DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
SRBIJE I CRNE GORE

ZBORNIK RADOVA

XXVI SIMPOZIJUM DZZ SCG
Tara
12-14. oktobar 2011.

Beograd
2011.god

ZBORNIK RADOVA

XXVI SIMPOZIJUM DZZSCG
12.10-14.10.2011.god

Izdavači:

Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore

Za izvršnog izdavača:

Dr Jovan Nedeljković

Urednik:

Dr Olivera Ciraj-Bjelac

ISBN 978-86-7306-105-4

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Tehnička obrada: Aleksandra Milenković

Štampa: Štamparija Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd
Tiraž: 100 primeraka
Štampa završena septembra 2011.

XXVI SIMPOZIJUM DRUŠTVA
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
SRBIJE I CRNE GORE
Tara12.10. do 14.10.2011.god

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: Olivera Ciraj-Bjelac

Članovi:
Milojko Kovačević
Perko Vukotić
Snežana Milačić
Ištvan Bikit
Tomislav Anđelić
Dragoslav Nikezić
Vera Spasojević-Tišma
Snežana Dragović
Gorijan Sesartić
Danijela Aranđić
Đorđe Lazarević

Redakcioni odbor:
Dr Gordana Joksić
Dr Dragana Todorović
Dr Marko Ninković
Dr Gordana Pantelić

Organizaciju su pomogli:

Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije

Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Knauf Zemun d.o.o.

Canberra Packard Central Europe GmbH

Ovaj Zbornik je zbirka radova saopštenih na XXVI Simpozijumu Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore koji je održan od 12.10. do 14.10.2011. godine na Tari. 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

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)

ДРУШТВО за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе (Београд). Симпозијум (26 ; 2011 ; Тара)
Zbornik radova / XXVI simpozijum DZZSCG [Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore], Tara, 12-14. oktobar 2011. ; [organizatori] Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore [i] [Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita" ; urednik Olivera Ciraj-Bjelac]. - Beograd : Institut za nuklearne nauke "Vinča" : Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, 2011 (Beograd : Jovanović). - 380 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 110. - Abstracts. - Bibliografija uz većinu radova. - Registar.

ISBN 978-86-7306-105-4 (Vinča)
1. Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе (Београд) 2. Институт за нуклеарне науке "Винча" (Београд). Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животе средине Заштита
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 186512652

OPŠTI PROBLEMI I SAVREMENE KONCEPCIJE ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Pozivno predavanje

AKREDITACIJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA – TROŠAK ILI MANJE DOZE I POUZDANI REZULTATI

Gregor OMAHEN i Urban ZDEŠAR
ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d., Chengdujska cesta 25, SI-1260 Ljubljana-Polje,
gregor.omahen@zvd.si

SADRŽAJ
Za mjerenja u uvlasti zaštite od zračenja i mjerenja radioaktivnosti u mnogim zemaljama traži se akreditacija prema standardu ISO/IEC 17025. Prvi zahtjevi po akreditaciji mjernih laboratorija došli su iz nuklearne industrije ali su se dalje proširile i na druge vrste mjerenja recimo brzinu doze ili kontaminacije. U nekim zemalljama akreditacija prema standardu ISO/IEC 17025 čak je uslov za ovlaščenje od strane regulatornih tjela. U radu prikazat ćemo iskustva u Sloveniji gdje, su prve laboratorije dobile akreditaciju već u 2003, te dobre i loše strane akreditacije.

1. Uvod

Laboratorije koje se bave zaštitom od zračenja te zbog toga i mjerenjem radioaktivnosti, brzina doze i kontaminacije oduvijek su bile posve'ćene kvaliteti svojih mjerenja, naročito one, koje su obavljala mjerenja za nuklearne elektrane. Ipak u laboratorijama više je bilo bitno, da su ljudi stručni, da se bave i znanstvenim radom i znaju interpretirati rezultate mjerenja. Vrlo često to ne ide zajedno sa rutinskim stvarima, kakve su provjeravanje mjernog instrumentarija i zapisima o kvaliteti. Ipak naručitelj traži rezultate mjerenja kojim se može vjerovati. To je svrha standarda SIST EN ISO/IEC 17025 [1] koji je na snazi od 1999 i u kojem su zahtjeve za ispitne i kalibracijske laboratorije. U nekim je zemljama zahtjeva po akreditaciji ispitnih laboratorija prema SIST EN ISO/IEC 17025 čak u regulativi. Takav je zahtjev recimo u regulativi Hrvatske i Slovenije za laboratorije koje se bave mjerenjem radioaktivnosti, brzine doze, kontaminacije ili provjeravanjem RTG aparata. Nekoliko laboratorija ima akreditaciju već nekoliko godina.

2. Kako do akreditacije za ispitnu laboratoriju

Da bi mogli akreditirati neku metodu po standardu SIST EN ISO/IEC 17025 moramo ispuniti tako administrativne zahtjeve, koji se u glavnom nanose na vođenje laboratorije, kako i tehničke zahtjeve za mjerna ispitivanja. Tehničko ili znanstveno osoblje, koje se bavi mjerenjima, obično dosta dobro poznaje svoju opremu i metode kalibracije, mjernu nesigurnost metode, poznaje parametre okoline koji utječu na rezultate i što je veoma bitno zna i interpretirati rezultate mjerenja. Ali nam je ponekad teško razumjeti zašto bi trebale biti sve upute, prema kojim mjerimo, u pisanom obliku ili zašto mjerna nesigurnost nije samo nešto, što nam izbaci softver nego je moramo znati izračunati i to čak staviti na papir.

3. Validacija metode

Isto tako ponekad ne želimo shvatiti zahtjeve po uspoređivanju naših rezultata sa drugima. Pa odavno već obavljamo ta mjerenja, što znači, znamo svoj posao i koliko god puta mjerimo isti uzorak dobit ćemo isti rezultat. Problem je, da dok ne validiramo svoje metode ne možemo biti sigurni, da je rezultat naših mjerenja pravi. Neka druga laboratorija mogla bi ponovljivo dobivat sasvim drugi rezultat i to na istom uzorku za

ispitivanje. Zbog toga svaku metodu treba validirati i poslije toga redovito pratiti postignuti kvalitet. Jedan od boljih načina za validaciju, kao za kontolu kvaliteta su uspoređivanja sa drugim laboratorijama – interkompacije. U ne malo interkomparacije desit će se, da su naši rezultati izvan intervala, koji se smatra prihvatljivim. U tom slučaju moramo pronaći razlog odstupanja i prema potrebi čak ispraviti svoju metodu. Metoda se mora redovito provjeravati i osim interkomparacija mora postojati sistem kontrole rezultata. Sa redovitim testovima provjerava se oprema pa i naši postupci. Rezultate kontrole kvaliteta najbolje je voditi u kontrolnim kartama u kojim odredimo granice prihvatljivosti rezultata. Ako su rezultati izvan tolerancija, trebamo prestati sa ispitivanjima jer zbog nekog razloga ne možemo vjerovati rezultatima. Potrebno je pronaći taj razlog i ukloniti ga, tek se poslije može nastaviti ispitivanjima.

4. Radne upute

Za tehnički dio nama, prema standardu, trebaju napisane radne upute ili procedure. Nije dovoljno, da mi znamo, kako se neko mjerenje obavlja i da to objasnimo svojim suradnicima, nego moramo biti sigurni, da svi mi to isto i radimo. Zbog toga trebaju nam napisane upute. Napisat radnu proceduru nije ni malo lako, pogotovo jer nam to oduzima vrijeme za stručni rad odnosno mjerenja, pored toga od pisanja uputa ne možemo imat znanstvene radove niti zaraditi na tržištu. Zbog toga za pisanje radnih uputa obično se biraju mlađi suradnici, često sa premalo iskustva i znanja. Rezultat toga je, da treba puno revizija, da bi na kraju došli do zadovoljavajućeg dokumenta. Zbog toga radnu uputu trebao bi pisati onaj koji najviše radi na određenom poslu i najviše zna o metodi. Obično je to vođa laboratorije.

U jednoj od procedura mora biti opisano i o određivanju mjerne nesigurnosti. Potrebno je identificirati sve parametre, koji utječu na mjernu nesigurnost, i ocijeniti njihov doprinos. Kasnije se neki od tih parametra zbog malog doprinosa mogu ignorirati i mjerna nesigurnost računa se samo sa najvažnije. Obično su to nesigurnost kalibracije, brojanja i možda nekih parametra okoliša a osobito kod analiza na granici osjetljivosti metode i nesigurnost zbog pozadine (backgrounda).

5. Mjerna oprema

Mjerna oprema nam obično definira opseg akreditacije – kako niske ili visoke vrijednosti još možemo mjeriti i sa kakvom mjernom nesigurnošću. Sva oprema mora biti kalibrirana a za nju moraju postojati dokumenti za upotrebu i održavanje. To mogu biti upute proizvođača ili upute samog laboratorija ako je oprema ili stara ili zbog nekih drugih razloga nemamo upute proizvođača. Oprema mora biti označena i za svaku dio mora postojati evidencija servisa, promjena, kalibracija, provjeravanja, kvarova. U slučaju, da oprema zbog nekih razloga nije u funkciji potrebno ju je izolirati i označiti, te tako spriječiti njezinu upotrebu.

6. Uzorkovanje

U slučaju, da laboratorij sam uzorkuje materiale, koje kasnije ispituje, mora imati plan uzorkivanja. Za sve tipove uzorka koje laboratorij ispituje moraju postojati upute za transport, prihvaćanje, rukovanje idr. Laboratorija mora imati sistem za identifikaciju uzorka kako ne bi došlo do zamjena uzorka i rezultata.

7. Rukovođenje

Standard SIST EN ISO/IEC 17025 bar jednaku pažnjo kao tehničkom djelu upućuje i na sistem rukovođenja. U stvari stavlja ga čak i ispred (u poglavlje 4) tehničkog djela (koji

je u poglavlju 5). U ovom ga članku mi namjerno stavljamo iza tehničkog djela jer je to obično dio na koga ima tehničko osoblje manji utjecaj a možda ga i nema. Taj dio odnosi se na rukovodstvo laboratorija (preduzeča ili instituta) a oni koji obično imaju baš najmanje vremena za sistem kvaliteta su direktori i šefovi. Zato se stvar rješava takozvanim povjerenicima kvalitete, koji su od rukovodstva ovlašteni za sve što bar malo miriše na kvalitet. Ponekad direktori, naročito oni, koji nisu svjesni važnosti kvaliteta, za povjerenika kvalitete stavljaju kadar, koji se nije iskazao na nekim drugim pozicijama. U tom slučaju firma će imat dug put do akreditacije. Jer je baš na nivou rukovodstva treba postaviti neki sistem koji važi za čitavu firmu sve od priručnika sustava kvaliteta do sistema dokumentacije, nabavke opreme, suradnje sa kupcima, žalbe kupaca idr.

8. Akreditacija i zračenje

U Sloveniji već u 2003 bile su podijeljene prve akreditacije na području mjerenja radioaktivnosti i ionizirajućeg zračenja. ZVD Zavodu za varstvo pri delu te godine dobio je akreditacijo za gama spektrometrijo i osobnu dozimetriju [2]. U narednim godinama ZVD je proširio akreditirane metode i danas ima na području ionizirajućeg zračenja akreditirane i mjerenje brzine doze, kontaminacije, mjerenja koncentracija radona i njegovih potomka, doze u okolini, doze na ekstermitete, mjerenje stroncija $^{89}Sr/^{90}Sr$ i mjerenja dozimetričkih veličina RTG uređaja. ZVD ima praktički akreditirane sve metode, koje je razvio na području mjerenja ionizirajučeg zračenja. U to bilo je uloženog puno napora osoblja ZVD a uloženo i puno financijskih sredstava. Samo za godišnju posjetu Slovenske akreditacije plaća se 15.000 EUR od toga pola odpada na metode ionizirajućeg zračenja. Ako uzmemo u obzir i više međunarodnih interkomparacija godišnje, redovite kalibracije, nabavku standarda i druge usporedbe samo taj dio godišnje košta oko 20.000 EUR. Stručno osoblje potroši i mnogo vremena na održavanju sistema kvaliteta od unutrašnjih revizija, do procjene slovenske akreditacije, rada na uputama, provjeravanju kvaliteta i treningu radnika. Procjena je, da taj trošak iznosi barem 30.000 – 50.000 EUR godišnje. Ukupan trošak ZVD za održavanje akreditacije samo na području ionizirajučeg zračenja procjenjujemo na 50.000 do 70.000 EUR godišnje. Trošak je velik i da li je i potreban? Prvi je razlog, da je akreditacija po slovenskom zakonu jedan od uslova za ovlaštenja na području ionizirajućih zračenja. Zato smo svi, koji se u Sloveniji bavimo tim mjerenjima morali doći do akreditacije. Iako akreditacija donosi dosta troškova, za sada nije nam uspjelo troškove prevesti u više cijene na trgu. Razlog je naravno konkurencija. Baš je akreditacija bila jedan od razloga čime se mislilo, da će se eliminirati konkurencija, kad su svi na tržištu akreditirala metode makar uz velike troškove, drugi način konkurencijske borbe bilo je smanjivanje cijena. To je naravno bilo dobro za kupca koji je dobio kvalitetne rezultate za nisku cijeno. A konkurenti još do danas nismo uspjeli povećati cijene pa makar samo za troškove akreditacije.

Posle više od 10 godina rada na akreditaciji, osam revizija Slovenske akreditacije, brojnim akreditiranim metodama stekli smo mnogo iskustva. Ima li od toga i neke koristi? Da. Prva i najveća korist je, da mi sami možemo vjerovati svojim rezultatima. Nekad nije bio rijetko, da se naručitelj (ili upravni organ) žalio nad rezultatima laboratorija i vrlo teško se otkrilo razlog. Danas je žalbi puno manje odnosno ih čak i nema, a i da ima pitanja vezana za rezultate mjerenja vrlo brzo možemo objasniti. Isto tako vrlo dobro znamo gdje su granice naših metoda i što njima možemo izmjeriti. Sa redovitim kontrolama opreme mnogo prije nego nekad vidimo kad se oprema pogoršava pa imamo dovoljno vremena za servis i pripremu mjerenja na drugoj ispravnoj opremi.

Puno lakše je i organizirati trening osoblja. Jedan od zahtjeva akreditacije je i stručni trening osoblja pa je zbog te zahtjeve lakše kod vodstva opravdati neke seminare i konferencije. Mjerna nesigurnost, danas je nešto bez čega rezultat ni ne postoji. Rezultat bez mjerne nesigurnosti ništa ne znači i brojka je bez smisla. Prije akreditacaije nije bilo rijetko, da je specifična aktivnost ^{137}Cs u zemlji bila 42 Bq/kg ili brzina doze 138 nSv/h.
Da li je zbog akreditacije bolja zaštita od zračenja odnosno su doze manje? Ne, ali je zbog akreditacije bolja procjena doza tako radnika za koje vodimo ličnu dozimetrijo kao i stanovništva, za kojeg iz rezultata mjerenja radioaktivnosti računamo doze.
Pošto je akreditacija uslov za ovlaštenje na području mjerenja ionizirajućeg zračenja upravni organi, u Sloveniji Uprava za nuklearnu sigurnost i Uprava za zaštitu od zračenja, odgovornost za stručni nadzor nad ovlaštenim organizacijama predali su slovenski akreditaciji i stručnim ocjeniteljima. Na taj se način i kvalitet mjerenja poboljšao jer upravni organi nikad nisu baš imali stručnjaka koji bi bili bolji stručnjaci od onih u ovlaštenim organizacijama pa se moglo i manipulirati stručnostjom.

9. Zaključci

Mogli bi zaključiti, da je sa akreditacijom prema Standard SIST EN ISO/IEC 17025 kupac, koji želi rezultate ne području zaštite od ionizirajučeg zračenja i mjerenja radioaktivnosti dobio pouzdane rezultate za relativno nisku cijenu. Laboratorija koje je akreditirana na drugoj strani uvela je red u rad i svoju laboratoriju, postoje pravila za opremu, osoblje, trening i svim tim na kraju povećala se i stručnost mjerenja. Sa akreditacijom puno je lakše i nadoknaditi gubitak djelatnika zbog mirovine ili napuštanja laboratorije jer u svakom trenutku uvijek moraju biti u laboratoriji bar dva koji znaju raditi na metodi.
Sa akreditacijom nije se poboljšala zaštita od zračenja ili smanjili becquereli u zraku. A barem dobro znamo koliko su točni mSv ili Bq i kako male mSv i Bq možemo izmjeriti.

10. Literatura

[1] SIST EN ISO/IEC 17025:2005: General requrements for the competence of testing and calibration laboratories. CENELEC, 2005.
[2] http://www.sa.gov.si/teksti-1/slo/katalog.htm

ABSTRACT

AKREDITCION AND RADIAITION PROTECTION – THE COST OR SMALLER DOSES AND RELIABLE RESULTS

Gregor OMAHEN i Urban ZDEŠAR
ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d., Chengdujska cesta 25, SI-1260 Ljubljana-Polje
gregor.omahen@zvd.si

Laboratories involved in the protection against radiation and therefore in the measurement of radioactivity, dose rate and contamination have always been tied to the quality of their measurements, particularly those that have performed measurements for nuclear power plants. However in the laboratories more than quality it was more important, that people are professional, that they are engaged in scientific work and know how to interpret the results. Very often these are things that do not go along with reviewing the measuring instruments and quality records. However customer requires measurement results that can be trusted. This is the purpose of the standard SIST EN ISO / IEC 17025 in which the requirements for testing and calibration laboratories are stanrdadised. The standard in force since 1999. In some countries, requests for accreditation of testing laboratories according to SIST EN ISO / IEC 17025 is even in regulation. This request is for example in the Croatian and Slovenian regulations for laboratories involved in measuring the radioactivity, dose rate, contamination, or by checking the X-ray apparatus. Several laboratories have been accreditation for several years. From that experience we can conclude that customer gets reliable results from the accredited laboratories at relatively low cost. On the other side laboratory which his accredited has introduced a line of work and his laboratory, there are rules for equipment, personnel, training and all that eventually enhanced measurement expertise. With accreditation, it is much easier to compensate for the loss of workers due to pension or leaving the laboratory because every moment must always be in thelaboratory at least two whok now how to work on the method. Accreditation is not improving radiation protection or reducing Becquerel in the air. But at least we know how accurate mSv or Bq are and how small mSv and Bq can be measured.

KOREKCIJA LJUSKE ZA ZAUSTAVNU MOĆ ZA NISKOENERGETSKE JONE

Nenad STEVANOVIĆ, Vladimir M. MARKOVIĆ, Dragoslav NIKEZIĆ, Biljana MILENKOVIĆ, Jelena STAJIĆ
Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno matematički fakultet, R. Domanovica 12, 34000 Kragujevac, Srbija, nstevanovic@kg.ac.rs

SADRŽAJ
U ovom radu je računata zaustavna moć, predstavljajući elektrone u atomima mete ansamblom kvantnih oscilatora. Pri tome je razmatrano da se elektroni u atomima mete kreću određenom brzinom pre interakcije sa projektilom, što je glavni doprinos ovoga rada. Ispitivan je uticaj brzina tih elektrona (u odgovarajućoj orbitali, ljuski) na vrednost zaustavne moći za različite projektile i mete. Ustanovljeno je da brzine elektrona na zaustavnu moć imaju najveći uticaj pri nižim energijama projektila.

1. Uvod

Interakcija jona sa materijom je predmet istraživanja u mnogim oblastima fizike kao što su atomska i nuklearna fizika, fizika plazme, fizika čvrstog stanja, radijaciona fizika, astrofizika i druge [1]. Od velikog interesa je izučavati mehanizme posredstvom kojih joni (projektili) gube energiju pri interakciji sa materijom.

U tu svrhu korisno je proučavati jednu veličinu koja je se naziva zaustavna moć materije (*stopping power*). Zaustavna moć materije se definiše kao količnik kinetičke energije koju projektil izgubi, dE, pri prolasku rastojanja, dx, i tog rastojanja ($S = -dE/dx$). Pomoću ove veličine određuju se domet projektila, distribucija njegove energije, deponovana energija u materiji, kao i mnoge druge karakteristike.

Bethe [2] je zaustavnu moć računao kvantno-mehanički, u prvoj Bornovoj aproksimaciji i dobio

$$S = \frac{z_1^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2} N z_2 \ln \frac{2 m_e v^2}{I} \qquad (1)$$

gde su: v brzina projektila, z_1 redni broj projektila, z_2 redni broj atoma mete, dok je I srednji jonizacioni potencijal atoma mete. Razmatrao je da projektil gubi svoju kinetičku energiju na pobuđenje i jonizaciju atoma mete i ova formula važi za visoke nerelativističke energije projektla.

Prilikom računanja zaustavne moći potrebno je poznavanje stanja projektila i atoma mete pre i posle interakcije. Kako su funkcije koje ih opisuju složenog oblika, uvode se aproksimacije. Bohr [3] je modelovao elektron u atomu klasičnim harmonijskim oscilatorom, koji osciluje frekvencijom ω. Sigmund i Haagerup [4] su modelovali elektrone u atomu mete kao ansambl kvantnih harmonijskih oscilatora. Stevanovic i Nikezic [5,6] su proširili taj model i na projektil, koji je delimično ogoljen jon pri nižim energijama. Ispitan je uticaj energije pobuđenja projektila na vrednost zaustavne moći i pokazano je da je doprinos pobuđenja projektila zaustavnoj moći od 10-20% pri nižim energijama

Cabrera-Trujillo [7] je, takođe, tretirao elektrone u atomima harmonijski vezane gde je zaustavna moć predstavljena sumom zaustavnih moći pojedinačnih elektrona po

orbitalama. Prema osobinama jačine dipolnog oscilatora za kvantni harmonijski oscilator, dobio je da je orbitalni jonizacioni potencijal jednak $I_j = \hbar\omega_j$ [7].

Pomenuti modeli su razvijeni za brze nerelativističke projektile, tako da se kretanje elektrona u atomima sredine može zanemariti u odnosu na kretanje projektila, pa je opravdano uzeti da je brzina elektrona pre interakcije jednaka nuli. Međutim, pri nižim energijama projektila ta aproksimacija nije opravdana, pa se u literaturi uvodi korekcija ljuske (shell correction).

U ovom radu zaustavna moć je računata modelujući elektrone u atomima mete ansamblom kvantnih oscilatora pri čemu elektroni imaju određenu brzinu pre interakcije sa projektilom. Na kraju je ispitivan uticaj brzine elektrona u atomima mete na vrednost zaustavne moći. Metod koji će biti predstavljen u ovom radu omogućuje dobijanje analitičkog izraza za korekciju ljuske.

2. Metodologija

Prema kvantno-mahaničkom modelu, izraz za zaustavna moć, modelujući elektrone atoma mete ansamblom kvanto mehaničkih oscilatora, ima oblik [4-7]

$$S = \frac{z_1^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2} \frac{N_0}{M_a} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{z_2} \sum_{m_j>1}^{\frac{2m_e v^2}{I_j}} \frac{1}{(m_j-1)!} \left(G\left(m_j-1, \frac{m_j^2 I_j}{2m_e v^2}\right) - G\left(m_j-1, \frac{2m_e v^2}{I_j}\right)\right) \tag{2}$$

gde su M_a molarna masa atoma mete, N_0 Avogadrov broj. Funkcije G su poznate Gamma funkcije.

Član $2m_e v^2$, u gornjoj granici druge sume i argumentu funkcije $G\left(m_j-1, \frac{2m_e v^2}{I_j}\right)$, potiče od maksimalne vrednosti predate energije projektila, ukoliko je elektron bio u stanju mirovanja pre interakcije. Prema zakonu sudara maksimalna predata energija projektila pri sudaru sa elektronom koji se pre sudara kretao brzinom $\vec{v}_j$ iznosi $2m_e\left(v^2 - \vec{v}\vec{v}_j\right)$, gde je $\vec{v}$ brzina projektila, a m_e masa elektrona. Vrednost brzine elektrona u datoj orbitali, j, atoma mete se može odrediti na osnovu virialne teoreme [7], kojom se pokazuje da je kinetička energija elektrona jednaka orbitalnoj energiji jonizacije, I_j. Zato se može napisati da je $I_j = \frac{m_e v_j^2}{2}$. Pravac brzine elektrona, $\vec{v}_j$ u odnosu na brzinu projektila $\vec{v}$ je slučajan, odnosno $\vec{v}\cdot\vec{v}_j = v\cdot v_j \cos\theta_{sl} = v\cdot v_j p_{z\,sl}$.

Na osnovu toga, prethodni izraz se koriguje i postaje jednak

$$S = \frac{z_1^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2} \frac{N_0}{M_a} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{z_2} \sum_{m_j>1}^{\frac{2m_e v\sqrt{\left(v^2 - v\cdot v_j p_{z\,sl}\right)}}{\hbar\omega_j}} \frac{1}{(m_j-1)!} \left(G\left(m_j-1, \frac{m_j^2 \hbar\omega_j}{2m_e v^2}\right) - G\left(m_j-1, \frac{2m_e\left(v^2 - v\cdot v_j p_{z\,sl}\right)}{\hbar\omega_j}\right)\right)$$

(3)

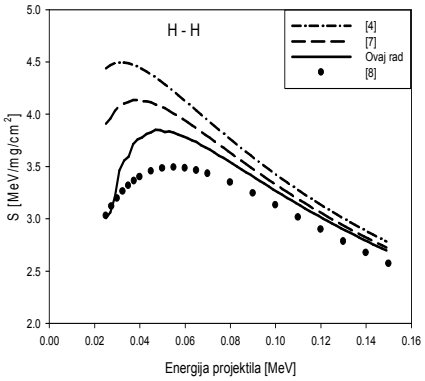
Pošto je pravac brzine elektrona u datoj orbitali atoma mete slučajna veličina, ovaj izraz treba računati numerički, generišući pravac Monte Carlo metodom. Međutim, može se i analitički rešiti i ovde ćemo prikazati samo konačno analitičko rešenje u obliku

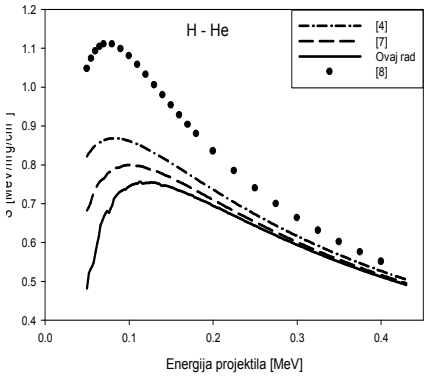
$$S=\frac{z_1^2 e^4}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2}\frac{N_0}{M_a}\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{z_2}\frac{1}{N_s}\sum_{k=1}^{N_s}\sum_{m_j>1}^{\frac{2m_e v\sqrt{v^2-vv_j}}{I_j}+k-1}\frac{1}{(m_j-1)!}\left(G\left(m_j-1,\frac{m_j^2 I_j}{2m_e v^2}\right)-G\left(m_j-1,\frac{2m_e\left(v^2-vv_j\left(-1+\frac{2(k-1)}{N_s-1}\right)\right)}{I_j}\right)\right) \quad (4)$$

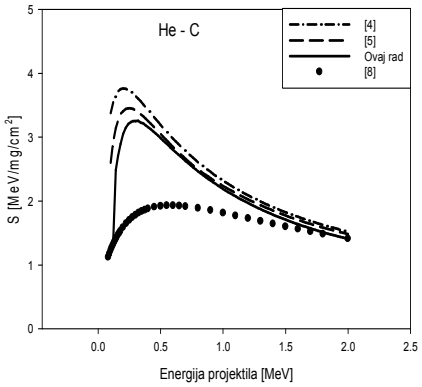
gde je $N_s=\frac{2m_e v\sqrt{v^2+vv_j}}{I_j}-\frac{2m_e v\sqrt{v^2-vv_j}}{I_j}+1\cdot$

3. Rezultati

Zaustavna moć, kao funkcija energije projektila, za različite atome mete je računata prema jednačini (4) i prikazana na Slici 1. Jednačina (4) predstavlja izraz za zaustavnu moć, koji je izveden u ovom radu, baziran na modelu ansambla kvantnih oscilatora [4,7], ali uračunavajući kretanje elektrona u atomima mete pre interakcije sa projektilom. Razmatrani su sledeći jon – atom parovi: H-H, H-He i He-C i dobijeni rezultati su poređeni sa [4], [7] i [8].







Slika 1. Zaustavna moć za različite projectile i atome mete, kao funkcija energije projektila. A) Vodonik-Vodonik. B) Vodonik-Helijum i C) Helijum – Ugljenik.

Vrednosti jonizacionih potencijala za svaku orbitalu atoma mete su preuzete iz [7] i iznose: za vodonik $I_{H1} = 15\ eV$; za helijum $I_{He1,2} = 38.83\ eV$ i za ugljenik $I_{C1} = 451.34\ eV$, $I_{C2} = 27.57\ eV$ i $I_{C3} = 20.97\ eV$. Može se videti da je vrednost zaustavne moći niža ukoliko se uzme u obzir kretanje elektrona u atomima mete pre interakcije sa projektilom. To je zato što elektroni imaju već određenu energiju i mogu da od projektila prime manju energiju nego u slučaju da su u mirovanju pre interkacije. Taj efekat je dominantan pri nižim energijama projektila, jer se tada brzine elektrona ne mogu zanemariti u odnosu na brzinu projektila. U odnosu na ref. [7], vrednosti zaustavne moći dobijene u ovom radu su niže od 25% do 35% u zavisnosti od razmatranih projektila i mete.

4. Zaključak

U ovom radu dobijen je analitički izraz za zaustavnu moć, pri čemu je uzeto u obzir da elektroni u atomima mete pre interkacije sa projektilom imaju određenu brzinu. Na osnovu virialne teoreme, za svaki elektron u odgovarajućoj orbitali atoma mete određena je njegova brzina [7] i uračunata u izraz (4), koji je izveden u ovom radu. Uticaj brzine elektrona u atomima mete na vrednost zaustavne moći je ispitivan i ustanovljeno je sledeće: 1) vrednost zaustavne moći je niža usled kretanja elektrona u atomima mete i 2) brzine elektrona atoma mete imaju najveći uticaj pri nižim energijama projektila.

5. Literatura

[1] U., Fano. Penetration of Protons, Alpha Particles, and Mesons.*Ann. Rev. Nucl. Sci.*, **13** (1963)1.

[2] H. Bethe. Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie, Ann. Physik. **5** (1930) 324.

[3] N. Bohr. On the theory of the decrease of velocity of moving electrified paerticles on passing through matter**.** *Phil. Mag.***10**, (1913) 25.

[4] P., Sigmund, U., Haagerup. Bethe stopping theory for a harmonic oscillator and Bohr's oscillator model of atomic stopping,*Phys. Rev. A.***34** (1986) 892.

[5] N., Stevanović, D., Nikezić. Stopping power. Projectile and target modeled as oscillators. *Phy.Lett. A*. **340** (2005) 290.

[6] N., Stevanović, D., Nikezić.Calculation of stopping power for partially stripped ions using an oscillator model.*Eur. Phys. J. D.* **42** (2007) 397.

[7] R. Cabrera-Trujillo. Stopping power in the independent-particle model: Harmonic oscillator results.*Phys. Rev. A.* **60** (1999) 3044.

[8] SRIM 2006: J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U.Littmark. The Stopping and Range of Ion in Matter.*Pergamon Press* (1985). (videtihttp://www.SRIM.org)

ABSTRACT

SHELL CORRECTION FOR STOPPING POWER FOR LOW-ENERGETIC IONS

Nenad STEVANOVIĆ, Vladimir M. MARKOVIĆ, Dragoslav NIKEZIĆ, Biljana MILENKOVIĆ and Jelena STAJIĆ

University of Kragujevac, Faculty of Science, R. Domanovic 12, 34000 Kragujevac, Serbia

nstevanovic@kg.ac.rs

Inthis paper,stopping powerwascalculated, representing the electronsin the atoms ofthe target asensembleof quantumoscillators.It wasconsideredthat the electronsin the target atoms move with some velocity, which is the maincontributionof this paper. The effectofelectronvelocityto the value ofstoppingpowerfor differentprojectilesandtargets was considered in this paper.It was found thatthe speedof electronsin thestopping powerhave the greatestinfluenceat lowenergies ofthe projectile.

REFLEKSIJA ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA OD ZAŠTITINIH MATERIJALA

Dragana KRSTIĆ, Vladimir MARKOVIĆi Dragoslav NIKEZIĆ
Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno matematički fakultet, Kragujevac,
dragana@kg.ac.rs

SADRŽAJ
Refleksija elektromagnetnog zračenja, albedo, od materijala koji se koriste u zaštiti od zračenja – voda, beton i gvožđe je proučena u ovome radu. Ukupni brojni i uglovni albedo su određeni pri refleksiji fotona početnih energija od 10 keV-a do 10 MeV-a, pri normalnom upadnom uglu za pomenute materijale. Za simulaciju transporta fotona i određivanje albeda korišćeni su softveri PENELOPE i MCNP.

1. Uvod

Za određivanje refleksije zračenja koristi se dvojni uglovno-energetski diferencijalni albedo, koji se definiše kao odnos fluksa upadnog zračenja sa određenom energijom, E_0 i upadnim uglom (θ_0, φ_0), i fluksa emitovanog zračenja sa energijom E pod uglom (θ,φ) sa jedinične površi:

$$\alpha(E_0,\theta_0,\varphi_0;E,\theta,\varphi) = \frac{J(E,\theta,\varphi)}{J_0(E_0,\theta_0,\varphi_0)}. \qquad (1)$$

Uglovni brojni albedo se definiše kao integral dvojnog albeda po svim energijama:

$$\alpha(E_0,\theta_0,\varphi_0;\theta,\varphi) = \int_0^{E_0} \alpha(E_0,\theta_0,\varphi_0;E,\theta,\varphi)dE . \qquad (2)$$

Za fotone koji normalno upadaju na reflektujuću površinu ($\theta_0 = 0°$), dvojni diferencijalni albedo, $\alpha_n(E_0;E,\theta)$, ne zavisi od ugla φ, već samo od upadne i reflektovane energije, ugla rasejanja, θ, i atomskog broja mete materijala [1]. U tom slučaju uglovni brojni albedo se može odrediti integracijom po svim energijama i po uglu φ,

$$\alpha_n(E_0;\theta) = 2\pi\int_0^{E_0} \alpha_n(E_0;E,\theta)dE . \qquad (3)$$

Ukupni brojni albedo α_n, se određuje integracijom po svim uglovima:

$$\alpha_n(E_0) = \int_0^{\pi/2} \alpha_n(E_0;\theta)\sin\theta\, d\theta . \qquad (4)$$

U ovom radu ukupni i uglovni brojni albedo definisani jednačinama (3,4) su određeni za vodu, beton i gvožđe. Ovi materijali se najčešće koriste kao zaštita u nuklearnim postrojenjima i mestima na kojima je potrebna zaštita od zračenja.

2. Metodologija

FORTRAN 77 podprogramski paket PENELOPE [2], koji vrši Monte Carlo simulaciju elektronsko fotonskog pljuska u proizvoljnim materijalima, kao i MCNP softver [3] su korišćeni u ovome radu za odredivanje albeda fotona. Simulirano je 10^9 istorija primarnih fotona, što omogućava da standardna greška odstupanja ne bude veća od 1%. Inicijalni fotoni sa energijom E_0 su emitovani na površinu reflektujućeg materijala. Pravac upadnih fotona je u pravcu normale na reflektujuću površ (θ_0=0). Fotoni su

transportovani kroz dati materijal PENELOPE i MCNP softverom i svi reflektovani fotoni i njihove relevantne karakteristike su beleženi.
Brojanjem reflektovanih fotona, njihovih uglova refleksije, θ_i, i energije E_i, dvojni brojni albedo se može, prema definiciji (1), izraziti kao:

$$\alpha_n(E_0;E_j,\theta_i)=\frac{1}{2\pi\sin\theta_i\cdot\Delta\theta\cdot\Delta E}\frac{N_{ij}}{N_{tot}}, \qquad (5)$$

gde su: $\Delta\theta$ i ΔE uglovni i energetski segmenti; N_{ij} je broj fotona reflektovanih sa granične površine sa energijom u intervalu E_i, $E_i+\Delta E$ i reflektujućim uglom između θ_i i $\theta_i+\Delta\theta$; N_{tot} je upadni broj fotona. Ukupni brojni albedo, $\alpha_n(E_0)$, se može odrediti sumiranjem po svim energijama i uglovima reflektovanih fotona:

$$\alpha_n(E_0)=2\pi\sum_{i,j}\alpha_n(E_0;E_j,\theta_i)\sin\theta_i\cdot\Delta\theta\cdot\Delta E=\frac{N_{ref}}{N_{tot}}, \qquad (6)$$

gde je N_{ref} ukupan broj fotona reflektovanih sa granične površine. Uglovni brojni albedo se može odrediti sumiranjem dvojnog diferencijalnog albeda po svim intervalima energije:

$$\alpha_n(E_0;\theta_i)=2\pi\sum_j\alpha_n(E_0;E_j,\theta_i)\Delta E\,. \qquad (7)$$

Kombinujući izraze (5) i (7) uglovni albedo se može definisati kao odnos

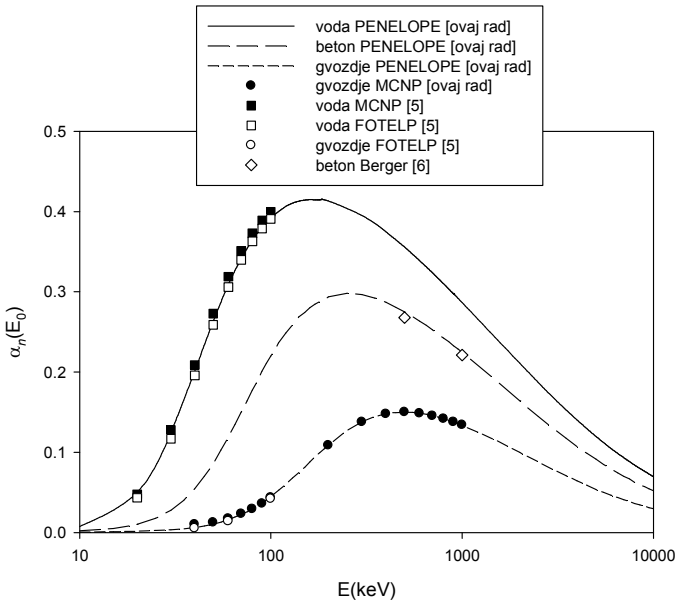
$$\alpha_n(E_0;\theta_i)=\frac{1}{\sin\theta\cdot\Delta\theta_i}\frac{N_i}{N_{tot}}, \qquad (8)$$

gde je $N_i$broj reflektovanih fotona u okviru intervala ugla (θ_i, $\theta_i+\Delta\theta$).

