbeđivanje okvira za sređivanje, tumačenje i širenje rezultata aktuelnih istraživačkih aktivnosti;
- b) Informaciona podrška ovlašćenim ustanovama koje učestvuju u donošenju odluka, uključujući i privatna lica;
- c) Informaciona podrška za propise, komunikaciju o rizicima i opažanje rizika;
- d) Obezbeđivanje i finansiranje svih aktuelnih istraživanja u svom domenu i identifikacija prioriteta u istraživanjima.

EMF-NET svoje aktivnosti bazira na sledećim glavnim zadacima (Main Task – MT):

MT1: Naučno praćenje rezultata studija vezanih za EMF i zdravstvene efekte

- Laboratorijske studije (In vivo i In vitro)
- Epidemiološke studije

MT2: Izlaganje EMF vezano za rizike u radnoj sredini

MT3: Poboľšavanje opštih gledišta u istraživanju uticaja EMF na zdravlje

MT4: Opažanje rizika i komunikacija o rizicima

MT5: Posmatračke funkcije

- Monitoring razvojnih tehnologija
- Monitoring istraživačkih planova
- Monitoring za nove zemlje članice EU, zemlje kandidate i treće zemlje.

2) Revizija preporuka

Neku zaštitnu meru, uključujući i preporuke o izlaganju nekom agensu, treba revidirati tokom vremena i usavršavati kada je to potrebno, što je posledica:

- novih naučnih podataka
- iskustva u praktičnoj primeni u cilju efikasnosti zaštite.

Opšte je prihvaćen stav, od strane WHO i ICNIRP [5,6], da treba izvršiti određene promene u postojećim međunarodnim preporukama i standardima ali tek posle završetka navedenih naučnih projekata, jer će se na osnovu rezultata većeg broja istraživanja dobiti kompletnija slika o potrebnim izmenama. Tako će sa razvojem naučnog znanja promene redukcionih faktora – granica izlaganja biti bolje definisane i opravdane. To posebno važi za slučaj “nedovoljno istraženih” tzv. neterminičkih efekata tokom dugotrajnog izlaganja električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima na nivoima koji se nalaze ispod sadašnjih referentnih nivoa za određenu frekvencijsku oblast.

U međuvremenu, dok se očekuje naučno opravdanje revizija preporuka i standarda, pod sve većim pritiskom zabrinutih građana, nacionalne ovlašćene institucije, posebno u zapadnoj Evropi (Italija, Švajcarska, Francuska, Nordijske zemlje), primorane su

da uvedu mere opreza (Precautionary measures) koje nisu u skladu sa priznatim naučnim dokazima. Radi se, uglavnom, o uvođenju redukcionih faktora u okviru referentnih nivoa iz preporuka ICNIRP na tzv. "područjima povećane osetljivosti" (stambene zone, bolnice, dečija obdaništa, škole, itd.) gde stanovništvo, posebno deca, provode najveći deo dana.

LITERATURA

- [1] WHO Definition of Health. Preamble to the Constitution of the World Health Organisation as Adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; (Sajt WHO: <http://www.who.int/about/definition/en/>).
- [2] U.Berquist. Development of guidelines and standards and the Principle of ALARA and Prudent Avoidance. In: R. Matthes (ed.) Non Ionizing radiation. Proceedings of the Third International Non-Ionizing Radiation Workshop. Baden, Austria, 1996. Munich. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, pp. 359-372.
- [3] ICNIRP Guidelines. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics 1998; 74(4): 494-522.
- [4] B. Vulević, S. Marković. Merenje električnih i magnetskih polja u terenskim uslovima-Poređenje sa Međunarodnim preporukama i standardima, XXII Simpozijum JDZZ, Zbornik radova, Petrovac na moru, 2003: 399-402.
- [5] M. Repacholi, E.van Deventer. WHO Framework for Developing Health Protection Measures in Areas of Scientific Uncertainty. Proceedings of 5th International NIR Workshop and Symposium. Session 7. Seville, Spain 2004.
- [6] P. Vecchia. New challenges in NIR Protection. Proceedings of 5th International NIR Workshop and Symposium. Session 7. Seville, Spain 2004.
- [7] P. Ravazzani. Effects of the exposure to electromagnetic fields from science to public health and safer workplace: An overview of the research activities in Europe. EMF-NET Newsletter. (Web site: <http://emf-net.isib.cnr.it>). Number 4. March 2005.
- [8] P. Ravazzani. Effects of the exposure to electromagnetic fields from science to public health and safer workplace: The European Commission Coordination Action EMF-NET. International Conference on Electromagnetic Fields: From Bioeffects to Legislation. Abstract Book, Ljubljana, Slovenia 2004; 15 – 17.

ABSTRACT

NEW DIRECTIONS IN NON-IONIZING RADIATION PROTECTION

B. Vulević, S. Marković

“VINČA” Institute, Radiation and Environmental Protection Laboratory, Belgrade

This work presents the basic information about new challenges in development Non-Ionization Radiation Protection on international level in past two years.

AKTIVNOSTI NA POLJU BORBE PROTIV ILEGALNE TRGOVINE RADIOAKTIVNIM MATERIJALIMA U REPUBLICI SRBIJI

R. Benderać, Z. Vejnović, A. Žigić¹

(ex) Institut bezbednosti, Beograd

¹Institut za nuklearne nauke "VINČA", Beograd

SADRŽAJ

Po definiciji MAAE "Ilegalna trgovina je prijem, posedovanje, upotreba, transfer ili oslobađanje od radioaktivnog materijala bez ovlašćenja". Naša zemlja je zbog sankcija i ratnog okruženja bila odsutna više od 10 godina iz UN a time iz MAAE, što je ostavilo vidljivih posledica sa aspekta kašnjenja u sprovođenju definisanog protokola detekcije radioaktivnih materijala na graničnim prelazima kako u tehničkom tako i organizacionom pogledu. U radu su dati neki od rezultata borbe protiv ilegalne trgovine radioaktivnim materijalima u našoj zemlji i učinjen je pokušaj da se osvetli deo plana aktivnosti koje od nas očekuje MAAE.

UVOD

Srbija je locirana na liniji mnogih međunarodnih puteva. Sa aspekta ilegalne trgovine radioaktivnim materijalima za našu zemlju postoji globalni međunarodni interes i to se najjednostavnije može izraziti putem važnih aktivnosti koje je preuzela Međunarodna agencija za atomsku energiju (MAAE) tokom 2004 godine, a čiji se konkretni rezultati posete očekuju u narednom periodu. Pred ekspertskim timom MAAE Srbija je pokazala da ima dugogodišnje iskustvo i rezultate u navedenoj oblasti, svesna da joj predstoji veliki zadatak, a to je kako u potpunosti realizovati detekciju radioaktivnih materijala na graničnim prelazima po definisanom protokolu Agencije. Ako se osvrnemo na neki predhodni period, onda sa ponosom kažemo da je Srbija, još za vreme SFRJ, instalirala stacionarne monitore zračenja na graničnim prelazima, od koji su neki i danas u funkciji preliminarnih merenja. U poslednjih 10 godina u Srbiji je registrovano oko 15 slučajeva ilegalne trgovine radioaktivnim materijalima. Trenutni protokol detekcije na graničnim prelazima je u nadležnosti nadležnog Ministarstva i ovlašćenih instituta u oblasti zaštite od jonizujućih zračenja. Koje su to bliske smernice i šta je poterbno nadograditi da protokol bude u sinhronizaciji sa preporukama MAAE? Svakako, kao prvi korak, predstoji veliki posao u obuci kadra, gde je ekspertska grupa MAAE u završnom dokumentu prepoznao Institut bezbednosti uz pomoć Instituta "VINČA" u obuci carinika i pogranične policije.

Prošlost ... U vremenskom periodu od 1987-1992. godine na graničnim prelazima Horgoš, Kelebia, Vatin, Batrovci, Preševo, Gradina i Đeneral Janković, Institut bezbednosti je instalirao monitore zračenja MZ-100 (Lab. za nuklearnu elektroniku "Vinča"). Takođe, Institut bezbednosti instalirao je isti tip monitora zračenja u luci Bar. Svi instalirani

monitori su bili u funkciji preliminarne kontrole. Neki od njih su i danas u funkcionalnom stanju. Više od 30 puta od strane pogranične policije prijavljeno je uključanje alarma. U većini slučajeva radilo se o provozi ili uvozu materijala sa povećanim sadržajem prirodnih radionuklida. Interesantan je slučaj otkrivanja izvora zračenja na graničnom prelazu Preševo – izvor kobalta-60, aktivnosti ~ 1 GBq. Iz navedenog slučaja i nekih drugih primera izveden je zaključak: *Neophodan je trening i edukacija pogranične policije i carine na graničnim prelazima!* Na graničnim prelazima vrši se radiološka kontrola robe iz uvoza pod ekološkim, sanitarnim, veterinarskim i fitosanitarnim nadzorom. Više od 10 slučajeva spornih uzoraka dovelo je do zaključka: "Da li sertifikati koji prate robu iz uvoza odgovaraju stvarnosti?" Zaključak: *Radiološka kontrola treba da postoji!*

Sadašnjost ... Postojeći problemi su materijalne, organizacione i regulatorne prirode.

Bliske smernice ... MAAE radiološku kontrolu na graničnim prelazima vidi na sledeći način.

-Da carina i pogranična policija budu opremljeni sa pejdžer dozimetrima (gama/neutron),
-Da na graničnim prelazima budu instalirani stacionarni monitori zračenja (gama/neutron),
-Da na graničnim prelazima budu prisutni predstavnici koji se profesionalno bave zaštitom od jonizujućih zračenja, opremljeni sa ručnim dozimetrima (alfa, beta, gama i neutron detektorima) i prenosnim gama - spektrometrima!

MAAE je je za dopunsku kontrolu na graničnim prelazima prepoznala INN "VINČA"! Ko treba da vrši dozimetrijsku kontrolu robe na GP i šta su obaveze inspektora prve linije? Ko treba da vrši dopunsku kontrolu, ko definitivnu kontrolu, a ko ekspertizu po preporukama MAAE nije predmet ovog rada.

OPŠTA RAZMATRANJA

1. MAAE, ilegalna trgovina:

Kriminalne delatnosti koje se razmatraju uključuju:

- Subverzivne delatnosti, kao što su kršenja kontrole proliferacije;
- Druga aktuelna ili potencijalno zlonamerna dela čiji je cilj da izazovu štetu ljudima ili životnoj sredini;
- Ilegalni dobitak, kao profit od prodaje radioaktivnog materijala;
- Izbegavanje propisanih troškova oslobađanja (bacanja), od relevantnih vlasti;
- Kršenje transportnih propisa.

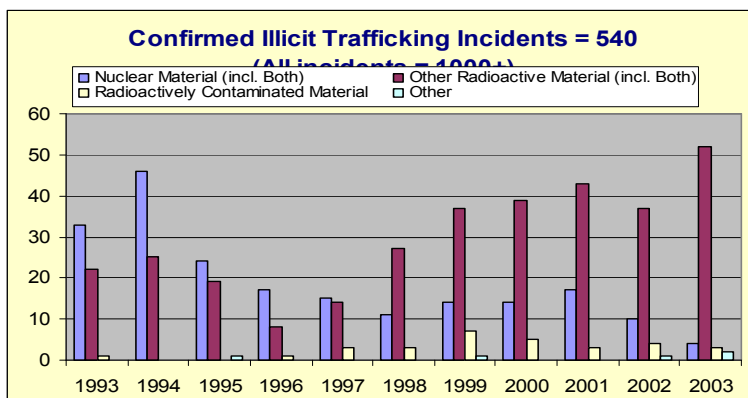
2. Radioaktivni i/ili nuklearni materijali

Nuklearni materijal je i radioaktivan; Termin "radioaktivni materijal" uključuje i nuklearni materijal. "Radioaktivni materijal" se koristi da se izbegne ponavljanje fraze "nuklearni i drugi radioaktivni materijali". Nuklearni materijal je od bitnog i prvenstvenog interesa sa stanovišta ilegalne trgovine.

3. Četiri pretnje od nuklearnog terorizma:

- Krađa nuklearnog oružja
- Krađa materijala za pravljenje improvizovanog nuklearnog eksplozivnog sredstva
- Krađa drugih radioaktivnih materijala za RDD
- Sabotaža objekta ili transporta

4. Ilegalna trgovina (svi tipovi) incidenti 1993-2003.



Slika 1. Ilegalna trgovina od 1993 – 2003.

5. Mere zaštite

Neke zemlje članice su odlučile da postave detektore zračenja na graničnim prelazima da pokušaju da detektuju radioaktivne materijale koji se ilegalno unose u zemlju, kao i da pronađu napuštene izvore (koji su van evidencije) koji se možda neželjeno transportuju.

6. Strateška evaluacija potrebe neke zemlje za kontrolom na granici

- Odluka neke zemlje članice da li, kada ili gde da uspostavi detekciju zračenja na svojim granicama treba da bude rezultat razvoja sveobuhvatne nacionalne strategije za uspostavljanje kontrole nad radioaktivnim materijalima.

- Smernice o dizajnu i implementaciji takve nacionalne strategije su deo MAAE Plana akcije za bezbednost i sigurnost radioaktivnih materijala.

- Faktor u razvoju nacionalne strategije je analiza pretnje. Za neke zemlje, na određenim graničnim lokacijama, kontrola se može posmatrati kao vredna komponenta njihove ukupne strategije.

- Kontrolni punktovi ili čvorne tačke gde je veliki protok ljudi, kretanja ili tovara. Ove lokacije mogu biti kontrolni punktovi koji već postoje za druge svrhe, kao za merenje težine vozila, ili carinu.

7. Tipovi instrumenata za detekciju radioaktivnih materijala na GP

Instrumenti za detekciju radioaktivnog materijala na granicama mogu dele se na:

Džepni instrumenti su mali instrumenti, male mase i koriste se za detekciju prisustva radioaktivnog materijala i da obaveste korisnika o nivoima zračenja.

Merni instrumenti imaju visoku osetljivost i mogu se koristiti da detektuju, lociraju ili (za neke tipove instrumenata) identifikuju radioaktivne materijale. Takvi instrumenti su korisni i za pravljenje preciznijih merenja doza da bi se utvrdili zahtevi bezbednosti od radijacije.

Fiksni, instalirani, automatski instrumenti su dizajnirani da se koriste na kontrolnim punktovima, kao što su oni na drumskim i železničkim graničnim prelazima, aerodromima ili lukama. Takvi instrumenti mogu da pruže nadzor visoke osetljivosti kontinualnog protoka osoba, vozila, prtljaga, paketa i tereta, pri čemu minimiziraju interferenciju kod protoka saobraćaja.

8. Svrha instrumenata

Detekcija i alarmiranje: Instrument treba samo da aktivira alarm ako je premašen zadati nivo zračenja.

Verifikacija: Kad je alarm aktiviran, neophodno je da se verifikuje da li je on pravi. Upotreba drugog instrumenta je jedan način da se to uradi.

Procena i lokalizacija: Pravi alarm zahteva traganje za, i lokalizaciju porekla radijacije. Kad se to radi, važno je da se uradi radiološka procena u svrhu bezbednosti od radijacije, kao i da se utvrdi odgovarajući nivo reakcije.

Identifikacija: Utvrđivanje tipa i energije radijacije će često omogućiti da se identifikuju radionuklidi. Ovo će pomoći kategorizaciju prirode slučaja i buduću reakciju.

FIKSNI, INSTALIRANI INSTRUMENTI

Fiksni, instalirani monitori zračenja su često poznati kao portalni monitori i tipično se sastoje od detektora polja u jednom ili dva vertikalna stuba sa udruženom elektronikom. Pošto osetljivost instrumenta uveliko zavisi od razdaljine, važno je da se osoba ili vozilo dovedu što je praktično bliže moguće detektoru. Stoga se najviša osetljivost postiže ako su monitori instalirani tako da su svi pešaci, vozila i kargo saobraćaj prisiljeni da prođu kroz ili između monitora. Potrebno je pažljivo razmotriti selekciju optimalne lokacije za instaliranje fiksnih portalnih monitora zračenja da bi oni bili najefektniji.

Efektivnost fiksnog, instaliranog instrumenta bitno zavisi od njegove sposobnosti da izmeri intenzitet zračenja u zoni pretrage. Stoga je pri instaliranju monitora važno da se detektor pozicionira tako da ima neometan "pogled" na zonu pretrage.

Osetljivost na gama zračenje: Preporučuje se da pri srednjoj indikaciji od 0,2 $\mu\text{Sv/h}$, alarm treba da se aktivira kad je doza povećana za 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ u trajanju od 1 s.

Osetljivost na neutronska zračenje: Za instrumente koji imaju mogućnost detekcije neutrona, detektor treba da aktivira alarm kad je izložen neutronsom fluksu emitovanom iz ^{252}Cf izvora od 0,01 μg (približno 20.000 n/s) u trajanju od 5 s, na razdaljini od 2m, kad je gama zračenje zaštićeno na manje od 1%. Verovatnoća detekcije ovog alarmnog stanja treba da bude 99,9%, tj., ne više od 10 propusta na 10.000 izlagaja. Neutronska doza koja odgovara ovim stanjima zračenja je oko 0,05 $\mu\text{Sv/h}$

ZAKLJUČAK

Shodno iskustvu zemalja u okruženju, posebno Slovenije i Rumunije, postojeća radiološka kontrolu na granici, koju u našoj zemlji sprovode dozimetristi ovlašćenih institucija, ne može biti zamenjena instaliranjem portal monitora i/ili dodele pejdžer-dozimetara carini ili policiji, bez pripreme, obuke kadra i definisanja protokola od strane nadležnog tela.

LITERATURA

[1] IAEAReport: INTERNATIONAL NUCLEAR SECURITY ADVISORY SERVICE MISSION (INSServ): Serbia And Montenegro, 2004.

ABSTRACT

ACTIVITIES AGAINST ILLEGAL TRAFFICKING IN RADIOACTIVE MATERIALS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

R. Benderać, Z.Vejnović, A.Zigic

Per the MAAE definition, “Illegal trafficking is receiving, possessing, use, transfer, or disposing of radioactive materials without authorization“. Because of the international economic sanctions and the warfare environment, our country was absent from the UN more than 10 years, and thus also from MAAE, which left visible consequences from the aspect of being late in implementation of a defined protocol for detection of radioactive materials at border crossings, in technical, as well as in organizational terms. This paper gives some results of the efforts made against illegal trafficking of radioactive materials in our country, and is an attempt to illuminate a part of the plan of our near-future guidelines which MAAE expects from us.

EFEKTI I POSLEDICE NUKLEARNIH UDESA I MERE ZAŠTITE

R. Biočanin, B. Amidžić¹
Uprava za školstvo Ministarstva odbrane SCG,
¹Zdravstveni centar Kruševac

SADRŽAJ

Životna sredina našla se pod uticajem energije razorne moći, zastarele i prljave tehnologije, gustog i nekontrolisanog saobraćaja, trke u naoružanju, ratnih dejstava, diverzantsko-terorističkih aktivnosti i drugih uticaja, koji osetno narušavaju ravnotežu prirode i ugrožavaju život ljudi. Brojne su vrste i oblici ugrožavanja radne i životne sredine, od prirodnih nesreća i katastrofa do NHB udesa u miru, NHB terorizma i upotrebe NHB oružja u ratu, što sve više postaje gruba ali stvarna realnost. U svetu postoji zastrašujuća količina nuklearnog oružja različite snage i moći, koje se i dalje gomila i usavršava uz stalno proširenje zemalja posednika. Nuklearni udesi i terorizam su uvek mogući, posebno u uslovima transporta i sladištenja nuklearnog materijala i vođenja terorističkog rata. Kontaminacija živih bića radioaktivnim materijama postala je ozbiljan i aktuelan problem u eri sve masovnije primene nuklearne energije u mirnodopske i vojne svrhe. Razloga je više da se najozbiljnije pozabavimo ovom problematikom. Realizacija projekta "Jedinstven sistem ABHO" daje nam mogućnost da uz visoku povezanost i organizaciju rada, uz korišćenje savremenih sredstava i opreme za zaštitu i upotrebom jedinica za brzo reagovanje u realnom vremenu, uspešno organizujemo monitoring, uzbuñjivanje, zaštitu i dekontaminaciju u vanrednim situacijama.

UVOD

Do svesti savremenog čoveka izgleda još uvek ne dopire saznanje o strašnoj i realnoj opasnosti koja nas okružuje usled narastanja iskorišćavanja nuklearne energije u mirnodopske ili ratne svrhe. A ova opasnost može da ugrozi ne samo sudbinu malih naroda, već i opstanak čovečanstva. Iznećemo samo neke od brojnih primera koji to nedvosmisleno dokasuju. U mirnodopskoj primeni u svetu, potencijalno najopasniji izvor zračenja su nuklearni reaktori (531 elektrane, 325 istraživačka reaktora, brojne nuklearne podmornice, sateliti brodovi), a mnogi su zastarele tehnologije. U okruženju naše zemlje nalazi se 16 blokova nuklearnih elektrana, a samo na Dunavu 10.

Svet živi u strahu od NHB terorizma. Taj strah bio je izražen više puta do sada, kada su na objekte od vitalnog značaja izvedeni teroristički napadi u SAD, Japanu, Rusiji, Španiji, Iraku,... Napokon je shvaćeno da je nuklearni materijal zapravo na izmicaju svetske kontrole, što postaje zastrašujuća pomisao. U okviru diverzantsko terorističkih akcija moguća je zloupotreba mini atomskih bombi iz sastava vojske bivšeg SSSR-a, koje se mogu nositi u vojničkom rancu i usmrtiti na desetine hiljade ljudi u jednom gradu.

U susedstvu, ali i u našoj zemlji imali smo slučajeve transporta-dislokacije radioaktivnog materijala drumskim i vazdušnim transportom, ali i pored rigoroznih isplaniranih mera bezbednosti i zaštite, bila su moguća iznenadjenja i problemi većeg obima.