3. Rezultati

3.1 Ukupni brojni albedo

Ukupni brojni albedo, $\alpha_n(E_0)$, koji je određen jednačinom (6) je predstavljen na Slici 1, za vodu, beton i gvožđe kao funkcija početne energije fotona. Njegova vrednost monotono raste sa povećanjem početne energije fotona do određenog maksimuma, potom monotono opada. $\alpha_n(E_0)$ za ispitane materijale ima maksimum za određene početne energije fotona koje su oko 160 keV, 250 keV i 500 keV, za vodu beton i gvožđe respektivno. Voda kao materijal sa najmanjom vrednošću efektivnog atomskog broja ima najveći albedo, $\alpha_n(E_0)$. Sa porastom atomskog broja materijala albedo opada.
Na Slici 1 je dato poredjenje rezultata dobijenih u ovome radu sa podacima dostupnim iz literature [5, 6], . Može se uočiti dobro slaganje sa literaturnim rezultatima koji su dobijeni MCNP, [3] i FOTELP, [4], softverom



Slika 1. Ukupni brojni albedo vode, betona i gvožđa

Krive na Slici 1 su fitovane metodom promene inicijalnih konstanti probne funkcije:

$$a_n(E_0) = Ln^6(a \cdot E_0) \cdot e^{(b - c \cdot Ln(E_0))} \quad . \qquad (9)$$

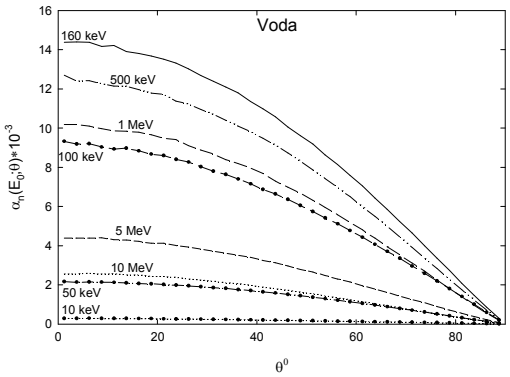
Konstante jednačine (9) su prikazane u Tabeli 1. Korišćenjem izraza (9) ukupni albedo se može izračunati za vodu, beton i gvožđe u opsegu energije upadnih fotona od 10 keV-a do 10 MeV-a.

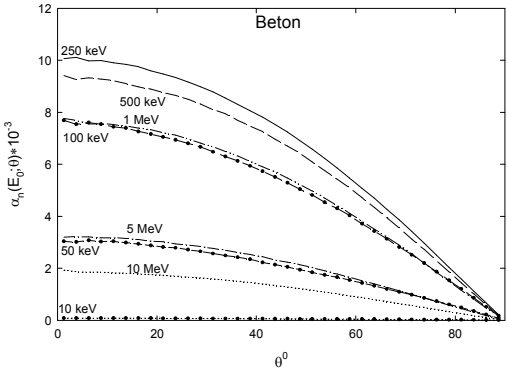
Tabela 1. Konstante krive (9) ukupnog brojnog albeda

Material	*a*	*b*	*c*
voda	0.625	16.88	0.1156
beton	0.443	16.73	0.1428
gvožđe	0.298	15.847	0.179

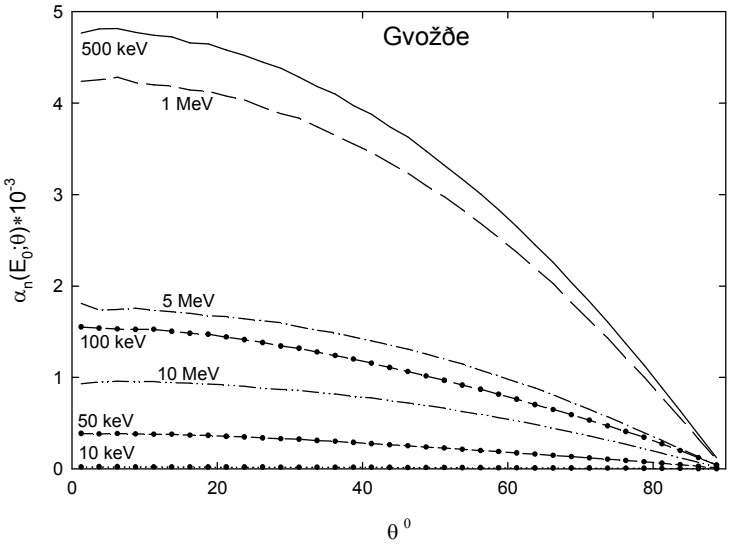
3.2. Uglovni brojni albedo

Da bi se odredio uglovni brojni albedo koristeći izraz (8), reflektovani fotoni su grupisani u jednake intervale azimutalnog ugla $\Delta\theta$. Uglovni albedo je predstavljen na Slikama 2, 3 i 4, za vodu, beton i gvožđe, gde je kao promenljiv parametar uzeta polazna energija fotona. Može se videti da uglovni albedo opada sa uglom rasejanja θ.





Slika 2. Uglovni albedo vode **Slika 3. Uglovni albedo betona**



Slika 4. Uglovni albedo gvožđa

Kako energija upadnih fotona raste, uglovni albedo se povećava dok ne dostigne određeni maksimum. Daljim povećanjem energije fotona uglovni albedo opada. Na primer, krive za vodu za fotone energija 500 keV-a, 1 MeV-a 5 MeV-a i 10 MeV-a su

ispod krive za fotone upadnih energija 160 keV-a, koja predstavlja maksimum. Maksimumi uglovnih albeda za beton i gvožđe su na oko 250 keV-a i 500 keV-a respektivno, kao sto se može videti na Slikama 2, 3 i 4. Maksimumi uglovnog i ukupnog albeda su na istim inicijalnim energijama upadnih fotona.

4. Zaključak

U ovome radu ukupni i uglovni albedo fotona je određen u širokom opsegu energije za materijale koji se koriste u zaštiti od zračenja. Analitički izrazi za proračun ukupnog albeda su predstavljeni u ovome radu kao poseban doprinos autora.

Zahvalnica: Ovaj rad je podržan od strane ministarstva Nauke Srbije kroz projekat N_0 171021

5. LITERATURA

[1] V. Ljubenov, R. Simovic, S. Markovic, and R. Ilic,."Number albedo of low-energy photons for water, aluminium and iron"*Nucl. Tech. Rad. Prot*., 22(1) (2007) 48-53.
[2] F. Salvat, J.M. Fernández-Varea, and J. Sempau, "PENELOPE–2006 A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport", OECD Nuclear Energy Agency, 2006.
[3] J.F. Briesmeister, "MCNP - A General Monte Carlo N- Particle Transport Code, Version 4B", *LA-12625- M, Los Alamos National Laboratory*, Los Alamos, New Mexico, 1997.
[4] R. D. Ilic, "FOTELP-2K3, Photon, Electron, and Positron Monte Carlo Transport Simulation" *IAEA 1388, OECD NEA Data Bank*, 2002.
[5] S. Markovic, Lj. Lubenov, R. Simovic and R. Ilic, "Total number albedo of low energy photons", *XXIV Symposium DZZSCG*, 3-5.X. 2007.
[6] M. Berger and D. Raso, "Monte Carlo calculation of gamma ray scattering" *Rad. Res.*, 12, 20, 1960.

ABSTRACT

ELECTROMAGNETIC RADIATION REFLECTION FROM SHIELDING MATERIALS

Dragana KRSTIĆ, Vladimir MARKOVIĆ and Dragoslav NIKEZIĆ
Faculty of Science, University of Kragujevac, Serbia
dragana@kg.ac.rs

Electromagnetic radiation reflection from shielding materials which are in use as protection from radiation – water, concrete and iron was investigated in this work. Total number and angular albedo was determined for reflection of photons with initial energies from 10 keV to 10 MeV at normal incident angle for mentioned materials. For photon transport simulation and determining of albedo PENELOPE and MCNP software were used.

Pozivno predavanje

ZAŠTITA OD LASERSKOG ZRAČENJA

Dejan PANTELIĆ, Branka MURIĆ i Darko VASILJEVIĆ
Institut za fiziku, Beograd, Srbija, pantelic@ipb.ac.rs

SADRŽAJ
Dat je prikaz uticaja laserskog zracenja na čovekov organizam, sa posebnim akcentom na oko kao najosetljiviji deo. Ukazano je na sve parametre o kojima treba voditi računa prilikom odredjivanja stepena zaštite od laserske svetlosti. U tome smislu je neophodno poznavanje važećih standarda u ovoj oblasti. Opisan je novi materijal, čije su osobine takve da efikasno štiti oko od laserskog snopa, zahvaljujući formiranju mikrosočiva i karbonizaciji.

1. Uvod

Biološki efekti svetlosti su odavno poznati. Kao najpoznatiji primer pomenimo uticaj sunčeve svetlosti na kožu, koji dovodi do pigmentacije, stvaranja vitamina A, ali i do formiranja tumora. Ljudsko oko je posebno ugroženo, jer u sebi sadrži fotoosetljivi sloj (retina), na kome se svetlost fokusira. S obzirom da su ćelije retine modifikovane nervne ćelije, one nemaju moć regeneracije – jednom uništene, nikada se više ne mogu obnoviti. Prirodni svetlosni izvori su najčešće dovoljno slabi i u normalnim okolnostima retko izazivaju bilo kakve neželjene efekte.Sa pojavom lasera, kao svetlosnih izvora veoma usmerenog zračenja, stvari su se značajno izmenile. Upad laserske svetlosti u oko dovodi do fokusiranja zračenja u tačku mikronskih dimenzija i postizanja velike gustine energije. Kakvi su ukupni efekti zavisi od upadne energije i talasne dužine svetlosti, kao i od toga da li je u pitanju laserski impuls ili kontinuirani snop. Oslobodjena energija može biti tako velika da ošteti tkiva, a u slučaju oka oštećenja mogu biti nepovratna. Sveobuhvatnost primene lasera dovela je do neophodnosti proučavanja bioloskih efekata svetlosti i pronalaženje tehnika za sigurnu upotrebu laserskih uredjaja.

2. Klasifikacija laserskih izvora na osnovu njihovog dejstva na čoveka

Delovanje laserskog zračenja zavisi od vrste tkiva ali i od načina dovodjenja laserskog zračenja, talasne dužine svetlosti kao i od energije i snage. Na veoma malim fluencama efekti su najčešće zanemarljivi, a ponekad mogu imati i terapeutsko dejstvo. U tom pogledu postoji direktni, netermalni, efekat svetlosti na unutarćelijske procese. Sa povećanjem energije i snage svetlost biva prevedena u toplotu, koja dovodi do povećanja temperature tkiva i može uzrokovati koagulaciju belančevina i razaranje.
Biomedicinski efekti laserske svetlosti se mogu namerno koristiti u terapijske svrhe (laserska litotripsija [1], laserska fotodinamička terapija [2], laserski skalpel [3], lasersko uklanjanje karijesa [4]). U ovom slučaju, zračenje se dovodi u kontrolisanim uslovima, pa su efekti predvidivi i mogu se dozirati.
Sa druge strane, efekti laserskog zračenja kod slučajnog izlaganja se ne mogu tačno odrediti, ali je moguća njihova procena. Da bi se unapred znalo kakvi se efekti mogu očekivati, laserski uredjaji su klasifikovani po nivou zdravstvenog rizika (tabela 1). Klasifikacija je data u standardu Medjunarodne elektrotehničke komisije (International Electrotechnical Comission - IEC) [5].

Tabela 1. Klasifikacija laserskih uredjaja po stepenu rizika

Klasa	Bezbedno	Nebezbedno
1	Produženo posmatranje direktnog laserskog snopa	
1M	Posmatranje laserskog snopa golim okom	Posmatranje kroz optički instrument
2	Slučajni upad direktnog laserskog snopa, čak i kroz optički instrument	Namerno posmatranje laserskog snopa (duže od 0.25 s)
2M	Slučajni upad direktnog laserskog snopa	Namerno posmatranje laserskog snopa (duže od 0.25 s) ili slučajan upad snopa kroz optički instrumenta
3R	Kao kod klasa 2 i 1 ali zavisno od talasne dužine	Kao klase 2 i 1 ali zavisno od talasne dužine. Nešto povećan rizik kod dužeg izlaganja
3B	Posmatranje difuzno rasejanog zračenja i izlaganje kože	Slučajno izlaganje oka direktnom laserskom snopu
4	Izvan odredjene zone	Slučajno izlaganje oka ili kože direktnom ili difuznom zračenju.

Kada je u pitanju oko, mnogo preciznije je moguće odrediti rizik na osnovu grafika prikazanih na slici 1. Na njima je dato kako maksimalno dozvoljeno izlaganje oka (Maximum Permissible Exposure - MPE) zavisi od vremena izlaganja (ekspozicije) i talasne dužine laserske svetlosti. Napomenimo da se ovde gustina energije meri u nivou rožnjače ljudskog oka. Kao što se vidi sa grafika 1b) postoje talasne dužine (posebno se ističe oblast oko 1500 nm) na kojima je moguća znatno veća ekspozicija oka bez štetnih posledica. Laseri koji rade o ovakvim opsezima često se nazivaju bezbednim za ljudsko oko (eye-safe).

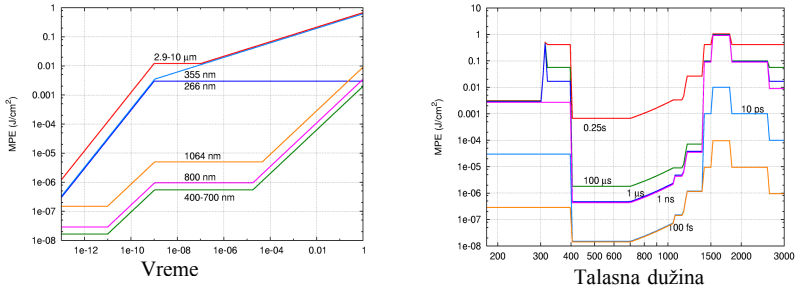
3. Zaštitaokaodlaserskogzračenja

Zaštita se svodi na smanjivanje intenziteta laserskog zračenja do bezopasnog nivoa. U tom pogledu koriste se različite mere: od zabrane pristupa, upozoravajuće svetlosne i zvučne signalizacije, panoa koji blokiraju laserski snop, zamki za lasersko zračenje, pa do upotrebe ličnih zaštitnih sredstava – pre svega posebnih naočara sa zaštitnim filterima.

Naočare predstavljaju efikasnu metodu zaštite ali se mora voditi računa o nekoliko faktora. Kakva je talasna dužina zračenja, kolika je očekivana gustina energije u rizičnoj zoni, da li se zahteva atenuacija zračenja donivoa na kome se ono više ne vidi ili do nivoa koji je bezopasan za oko ali dovoljan za podešavanje laserskog sistema. Takodje, mora se obezbediti dobra vidljivost u delu spektra van oblasti talasnih dužina lasera (radi lakog kretanja i manipulacije).

I ova oblast je regulisana odgovarajućim standardima Evropskog komiteta za standardizaciju (ECN). Postoje dva standarda: jedan koji reguliše opštu materiju zaštite od lasera [6] i drugi koji definiše uslove zaštite kod podešavanja lasera i laserskih sistema [7].

4. Novi materijal za zaštitu od laserskog zračenja

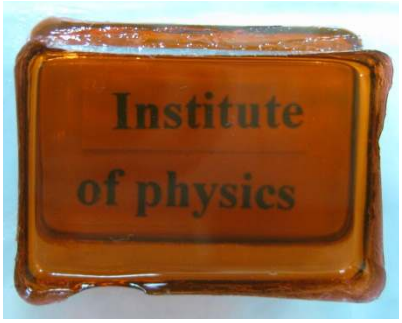


Slika 1. Maksimalno dozvoljeno izlaganje (MPE), mereno na rožnjači oka, u funkciji vremena izlaganja laserskom zračenju (sa talasnom dužinom kao parametrom) i talasne dužine (sa vremenom izlaganja kao parametrom).

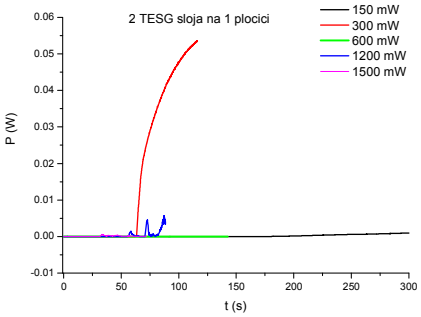
Najveći broj savremenih zaštitnih naočara koristi plastične apsorpcione filtere. Zaštita se zasniva na apsorpciji u filteru i prevodjenju svetlosne energije u toplotnu. S obzirom da oslobodjena toplota može biti veoma značajna, postoji mogućnost topljenja plastike, naročito u slučaju upada direktnog snopa svetlosti. Topljenje je nekontrolisano i dovodi do razaranja materijala i prolaska svetlosti.

Mi smo razvili novi tip materijala (slika 2a) kod kojeg je proces topljenja u dobroj meri kontrolisan i dovodi do formiranja malog rasipnog sočiva na površini filtera. Materijal za ovakvu vrstu zaštite je veoma jeftin i sastoji se od želatina u koji je dodata odgovarajuća organska boja, kao i plastifikator. Boja obezbedjuje dobru apsorpciju laserskog zračenja, a plastifikator omogućava kontrolisano topljenje i formiranje mikrosočiva.
Filter za zaštitu se sastoji od dva sloja izmedju kojih je transparentni sloj plastike (slika 2a). Kod upada direktnog laserskog snopa, prvi sloj se topi uz formiranje malog rasipnog sočiva. Zbog toga se snop širi tako da je na drugom apsorpcionom sloju gustina energije mnogo manja, a topljenje sloja mnogo sporije. Time se produžava vreme tokom koga je intenzitet propuštene svetlosti u bezbednim okvirima.

Pri veoma velikim snagama svetlosti zaštitni sloj nakon izvesnog vremena počinje da se karbonizuje, stvarajući veoma tamnu oblast koja slabo propušta svetlost.Time se dodatno štiti oko od prodora svetlosti kroz zaštitni filter. Na slici 2b je prikazan grafik intenziteta propuštenog direktnog laserskog snopa u funkciji vremena. Vidi se da je zaštita adekvatna tokom prvih 50 sekundi, čak i od laserskog snopa snage 1.5 W - u standardima [6] i [7] zahteva se 10 sekundi efikasne zaštite.



a)



b)

Slika 2. a) Izgled zaštitnog sloja, b) Propuštena snaga laserskog zračenja u fukciji vremena

5. Zaključak

U radu smo ukazali na značaj bioloških efekata laserskog zračenja kao i na naophodnost zaštite pri upotrebi velikog broja laserskih uredjaja. Pokazali smo da je važno pridržavati se važećih medjunarodnih standarda, jer u protivnom posledice mogu biti veoma ozbiljne. Razvili smo novi tip materijala koji se ne zasniva samo na apsorpciji svetlosti, već i na njenom rasipanju i smanjivanju gustine energije koje stiže do oka.

Izražavamo zahvalnost Ministarstvu za prosvetu i nauku koje je finansiralo ova istraživanja kroz projekte ON171038 I III45016.

6. LITERATURA

[1] M. Sofer, J. D. Watterson, T. A. Wollin, L. Nott, H. Razvi and J. D. Denstedt. Holmium: YAG Laser Lithotripsy for Upper Urinary Tract Caliculi in 598 Patients. *The Journal of Urology*.167 (2002) 31-34.

[2] M. Alexiades-Armenakas. Laser-mediated photodynamic therapy. *Clinics in Dermatology*. 24 (2006) 16 – 25.

[3] S. Amini-Nik, D. Kraemer, M. L. Cowan, K. Gunaratne, P. Nadesan, B. A. Alman, R. J. D. Miller. Ultrafast Mid-IR Laser Scalpel: Protein Signals of the Fundamental Limits to Minimally Invasive Surgery. *PLOS One*.5 (2010) e13053.

[4] J. Hadley, D. A. Young, L. R. Eversole, and J. A. Gornbein.A Laser-Powered Hydrokinetic System for Caries Removal and Cavity Preparation.*J Am Dent Assoc.* 131 (2000) 777-785.

[5] IEC/EN 60825-1:2001. Safety of laser products Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.

[6] EN 207:2009. Personal eye-protection equipment - Filters and eye-protectors against laser radiation (laser eye-protectors).

[7] EN 208:2009. Personal eye-protection - Eye-protectors for adjustment work on lasers and laser systems (laser adjustment eye-protectors).

ABSTRACT

LASER RADIATION PROTECTION

Dejan PANTELIĆ, Branka MURIĆ and Darko VASILJEVIĆ
Institut za fiziku, Beograd, Srbija, pantelic@ipb.ac.rs

We have presented the effects of laser radiation on human organism, with special emphasize on eye as the most sensitive organ. It was pointed-out that there are many parameters that should be taken into account when determining the level of protection from laser light. In that respect it is important to be aware of international standards that regulate this area. In addition, we have described a new material which efficiently protects human eye, by formation of microlens and carbonization.

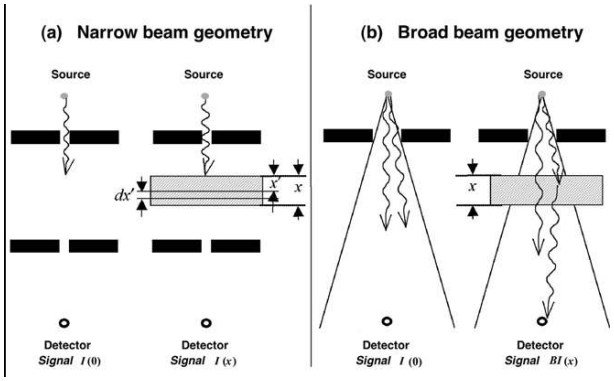
EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE ATENUACIONIH SVOJSTAVA PLOČASTIH MATERIJALA NA BAZI GIPSA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI

Predrag BOŽOVIĆ, Dragana ČEKEREVAC i Olivera CIRAJ-BJELAC
Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija, bozovic@vinca.rs

SADRŽAJ
Cilj ovog rada je da se u uslovima karakterističnim za dijagnostičku radiologiju, a koristeći geometriju uskog i širokog snopa X-zračenja standardnog kvaliteta, odrede atenuaciona svojstva pločastog materijala na bazi gipsa. Na osnovu merenja transmisije određena su atenuaciona svojstva – ekvivalent olova, faktor nagomilavanja i faktor slabljenja. Iz rezultata se može videti da je ovakav gipsani materijal pogodan za korišćenje kao zaštitni materijal u određenim stomatološkim primenama i mamografiji gde se koriste niski naponi na X-cevima.

1. Uvod

Funkcija zaštitnih barijera jeste smanjenje intenziteta primarnog i sekundarnog zračenja na nivo koji je prihvatljiv za stanovništvo i profesionalno izložena lica. Za izračunavanje debljinje zaštitnih barijera koriste se različite metode i tehnike (*British Institute of Radiology* i *National Commission for Radiological Protection*). S obzirom da slabljenju intenziteta snopa X-zračenja doprinose dominantno fotoelektrični i Komptonov efekat, atenuaciona svojstva moraju biti određena za svaki materijal ponaosob. NCRP u izveštaju 49[1] predlaže da građevinski materijali na bazi minerala sa sastavom sličnim betonu mogu da se koriste u zaštiti od zračenja.



Slika 1. Geometrija uskog i širokog snopa

2. Materijali i metode

Ispitivani materijal su Knauf Safeboard K762 gipsane ploče[6] čija je dodatna karakteristika zaštita od zračenja. Korišćene su ploče dimenzija (101x101x12.6) mm za geometriju uskog snopa i dimenzija (503x503x12.6) mm za geometriju širokog snopa.
Kao izvor X-zračenja korišćen je rendgen-aparat Phillips MG320, napona 30-320 kV, kojim su generisani ISO standardni kvaliteti snopova za napone 60, 70, 80, 90, 100, 120 i 150 kV. Atenuacija X-zračenja kroz različite debljine materijala je određena merenjem kerme u vazduhu jonizaiconom komorom Magna A650 aktivne zapremine 3 cm^3 sa

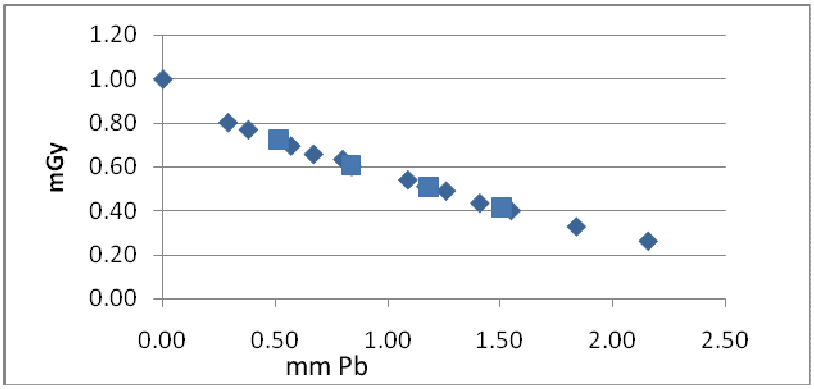
elektromerom PTW Unidos. Na osnovu merenja transmisije određena su atenuaciona svojstva (ekvivalent olova, faktor nagomilavanja i faktor slabljenja) u skladu sa standardom Međunarodne elektrotehničke komisije IEC 61331-1:2001[2]. Za formiranje širokog snopa korišćen je par blendi sa otvorima prečnika 5 mm i 6 mm, a za uzak snop prečnici su bili 2 mm i 3 mm. Atenuaciona svojstva su određivana za različit broj ploča (1-4 ploče).

Ekvivalent olova je debljina čistog olova koje bi, pod određenim uslovima, dalo isto slabljenje zračenja kao i materijal čiji se ekvivalent određuje. Ekvivalent olovo se određuje merenjem jačine kerme u vazduhu za materijal koji se ispituje i upoređivanjem sa debljinom sloja olova dobijenog istom vrednošću jačine kerme. Faktor nagomilavanja može se opisati kao odnos efekta koji proizvodi ukupno zračenje koje pogađa metu iza apsorbera i efekta primarnog zračenja preostlaog nakon prolaska kroz apsorber. Određuje se prema jednačini:

$$B = \frac{K_t}{cK_i} \tag{1}$$

Faktor slabljenja se definiše izrazom:

$$F = \frac{K_D}{K_i} \tag{2}$$



Slika 2.Atenuaciona kriva za određivanje ekvivalenta olova. Napon na X-cevi je 150kV

3. Rezultati

Atenuacione krive za olovo i ispitivani materijal na osnovu kojih je određena vrednost ekvivalenta olova za 150 kV prikazanesunaslici 2. Tabela 1 sadrži vrednosti ekvivalenta olova za različite vrednosti napona X-cevi i različit broj ploča. Faktor slabljenja je prikazan u tabeli 2, a tabela 3 sadrži faktor nagomilavanja. Tačke označene romboidima na slici 2 predstavljaju atenuacionu krivu snimljenu olovnim filtrima, dok tačke označene kvadratima predstavljaju ekvivalent olova za dati broj ploča određen presekom atenuacione krive i vrednosti jačine kerme u vazduhu za dati broj ploča. Korekcioni faktor za računanje faktora nagomilavanja prema jednačini (1) je c=1.66. Struja na X-cevi je bila 10 mA u svim merenjima.

Tabela 1. Ekvivalent olova (mm Pb)

Broj ploča	Napon						
	60kV	70kV	80kV	90kV	100kV	120kV	150kV
1	0.46	0.75	0.84	0.93	0.80	0.61	0.51
2				1.82	1.57	1.20	0.84
3					2.51	1.68	1.18
4						2.25	1.51

Tabela 2. Odnos slabljenja

Broj ploča	Napon						
	60kV	70kV	80kV	90kV	100kV	120kV	150kV
1	290	217	121	65	41	18	9
2				1255	432	100	28
3					3233	402	73
4						1438	172

Tabela 3. Faktor nagomilavanja

Broj ploča	Napon						
	60kV	70kV	80kV	90kV	100kV	120kV	150kV
1	1	1.56	1.58	1.54	1.26	1.25	1.17
2				1.50	1.64	1.28	1.24
3					1.33	1.28	1.28
4						1.22	1.43

4. Zaključak

Ispitivani materijal je bio na bazi gipsa. Ispitivanja su vršena prema standardu Međunarodne elektrotehničke komisije IEC 61331-1:2001. Iz rezultata se može videti da je ovakav gipsani materijal pogodan za korišćenje kao zaštitni materijal u primenama gde se koriste niski naponi X-cevi kao što su stomatologija i mamografija. Nije pogodan kao primarni zaštitni materijal u velikim postrojenjima i pri visokim naponima. Razlog tome je što je već za 150 kV potrebno postaviti četiri ploče (čija je ukupna debljina 50 mm) čiji olovni ekvivalent iznosi svega 1.5 mm, te bi za neku halu u kojoj bi se primenjivali visoki naponi bila potrebna velika količina ovakvog materijala.

5. Literatura

[1]National Council on Radiation Protection and Measurements. Shielding Materials. In: *Structural shielding design end evaluation for medical use of X-rays and gamma rays of energies up to 10MeV*, Report 49. Washington, DC: NCRP, 1976:10-11,88

[2]International Electrotechnical Commission. *Protective devices against diagnostc medical X-radiation – Part 1: Determination of attenuation properties of materials*, IEC 61331-1, IEC, Geneva, 1994

[3]Benjamin R. Archer, T.R. Ferwell, B.J. Conway, P.W. Quinn, *Attenuation propertis of diagnostics X-ray shielding materials*, Medical Physics Vol. 21 No 9, September 1994.

[4]Sharon A. Glaze, Nicholas J. Schneiders, Stewart C. Bushong, *Use of Gypsum Wallboards for Diagnostic X-ray Protective Barriers*, Health Physics Vol. 36 (May) pp. 587-593, 1979.
[5]Ralph C. Christensen, Joseph A. Sayeg, *Attenuation Characteristics of Gypsum Wallboard*, Health Physics Vol. 36 (May) pp. 595-600, 1979.
[6] Knauf Safeboard K762 tehničko uputstvo 03/2010

ABSTRACT

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ATTENUATION PROPERTIES OF GYPSUM BASED PLATE MATERIALS FOR RADIATION PROTECTION IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Predrag BOŽOVIĆ, Dragana ČEKEREVAC and Olivera CIRAJ-BJELAC
Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija, bozovic@vinca.rs

The purpose of this paper was to determine the attenuation properties of gypsum based plate materials in conditions characteristic for diagnostic radiology using narrow and broad beam geometry. Attenuation properties – lead equivalent, build-up factor and attenuation factor were determined by measuring the transmission. The results show that this gypsum material is suitable as protection material in some dental applications and mammography, where low X-tube voltage is applied.

RADIJACIONI DEFEKTI USLED APSORPCIJE GAMA ZRAČENJA U TITANIJUMSKIM LEGURAMA

Srboljub J. STANKOVIĆ[1*], Radovan D. ILIĆ[1], Miloš ŽIVANOVIĆ[1], Boris LONČAR[2], Miloš DAVIDOVIĆ[1], Aleksandra MILENKOVIĆ[1]
1) Institut za nuklearne nauke "VINČA", Beograd, Srbija
2) Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija
[*]srbas@vinca.rs

SADRŽAJ
Legure titanijuma su vremenom pronašle brojne primenei u tehnologijama koje su vezane kako za industriju, tako i za programe istraživanja u radijacionom okruženju. Kako je izmedju ostalog, X-zračenje važan deo i kosmičkog zračenja, u ovom radu su sprovedene numeričke simulacije transporta fotona kroz različite materijale od titanijumskih legura u cilju razmatranja veze izmedju broja radijacionih defekata i apsorbovane energije gama zračenja. Korišćen je softver FOTELP-2K10 za Monte Karlo simulacije transporta fotona za određivanje apsorbovane energije zračenja u titanijumskim uzorcima. Numerički rezultati pokazuju izraženu zavisnost apsorpcije zračenja od različitih kombinacija komponenata u leguri. Rezultati dobijeni na ovaj način su značajni kada je u pitanju optimizacija strukture legura u cilju poboljšanja njihovih svojstava koja se odnose na zaštitu od jonizujućeg zračenja.

1. Uvod

Razvoj modernih nuklearnih nauka i tehnologije u oblasti nuklearne energetike, kao i dalji proboji u istraživanju kosmičkog zračenja su u mnogome ograničeni istraživanjima metalnih materijala namenjenih za razne funkcionalne primene. Ove primene zahtevaju pouzdanost tokom eksploatacije, ekonomsku efikasnost i minimalani mogući uticaj na životnu sredinu. Uspešna realizacija ovih zahteva u mnogome zavisi od primene metala i legura okarakterisanih visokom otpornošču na zračenje i ubrzanog opadanja indukovane radioaktivnosti [1]. Uspešna implementacija legura u praksi zavisi od sposobnosti da se proširi spektar njihove primene, a da se pritom racionalno smanje troškovi koliko god je to moguće. Da bi se ovo postiglo, neophodno je da se omogući razvoj, ispitivanje i proizvodnja legiranih metalnih komponenti različitog oblika i minijaturnih dimenzija. Pri tome, iskristalo se mišljenje da je od posebnog značaja ispitivanje karakteristika TiAl legure [2]. Primera radi, u tom cilju je razvijena metoda radioskopske detekcije u realnom vremenu kao nedestruktivan test preciznih varova od titanijumskih legura sa kompleksnom strukturom. Pozicija malih defekata je određena tako što su analizirani snimci detekcije varova X-zračenjem i geometrijski odnosi komponenata preciznih varova, pa se razmatrala formula koja omogućava izračunavanje distribucije defekata po dubini materijala [3].

Mehanički delovi koji su napravljeni od titanijumske legure Ti-13Nb-13Zr su idealni za ugradnju u savremenim funkcionalnim sistemima koji se koriste u radijacionom kosmičkom okruženju pre svega zbog kombinacije velike specifične čvrstoće na sobnoj i blago povišenoj temperaturi i odlične otpornosti na koroziju. Pored ovoga upotreba titanijumskih legura u motorima i konstrukcijama vazduhoplova je ograničena cenom[4]. Da bi se u legurama bolje predvidela segregacija radijacionih defekata izazvanih zračenjem, razvijaju se složeni modeli koji u osnovi koriste energije interakcije parova mikročestica, energije struktura i lokalne atomske konfiguracije radi izračunavanja

difuzionih parametara i distribucije radijacionih defekata[5]. Stoga su u ovom radu sprovedene numeričke simulacije transporta fotona kroz različite materijale od titanijumskih legura u cilju razmatranja veze izmedju broja radijacionih defekata i apsorbovane energije gama i X-zračenja.

2. Teorija

Kada atom u metalu ili leguri u interakciji sa pokretnom česticom primi energiju jednaku ili veću od neke granične vrednosti E_T (reda veličine 20 eV do 40 eV), atom biva dislociran iz svoje pozicije u kristalnoj rešetci. U zavisnosti od kinetičke energije primarno izbijenog atoma E_K, koja je uglavnom određena tipom i intenzitetom upadnog zračenja, potom prirodom ozračene mete, kao I kristalografskim pravcem i uglom pod kojim je došlo do sudara, mogu se javiti razne konfiguracije i strukture radijacionih defekata. Postoji mogućnost pojavljivanja izolovanih tačkastih defekata - vakancija i intersticija (Frenkelovih parova), ali i prostornih zona oštećenja karakterisanih vrlo komplikovanim strukturama defekata. Defekti koji su nastali u elementarnoj interakciji čestica sa materijom obično spadaju u primarne radijacione defekte. Potonja kinetička evolucija radijacionih oštećenja unutar strukture je određena procesima prostornog preklapanja zapremina primarnih oštećenja i/ili difuzijom slobodno migrirajućih tačkastih defekata. Teorijska analiza stvaranja primarnih radijacionih defekata se izvodi pomoću dva različita pristupa: izračunavanjem uz korišćenje jednostavne teorije binarnih sudara i modifikovanog Kinčin - Pis (Kinchin - Pease) modela, kao i kompjuterskim modelovanjem na osnovu molekularno dinamičkog modela[1].

U okviru postavki teorije binarnih sudara, ukupni broj Frenkelovih parova (F_p) stvorenih kada upadne čestice energije E_{IN} predaju energiju E_k primarno dislociranim atomima dat je jednačinom (1):

$$F_{\mathrm{P}}(E_{\mathrm{IN}}) = \int_{E_{\mathrm{T}}}^{E_{\mathrm{MAX}}} \mathrm{d}E_{\mathrm{K}} \frac{\mathrm{d}\sigma(E_{\mathrm{IN}}, E_{\mathrm{K}})}{\mathrm{d}E_{\mathrm{K}}} F_{\mathrm{P}}(E_{\mathrm{K}}). \qquad (1)$$

U jednačini (1), $d\sigma(E_{IN},E_K)/dE_K$ je diferencijalni efikasni presek za transfer energije primarno dislociranom atomu od strane čestice sa energijom u opsegu od E_k do $E_k + dE_k$. Nadalje, $F_p(E_k)$ je broj Frenkelovih parova stvoren preko izbijenih atoma sa energijom u navedenom opsegu, dok je E_T je granična energija dislociranja, i E_{MAX} je maksimalna energija koju čestica može preneti primarno dislociranom atomu.