Pod nuklearnim udesima (akcidenti) podrazumevamo sve pojave iznenadnog i nekontrolisanog oslobađanja i dejstava izotopa jonizujućeg zračenja uz ostale propratne pojave. Oni se tretiraju kao (ne)namerni i najčešće su posledica ljudskog faktora (nezanjanje, nehat, tehničko-tehnološki propusti, nepridržavanje mera zaštite na radu, zastarela i prljava tehnologija, diverzija, sabotaza, teroristički akt). Pod nuklearnim udesom u miru smatraju se i oštećenja (havarije) na nuklearnim reaktorima (nuklearne elektrane, instituti, brodovi, podmornice) i drugim objektima (veštački sateliti, kontejneri sa nuklearnim gorivom i radioaktivnim materijalom), usled čega dolazi do isticanja radioaktivnog materijala (čvrst, tečni ili gasoviti) u spoljnu sredinu čime se ugrožava život ljudi, životinja i biljaka. Pod određenim uslovima, u ovu vrstu udesa mogu se ubrojiti i oštećenja nuklearnih projektila u skladištima, na vojnim i policijskim vežbama i poligonima. U skoro svim ovim slučajevima teško, a možda nikad ne može se dokazati (ne)namera, obzirom na smišljenu pripremu, tajnost i maskirnost. Korišćenje jakih izvora jonizujućeg zračenja odvija se uz rigorozne mere bezbednosti i zaštite koja rizik ozračenja ljudi smanjuje na minimum. Uprkos tome, u kratkom vremenskom periodu korišćenja nuklearne tehnologije, dogodio se veliki broj vanrednih događaja u kojima je došlo (ili je moglo doći) do ozračivanja ljudi i radioaktivne kontaminacije velikih površina zemljišta i objekata za duži vremenski period.

Živimo u vremenu velikog korišćenja izvora jonizujućeg zračenja u medicini, nauci i industriji i sve većem mirnodopskom korišćenju nuklearne energije u različite svrhe. Početak primene nuklearne energije nije bio nimalo pozitivan niti slavan. Čak se može reći, da su to bili najmračniji i najtužniji dani u ljudskoj istoriji. Na japanske gradove Hirošima i Nagasaki američki bombarderi 1945. godine bacaju atomske bombe kojima biva na mestu ubijeno više stotina hiljada civila, od čijih se posledica umiralo decenijama nakon tih tragičnih događaja. Posledice su bile žrtve, veliki broj povredjenih i kontaminiranih, panika, strah, velika materijalna razaranja i nerazjašnjenje okolnosti kako je moglo doći do udesa. Posledice radioaktivne kontaminacije i danas su prisutne, pre svega u vidu degenerativnih promena

KARAKTERISTIKE NUKLEARNIH UDESA

Pre svega, treba istaći da su razmere nuklearnih udesa i posledice koje on uzrokuje daleko veće i teže u odnosu na hemijske, sa očekivano dužim trajanje. Opasniji, teoretski, mogu biti samo teški oblici bioloških udesa. U vojne svrhe pre svega, nuklearna energija se koristi u velikom obimu i u brojnim zemljama sveta, za atomske bombe, projekte, pogonska goriva, istraživačke reaktore, satelite i sl. Primena u civilne svrhe zastupljena je u velikoj meri uz postojanje velikog rizika korišćenja. Prevelike doze radioaktivnosti u životnoj i radnoj sredini čovek može da izazove namerno ili nenamerno, što predstavlja nuklearne udesa. Ona se mogu svrstati u četiri grupe kao:

- reaktorski udesi (dešavaju se u samoj nuklearnoj elektrani, na reaktoru ili u postrojenju);
- otpadni udesi (kada dodje do iznenadnog curenja uskladištenog nuklearnog otpada, prilikom saobraćajne nezgode pri transportu radioaktivnog materijala, pri izvozu atomskog smeća u nerazvijene zemlje);

- vojni udesi (kada dodje do greške pri izvodjenju nuklearne probe, ili prilikom slučajnog aktiviranja projektila sa nuklearnim punjenjem);
- razaranje nuklearnih postrojenja (u neposrednoj ratnoj opasnosti i u vreme rata) i smišljena upotreba municije sa osiromašenim uranom.

Prihvatljiva skala nuklearnih udesa, kao međunarodna je od 1 do 7:

- akcident (viši, ozbiljni, sa spoljašnjim rizikom, bez značajnog rizika);
- incident (ozbiljni incident i incident);
- devijacija (anomalija, bez značajnih posledica).

Velike posledice mogu nastati pri udesima u nuklearnim elektranama, udesima na nuklearnom oružju, pri primeni nuklearnog oružja, a do kontaminacije može doći i pri upotrebi municije na bazi osiromašenog urana. Pri udesu na nuklearnom oružju gde nije došlo do nuklearne eksplozije postoje tri izvora radioaktivnosti (plutonium, uranijum i tricijum). Što se tiče plutonijuma, tu su prisutni njegovi izotopi ^{239}Pu sa periodom poluraspada od 24.100 godina, ^{240}Pu sa vremenom poluraspada 376.000 godina i ^{241}Pu sa vremenom poluraspada od 432 godine. Ovi radioizotopi su alfa emiteri, pa kao takvi predstavljaju veliku opasnost ako se u organizam unesu putem organa za disanje, hrane ili vode, dok je opasnost od spoljašnjeg zračenja mala. Od izotopa urana u udesu nuklearnog oružja opasnost predstavljaju ^{238}U koji čini 99% urana sa vremenom poluraspada $4,5 \times 10^9$ godine, potom ostali radioizotopi ^{235}U , ^{234}U , ^{233}U . Ovi radioizotopi su alfa emiteri. Tricijum je radioizotop vodonika, a izvor je slabog beta zračenja. Ako je pri udesu došlo do lančane reakcije fisije, onda se javljaju fisioni produkti koji su izvor beta i gama zračenja.

Pri nuklearnom udesu pored neposrednih štetnih posledica postoje i trajne, koje za dugi niz godina degradiraju životnu sredinu i štetno utiču na zdravlje ljudi. Sama mirnodopska egzistencija nuklearnog oružja, tj. njegova proizvodnja, transport i postavljanje predstavljaju opasnost za sve zemlje, bez obzira na njihov geografski položaj i političke stavove prema tom oružju. Sledećih nekoliko primera potvrđuju prethodnu konstataciju. Neke zemalje koje su javno potvrdile da poseduju nuklearno oružje do sada su izvele preko 1600 probnih eksplozija, od toga preko 400 u atmosferi. Radioaktivne padavine se i danas talože na našu planetu.

NUKLEARNA OPASNOST VREBA

Da li su oni koji odlučuju o spašavanju ljudskih život u dovoljnoj meri svesni svih ovih posledica i koje mera treba da preduzmu, pre svega preventivno? Uzrok ovih nuklearnih udesa ili nesretnih slučajeva je ljudski ili tehnički faktor. Najčešće su u pitanju „slučajno“ izazvani udesi. Pri udesima izazvanim nuklearnim oružjem može da dodje do aktiviranja procesa nuklearne eksplozije. Nuklearnim elektranama treba dodati kao potencijalne opasnosti i ostale delove nuklearnog gorivog ciklusa, počev od rudnika urana, radioaktivnog otpada i prerade istrošenog goriva i odlaganja na kraju ciklusa. Svemirski letovi takodje predstavljaju veliku opasnost za proširenje deponije nuklearnog otpada. Smatra se, da danas ima blizu 10 tona različitih otpadaka u zemljinoj atmosferi, gde spadaju olupine, krhotine, oštećeni delovi satelita, kosmičkih brodova i raketa koji nose u sebi izotope jonizujućeg zračenja. Raspadanje letećih objekata i sredstava u svemiru stalna je pretnja i realna opasnost po čovekovu životnu sredinu usled radioaktivne i hemijske kontaminacije. U ovom vremenu nema još uvek odgovarajuće zaštite od nekontrolisanog padanja svemirskih otpadaka, a za veliko svemirsko spremanje i čišćenje trebaće mnogovremena i znatna finansijska sredstva.



Slika 1. Nuklearni udes u toku transporta

Početni impuls eksplozije pri nuklearnom udesu karakteriše određeno zračenje, što ima veliki uticaj na životnu sredinu. Pri eksploziji nuklearnog projektila emituje se veliki broj radionuklida, sa poluvremenom raspada od milisekunde do nekoliko hiljada godina. Najznačajniji, sa gledišta radiotoksikologije su jod, cezijum, stroncijum i dr. Nuklearni projektili u vazduhu će izbaciti produkte fisije, pa će se oni javljati u vidu radioaktivnih padavinana na površini zemlje duži niz godina. Ako pak produkti nuklearne eksplozije dospeju u stratosferu, onda će ih vazdušne struje razneti oko Zemlje u obe hemisfere, gde se mogu zadržati 5 - 10 godina, stalno zagadjujući površinu Zemlje radioaktivnim padavinama, koje na životnu sredinu ispoljavaju efekte jonizujućim zračenjem.

Upotrebom većeg broja nukleranih projektila nastale bi klimatske promene. Veliki broj požara uticao bi da čadaj postane određena barijera za sunčane zrake, odnosno na površinu Zemlje bi dospevalo mnogo manje svetlosti. U ovakvim uslovima Zemlja bi se obavila tamom, koja bi bila jača od one u tamnim noćima. Čadaj bi ostala u atmosferi oko godinu dana, što bi uticalo da se Zemlja neprekidno hladi. Veća tama bi trajala nekoliko meseci, „nuklearna zima ili nuklearna noć“. U prvoj nedelji posle nuklearnog rata, temperatura na severnoj hemisferi pala bi za 30 °C. Okeani imaju ogromne toplotne kapacitete, pa bi temperatura vazduha iznad njih bila oko 10 °C. Velika razlika temperature između kopna i mora bila bi uzrok razornih oluja i uragana. Posle taloženja čestica čadaji, počelo bi zagrevanje Zemlje, ali najpre bi se zagrevali planinski vrhovi, pa ledeni masivi Antarktika. Sve bi to imalo za posledicu velike poplave. Posledice ovakvog rata bile bi katastrofalne, jer bi zbog temperature ispod nule stradali svi usevi, pitka voda bi bila zaledjena, a radioaktivnost bi, razume se bila velika. U takvim uslovima preživeli bi mali broj ljudi u određenim skloništim i na ostrvima ekvatorskog pojasa. Međutim, oni bi brzo stradali zbog ultraljubičastog zračenja (usled uništenja ozonskog omotača). Tropske šume i njihovi stanovnici bi takodje stradali, dok bi šume severne hemisfere sa svojim stanovnicima delimično preživele, ako bi do nuklearnog rata došlo u zimskim uslovima.

U mirnodopskoj primeni nuklearne energije potencijalno najopasniji izvor zračenja su nuklearni reaktori. Danas u svetu rade 433 nuklearne elektrane, a još 98 je u izgradnji. U 55 zemalja u svetu ima 325 istraživačkih reaktora, a većina njih starija je od 20 godina. Ovom broju treba dodati i nuklearne reaktore koji se koriste u vojne svrhe na satelitima, podmornicama i brodovima. Uprkos rigoroznim merama obezbedjenja, zabeležen je veliki broj udesa na nuklearnim reaktorima. Iako nuklearni reaktor ne može da eksplodira

kao nuklearna bomba, on može da ispusti u okolinu veliku količinu radionuklida koji su nastali u toku rada reaktora. U ovakvim udesima dolazi do smrtnog stradanja ljudi, težih povreda, ogromne materijalne štete i velike radioaktivne kontaminacije koja ne poznaje i ne priznaje državne granice, a čije će se dugoročne posledice izučavati duži niz godina. Nuklearne elektrane mogu da budu nuklearne „bombe“ na sopstvenoj ili teritoriji susednih zemalja. Od svih dosadašnjih katastrofa, na prvo mesto (po težini) treba, svakako, staviti černobilsku katastrofu, koja se dogodila 26. aprila 1986. godine. Danas nuklearni reaktori tokom normalnog rada ispuštaju u obliku plemenitih r/a gasova od 1,5 do 1015 Bq/god, dok bi u slučaju nuklearnih udesa ova emisija bila veća nekoliko stotina puta. Na osnovu meteo karakteristika područja izloženih delovanju NE, oko 30% godišnjeg ispuštanja radioaktivnih efluenata iz NE Pakš (Bugarska) i oko 20% emitovanja radioaktivnih efluenata iz NE Kozloduj usmereno je ka našoj zemlji.

Savremena medicina danas je nezamisliva bez primene radionuklida u dijagnostici i terapiji. Isto tako, radioaktivni izotopi se danas primenjuju u raznim oblastima naučnih istraživanja (za kontrolu mnogih procesa proizvodnje i samih proizvoda u industriji, za sterilizaciju u medicini, farmaciji i proizvodnji prehrambenih proizvoda). U ovim oblastima primene radioaktivnih izotopa može da dodje do težih nuklearnih udesa (gubljenje u toku transporta i nestručno rukovanje). Potencijalni izvori nuklearnih udesa su i proizvodi široke potrošnje koji sadrže radionuklide. Takvi proizvodi su luminiscentne oznake koje se vide noću, detektori dima, radioaktivni gromobrani, najavljiivači požara, industrijski radio izotopi, izotopi sa primenom u medicini.

NUKLEARNI TERORIZAM

Diverzantsko - terorističke aktivnosti i sabotaze u miru, neposrednoj ratnoj opasnosti i ratu na objektima gradske infrastrukture, nuklearnim postrojenjima, vojnim arsenalima, na našoj teritoriji i okruženju takodje mogu izazvati radiološku kontaminaciju širokih razmera i ozbiljno ugroziti snage odbrane, stanovništvo i životnu sredinu, sa neizbežnim gubicima, masovnim povredama i nenadoknadivim materijalnim štetama i posledicama. Teroristi se često odriču postavljanja bombi na javnim mestima i okreću se korišćenju mnogo efikasnijih-stravičnih ubojnih sredstava. Nuklearni materijal izaziva velika stradanja, seje strah i paniku i ukazuje na činjenicu, da postoje snage koje se moraju



respektovati.

Slika 2. Hipotetički model nuklearne kofer-bombe

Posle černobilske katastrofe 1986. godine, mnogi mešetari i plaćenici nuklearne tehnologije su se nadali da će zaborav oslabiti otpore nuklearnoj energetskej opciji. Otkriće crne berze nuklearnog materijala i "uranijumske veze", odnosno tajnih kanala koji prenose plutonijum od "mirnodopskih" nuklearnih centrala Evrope, ka nekim zemljama trećeg sveta, koristeći njihov očajničku glad za "islamskom nuklearnom bombom", obnovile su masovne zalihe straha od nuklearne aveti. Dok je obebedjenje nuklearnog oružja i materijala, koje je pod kontrolom vojske nekih zemalja, i dalje relativno stabilno, posebna opasnost dolazi od zaliha plutonijuma u institutima, laboratorijama, atomskim elektranama, gde je obebedjenje ispod očekivanog nivoa. Samo u toku 1993-94. godine u Nemačkoj je otkriveno više od 300 slučajeva krijumčarenja radioaktivnih materijala, što je uznemirilo zapadnoevropsku javnost zbog mogućnosti da razorna sredstva budu prodana zainteresovanim zemljama ili međunarodnim terorističkim grupama. Šverceri radioaktivnog materijala otkriveni su u Italiji, a za nas je posebno značajno otkrivanje šverca visoko radioaktivnog urana u Makedoniji. Al-Kaida razvija logističke baze širom sveta, a nedavno hapšenje Marokanca Abdelmadžida Bušara u Beogradu, jednog od osam terorista 11. marta 2004. godine u Madridu, govori o stalnoj i realno mogućoj opasnosti na Balkanu. Veoma značajan aspekt nuklearnog terorizma predstavlja, takođe, napad i zauzimanje nuklearnog postrojenja (elektrane, reaktori) od strane terorističkih grupa, radi ucena, pretnji, izazivanja straha i publiciteta. Radi se o mogućosti antropogenih katastrofa velikih razaranja i žrtava.

SASTAV RADIOAKTIVNIH MATERIJALA

U slučaju nuklearnog udesa zbog visokog neutronskeg fluksa i povišene temperature dolazi do topljenja zaštitnih obloga i oslobađanja fisionih produkata. Veći deo čvrstih radionuklida se zadržava u sistemu za filtriranje vazduha, ali prilikom njegove saturacije čestice ispod 0,1 μ m prolaze i odlaze u atmosferu. Pojedine pare i gasovi prolaze lake sisteme za filtriranje vazduha i odlaze slobodno u atmosferu. To su, uglavnom, gasoviti i volatilni produkti (brom i jod i derivati), inertni gasovi (kripton i ksenon), kao i članovi familije koji nastaju beta - raspadom (³⁵Br, ³⁶Kr, ³⁷Rb, ³⁸Sr, ³⁹Y, ⁵³I, ⁵⁴He, ⁵⁵Cs, ⁵⁶Ba, ⁵⁷La). Za poznavanje kinetike dekontaminacije neophodno je ispitati svaki postupak u graničnim slučajevima i to: kada se radi o hemijski aktivnom gasu i kad je gas hemijski inertan. Na osnovu rezultata ispitivanja ovog hemijskog modela, smatramo da će se svi ostali gasovi naći u okvirima koji su dobijeni ispitivanjima ovog modela sa određenim stepenom efikasnosti u sprečavanju kontaminacije radne i životne sredine. U slučaju hemijskog udesa, spektar zagadjujućih i opasnih materija koje se oslobađaju je daleko širi, pa je i rešavanje problema sprečavanja kontaminacije vazduha znatno složenije. U ovim uslovima, primena hemijskog modela u graničnim slučajevima (hemijski aktivan i inertan gas) daje uvid u efikasnost ispitivanog postupka, s tim da svaki pojedini slučaj modela treba proveriti u simuliranim realnim uslovima u laboratoriji i na eksperimentalnim poligonima.

UTICAJ ZRAČENJA NA ZDRAVLJE

Sadašnja saznanja o dejstvu zračenja, a na osnovu toga i pravila zaštite, izgrađena su na vrlo oprečnoj pretpostavci, da je varovatnoća pojave štetnih posledica linearno proporcionalna dozi zračenja. To znači da svaka, pa i najmanja, doza ostavlja posledice u organizmu. Naravno, rizik malih doza je tipično mali rizik koji se nije mogao

detektovati ni vrlo opsežnim i temeljitim istraživanjima. Dejstvo zračenja može se ispoljiti direktno na ozračenu osobu putem somatskih efekata ili indirektno na potomstvo genetskim efektima. Niske doze zračenja deluju povećavajući verovatnoću pojave raka i leukemije (kasni somatske efekti) i genetskih oštećenja. Rizik zračenja određen je praćenjem zdravlja ljudi ozračenih većim dozama zračenja. Rezultati posmatranja preživelih stanovnika Hirošime i Nagasakija nedvosmisleno ukazuju na povećanje broja obolelih u proporciji sa primljenom dozom zračenja, kao i na različit stepen rizika po starosnim grupama. Na osnovu rezultata istraživanja došlo se do procene da je apsolutni rizik za leukemiju 1,6 Gy. Pri razmatranju preventivnih mera zaštite, faktori (brzina i način ozračivanja i kontaminacije stanovništva) biće od neposrednog interesa za izbor metoda, pravilnost i brzinu zaštite i uklanjanja posledica. Pre svega treba uzeti u obzir somatska oštećenja čoveka, nastala usled izlaganja visokim dozama jonizujućeg zračenja. Izraz somatske ozlede (somatski efekat) načelno se upotrebljava u vezi sa klinički ispoljenim efektima, koji nastaju usled oštećenja ćelije posle izloženosti radijaciji. Takvi efekti mogu se ispoljiti posle nekoliko časova ili sedmica, ili tek posle nekoliko meseci, ili čak mnogo godina nakon izlaganja radijaciji.

Tabela 1. Raspodela radionuklida u čoveku

Red. br.	Organi tela	Način kontaminacije	Prirodni radionuklidi	Veštački radionukleidi
1.	Pluća	Respiratornim putem (udisanjem aerosola i para)	Rn-222, Po-10, Po-218, Pb-210	Ur-85, Te-133, Pu-239, Pu-240
2.	Kosti	Peroralno (preko hrane i vode)	Ra-226, Ra-228, Pb-210	Sr-90, Pu-239, Pu-240
3.	Tkiva	Peroralno	H-3, C-14, K-40	Sc-137
4.	Štitna žlezda	Peroralno	Ra-226, Ra-228	J-129, J-131
5.	Bubrezi	Peroralno	Th-230, Th-232, U-235, U-238	Pt-239, Pt-240
6.	Jetra	Peroralno	Po-210	Au-198, Pt-239

Genetska istraživanja dejstva zračenja na čoveka su ograničena. Poslednje procene specijalnog naučnog Komiteta UNa predviđaju da bi doza od 0,01 Gy po generaciji (1 generacija : 30 godina) prouzrokovala 63 genetska oboljenja na milion parada u prvoj generaciji. Iz prethodno pomenutog vidljivo je da se rizik od malih doza zračenja procenjuje na osnovu praćenja zdravlja ljudi ozračenih visokim dozama, tj. dozama koje uzrokuju primetne efekte (akutnim, od 4,5 Sv, svi ozračeni biće ozbiljno bolesni a približno polovina njih će umreti). Taj iznos doze predstavlja srednju letalnu (smrtnu) dozu. Povećanjem doze zračenja znakovi slabosti i smrt nastupaju sve brže. Prirodne razlike u osetljivosti i otpornosti pojedinih osoba objašnjavaju raznolikosti posledica koje mogu nastati za iste doze.