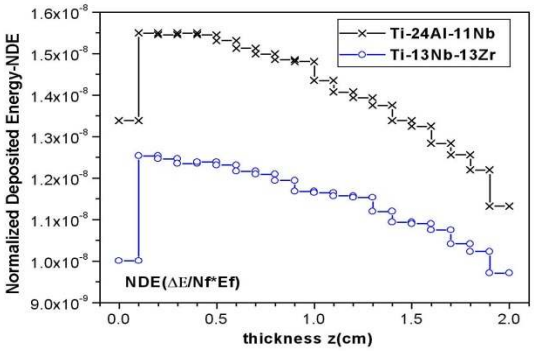
Kako postoji funkcionalna zavisnost maksimalne energije E_{MAX} i apsorbovane energije zračenja to se za definisanu geometriju i materijalni sastav uzorka legure postavlja problem izračunavanja distribucije deponovane energije zračenja u uzorku legure. U našem slučaju sproveden je proračun promene deponovane energije zračenja u elementu zapremine ($\Delta E_D/\rho S\Delta z$ u jedinicama MeV cm^2/g) uzorka legure sa gustinom ρ i površinom poprečenog preseka S u ravni koji je normalna na izabrani preferentni pravac duž z-ose. Ovim pristupom, radijacioni defekti kojima se utvrdjuju karakteristike legura kao apsorbera zračenja su definisane preko makroskopske veličine - deponovane energije u elementarnoj zapremini uzorka legure sa odredjenom masom, odnosno preko aporbovane energije zračenja.

U našim numeričkim eksperimentima, pratio se transport fotona gama zračenja kroz materijal uzorka u formi paralelopipeda dimenzija 2 cm x 2 cm x 2 cm. Materijalni sastavi uzorka metesu bile sledeće titanijumske legure: legura Ti-24Al-11Nb sa 64% Ti, 24% Al, 11% Nb i 1% V; i legura Ti-13Nb-13Zr sa 62,65% Ti, 22,09% Nb, 15,26% Zr. Odgovarajuća geometrijska forma uzorka legure je definisana u skladu sa zahtevima

softvera FOTELP-2K10 koji koristi RFG modul za opis geometrijske konfiguracije ozračivanja uzorka[6][7].
Numerički proračun apsorbovane doze zračenja, odnosno deponovane energije zračenja usled transporta fotona, elektrona i pozitrona kroz uzorak legure su izvršavani pomoću softverskog paketa FOTELP-2K10[6][7]. Ovaj softverski paket za specijalne namene je razvijen za sprovodjenje numeričkih eksperimenata na bazi metode Monte Karlo za rešavanje praktičnih i teorijskih problema transporta čestica jonizujućeg zračenja kroz izabrane materijale u oblastima dozimetrije i zaštite od zračenja, proučavanja radijacionih oštećenja, za planiranje radijacione terapije, u radiološkoj dijagnostici, za dizajniranje elektronskih komponenti i naprava, kao i u drugim važnim tematikama od naučno-tehničkog i tehnološkog značaja. Monte Karlo kodom u okviru softverskog paketa FOTELP-2K10 prati se, preko numeričkih simulacija, transportna istorija fotona, elektrona i pozitrona kroz materijalne zone posmatranog uzorka. Matematički aparat kojim se opisuje fizički model je složen, tako da se u pojednostavljenom opisu, u osnovnim stavkama, sastoji u sledećem. U toku svoje istorije, čestice gube energiju u sudarima, a sekundarne čestice se stvaraju u skladu sa verovatnoćom njihovog pojavljivanja. Istorija čestica se prati od rasejanja do rasejanja na atomskom nivou, koristeći pritom odgovarajuću inverznu distribuciju između dva sudara, tip mete, tip sudara, tip sekundarnih čestica u sudaru, kao i njihove energije i uglove rasejanja, da bi se generisala trajektorija čestice. Uopšteno, prilikom interakcije fotona sa materijalom razmatraju se koherentno rasejanje, nekoherentno rasejanje, fotoelektrična apsorpcija, produkcija parova pozitron-elektron, kao i doplerovo širenje kod Komptonovog rasejanja. Pored ovoga, primenjeni Monte Karlo metod se koristi i za simulaciju pozitrona i elektrona kao sekundarnih čestica. Istorije sekundarnih čestica uključuju zakočno zračenje i pozitron – elektron anihilaciju. Elektron (ili pozitron) gubi energiju putem neelastičnih elektron – elektron (e^-, e^-) i elektron – pozitron (e^-, e^+) sudara i preko zakočnog zračenja. Problem fluktuacija gubitka energije je rešen pomoću Landauove ili Blank – Vestfalove distribucije sa 9 Gausijana. Sekundarni fotoni koji prate uz istoriju transporta elektrona i pozitrona, iznova se uključuju sa svojim istorijama u kojima se razmatraju produkcija parova, Komptonov i fotoelektrični efekat. Sekundarni pozitroni, nastali kao posledica produkcije parova, su takođe uključeni u proračun. Uzimajući u obzir aktuelne podatke vezane za interakciju čestica sa atomima Monte Karlo simulacija elektrona i pozitrona je proširena tako da tretira atom- jon relaksaciju posle fotoefekta, kao i sudarne jonizacije. Verodostojnost fizičkog modela kojim se opisuje priroda transportnih procesa čestica se poboljšava tako što se koriste najbolji dostupni efikasni preseci za sve tipove interakcija[8], kao i vrlo brze rutine unutar softvera za uzorkovanje nasumičnih vrednosti iz njihovih raspodela. Na taj način se u datom momentu utvrdjuje i koristi najkompletniji fizički model za opisivanje transporta i produkcije foton/elektron/pozitron kaskade od 100 MeV sve do 1 keV.

3. Rezultati i diskusija

U numeričkim eksperimentima, snop fotona pada duž ose koja je normalna na ravan prednje strane uzorka legure. Distribucija deponovane energije duž uzorka, je proračunata Monte Karlo simulacijom upadnog zračenja koje emituje ^{60}Co, sa fotonima koji imaju energiju 1.25 MeV. Simulacije su izvršene sa jednim milionom transportnih istorija incidentnih fotona.



Slika 1. Normalizovane vrednosti deponovane energija u funkciji debljine uzoraka za incidentni broj fotona po jednoj simulaciji $N_f = 10^6$, i energiju fotona $E_f = E_{IN}$ = 1,25 MeV.

Na slici 1.su prikazane distribucije deponovane energije duž materijalne zone uzorka za dve različite legure titanijuma. Uzimajući u obzir da je uticaj zračenja veći na Ti-24Al-11Nb nego na Ti-13Nb-13Zr, može se očekivati pod datim uslovima i da je ukupni broj radijacionih defekata u formi Frenkelovih parova veći kod legure sa aluminijumom nego kod legure sa cirkonijumom.

4. Zaključak

U radu su uz pomoć FOTELP-2K10 koda sprovedene numeričke simulacije interakcija snopa fotona gama zračenja sa uzorcima od titanijumskih legura različitog sastava. Razmatrana je relacija kojom se može odrediti ukupni broj radijacionih defekata u formi Frenkelovih parova koji nastaju kada upadne čestice predaju energiju primarno dislociranim atomima materijala mete. Pritom je odredjena distribucija deponovane energije zračenja duž materijalne zone uzorka tako da se ovim pristupom može sprovoditi karakterizacija titanijumskih legura kao apsorbera zračenja. Numerički rezultati pokazuju izraženu zavisnost osobina aporbera zračenja od kombinacija komponenata u leguri. Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnosti i prednosti ovakvog pristupa u sprovodjenju metoda analize i optimizacije strukture legura, koji imaju za cilj poboljšavanje osobina relevantnih za njihovo korišćenje u okruženju sa povećanom radijaciom.

5. Reference

[1] L.I. Ivanov, Yu.M. Platov, Radiation Physics of Materials and its Applications, Cambridge (UK) 2004.
[2] D. Banerjee, MRS Bull. 26, No.3, (2001)
[3] T. Gang, D.H. Shi, Y. Yuan, S.Y. Yang, J.Phys., Conf.Series 48, 1341 (2006).
[4] V.A.R. Henriques, P.P. de Campos, C.A.A. Cairo, J.C. Bressiani, Mater. Res. 8, 443 (2005).
[5] T.R. Allen, G.S. Was, Acta Mater. 46, 3679.
[6] FOTELP-2K6, Photons, Electrons and Positrons Transport in 3D by Monte Carlo Techniques, IAEA-1388, http://www.nea.fr/tools/abstract/detail/iaea1388 .
[7] FOTELP-2K10, http://www.vinca.rs/%7Erasa/doc/FOTPEN10.PDF
[8] XCOM: Photon Cross Sections Database, (2010), http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html

ABSTRACT

RADIATION ABSORPTION CHARACTERISTICS OF TITANIUM ALLOYS

Srboljub J. STANKOVIĆ[1*], Radovan D. ILIĆ[1], Miloš ŽIVANOVIĆ[1], Boris LONČAR[2], Miloš DAVIDOVIĆ[1], Aleksandra MILENKOVIĆ[1]

1) Institut za nuklearne nauke "VINČA", Beograd, Srbija

2) Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

[*]srbas@vinca.rs

Titanium alloys have found numerous applications in space research, and nuclear industry and research.Since X-rays constitute an important part of the space radiation environment, numerical simulations of radiationabsorption characteristics of titanium alloys were studied in this paper. The photon transport Monte Carlosoftware was used for determining the energy deposited in titanium samples. The numerical results show thepronounced dependence of radiation absorption properties of different combinations of components in alloy. Theresults obtained are encouraging in respect of optimization of structure of alloys regarding their required features in radiation shielding.

RADIOEKOLOGIJA

MODUL ZA PROCENU EKVIVALENTNE DOZE INTERNOG I EKSTERNOG IZLAGANJA U MATEMATIČKOM MODELU ZA RASPROSTIRANJE RADIONUKLIDA KROZ GRANIČNI SLOJ ATMOSFERE U OKOLINI NUKLEARNOG OBJEKTA

Zoran GRŠIĆ, Snežana PAVLOVIĆ, Milan ORLIĆ i Ivan KNEŽEVIĆ
JP Nuklearni objekti Srbije, Vinča,Srbija, grsa@vinca.rs

SADRŽAJ
*U radu je prikazan modul za proračun ekvivalentne doze internog i eksternog izlaganja, koji je sastavni deo matematičkog modela atmosferske disperzije radionuklida. Rezultati dobijeni modelom za disperziju radionuklida kroz granični sloj atmosfere, koji je razvijen za kontrolu okoline nuklearnog reaktora RA u JP „Nuklearni objekti Srbije" upoređeni su sa vrednostima iz IAEA publikacij*e *[2].Zbog malih razlika dobijenih razultata u odnosu na preporučen model IAEA, prikazani matematički model sa modulom za dozu, može se koristiti kao podloga za analize uticaja nuklearnog objekta na okolinu preko vazduha, kao najbržeg i najopasnijeg puta kontaminacije.*

1. Uvod

U praksi, koncentracije radionuklida/aktivnosti u graničnom sloju atmosfere u zoni uticaja nuklearnih objekata prate se monitoring mrežom sa ograničenim brojem diskretnih tačaka. Međutim u ovakvom pristupu problemu određivanja njihovih koncentarcija, neophodan je i deo koji proizilazi iz matematičkih modela razne komplesksnosti. Modeliranje je neophodno i za procene uticaja u akcidentalnim situacijama, a naročito u pripremnim fazama.U ovom radu matematičkim modelom smatra se matematička šema-algoritam, kojom se na osnovu podataka o izvoru, na osnovu meteoroloških podataka, podataka o karakteristikama tla i fizičko hemijskim karakteristikama radionuklida, dobijaju prostorno-vremenska polja koncentracija aktivnosti.

Matematički model koji je razvijen za kontrolu okoline nuklearnih objekata u JPNuklearniobjektiSrbije, ima module za rutinsku i akcidentalnu emisiju, module za računanje atmosferske stabilnosti, efektivne visine izvora, suve i mokre depozicije, modul za resuspenziju sa tla vetrom i modul za dozu. Model komunicira sa ulaznim meteorološkim podacima u realnom vremenu, a krajnji rezultat mu je ekvivalentna doza za stanovništvo usled internog i eksternog izlaganja.

2. Matematički model atmosferske disperzije

Za rutinsku emisiju, koristi se matematički model atmosferske disperzije "Gausov pravolinijski model dimne perjanice", (Gaussian straight line plume model) uskladu sa dokumentima IAEA, USNRC i WMO. U osnovi modela leži jednačina:

$$C(x,y,z,t)=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left(-\frac{1}{2}\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right]+\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right]\right\} \qquad (1)$$

gde je: $C(x,y,z,t)$ koncentracija aktivnosti u vazduhu (Bq/m^3), Q jačina izvora (Bq/s), H efektivna visina izvora ili visina horizontalne ose perjanice (m), σ_y,σ_z standardne devijacije u bočnom i vertikalnom pravcu (m) i u srednja brzina vetra na efektivnoj visini dimnjaka (m/s).

Za akcidentalne emisije, koristi se model diskretnih zapremina zagađujuće materije, tzv. puff pristup. Bez obzira što se u ovom slučaju problem određivanja polja koncentracija aktivnosti komplikuje, jer se kao ulaz zahteva prostorna raspodelu meteoroloških podataka i njihov češći dotok, bar na jedan minut, krajnji rezultat je isti kao u prethodnom slučaju_prostorno vremenska raspodela koncentracija aktivnosti. Na malim rastojanjima od izvora, kada se ne radi o kompleksnoj konfiguraciji terena, polazi se od konzervativne pretpostavke da se mogu koristiti meteorološki parametri izmereni samo na lokaciji izvora.

3. Modul za procenu interne i eksterne doze

Interna doza, doza inhalacije računa se iz brzine udisanja vazduha posmatrača, koncentracije aktivnosti u vazduhu i koeficijenta doze inhalacije za posmatrani radionuklid:

$$D_{inh} = g_{inh} \cdot C(x,y,z,t) \cdot V_{br} \qquad (2)$$

gde je: g_{inh}dozni koeficijent inhalacije za posmatrani radionuklid (Sv/Bq), $C(x,y,z,t)$ koncentracija aktivnosti u vazduhu (Bq/m^3) i V_{br} brzina udisanja vazduha za odraslog posmatrača, u radu je uzeta brzina udisanja 1.2 (m^3/h).

Doza spoljašnjeg ozračivanja za posmatrača obavijenog radioaktivnim oblakom, računa se na sličan način kao doza inhalacije:

$$D_{obl} = g_{obl,r} \cdot C(x,y,z,t) \qquad (3)$$

gde je : $g_{obl,r}$dozni koeficijent spoljašnjeg ozračivanja od oblaka radionuklida r, ($Sv \cdot m^3/(Bq \cdot s)$)

Tabela 1. Vrednosti g_{inh} , $g_{obl,r}$ i $g_{b,r}^{>17a}$ za odraslu populaciju [1].

Dozni koeficijenti	**$^{137}C_s$**	**$^{90}S_r$**	**^{60}Co**	**^{152}Eu**
Inhalacija Sv/Bq	**$4.6e^{-9}$**	**$3.6e^{-8}$**	**$1.0e^{-8}$**	**$5.3e^{-8}$**
Oblak $Sv \cdot m^3/(Bq \cdot s)$	**$2.55e^{-14}$**	**9.83e-17**	**$1.19e^{-13}$**	**$5.75e^{-14}$**
Depozicija $Sv \cdot m^2/(Bq \cdot s)$	**$5.51e^{-16}$**	**$1.64e^{-18}$**	**$2.3e^{-15}$**	**$1.17e^{-15}$**

Doza spoljašnjeg ozračivanja od ukupno deponovane radioaktivnosti na tlu, koju bi posmatrač primio od svoje 18. do 70. godine života računa se prema modelu:

$$D_{tot} = \left[(1-\vartheta)\cdot g_{b,r}^{\rangle 17a} + \left(1-\vartheta^{52}\right)\cdot b\cdot g_{b,r}^{\rangle 17a}\right]\cdot \frac{1}{\lambda_r}\cdot\left(Dry_{dep,r} + Wet_{dep,r}\right)$$

(4)

$$\vartheta = \exp\left(-\lambda_r \cdot t_1\right) \qquad (5)$$

gde je: $t_1$vremenski period od 1 godine (s), $\lambda_r$koeficijent raspada za radionuklid r , $(1/s)$, $g_{b,r}^{\rangle 17a}$ dozni koeficijent depozicije za stanovnika starijeg od 17 godina, za r radionuklid $(Sv\cdot m^2/(Bq\cdot s))$, $Dry_{dep,r}$suva depozicija za r radionuklid(Bq/m^2), $Wet_{dep,r}$mokra depozicija za radionuklid r , (Bq/m^2) i $b$bezdimenzionalni koeficijent.

Radi ilustracije u tabeli 1, date su vrednosti g_{inh} , $g_{obl,r}$i $g_{b,r}^{\rangle 17a}$ za ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{60}Co i ^{154}Eu za odraslu populaciju.

Ukupna dozadobija se kao suma doze inhalacije, doze od oblaka i doze od suve i mokre depozicije.

$$D_{tot} = D_{inh} + D_{obl} + Dry_{dep} + Wet_{dep} \qquad (6)$$

4. Rezultati

Matematički model za procenu rasprostiranja radionuklida kroz granični sloj atmosphere u okolini nuklearnog objekta, u koji je ugrađen i modul za procenu interne i eksterne doze za hipotetičkog odraslog posmatrača, proveren je računskim eksperimentom koriščenjem zadatih ulaznih podataka iz publikacije IAEA [2].U pripremi navedene publikacije, dat je opis algoritma za proračun doze usled rasprostiranja radionuklida kroz atmosferu, tokom dekomisije jednog istraživačkog reaktora, koju bi primio posmatrač na zadatom rastojanju od izvora. U dokumentu su dati podaci za emisiju navedenih radionuklida, na osnovu kojih je proveren model za rasprostiranje radionuklida. Radionuklidi se u ovom eksperimentu, emituju u atmosferu iz izvora zadate visine od 15m, a procenjuje se da bi u atmosferu IAEA [2], u toku jedne godine bila emitovana aktivnost u jedinici vremena, po radionuklidu (jačina izvora), prema sledećoj tabeli:

Tabela 2. Jačina izvora po radionukldu (brzina emisije)

	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{154}Eu	
Jačina izvora	0.95	0.003	0.06	0.03	Bq/s

Suva depoziciju je modelirana primenom modela nagnute perjanice sa zadatom vrednošću za brzinu suve depozicije $v_s = 0.694\, ms^{-1}$. Pretpostavlja se da vetar duva konstantnom brzinom od $2ms^{-1}$ sa zapada, a

da je kontrolna tačka na rastojanju 500m niz vetar od izvora i na visini 2m iznad tla, pri klasi stabilnosti F.
Na osnovu ovih ulaznih podataka dobijeni su sledeći rezultati, na osnovu kojih se određuju unutrašnje i spoljašnje doze ozračivanja, koji su upoređeni sa rezultatima prikazanim u pomenutom IAEA dokumentu:

Tabela 3. Koncentracija aktivnosti na 2m iznad tla, po radionuklidu

	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{154}Eu	
Modelirano	4.8E-04	1.5E-06	3.0E-05	1.5E-05	Bq/m^3
IAEA dokument	4,8E-04	1,6E-06	3,2E-05	1,6E-05	Bq/m^3

Tabela 4. Suva depozicija aktivnost po radionuklidu za godinu dana

	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{154}Eu	
Modelirano	154.2	0.49	9.74	4.87	Bq/m^2
IAEA document	174	0.6	12	6	Bq/m^2

Rezultati dobijeni poređenjem sa vrednostima u IAEA [2], pokazuju da se disperzionimodel prikazan u ovom radu, zbog malih razlika u odnosu na preporučeni model u navedenom dokumentu [2], može koristiti kao osnova za analize uticaja nuklearnog objekta na okolinu. Disperzioni model je proširen modulom za internu i eksternu dozu, jer su izlazne veličine iz disperzionog modela, koncentracija aktivnosti u vazduhu i njena suva i mokra depozicija, direktne ulazne veličine za dobijanje interne i eksterne doze prikazanim algoritmom za modeliranje doze.

5. Zaključak

Matematičkimodeliatmosferskedisperzijeradionuklidakrozgraničnislojatmosphere, u čijemsastavujemodulzaizračunavanjedozezračenjasuosnovazaprocenuuticajanuklearnogo bjektanaokolinuovimputemkontaminacije, apremamađunarodnimpreporukamakomplementarnisusamonitoringmrežamakojeseuspos tavljajuunjegovojzoniuticaja.

6. Literatura

[1] Helth Canada, (1999): Recommendations on Dose Coefficients, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/dose/index-eng.php

[2] IAEA (2007):Safety Assessment for Decommissioning of a Research Reactor, (*Test case B of the DeSa Project*), (Draft 3.0), IAEA SAFETY REPORT SERIES, IAEA (2007).

ABSTRACT

MODULE FOR THE ASSESSMENT OF INTERNAL AND EXTERNAL DOSE IN MATHEMATICAL MODELS FOR DISPERSION RADIONUCLIDES THROUGH THE BOUNDARY LAYER ATMOSPHERE AROUND NUCLEAR FACILITIES

Zoran GRŠIĆ, Snežana PAVLOVIĆ, Milan ORLIĆ i Ivan KNEŽEVIĆ
JP Nuklearni objekti Srbije, Vinča,Srbija,grsa@vinca.rs

This paper presents a module for calculating the equivalent dose of internal and external exposure, which is an integral part of the mathematical model of atmospheric dispersion of radionuclides. A mathematical model with module for a dose, can be used as a basis for analysis of the impact of a nuclear facility on the environment through air, as the fastest and most dangerous ways of contamination.

AKTIVNOST 14C U ATMOSFERI I BILJU U OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO 2006. – 2010.

Ines KRAJCAR BRONIĆ[1], Bogomil OBELIĆ[1], Nada HORVATINČIĆ[1], Andreja SIRONIĆ[1], Jadranka BAREŠIĆ[1], Anita RAJTARIĆ[1], Borut BREZNIK[2] i Aleš VOLČANŠEK[2]
1) Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Hrvatska, krajcar@irb.hr
2) Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija

SADRŽAJ
Monitoring ^{14}C aktivnosti u atmosferskom CO_2 i u bilju u okolici Nuklearne elektrane Krško provodi se redovito od 2006. godine. Opažen je porast ^{14}C aktivnosti u atmosferi za vrijeme i neposredno nakon remonta elektrane zbog povišenih aktivnosti ^{14}C ispuštenih u okoliš u tom razdoblju. ^{14}C aktivnost u biljkama također ovisi o vremenu remonta: ako se remont provodi u proljeće, bilje uzorkovano u ljeto i jesen te godine pokazuje nešto povećanu ^{14}C aktivnost. Prostorna raspođela ^{14}C aktivnosti određena je prevladavajućim smjerom vjetra i udaljenošću od ventilacijskog ispusta.

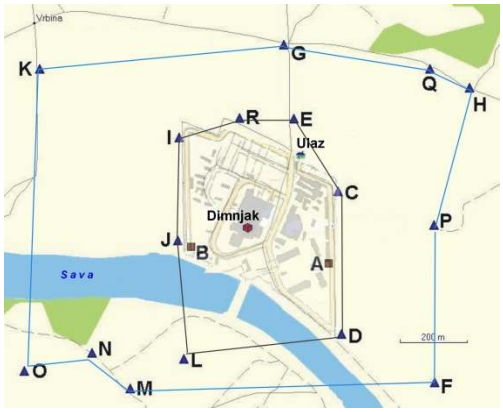
1. Uvod

Ugljik se u prirodi nalazi u obliku 3 izotopa, ^{12}C (98,9%), ^{13}C (1,1%) i ^{14}C (10^{-10}%), od kojih je jedino ^{14}C radioaktivan ($T_{½}$ = 5730 god).^{14}C nastaje interakcijom kozmičkih neutrona i dušika u visokim slojevima atmosfere, te se zajedno s ostalim izotopima

ugljika raspoređuje u atmosferi i biosferi. Ravnotežna prirodna koncentracija ^{14}C odgovara specifičnoj aktivnosti od 226 Bq/kg ugljika. Uslijed nuklearnih i termonuklearnih pokusa ova se koncentracija u šezdesetim godinama 20. stoljeća udvostručila, da bi nakon stupanja na snagu ugovora o zabrani tih pokusa u atmosferi postupno opadala, te se danas približila prirodnoj koncentraciji. Koncentracija ^{14}C u atmosferi može varirati i uslijed lokalnih faktora, npr. kao posljedica rada nuklearnih elektrana [1]. U ovom radu ćemo prikazati rezultate monitoringa ^{14}C u atmosferi i bilju u neposrednoj okolici Nuklearne elektrane Krško (NEK) u Sloveniji u petogodišnjem razdoblju, od 2006. do 2010. godine.

2. Uzorkovanje i mjerenje

Specifična aktivnost ^{14}C u atmosferskom CO_2 prati se na dvije lokacije (A i B, slika 1) unutar NEK. Integralni dvomjesečni uzorci atmosferskog CO_2 se sakupljaju apsorpcijom CO_2 u zasićenoj otopini NaOH, a dobiveni Na_2CO_3 se prevodi u benzen [2,3,4]. U periodima remonta, koji se redovito provodi svakih 18 mjeseci, i neposredno nakon njega, intervali uzorkovanja su kraći. Biološki uzorci (jabuke, pšenica, kukuruz, povremeno druge vrsta bilja) sakupljaju se dva puta godišnje na različitim udaljenostima od NEK (slika 1), kao i na kontrolnoj točki kod Dobove, 12 km jugoistočno od NEK. Biološki uzorci se nakon sušenja i karbonizacije spaljuju u struji kisika, a dobiveni CO_2 se apsorbira u smjesi Carbosorba®E i Permafluora®E [2,3,5]. Aktivnost ^{14}C mjeri se scintilacijskim brojačem *Quantulus 1220* [2,3]. Rezultati su izraženi kao specifična aktivnost ^{14}C (Bq/kg ugljika u biološkim uzorcima, odnosno mBq/m^3 u uzorcima atmosferskog CO_2), no često i kao relativna specifična aktivnost $a^{14}C$ (omjer specifičnih ^{14}C aktivnosti uzorka i atmosfere prije antropogenog utjecaja), izražena u jedinicama "postotak suvremenog ugljika" ("*percent Modern Carbon*", pMC). Prema definiciji, 100 pMC odgovara 226 Bq/kgC, odnosno 46 mBq/m^3 zraka, uz pretpostavku da je koncentracija CO_2 u zraku 384 ppmV [6].



Slika 1. Položaj lokacija za sakupljanje uzoraka. Atmosferski CO_2 na A i B; Bilje na C, D, E, I, J, L i R (unutarnji krug) i F, G, H, K, M, N, O, P i Q (vanjski krug).

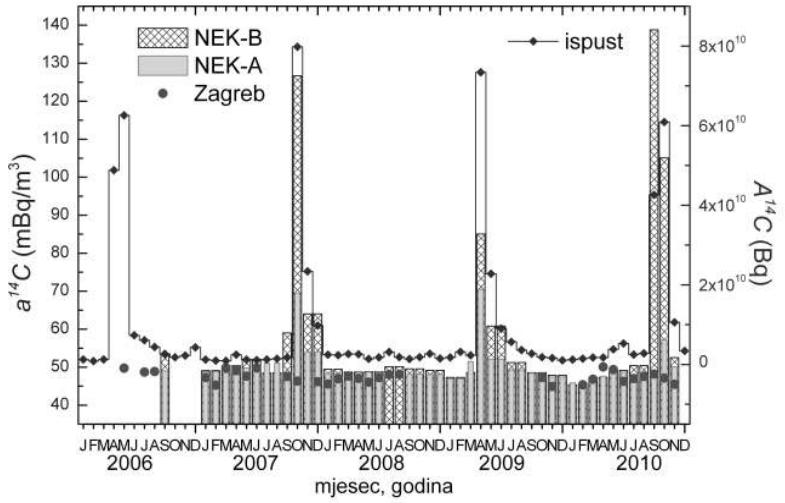
3. Rezultati – atmosfera

Na slici 2. prikazana je koncentracija ^{14}C aktivnosti u atmosferskom CO_2 na lokacijama A i B unutar NEK i u Zagrebu. Također su te vrijednosti uspoređene i sa ^{14}C aktivnošću izmjerenom u ventilacijskom otvoru ("dimnjaku") elektrane [7] i pokazuje se odlično

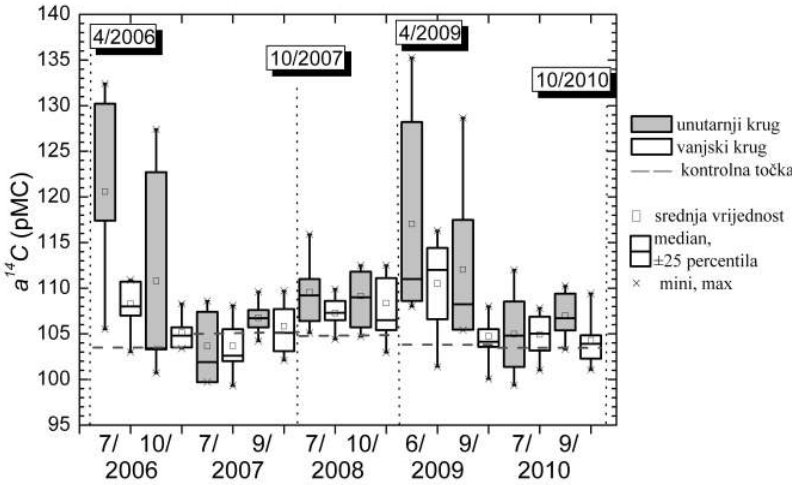
slaganje ispuštene ^{14}C aktivnosti za vrijeme remonta elektrane i koncentracije ^{14}C aktivnosti u atmosferi. Na lokaciji B je gotovo redovito zamijećena viša aktivnost, budući da se ona nalazi u smjeru izraženijih vjetrova. Tri do četiri mjeseca nakon remonta aktivnosti ^{14}C padaju na svoje uobičajene vrijednosti, a može se procijeniti da je vrijeme poluživota ^{14}C u atmosferi oko 1,5 mjeseci. Srednje vrijednosti $a^{14}C$ u atmosferskom CO_2 u godinama kada je obavljan remont (2007., 2009. i 2010.) kreću se između 48,66 mBq/m^3 i 51,88 mBq/m^3 na lokaciji A, odnosno 54,92 mBq/m^3 i 61,92 mBq/m^3 na lokaciji B. Godine 2008., kada nije bilo remonta, te su vrijednosti bile 48,07 mBq/m^3 (A) i 49,17 mBq/m^3 (B), što predstavlja jedva vidljivo povišenje u odnosu na vrijednosti izmjerene u Zagrebu (47,66 mBq/m^3 u 2007, 47,06 mBq/m^3 u 2008. i 47,33 mBq/m^3 u 2010.), u kojem je moguć i efekt smanjenja aktivnosti ^{14}C u atmosferi zbog izgaranja fosilnih goriva tijekom zime [1].

4. Rezultati – bilje

Zbirni rezultati ("box-plot") za sva dosad provedena uzorkovanja prikazani su na slici 3. Posebno su prikazani rezultati za unutarnji i vanjski krug, te za kontrolnu točku u Dobovi. Srednja aktivnost $a^{14}C$ za cijelo razdoblje 2006. – 2010. u unutarnjem krugu je viša (110,7 pMC) nego u vanjskom krugu (106,5 pMC) i na kontrolnoj točki (104,0 pMC). Povišene aktivnosti $a^{14}C$ opažene su u biološkom materijalu koji za fotosintezu koristi CO_2 iz atmosfere u razdoblju za vrijeme i nakon remonta obavljenog neposredno prije vegetacijskog perioda (u proljeće 2006. i 2009.).



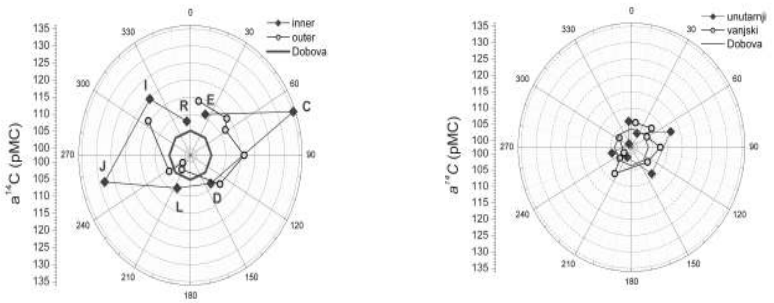
Slika 2. Koncentracija aktivnosti ^{14}C ($a^{14}C$) u atmosferskom CO_2 na lokacijama A i B i u Zagrebu (lijeva ordinata). ^{14}C aktivnost ($A^{14}C$) u ispustu elektrane [7] (desna ordinata).



Slika 3. $a^{14}C$ u bilju iz unutarnjeg i vanjskog kruga NEK i na kontrolnoj točki za razdoblje 2006. – 2010. Okomitim linijama označen je mjesec provođenja remonta.

Na slici 4 prikazana je prostorna raspođela $a^{14}C$ u bilju za dva tipična uzorkovanja: 30.6.2009., neposredno nakon proljetnog remonta, te 6.7.2010., prije jesenskog remonta. Prostorna raspođela ^{14}C aktivnosti u bilju (maksimalne izmjerene $a^{14}C$ vrijednosti na lokacijama C i J) u skladu je s prevladavajućim SW-NE smjerom vjetrova. Uočavaju se povišene ^{14}C aktivnosti nakon proljetnog remonta 2009. godine, a u godini bez proljetnog remonta ^{14}C aktvnosti su slične onima u Dobovi.

6/2009 **7/2010**



Slika 4. Prostorna raspođela $a^{14}C$ u bilju u okolici NEK u ljetnom uzorkovanju nakon proljetnog remonta (lijevo), te kad nema proljetnog remonata (desno).

5. LITERATURA

[1] I.Krajcar Bronić, B. Obelić, N. Horvatinčić, J. Barešić, A. Sironić. ^{14}C aktivnostu okolišu: atmosfera i biosfera. *Arh Hig Rada Toksikol* 61 (2010) Suppl.: 81-88.

[2] I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, J. Barešić, B. Obelić. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. *Appl Radiat Isotop* 67 (2009) 800-804.
[3] N. Horvatinčić, J. Barešić, I. Krajcar Bronić, B. Obelić B. Measurements of low ^{14}C activities in a liquid scintillation counter in the Zagreb Radiocarbon Laboratory. *Radiocarbon* 46 (2004) 105-116.
[4] J. Barešić, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka u obliku benzena u tekućinskom scintilacijskom brojaču. In: V. Garaj-Vrhovac, N. Kopjar and S. Miljanić S, eds. *Proc. 6th Symp. of the Croatian Radiation Protection Association*, pp. 158-163, Stubičke Toplice, Croatia, 18-20 April 2005. CRPA, Zagreb.
[5] J. Barešić, I. Krajcar Bronić, N. Horvatinčić, B. Obelić. Mjerenje niskih ^{14}C aktivnosti uzoraka pripremljenih metodom apsorpcije CO_2. *Proc. 5th Symp. of the Croatian Radiation Protection Association*, pp. 267-272, Stubičke Toplice, Croatia, 9-11 April 2003. CRPA, Zagreb.
[6]ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_annmean_gl.txthttp://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html (provjera 22.02.2011.)
[7] V. Stibilj, B. Svetek, Z. Trkov, A. Volčanšek, B. Breznik. Measurement of ^{14}C activity in exhaust air at the Krško Nuclear Power Plant. In: I. Krajcar Bronić, N. Kopjar, M. Milić and G. Branica, eds. *Proc. 8th Symp. of the Croatian Radiation Protection Association*, pp. 341-346, Krk, Croatia, 13-15 April 2011. CRPA, Zagreb.

ABSTRACT

^{14}C ACTIVITY IN THE ATMOSPHERE AND IN PLANT FROM THE VICINITY OF THE NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO 2006 – 2010

Ines KRAJCAR BRONIĆ[1], Bogomil OBELIĆ[1], Nada HORVATINČIĆ[1], Andreja SIRONIĆ[1], Jadranka BAREŠIĆ[1], Anita RAJTARIĆ[1], Borut BREZNIK[2] and Aleš VOLČANŠEK[2]

1) Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia, krajcar@irb.hr

2) Krško Nuclear Power Plant, Krško, Slovenia

Monitoring ^{14}C activity in the atmospheric CO_2 and in biological samples (apples, corn, wheat and grass)in the close vicinity of the Krško Nuclear Power Plant (NPP) has been regularly performed since 2006 to estimate the possible influence of the plant on environmental ^{14}C levels. Atmospheric CO_2 was collected regularly every two months, while the biological samples were collected twice a year (in June/July and September/October) on several locations within a radius of about 1 km from the Krško NPP, as well as on the control point at Dobova, 12 km from the plant.

Increase of ^{14}C activity in atmospheric CO_2 was observed during and immediately after the refueling of the power plant, which has been performed every 18 months.^{14}C activities in plants from the vicinity of NPP are always higher than those at the control point, and depend both on the distance from the exhaust of the plant ventilation system and on the prevailing wind direction. Higher ^{14}C activities measured in plants if the refueling was performed in spring, while autumn effluents did not significantly influence the ^{14}C activity in plants.