Radioaktivna kontaminacija hrane i vode predstavlja zagađenje na bilo koji način i bilo kojim radioaktivnim kontaminantom. Podzemne i nadzemne vode mogu da sadrže veće koncentracije urana-238 i nekih potomaka (radijum-226 i radon-222). Specifična aktivnost radona u bunarima je oko 40 Bq/dm³ dok je u dubokim izvorskim vodama i do 1000 Bq/dm³. Izvori zagađenja voda mogu biti: radioaktivne otpadne vode,

rastvori neorganskih i organskih jedinjenja koji sadrže radionuklide, udesi nuklearnih postrojenja i nuklearnog oružja, nuklearne eksplozije, radioaktivne padavine i dr. Velike i brze reke se kontaminiraju u manjem stepenu. Stajace vode sa manjom zapreminom mogu biti kontaminirane za duži period. Vodeni organizmi mogu da koncentrišu radioaktivne materije za odgovarajući faktor. Faktor koncentracije za rakove je oko 100, puževe 250 i ribe 400. Voda u arterijskim, cevnim i u zatvorenim bunarima praktično nije izložena kontaminaciji. Za vreme kišnih perioda kontaminiranost se povećava usled spiranja radioaktivnih materija sa kontaminiranog zemljišta. Tokom vazdušnih nuklearnih eksplozija kontaminacija vode je 2-3 puta niža nego kontaminacija pri prizemnim nuklearnim eksplozijama. Kontaminacija vode uslovljena je radioaktivnom prašinom pri čemu se do 95 % fisionih produkata čvrsto veže za čestice prašine koje se u vodi teško rastvaraju. Spiranje radioaktivnih izotopa sa površina čestica prašine zavisi od visine nuklearne eksplozije, prirode zemljišta u rejonu eksplozije i disperzionog sastava čestica radioaktivne prašine. Kontaminacija vode se vremenom smanjuje zbog razblaženja, radioaktivnog raspadanja, sorpcije radioaktivnih materija na zemlji mulju i planktonu.. Visoke koncentracije radioaktivnih materija u stajacim vodama mogu da se dugo zadrže. Vremenski rok trajanja kontaminacije protočnih voda mnogo je manji i određen je brzinom proticanja i rasprostiranja kontaminiranih voda u veća vodena prostranstva. Tekuće vode kontaminiraju rečno korito na znatnim udaljenjima. Od svih radioaktivnih izotopa, kao biološki, veoma su značajni Sr-90, Cs-137, Cr-144, Ba-140 i J-131, a od svih fisionofuzionih produkata eksplozije najopasniji su Sr-90, Cs-137 i J-131, a veliku opasnost predstavljaju Pt-239 i U-235.

ZAŠTITA OD NUKLEARNIH UDESA

Zaštita od nuklearnih udesa su deo obezbedjenja u okviru jedinstvenog sistema ABHO zemlje i obuhvata procenu i prognozu situacije, monitoring, zaštitu i uklanjanje posledica. Za zaštitu životne sredine od udesa sa izvorima jonizujućih zračenja, organizacija obezbedjenja uslovljena je zakonskom regulativom, preventivnim merama, ranim otkrivanjem udesa, sprečavanjem posledica i efikasnom uklanjanju posledica. Osnovni subjekti planiranja i organizacije nuklearne zaštite su organi vlasti, preduzeća, ustanove, resorna ministarstva, Vojska, MUP, naučno-istraživačke ustanove, visokoškolske ustanove, Civilna odbrana i zaštita. Bitne mere u okviru obezbedjenja od nuklearnog udesa su:

- uspostavljanje linije kontrole nuklearnog udesa-sistem ranog otkrivanja udesa i neposredna linija koordinacije (od korisnika izvora zračenja do republičke vlade),
- merenja u slučaju nuklearnog udesa (pojačavaju se merenja koja se u mirnodopske vreme vrše prema zakonskim propisima i uvode se po potrebi specifična merenja ekspertskih timova i pojedinih instituta u MO, Vojsci i društvu),
- mere za sprečavanje i uklanjanje posledica (donose se na osnovu odgovarajućih pravilnika i u skladu sa konkretnom situacijom),
- obaveštavanje javnosti i proglašavanje vanrednih događaja,
- osposobljavanje kadra i obučavanje snaga za obezbedjenje od udesa,
- opremanje snaga sa sredstvima i opremom posebne namene,
- edukacija stanovništva o merama obezbedjenja.

Sistem obezbedjenja započinje funkcionisanjem procene, praćenjem i utvrđivanjem vanrednog događaja. To može biti direktnim javljanjem iz preduzeća-ustanove, okruga, opštine (kad se udes desi u zemlji) ili na osnovu kompaktnog

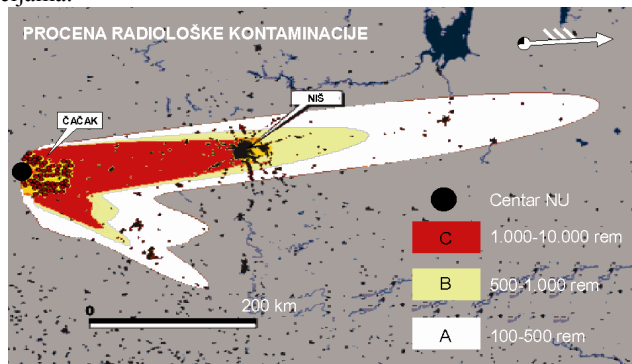
monitoringa (kada se udes desi u inostranstvu). Ova informacija treba da stigne do nadležnih organa (radi donošenja adekvatne odluke). Kada se aktivira rad Komisije za zaštitu od jonizujućeg zračenja, na republičkom nivou, kojoj se stavljaju na raspolaganje sve do tada poznate činjenice o udesu, komisija utvrđuje karakteristike udesa i predlaže dalje mere nadležnim organima u zavisnosti od vrste i obima udesa. Obezbedjenje Vojske od nuklearnih udesa u miru i zaštita životne sredine, pri udesnim situacijama u društvu, ostvaruje se funkcijom planiranja, organizovanja, rukovodjenja i komandovanja, realizacijom sadržaja obezbedjenja, osposobljavanjem kadrova, obučavanjem jedinica, opremanjem sredstvima NVO ABHO za specijalističke zadatke, organizacijom saradnje i osloncem na kapacitete teritorije. U okviru organizacije obezbedjenja potrebno je obezbediti valjanu procenu i prognozu stanja mogućih nuklearnih udesa.

Tabela 2. Podaci o elementima procene NHB udesa

Redni broj	Podaci o udesu	Elementi procene
1.	Podaci o potencijalnom NHB udesu	-vrsta, mesto, vreme i razlog udesa -vrsta supstance (fiz. hem. karakteristike, agregatno stanje i dr) - količina supstance
2.	Podaci o ugroženom objektu (preduzeću-teritoriji)	- vrsta i namena objekta - lokacija i infrastruktura objekta - kapaciteti objekta - ugroženost izvorišta vode –vodotokova - ugroženost flore i faune - procena širenja RHB kontaminanta - procena dugoročnih posledica
3.	Podaci o snagama za obezbedjenje od NHB udesa	organizacijsko formacijska struktura (ekipe, jedinice, odredi) - brojno stanje i popunjenost snaga - osposobljenost i opremljenost snaga - raspoloživost kapaciteta teritorije
4.	Meteorološki podaci (u momentu NHB udesa)	- vetar (vrsta, pravac i brzina) - temperatura (vazduha-zemljišta) - vertikalna stabilnost vazduha - padavine (vrsta, količina)
5.	Praćenje i procena stanja RHB kontaminacije	- vreme i način RHB izvidjanja - način uzimanje uzoraka - vrste laboratorijskih radova - način verifikacije obrade rezultata
6.	Mere za prevenciju i sanaciju terena	- način i obim NHB zaštite - način sanacije terena - reglaža i sklapanje otpada - organizovanje KZS
7.	Vodjenje tehničke dokumentacije	- posedovanje Elaborata za obezbedjenje - posedovanje Uputstva za rad snaga - vodjenje dokumentacije - vodjenje radne karte

U izradi plana učestvuju nadležni državni organi, naučno-istraživačke ustanove, istraživačko-razvojne jedinice i druge ustanove i instituti zemlje, preduzeća, kordinacioni timovi viših komanda Vojske SCG, stručni organi rodova i službi, ustanove MO i Vojske (VTI, TOC, VMA, CUK ABHO, zavodi za preventivnu medicinu, ...). Planom se obuhvataju svi bitni sadržaji od interesa za organizaciju obezbedjenja, kojima se stvaraju

uslovi za život i rad, očuvanje gotovosti i radne aktivnosti i mogućnosti intervencije u udesnim situacijama.



Slika 3. Program za praćenje radiološke kontaminacije

Uz osnovna dokumenta plana obezbedjenja (procena opasnosti, zaključak iz procene, direktive za organizaciju), planu se priključuju i druga dokumenta koja omogućavaju uspešnu organizaciju i sprovođenje mera (radna karta, plan angažovanja snaga, uputstva za rad, plan veze). Osnovu plana čine procena opasnosti od nuklearnih udesa i ona ima prevashodnu ulogu u organizaciji obezbedjenja, a postavljeni cilj moguće je ostvariti ako su svi nosioci mera i sadržaja obezbedjenja jedinstveno pripremljeni, organizovani, osposobljeni, obučeni i opremljeni, u okviru jedinstvenog sistema ABHO.

Plan obezbedjenja od nuklearnih udesa u miru načelno sadrži:

- Procenu opasnosti (izvori opasnosti, ugroženost vojske, ugroženost objekata od vitalnog značaj, karakteristike teritorije, meteo uslovi, prognoza PZR i NZR, moguće posledice);
- Zaključak iz procene (na osnovu kojeg se planira, organizuje i sprovodi obezbedjenje);
- Naredjenje za organizaciju obezbedjenja.

Plan obezbedjenja radi se na nivou garnizona (erodroma, sidrišta), a po vertikali preko komandi operativnih sastava i na nivou GŠ Vojske. Sadržaje nuklearnog obezbedjenja planiraju i organizuju GŠV (sektori i samostalne uprave), a realizuju (sprovode) komande, jedinice i ustanove Vojske, u skladu sa mestom, zadacima i mogućnostima upotrebe. Mere iz sadržaja kontrole se organizuju i sprovode u cilju otkrivanja opasnosti, utvrđivanja pojedinih parametara, kompleksnog sagledavanja i praćenja situacije, obaveštavanja i uzbuđivanja, organizovanja KZS i sl. Težišna mera kontrole jeste izvidjanje koje obuhvata merenje jačine doze i primljene doze jonizujućeg zračenja i uzimanje uzoraka za laboratorijsku analizu, utvrđivanje i obeležavanje granica kontaminacije i praćenje oblaka.

Zaštita ljudi, životinja i materijalnih dobara obuhvata mere i postupke kojima se sprečava ili umanjuju efekti i posledice udesa i kontaminacije. Zaštita ljudi postiže se upotrebom zaštitnih sredstava (formacijska, mesna, priručna), zaklanjanjem u skloništa, korišćenjem vozila i drugih sredstava sa zaštitnim mogućnostima, organizovanjem kontrolno zaštitne službe, ograničavanjem upotrebe kontaminirane hrane i vode, evakuacijom iz ugroženih područja i dr.

Uklanjanje posledica nuklearnog udesa je organizovana delatnost kojima se umanjuju ili uklanjaju posledice, a opasnost po ljude i životinje svodi na dozvoljeni stepen. Tu spada: ukazivanje prve pomoći i lečenje, osnovna i završna dekontaminacija, uklanjanje ruševina, uspostavljanje narušenog komandovanja i režima rada i sl.