RADIOAKTIVNOST UZORKA SEDIMENTA JONSKOG MORA

Ivana VUKANAC, Aleksandar KANDIĆ, Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Bojan ŠEŠLAK i Igor ČELIKOVIĆ

Institut za Nuklearne Nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija vukanac@vinca.rs

SADRŽAJ

U radu su predstavljeni rezultati merenja aktivnosti gline-sedimenta sa obale ostrva Krfa, u severnom delu Jonskog mora, uzorkovane tokom 2010. godine. Merenja su izvršena na poluprovodnickom HPGe spektrometru i na osnovu specifičnih aktivnosti obračunata je godišnja efektivna doza koja potiče od prisustva prirodnih radionuklida ^{238}U, ^{232}Th *i* ^{40}K.

1. Uvod

Ostrvo Krf je drugo po veličini, od Jonskih ostrva. Leži u Jonskom moru, koje je deo Sredozemnog mora, a na severu se spaja sa Jadranskim. Krf je ostrvo izduženog oblika, sa površinom od 579 km² i nalazi se na 39° 20´ - 39° 50´ s. g. š. i 19° 40´ - 20° 10´ i. g. d.Obala je razuđena i pravi brojne male zalive, poluostrva, zemljouze. Povećavanjem površine mora, Krf je pre oko 9000 godina odvojen od kopna, te za razliku od većine južnijih Jonskih ostrva nema vulkansko poreklo.

Mediteranski basen karakteriše nizak nivo padavina i visoka evaporacija, što rezultuje akumulacijom kontaminata, pa i radioaktivnih, kako u morskoj vodi tako i u sedimentu. Određivanje nivoa radioaktivnosti i procena izloženosti u ovom području bilo je predmet izučavanja mnogih studija [1-3]. Rezultati saopšteni u ovom radu predstavljaju mali doprinos relevantnoj bazi podataka.

2. Materijal i metode

Glina-sediment je uzorkovana na krajnjem severozapadu ostrva Krf na lokalitetu poznatom po glini lekovitih svojstava, zapadno od mesta Sidari. Na slici 1. prikazan je lokalitet, kao i pojavna struktura uzorkovane gline-sedimenta. Velika posećenost prikazanog lokaliteta i terapijski tretman ovom glinom nameću sami po sebi pitanje o nivou zračenja kojima su ljudi izloženi u datim okolnostima.

Priprema uzorka obuhvatala je mehaničko sitnjenje u avanu, prosejavanje i sušenje na 105 ^{o}C preko noći. Tako pripremljen materijal uzorka upakovan je u Marineli posudu od 500 ml. U cilju uspostavljanja radioaktivne ravnoteže uzorak je zatopljen i nakon šest nedelja meren na poluprovodničkom HPGe detektoru. Gamaspektrometrijski merni sistem sastojao se od HPGe detektora, (ORTEC, GEM-30) relativne efikasnosti 30 %, rezolucije 1.8 keV na 1332.5 keV; olovne zaštite domaće izrade i debljine 15 cm i standardne elektronike. Gamaspektrometrijska metoda merenja uzoraka iz okoline postavljena je u skladu sa međunarodnim preporukama [4]. Gustina uzorka bila je 1.1 g/cm^3, pa je u analizi korišćena eksperimentalno dobijena kriva efikasnosti za matriks približno iste gustine. Korišćena kriva zavisnosti efikasnosti od energije dobijena je pomoću radnog standarda napravljenog spajkovanjem matriksa zemlje sa standardnim rastvorom mešavine radionuklida [5]. Spektri su snimani i analizirani pomoću softvera Genie2K, vršena je korekcija na fon i mrtvo vreme, dok je proračun specifičnih aktivnosti pojedinih radionuklida vršen pomoću programa Mathematica 5.0,

Wolfram research. Vreme merenja bilo je 415000 s, a dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 1.
U cilju određivanja radiološkog rizika, zbog prisustva prirodnih radionuklida ^{238}U, ^{232}Th i ^{40}K, izračunata je brzina apsorbovane doze, *D*, i godišnja efektivna doza u skladu sa preporukama datim u [5]. Brzine apsorbovane doze, na visini od 1 m od površine tla, *D*, računata je pomoću formule:

$$D = f_U\, C_U + f_{Th}\, C_{Th} + f_K\, C_K\,, \qquad (1)$$

gde su C_U, C_{Th} i $C_K$specifične aktivnosti u Bq/kg, a f_U, f_{Th} i f_K korišćeni konverzioni faktori sa vrednostima: 0.462 (nGy/h)/(Bq/kg) za ^{238}U, 0.604 (nGy/h)/(Bq/kg) za ^{232}Th i 0.0417 (nGy/h)/(Bq/kg) za ^{40}K. Izračunata vrednost data je u Tabeli 1.

3. Rezultati merenja

Specifične aktivnosti pojedinih radionuklida u merenom uzorku prikazani su u Tabeli 1. Merna nesigurnost, data na nivou poverenja 1σ, dobijena je primenom nesigurnost pri određivanju krive efikasnosti. Brzina apsorbovane doze, računata pomoću formule (1), data je u Tabeli 1. U skladu sa dobijenim rezultatom, godišnja efektivna doza iznosi 0.413 mGy/god.

Tabela 1. Specifične aktivnosti gama emitera u merenom sediment i jačina apsorbovane doze

Radionuklid	Specifična aktivnost [Bq/kg]	Jačina doze [nGy/h]
^{214}Bi	20.1 ± 1.4	47.13
^{214}Pb	22.2 ± 1.6	
^{210}Pb	< 5	
^{235}U	1.3 ± 0.2	
^{226}Ra	21.6 ± 1.4	
^{238}U	27.2 ± 4.5	
^{212}Bi	22.0 ± 1.7	
^{212}Pb	20.3 ± 1.5	
^{228}Ac (^{232}Th)	22.8 ± 1.6	
^{208}Tl	7.2 ± 0.5	
^{40}K	495 ± 35	
^{137}Cs	0.14 ± 0.04	
^{227}Th	1.4 ± 0.24	

Slika 1. Mesto uzorkovanja i izgled gline-sedimenta.

4. Diskusija i zaključak

Izmerene vrednosti specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida i izračunata vrednost brzine apsorbovane doze, u skladu su sa vrednostima dostupnim u literaturi za oblast Mediterana. U prirodnim serijama, (uranovoj, torijumovoj i aktinijumovoj) očuvana je vekovna ravnoteža. Niske aktivnosti ^{137}Cs i ^{210}Pb ukazuju na odsustvo zagađenja, a verovatno predstavljaju i rezultat prirodnog spiranja morskim strujanjima u ovom priobalnom području.

5. Zahvalnica

Ovaj rad je urađen je u okviru projekta 171018 koje finansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije.

6. LITERATURA

[1] B. Petrinec, Z. Franić, N. Leder, C. Tsabaris and T. Bituh. Gamma radiation and dose rate investigations on the Adriatic islands of magmatic origin. Radiation Protection Dosimetry. *139 No.4* (2010) 551–559.

[2] H. Florou and P. Kritidis. Gamma radiation measurements and dose rate in the coastal areas of a volcanic island, Aegean Sea, Greece. Radiation Protection Dosimetry. *45 No.1/4* (1992) 277–279.

[3] H. Florou, N. Evangeliou and P. Kritidis. Article in proceedings. In: *International Symposium on Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems, and Climate Change Studies,* 27 March -1 April 2011, Monaco. http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/other/157%20EVANGELIOU%20N.%20(P).pdf.

[4] IAEA, 1989. Measurements of Radionuclides in Food and Environment, A Guidebook. Technical Reports Series No. 295, Vienna.

[5] CMI (Czech Metrological Institute), 2005. Radioactive Standard Solutions, ER 25. ER X.

[6] Sources and Effects of Ionising Radiation. United Nations, New York., UNSCEAR, Source and effects of ionizing radiations. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF THE IONIAN SEA SEDIMENT

Ivana VUKANAC, Aleksandar KANDIĆ, Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Bojan ŠEŠLAK and Igor ČELIKOVIĆ

Institute of Nuclear Sciences "Vinča", University of Belgrade, Belgrade, Serbia vukanac@vinca.rs

Measured specific activities in the clay-sediment sample originated from the Corfu island in the north part of the Ionian sea are presented in this paper. Samples were took during the 2010, and measured by means of semiconductor HPGe spectrometer. Using the measured specific activities, the annual effective dose, due to presence of ^{238}U, ^{232}Th i ^{40}K, was calculated.

VIŠE BILJKE KAO BIOMONITORI RADIONUKLIDA U URBANOM VAZDUHU

Jelena AJTIĆ[1], Dragana TODOROVIĆ[2], Dragana POPOVIĆ[1] i Jelena NIKOLIĆ[2]

1) Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs, draganap@vet.bg.ac.rs

2) Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Laboratorija za Zaštitu od zračenja i Zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, beba@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati analize dve vrste listopadnog drveća, lipe (Tilia tomentosa L. i Tilia cordata Mill.) i kestena (Aesculus hippocastanum L.), kao mogućih biomonitora radionuklida ^{210}Pb i ^{7}Be u vazduhu. Studija je sprovedena tokom 2002. – 2009. godine, u tri parka na području Beograda. Aktivnosti ^{210}Pb i ^{7}Be u uzorcima lišća i aerosola su određene na HPGe detektoru standardnom metodom spektrometrije gama zračenja. Značajne razlike u aktivnostima između mernih lokacija i vrsta drveća nisu uočene, odakle se može zaključiti da je uticaj mikro klime, nivoa zagađenja i fizioloških karakteristika tipova drveća na akumulaciju radionuklida u lišću zanemarljiv. Aktivnosti radionuklida u lišću i u aerosolima su korelisane koristeći linearne Pirsonove koeficijente. Kako lišće lipe daje informaciju o istoriji aktivnosti ^{210}Pb u vazduhu, ono se može koristiti kao biomonitor ovog radionuklida. Za aktivnosti ^{7}Be u lišću i u vazduhu nisu dobijene značajne pozitivne korelacije.

1. Uvod

Biljke imaju važnu ulogu u transportu i distribuciji radionuklida, teških metala i drugih zagađivača. Usvajanje i akumulacija radionuklida od strane biljaka je složen proces koji, pored morfološko-fizioloških karakteristika biljke, osobina zemljišta i mikro klimatskih uslova [1,2], zavisi i od puteva kontaminacije. Radionuklidi mogu da se deponuju na lišće i druge delove biljke iz vazduha, ili biljka može da ih usvoji kroz korenov sistem. Iako više biljke nisu tako pogodni biomonitori kao mahovine ili lišajevi, u urbanim sredinama one ih mogu zameniti [3,4,5].

Jedni od najznačajnijih radionuklida u vazduhu su ^{7}Be i ^{210}Pb. Berilijum-7 (period poluraspada 53,28 dana) nastaje u procesu interakcije kosmičkih zraka sa lakim elementima u gornjim slojevima troposfere i nižim slojevima stratosfere [6]. Varijacije srednjih godišnjih koncentracija ^{7}Be u vazduhu ukazuju na promene intenziteta kosmičkih zraka, dok su sezonske varijacije u korelaciji sa procesima izmene vazdušnih masa između statosfere i troposfere [7,8]. Olovo-210 (period poluraspada 22,3 godine) je efikasan pokazatelj procesa u površinskom sloju vazduha iznad kopnenih površina, jer je produkt raspada prirodnog gasa radona koji nastaje raspadom ^{238}U iz zemljine kore [1,8]. Depozicija ^{210}Pb zavisi od godišnjeg doba i geografskog položaja [9], a povišene jesenje koncentracije su posledica pojačane emanacije radona iz zemljišta [7].

U cilju ispitivanja mogućnosti korišćenja viših biljaka kao biomonitora za ^{210}Pb i ^{7}Be, aktivnosti ovih radionuklida su merene u različitim uzorcima iz životne sredine.

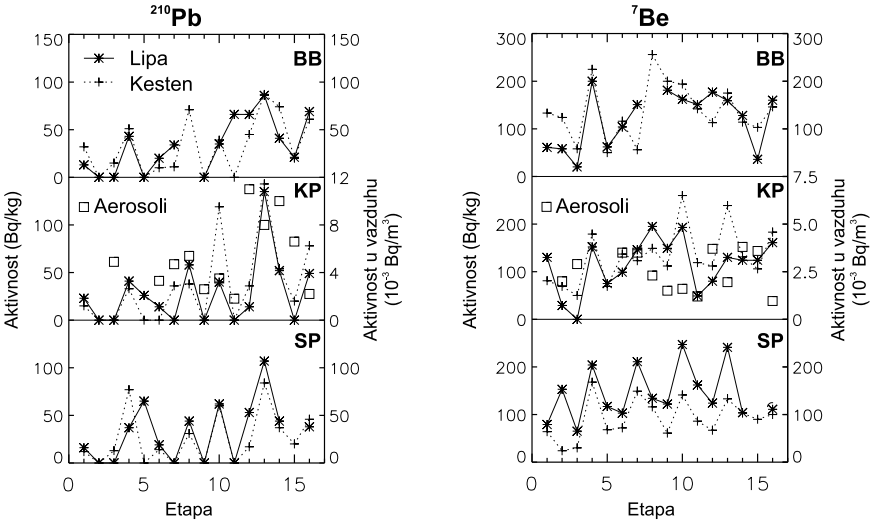
2. Materijal i metode

Lišće viših biljaka, lipe (*Tilia tomentosa* L.i*Tilia cordata* Mill.)i kestena (*Aesculus hippocastanum* L.),je sakupljeno u 16 etapa, tokom proleća (6 etapa), leta (2 etape) i jeseni (8 etapa). Uzorci, 5 – 10 listova iz krošnje sa visine oko 2 m iznad zemlje, su prikupljeni u tri parka u Beogradu: Botanička bašta (BB), Karađorđev park (KP) i Studentski park (SP). Uzorci aerosola su prikupljeni u neposrednoj blizini lokacije Karađorđev park pomoću pumpe konstantnog protoka, pozicionirane 1 m iznad zemlje, i FILTRAK/WHATMAN41/DDR filter papira.

Aktivnost radionuklida je određena na HPGe detektoru (Ortec, relativne efikasnosti 23%) standardnom metodom spektrometrije gama zračenja [10].

3. Rezultati i diskusija

Na slici 1 su date aktivnosti ^{210}Pbi ^{7}Be izmerene u lišću lipe i kestena sa tri lokacije u Beogradu. Korelacije između aktivnosti radionuklida na mernim lokacijama, kao i između aktivnosti u lišću lipe i kestena, su kvantifikovane pomoću linearnih Pirsonovih koeficijenata korelacije (*r*). U oba slučaja su dobijeni koeficijenti korelacije veći od 0,5 što ukazuje na zanemarljiv uticaj lokalnih uslova (npr., mikroklima i nivo zagađenja namernim lokacijama) i fizioloških karakteristikabiljaka, na akumulaciju radionuklida u lišću.

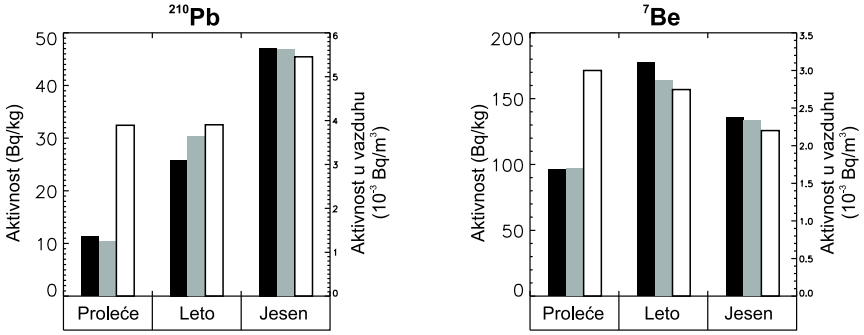


Slika 1. Aktivnosti ^{210}Pb i ^{7}Be u lišću lipe (puna linija) i kestena (isprekidana linija) i u aerosolima (kvadrati) na lokacijama: BB (gore), KP (sredina) i SP (dole) tokom 16 etapa (2002 – 2009).

Sezonske varijacije aktivnosti radionuklida u lišću i u vazduhu su date na slici 2. Od proleća do jeseni, aktivnosti ova dva radionuklida se razlikuju i u lišću i u aerosolima.

Aktivnost ^{210}Pb u lišću se povećava tokom sezone rasta i dostiže najvišu vrednost u jesen, i prati sezonsku varijaciju u vazduhu [10]. Sa druge strane, aktivnost ^{7}Be u lišću je najveća u letnjim mesecima, dok u vazduhu ima maksimum u proleće [11]. Dobijene sezonske aktivnosti radionuklida u biljkama se ne slažu u potpunosti sa rezultatima drugih studija, u kojima je za oba radionuklida dobijen ili letnji minimum [12] ili rast od proleća do jeseni [13].

Aktivnosti radionuklida u lišću i u vazduhu su korelisane pomoću linearnih Pirsonovih koeficijenata korelacije. Razmotrena su dva slučaja. U prvom je posmatrana korelacija aktivnosti u lišću i u vazduhu za taj isti mesec. Umerena pozitivna korelacija je u ovom slučaju dobijena samo za aktivnosti ^{210}Pb u vazduhu i u lišću lipe. U drugom slučaju, međutim, gde je aktivnost u lišću korelisana sa srednjom vrednošću aktivnosti u vazduhu tokom prethodnih meseci (počevši od meseca marta koji je uzet kao početak sezone rasta), dobijena je značajna korelacija za aktivnosti ^{210}Pb u vazduhu i u lišću lipe (r = 0,56) i nešto slabija za aktivnosti u lišću kestena (r = 0,31). U ovom slučaju za aktivnosti ^{7}Be nisu dobijene značajne pozitivne korelacije, jer akumulacioni efekat za ^{7}Be, zbog njegovog kratkog vremena poluraspada, nije izražen tokom sezone rasta.



Slika 2. Srednje sezonske vrednosti aktivnosti ^{210}Pb i ^{7}Be u lišću lipe (crna) i kestena (svetlo siva) i u aerosolima (bela) tokom 16 etapa (2002 – 2009).

4. Zaključak

Aktivnost ^{210}Pb u lišću lipe i kestena se povećava tokom sezone rasta, i dostiže maksimum tokom jeseni kada i aktivnost ^{210}Pb u vazduhu ima najvišu vrednost. U lišću lipe je, na mesečnom nivou, aktivnost ^{210}Pb u značajno korelisana sa srednjom aktivnošću ^{210}Pb u vazduhu tokom prethodnih meseci, te se lišće lipe može upotrebiti kao biomonitor ^{210}Pb u vazduhu. Aktivnost kratkoživećeg ^{7}Be u lišću dostiže maksimum tokom leta, a njegova aktivnost u vazduhu ima najvišu vrednost u proleće. Za aktivnosti ovog radionuklida u lišću i u aerosolima nisu dobijene značajne pozitivne korelacije, odakle se može zaključiti da lišće viših biljaka nije pogodno kao biomonitor ^{7}Be u vazduhu.

5. Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta „Istraživanje klimatskih promena na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje“ (43007) koji finansira Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije u okviru programa Integrisanih i interdisciplinarnih istraživanja za 2011-2014. godine.

6. Literatura

[1] A. Baeza et al. Bio-availability and transfer of natural radionuclide in a Mediterranean ecosystem. *J. Appl. Radiat. Isotop.* 47 (1996) 939–945.
[2] S. Golmakani et al. Factors affecting the transfer of radionuclides from the environment to plants. *Radiat. Protect. Dosim*. 130 (2008) 368–375.
[3] J. Koranda and W. Robison. Accumulation of Radionuclides by Plants as a Monitor System. *Environ. Health Perspect.* 27 (1978) 165–179.
[4] R. Đingova and I. Kuleff. Concentration of caesium-137, cobalt-60 and potassiuim-40 in some wild and edible palnts around the nuclear power plant in Bulgaria. *J. Environ. Radioact*. 59 (2002) 61–73.
[5] S. Sigihara et al. Seasonal variation of natural radionuclides and some elements in plant leaves. *J. Radioanal. Nucl. Chem*. 278 (2008) 419–422.
[6] D. Allen et al. An Estimate of the Stratospheric Contribution to Springtime Tropospheric Ozone Maxima Using TOPSE Measurements and Beryllium-7 Simulations. *J. Geophys. Res*. 108 (2003) doi:10.1029/2001JD001428.
[7] K. Hirose et al. Deposition behaviour of ^{210}Pb, ^{7}Be and thorium isotopes in Japan. *Atm. Environ*. 38 (2004) 6601–6608.
[8] E. Gerasopoulos et al. Low frequency variability of beryllium-7 surface concentrations over Eastern Mediterranean. *Atmos. Environ.* 37 (2003) 1745–1756.
[9] R. Arimotto et al. Influences of atmospheric transport pathways on radionuclide activities in aerosols particles from over the North Atlantic. *J. Geophys. Res.* 104 (1999) 301–321.
[10] D. Todorovic et al. Radionuclides and particulate matter in Belgrade air. In: M. A. Cato, ed. *Environment Research Trends*, pp. 271–301, Nova Science Publ., New York 2007.
[11] J. Ajtić et al. Ground level air beryllium-7 and ozone in Belgrade. *Nucl. Tech. Radiat. Protect.* 23 (2008) 65–71.
[12] S. Sugihara et al. Seasonal variation of natural radionuclides and some elements in plant leaves. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 278 (2008) 419–422.
[13] M. Pöschl et al. Seasonal and inter-annual variation of Beryllium-7 deposition in birch-tree leaves and grass in the northeast upland area of the Czech Republic. *J. Environ. Radioact.* 101 (2010) 744–750.

ABSTRACT

HIGER PLANTS AS BIOMONITORS OF RADIONUCLIDES IN URBAN AIR

Jelena AJTIĆ[1], Dragana TODOROVIĆ[2], Dragana POPOVIĆ[1] and Jelena NIKOLIĆ[2]

1) University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade, Serbia, jelena.ajtic@vet.bg.ac.rs, draganap@vet.bg.ac.rs

2) University of Belgrade, Institute Vinca, Laboratory for Environmental and Radiation Protection, Belgrade, Serbia, beba@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs

Two deciduous tree genera, linden (*Tilia tomentosa* L. and *Tilia cordata* Mill.) and chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), are analysed as biomonitors of ^{210}Pb and ^{7}Be in air. In a multiyear study (2002 – 2009), conducted in three city parks in Belgrade, the content of ^{210}Pb and ^{7}Be in samples of leaves of linden and chestnut trees, and aerosols was determined on an HPGe detector by standard gamma spectrometry. The differences seen in the radionuclides' activities across the measurement sites and between the tree

genera are not significant, suggesting that the micro climate, level of air pollution and physiological characteristics of the trees have a negligible effect on the radionuclides' activities in leaves. Linear Pearson's correlation coefficients are used to correlate the ^{210}Pb and ^{7}Be activities in aerosols and in leaves. The results show that linden could be used as a ^{210}Pb biomonitor which provides information on the recent history of exposure. No large positive correlation is found for the ^{7}Be activities in leaves and aerosols, indicating that higher plants are not a suitable biomonitor for this radionuclide.

SADRŽAJ PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA SA ISTORIJSKIH LOKALITETA U SVETU

Jelena NIKOLIĆ,Marija JANKOVIĆ, Dragana TODOROVIĆ i Nataša SARAP
Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, jnikolic@vinca.rs

SADRŽAJ
U radu su prikazani rezultati ispitivanja sadržaja prirodnih radionuklida u različitim uzorcima uzetim na istorijskim lokalitetima u Iranu, Kini, Indiji, Siriji i Jordanu. Uzorci su sadržali različite prirodne materijale korišćene u građevinarstvu i za proizvodnju predmeta lične upotrebe, kao i vodu, pesak i blato iz Mrtvog mora. Cilj ispitivanja je utvrđivanje sadržaja prirodnih radionuklida u uzorcima, računanje hazard indeksa i njihovo poređenje sa vrednostima preporučenim i izmerenim u materijalima koji su danas u upotrebi.

1. Uvod

Prirodni radionuklidi ^{226}Ra, ^{232}Th i ^{40}K su osnovni konstitutenti zemljine kore od nastanka planete. Zemlja se i dalje zagreva zahvaljujući energiji oslobođenoj u radioaktivnim raspadima dugoživećih radionuklida u jezgru. Takođe, poznato je da se ovi elementi nalaze i u sastavu stena i zemljišta na površini zemljine kore. Kao i danas, i u istorijskim vremenima, prirodni materijali kao što su glina, mermer, granit i pesak, bili su korišćeni u izgradnji objekata za stanovanje, različitih spomenika i malih artefakata. Stoga je interesantno ispitati sadržaj prirodnih radionuklida koji se nalaze u materijalim korišćenim za njihovu izradu. Tokom perioda 2008-2011. godine, u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, ispitivani su uzorci materijala sa različitih istorijskih lokaliteta u svetu. Lokaliteti su Palmira (Sirija), Petra, Mrtvo more i pustinja Vadi Ram (Jordan), Tadž Mahal (Indija) , Ši An i jezero Taihu (Kina) i Iran. Ispitivani materijali su bazaltne stene, emajl, glina, pesak, mermer, kamen peščanik i krečnjak. U ovom radu su prikazani rezultati gamaspektrometrijskih merenja ovih uzoraka i izračunati radijum ekvivalent (Ra_{eq}), jačina doze ($\dot{D}$) i eksterni hazard indeks (H_{ex})

2. Eksperimentalni deo

Uzorci su uzeti na različitim arheološkim lokalitetima: bazaltna stena koja je služila kao građevinski materijal za pustinjske dvorce (Jordan), kamen iz Palmire (Sirija), kamen i krečnjak iz Petre, pesak iz pustinje Vadi Ram, blato i pesak sa obale i voda iz Mrtvog mora (Jordan), kamen peščanik iz jezera Taihu i terakot vojnik i glina iz Kine (fabrika terakot vojnika u Ši Anu) i emajl iz Irana. Priprema uzoraka se sastojala od sušenja, mlevenja i odmeravanja u odgovarajuću geometriju merenja, odnosno plastičnu posudu od 100g. Uzorak vode pripreman je uparavanjem do zapremine od 200ml i meren u geometriji plastične boce iste zapremine [1, 2]. Uzorci su mereni odmah nakon pripreme, jer se pretpostavlja da je, s obzrom na lokacije uzorkovanja (istorijski lokaliteti, nije bilo obrade zemljišta niti značajnog pomeranja) ravnoteža prirodnih radionuklida u njima već postignuta.

Svi uzorci su mereni na HPGe detektorima relativne efikasnosti 23% i energetske rezolucije od 1.8 keV na energiji 1332 keV (^{60}Co). Spektri su analizirani korišćenjem programa GENIE 2000. Aktivnost ^{226}Ra i ^{232}Th je određena na osnovu njihovih potomaka: radijum na osnovu ^{214}Bi (609 keV, 1120 keV i 1764 keV), ^{214}Pb (295 keV i

352 keV) i torijum na osnovu ^{228}Ac (338 keV i 911 keV). Aktivnost ^{40}K je određena na osnovu njegove gama energije od 1460 keV.Sadržaj ^{235}U je određen na osnovu gama energije od 143 keV, 163 keV i 186 keV uz oduzimanje doprinosa od ^{226}Ra. Sadržaj ^{238}U je određen na osnovu njegovih potomaka ^{234}Th (63 keV) i ^{234}Pa (1000 keV). Vreme merenja uzoraka je 60 000 s. Merenje fona je obavljano neposredno pre ili posle merenja uzoraka. Relativna merna nesigurnost svih rezultata je bila do 10% .

3. Rezultati i diskusija

Rezultati merenja uzoraka dati su u Tabeli 1, dok su vrednosti radijum ekvivalenta, jačine doze i eksternog hazard indeksa dati u Tabeli 2. Iz dobijenih rezultata se vidi da je sadržaj prirodnih radionuklida u materijalima koji su korišćeni u građevinarstvu (krečnjak, kamen i bazaltna stena) manji od sadžaja koji se može naći u današnjim građevinskim materijalima. Blato i voda iz mrtvog mora pokazuju visok sadržaj kalijuma koji potiče od organskih materija nataloženih na njegovom dnu. Interesantno je primetiti da emajl iz Irana takođe ima visok sadržaj kalijuma, što je verovatno posledica nekadašnjeg procesa proizvodnje ili eventualnih nataloženih organskih materija. U mermeru iz Tadž Mahala, aktivnost prirodnih radionuklida je ispod granice detekcije.

Radium ekvivalent indeks Ra_{eq} služi za normiranje doprinosa prirodnih radionuklida ukupnoj izloženosti jonizujućem zračenju i definisan je jednakošću [3, 4]

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K \quad (1)$$

Gde su C_{Ra}, C_{Th} i C_K, specifične aktivnosti ^{226}Ra, ^{232}Th i ^{40}K respektivno u Bq/kg. U ispitivanim uzorcima, radijum ekvivalent je ispod 370 Bq/kg što je preporučena gornja granica [1].

Jačina eksterne apsorbovane doze 1m iznad tla, $\dot{D}$, je definisana kao

$$\dot{D} = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.042C_K \quad (2)$$

gde $\dot{D}$ predstavlja jačinu doze izraženu u nGy h^{-1} i C_{Ra}, C_{Th} i C_K su specifične aktivnosti ^{226}Ra, ^{232}Th i ^{40}K respektivno. U gornjoj jednačini, pretpostavlja se da su svi potomci ^{226}Ra i ^{232}Th radioaktivnoj ravnoteži sa svojim roditeljima [5, 6, 7]. Vrednost dobijenih jačina eksterne apsorbovane doze u svim uzorcima odgovara proseku u zemljama Evrope [1].

Eksterni hazard indeks, H_{ex}, je definisan sa [8]

$$H_{ex} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \quad (3)$$

gde su C_{Ra}, C_{Th} i C_K, specifične aktivnosti ^{226}Ra, ^{232}Th i ^{40}K respektivno u Bq/kg. Vrednost ovog indeksa mora biti manja od 1 (vrednost H_{ex}=1 odgovara gornjoj preporučenoj granici Ra_{eq}=370 bq/kg) da bi se uticaj radionuklida na okolinu smatrao zanemarljivim. U izmerenim uzorcima, H_{ex} je uvek manji od 1 [1].

4. Zaključak

U ovom radu su predstavljeni rezultati merenja uzoraka sa istorijskih lokacija u nekoliko zemalja sveta. Dobijene vrednosti koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida su u granicama ili ispod prosečnih vrednosti u svetu. Radijum ekvivalent, jačina eksterne apsorbovane doze i eksterni hazard indeks ne premašuju preporučene granice. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je u istorijskim vremenima izloženost jonizujućim zračenjima koja potiču od prirodnih izvora u ondašnjim građevinskim

materijalima bila manja u poređenju sa današnjim građevinskim materijale, te da se sadržaj prirodnih radionuklida može u izvesnoj meri koristiti kao indikator namene određenih predmeta koji su ostali sačuvani tokom vremena.

Tabela 1. Aktivnost prirodnih radionuklida u uzorcima [Bq/kg]

	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{238}U	^{235}U
Bazaltna stena iz Jordana	4.5±0.9	5±1	253±25	14±3	< 1.3
Kamen iz Palmire	10±1	1.6±0.4	18±2	3±1	0.28±0.08
Kamen iz Petre	29±4	18±4	180±25	34±11	2.6±0.5
Krečnjak iz Petre	16±2	9±1	11±1	18±3	0.50±0.05
Pesak iz pustinje Vadi Ram	6.2±0.9	3.7±0.9	17±4	< 15	< 1.3
Voda iz Mrtvog mora[Bq/l]	< 0.5	< 0.4	250±20	< 7.9	< 0.4
Pesak sa obale Mrtvog mora	6.5±0.8	10±2	8±2	16±6	1.1±02
Blato iz Mrtvog mora	20±2	16±2	520±40	34±8	2.0±0.2
Emajl iz Irana	6.1±0.9	< 2	1390±90	< 18	0.8±0.2
Mermer iz Tadž Mahala	< 3	< 2	< 10	< 15	< 1.3
Kamen peščanik iz jezera, Kina	27±4	26±3	400±30	25±5	2.1±0.3
Glina iz Kine	41±5	46±5	610±50	30±10	1.2±0.2
Terakot vojnik iz Kine	38±6	44±7	670±80	48±14	2.4±0.4

Tabela 2 . Radijum ekvivalent (Ra_{eq}), jačina doze ($\dot{D}$) i hazard indeks (H_{ex}) za merene uzorke

Uzorak	Indeks		
	Ra_{eq} [Bq/kg]	$\dot{D}$ [nGy h^{-1}]	H_{ex} [Bq/kg]
Bazaltna stena	30.6	15.5	0.08
Kamen iz Palmire	13.6	6.3	0.03
Kamen iz Petre	20.1	13.3	0.06
Krečnjak iz Petre	68.1	31.8	0.19
Pesak iz Vadi Rama	12.7	5.8	0.04
Pesak iz Mrtvog mora	21.1	9.4	0.06
Blato iz Mrtvog mora	82.7	40.9	0.23
Emajl iz Irana	113.1	61.2	0.31
Mermer iz Tadž Mahala	0	0	0
Kamen peščanik iz jezera, Kina	94.2	45.0	0.26
Glina iz Kine	152.4	72.3	0.42
Terakot vojnik iz Kine	151.3	72.4	0.41

5. Reference

[1] HASL-300. (1983) *Procedures Manual*. EML. New York.

[2] Technical Report Ser. No. 295. (1989) Vienna.

[3] J. Beretka, P. J. Mathew, Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by- products. *Health Physics* 48, (1985) 87.

[4] K. N. Yu, Z. J. Guan, M. J. Stokes, E. C. M .Young, The assessment of the natural radiation dose committed to the Hong Kong people.*Journal of Environmental Radioactivity* 17, (1992) 31.

[5] D. C. Kocher, A. L. Sjoreen, Dose-rate conversion factors for external exposure to photon emmiters in soil. *Health Physics* 48, (1985) 193.

[6] P. Jacob, H. G. Paretzke, H. Rosenbaum, M. Zankl, Effective dose equivalents for photon exposures from plane sources on the ground. *Radiation Protection Dosimetry* 14, (1986) 299.

[7] K. C. Leung, S. Y. Lau, C. B. Poon, Gamma radiation dose rate from radionuclides in hong kong soil.*Journal of Environmental Radioactivity* 11, (1990) 279.

[8] B. Ivanovic, Theoretical Statistics, (in Serbian), Yugoslav Institute for Economic Research, Belgrade, (1966), 176.

ABSTRACT

CONTENT OF NATURALLY OCURRING RADIONUCLIDES IN SAMPLES TAKEN FROM WORLD HISTORICAL SITES

Jelena NIKOLIĆ,Marija JANKOVIĆ, Dragana TODOROVIĆ, Nataša SARAP
University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and Environmental Protection Department, Belgrade, Serbia, jnikolic@vinca.rs

This paper presents the results of the investigation of naturally ocurring radionuclides content in different samples taken from the historical sites in Iran, China, Siria and Jordan. Samples contained different natural materials used in masonery, for making artefacts for personal use as well as water, sand and mud from the Dead sea. The aim was to assertain the content of naturally ocurring radionuclides, calculation of hazard indeces and their comparison to the values recommended and obtained in modern days materials.

KONCENTRACIJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U DUVANU

Jelena STAJIĆ, Vladimir MARKOVIĆ, Dragana KRSTIĆi Dragoslav NIKEZIĆ
Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, Srbija jbozovic@kg.ac.rs

SADRŽAJ
Duvanski dim sadrži izvesne koncentracije prirodnih radionuklida iz radioaktivnog lanca raspada urana i torijuma - ^{214}Pb,^{214}Bi,^{228}Ac,^{208}Tl,^{226}Ra,^{232}Th kao i ^{40}K. Udisanjem duvanskog dima dolazi do unutrašnjeg izlaganja ljudi. Da bi se procenuila doza zračenja neophodno je prethodno odrediti koncentraciju radionuklida prisutnih u lišću duvana. U ovome radu su prikazani rezultati merenja specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima duvana, koji se mogu naći na tržištu u Srbiji.

1. Uvod

Prirodna radioaktivnost je jedan od značajnijih izvora izlaganja ljudi jonizujućem zračenju, bilo da se radi o spoljašnjem ili unutrašnjem izlaganju. Unutrašnje izlaganje podrazumeva inhalaciju ili ingestiju radionuklida prisutnih u hrani, vodi, vazduhu i dr. Prema UNSCEAR-u izveštaju iz 2000 [1] srednja efektivna doza na godišnjem nivou primljena od strane prirodnog zračenja iznosi 2,42 *mSv*. Odtoga 1,26 *mSv*potičeodradonovihkratkoživećihpotomakakojiseakumulirajuuatmosferizatvorenihpro storija. Jedan od načina unošenja radionuklida u organizam putem inhalacije je putem divanskog dima. Lišće duvana u usitnjenoj formi, koje se koristi za prizvodnju cigareta, sadrži izvesne koncentracije prirodnih radionuklida uranovog i torijumovog niza, zbog čega su pušači kao i pasivni pušači izloženi većoj koncentraciji radionuklida.
Depozicija radioaktivnih izotopa u plućima pušača u dužem vremenskom periodu dovodi do ekspozicije, koja je lokalizovanog tipa. Najveći deo energije zračenja se deponuje u epitelijalnom tkivu respiratornog sistema oštećujući osetljive ćelije bronhialnog i bronhiolarnog regiona čime se povećava mogućnost nastanka kancera. Mnoge studije identifikuju inhalaciju prirodnih radionuklida kao glavni uzrok nastanka kancera pluća [2]. Cilj ovog rada je da se odrede specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u uzorcima duvana na tržištu Srbije.

2. Metodologija rada

Kako bi se odredile koncentracije prirodnih radionuklida u duvanu, pripremljeni su uzorci dvadeset vrsta duvana. Duvan je prethodno isušen na temperaturi od 80^0 do konstantne mase, zatim usitnjen i smešten u marineli posude od 450 *ml*. Posude su zaptivene silikonskim lepkom, kako bi se sprečilo curenje vazduha i na taj način obezbedila mogućnost formiranja radioaktivne ravnotežne koncentracije između ^{226}Ra i njegovih potomaka. Tako pripremljeni uzorci su skladišteni oko 40 dana, što približno odgovara periodu od 10 vremena poluraspada ^{222}Rn, kako bi se uspostavila pomenuta ravnoteža. U zavisnosti od dostupne količine duvana, pripremljno je po nekoliko uzorka od svake vrste. Specifične aktivnosti prirodnih radionuklida su određivane gama spektrometrijskom metodom. U tu svrhu korišćen je HPGe, koaksijalni germanijumski detektor, model GEM30-70, čija je rezolucija (FWHM) 1.69 *keV* na 1.33 *MeV* (^{60}Co) i 725 *eV* na 122 *keV* (^{57}Co), a relativna efikasnost 32% na 1.33 *MeV* (^{60}Co). Radi smanjenja prirodnog fona, detektor je smešten u olovnoj zaštiti debljine 10 *cm*.

Svaki uzorak je meren u vremenskom periodu od jednog do dva dana. Prirodni fon je prethodno meren dva dana pod istim uslovima, kao i u slučaju merenja duvana.
Koncentracija ^{226}Ra je određena usrednjavanjem aktivnosti fotopikova olova i bizmuta. Za ^{214}Pb je uzet fotopik na 351,9 *keV*, sa prinosom od 0,376. Efikasnost detektora na toj energiji iznosi 0,109. ^{214}Bi je praćen merenjem aktivnosti na osnovu fotopikova energija 609,3 i 1764,49 *keV* sa prinosima 0,461 i 0,15 respektivno. Za određivanje koncentracije ^{232}Th posmatrani su pikovi ^{228}Ac na energijama 911,1 i 968,9 *keV* kao i fotopik ^{208}Tl na energiji od 583 *keV*. Prinosi pomenituh linija ^{228}Ac su 0,258 i 0,158 respektivno, a prinos linije ^{208}Tl je 0,854. Na kraju, koncentracija ^{40}K je određivana na osnovu aktivnosti jedine linije na 1460,8 *keV* sa prinosom od 0,11.

Tabela 1. Specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u duvanu u *Bq/kg*

Uzorak N_0	^{214}Pb	^{214}Bi	^{228}Ac	^{208}Tl	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1	1.58	3.90	7.19	2.32	2.51	5.57	745.19
2	2.00	4.43	3.02	1.98	3.21	2.50	1194.75
3	0.26	0.24	–	0.25	0.25	0.25	863.55
4	1.48	6.54	4.60	1.86	4.85	3.67	1000.93
5	1.75	4.69	4.73	1.20	3.39	3.56	1074.26
6	5.31	16.13	13.73	2.99	12.52	10.15	1088.51
7	0.94	1.87	1.53	0.61	1.56	0.86	1066.21
8	1.95	3.59	5.40	3.26	2.84	1.62	866.06
9	1.44	4.65	3.06	1.45	3.05	2.53	332.76
10	0.78	2.18	1.99	0.66	1.48	1.32	275.73
11	2.52	4.41	7.72	1.67	3.77	5.70	302.00
12	0.90	2.27	0.97	0.83	1.59	0.95	600.39
13	0.22	0.56	1.95	0.99	0.39	1.63	165.21
14	0.75	2.17	1.62	1.00	1.46	1.41	297.57
15	0.32	0.71	2.39	1.05	0.51	1.95	261.12
16	0.38	0.53	0.21	0.59	0.46	0.70	311.35
17	0.12	0.30	0.80	0.44	0.21	0.68	307.07
18	0.94	0.80	0.91	0.55	0.87	0.79	571.10
19	1.45	2.11	2.92	1.65	1.89	2.50	295.69
20	2.10	3.40	2.58	1.29	2.76	2.15	400.31

3. Rezultati

Specifične aktivnosti ^{214}Pb,^{214}Bi,^{228}Ac,^{208}Tl,^{226}Ra,^{232}Th i^{40}K u duvanu su predstavljene u Tabeli 1. Vrednosti su dobijene usrednjavanjem specifičnih aktivnosti više uzoraka istih vrsta duvana.

Neki uzorci duvana sadrže povećene koncentracije radionuklida u odnosu na ostale. Uzorak pod rednim brojem N_0 = 6 ima izraženo povećene koncentracije prirodnih radionuklida. To može biti posledica povećane radioaktivnosti u tlu na kome je duvan uzgajan, ali i vrste đubriva korišćenog kao prihrana duvanu. Veštačko đubrivo sadrži dosta fosfata i može imati izraženo povećane koncentracije radionuklida. Putem korenskog sistema duvan apsorbuje radionuklide iz tla i skladišti ih u lišću.
Specifične aktivnosti ^{40}K su najviše u poređenju sa ostalim radionuklidima i kreću se u opsegu od 165.21 do 1194.75 *Bq/kg*. Ovo je posledica apsorpcije kalijuma iz zemljišta i veštačkog đubriva u kojem je izraženo prisutan. Studije pokazuju da je specifična aktivnost ^{40}K u zemljištu oko 400 *Bq/kg* (140-850 *Bq/kg*) [1], dok je u fosfatnim đubrivima 2438 *Bq/kg* (53-6370 *Bq/kg*) [6].

4. Zaključak

Specifične aktivnosti prirodnih radionuklida su izmerene u uzorcima duvana koji se koristi za proizvodnju cigareta u Srbiji. U Tabeli 2. je prikazan opseg specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida određenih u ovome radu, kao i njihove aktivnosti određene u drugim studijama. Može se uočiti da specifične aktivnosti ne odstupaju puno od aktivnosti određenih u duvanu prisutnom na tržištu drugih zemalja.

Tabela 2. Opseg vrednosti specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u duvanu u ovome i drugim radovima (*Bq/kg*)

	Ovaj rad	**Katsanevakis et al [3]**	**Papastefanou [4]**	**Abd El-Aziz et al [5]**
	Srbija	Grčka	Grčka	Egipat i Saudijska A.
^{214}Pb	0.12-5.31	–	–	–
^{214}Bi	0.24-16.13	–	–	1.25-2.42
^{228}Ac	0.21-13.73	–	–	0.82-6.49
^{208}Tl	0.25-3.26	–	–	–
^{226}Ra	0.21-12.52	1.3-8.6	2-8	6.32-7.68
^{232}Th	0.25-10.15	1.2-13.0	–	–
^{40}K	165.21-1194.75	983-1226	273-2080	607.9-795.9

Poznavanje specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u lišću duvana predstavlja polaznu tačku za procenu doze od ove vrste izlaganja. Pored poznavanja aktivnosti u samom lišću duvana potrebno je i poznavanje niza drugih parametara, kao što su transfer u duvanski dim, raspodela veličine čestica, količina udahnutog duvana, kao i sama biokinetika depozicije radionuklida u ljudskom respiratornom traktu.

5. Literatura

[1] Unated Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation, report to the general assembly 2000 (NY: UN)
[2] S. Abdul-Majid, I.I. Ktubi, M. Basabrain, *J. Radiationl. Nucl. Chem*. 142 (2) (1995) 371-377

[3] S. Katsanevakis, N.P. Petropoulos, E.P. Hinis and S.E. Simopolus. Natural radioactivity content of Greek cigarettes. *Environmental International.* Vol 22. (1996) S375-S377
[4] C. Papastefanou. Radioactivity of tobacco leaves and radiation dose induced from smoking. *Int. J. Environ. Res. Public Healt.* Vol.6 (2009) 558-567
[5] N. Abd El-Aziz, A.E.M. Khater and H.A. Al-Sewaidan. Natural radioactivity contents in tobaco. *Int. Congress Series.* 1276 (2005) 407-408.
[6] C.Papastefanou. Radiological impact from atmosphere releases of 238U and 226Ra from phosphate rock processing plants. *J. Environ. Radioactivity.* 54 (2001) 75-83

ABSTRACT

DETERMINATION OF NATURAL OCCURING RADIONUCLIDES CONCENTRATIONS

Jelena STAJIĆ, Vladimir MARKOVIĆ Dragana KRSTIĆi Dragoslav NIKEZIĆ
Faculty of Science, University of Kragujevac, Serbia
jbozovic@kg.ac.rs

Tobacco smoke contains certain concentrations of naturally occurring radionuclides from radioactive chains of uranium and thorium - ^{214}Pb,^{214}Bi,^{228}Ac,^{208}Tl,^{226}Ra,^{232}Th and ^{40}K. Inhaling of tobacco smoke leads to internal exposure of man. In order to estimate absorbed dose of irradiation it is necessary to determine concentrations of radionuclides present in the tobacco leaves. In this paper specific activities of naturally occurring radionuclides were measured in tobacco samples from cigarettes which are used in Serbia.

ODREĐIVANJE TRICIJUMA U VODI – POREĐENJE METODA

Jovana NIKOLOV[1], Nataša TODOROVIĆ[1], Marija JANKOVIĆ[2], Marija VOŠTINAR[1], Ištvan BIKIT[1], Sofija FORKAPIĆ[1], Dušan MRĐA[1] i Miroslav VESKOVIĆ[1]

1) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija, jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

2) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke - Vinča, Beograd, Srbija

SADRŽAJ

U ovom radu prikazano je poređenje različitih metoda pripreme uzoraka vode za određivanje koncentracije ativnosti tricijuma pomoću niskofonskog tečnog scintilacionog detektora, Quantulus 1220. Laboratorija za nuklearnu fiziku u Novom Sadu je u sradnji sa laboratorijom Instituta Vinča, prilagodila tri različite metode pripreme uzoraka za određivanje niskih aktivnosti tricijuma u vodama: metoda elektrolitičkog obogaćenja, direktna metoda bez elektrolitičkog obogaćenja i priprema uzoraka pomoću Sample Oxidizer 307. Analizirani uzorci sveže vode bili su kišnica sakupljana u period od 6 meseci i voda iz potoka u Vinči sakupljana tokom 3 meseca. Dobijeni rezultati pokazuju zadovoljavajuće slaganje ove tri metode. U radu je, takođe, utvrđeno i odgovarajuće vreme merenja tečnim scintilacionim detektorom za različite metode pripreme.

1. Uvod

Tricijum je radioaktivni izotop vodonika, koji se ponaša kao stabilni vodonik i obično se može naći prikačen za molekule koji zamenjuju vodonik [1], sa periodom poluživota od 12.32 godine. Tricijum se može naći u prirodi, on potiče iz prirodnih i antropogenih izvora. Prirodni tricijum se proizvodi u atmosferi u interakciji kosmičkog zračenja sa atmosferskim azotom [2]. Antropogeni tricijum ometa prirodne nivoe tricijuma, a nastaje probama nuklearnog oružja, u prilog tome tricijum se ispušta u atmosferu prilikom proizvodnje oružja, u radu nuklearnih elektrana i preradom nuklearnog goriva [3].

Tricijum najčešće ulazi u životnu sredinu u gasovitom stanju (T2) ili kao zamena za neki od atoma vodonika u vodi (HTO, takozvana „tritirana voda“, umesto uobičajene neradioaktivne vode H_2O). Tritirana voda može zameniti regularnu vodu u živim ćelijama (oko 70% mekog tkiva u ljudskom telu je voda). Kada se jednom nađe u životnim ćelijama, tricijum može zameniti vodonik u organskim molekulima u telu. Stoga, i pored niske radiotoksičnosti u gasovitom stanju i njegove tendencije da se brzo izbaci iz organizma poput vode; njegovi efekti na zdravlje su izraženi zbog osobine da je hemijski identičan kao i vodonik [1].

Obzirom da je tricijum „meki“ beta-emiter (maksimalna energija je 18.6 keV), uobičajene metode za merenje niskih aktivnosti tricijuma su ili gasnim proporcionalnim brojačem (GPC) ili tečnim scintilacionim detektorom (LSC). Za analizu prirodnih uzoraka vode, bolje je koristiti tečni scintilacioni detektor jer se u ovoj metodi uzorak vode direktno meša sa odgovarajućim scintilacionim koktelom, neophodna priprema je minimalna, a i efikasnost merenja je veća u poređenju sa proporcionalnim brojačima [4].

Primarni cilj svih metoda pripreme uzorka je da se dobije stabilni, homogeni rastvor adekvatan za merenje tečnim scintilacionim detektorom. Nema striktnih pravila koja je metoda najbolja; smatra se da je dobra svaka metoda pripreme uzorka kojom se dobija

homogeni uzorak koji merenjem daje tačne i reproducibilne rezultate. Postoje i slučajevi kada je više metoda odgovarajuće i kada izbor metode zavisi od nekih drugih faktora (na primer, dostupnosti, dužine pripreme i sl.) [5]. Koncentracija aktivnosti od 100 $Bq \cdot l^{-1}$ je maksimalni preporučeni nivo za tricijum u vodi za piće [6].
U ovom radu poređene su tri metode pripreme uzoraka vode (elektrolitičko obogaćenje, direktna metoda i metoda Sample Oxidizer) za određivanje koncentracije aktivnosti tricijuma. Pripremljeni uzorci mereni su na tečnom scintilacionom detektoru Quantulus 1220, proizvođača Perkin Elmer.
Uzorci vode su uzimani iz potoka Mlaka, koji prolazi kroz Institut Vinča, Beograd, Srbija. Potok Mlaka dugačak je 5 km ima prosečni protok vode od samo 10 $l \cdot s^{-1}$. Mesto uzorkovanja je u blizini istraživačkog reaktora [7]. Druga lokacija uzorkovanja bila je referentna meteorološka stanica na Zelenom Brdu, tu su sakupljani uzorci kišnice.

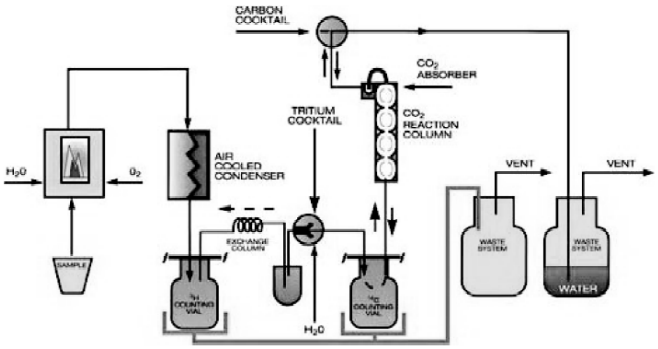
2. Metoda merenja – *tečni scintilacioni detektor Quantulus 1220*

Svi pripremljeni uzorci mereni su na tečnom scintilacionom detektoru, Quantulus 1220. Quantulus 1220 je niskofonski detektor proizvođača Perkin Elmer, Finska [8]. Ovaj detektor poseduje sopstveni sistem redukcije fona oko komore u kojoj se nalaze uzorci, koji se sastoji iz aktivne i pasivne zaštite. Pasivna zaštita je napravljena od olova, bakra i kadmijuma, dok osnovu aktivne zaštite čini scintilator na bazi mineralnog ulja. Sistem poseduje: PSA (Pulse Shape Analysis) – analizator oblika impulsa i PAC (Pulse Amplitude Comparator) – komparator amplituda impulsa. Za korekciju hemiluminescencije, Quantulus poseduje i DCOS (Delayed Coincidence Circuit) – kolo za zakasnele koincidencije. Zakasnele koincidencije se usmeravaju na višekanalni analizator i snimaju kao hemiluminescentni spektar. Postoji i drugi višekanalni analizator, pa se preostali signali usmeravaju na njega i snimaju kao spektar tricijuma. U cilju određivanja prozora tricijuma u izmerenom spektru, snimljen je standard tricijuma i „background“ i prozor je podešen tako da se dobije maksimalni FOM (figure of merit) faktor. U našim merenjima prozor tricijuma je fiksiran na kanale od 1 do 250. Efekat prigušenja (quenching) je kvantifikovan eksternim standardom, SQP(E) parametar, koji se nalazi u samom sistemu i korišćen je i prilikom određivanja efikasnosti merenja sistema sa odgovarajućim kalibracionim krivama [3].

3. Priprema uzoraka

Priprema uzoraka *metodom elektrolitičkog obogaćenja* rađena je u laboratoriji u Institutu Vinča.
Direktna priprema uzoraka, bez elekotrolitičkog obogaćenja, vršena je po standardnoj test metodi ASTM D 4107-08 [8].
Za obe pomenute metode, 8 ml pripremljenog uzorka pomešano je sa 12 ml scintilacionog koktela Optiphase HiSafe 3.
Treća korišćena metoda za pripremu istih uzoraka je pomoću Perkin Elmer Sample Oxidizer-a Model 307 (Slika 1). Sample Oxidizer je uređaj namenjen za pripremu uzoraka za merenje ^{3}H i ^{14}C. Ovo je automatski uređaj kojim se mogu dobiti kvalitetni, reproducibilni uzorci za analizu tečnim scintilacionim detektorom Quantulus 1220 [9,10]. Uzorak se spaljuje u kontinualnom protoku kiseonika, pri čemu se formira voda i ugljen-dioksid. Oksidacijom se eliminišu uticaji prigušenja.
Tokom procesa spaljivanja, svi izotopi vodonika, zajedno sa tricijumom, oksidišu se u vidu „tritirane“ vode. Obzirom na visoku temperaturu spaljivanja, ova „tritirana“ voda je u formi vodene pare. Para se kondenzuje u kondenzoru koji se hladi vazduhom i

„tritirana“ voda se sakuplja u mernoj bočici. Sva nekondenzovana voda se sakuplja u koloni za razmenu i spira scintilatorom direktno u mernu bočicu.



Slika 1. Proces spaljivanja uzorka u Oxidizer-u

Uzorci su pripremljeni u skladu sa uputstvom. 0.8 ml vode sipa se u posudu za spaljivanje, doda se 0.4 ml supstance koja potpomaže paljenje. Proces je automatski, na kraju samog procesora Oxidizer dodaje u mernu bocu 13 ml scintilacionog koktela MONOPHASE S.

Minimalne detektibilne aktivnosti za sve tri metode prikazane su u Tabeli 1.

Tabela 1. Minimalne detektibilne aktivnosti

Metoda	Vreme merenja [min]	MDA [$Bq \cdot l^{-1}$]
Direktna metoda	90	3.5
Direktna metoda	300	2.1
Elektrolitički obogaćeni	90	0.096
Oxidizer	300	1.08

4. Rezultati i diskusija

Rezultati merenja 9 uzoraka vode pripremani sa tri različite metode i mereni na tečnom scintilacionom detektoru, prikazani su u tabeli 2. Poređenjem prve i druge kolone u prethodnoj tabeli, može se zaključiti da je uzorke vode pripremljene direktnom metodom koji sadrže niske koncentracije aktivnosti ^3H potrebno meriti najmanje 300 minuta da bi se dobila zadovoljavajuća merna nesigurnost (<10%) (uzorci 2-6). Za one vode koje sadrže nešto više koncentracije aktivnosti ^3H, i merenja od 90 minuta daju uporedive rezultate u opsegu mernih nesigurnosti, ako se uporede sa merenjima od 300 minuta.

5. Zaključak

U radu su predstavljene tri različite metode za pripremu uzoraka vode za određivanje koncentracije aktivnosti tricijuma tečnim scintilacionim detektorom, Quantulus 1220. Pokazano je da za uzorke vode iz životne sredine sve tri metode daju uporedive rezultate i prihvatljive granice detekcije. Priprema uzoraka metodom elektrolitičkog obogaćenja daje najnižu granicu detekcije u poređenju sa preostale dve metode pripreme. Ali ako želimo brz metod pripreme, priprema pomoću Sample Oxidizer-a je bolji izbor. Inače,

direktna metoda je takođe primenljiva za uzorke vode u kojima je koncentracija aktivnosti veća od 2.1 $Bq \cdot l^{-1}$, ako se meri 300 minuta. Ako uporedimo ovu metodu sa metodom elektrolitičkog obogaćenja, samo vreme pripreme uzorka je neuporedivo kraće kod direktne metode.

Tabela 2. Rezultati merenja

Uzorak	*Koncentracija aktivnosti* ^{3}H [$Bq \cdot l^{-1}$]			
	Direktno merenje 90 min	**Direktno merenje 300 min**	**Elektrolitički obogaćeni 90 min**	**Oxidizer 300 min**
1. *Zeleno brdo, april*	< MDA	< MDA	1.37 ± 0.20	1.11 ± 0.15
2. *Zeleno brdo, maj*	< MDA	2.19 ± 0.20	2.53 ± 0.13	1.91 ± 0.27
3. *Zeleno brdo, jul*	< MDA	2.63 ± 0.24	2.59 ± 0.20	2.6 ± 0.4
4. *Zeleno brdo, avgust*	< MDA	3.7 ± 0.3	3.9 ± 0.4	4.3 ± 0.7
5. *Zeleno brdo, oktobar*	< MDA	2.83 ± 0.26	2.93 ± 0.24	2.8 ± 0.4
6. *Zeleno brdo, novembar*	< MDA	2.82 ± 0.26	3.56 ± 0.27	3.3 ± 0.5
7. *Mlaka, april*	24.0 ± 2.8	26.7 ± 2.4	26.5 ± 1.1	27 ± 4
8. *Mlaka, jul*	25.7 ± 2.8	24.9 ± 2.3	26.0 ± 1.1	28 ± 4
9. *Mlaka, oktobar*	47 ± 3	44 ± 4	42.8 ± 1.1	44 ± 6

6. Zahvalnica
Autori se zahvaljuju na finansijskoj pomoći Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, u okviru projekta Nuklearne metode istraživanja retkih procesa i kosmičkog zračenja broj 171002 i Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima broj 43002.

7. LITERATURA

[1] C. Varlam, I. Stefanescu, I. Faurescu, I. Popescu, Establishing routine procedure for environmental tritium concentration at ICIT, Institute for Cryogenics and Isotope Technologies - ICIT, Valcea, Romania, IAEA-CN-145/125P
[2] M. Jose Madruga, M. Manuela Sequeria, A. Rita Gomes, Determination of Tritium in waters by Liquid Scintillation Counting, LSC 2008, Advanes in Liquid Scintillation Spectrometry, edited by J. Eikenberg, M. Jaggi, H. Beer, H. Baehrle, p. 353-359
[3] Lj. Pujol, J.A. Sanchez-Cabeza, *Optimization of liquid scintillation counting conditions for rapid tritium determination in aqueous samples,* Journal ofRadioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol.242, No.2 (1999), 391-398
[4] J.E. Noakes, S.De Filippis, in: *2nd International Seminar for LSA*, Packard Japan K.K, Tokyo, 1988, p.123
[5] Oxidizer Application Note, A Comparison of Sample Oxidation and Solubilization Techniques *By Jock Thomson, PerkinElmer Life Sciences, Inc.*

[6] COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC, of 3 November 1998 on the Quality of water intended for human consumption
[7]Miljević, N., Šipka, V., Žujić, A., Golobočanin, D. (2000). Tritium around the Vinča Institute of Nuclear Sciences. J. Environ. Radioact., 48, 303-315.
[8] ASTM International, *Standard test Method for Tritium in Drinking Water*, D 4107-08
[9] Perkin Elmer Operation Manual, Manual Reorder No. 1694057, Printed in U.S.A., Publication No. 1694057 Rev.L, PerkinElmer, Inc., 2003
[10] Handbook of Radioactivity analysis, Editied by Michale F. L'Annunziata, Academic Press, 2003 Elsevier, USA

ABSTRACT

DIFFERENT METHODS FOR TRITIUM DETERMINATION IN WATER BY LSC

Jovana NIKOLOV[1], Nataša TODOROVIĆ[1], Marija JANKOVIĆ[2], Marija VOŠTINAR[1], Ištvan BIKIT[1], Sofija FORKAPIĆ[1] i Dušan MRĐA[1]

1) University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Serbia jovana.nikolov@df.uns.ac.rs

2) University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and Environmental Protection Department, Serbia

The main aim of this paper was to compare different methods of preparing water samples for tritium analysis by ultra-low-level background liquid scintillation counter, Quantulus 1220. Three methods of sample preparation for low-level tritium measurement have been developed in the Nuclear Physics Laboratory in Novi Sad: electrolytic enrichment, direct method without electrolytic enrichment and sample Oxidizer 307 method. The examined fresh water samples were rainfall collected during 6 months and water from a stream in the Vinča nuclear research center collected during 3 months. The obtained results with these three methods showed satisfying agreement. The appropriate measuring time by LSC for each sample prepared according to different methods has been determined.

АКТИВНОСТ РАДИОНУКЛИДА У АЛГАМА РЕКЕ ДУНАВ У ПЕРИОДУ ОД 2003-2007. ГОДИНЕ

Љиљана ЈАВОРИНА[1], Гордана ПАНТЕЛИЋ[2], Маја ЕРЕМИЋСАВКОВИЋ[1], Ведрана ВУЛЕТИЋ[3], Ирена ТАНАСКОВИЋ[1]

1) Институт за медицину радаСрбије "Др Драгомир Карајовић", Београд,Србија,lj.javorina@gmail.com

2) Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд, Србија,pantelic@vinca.rs

3) Агенција за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност, Београд, Србија, vedrana.vuletic@gmail.com

САДРЖАЈ

У раду су приказане средње годишње вредности активности радионуклида у алгама реке Дунав добијене гамаспектрометријским мерењем. Алге заузимају значајно место у екосистему речних вода. Зато је неопходна перманентна контрола због заштите квалитета вода, а самим тим и здравља становништва, јер човек својим активностима може значајно да измени природне изворе јонизујућег зрачења. Алге су узорковане код мерних места Бездан и Мохач, низводно од нуклеарне електране Пакш, шест пута годишње у периоду од 2003. до 2007. године.

1. Увод

Први блок, од укупно четири, Нуклеарне електране Пакш почео је са радом 29.12.1982. године. Због тога се 1982. година сматра последњом годином за утврђивање "нултог стања" радиоактивности реке Дунав. Резултати мерења активности расдионуклида у екосистему реке Дунав назива се "нулто стање". Човек својим активностима може значајно да измени природне изворе јонизујућег зрачења (сагоревањем угља, употребом минералних ђубрива, испитивањем нуклеарног наоружања, муниција са осиромашеним уранијумом, хаваријама на нуклеарним истраживачким и енергетским реакторима, применом радиоактивних изотопа у привреди, медицини...). У складу са Записником саXXXV-ог заседања југословенско-мађарске комисије за водопривреду одржаног 1996.год. у Веленцу, радиоактивност реке Дунав је испитивана у оквиру Поткомисије за заштиту квалитета вода. Узорковање се обавља по тачно договореном распореду у току године, на мерним местима Мохач и Бездан. Узоркује се вода (средина реке, лева и десна обала), муљ, рибе и алге.

Алге су фотоаутотрофни микроорганизми слични биљкама. Могу бити једноћелијске (покретне и непокретне), вишећелијске (кончасте, колоније и кормоидног талуса) и сифоналне. У Дунаву су доминантне врсте алги из родова: cyclotella, avlacoseira, stephanodiscus и skeletonema, које припадају центричним силикатним алгама. Од биоиндикаторских врста доминирају β-мезосапробионти. Значај алги је у томе што служе као храна воденим животињама, као агар, биолошки су активне супстанце (витамини, антибиотици, токсини... и др.) па су индикатори стања водених екосистема.Физичко хемијске разлике уздужног профила речног тока, од извора до ушћа, условиле су поступну смену екосистема и њихов зонални распоред. Због тога се речни ток и његов екосистем деле на горњи, средњи и доњи. Дунав кроз Мађарску и Србију углавном протиче кроз

равницу, а дно равничарских река обилује дебелим наслагама муља у коме се таложе радионукилиди из отпадних вода из нуклеарне електране.
Испитивањем садржаја радионуклида у алгама врши се контрола квалитета воде реке Дунав, контролише једна од карика ланца исхране а самим тим и заштита здравља становништва.

2. Методе мерења

Узорковање се врши ручно с обале Дунава шест пута годишње, четири пута код Бездана и два пута код Мохача. Узорак се припрема тако што се суши на 105^0Сдо константне тежине, уситњава и хомогенизује [2].
Гамаспектрометријска мерења врше се на три чиста германијумска детектора фирме EG&G″ORTEC″. Детектори су повезани са вишеканалним анализатором (8192 канала) истог произвођача и са одговарајућом рачунарском опремом.
Енергетска калибрација, као и калибрација ефикасности детектора обавља се помоћу радиоактивног стандарда фирмеAmersham[3,4,5]. Време мерења једног узорка је 250000s.

3. Резултати

У Табели 1 и 2 су дате средње годишње вредности са стандардном девијацијом активности природних радионуклида уранијумовог и торијумовог низа и ^{40}K, као и космогеног радионуклида ^{7}Be, у узорцима алги реке Дунав. Приказани су резултати гамаспектрометријских мерења активности у периоду од 2003. године до 2007. године и код "нултог стања". У табели 1. су резулати мерења узорака узетих код Бездана, а у табели 2. Узетих код Мохача.
На графику 1 приказана је активност вештачког радионуклида ^{137}Cs у алгама узоркованим код Бездана и Мохача у поређењу са активношћу "нултог стања".

Табела 1. Средње годишње вредности активности радионуклида са стандардном девијацијом у алгама реке Дунав код Бездана од 2003. – 2007. год.

Радио нуклиди	2003	2004	2005	2006	2007	″нулто стање″
	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg
^{234}Th	50± 27	111 ± 95	19.0 ± 7.3	49 ± 35	41 ± 21	30 ± 22
^{228}Ac	10.3 ± 2.7	16.2 ± 7.2	8.3 ± 3.3	6.3 ± 3.8	9.0 ± 2.1	30 ± 17
^{226}Ra	54 ± 20	78 ± 48	22 ± 16	41 ± 11	36 ± 22	-
^{214}Bi	5.5 ±1.0	13.1 ± 5.9	14.1 ± 7.4	8.1 ± 5.9	11.9 ± 5.5	30 ± 17
^{40}K	480± 180	540± 230	700 ± 110	630± 550	880± 110	900 ± 500

^{7}Be	96 ± 70	67 ± 19	83 ± 44	49 ± 23	54 ± 20	90 ± 70

4. Дискусија

Измерене активност природних радионуклида у алгама реке Дунав на истом су нивоу као и пре почетка рада НЕ Пакш.

Специфична активност ^{137}Cs у периоду од 2003. до 2007. године на Бездану је нижа у односу на "нулто стање". Максимална вредност измерена је на Мохачу 2004. године, при чему је она нешто већа од вредности код "нултог стања", што се може очекивати због близине НЕ Пакш.

Поред радионуклида чије су вредности наведене у табелама 1 и 2 мерене су активности за ^{134}Cs, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{75}Se, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{110m}Ag, ^{144}Ce. Активност ових радионуклида су испод нивоа детекције па се не налазе у табели.

Табела 2. Средње годишње вредности активности радионуклида са стандардном девијацијом у алгама реке Дунав код Мохачаод 2003. – 2007. године

Радио нуклиди	2003	2004	2005	2006	2007	″нулто стање″
	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg Сувог узорка	Bq/kg
^{234}Th	< 15	65±23	69.0 ±2.8	43± 30	50± 21	30 ± 22
^{228}Ac	< 9.3	15.5±6.4	17.5± 3.5	15±10	11.9±0.1	30 ± 17
^{226}Ra	< 15	61±14	86± 16	7.3±2.2	16.5±0.7	-
^{214}Bi	9.1±0.4	10.2±4.0	18.0±0.7	19±13	5.7±2.9	30 ± 17
^{40}K	1740±60	860± 10	920± 110	410±390	720± 110	900 ± 500
^{7}Be	35.0±7.0	36±32	124±64	50± 24	211±52	90 ± 70

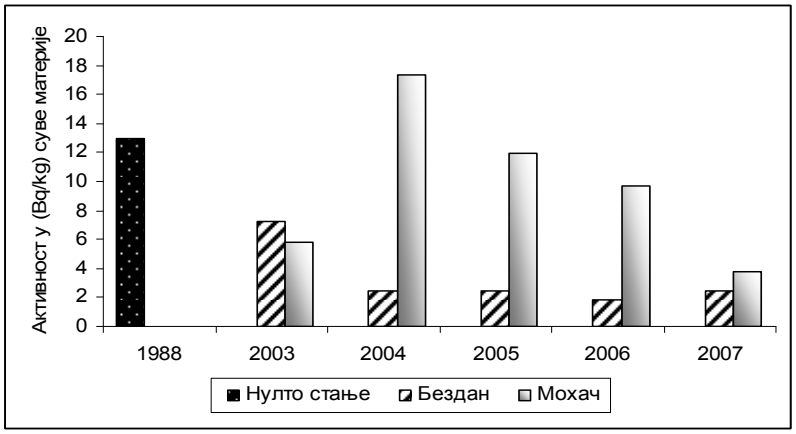


График 1: Активност ^{137}Cs у алгама реке Дунав (средње годишње вредности)

5. Закључак

У овом раду дати су резултати гамаспектрометријског мерења (средње годишње вредности) радионуклида у алгама.

Резултати мерења радиоактивности у узорцима алги реке Дунав у периоду од 2003. години до 2007. године упоређени су са мерењима обављеним за утврђивање ″нултог стања″[6] (пре почетка рада нуклеарне електране Пакш). Може се закључити да се активност како природних радионуклида тако и дугоживећих радионуклида вештачког порекла (углавном од Чернобиљских падавина), у алгама кретала у ниским нивоима. Редовним праћењем и испитивањем свих сегмената који су у функцији заштите квалитета воде реке Дунав може се проценити њена угроженост, и проценити какав би ефекат и здравствени ризик представљала за становништво.

6. Литература

[1]П.Секулић, Р.Кастовић, В.Хаџић. Заштита земљишта од деградације, Нови Сад, 2003

[2]Measurement of radionuclides in Food and the Environment, Technical Reports Series No. 295, Vienna, 1989

[3]K.Debertin, R.G. Helmer. Gamma and X-ray spectrometry with semiconductor detectors, North-Holand, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1988

[4]GPantelić. Gamma spectrometer calibration with natural radioactive materials, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, A 369, 1996, 572-573

[5] Г.К. Пантелић, И.М.Трајић. Одређивање криве ефикасностигерманијумских детекторазa различите густине и геометрије узорака, Зборник радова XVIIјугословенског симпозијума за заштиту од зрачења, Београд, 1993, 199-202

[6]Одређивање радиоактивности ријеке Дунав за 1988. годину, ООУРЦентар за истраживање мора Загреб, Институт ″Руђер Бошковић″, 1989

ABSTRACT

RADIOACTIVITY CONTROL OF ALGAE IN DANUBE RIVER FOR THE PERIOD 2003-2007

Ljiljana JAVORINA[1], GordanaPANTELIĆ[2], MajaEREMIĆ SAVKOVIĆ[1], VedranaVULETIĆ[3], IrenaTANASKOVIĆ[1]

1) Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajovic", Belgrade, Serbia, lj.javorina@gmail.com
2) Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,pantelic@vinca.rs
3) Serbian Agency for Radiation Protection and Nuclear Safety Belgrade, Serbia,vedrana.vuletic@gmail.com

The paper presents the average annual activity concentration values of different radionuclides in the Danube River algae obtained by gamma spectrometry measurements. Algae are extremely important in the ecosystem of river waters. For that reason permanent controls are essential for water quality protection, and therefore health of the population, since people's activities can significantly affect natural sources of ionizing radiation. Sampling was made six times a year, during the period 2003 -2007, at measuring points Bezdan and Mohac, downstream of nuclear plant Paks.

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI TRICIJUMA U DUNAVU TEČNIM SCINTILACIONIM DETEKTOROM

Nataša TODOROVIĆ, Jovana NIKOLOV, Sofija FORKAPIĆ i Ištvan BIKIT
Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija, natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ
Tečnim scintilacionim detektorom, Quantulus 1220 određena je koncentracija aktivnosti tricijuma u uzorcima uzetim iz Dunava. Uzorci su sakupljeni u decembru 2010.godine na mernim lokacijama raspoređenim duž celog toka Dunava kroz Srbiju, od graničnog dela Mađarska-Srbija do graničnog dela Srbija-Rumunija. Zbog niza nuklearnih elektrana na Dunavu izuzetno je bitan monitoring celog toka Dunava u svim zemljama kroz koje ova reka prolazi. Za pripremu uzoraka korišćena je brza, direktna metoda, bez elektrolitičkog obogaćenja.

1. Uvod

Analize tricijuma su se pokazale korisnim u mnogim oblastima, poput hidrogeologije, monitoringa nuklearne industrije, dozimetrije i uticaja na zdravlje ljudi, kao i nekih posebnih tema poput ispitivanja alkoholnih pića [1]. Poznato je da su nuklearne elektrane postale značajan izvor tricijuma u životnoj sredini, ali tricijum se takođe može naći i kao prirodni radionuklid, uglavnom kao posledica interakcije kosmičkih zraka sa atmosferom.

I pored relativno niske radiotoksičnosti tricijuma, monitoring koncentracije aktivnosti tricijuma u životnoj sredini neophodan je radi praćenja njegovog toka u hidrosferi i biosferi [2]. Uzevši u obzir niske aktivnosti tricijuma u životnoj sredini, moraju se ispuniti posebni uslovi merenja da bi se dobili pouzdani i tačni rezultati merenja. Veoma je važno da merni sistem poseduje visoku i stabilnu efikasnost merenja za detekciju niskoenergetskih beta čestica, kao i nizak nivo pozadinskog zračenja. Ovi uslovi su veoma dobro ispunjeni kod Quantulus-a 1220.