U našoj zemlji uvedeni su propisi koji to regulišu: Zakon o zdravstvenoj ispravnosti životnih namirnica i predmeta opšte upotrebe, Odluka o sistematskom ispitivanju sadržaja radionukleida u životnoj sredini, Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i načina sprovođenja dekontaminacije. Za sprovođenje navedenih mera obezbeđenja u Vojsci, angažuju se pre svega organi, jedinice - ustanove ABHO, zatim InSI, SnSI, VtSI, jedinice inženjerije i druge osposobljene, obučene i opremljene snage za obezbeđenje od nuklearnih udesa, a u državnim organima i preduzećima stručne službe. Na nivou MO i VSCG formirana je ekipa za hitne intervencije u slučaju NHB u miru, osposobljena i opremljena za izvršavanje specijalističkih zadataka u miru i ratu (u saradnji i stručnu pomoć naučnog kadra Instituta 'VINČA').



Slika 4. Radiološka dekontaminacija ljudi

ZAKLJUČAK

U uslovima upotrebe nuklearnog oružja, pri nuklearnim udesima i usled terorizma, posledice bi bile katastrofalne po ljude, biljni i životinjski svet. Pored efekta dejstva većeg stepena, stradalo bi stanovništvo u velikom broju, gradovi bi bili razoreni ili oštećeni, a oblak radiološke kontaminacije bio bi raznešen na širokom prostranstvu. Svetski naučnici-istraživači, koji su napredak nauke osećali kao svoju obavezu, kasnije su shvatili da su se bavili đavoljskim poslom. U drugom smislu gledano, propustili su šansu da budu

moralno dorasli novom zastrašujućem pronalasku. Masovna primena projektila u ratu, udesi u miru i nuklearni terorizam bili bi katastrofalni po živi svet i zemlju u celini.

Nuklearni terorizam kao fenomen savremenog doba zasigurno svojom akcionom nepredvidljivošću, odlučnošću, fanatizmom i surovošću, predstavlja veliku pretnju čovečanstvu. Nuklearne elektrane mogu biti atomske „bombe“ na sopstvenoj ili teritoriji susednih zemalja. No njima, treba dodati kao potencijalne opasnosti i ostale delove nuklearnog gorivog ciklusa (rudnici urana, radioaktivan otpad, prerađeno istrošeno uranovo gorivo i njegovo odlaganje na deponijama) koje se koristi u ratne svrhe i u mirnodopskoj praksi.

Savremena medicina je nezamisliva bez primene radionuklida u dijagnostici i terapiji, a izvori jonizujućeg zračenja u velikoj meri se koriste u savremenoj industriji, školama i institutima. Rizik jonizujućeg zračenja određen je praćenjem zdravlja ljudi, ozračenim većim dozama zračenja. Rezultati posmatranja preživelih stanovnika japanskih gradova Hirošime i Nagasakija, enormno ozračenih nakon Černobilske katastrofe i ozračenih pripadnika vodećih oružanih snaga, nedvosmisleno pokazuju na povećanje broja obolelih. Posledica od primene municije sa osiromašenim uranom na prostoru Iraka, bivše BiH i SRJ (posebno na prostorima KiM) biće velike i dugoročne. Taj broj je ogroman i u proporciji je sa primljenom dozom jonizujućeg zračenja, starosnoj kategoriji i zdravstvenim stanjima organizma.

Zdravstvene i medicinske mere zaštite, koje bi se preduzele pri nuklearnim udesima, u uslovima masovnog ozračivanja, zavise pre svega od prihvatljive granice „izlaganja“ dejstvu jonizujućeg zračenja i raspoloživih kapaciteta teritorije za šire zbrinjavanje u okviru uklanjanja posledica

LITERATURA

- [1] McLean, A.S. Radiation Accidents, Proc. Symposium Handling of Rad. Accidents, IAFA, Vienna 1997
- [2] Manec.F. Zaštita ot oružja masovovo poraženia, Voenizdat, Moskva, 1971.
- [3] Uputstvo za obezbedjenje od N i H udesa u miru, GŠVJ, Beograd, 1988.
- [4] Biočanin R. Mere i sadržaji obezbedjenja od NiH udesa u miru, Bilten ABHO, Kruševac, 1995.
- [5] Biočanin R., Nikolić D., Petković M.: Nuklearni udesi u miru i zaštita, VII Kongres nuklearne medicine Jugoslavije, 24 - 26 septembar, Soko Banja, 1998.
- [6] Biočanin R., Vojinović – Miloradov M . Posledice NATO agresije na životnu sredinu, stručni skup "Oktobarski susreti zdravstvenih radnika Srbije", 23-28.10.2000. godine, Zlatibor.
- [7] Chemical and NBC defence, NBC defence and technology international, 1984.
- [8] V. Vojvodić. Nuklearna borbena sredstva, TŠC KoV JNA, Zagreb, 1974.
- [9] Biočanin R. Nuklearni udesi u miru, NIC " VOJSKA ", Beograd, 2002.
- [10] Djukić V. Nuklearno oružje, Uprava za školstvo i obuku GŠVJ, Beograd, 2002.
- [11] R. Jović i grupa autora . Diverzantskoteroristička dejstva NHB oružjem, VINC, 1987.
- [12] Biočanin R. Upravljanje rizikom pri transportu opasnih materija, Institut IMK-14, Kruševac, 2002.
- [13] Biočanin R., Djukić V. Nuklearni, hemijski i biološki terorizam u savremenim međunarodnim odnosima, SIM-OP-IS 2003, 30.09-03.10.2003. Herceg Novi.

ABSTRACT

EFFECTS AND CONSEQUENCES OF NUCLEAR ACCIDENTS AND MEASURES OF PROTECTION

R. Biočanin, B. Amidžić

Human environment is exposed by the threats of high power energy, dirty technologies, heavy and uncontrolled traffic, armament race, war operations, terroristic activities, and many other influences, that hardly affects its natural balance, and become a dangerous threat for the human lives. These numerous threats are our cruel reality. A great arsenal of nuclear weapons and increased number of countries that have it, and can produce it are reality too. Nuclear terrorism and nuclear accidents are always possible, especially during the transport and handling different nuclear material. Terroristic organisation also go for coming into the possession of the nuclear means. Specific and important problem is human radioactive contamination in using nuclear energy for peaceful and military purpose. This is the reason more for the most serious discussion concerning those problems. So, realisation of the universal and united system of NBCD of VSCG gives us a possibility, using modern communication equipment and very effective mobile units, to react in a real time and successfully perform monitoring, alarming, protection and decontamination.

Dodatak

U ovom Dodatku su objavljeni oni radovi koji nisu raspoređeni u regularnom delu Zbornika iz tehničkih razloga ili su dostavljeni nekompletni.

Radovi će u celini biti prezentovani na XXIII Simpozijumu DZZSCG, 26 – 28. septembra 2005. u Donjem Milanovcu.

MOGUĆNOST SMANJENJA ZRAČENJA PACIJENATA PRI RADIOGRAFIJI SINUSA

A. Jovanovski, M. Radulac, J. Vasić-Vilić,
V. Spasić-Jokić¹, O. Ciraj-Bjelac¹.
Institut za radiologiju VMA Beograd
¹ Institut za nuklearne nauke "Vinča" Beograd

UVOD

Lekari raznih specijalnosti tokom ispitivanja pacijenata zahtevaju česta snimanja paranazalnih šupljina zbog raznolike simptomatologije ove regije. Vulnerabilna tkiva glave i vrata pri ovom radiografskom pregledu apsorbuju veliku količinu zračenja koja uzrokuju razne stohastičke efekte.

MATERIJAL I METODE

Našim radom je obuhvaćeno 30 pacijenata oba pola, starosti 17-69 godina, telesne mase 60-80 kg. Pregledi su radjeni na aparatu za digitalnu radiografiju FUJIX.

Monte Karlo metodom dobijene su apsorbovane doze zračenja za tkiva glave i vrata izložena jonizujućem zračenju pri ovoj proceduri, postavljeni su dijagnostički referentni nivoi za našu ustanovu.

ZAKLJUČAK

U 86 procenata snimljenih pacijenata nadjen je normalan nalaz pri radiografskom pregledu, stoga je potrebno standardizovati kriterijume za upućivanje pacijenata na ovu vrstu pregleda. Trebalo bi težiti vrednostima DLR i dosegljivoj dozi dobijenim u ovom istraživanju s obzirom da se naši rezultati uklapaju u referente vrednosti DLR evropskih zemalja.

RADIOLOŠKA OPTEREĆENOST ZRAČENJEM KOD SNIMANJA NATIVNIH GRAFIJA UROTRAKTA

J. Vasić-Vilić, D. Kostić, V. Spasić-Jokić¹, O. Ćiraj-Bjelac¹

Institut za radiologiju VMA

¹ Institut za nuklearne nauke "Vinča" Beograd

UVOD

Najčešći simptoma u kliničkoj slici uroloških pacijenata je renalna kolika odnosno lumbalni bol i često je indikacija za dalja ispitivanja.

Nativni snimak urotrakta je prvi u nizu dijagnostičkih pregleda. Organi urinarnog trakta su smešteni u abdomenu i maloj karlici i zahtevaju veliko polje zračenja - 35x43 cm.

Ovim poljem su zahvaćeni rendgen zracima organi urogenitalnog i gastrointestinalnog trakta. Površina kičmene moždine zahvaćene zračnim poljem je velika te je neophodno jasno postaviti indikaciju za ovaj pregled.

MATERIJAL I METODE

U rutinskom radu našeg Instituta u studiju smo uključili pacijente sa dijagnozom lumbalnog bolnog sindroma, renalnim kolikama i urinarnim infekcijama kojima je indikovano nativni snimak urotrakta. Ukupno su obuhvaćena 33 pacijenta, oba pola, težine od 60-80 kg, različitog starosnog doba. Pregledi su radjeni na FUJIX digitalnim apartu i PHILIPS Super M 100 klasičnim aparatom.

Monte Karlo metodom su izračunavane ekspozicione doze zračenja pacijenata i apsorbovane doze zračenje pojedinih tkiva i organa zahvaćenih zračnim snopom.

Izračunat je dijagnostički referentni nivo (DLR) našeg instituta za ovu dijagnostičku proceduru i upoređen je sa vrednostima DLR u pojedinim evropskim zemljama.

ZAKLJUČAK

Dobijene vrednosti DLR uklapaju se u referentne vrednosti evropskih zemalja.

Pacijentna dozimetrija izaziva sve više pažnje u svetu. Kod nas još uvek ne postoje jasno određeni DLR za zdravstvene ustanove, pa tako ni DLR na nacionalnom nivou, te je ovo naš doprinos ovoj problematici.

PACIJENTNA DOZIMetriJA PRI SNIMANJU LUMBOSAKRALNOG DELA KIČME

D. Kostić, J. Vasić-Vilić, M. Radulac, V. Spasić-Jokić¹, O. Ciraj-Bjelac¹

Institut za radiologiju VMA Beograd

¹ Institut za nuklearne nauke "Vinča" Beograd

UVOD

Potreba za dijagnostičkim pregledima ove regije na našem institutu je velika. 15 procenata od svih pacijenata koji se podvrgnu nekoj od dijagnostičkih procedura na institutu za radiologiju VMA čine oni sa pregledom lumbosakralnog dela kičmenog stuba.