Pokazano je da kada je koncentracija aktivnosti tricijuma niska, niža od 10 T.U. (tricijumove jedinice, 1 T.U. = 0.118 $Bq \cdot l^{-1}$), onda je neophodno elektrolitičko obogaćenje da bi se odredila koncentracija aktivnosti tricijuma [1]. Može se zaključiti da

za određivanje tricijuma u površinskim vodama nije neophodno elektrolitičko obogaćenje, obzirom da su očekivane vrednosti iznad 10 T.U.
Osnovni cilj ovog rada bio je da se uspostavi brza metoda za merenje tricijuma u uzorcima vode iz životne sredine. U skladu sa tim, korišćeni su sveži uzorci vode, koja nije elektrolitički obogaćena, i pripremani direktno u skladu sa metodom ASTM D 4107-08 [3]. Merenja su vršena tečnim scintilacionim detektorom, Quantulus 1220 (proizvođač Perkin Elmer). Određivane su koncentracije aktivnosti tricijuma u uzorcima vode iz Dunava duž njegovog toka u Srbiji. Ovo ispitivanje je važno jer se u Mađarskoj nalazi nuklearna elektrana, takođe, 7.oktobra 2010.godine toksični crveni mulj je dospeo u Dunav u Mađarskoj iz fabrike aluminijuma, što je takođe imalo veliki uticaj na kvalitet vode ove reke iz koje se u mnogim gradovima vrši snabdevanje vodom za piće.

2. Eksperimentalna procedura

U laboratoriji Departmana za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu prilagođena je brza metoda za merenje tricijuma tečnim scintilacionim detektorom Quantulus 1220. Ova metoda podrazumeva mešanje destilovanog uzorka vode sa scintilacionim koktelom. Quantulus 1220 poseduje sopstveni sistem redukcije pozadinskog zračenja, koji se sastoji iz aktivne i pasivne zaštite. Pasivna zaštita je napravljena od olova, bakra i kadmijuma, a aktivna zaštita je scintilator na bazi mineralnog ulja. Sistem poseduje: PSA (Pulse Shape Analysis) – analizator oblika impulsa i PAC (Pulse Amplitude Comparator) – komparator amplituda impulsa. Za korekciju hemiluminescencije, Quantulus poseduje i DCOS (Delayed Coincidence Circuit) – kolo za zakasnele koincidencije. Zakasnele koincidencije se usmeravaju na višekanalni analizator i snimaju kao hemiluminescentni spektar. Postoji i drugi višekanalni analizator, pa se preostali signali usmeravaju na njega i snimaju kao spektar tricijuma. U cilju određivanja prozora tricijuma u izmerenom spektru, snimljen je standard tricijuma i „background“ i prozor je podešen tako da se dobije maksimalni FOM (figure of merit) faktor. U našim merenjima prozor tricijuma je fiksiran na kanale od 1 do 250. Efekat prigušenja (quenching) je kvantifikovan eksternim standardom, SQP(E) parametar, koji se nalazi u samom sistemu i korišćen je i prilikom određivanja efikasnosti merenja sistema sa odgovarajućim kalibracionim krivama.

3. Postupak pripreme uzorka

Kao „background“ korišćena je destilovana bunarska voda pripremljena u skladu sa procedurom opisanom u standardnoj test metodi [3]. Kao standard je korišćen standard tricijuma poznate aktivnosti Perkin Elmera. Priprema za standard i „background“ mora biti ista kao i priprema uzorka. U svakom setu merenja, mere se zajedno i „background“ i standard sa uzorcima, da bi svi bili mereni pod istim uslovima.
Uzorci su preuzeti sa 8 različitih lokacija duž celog toka Dunava (Slika 1) tokom decembra 2010.

Slika 1. Lokacije na kojima je izvršeno uzorkovanje

Svaki uzorak vode je filtriran i potom destilovan. Posle destilacije, u polietilensku mernu bočicu zapremine 20 ml odmeri se 8 ml uzorka i doda 12 ml scintilacionog koktela Optiphase HiSafe 3. Kao najbolje su se pokazale upravo polietilenske merne bočice u poređenju sa staklenim i teflonskim bočicama zato što one imaju relativno visok nivo pozadinskog zračenja u tricijum prozoru [4].

Primećeno je da se efikasnost može smanjiti usled prigušenja u scintilacionoj smeši. Osnovni razlog prigušenja su različite vrste nečistoća u uzorku, koje mogu umanjiti transfer energije, ili obojeni materijali, koji mogu apsorbovati deo emitovane svetlosti. Ovo je posebno prisutno kod direktne metode, poput ove metode koju smo koristili, bez elektrolitičkog obogaćenja. Postoje dva načina da se koriguje prigušenje, jedan je upotrebom internih standarda, a drugi je takozvani metod „odnosa“. Prema test metodi koju smo koristili [3], destilacija posle tretiranja alkalnim permanganatom, eliminiše supstance prigušenja, kao i ostale supstance koje mogu biti prisutne i koje mogu smetati procesu detekcije.

Granica detekcije, izračunata u formi minimalne detektibilne aktivnosti za naš sistem Quantulus 1220, uz direktnu metodu pripreme uzorka iznosi 2.1 Bq/l za vreme merenja od 300 min. Računata je prema formuli (1) datoj u standardnoj metodi:

$$MDA = \frac{2.71 + 2.29 \cdot \sqrt{R_b \cdot t_a \cdot \left(1 + \frac{t_a}{t_b}\right)}}{\varepsilon \cdot t_a \cdot F \cdot V \cdot e^{-\lambda t}} \qquad (1)$$

Gde je R_b - odbroj backgrounda (cps), t_a - vreme merenja uzorka (s), t_b - vreme merenja backgrounda (s), ε – efikasnost detekcije (u konkretnom slučaju 23.25%), F – je „recovery“ faktor (u konkretnim merenjima iznosi 0.9), V - je zapremina uzorka (l), λ - je konstanta raspada za tricijum.

Koncentracija aktivnosti u izmerenim uzorcima određena je prema relaciji (2)

$$AC = \frac{R_a - R_b}{\varepsilon \cdot F \cdot V \cdot e^{-\lambda t}} \qquad (2)$$

R_a - odbroj uzorka (cps) i t- vreme proteklo od trenutka uzorkovanja do trenutka merenja (s).

4. Rezultati i diskusija

Dobijeni rezultati predstavljeni su u Tabeli 1. Uzorci su numerisani počevši od početne tačke kada Dunav ulazi u Srbiju, a poslednji uzorak vode je uzet na tromeđi – granica Rumunija – Bugarska – Srbija.
Dobijeni rezultati predstavljeni su u Tabeli 1, prema lokacijama obeleženim na Slici 1.

Tabela 1. Koncentracije aktivnosti tricijuma u izmerenim uzorcima vode iz Dunava u Srbiji

Lokacija	Koncentracija aktivnosti [$Bq \cdot l^{-1}$]
1.	3.03 ± 0.10
2.	2.66 ± 0.12
3.	2.15 ±0.05
4.	< MDA
5.	< MDA
6.	2.12 ± 0.10
7.	2.50 ± 0.11
8.	2.12 ± 0.10

Sve detektovane koncentracije aktivnosti su iznad 10 T.U. (1.18 $Bq \cdot l^{-1}$), pa se može zaključiti da za analizirane uzorke nije bilo potrebno elektrolitičko obogaćivanje. U uzorcima 4 i 5 nije mogla da se detektuje aktivnost zbog više granice detekcije, ali povećanjem vremena merenja mogla bi se smanjiti vrednost minimalne detektibilne aktivnosti. U radu Varlam et al. [5] objavljeni su rezultati monitoringa nivoa tricijuma u Dunavu u Rumuniji u različitim mesecima u toku godine. Autori su zaključili da je koncentracija aktivnosti tricijuma povišena u zimskim mesecima u poređenju sa nekim drugim periodom godine.

5. Zaključak

Izmerene koncentracije aktivnosti tricijuma u Dunavu u Srbiji su oko 18.7 T.U., dok je u uzorcima vode iz Dunava u Rumuniji izmerena prosečna vrednost (16.2 ± 2.2) T.U. [5].
U većini slučajeva prisustvo tricijuma u životnoj sredini ne predstavlja značajan radiološki rizik, zato što su njegove koncentracije aktivnosti uglavnom prilično ispod maksimalnih dozvoljenih vrednosti, za vodu za piće je prema evropskoj direktivi ta granica 100 $Bq \cdot l^{-1}$.

6. Zahvalnica

Autori se zahvaljuju na finansijskoj pomoći Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, u okviru projekta Nuklearne metode istraživanja retkih događaja i kosmičkog zračenja broj 171002, Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima broj 43002

7. Literatura

[1] Lj. Pujol, J.A. Sanchez-Cabeza, Optimization of liquid scintillation counting conditions for rapid tritium determination in acqueous samples, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol.242, No.2 (1999), 391-398

[2] C. Varlam, I. Stefanescu, O. G. Duliu, I Faurescu, I. Popescu, Applying direct liquid scintillation counting to low level tritium measurement, Applied Radiation and Isotopes 67 (2009), 812-816
[3] ASTM International, Standard test Method for Tritium in Drinking Water, D 4107-08
[4] L. Kaihola, Glass vial background reduction in liquid scintillation counting, The Science of the Total Environment, 130/131 (1993) 297
[5] C. Varlam, I. Stefanescu, I. Vagner, I. Faurescu, D. Faurescu, Tritium level along Romanian Danube river sector, Proceedings of Third European IRPA Congress 2010 June 14-16, Helsinki, Finland

ABSTRACT

TRITIUM DETERIMNATION IN DANUBE RIVER WATER IN SERBIA BY LIQUID SCINTILATION COUNTER

Nataša TODOROVIĆ, Jovana NIKOLOV, Sofija FORKAPIĆ and Ištvan BIKIT
University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics,
Trg D. Obradovića 4 , Serbia, e-mail: natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

Tritium activity concentration in Danube river water in Serbia has been determinate using a liquid scintillation counter Quantulus 1220. During December 2010, water samples were taken along the entire course of Danube through Serbia, from Hungarian-Serbian to Romanian-Serbian border. This investigation is very important because of the nearness of nuclear reactor Paks in Hungary. Sample preparation was performed by standard test method using Optiphase HiSafe 3 scintillation cocktail. We used a rapid method for the preparation of environmental samples, without electrolytic enrichment.

ODREĐIVANJE UKUPNE ALFA I BETA AKTIVNOSTI U PIJAĆIM VODAMA METODOM TEČNOG SCINTILACIONOG BROJANJA

Nataša TODOROVIĆ, Jovana NIKOLOV i Ištvan BIKIT
Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički faklultet, Departman za fiziku, Trg D. Obradovića 4, Novi Sad, e-mail adresa: natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ
U radu su prikazani rezultati merenja ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama metodom tečnog scintilacionog brojanja. Uzorci vode su pripremljeni za merenje u skladu sa standardnom metodom ASTM D 7283-06 i mereni na tečnom scintilacionom detektoru Quantulus 1220 proizvođača PerkinElmer. Od 29 merenih voda za piće, samo u jednoj je detektovana koncentracije ukupne alfaaktivnosti kojaprelazi zakonom definisanu graničnu vrednostod 0.1 Bq·l^{-1}.

1. Uvod

Prirodne vode sadrže veliki broj alfa (^{238}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{210}Po) i beta emitera koji potiču iz prirodnog niza urana, torijuma i aktinijuma, kao i ^{40}K i veštačke izotope, ^{90}Sr i ^{137}Cs. Ingestija pijaće vode koji sadrži visoke koncentracije ovih radionuklida može da izazove ozbiljne zdravstvene probleme stanovništva. Granične vrednosti za ukupnu alfa aktivnost od 0.1 Bq·l^{-1} i ukupnu beta aktivnost od 1 Bq·l^{-1} u pijaćim vodama propisane su Zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti [1] i Pravilnikom o granicama radioaktivne kontaminacije lica, radne i životne sredine i načinu sprovođenja dekontaminacije [2]. Ukupna alfa aktivnost uključuje aktivnost svih alfa emitera, bez ^{220}Rn, dok ukupna beta aktivnost obuhvata sve beta emitera izuzev ^{3}H. Ukoliko izmerene vrednosti premašuju date granice, potrebno je odrediti koncentracije aktivnosti svakog pojedinačnog radionuklida. Merenja ukupne alfa i beta aktivnosti uzoraka pijaće vode izvršena su na tečnom scintilacionom brojaču Quantulus 1220 proizvođača Perkin Elmer kojim je moguće meriti izuzetno niske aktivnosti pririodnih, veštačkih i kosmogenih radionuklida u čovekovom okruženju.

2. Eksperimentalna metoda

Uzorci pijaće vode iz vodovoda, arteških bunara i izvorišta uzorkovani su na teritoriji Vojvodine. Određivanje ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama tečnim scintilacionim detektorom izvršeno je u skladu sa standardnom metodom ASTM D 7283-06 [3], koja može da se primeni zaodređivanje koncentracije aktivnosti alfa emitera iznad 0.02 Bq/l i beta emitera sa koncentracijom aktivnosti iznad 0.3 Bq/l. Ova metoda može da se koristi i za direktna merenja ukupne alfa i beta koncentracije aktivnosti u homogenim vodenim rastvorima sakoncentracijama aktivnosti za alfa emitera iznad 1.8 Bq/l i betaaktivnostima iznad 3.7 Bq/l. Uzorak vode se filtrira kroz 0.45 μm filter papir i konzervira 2 Mazotnomkiselinom da bi se eliminisao uticaj polimerizacije, stvaranja koloidnih formacija i prekoncentrovanja sporim uparavanjem [3]. Zakišeljeni uzorak se čuva najmanje 16 h pre početka analiziranja i zatim polako uparava do suva. Zapreminu vode koja se uparava određuje se tako da masa suvog ostatka ne bude veća od najveće mase suvog ostatka kalibracionog standara. Suvi ostatak uzorka se rastvara sa 5 ml 0.1 M HNO_3 i dodaje 15 ml scintilaciongo koktela Optiphase HiSafe3 proizviđača Perkin Elmer. Uzorak treba da bude bistar homogeni rastvor bez vidljive fazne separacije. Ukoliko se pojavi fazna separacija, ili ukoliko u mernoj posudi ostane suvi ostatak,

uzima se manja zapremina uzorka za analizu i ponovlja postupak pripreme uzorka. Rezultat merenja zavisi od toga da li je uzorak meren odmah po pripremi, pri čemu se identifikuju i kratko-živući radionuklidi (npr. ^{224}Ra), ili se uzorak meri kasnije da bi se merili uzorci koji su u ravnoteži [3]. Ovako pripremljeni uzorci mere se u tečnom scintilacionom brojaču Quantulus 1220.

Tečni scintilacioni kokteli apsorbuju energiju koju emituju radioizotopi i ponovo je emituju u vidu nekoliko bljesaka svetlosti. Scintilacioni proces, kao i svetlost koja se emituje, razlikuju se za alfa i beta procese raspada. Alfa čestice proizvode svetlost u tečnom scintilacionom koktelu oko 10 puta slabijeg intenziteta nego beta čestice. Efikasnost detekcije za sve alfa čestice je gotovo 100%, za beta čestice zavisi od energije i kreće se u intervalu (90 -100)% za energije raspada iznad 100 keV, i (10-60)% za niže energije.

Za merenje ukupne alfa i ukupne beta aktivnosti tečnih uzoraka scintilacioni brojač mora se kalibrisati tako što se određuje efikasnost detekcije za alfa česticu u alfa region od interesa (ROI), efikasnost za detekciju alfa čestice u beta ROI, efikasnost detekcije beta čestice u beta ROI i efikasnost detekcije beta čestice u alfa ROI za različite mase suvog ostatka kalibracionog izvora u rasponu od 0 do 500 mg[3]. Za kalibraciju detektorskog sistema su korišćeni NIST (Nacionalni Institut za Standarde i Tehnologiju) standardni kalibracioni izvori ^{241}Am i ^{90}Sr/^{90}Y, aktivnosti (106.4 ± 0.3) Bq·g^{-1} i (4.261 ± 0.020) kBq·g^{-1}.Neaktivni uzorak se priprema tako da sadrži masu suvog ostataka kao i za alfa i beta kalibracione standarde.Kalibracioni standard i neaktivni uzorak se mere u tečnom scintilacionom brojaču. Dužina merenja se određuje tako greška merenja bude 1% (najmanje 10 000 odbroja).

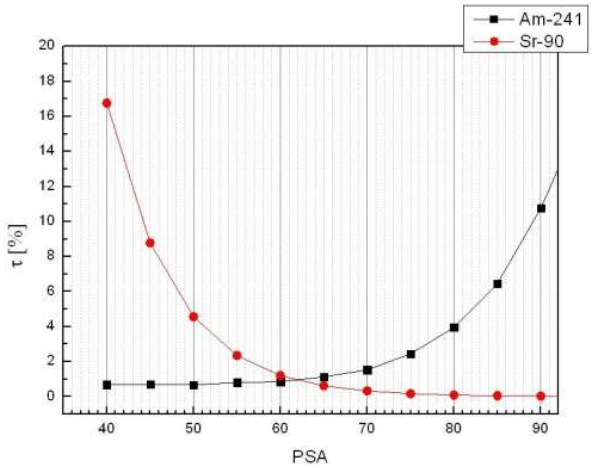
Prozori na detektoru podešeni su na kanalima od 500-800 za alfa emitere i od 1-1000 za beta emitere [3]. Da bi se omogućilo razlikovanje alfa od beta događaja u spektru, i redukovali pozadinski efekti, potrebno je pre početka merenja na detektoru podesiti analizator oblika impulsa PSA (*Pulse Shape Analysis*) [4], snimanjem krivi τ = f(PSA) pomoću kalibracionih standarda ^{241}Am i ^{90}Sr, slika 1. Faktori τ_α i τ_β računaju se prema formuli:

$$\tau_\alpha[\%] = \frac{\alpha\ odbroj\ u\ \beta\ prozoru}{ukupan\ \alpha\ odbroj} \times 100$$

$$\tau_\beta[\%] = \frac{\beta\ odbroj\ u\ \alpha\ prozoru}{ukupan\ \beta\ odbroj} \times 100$$

Minimum interferencije između alfa i beta događaja u merenim uzorcima je za slučaj kada je $\tau_\alpha = \tau_\beta$, pa se diskriminator postavlja na tu vrednost, što u ovom slučaju iznosi PSA = 62, slika 1.

Ukupne alfa i beta aktivnosti uzoraka, greške i granice detekcije, određene su u skladu sa standardnom metodom [3].



Slika 1. PSA podešavanje

3. Rezultati i diskusija

Rezultati merenja ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama prikazani su u Tabeli 1. Minimalna detektibilna aktivnost (MDA) za ukupnu alfa koncentraciju aktivnosti iznosi 0.02 $Bq \cdot l^{-1}$, a za ukupnu beta koncentraciju aktivnosti 0.3 $Bq \cdot l^{-1}$ za uzorke početne zapremine 200 ml.

Od 29 merenih uzoraka, u 6 je detektovana alfa aktivnost i u jednom uzorku beta aktivnost. Izmerene vrednosti ukupne alfa i beta koncentracije aktivnosti ne prelaze granične vrednosti propisane [1] i [2].

Samo u jednom uzorku (uzorak br. 23, Orlovača, bunar) izmerena vrednost koncentracije ukupne alfa aktivnosti prelazi graničnu vrednost za vodu zapiće i podleže dodatnoj gama-spektrometrijskoj analizi. Gama-spektrometrijskim merenjima pokazano je da koncentracije aktivnosti radionuklida ^{232}Th u ovoj vodiiznosi 0.26(9) $Bq \cdot l^{-1}$ i prelazi graničnu vrednost za vodu za piće propisanu [1],[2],[6]i[7].

Tabela 1. Rezultati merenja ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama

Br.	Uzorak	Ukupna alfa aktivnost [$Bq \cdot l^{-1}$]	Ukupna beta aktivnost [$Bq \cdot l^{-1}$]
1.	Vrdnik, bunar	<MDA	<MDA
2.	Bečej, česma	<MDA	<MDA
3.	Subotica, bunar	<MDA	<MDA
4.	Inđija, slavina	<MDA	<MDA
5.	Novi Slankamen, bunar	<MDA	<MDA
6.	Stari Slankamen, bunar	<MDA	<MDA
7.	Novi Karlovci, bunar	<MDA	<MDA
8.	Bačka Palanka, bunar	0.097 ± 0.009	<MDA
9.	Bačka Palanka, crpna stanica	<MDA	<MDA
10.	Novi Majur, slavina	<MDA	<MDA
11.	Tovariševo, crpna stanica	<MDA	<MDA
12.	Čelarevo, slavina	<MDA	<MDA
13.	Gajdobra, bunar	<MDA	<MDA

14.	Silbaš, bunar	<MDA	<MDA
15.	Pivnice, bunar	<MDA	<MDA
16.	Despotovo, crpna stanica	0.103 ± 0.011	< 0.3
17.	Neštin, bunar	<MDA	<MDA
18.	Neštin, drenažna cev	0.096 ± 0.009	< 0.3
19.	Vizić, drenažna cev	0.097 ± 0.009	< 0.3
20.	Beška, bunar	0.097 ± 0.010	< 0.3
21.	Krčedin, slavina	<MDA	<MDA
22.	Orlovača, slavina	<MDA	<MDA
23.	Orlovača, bunar	0.43 ± 0.11	< 0.3
24.	Bački Petrovac, bunar	<MDA	<MDA
25.	Novi Sad, bunar	<MDA	<MDA
26.	Novi Sad, rezervoar prečišćene vode za piće	<MDA	<MDA
27.	Beočin, slavina	<MDA	<MDA
28.	Grabovo, slavina	0.099±0.011	0.40±0.18
29.	Padinska skela, bunar	<MDA	<MDA

4. Zaključak

Određivanje ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama je vema važno sa stanovišta zaštite od zračenja stanovništva. Tečnim scintilacionim detektorom Quantulus 1220 moguće je meriti veoma niske koncentracije ukupne alfa i beta aktivnosti u pijaćim vodama. Rezultati merenja su pokazali da od 29 merenih uzoraka, samo u jednoj vodi izmerena vrednost koncentracije ukupne alfa aktivnosti prelazi zakonom definisanu graničnu vrednost za vodu za piće.

5. Zahvalnica

Autori se zahvaljuju na finansijskoj pomoći Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, u okviru projekta Nuklearne metode istraživanja retkih procesa i kosmičkog zračenja broj 171002, Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima broj 43002 i Pokrajinskom sekretarijatu za nauku i tehnološki razvoj u okviru projekta Razvoj i primena niskofonske alfa, beta spektroskopije za istraživanje radionuklida u prirodi.

6. Literatura

[1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti Srbije, *Službeni glasnik RS* 36/2009

[2]Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije lica, radne i životne sredine i načinu sprovođenja dekontaminacije, *Službeni glasnik RS* 38/2011

[3]ASTM D 7283-06, Standard Test Method for Alpha- And Beta- Activity in Water by Liquid Scintillation Countinc, *ASTM International*

[4]R. Rusconi et al, The evaluation of uncertainty in low-level LSC measurements of water samples, *Applied Radiation and Isotopes* 64 (2006), 1124-1129

[5] EU, 1998. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. European Union. *Official Journal L330* (05/12/98).

[6]Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o sprovođenju dekontaminacije, *"Sl. List SRJ"* 9/99

[7]Pravilnik o kontroli radioaktivnosti roba pri uvozu,izvozu i tranzitu, *Službeni glasnik RS* 44/2011

ABSTRACT

GROSS ALPHA AND BETA ACTIVITY MEASUREMENTS IN DRINKIG WATER USING LIQUID SCINTILLATION ANALYSIS

Nataša Todorović, Jovana Nikolov i Ištvan Bikit
University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics,
Trg D. Obradovića 4, Novi Sad, e-mail: natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

Gross alpha and beta activities are ready and highly informative parameters for the radiometric screening of drinking waters. Ultra-low level liquid scintillation counting (LSC) was performed by a Quantulus 1220 (Perkin Elmer). Water samples were prepared for measurements according to the ASTM D 7283-06 Standard Method. Of 29 measured drinking water samples, only in one the gross alpha activity exceeds the legally defined threshold of 0.1 $Bq \cdot l^{-1}$.

ODNOSI AKTIVNOSTI IZOTOPA PLUTONIJUMA I ^{137}CS ZA ZEMLJIŠTE U CRNOJ GORI

Nevenka M. ANTOVIĆ[1], Perko VUKOTIĆ[2], Nikola SVRKOTA[3] i Sergej K. ANDRUHOVIČ[4]

1)Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora, nenaa@rc.pmf.ac.me

2) Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, Crna Gora

3) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

4) Institut za fiziku, Akademija nauka, Minsk, Bjelorusija

SADRŽAJ

Za šest uzoraka zemljišta iz Crne Gore određeni su odnosi aktivnosti izotopa plutonijuma i ^{137}Cs, korišćenjem rezultata alfa-spektrometrijskih mjerenja $^{239+240}$Pu i ^{238}Pu i gama-spektrometrijskih mjerenja cezijuma. Srednja vrijednost odnosa aktivnosti $^{239+240}$Pu/^{137}Cs iznosi 0.02, a odnosa aktivnosti ^{238}Pu/^{137}Cs i ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu – 0.0006 i 0.03, respektivno. Iz rezultata slijedi da je izvor plutonijuma u zemljištu u Crnoj Gori – testiranje nuklearnog oružja pedesetih i šezdesetih godina dvadesetog vijeka, dok je, pored toga, kontaminaciji zemljišta izotopom ^{137}Cs, doprinijela i havarija u nuklearnoj elektrani Černobilj.

1. Uvod

Kao što je poznato, različita mjerenja izotopa plutonijuma vršena su pomoću alfa-spektrometrije, ali i drugih metoda (masena spektrometrija, itd.), uključujući i kombinacije alfa-spektrometrije i drugih tehnika. Treba napomenuti da se obično izotopi plutonijuma ^{239}Pu i ^{240}Pu ne razdvajaju pri mjerenjima u uzorcima iz životne sredine, pa je aktivnost koja se prikazuje kao aktivnost ^{239}Pu, ustvari aktivnost ^{239}Pu i ^{240}Pu ($^{239+240}$Pu), pri čemu, radi se o otprilike 60 % aktivnosti izotopa ^{239}Pu.

Osim direktnih mjerenja, za procjenu nivoa kontaminiranosti teritorije izotopima plutonijuma, mogu se primijeniti određeni korelacioni koeficijenti. Prethodna istraživanja pokazala su da se, na primjer, za procjenu sadržaja i aktivnosti izotopa plutonijuma u radioaktivnim padavinama nakon havarije u nuklearnoj elektrani Černobilj, mogu koristiti koeficijenti korelacija između aktivnosti izotopa plutonijuma i aktivnosti ^{144}Ce, ^{103,106}Ru, ^{137}Cs, itd. [1, 2].

Posebno je značajno utvrditi odnose aktivnosti $^{239+240}$Pu/^{137}Cs, ^{238}Pu/^{137}Cs, kao i ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu, i upravo oni su, za zemljište u Crnoj Gori, predmet ovog rada.

Naime, nivo radioaktivnih padavina može se procijeniti na osnovu odnosa $^{239+240}$Pu/^{137}Cs (kao što je, između ostalog, urađeno i za zemljište u Španiji [3]) i uobičajeno se pretpostavlja da je prisustvo ovog izotopa plutonijuma u većini evropskih zemalja uglavnom uslovljeno testiranjem nuklearnog naoružanja. Odnos aktivnosti ^{137}Cs/$^{239+240}$Pu u zemljištu i sedimentu sjeverne hemisfere, uslovljen radioaktivnim padavinama usljed testiranja nuklearnog oružja, ima vrijednost 36±4[4]. Odstupanje od ove vrijednosti ukazuje na dodatnu kontaminaciju cezijumom i/ili plutonijumom iz nekih drugih izvora.

Teritorija Crne Gore, osim kontaminacije uslovljene testiranjem nuklearnog naoružanja pedesetih i šezdesetih godina 20-tog vijeka, dodatno je kontaminirana nakon havarije u nuklearnoj elektrani Černobilj 1986. godine. Da bi se odredilo koliko je ova havarija doprinijela ukupnoj kontaminaciji zemljišta, mogu se koristiti odnosi ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu i ^{134}Cs/^{137}Cs, zbog toga što se ovi odnosi značajno razlikuju u ta dva slučaja. Tako, u

mnogim evropskim zemljama (gđe je u značajnom iznosu utvrđena kontaminacija cezijumom černobiljskog porijekla) tzv. globalni *fallout* odvojen je od černobiljske komponente pomoću izotopa ^{134}Cs. Međutim, u slučaju Crne Gore ne postoje podaci o aktivnostima ^{134}Cs, a njegovo korišćenje više nije moguće (zbog kratkog perioda poluraspada), ili je posve neopouzdano. Sa druge strane, da bi se odredio doprinos černobiljske havarije kontaminaciji teritorije Crne Gore izotopima plutonijuma, treba razmotriti odnos aktivnosti ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu, što je i urađeno u ovom radu.

2. Materijal i metodi

2.1. Gama-spektrometrija

Šest uzoraka nekultivisanog zemljišta uzorkovano je na uobičajeni (za gama-spektrometriju) način. Uzorci iz kojih su odstranjena strana tijela pakovani su u čiste i označene kese, osušeni na sobnoj temperaturi, prosijani i, nakon mjerenja mase, smješteni u Marineli posude od 1 litra.

Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs mjerena je koaksijalnim HPGe detektorom (ORTEC – GEM-40190, relativna efikasnost – 40%, FWHM – 1.80 keV na 1.33 MeV, FWHM – 840 eV na 122 keV) na standardni način, tj. preko pika na energiji 662 keV, koristeći brzinu brojanja pod pikom, efikasnost detekcije gama zraka energije 662 keV, njegov intenzitet i masu uzorka.

2.2. Alfa-spektrometrija

Alfa-spektrometrijska analiza šest uzoraka zemljišta izvršena je u *Radiation and Nuclear Safety AuthoritySTUK* (*Helsinki, Finland*)i određene su aktivnosti ^{238}Pu i $^{239+240}$Pu u njima. Procedura se sastojala od: sušenja i homogenizacije uzorka, radiohemijske analize, plutonijum testa – akreditovani metod (alfa-spektrometrijska mjerenja, TKO3.1.7)

3. Rezultati i diskusija

Izmjerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs, ^{238}Pu i $^{239+240}$Pu u uzorcima zemljišta iz Crne Gore, date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Koncentracije aktivnosti ^{137}Cs, ^{238}Pu i $^{239+240}$Pu u šest uzoraka zemljišta

Uzorak	^{137}Cs [Bq kg^{-1}]	$^{239+240}$Pu [Bq kg^{-1}]	^{2338}Pu [Bq kg^{-1}]
1	32.47 ± 2.14	0.35 ± 0.05	0.0145 ± 0.0088
2	33.67 ±2.28	0.38 ± 0.05	0.0095 ±0.0058
3	22.11 ±1.48	0.44 ± 0.06	<0.0060
4	100.47 ± 6.58	2.61 ± 0.21	0.094 ± 0.020
5	70.01 ± 4.62	1.73 ± 0.15	0.049 ± 0.014
6	5.50 ± 0.44	0.16±0.04	<0.0091

Odnos aktivnosti $^{239+240}$Pu/^{137}Cs u ovih šest uzoraka zemljišta bio je: 0.0108, 0.0113, 0.0199, 0.0259, 0.0247 and 0.0284, respektivno, što znači srednju vrijednost 0.02 i standardnu devijaciju 0.007.

Ova srednja vrijednost značajno je manja od srednje vrijednosti istog odnosa aktivnosti koja je dobijena za uzorke zemljišta u Jordanu (0.41 [5]), nešto manja od, na primjer, srednje vrijednosti za zemljište u *Rokkosho* u Japanu (0.037±0.007 [6]), a odgovara mjerenjima u pojedinim oblastima Evrope neposredno prije černobiljske havarije (oko 0.018 [7]) i veća je od $4.8 \cdot 10^{-3}$, koliko je utvrđeno u sjevernoj Švajcarskoj [8].

Korelacioni koeficijent za aktivnosti ^{238}Pu i ^{137}Cs određen je kao srednja vrijednost pojedinačnih koeficijenata (0.00045, 0.00028, <0.00027, 0.00093, 0.0007 i <0.0016, respektivno) u iznosu 0.0006, uz standardnu devijaciju 0.0003. Ovo je značajno manje od srednje vrijednosti istog koeficijenta u mnogim zemljama. Na primjer, u uzorcima zemlje u Jordanu ova srednja vrijednost iznosi 0.39 [5].

Sa druge strane, srednja vrijednost odnosa aktivnosti $^{137}Cs/^{238}Pu$ (~2070) ukazuje na činjenicu da postoji doprinos černobiljske havarije ukupnoj kontaminiranosti zemljišta u Crnoj Gori izotopom ^{137}Cs, kao i da je moguće da ne postoji značajniji doprinos černobiljske havarije ukupnoj kontaminiranosti zemljišta izotopom ^{238}Pu, što je potvrđeno i razmatranjem odnosa aktivnosti $^{238}Pu/^{239+240}Pu$.

Naime, odnos aktivnosti $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ u pojedinačnim uzorcima bio je 0.0414, 0.0414, < 0.0136, 0.036, 0.0283 i < 0.0583, respektivno, sa srednjom vrijednošću 0.03 i standardnom devijacijom 0.007. Ove vrijednosti odgovaraju rezultatima dobijenim za zemljište u sjevernoj Švajcarskoj [8], ali i rezultatima koji su dobijeni za radioaktivne padavine uslovljene testiranjem nuklearnog oružja. Odnosno, ove vrijednosti su tipične za plutonijum koji potiče od navedenih padavina tokom šezdesetih godina 20-tog vijeka (kada se govori o nekultivisanom zemljištu), za koje je opseg ovog odnosa aktivnosti poznat i iznosi 0.015-0.05 [9].

U zemljištu i sedimentu sjeverne hemisfere, odnos aktivnosti $^{239+240}Pu/^{238}Pu$ karakterističan za padavine uzrokovane testiranjem nuklearnog oružja, ima (uopštenu) vrijednost 30±4 [4]. Ovo u potpunosti odgovara odnosu aktivnosti ova dva izotopa koji je dobijen alfa-spektrometrijskim mjerenjima uzoraka zemljišta iz Crne Gore (~31).

Sa druge strane, odnos aktivnosti $^{239+240}Pu/^{238}Pu$ karakterističan za zemljišta kontaminirana usljed černobiljske havarije, pripada opsegu od 0.3 do 0.7 [10]. Ovo je potvrđeno i alfa-spektrometrijskim mjerenjem plutonijuma u uzorcima aerosola sakupljenim u Austriji poslije havarije u Černobilju, kada je utvrđen opseg ovog odnosa: 0.33 – 0.76 [11].

4. Zaključak

Utvrđeni odnosi aktivnosti $^{239+240}Pu/^{137}Cs$, $^{238}Pu/^{137}Cs$ i $^{239+240}Pu/^{238}Pu$ za zemljište u Crnoj Gori, pokazali su da je izvor kontaminiranosti teritorije plutonijumom testiranje nuklearnog oružja, tj. globalni *fallout*, a u slučaju ^{137}Cs i havarija u nuklearnoj elektrani Černobilj.

5. Literatura

[1] V.V. Andreev, V.T. Bykov, A.N. Vodin, N.V. Maksimenko, S.N. Olejnik, E.A. Rudak, A.J. Tulubtsov. Evaluacija emisije plutonijuma u aerosolnom obliku nakon havarije u nuklearnoj elektrani Černobilj. *Preprint Instituta za fiziku Akademije nauka Bjelorusije*, 742, Minsk, 2005 (na ruskom jeziku).

[2] V.M. Kulakov, V.G. Kulazhko, S.K. Lisin. Experimental determination of the correlation coefficient between plutonium isotopes and Ce-144 content in soil, in: *Ser. Nucl. Phys. Res. (theory and experiment)* 5 (1990) 149-150.

[3]P. Rubio Montero, A. Martín Sánchez. Plutonium contamination from accidental release or simply fallout: study of soils at Palomares (Spain). *J. Environ. Radioact.* 55/2 (2001) 157-165.

[4] M. Turner, M. Rudin, J. Cizdziel, V. Hodge. Excess plutonium in soil near the Nevada Test Site, USA. *Environ. Pollut.*125/2 (2003) 193-203.

[5] I. Al Hamarneh, A. Wreikat, K. Toukan.Radioactivity concentrations of ^{40}K, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, ^{238}Pu and $^{239+240}$Pu radionuclides in Jordanian soil samples. *J. Environ. Radioact.* 67/1 (2003) 53-67.

[6] Y. Ohtsuka, T. Iyogi, H. Kakiuchi, Y. Takaku, S. Hisamatsu, J. Inaba.Evaluation of $^{239+240}$Pu, ^{137}Cs and natural ^{210}Pb fallout in agricultural upland fields in Rokkasho, Japan. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 261/3 (2004) 625-630.

[7] K. Bunzl, W. Kracke. Cumulative deposition of ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu and ^{241}Am from global fallout in soils from forest, grassland and arable land. *J. Environ. Radioact.* 8 (1988) 1-14.

[8] J. Eikenberg, S. Bajo, J. Hitz,L. Wyer. Environmental Radionuclide Analyses around Nuclear Installations in Northern Switzerland. *BAER conference*, 2001, http://www.lanl.gov/BAER-onference/BAERCon-47p-Eikenberg.pdf.

[9] E.P. Hardy, P.W. Krey, H.L. Volchock. Global inventory and distribution of fallout plutonium. *Nature* 24 (1973) 444–445.

[10] P. Carbol, D. Solatie, N. Erdmann, T. Nylen, M. Betti. Deposition and distribution of Chernobyl fallout fission products and actinides in a Russian soil profile. *J. Environ. Radioact.* 68/1 (2003) 27-46.

[11] K. Irweck, J. Wickie. Isotopic composition of plutonium emissions in Austria after the Chernobyl accident.*J. Radioanal. Nucl. Chem.* 227/1–2 (1998) 133–136.

ABSTRACT

PLUTONIUM ISOTOPES/^{137}Cs ACTIVITY RATIOS FOR SOIL IN MONTENEGRO

Nevenka M. ANTOVIC[1], Perko VUKOTIC[2], Nikola SVRKOTA[3] i Sergey K. ANDRUKHOVICH[4]

1)Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro, nenaa@rc.pmf.ac.me

2) Montenegrin Academy of Sciences and Arts, Podgorica, Montenegro

3) Centre for Ecotoxicological Research, Podgorica, Montenegro

4) Institute of Phyiscs, Academy of Sciences, Minsk, Belarus

Plutonium isotopes/^{137}Cs activity ratios were determined for six soil samples from Montenegro, using the results of alpha-spectrometric measurements of$^{239+240}$Pu and ^{238}Pu, as well as gamma-spectrometric cesium measurements. An average $^{239+240}$Pu/^{137}Cs activity ratio is found to be 0.02, as the ^{238}Pu/^{137}Cs and ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu one – 0.0006 and 0.03, respectively. It follows from the results that the source of plutonium in Montenegro soil is nuclear weapon testing during the fifties and sixties of the twentieth century. On the other hand, there is a contribution of the accident at the Chernobyl nuclear power plant to the soil contamination with ^{137}Cs isotope.

PREGLED RAČUNARSKIH MODELA KRETANJA POLUTANATA KROZ ATMOSFERU SA POSEBNIM OSVRTOM NA RADIOPOLUTANTE

Miloš ŽIVANOVIĆ, Jasmina ĐUKANOVIĆ, Miloš DAVIDOVIĆ, Dragana ČEKEREVAC i Srboljub STANKOVIĆ
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija, milosz@vinca.rs

SADRŽAJ
Moderno društvo je neraskidivo povezano sa korišćenjem i proizvodnjom radioizotopa, kako u mirnodopske tako i u vojne svrhe. Marta 2007. godine, u svetu je postojalo 443 nuklearne elektrane, neutvrđena količina nuklearnog oružja, kao i ogroman broj industrijskih, medicinskih i drugih postrojenja koja koriste radioizotope u različite svrhe. Sa rasprostranjenom upotrebom radioizotopa je skopčana i opasnost od njihovog ispuštanja u biosferu. Ovaj rad daje pregled modela koji mogu da posluže predviđanju ili rekonstrukciji kretanja radioizotopa kroz atmosferu u slučaju njihovog ispuštanja.

1.Uvod

Modelovanje zagađenja vazduha je aktuelno još od tridesetih godina prošlog veka. Problem se rešava tako što se izvršavaju numeričke simulacije uzevši u obzir transport zagađivača kroz atmosferu, difuziju, hemijske transformacije i deponovanje na zemlju. Najstariji modeli su bili gausovskog tipa, a koristili su se za modelovanje kretanja dima emitovanog iz fabričkih dimnjaka[1]. Tokom godina, razvijeno je još nekoliko bazičnih pristupa ovom problemu i na stotine njihovih varijacija.[2]

Postoji vrlo ograničen broj modela pisanih specifično za zagađenja radioizotopima. Međutim, veliki broj modela se može iskoristiti u te svrhe ukoliko su poznate fizičko-hemijske osobine ispuštenih gasova i para. Temperatura gasa, geometrija izvora, vremenske fluktuacije, molekulska masa, reaktivnost, vreme poluraspada, samo su neki od parametara koji omogućavaju da se odabere odgovarajući model i dobije upotrebljiva procena kretanja zagađenja kroz atmosferu.

2. Pregled modela prema principu funkcionisanja

Modeli se okvirno mogu podeliti na disperzivne, fotohemijske i receptorske. Disperzivne simulacije mogu biti zasnovane na modelu kutije, gausovskom modelu, lagranžovskom modelu, ojlerovskom modelu i modelu gustog gasa.

Model kutije je najjednostavniji i ima vrlo ograničene mogućnosti. U okviru ovog modela se posmatra zapremina vazduha u obliku kutije u kojoj su polutanti homogeno raspoređeni. Veličina kutije (i sa njom koncentracija polutanata) će zavisiti od visine mešanja i brzine vetra. ADAM je jedan od modela koji koristi modifikovani model kutije u kombinaciji sa modifikovanim gausovskim modelom.

Najviše je modela gausovskog tipa. Ovi modeli pretpostavljaju gausovsku raspodelu zagađivača, kako po vertikalnoj osi, tako i po osi normalnoj na pravac vetra. Ovaj pristup se uglavnom koristi kod gasova lakših od vazduha koji se emituju sa Zemljine površine ili iz izdignutih izvora i koji protiču kontinualno. Ređe se ovi modeli koriste i za modeliranje disperzije zagađujućih supstancija iz nekontinualnih izvora.[3] U gausovske modele spadaju AERMOD, BLP, CALINE3, OCD, AFTOX, ISC3, SDM, TSCREEN, VALLEY, RTDM3.2...

Lagranžovski modeli koriste pokretni koordinatni sistem da prate kretanje pojedinih „čestica“ dimne perjanice. Trajektorija svake pojedine čestice dima se modeluje na osnovu slučajnog kretanja, a zatim i koncentracija polutanata na osnovu statistike

velikog broja pomenutih čestica. Ovi modeli mogu davati predviđanja za veoma duge vremenske intervale, čak do nekoliko godina.[2] U modele ovog tipa spadaju CALPUFF, AUSTAL2000, FLEXPART, GRAL, DEM, EMEP-trajectory, NAME, SCIPUFF...
Jedan od modela ovog tipa razvijen specifično za modelovanje rasprostiranja radioizotopa je NAME. Ovaj model je nastao u Velikoj Britaniji kao odgovor na Černobilsku katastrofu. Može se koristiti i za kontinualne emisije i za emisije „puff" tipa i proračunava se mokro i suvo deponovanje na zemlju. Model može da obradi veoma veliku količinu meteoroloških i drugih podataka, ali je takođe u stanju da operiše na osnovnim postavkama u slučaju da je potrebna hitna procena zagađenja. Minimalni potrebni podaci su lokacija i vreme početka ispuštanja radiopolutanta, a procena dobijena na osnovu smanjenog broja parametara ima, svakako, ograničenu primenu.[4]
Ojlerovski modeli su principijalno vrlo slični lagranžovskim. Prati se nasumično kretanje velikog broja „čestica" dima, ali se koristi fiksirani Dekartov koordinatni sistem.[2] DEHM, TAPM, MEMO, TCAM i UAM predstavljaju modele ovog tipa.
Modeli kretanja gustog gasa se koriste za predviđanje kretanja gasovitih zagađivača težih od vazduha. Tri često korišćena modela ovog tipa su DEGADIS, SLAB i HEGADAS.
Fotohemijski modeli su modeli širokih razmera, sve do globalnog nivoa. Oni uzimaju u obzir fizičke i hemijske procese u atmosferi u cilju procene kretanja koncentracije zagađivača.[2] U modele ovog tipa spadaju Model-3/CMAQ, CAMx, REMSAD, UAM-V...
Receptorski modeli rade u obrnutom smeru od prognostičkih. Početne koncentracije i izvori zagađivača nisu poznati. Ulazni podatak predstavljaju zabeležene koncentracije na određenim mernim mestima, a modeli zatim računaju broj izvora zagađenja i doprinos svakog od njih ukupnoj koncentraciji zagađivača. U kombinaciji sa meteorološkim podacima, moguće je identifikovati i locirati izvore. Agencija za zaštitu životne sredine SAD preporučuje korišćenje tri ovakva modela: UNMIX, CMB i PMF.[2, 5]

3. Specifičnosti vezane za modelovanje kretanja radioaktivnih materija

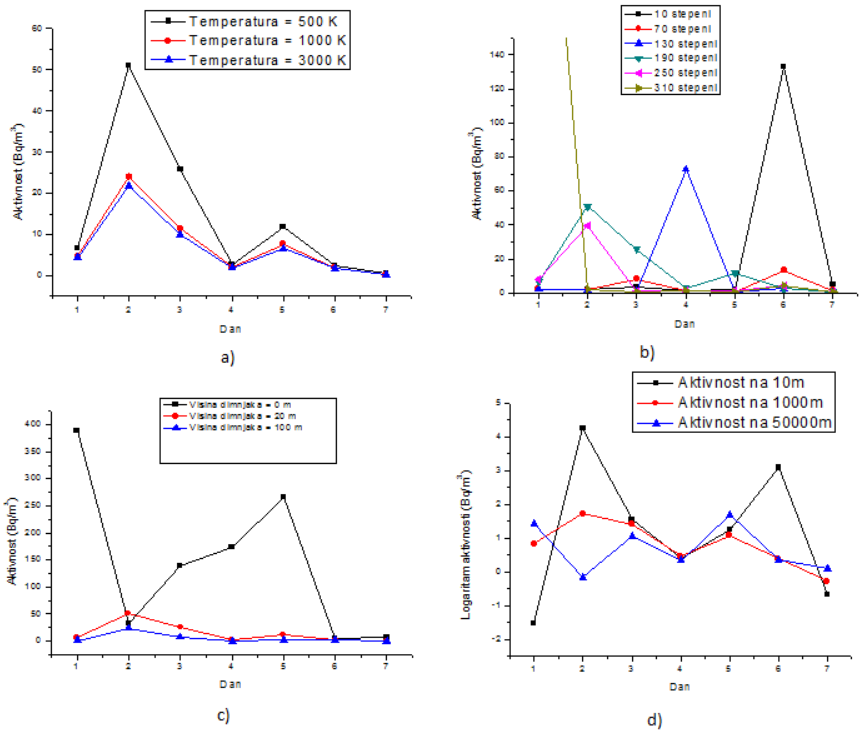
Pokazuje se da veliki broj pobrojanih modela pod određenim uslovima može da se iskoristi za modelovanje kretanja radioaktivnih materija kroz atmosferu. Specifičnosti vezane za ovu problematiku se uglavnom odnose na izotopske efekte (na primer, različita molarna masa i veličine vezane sa njom)[6] i činjenicu da se srednje vreme poluživota radioaktivnih jedinjenja (ili atoma) u atmosferi mora korigovati u odnosu na analogna jedinjenja koja ne sadrže radioizotope. Ukoliko su gore navedeni parametri poznati, simulacije generalno mogu da se izvršavaju na uobičajeni način.

4. Primer modeliranja kretanja radionuklida kroz atmosferu

Na primeru AERMODA je prikazano modelovanje hipotetičkog slučaja akcidentalnog ispuštanja joda-131 u atmosferu. AERMOD je slobodno dostupan model razvijen od strane regulatornog komiteta pri AMS/EPA. AERMOD koristi dva pretprocesora: AERMET koji služi kao meteorološki pretprocesor baziran na turbulentnoj strukturi planetarnog graničnog nivoa i AERMAP – pretprocesor podataka o konfiguraciji terena. Ovaj model podržava modeliranje tačkastih, površinskih i zapreminskih izvora, koji mogu biti izdignuti ili u nivou zemlje, mokru i suvu depoziciju gasova i dispergovanih čestica itd. Izvori moraju biti kontinualni, emitovani gas lakši od vazduha, a temperatura emitovanog gasa viša od ambijentalne.[7]
U ovoj simulaciji, modelovano je rasprostiranje radioaktivnog joda-131 kroz atmosferu. Korišćena je pretpostavka da je vreme poluživota ovog izotopa u atmosferi jednako

vremenu poluraspada njegovog jezgra (t.j. da se ne uklanja drugim procesima iz atmosfere). Takođe je, na osnovu direktne proporcionalnosti aktivnosti i mase ovog izotopa, umesto mase gasa u izvedenim jedinicama korišćena aktivnost (tj. Bq/s i Bq/m^3 umesto g/s i g/m^3). Postavka uslova je sledeća: period modelovanja je 7 dana, a uzeti su nasumično generisani meteorološki podaci. Teren je ravan, bez prirodnih i veštačkih prepreka, na nivou mora. Izvor je tačkasti, visine 20 m, fluksa 1000 Bq/s, temperature 500 K i brzine gasa na izlazu 20 m/s. Receptori su postavljeni u koncentričnim krugovima oko izvora, u pravcu 10^0, 70^0, 130^0, 190^0, 250^0 i 310^0 na visini 10 m. Tokom simulacije, pojedini parametri su varirani i posmatran je njihov uticaj na izmerene koncentracije. Na slici 1-a do 1-c su prikazane simulirane koncentracije pod uglom od 190^0 u odnosu na izvor.

Izvedene simulacije prikazuju kratkoročno kretanje koncentracija zagađivača i tačne su u onoj meri u kojoj su dobre korišćene aproksimacije. Slučajne fluktuacije koje se mogu primetiti su posledica simuliranih vremenskih prilika. Rezultati sugerišu da je temperatura ispuštenog gasa vrlo pouzdan parametar za kontrolu ostvarenih koncentracija zagađivača. Sa visinom dimnjaka generalno padaju merene koncentracije, pri čemu se značajna razlika vidi pri malim visinama. Pad koncentracija se generalno primećuje i sa porastom razdaljine od izvora, ali razlike nisu drastične u krugu od 50 kilometara od izvora.



Slika 1. Vremenske promene specifične zapreminske aktivnosti radionuklida J-131 pri variranju različitih parametara: a) temperature emitovanog gasa; b) pravca u kom je mereno; c) visine dimnjaka; d) rastojanja od zagađivača

5. Literatura

[1] C. H. Bosanquet and J. L. Pearson, The spread of smoke and gasses from chimneys, Trans. Faraday Soc., 1936, 32, 1249-1263

[2] Aaron Daly, Paolo Zannetti, Ambient air pollution, Chapter 2: Air pollution modeling, an overview, The Arab School for Science and Technology (2007)

[3] Beychok, Milton R, Fundamentals Of Stack Gas Dispersion (4th Edition ed.), Author-published (2005)

[4] R. H. Maryon, F. B. Smith, B. J. Conway and D. M. Goddard, The U.K. nuclear accident model, Progress in Nuclear Energy, Vol. 26, No. 2, pp. 85 104 (1991)

[5] Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions, US EPA (2005)

[6] I. Draganić, Radioaktivni izotopi i zračenja, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" (1981);

[7] User's guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD, US EPA, (2004)

ABSTRACT

AN OVERVIEW OF COMPUTER MODELS FOR POLUTANT TRANSFER THROUGH THE ATMOSPHERE, WITH SPECIAL CONSIDERATION FOR RADIOISOTOPES

Miloš ŽIVANOVIĆ, Jasmina ĐUKANOVIĆ, Miloš DAVIDOVIĆ, Dragana ČEKEREVAC i Srboljub STANKOVIĆ[1]

Vinca Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia, milosz@vinca.rs

Modern society is intrinsically connected with usage and production of radioisotopes, both for military and civilian applications. During the march of 2007, there were 443 active nuclear plants, unknown quantity of nuclear weapons and a huge number of industrial, medical and other facilities that possess and use radioisotopes for various purposes. With the widespread usage of radioisotopes, there comes a danger of accidental or planed release into the biosphere. This paper gives an overview of the models that can be used for prognosis or reconstruction of radioisotope transfer through the atmosphere in case of accidental or planned release

ЕФЕКТИ ЕОЛСКЕ ЕРОЗИЈЕ МЕРЕНИ ДИСТРИБУЦИЈОМ ^{137}CS И ПРИРОДНИХ РАДИОНУКЛИДА

Миодраг КРМАР[1], Миљан ВЕЛОЈИЋ[2], Јан ХАНСМАН[1] и Наташа ТОДОРОВИЋ[1]

1) Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија, krmar@df.uns.ac.rs

2) ЈП Војводинашуме, Петроварадин, Србија, mvelojic@vojvodinasume.rs

САДРЖАЈ

Стандардна техника путем које је могуће добити квантитативну меру ерозије земљишта, као и информацију о просторној расподели ерозије и депозиције земљишта базира се на мерењу дубинске расподеле концентрације ^{137}Cs. Последњих година је развијена техника где се ^{210}Pb користи у исте сврхе. У овом раду ће бити приказани прелиминарни резултати мерења ефеката ерозивних дејстава атмосферских падавина и ветра на локацији у Делиблатској пешчари.

1. Увод

Ерозија обрадивог земљишта, као и његово депоновање у виду седимента, посебно на дну језера и река представља озбиљан проблем, поготово код земаља у развоју. Потреба за новим техникама путем којих би се ерозија и транспорт земљишта могли квантитативно описати на некој широкој просторној и временској скали, довела је до развоја неколицине метода, од којих се једна базира на употреби ^{137}Cs избаченог у атмосферу током надземних нуклеарних проба. Мерљиве количине ^{137}Cs које су путем атмосферске депозиције доспеле у површинске слојеве земљишта продиру до одређене дубине, стварајући том приликом дистрибуцију чији облик на одређеном пресеку у највећој мери зависи од тога да ли су ерозивни механизми на датом месту вршили уклањање или седиментацију материјала. Поређењем тоталног биланса количине ^{137}Cs у површинским слојевима земљишта на једној локацији, са укупном количином концентрације активности ^{137}Cs измереној на локацији за коју се са сигурношћу зна да није била изложена ерозији, могуће је добити и квантитативну меру ерозивних дејстава. Основно ограничење технике која се заснива на мерењу ^{137}Cs се огледа у томе да се након престанка надземних нуклеарних проба количина овог елемента смањује, што ће временом све више отежавати детекцију. Количина ^{137}Cs у јужној хемисфери понекад није довољна за поуздана мерења, док у неким областима, озбиљније погођеним последицама чернобилске хаварије ^{137}Cs депонован том приликом у битној мери може утицати на процену ефеката ерозије. Неки од поменутих проблема се могу превазићи употребом ^{210}Pb. Овај је радионуклид члан низа ^{238}U, и дугоживећи је потомак ($T_{1/2}$ = 22.3 год.) ^{222}Rn. То значи да одређена количина ^{210}Pb доспева до површинских слојева земљишта путем атмосферске депозиције, као што је то био и случај са ^{137}Cs. Због јаког хемијског афинитета према честицама земље ^{210}Pb се углавном задржава у површинским слојевима и споро дифундује надоле. На веома сличан начин као и код ^{137}Cs, мерењем дубинске дистрибуције концентрације активности ^{210}Pb, као и на основу укупног биланса овог радионуклида се за неку локацију могу извести квалитативне и квантитативне процене дејстава ерозије. У досадашњим бројним истраживањима најчешће је вршена процена ефеката водене

ерозије. У овом раду ће бити приказани неко прелиминарни резултати процене ерозивних дејстава ветра на одабраној локацији у Делиблатској пешчари.

2. Метод

Широко прихваћена процедура процене ерозије [1] подразумева одређивање дубинске дистрибуције радионуклида на неком референтном месту за кога се поуздано зна да није било изложено ерозивним дејствима воде или ветра. Осим тога, неопходно је утврдити како изгледа та дистрибуција на локацијама где се земљиште обрађује, као и на местима где путем ерозије долази до одношења или депоновања земљишта. На овим локацијама се узоркује земљиште у слојевима дебљине 2 cm. Када се за дату област одреде карактеристичне дистрибуције на одабраним пресецима, узимају се узорци земљишта дебљине 5 cm по некој установљеној мрежи у области од интереса. Узорци се суше, чисте од биљног материјала и механичких нечистоћа и херметички затварају да би се након постизања радиоактивне равнотеже радонових потомака мерили гама спектри из којих се одређује концентрација ^{137}Cs и $^{210}Pb_{ex}$. На основу тоталног садржаја радионуклида који се израчуна за дату локацију (у Bq/m^2) се може закључити да ли се са датог места путем ерозије односи земљиште или се ту депонује. Постоји неколико различитих метода [2,3] путем којих се на основу укупног садржаја радионуклида на некој локацији може добити и квантитативна мера ерозије.

Земљиште из Делиблатске пешчаре је узорковано на локалитету Цвијићев вис који се налази северно од места Делиблато. Одабране су две локације за референтне узорке, као и осам правилно распоређених тачака од којих се четири налазе унутар површине обрађиваног земљишта док су друге четири распоређене ван ње. Локације са којих је узорковано обрађивано земљиште чине квадрат странице 20 m док су тачке са којих је узимано необрађивано земљиште респоређене по теменима квадрата странице 40 m.

Након обраде, узорци масе око 300 g супаковани у стандардну геометрију (d = 70 mm, h=32 mm) и снимани нискофонским HPGe детектором са берилијумским прозором релативене ефикасности 32%. Карактеристично време мерења је било око $70 \cdot 10^3$s.

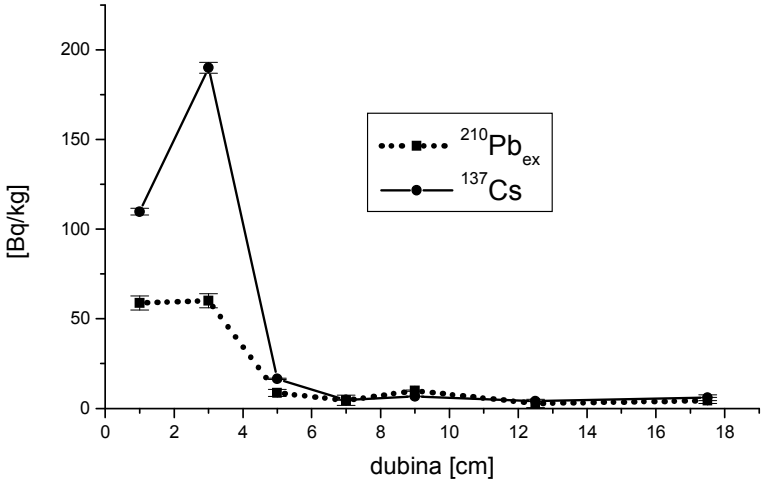
На основу добијених вредности концентрације активности ^{137}Cs и измерених густина узоркованог земљишта, израчунате су вредности тоталног садржаја радионуклида [у Bq/m^2] за посматране локације. Ерозијаса локација на обрадивом земљишту процењена је на два начина, путем најједноставнијијег пропорционалног модела као и на основу модела баланса масе.

3. Резултати мерења

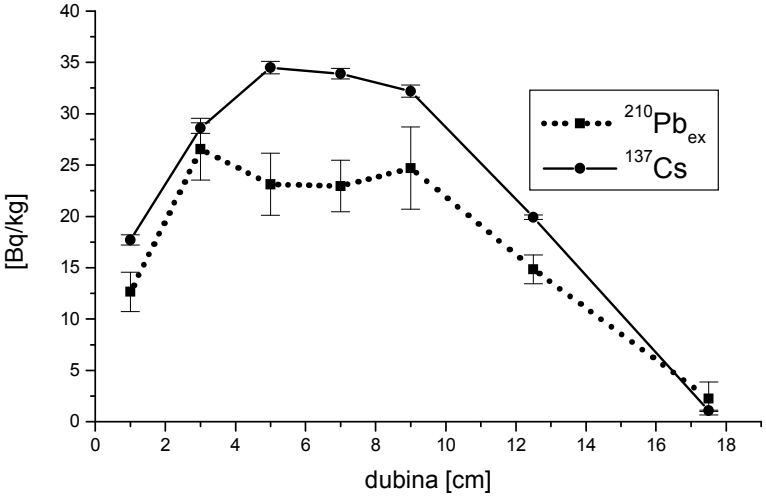
Дубинска дистрибуција концентрације активности ^{137}Cs и $^{210}Pb_{ex}$за две референтне локације приказане су на сликама 1 и 2. Може се видети да су у необрађиваном земљишту оба радионуклида продрла до дубине од 6 cm. Мешањем земљишта приликом обраде постигнуто је да се поменути радионуклиди могу наћи и на већим дубинама. Укупан садржај ^{137}Cs у референтној тачки необрађиваног земљишта је $7.78 \cdot 10^3 Bq/m^2$, док је на рефентној локацији унутар обрађиваног земљишта та вредност $5.27 \cdot 10^3 Bq/m^2$. За $^{210}Pb_{ex}$ на необрађиваном и обрађиваном земљишту су добијене следеће вредности $3.58 \cdot 10^3 Bq/m^2$ и $4.04 \cdot 10^3 Bq/m^2$ респективно.

Укупан садржај ^{137}Cs је израчунат за све одабране узорке. Будући да је он у свим посматраним тачкама на обрађиваном зенљишту мањи од укупног садржаја ^{137}Cs

добијеног на референтној локацији, јасно је да се путем ерозије са обрађиваног терена односи земљиште. За локације на обрађиваном земљишту је извршена процена укупне ерозије и добијени резултати су приказани у табели 1. У прорачуну је претпостављено да је дебљина слоја који се меша орањем 20 cm, док је за корекциони фактор којим се урачунава ефекат величина транспортованих честица одабрана вредност од 1.3. За референтну локацију на обрађиваном земљишту пропорционалним моделом је ерозија процењена на 13.7 t/ ha·god док је за исту локацију метод биланса маса дао 16.5 t/ ha·god.



Слика 1. Дубинска дистрибуција ^{137}Cs и ^{210}Pb на референтној локацији где земљиште није обрађивано



Слика 2. Дубинска дистрибуција ^{137}Cs и ^{210}Pb на референтној локацији обрађиваног земљишта

Пропорционални модел је најједноставнији начин процене ефеката ерозије и познато је да се на овај начин најчешће добијају нешто ниже вредности од стварних. Основни недостатак употребљеног поједностављеног модела баланса масе је тај да занемарује могуће уклањање ^{137}Cs свеже депонованог између два орања. Будући да је у атмосфери преостала релативно мала количина овог радионуклида, може се сматрати да модел баланса маса даје солидну процену ефеката ерозије.

Tabela 1. Укупан садржај ^{137}Cs и процена ерозије за локације на обрађиваном земљишту

узорак	ук. садржај [Bq/m^2]	баланс масе [t/ ha·god]	пропор. модел [t/ ha·god]
1	266.4	138	41.0
2	5248	16.7	13.8
3	3186	37.6	25.1
4	5262	16.6	13.8

4. Закључак

Прелиминарна мерења су показала да се на терену у Делиблатској пешчари могу установити дубинске дистрибуције ^{137}Cs и $^{210}Pb_{ex}$ карактеристичне за обрађивани и необрађивано земљиште. Ефекти ерозије су очигледни пошто је укупан биланс ^{137}Cs и $^{210}Pb_{ex}$ на обрађиваном терену мањи него у рефернтној тачки за коју се претпоставља да није била изложена ерозији. Процењени су и квантитативни износи ерозије, на основу два једноставна модела. Сама ерозија се на одабраном терену углавном одвија путем ветра, тако да би се у наредним истраживањима требале узети у обзир и неке специфичности овог начина померања површинских слојева земљишта.

5. Литература

[1] F. Zapata: The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments, Soil & Tillage research 69, 3-13, (2003)

[2] H.B. Zhang, D.E. Walling and Q. He, Simplified mass balance models for assessing soil erosion rates on cultivated land using caesium-137 measurements, hydrological Sciences Journal 44, 33-45, (1999)

[3] D.E. Walling and Q. He: Using fallout lead-210 measurements to estimate soil erosion on cultivated land, Soil Sci. Soc. Am. J. 63, 1404-1412 (1999)

ABSTRACT

EFECTS OF WIND (AEOLIAN) EROSION MEASURED BY DISTRIBUTION OF ^{137}Cs AND NATURAL

Miodrag KRMAR[1], Miljan VELOJIĆ[2], Jan HANSMAN[1] i Nataša TODOROVIĆ[1]

1) Faculty of Science, Novi Sad, Serbia, krmar@df.uns.ac.rs

2) PC Vojvodinašume, Petrovaradin, Serbia,, mvelojic@vojvodinasume.rs

Standard technique for estimation of the quantitative measure of the erosion and spatial distribution of erosion and deposition is based on the measurement on the depth distribution of the ^{127}Cs. The new technique using ^{210}Pb is developed recently. Some preliminary results of the measurement of erosion at location Deliblato is presented in this paper.

ODREĐIVANJE SIMETRIČNOG INDEKSA ZA ^{3}H U REČNIM VODAMA

Marija JANKOVIĆ[1], Dragana TODOROVIĆ[1], Bojan JANKOVIĆ[2], Jelena NIKOLIĆ[1] i Nataša SARAP[1]

1) Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, marijam@vinca.rs

2) Univerzitet u Beogradu, Fakultet za Fizičku Hemiju, Beograd, Srbija

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati određivanja simetričnog indeksa, koji opisuje veličinu promene koncentracije tricijuma sa vremenom, za uzorke rečnih voda Save, Dunava i potoka Mlake. Rezultati pokrivaju period od 2003 do 2008. godine. Pokazano je da je simetrični indeks najveći za uzorke Mlake, što je u skladu sa činjenicom da je u tim uzorcima koncentracija tricijuma najveća u poređenju sa uzorcima Save i Dunava.

1. Uvod

Prirodni radioaktivni izotop vodonika, tricijum, nalazi se u padavinama u obliku oksida HTO, odakle lako dospeva u sve površinske i podzemne vode. Različite vode, zavisno od stepena veze podzemne, površinske i atmosferske vode sadrže i različite količine tricijuma. Sredinom prošlog veka dočlo je do naglog razvoja nuklearne industrije što je dovelo do novih izvora veštački stvorenog tricijuma i porasta njegove količine, koja dospeva u životnu sredinu.[1] Zato je merenje koncentracije tricijuma u prirodnim vodama (padavinama, površinskim i podzemnim vodama) jako bitno, naročito u blizini nuklearnih postrojenja.

Cilj ovog rada bio je da se ispita da li postoji mogućnost korišćenja matematičkog parametra koji može da opiše promene koncentracije tricijuma u površinskim vodama sa vremenom.

2. Eksperimentalni deo

Uzorci rečnih voda Save, Dunava i potoka Mlake sakupljani su 20-25 puta mesečno i koncentracija tricijuma merena je u zbirnom mesečnom uzorku. Mesto uzorkovanja na Savi je Makiš (6 km udaljenosti od ušća u Dunav) dok je mesto uzorkovanja na Dunavu u Vinči (1145 km udaljenosti od ušća u Crno More). Ove lokacije su bitne za ispitivanje jer se Beograd snabdeva vodom za piće iz Save i Dunava. Ispitivanje sadržaja tricijuma u potoku Mlaka, koji je dugačak 5 km sa prosecnim protokom vode od samo 10 l s^{-1}, je takođe bitno jer potok izvire u krugu Instituta "Vinča", protiče neposredno pored istraživačkog reaktora RA (teškovodni reaktor) i preko Bolečice se uliva u Dunav.

S obzirom na činjenicu da je aktivnost tricijuma u prirodnim vodama veoma niska, potrebno je primeniti elektrolitičko obogaćenje u cilju povećanja koncentracije tricijuma.[2] Uzorci su mereni na tečnom scintilacionom detektoru LKB-Wallac 1219 RackBeta. Efikasnost detekcije određena je sa standardom tricijuma (Wallac Internal

Standard ^{3}H-W) i iznosila je (18.0 ± 0.5) %. Granica detekcije (MDC minimum detectable concentration) iznosila je 0.4 Bq l^{-1}.

3. Rezultati i diskusija

Aktivnost tricijuma u uzorcima Save za period 2003-2008. godine kretala se u opsegu od 0.4 Bq l^{-1} (MDC) (Januar 2003) do 4.84 Bq l^{-1} (Decembar 2005). U uzorcima Dunava za isti period koncentracija tricijuma bila je slična kao i za uzorke Save i kretala se u opsegu od 0.4 Bq l^{-1} (MDC) (Januar 2004) do 5.28 Bq l^{-1} (Jun 2003). Dobijene vrednosti za aktivnost tricijuma u uzorcima iz potoka Mlake, bile su u opsegu 9.50 Bq l^{-1} (Januar 2005) – 33.14 Bq l^{-1} (Septembar 2003). Koncentracija tricijuma u uzorcima Mlake je znatno veca od vrednosti dobijenih za uzorke Save i Dunava. S obzirom na to da potok Mlaka protiče pored istraživačkog reaktora RA u Vinči, može se reći da postoji uticaj reaktora na sadržaj tricijuma u uzorcima Mlake. Reaktor RA je stavljen van pogona 1986. godine, a od 1987. vršena je redovna kontrola goriva od strane IAEA. Za vreme tih intervencija dolazilo je do ispuštanja tricijuma u obliku vodene pare u okolinu.[3] Tako da tricijum u obliku HTO lako dospeva u površinske vode i prouzrukuje povećanu aktivnost.

Srednja mesečna koncentracija tricijuma (korišćena pri određivanju simetričnog indeksa) za period 2003-2008. godine, kretala se u opsegu 1.33 – 3.33 Bq l^{-1} za uzorke Save, 1.69 – 3.72 Bq l^{-1} za uzorke Dunava i 15.73 – 25.45 Bq l^{-1} za uzorke Mlake.

U periodu 1988-1997 koncentracija tricijuma u Savi, Dunavu i Mlaki bila je u opsegu 1.5 – 8.1 Bq l^{-1}, 2.5 - 18.6 Bq l^{-1} i 38.2 – 133.8 Bq l^{-1}, redom.[4] U periodu 1976-1990 koncentracija tricijuma u Savi i Dunavu bila je u opsegu 1.5 – 16.8 Bq l^{-1} i 2.5 – 18.2 Bq l^{-1}, redom.[5]

Simetricni indeks, *n*, koji definiše veličinu promene koncentracije tricijuma sa vremenom, može se direktno dobiti sa maksimuma krivih koje su dobijene iz drugog izvoda koncentracije po vremenu:

$$n = 1.88 \frac{\left| \left[\frac{d^2 c(^3H)}{dt^2} \right]_L \right|}{\left| \left[\frac{d^2 c(^3H)}{dt^2} \right]_R \right|} \qquad (1)$$

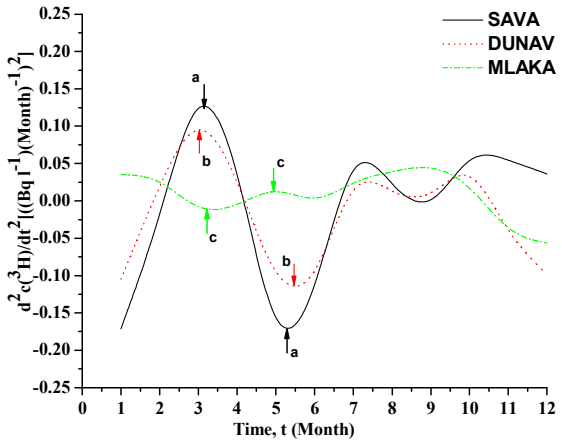
gde je 1.88 konstanta, indeksi *L* i *R* odgovaraju levim i desnim vrednostima maksimuma na krivama drugog izvoda $d^2c(^3H)/dt^2$. Jednačina (1) slična je jednačini koja je predstavljena u drugoj Kissinger-ovoj tehnici.[6]

Slika 1 predstavlja drugi izvod normalizovanih koncentracija tricijuma (normalizovanih srednjih mesečnih koncentracija za period 2003-2008) u funkciju vremena, na različitim lokacijama. Promene drugog izvoda krivih prate mesečne promene koncentracije tricijuma u vremenu (slika nije prikazana u radu). Korišćenjem grafičke metode i jednačine (1), izračunate vrednosti simetričnog indeksa (*n*) za različite ispitivane lokacije prikazane su u Tabeli 1. Može se videti iz Tabele 1. da je najveća vrednost indeksa *n* dobijena za uzorke Mlake (*n* = 1.878), što je u skladu sa činjenicom da je sadržaj tricijuma u uzorcima Mlake najveći.

4. Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da istraživački reaktor u Institutu Vinča ima uticaj na sadržaj tricijuma u potoku Mlaka gde su dobijene veće vrednosti

nego u uzorcima Save i Dunava. Pokazano je da je vrednost simetričnog indeksa najveća za uzorke Mlake za ispitivani period u poređenju sa uzorcima Save i Dunava što je u skladu sa gore navedenom činjenicom da je sadržaj tricijuma u Mlaki veći nego u Savi i Dunavu. Simetrični indeks je matematicki parameter koji adekvatno opisuje promene koncentracije tricijuma sa vremenom i koji ne uzima u obzir fizičke parametre koji utiču na promenu vrednosti koncentracije.



Slika 1. Drugi izvod ($d^2c(^3H)/dt^2$) krive normalizovanih koncentracija tricijuma ($c(^3H)$) u funkciji vremena, na različitim lokacijama. Na slici su strelicama označene pozicije pikova koji su korišćeni za računanje simetričnog indeksa (a – SAVA, b – DUNAV i c – MLAKA).

Tabela 2. Vrednosti simetričnog indeksa (*n*) za različite lokacije

Lokacija	Simetrični indeks (n)
SAVA	1.551
DUNAV	1.814
MLAKA	1.878

5. Reference

[1] V. Šipka, N. Miljević, Ž. Vuković. Ispitivanje zagađenja površinskih i podzemnih voda tritijumom u istočnoj Srbiji. *Zbornik saopštenja naša ekološka istina*, pp. 99-100, Borsko jezero, 9-11 Jun 1994. Zavod za zaštitu zdravlja "Timok" Zaječar, Rudarsko topioničarski basen Bor.

[2] S. Kaufman, W. F. Libby. The natural distribution of tritium. *Phys. Rev.*, 93 (1954) 1337.
[3] M. Janković, V. Šipka, D. Todorović, N. Miljević, Z. Gršić. Sadržaj tritiuma u vazduhu hale reaktora RA u Institutu "Vinča". U: M. Kovačević, ed. *XXIV Simpozijum društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore. Zbornik radova*, pp. 105-108, Zlatibor, 3-5 Oktobar 2007. Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore.
[4] N. Miljević, V. Šipka, A. Žujić, D. Golobočanin. Tritium around the Vinča Institute of Nuclear Sciences. *J. Environ. Radioact.*, 48 (2000) 303-315.
[5] M. Hadžišehović, N. Miljević, V. Šipka, D. Golobočanin. Environmental tritium of the Danube basin in Yugoslavia. *Environmental Pollution*, 77 (1992) 23-30.
[6] H. E. Kissinger. Reaction Kinetics in Differential Thermal Analysis. *Anal. Chem.*, 29 (11) (1957) 1702–1706.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SYMMETRICAL INDEX FOR ^{3}H IN RIVER WATERS

Marija JANKOVIĆ[1], Dragana TODOROVIĆ[1], Bojan JANKOVIĆ[2], Jelena NIKOLIĆ[1], Nataša SARAP[1]
1) University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and Environmental Protection Department, Belgrade, Serbia, marijam@vinca.rs
2) University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia

The paper presents the results of determining the symmetric index, which describes the magnitude of the tritium content changes with time, for samples of Sava and Danube river waters and Mlaka creek water. The results cover the period from 2003 to 2008. It was shown that the value of the symmetric index is the highest for Mlaka samples, which is in accordance with the fact that in these samples the highest concentration of tritium was found in comparison with samples of the Sava and Danube.