Lumbosakralna regija je predilekciono mesto za pojedine reumatološke bolesti, a deformiteti kičmenog stuba dovode do čestih neuroloških smetnji.

Radiografski pregled LS kičme se obavlja u dva pravca (AP i profilu) sa standardnim veličinama zračnog polja 18x43 cm, stoga su zračnim snopom i rasipnim zračenjem obuhvaćeni i organi koji pripadaju gastrointestinalnom, urinarnom i genitalnom traktu kao i kičmena moždina.

MATERIJAL I METODE

Radom je obuhvaćeno 78 pacijenata oba pola, težine od 60 do 80 kg, različite životne dobi sa indikacijama za pregled lumbosakralne kičme. Pregledi su radjeni na FUJIX digitalnim i SuperiX EI Niš klasičnim aparatima.

Izračunate su ekspozicione i apsorpcione doze za organe i tkiva zahvaćene zračnim snopom i sekundarnim zračenjem. Dobijene su vrednosti DLR (dijagnostičkih referentnih nivoa) za obe projekcije za naš instituti upoređene su sa vrednostima u pojedinim evropskim zemljama.

ZAKLJUČAK

S obzirom na veliki broj organa i tkiva koji se nalaze u zračnom snopu pri snimanju potrebno je jasno izdiferencirati potrebu za ovim dijagnostičkim pregledom i smanjiti broj ekspozicija na najmanju moguću meru.

Dobijene vrednosti DLR uklapaju se u relativno širok dijapazon vrednosti evropskih zemalja.

Neophodno je težiti dobijenim dijagnostičkim referentnim nivoima i dobijenim dosegljivim dozama, na taj način bi se smanjila kako pojedinačna tako i kolektivna efektivna doza zračenja naše populacije.

PACIJENTNE DOZE ZRAČENJA U TOKU INTRAVENSKE UROGRAFIJE

V. Šaranović-Vujnović, J. Vasić-Vilić, V. Spasić-Jokić¹, O. Ciraj-Bjelac¹

Institut za radiologiju VMA Beograd

¹ Institut za nuklearne nauke "Vinča" Beograd

UVOD

Najčešća i najznačajnija metoda u radiografskom prikazu urotakta uz davanje urografskog kontrastnog sredstva je intravenska urografija (IVU). Zbog veličine zračnog polja pri pregledu zahvaćeni su organi trbušne duplje i male karlice. Prikazom organa urotakta, njegovih anatomskih struktura i funkcije koristi se veći broj filmova različite veličine polja i nije moguće istovremeno koristiti adekvatnu zaštitu gonada u toku pregleda.

CILJ RADA

Analiza izloženosti i procena rizika za odrasle pacijente u toku IVU i poredjenje dobijenih vrednosti sa evropskim dijagnostičkim nivoima i rezultatima drugih studija.

MATERIJAL I METODE

Pregledano je 24 pacijenta starosti od 35 do 73 godine, oba pola, telesne mase 77 ± 15 kg , na klasičnom rendgen aparatu marke Philips. Uputne dijagnoze su bubrežna kolika, hematurija, infekcija urinarnog trakta, tumori mokraćne bešike i hidronefroza. Analizirana je i visina pacijenata, koliko je puta pacijent pregledan radiološki u toku protekle godine, kao i broj filmova (5-10) I format filma (35X43, 30X40, 30x24 cm).

Monte Karlo metodom su izračunavane ekspozicione doze zračenja pacijentna i apsorpcione doze zračenja pojedinih organa i tkiva zahvaćene zračnim snopom.

ZAKLJUČAK

Izloženost pacijenta tokom IVU ukazuje na velike varijacije u dozama. Srednja vrednost dobijena u ovom radu slična je vrednostima dobijenim u radovima drugih autora.

Index autora

Index autora

Amidžić, B.	353
Anđelić, T.	97, 317
Andrić, V.	35
Aničin, I.	173, 305
Antović, N.	153, 157
Arsenović, D.	141
Avramović, I.	297
Banjanac, R.	53, 173, 305
Bašić, B.	203
Beganović, A.	203
Benderać, R.	339, 347
Bikit, I.	183, 187
Biočanin, R.	353
Bokonjić, D.	273
Bukvić, N.	253
Ćiraj-Bjelac, O.	109, 121, 369, 370, 371, 372
Čeleketić, D.	277
Čučulović, A.	65
Čuknić, O.	241
Dapčević, S.	191
Dašić, T.	227
Davidović, D. M.	141
Deljković, D.	145
Demajo, M.	233
Dobrić, S.	273
Dragić, A.	53, 173, 305
Dragojević-Simić, V.	273
Dragović, S.	65
Drakulić, D.	253
Drljević, A.	203
Drndarević, V.	167
Đorđević, A.	273
Đorđević, P.	339
Đurašević, M.	131
Đurić, J.	241
Eremić-Savković, M.	49, 61, 69, 89
Fodulović-Šavekin, K.	265
Forkapić, S.	183
Ganzer, K.	113, 161
Goldammer, W.	9
Golobočanin, D.	57
Grabež, B.	305
Grubišić, M.	283
Han, R.	117

Horvat, A.	233
Ileš, D.	283
Ilić, N.	269
Ilić, Z.	145
Ilić, Ž.	241, 259
Janković, Lj.	85
Janković, T.	265
Javorina, Lj.	49, 61, 69, 89
Joković, D.	53, 173, 305
Joksić, G.	241, 265, 269, 277
Joksić, J.	45, 77, 81, 195
Jovanović, M.	125
Jovanovski, A.	369
Jovičić, D.	253, 261
Kaljević, J.	209
Kandić, A.	131, 135, 167
Kartalović, N.	149
Kljajić, R.	15, 23
Konstantinović, J.	241
Kostić, D.	327
Kostić, D. (VMA)	370, 371
Košutić, D.	109, 121
Kovačević, D.	283
Kovačević, M.	15, 149, 177
Kovačević, M. S.	327
Kovačević, R.	253, 261
Krmar, M.	39, 113, 161, 173
Krstić, D.	309, 327
Leskovac, A.	237, 265, 269
Ljubenov, V.	199
Lončar, B.	149
Maksić, R.	9
Marić, S.	145
Marinković, O.	9
Marković, S.	199, 343
Menković, N.	265
Milačić, S.	223, 227, 253, 261
Milanović, S.	241
Miljević, N.	57
Miljković-Šukalo, I.	241
Milošević, M.	73, 195
Milošević, Maja	233
Milošević, S.	9
Milovanović, Z.	273
Mišović, M.	85
Mitrović, B.	35
Mitrović, R.	15, 23
Mraović, T.	85
Mrđa, D.	183, 187

Nadderđ,	135
Nikezić, D.	309, 313, 323, 327
Nikolić, N.	117
Nišović, G.	273
Novković, D.	135
Obradović, Z.	73, 131, 195
Orlić, M.	117, 125
Osmokrović, P.	177
Panić, B.	305
Pantelić, G.	49, 61, 69, 89
Pavelkić, V.	241
Pavlović, M.	339
Pekmezović, T.	227
Perišić, J.	241
Petrović, M. D.	297
Petrović, S.	233, 237
Prokić, M.	209
Radenković, M.	45, 73, 77, 81, 195
Radulac, M.	369, 371
Raičević, J.	297
Raičević, S.	289, 293
Rakić, B.	253, 261
Rakić, R.	253
Ristić, D.	73, 195
Rudak, E. A.	153, 157
Samek, D.	203
Šaranović-Vujnović, V.	121, 372
Simić, J.	223
Simović, R.	199
Šipka, V.	57
Sirko, D.	145
Skopljak-Beganović, A.	203
Slivka, J.	183
Smičiklas, I.	289, 293
Spasić-Jokić, V.	369, 370, 371, 372
Spasojević-Tišma, V.	269, 277
Stanković, M.	237
Stanković, S. J.	149, 177, 297
Stanojević, I.	233
Stevanović, M.	253
Stevanović, N.	309, 327
Stojanović, M.	283
Stojković, K.	85
Svrkota, N.	97, 317
Tanasković, I.	49, 61, 69, 89
Todorović, D.	53, 77, 81
Trajković, S.	273
Tulubcov, A. Ja.	153, 157
Udovičić, V.	53, 173, 305

Urošević, V.	323
Varga, E.	39, 173
Vasić-Vilić, J.	121, 369, 370, 371, 372
Vasilev, G.	241
Vejnović, Z.	339, 347
Vesković, M.	183
Vićentijević, M.	23
Vidić, A.	145
Vitorović, D.	35
Vitorović, G.	35
Vranješ-Đurić, S.	125
Vučić, D.	309, 313
Vučina, J.	117, 125
Vukanac, I.	73, 131, 135
Vukanić, J.	141
Vukčević, M.	109, 149
Vukić, V.	177
Vukotić, P.	97, 157, 317
Vuković, Ž.	97, 317
Vuletić, V.	49, 61, 69, 89
Vulević, B.	343
Zekić, R.	97, 317, 323
Žigić, A.	347
Živanov, D.	335
Žižić, R.	97, 317

SADRŽAJ

1. Opšti problemi i savremene koncepcije zaštite od zračenja 7

PREDLOG IZMENE PRAVILNIKA O GRANICAMA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE I O NAČINU SPROVOĐENJA DEKONTAMINACIJE 9

NOVE PREPORUKE ICRP U ZAŠTITI OD ZRAČENJA 15

HACCP SISTEM U RADIJACIONO-HIGIJENSKOM NADZORU EKSTENZIVNE I INTENZIVNE STOČARSKE PROIZVODNJE 23

2. Radioekologija 33

RADIOCEZIJUM-137 U ŽIVOTNOJ SREDINI PLANINE MALJEN I TOPLIČKOG OKRUGA 35

KRITERIJUM ZA ODREĐIVANJE POVIŠENOG NIVOA AKTIVNOSTI PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA REČNOG SEDIMENTA 39

PRIRODNA RADIOAKTIVNOST FLAŠIRANIH MINERALNIH VODA U SRBIJI 45

UKUPNA ALFA I BETA AKTIVNOST PIJAĆIH VODA U REPUBLICI SRBIJI OD 2001. DO 2004. GODINE 49

ПОРЕЂЕЊЕ НИСКОФОНСКИХ УСЛОВА МЕРЕЊЕМ УЗОРАКА ИЗ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИЈЕ ГАМА ЕМИТЕРА 53

IZOTOPSKI SASTAV POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA U SLIVU VELIKE MORAVE 57

KONTROLA RADIOAKTIVNOSTI SEDIMENTA REKE DUHAV NA GRANIČI SRBIJE I ЦРНЕ ГОРЕ СА МАЂАРСКОМ У ПЕРИОДУ 2000. – 2004. ГОДИНА 61

RADIJACIONO OPTEREĆENJE NEKIH BIOINDIKATORSKIH VRSTA 65

RADIOAKTIVNOST U RIBAMA IZ DUNAVA U PERIODU OD 1999. – 2004. U REPUBLICI SRBIJI 69

STANDARDIZACIJA TRASERSKIH RASTVORA ZA ALFA-SPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE PLUTONIJUMA I URANIJUMA U UZORCIMA NISKIH AKTIVNOSTI 73

RADIOAKTIVNOST BILJNIH KULTURA U OKOLINI TERMoeLEKTRANE »NIKOLA TESLA« 77

RADIOAKTIVNOST PEPELA I ŠLJAKE IZ TERMoeLEKTRANE "NIKOLA TESLA" (TENT-A, TENT-B) U PERIODU 2003-2004 81

RADIONUKLIDI U UVOZIM DIJETETSKIM PROIZVODIMA I DEČIJOJ HRANI U SRBIJI U TOKU 2005 GODINE 85

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОСТИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И ПРОЦЕНА ЕФЕКТИВНЕ ДОЗЕ ЗРАЧЕЊА ЗА СТАНОВНИШТВО СРБИЈЕ КОЈА ПОТИЧЕ ОД УНОСА ¹³⁷Cs И ⁹⁰Sr ИНГЕСТИЈОМ 89

GAMA-SPEKTROMETRIJSKE ANALIZE BOROVNICA I SOKOVA OD BOROVNICE DOMAĆEG I UVOZNOG PORIJEKLA 97

3. **Zaštita od zračenja u medicini** 107

PROCENA DOZE ZA FETUS U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI	109
PRIMENA SPEKTROSKOPIJE X-ZRAČEŃA U РЕНДГЕНСКОЈ ДИЈАГНОСТИЦИ КОСТИЈУ: УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДЕ УЗ СМАЊЕЊЕ ДОЗЕ	113
RADIONUKLIDI U DIJAGNOSTICI I TERAPIJI – PRIMENA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA	117
IZLOŽENOSTI PACIJENATA TOKOM INTRAVENSKE UROGRAFIJE	121
INOVIRANI GAMASPEKTROMETRIJSKI KOMPLET ZA MERENJE RADIONUKLIDNE ČISTOĆE ^{99m} Tc-ELUATA	125

4. **Dozimetrija i merna instrumentacija** 129

MERENJE SPECIFIČNE ALFA AKTIVNOSTI URANA U DEBELIM IZVORIMA SCINTILACIONIM ZnS(Ag) DETEKTOROM	131
MEĐUNARODNA INTERKOMPARACIJA MERENJA AKTIVNOSTI SEDIMENTA IRSKOG MORA	135
UTICAJ ANIZOTROPIJE PRESEKA KOMPTONOVOG RASEJANJA NA NISKOENERGETSKU REFLEKSIJU X – ZRAKA	141
METODA RADIOHEMIJSKE SEPARACIJE I ALFASPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE URANOVIH IZOTOPA U UZORCIMA VODE IZ BOSNE I HERCEGOVINE	145
UTICAJ MATERIJALA ELEKTRODA I PRITISKA NA KARAKTERISTIKE MODELA GASNOG ODVODNIKA PRENAPONA U POLJU X ZRAČENJA	149
TEORIJSKE OSNOVE METODA REKONSTRUKCIJE NIVOVA KONTAMINIRANOSTI TERITORIJE IZOTOPIMA TRANSURANIJUMSKIH ELEMENATA	153
KORELACIJE ZNAČAJNE ZA PROCJENU AKTIVNOSTI IZOTOPA TRANSURANIJUMSKIH ELEMENATA	157
PRIMENA CdTe DETEKTORA U ODRЕЂИВАЊУ НОМИНАЛНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА РЕНДГЕНСКЕ ЦЕВИ: ПРЕДНОСТИ И ОГРАНИЧЕЊА	161
DETEKCIJA ALFA ZRAČENJA POMOĆU STANDARDNE FOTODIODE	167
UPOREDNA ANALIZA KOSMIČKOG ZRAČENJA MERENOG U LABORATORIЈAMA U ZEMUNU I NOVOM SADU	173
PROMENA IZLAZNE STRUJE STABILIZATORA NAPONA SA SERIJSKIM PNP TRANZISTOROM NAKON IZLAGANJA JONIZUJUĆEM ZRAČENJU SREDNJE JAČINE DOZE	177
METODE AKTIVNE ZAŠTITE GAMA-SPEKTROMETARA	183
UTICAJ Pb-210 U OLOVNOJ ZAŠTITI NA FON GAMA SPEKTROMETRA	187
OPTIMIZACIJA NEKIH FIZIČKIH PARAMETARA KRUPNIH CILINDRIČNIH IZVORA FOTONA	191

OPTIMIZACIJA USLOVA MERENJA NA NISKOFONSKOM $\alpha\beta$ PROPORCIONALNOM BROJAČU
THERMO-EBERLINE FHT 770 T 195

JEDNA ANALIZA NISKOENERGETSKOG ALBEDA FOTONA 199

TL DOZIMetriJA S JEDNIM I DVA DOZIMETRA 203

INDIVIDUALNA DOZIMetriJA U INSTITUTU ZA NUKLEARNE NAUKE VINČA 209

5. Radiobiologija 221

PRIKAZ SLUČAJA: IR-192 ZDRAVSTVENE POSLEDICE TOKOM 20 GODINA 223

UČESTALOST MALIGNIH BOLESTI U LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH MALIM DOZAMA
JONIZUJUĆEG ZRAČENJA 227

VREMENSKI ZAVISTAN EFEKAT JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA HIDROLIZU VANČELIJSKOG ATP-
a U MOZGU ŽENKI PACOVA 233

EFEKAT FLAVONOIDA PROCIJANIDOLA NA UČESTALOST MIKRONUKLEUSA U HUMANIM
LIMFOCITIMA OZRAČENIM IN VITRO 237

PRIKAZ SLUČAJA KONTAMINACIJE RADNIKA U INCIDENTU NA REAKTORU RA U INSTITUTU ZA
NUKLEARNE NAUKE "VINČA" 241

UČESTALOST PREVREMENE SEGREGACIJE CENTROMERA KOD LICA EKSPONOVANIH
DEJSTVU JONIZUJUĆEM ZRAČENJU 253

ALGORITAM UKAZIVANJA PRVE POMOĆI KOD POVREĐIVANJA RADIOAKTIVNIM
KONTAMINENTOM 259

CITOGENETSKA ANALIZA LIMFOCITA KOD ZDRAVSTVENIH RADNIKA PROFESIJSKI IZLOŽENIH
MALIM DOZAMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA 261

KAKO NAS ŠTITE RADIOPROTEKTORI 265

PROTEKTIVNI EFEKTI: IN VITRO-IN VIVO 269

ISPITIVANJE FULERENOLA C₆₀(OH)₂₄ KAO POTENCIJALNOG RADIOPROTEKTORA 273

NEOPHODNOST ZDRAVSTVENE KONTROLE ZDRAVSTVENIH RADNIKA U ZONI JONIZUJUĆIH
ZRAČENJA 277

6. Radioaktivni otpad i dekontaminacija 281

PRIMENA SEKVENCIJALNE EXTRAKCIJE U KVANTIFIKACIJI SORPCIJE URANIJUMA U
KONTAMINIRANIM ZEMLJIŠTIMA 283

HEMIJSKA STABILIZACIJA TOKSIČNIH METALA I RADIONUKLIDA 289

FOSFATNA STABILIZACIJA TOKSIČNIH METALA I RADIONUKLIDA 293

IN SITU SPEKTROMETRIJSKA MEREŃA GAMA ZRAČEŃA IZ RADIOAKTIVNOG OTPADA
U PRIVREMENOM SKLADIŠTU INSTITUTA "VINČA" 297

7. Radon i građevinski materijali 303

MERENJE UNUTRAŠNJE KONCENTRACIJE RADONA NA TERITORIJI SRBIJE U PROLEĆE
2004. GODINE 305

RADIOAKTIVNOST NEKIH UVOZNIH GRADJEVINSKIH MATERIJALA	309
RAČUNANJE DOZNIH KONVERZIONIH FAKTORA (DCF) OD UDAHNUKIH RADONOVIH POTOMAKA ZA REALNU POPULACIJU GRADA NIŠA	313
PROBLEMI ISPITIVANJA SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U GRANITNOM GRADJEVINSKOM MATERIJALU	317
THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF RADON MEASUREMENT WITH DESIGNING AND CALIBRATION DOMESTIC CANISTER WITH ACTIVE CHARCOAL	323
FAKTOR UZMAKA RADONOVIH POTOMAKA	327

8. Slobodne teme 333

OPASNOSTI OD PRIMENE NUKLEARNOG ORUŽJA I RADIOAKTIVNIH MATERIJALA U TERORISTIČKIM AKCIJAMA	335
КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА И РАДА РЕНДГЕНСКИХ УРЕЂАЈА ЗА ПРЕГЛЕДЕ ПРТЉАГА	339
NOVI PRAVCI U ZAŠTITI OD NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA	343
AKTIVNOSTI NA POLJU BORBE PROTIV ILEGALNE TRGOVINE RADIOAKTIVNIM MATERIJALIMA U REPUBLICI SRBIJI.	347
EFEKTI I POSLEDICE NUKLEARNIH UDESA I MERE ZAŠTITE	353

D. Dodatak 367

MOGUĆNOST SMANJENJA ZRAČENJA PACIJENATA PRI RADIOGRAFIJI SINUSA	369
RADIOLOŠKA OPTEREĆENOST ZRAČENJEM KOD SNIMANJA NATIVNIH GRAFIJA UROTRAKTA	370
PACIJENTNA DOZIMetriJA PRI SNIMANJU LUMBOSAKRALNOG DELA KIČME	371
PACIJENTNE DOZE ZRAČENJA U TOKU INTRAVENSKE UROGRAFIJE	372

I. Index 373

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

502:504.5]:539.16(082)
614.875/.876(082)
539.16.04(082)
539.1.074/.08(082)
577.1:539.1(082)

**СИМПОЗИЈУМ Друштва за заштиту од зрачења
Србије и Црне Горе (23 ; 2005 ; Доњи
Милановац)**

Zbornik radova / XXIII simpozijum
DZZSCG, Donji Milanovac, 26 - 28. septembar
; [organizatori Društvo za zaštitu od
zračenja Srbije i Crne Gore [i] Institut za
nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za
zaštitu od zračenja i zaštitu živote sredine
"Zaštita" ; urednik Miloško Kovačević]. -
Beograd : Institut za nuklearne nauke
"Vinča" : Društvo za zaštitu od zračenja
Srbije i Crne Gore, 2005 (Beograd :
Štamparija Instituta za nuklearne nauke
"Vinča"). - 384 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Ćir. i
lat. - Tiraž 120. - Bibliografija uz većinu
radova. - Registar. - Abstracts.

ISBN 86-73-6-075-3 (Vinča)

a) Заштита од јонизујућег зрачења -
Зборници b) Животна средина - Загађење
радиоактивним материјама - Зборници c)
Радиоактивно зрачење - Штетно дејство -
Зборници d) Нејонизујуће зрачење - Штетно
дејство - Зборници e) Радиобиологија -
Зборници f) Дозиметри - Зборници
COBISS.SR-ID 125311500