UTICAJ TRASERA NA ISPITIVANJE SADRŽAJA ^{90}SR U UZORCIMA REČNIH VODA I ZEMLJIŠTA

Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ, Dragana TODOROVIĆ, Gordana PANTELIĆ, Jelena NIKOLIĆ i Vojislav STANIĆ

Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija,

natasas@vinca.rs

SADRŽAJ

U radu su predstavljeni rezultati ispitivanja sadržaja ^{90}Sr u uzorcima rečnih voda: Save, Dunava i potoka Mlake i u uzorcima zemljišta, uzetih u okviru Instituta "Vinča". Korišćena je oksalna metoda, sa dodatkom i bez dodatka trasera. Rezultati merenja su pokazali da se sadržaj ^{90}Sr može izmeriti i u uzorcima u kojima nije dodat traser. Merenja su obavljena u Institutu "Vinča", u Laboratoriji za zaštitu životne sredine i zaštitu od zračenja, na niskofonskom α/β proporcionalnom gasnom brojaču.

1. Uvod

^{90}Sr je radioaktivni izotop, koji nastaje u procesu nuklearne fisije iz jezgara teških elemenata. U životnu sredinu je dospeo atmosferskim padavinama posle nuklearnih eksplozija i nakon nuklearnih akcidenata, npr. u Černobilju 1986. godine. ^{90}Sr je radiotoksičan jer ima relativno dugo vreme poluraspada, fizičko 28,8 godina i biološko 1-10 godina (zavisno od vrste organizma, starosti itd.). Biološki analog stroncijuma u organizmu je kalcijum, zbog čega stroncijum koji dospe u organizam sledi metabolički put kalcijuma i nedostatak kalcijuma u prisustvu stroncijuma biće zamenjen ovim elementom. Radionuklid ^{90}Sr je čist beta emiter, čijim raspadom nastaje radionuklid ^{90}Y, koji je takođe čist beta emiter. Energija emitovane beta čestice je 0,546 MeV za ^{90}Sr i 2,27 MeV za ^{90}Y. S obzirom na vreme poluraspada ^{90}Sr (28,8 god) i ^{90}Y (64,1 h) između ova dva radionuklida uspostavlja se stabilna radioaktivna ravnoteža, pri kojoj su aktivnosti roditelja i potomka izjednačene. [1,2]

U literaturi su opisane različite metode za određivanje ^{90}Sr u uzorcima iz životne sredine. Najčešće korišćene su: oksalna metoda [3], ekstrakciona metoda pomoću tri-butil-fosfata [2], jonoizmenjivačka metoda izdvajanja Sr od Ca [4], ekstrakciona hromatografija pomoću Sr smole [5].

Cilj rada je da se ispita da li postoji mogućnost da se sadržaj ^{90}Sr u uzorcima rečnih voda i zemljišta, meri na niskofonskom α/β proporcionalnom brojaču i bez prisustva trasera.

2. Eksperimentalni deo

Uzorci rečnih voda Save, Dunava i potoka Mlake sakupljani su svakodnevno i sadržaj ^{90}Sr je meren u zbirnom mesečnom uzorku. Mesto uzorkovanja na Savi je Makiš (6 km udaljenosti od ušća u Dunav), dok je mesto uzorkovanja na Dunavu u Vinči (1145 km

udaljenosti od ušća u Crno More). Mesto uzorkovanja vode iz potoka Mlaka je u neposrednoj blizini istraživačkog reaktora RA u Institutu "Vinča".
Priprema 6 uzoraka voda (od ukupno 8) za merenje sadržaja ^{90}Sr, obuhvata uparavanje ≈ 30 l do suvog ostatka pomoću UV – lampe, dok priprema ostala 2 uzorka vode obuhvata uparavanje ≈ 5 l do 1 l.
Uzorci zemljišta (2 kg) su uzeti u krugu Instituta Vinča, sa površinskog sloja od 5-10 cm dubine. Suše se na 105 ^{o}C do konstantne težine i prosejavaju kroz sito, dimenzija rešetke 3 mm.
Od ukupne količine uzorka vode za analizu se uzima po 2 g suvog ostatka, dok se od ukupne količine osušenog uzorka zemljišta za analizu uzima 500 g. Istovremeno se rade po dve probe za svaki uzorak. U jednu je dodato 100 µl trasera, aktivnosti 8.27 Bq ml^{-1} na datum 1.12.2004. godine, dok je druga proba bez trasera.
Sadržaj ^{90}Sr u uzorcima rečnih voda i zemlje, je određen radiohemijski, oksalnom metodom. Ova metoda se zasniva na oksalatnom izdvajanju Ca i Sr, žarenju do oksida i korišćenju aluminijuma kao povlačivača ^{90}Y. Vreme uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između ^{90}Sr i ^{90}Y je 18 dana. Nakon ovog vremena, izdvaja se ^{90}Y na povlačivaču $Al(OH)_3$ [2,3], koji se žari do oksida, a potom se vrši merenje na protočnom niskofonskom α/β brojaču THERMO-EBERLINE FHT 770T. Kalibracija detektora je određena pomoću standardnih izvora: ^{90}Sr (EM145, Prag) za beta aktivnost i ^{241}Am (EM445, Prag) za alfa aktivnost. Dobijena efikasnost detekcije je 42 % za ukupnu beta aktivnost [6].

3. Rezultati i diskusija

Određivanje specifične aktivnosti ^{90}Sr u uzorcima, vrši se po sledećoj jednačini:

$$A_{90_{Sr}} = \frac{(S-B)e^{\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t}}{\varepsilon_\beta \times k_{Al} \times k \times V} \qquad (1)$$

gde je A – specifična aktivnost uzorka (Bq l^{-1} ili Bq kg^{-1}), S – odbroj za mereni uzorak (imp s^{-1}), B – osnovna aktivnost, $T_{1/2}$ – period poluraspada ^{90}Y (min), t – vreme od trenutka izdvajanja ^{90}Y (h), ε_β - efikasnost detektora (%), k – hemijski prinos metode, k_{Al} – hemijski prinos aluminijuma; V – obrađena količina uzorka (l ili kg, ukoliko u formuli (1) figuriše m).
U Tabeli 1, prikazane su dobijene vrednosti specifične aktivnosti ^{90}Sr, u uzorcima rečnih voda Save i Dunava i potoka Mlake kao i u uzorcima zemljišta, uzetih u krugu Instituta "Vinča". Uzorci pod rednim brojem 1-6 i 9 rađeni su u dve probe. U prvu probu svakog uzorka dodato je po 100 µl trasera, aktivnosti 8.27 Bq ml^{-1}, dok je druga proba rađena bez dodatka trasera. Treća kolona Tabele 1, predstavlja rezultate aktivnosti ^{90}Sr u uzorcima sa dodatim traserom. U četvrtoj koloni je prikazana aktivnost dodatog trasera, dok peta kolona predstavlja razliku aktivnosti uzorka sa traserom i aktivnosti samog trasera. U šestoj koloni Tabele 1, nalaze se rezultati dobijene aktivnosti ^{90}Sr u uzorcima bez dodatog trasera. Vrednosti dobijene za uzorke vode bez dodatog trasera kreću se u opsegu od (0.009 ± 0.001) Bq l^{-1} do (0.023 ± 0.003) Bq l^{-1}, s tim što je najveća aktivnost od (0.023 ± 0.003) Bq l^{-1} dobijena za uzorak Mlake, što je i očekivano s obzirom na to da je mesto uzorkovanja vode iz Mlake u neposrednoj blizini istraživačkog reaktora RA u Institutu Vinča. Specifična aktivnost ^{90}Sr u uzorcima pod rednim brojem 7 i 8,

određena je bez dodatka trasera. Na osnovu podataka iz Tabele 1, vidimo da se dobijeni rezultati aktivnosti nalaze u granicama greške merenja.
Vrednosti specifične aktivnosti ^{90}Sr u uzorcima Dunava uzetih u Vinči, u saglasnosti su sa rezultatima za sadržaj ^{90}Sr u uzorcima Dunava (mesto uzorkovanja Bezdan) za 2002. godinu, gde su se dobijene vrednosti kretale u opsegu (0.0007 ± 0.0001) Bq l^{-1} do (0.0108 ± 0.0016) Bq l^{-1} [7]. Što se tiče rezultata dobijenih za zemljište, sadržaj ^{90}Sr u uzorku zemljišta uzetog u Vinči, u saglasnosti je sa rezultatima za sardžaj ^{90}Sr u neobradivom zemljištu na teritoriji Beograda (Dunavac, Jabučki rit, Zeleno Brdo, Lazarevac, Obrenovac) za period 2003.-2006. godine, gde su se vrednosti kretale od 0.28 do 0.55 Bq kg^{-1} [8].

Tabela 1. Specifične aktivnosti ^{90}Sr u rečnim vodama i zemljištu sa i bez dodatog trasera

Redni broj	Uzorak	A ^{90}Sr uzorka sa traserom (Bq l^{-1})	A dodatog trasera (Bql^{-1})	A ^{90}Sr samog uzorka (Bql^{-1})	A ^{90}Sr uzorka bez trasera (Bql^{-1})
1.	Sava jul 2003.	0.090 ± 0.014	0.080	0.010	0.009 ± 0.001
2.	Sava oktobar 2003.	0.073 ± 0.011	0.065	0.008	0.011 ± 0.002
3.	Sava mart 2004.	0.092 ± 0.014	0.070	0.022	0.019 ± 0.003
4.	Dunav jul 2003.	0.084 ± 0.013	0.071	0.013	0.009 ± 0.001
5.	Dunav oktobar 2003.	0.086 ± 0.013	0.072	0.014	0.012 ± 0.002
6.	Dunav mart 2004.	0.081 ± 0.012	0.060	0.021	0.016 ± 0.002
7.	Dunav maj 2011.	/	/	/	0.012 ± 0.002
8.	Mlaka maj 2011.	/	/	/	0.023 ± 0.003
	Uzorak	A ^{90}Sr uzorka sa traserom (Bq kg^{-1})	A trasera (Bqkg^{-1})	A ^{90}Sr samog uzorka (Bq kg^{-1})	A ^{90}Sr uzorka bez trasera (Bqkg^{-1})
9.	Zemlja Vinča jul 2004.	2.180 ± 0.300	1.650	0.530	0.480 ± 0.070

4. Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se sadržaj ^{90}Sr u uzorcima iz životne sredine može efikasno meriti na α/β proporcionalnom brojaču bez prethodnog zagađenja uzorka dodatkom trasera. Na taj način smanjuje se mogućnost kontaminacije same laboratorije, laboratorijskog posuđa, itd. Rezultati prikazani u ovom radu u saglasnosti su sa rezultatima dobijenim na drugim lokacijama u Beogradu.

5. Reference

[1] F. Goutelard, R. Nazard, C. Bocquet, N. Coquenlorge, P. Letessier, D. Calmet. Improvement in ^{90}Sr measurements at very low levels in environmental samples. *Appl. Radiat. Isot.* 53 (2000) 145-151.

[2] G. Mićić. Radioaktivni metaboliti (^{40}K, ^{90}Sr) u ciklusu proizvodnje mleka i kiselo-mlečnih proizvoda. *Magistarski rad*. 1981.

[3] R. Brnović. Stroncijum 90 u životnoj sredini. *Magistarski rad.* 1972.

[4] Juznic K., Fedsina S. Radiochemical determination of ^{90}Sr and ^{89}Sr in soil. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 323 (1986) 261-263.

[5] J. E. Roane, T. A. DeVol, J. D. Leyba, R. A. Fjeld. The use of extraction chromatography resins to concentrate actinides and strontium from soil for

radiochromatographic analyses. *Journal of Environmental Radioactivity*. 66 (2003) 227-245.
[6] D. Ristić, M. Radenković, J. Joksić, M. Milošević, Z. Obradović. Optimizacija uslova merenja na niskofonskom α/β proporcionalnom brojaču THERMO-EBERLINE FHT 770 T. U: M. Kovačević, ed. *Zbornik radova XXIII simpozijum društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, pp. 195-198, Donji Milanovac, 26-28 Septembar 2005. Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore.
[7] Radioaktivnost životne sredine u Republici Srbiji u 2002. godini. U: S. Simić, ed. Republika Srbija, Ministarstvo za zaštitu prirodnih bogatstava i životne sredine. Beograd, 2002.
[8] M. Eremić-Savković, V. Vuletić, G. Pantelić, Lj. Javorina, I. Tanasković. Praćenje aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr u zemljištu na teritoriji Beograda od 2003 do 2006. godine. U: M. Kovačević, ed. *Zbornik radova XXIV simpozijum društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, pp. 23-28, Zlatibor, 3-5 Oktobar 2007. Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore.

ABSTRACT

INFLUENCE OF TRASER ON INVESTIGATION OF ^{90}Sr CONTENT IN SAMPLES OF RIVER WATER AND SOIL

Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ, Dragana TODOROVIĆ, Gordana PANTELIĆ, Jelena NIKOLIĆ i Vojislav STANIĆ
University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and Environmental Protection Department, Belgrade, Serbia
natasas@vinca.rs

This paper presents theresults of the^{90}Srcontent investigationin the samplesof riverwaterof the Sava andDanube, andsoil samples, taken at the InstituteVinča. Oxalic method was used, with and without the addition of traser. The measurement results showed that the content of^{90}Srcan be measuredin thesamples without the addition of traser. Measurements were performedat the Institute "Vinča", Laboratory of EnvironmentalandRadiation Protection, using low-level proportionalcounter THERMO-EBERLINE FHT 770 T, for alpha/beta measurements.

SISTEMATSKO ISPITIVANJE RADIOAKTIVNOSTI U ŽIVOTNOJ SREDINI U SRBIJI

Jasminka JOKSIĆ[1], Mirjana RADENKOVIĆ[1], Irena TANASKOVIĆ[2], Milan VUJOVIĆ[1] i Vedrana VULETIĆ[1]

1) Agencija za zaštitu od jonizujućih zračenja i nuklearnu sigurnost Srbije, Beograd, Srbija, joksic@srbatom.gov.rs

2) Institut za medicinu rada Srbije, Beograd, Srbija, irenatanaskovic@yahoo.com

SADRŽAJ

Po programu monitoringa radioaktivnosti u životnoj sredini na teritoriji Republike Srbije vrše se kontinuirana ispitivanja i merenja radioaktivnosti u različitim vrstama uzoraka: vazduhu, padavinama, zemljištu, rečnoj vodi, vodi za piće, prehrambenim proizvodima biljnog i životinjskog porekla, mleku i stočnoj hrani.

1. Uvod

Sistematsko ispitivanje radioaktivnosti u životnoj sredini sprovodi se radi procene izloženosti stanovništva jonizujućim zračenjima iz prirode.

Taloženje radionuklida dospelih u atmosferu nakon nuklearnih proba i černobiljskog akcidenta je glavni izvor kontaminacije životne sredine Republike Srbije radionuklidima veštačkog porekla. Doza koju stanovništvo primi potiče i od spoljašnjeg i od unutrašnjeg izlaganja te je potrebno proceniti doprinos svih puteva izlaganja. Spoljašnje izlaganje kosmičkom zračenju, prirodnim radionuklidima i radionuklidima veštačkog porekla ispuštenim u životnu sredinu predstavlja značajnu komponentu izlaganja stanovništva jonizujućim zračenja i može se odrediti merenjem ambijentalnog ekvivalenta doze. Glavni putevi unosa radionuklida u organizam jesu inhalacija i ingestija.

Sadržaj radionuklida određuje se u uzorcima aerosola, padavinama, rečnoj vodi, zemljištu, vodi za piće, životnim namirnicama i hrani za životinje. Mesta na kojima se uzimaju uzorci, način njihovog uzimanja, broj uzoraka i rokovi uzimanja uzoraka utvrđuju se godišnjim programom ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini [1, 2] radi proračuna godišnje efektivne doze za stanovništvo u odnosu na pojedine radionuklide. Za analizu uzoraka iz životne sredine koriste se metode određivanja ukupne alfa aktivnosti i ukupne beta aktivnosti, gamaspektrometrije, radiohemijska metoda određivanja sadržaja ^{90}Sr, a određuje se i aktivnost ^{222}Rn u stambenom prostoru.

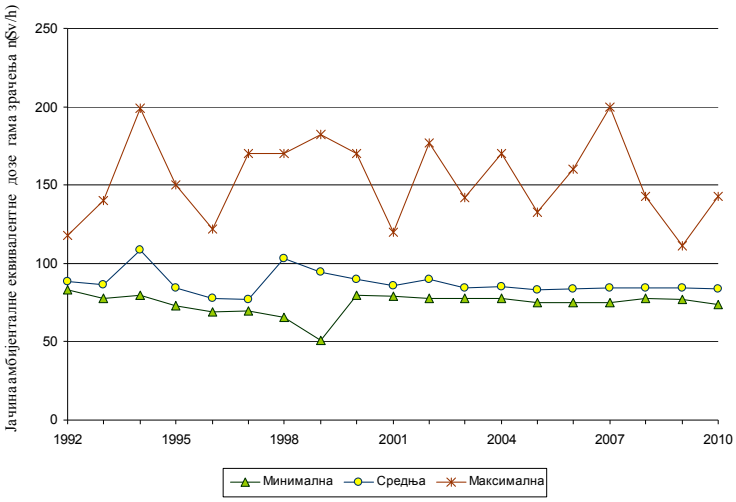
2. Materijal i metode

Jačina ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu neprekidno se meri u Beogradu, Vinči, Zlatiboru, Kladovu, Novom Sadu, Subotici, Nišu, Vranju i Kosovskoj Mitrovici. Merenje se vrši na visini od 1m iznad nekultivisane travne površine u toku 24 sata svakodnevno. Merenje se obavlja etaloniranim uređajem - automatskom jonizacionom komorom za kontinuirano registrovanje dnevne promene jačine

ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu ili multifunkcionalnim monitorima gama zračenja sa GM brojačima kao detektorima.
U ispitivanim uzorcima rečnih voda i vode za piće određuje se ukupna alfa aktivnost i ukupna beta aktivnost, metodom gamaspektrometrije određuje se sadržaj radionuklida emitera gama zračenja, a sadržaj ^{90}Sr određuje se merenjem beta aktivnosti nakon radiohemijskog izdvajanja ovog radioizotopa.
U uzorcima životnih namirnica se, pored određivanja sadržaja radionuklida emitera gama zračenja metodom gamaspetrometrije, određuje i sadržaj ^{90}Sr.

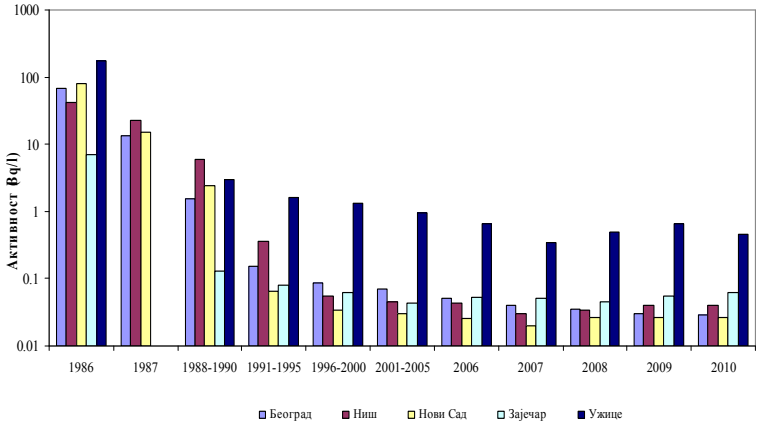
3. Rezultati i diskusija

Na grafiku 1. su prikazane minimalne, srednje i maksimalne godišnje vrednosti jačine ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu u Beogradu u periodu od 1992. do 2010. godine.

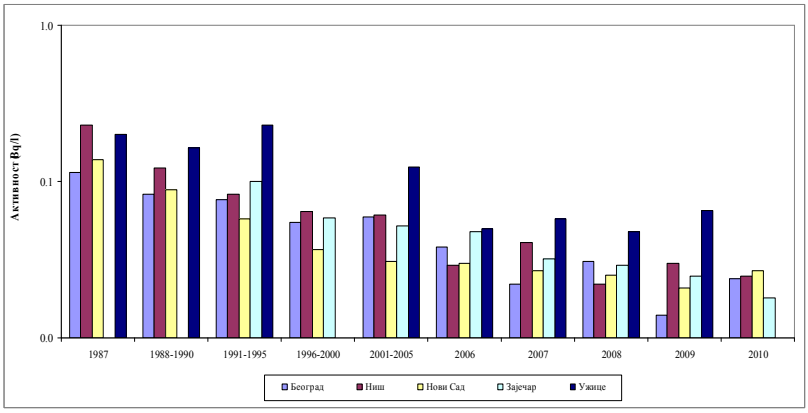


Grafik 1. Jačina ambijentalnog ekvivalenta doze gama zračenja u vazduhu u Beogradu (1992.-2010.год.)

Uzorci mleka iz Beograda, Zaječara, Novog Sada i Niša, sakupljaju se svakodnevno, a analiziraju su zbirni mesečni uzorci iz svakog navedenog mesta posebno. Na grafiku 2. su prikazane srednje godišnje aktivnosti ^{137}Cs (grafik 2a) i ^{90}Sr (grafik 2b) u mleku za period od 1986. do 2010. godine. Nakon maksimalnih vrednosti dostignutih neposredno nakon černobiljskog akcidenta, aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr u mleku opadaju.



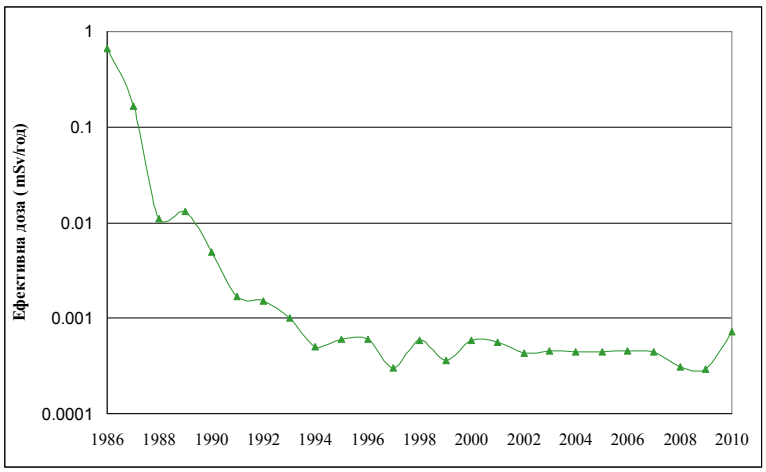
2(a)



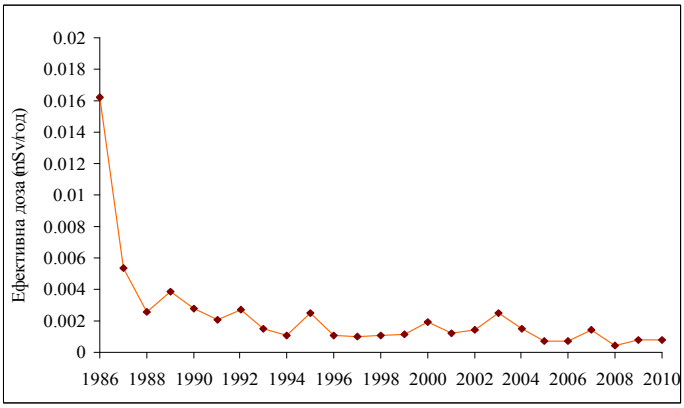
2(b)

Grafik 2. Srednje godišnje aktivnosti ^{137}Cs (a) i ^{90}Sr (b) u mleku za period od 1986. do 2010. godine

Na osnovu podataka o godišnjem unosu pojedinih vrsta namirnica i aktivnosti, izračunava se efektivna doza koja potiče od unosa radionuklida ingestijom. Efektivna doza za stanovništvo Republike Srbije koja potiče od unosa ^{137}Cs ingestijom za period 1986.-2010. god. data je na grafiku 3, a za unos ^{90}Sr ingestijom na grafiku 4.



Grafik 3. Efektivna doza za stanovništvo Republike Srbije koja potiče od unosa ^{137}Cs ingestijom za period 1986.-2010. god.



Grafik 4. Efektivna doza za stanovništvo Republike Srbije koja potiče od unosa ^{90}Sr ingestijom za period 1986.-2010. god.

4. Zaključak

Rezultati ispitivanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Srbiji pokazuju da se aktivnost kako prirodnih radionuklida tako i dugoživećih radionuklida veštačkog porekla (Černobiljski akcident), u različitim vrstama uzoraka: vazduh, padavine, zemljište, rečne vode, voda za piće, vegetacija, mleko i drugi prehrambeni proizvodi, kreće u nivoima promene osnovnog nivoa aktivnosti.

Efektivna doza zračnja za stanovništvo u poslednjoj deceniji, koja potiče od dugoživećih radionuklida veštačkog porekla ^{137}Cs i ^{90}Sr, unetih ingestijom je znatno ispod preporučene godišnje granice primljene doze za pojedinca iz stanovništva. Preporuèena granica iznosi 1 mSv/god i odnosi se na zbir odgovarajućih doza od spoljašnjeg izlaganja i očekivane efektivne doze unutrašnjeg izlaganja za period od godinu dana [3].

5. Literatura
[1] Zakon o zaštiti od jonizujućeg zračenja nuklearnoj sigurnosti, Službeni glasnik RS br. 36/09,
[2] Pravilnik o utvrđivanju programa sistematskog ispitivanja radioaktivnosti u životnoj sredini, Službeni glasnik RS br. 100/2010
[3] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima, Sl. list SRJ br. 32/98

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY MONITORING IN REPUBLIC OF SERBIA

Jasminka JOKSIĆ[1], Mirjana RADENKOVIĆ[1], Irena TANASKOVIĆ[2], Milan VUJOVIĆ[1], Vedrana VULETIĆ[1]
1) Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Belgrade, Serbia, joksic@srbatom.gov.rs
2) Serbian Institue of Occupational Health, Belgrade, Serbia, irenatanaskovic@yahoo.com

According to environmental radioactivity monitoring programme continuous measurements of radioacitivty in different samples are performed. Measurements are performed in aerosol samples, fallout, soil, surface waters, dringing water, food of animal and plant origin, milk and feedingstuffs..

I-131 PONOVO U ŽIVOTNOJ SREDINI

Ištvan BIKIT, Dušan MRĐA, Nataša TODOROVIĆ, Jovana NIKOLOV, Miodrag KRMAR, Miroslav VESKOVIĆ, Jaroslav SLIVKA, Jan HANSMAN, Sofija FORKAPIĆ i Nikola JOVANČEVIĆ
Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija, bikit@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ
Posle akcidenta u nuklearnom reaktoru Fukushima, Laboratorija za nuklearnu fiziku u Novom Sadu sprovela je vanredni postupak monitoringa radioaktivnosti u uzorcima iz životne sredine sa teritorije Vojvodine. Svakodnevno su sakupljani aerosoli, kišnica, mleko i spanać. Izmerene koncentracije aktivnosti ^{131}I u aerosolima bile su reda veličine mBq, dok su u uzorcima kišnice, mleka i spanaća izmerene koncentracije aktivnosti ^{131}I od oko 1 $Bq \cdot kg^{-1}$.

1. Uvod

Akcident u nuklearnoj elektrani Fukushima Daiichi nastao je kao posledica razarajućeg zemljotresa i pratećeg cunamija koji je pogodio severoistočnu obalu Japana u martu 2011.godine. Ovaj akcident doneo je zabrinutost u celom svetu usled činjenice da je velika količina radioaktivnih čestica dospela u životnu sredinu. Radioaktivne čestice različite veličine, oblika i strukture registrovane su širom sveta u raznim biološkim i drugim medijima [1].

Prvi tragovi kratkoživećih fisionih produkata, detektovani su 12.marta u Takasaki mernoj stanici u Japanu (220 km udaljenoj od nuklearne elektrane Fukushima), zatim u istočnom delu Rusije 14.marta i u Seattle US 17.marta [2]. Disperzija radioaktivnosti detektovana je i na Islandu 19-20.marta, a prva Nemačka merna stanica zabeležila je prisustvo ^{131}I u aerosolima sakupljanim od 21-23.marta [3]. Takođe, u Solunu u Grčkoj,

registrovane se prve detektabilne vrednosti ^{131}I u aerosolima sakupljenim u periodu 24-25.mart [4]. U ovom radu prijavljeno je prisustvo ^{131}I u severnom delu Srbije.

2. Uzorkovanje i metoda merenja

Aerosoli iz vazduha uzorkovani su u Novom Sadu na standardnom filter papiru uzorkivačem model F&J DFHV-1, slika 1 [5]. Ovaj uzorkivač poseduje visok protok od oko 2 m^3 vazduha u minuti, poseduje digitalni merač protoka, može meriti proteklo vreme i akumuliranu zapreminu. Tačnost očitanog protoka je u opsegu ±4%. Aerosoli su sakupljani na filter papiru svakodnevno u trajanju od oko 2 sata. Posle prve detekcije ^{131}I u uzorku sakupljanom 24.marta u Novom Sadu, moglo se očekivati da se radioaktivne materije sa pretpostavljenim poreklom iz Fukushime mogu pojaviti u detektabilnim vrednostima i u drugim uzorcima iz životne sredine. Počevši od 28.marta sve do 20.aprila, svakodnevno su sakupljani i analizirani uzorci iz životne sredine (mleko, zelena salata, spanać, kišnica, trava,…). Lokacije sa kojih su uzorci uzimani su bile na teritoriji Vojvodine, kišnica je sakupljana u meteorološkoj stanici Rimski Šančevi, sa površine od oko 1 m^2. Glavni kriterijum za izbor uzoraka hrane bio je stepen usvajanja radioaktivnih elemenata iz aerosola, u skladu sa tim birane su zelene biljke sa širokim listovima (spanać). Dnevno su uzorkovani ovčije i kozije mleko, kao i spanać. Uzorci su uzorkovani i pripremani u skladu sa metodom [6].

Detektorski sistem kojim su merene koncentracije aktivnosti je niskofonski gama spektrometar, relativne efikasnosti 100% [7].

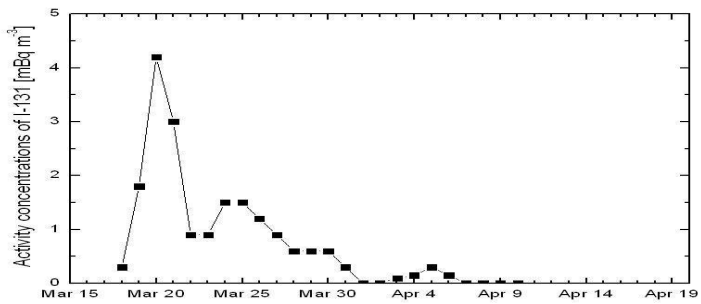
3. Rezultati

Rezultati gama spektrometrijskih određivanja radionuklida u uzorcima iz životne sredine predstavljeni su u tabelama 1-5. A na slici 1, dat je uporedni prikaz rezultata merenja koncentracije aktivnosti ^{131}I u vazduhu u Novom Sadu i drugih objavljenih rezultata.

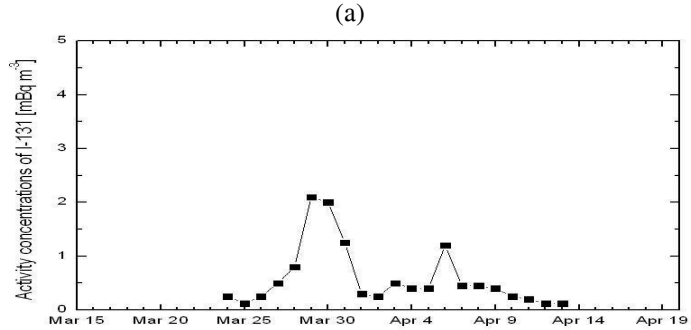
Tabela 1. Koncentracija aktivnosti radionuklida u vazduhu

No.	Datum (2011)	^{131}I (mBq·m^{-3})	^{134}Cs (mBq·m^{-3})	^{137}Cs (mBq·m^{-3})
1.	16.3.-23.3	<0.9	<0.3	<0.3
2.	24.3.	0.4±0.1	<0.3	<0.3
3.	25.3.	0.54±0.8	<0.4	<0.4
4.	26.3.	0.68±0.6	< 0,3	< 0,2
5.	27.3.	< 0,3	< 0,3	< 0,2
6.	28.3.	0.53±0.10	<0.5	<0.45
7.	29.3.	0.3±0.1	<0.33	<0.34
8.	30.3.	2.7±0.1	<0.30	<0.30
9.	31.3.	0.43±0.08	<0.30	<0.31
10.	1.4.	0.85±0.09	<0.30	<0.31
11.	2.4.	0.42±0.08	<0.34	<0.35
12.	3.4.	1.3±0.1	<0.40	<0.44
13.	4.4.	0.95±0.11	<0.17	<0.17
14.	5.4.	0.32±0.07	<0.13	<0.13
15.	6.4.	0.68±0.11	<0.16	<0.19
16.	7.4.	0.8±0.1	<0.16	0.24±0.09
17.	8.4.	1.7±0.1	<0.1	<0.12
18.	9.4.	0.45±0.07	<0.11	<0.11
19.	10.4.	0.30±0.06	<0.12	<0.12

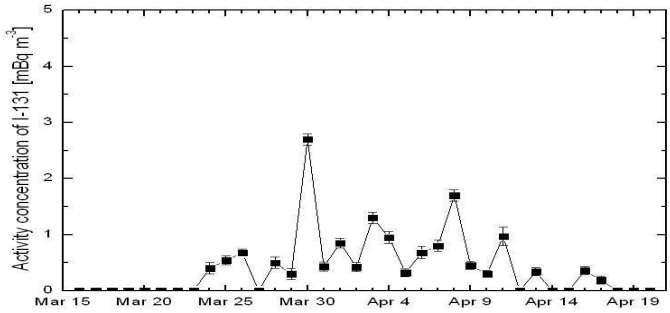
20.	11.4.	0.97±0.09	0.17±0.04	0.27±0.07
21.	12.4.	<0.096	<0.11	<0.11
22.	13.4.	0.34±0.07	<0.12	<0.12
23.	14.4.	<0.12	<0.13	<0.13
24.	15.4.	<0.14	<0.14	<0.14
25.	16.4.	0.36±0.07	<0.13	<0.13
26.	17.4.	0.19±0.07	<0.13	<0.13
27.	18.4.-20.4.	<0.12	<0.13	<0.13



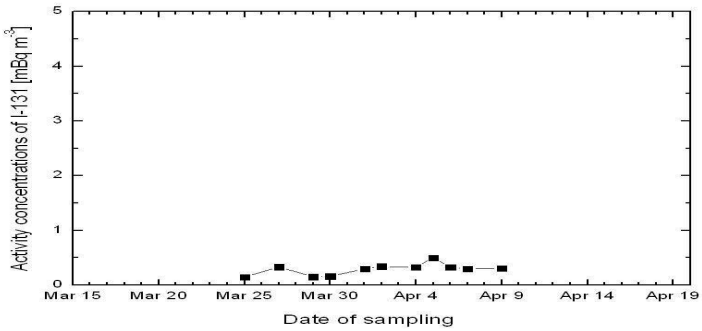
(a)



(b)



(c)



(d)

Slika 1. Vremenska distribucija ^{131}I u vazduhu: (a) USA [2], (b) Nemačka [3], (c) Srbija-Novi Sad, (d) Grčka [4]

Tabela 2. Koncentracija radionuklida u kišnici

No.	Datum (2011)	^{131}I (Bq·l^{-1})	^{134}Cs (Bq·l^{-1})	^{137}Cs (Bq·l^{-1})
1.	28.3.	0.3±0.1	<0.23	<0.23
2.	6.4.	1.8±0.7	<0.4	<0.4
3.	12.4.	<0.17	<0.18	<0.18
4.	13.4.	<0.4	<0.4	<0.4
5.	14.4.	0.42±0.22	<0.3	<0.29
6.	15.4.	0.23±0.06	<0.10	<0.09
7.	16.4.	<0.3	<0.3	<0.3

Tabela 3. Koncentracija radionuklida u svežem kozijem mleku

No.	Datum (2011)	^{131}I ($Bq \cdot l^{-1}$)	^{134}Cs ($Bq \cdot l^{-1}$)	^{137}Cs ($Bq \cdot l^{-1}$)
1.	31.3.	<0.25	<0.25	0.37±0.14
2.	1.4.	1.0±0.4	<0.7	<0.7
3.	5.4.	0.40±0.17	<0.3	<0.3
4.	6.4.	0.53±0.19	<0.5	<0.5
5.	7.4.	0.92±0.23	<0.3	<0.3
6.	8.4.	0.81±0.17	<0.10	0.18±0.05
7.	9.4.	1.7±0.6	<0.09	0.17±0.08
8.	10.4.	0.52±0.5	<0.11	<0.11
9.	11.4.	1.5±0.5	<0.11	<0.11
10.	13.4.	0.99±0.24	<0.3	<0.3
11.	14.4.	0.81±0.23	<0.4	<0.4

Tabela 4. Koncentracija radionuklida u svežem ovčijem mleku

No.	Date (2011)	^{131}I ($Bq \cdot l^{-1}$)	^{134}Cs ($Bq \cdot l^{-1}$)	^{137}Cs ($Bq \cdot l^{-1}$)
1.	29.3.	0.8±0.2	<1.0	<1.0
2.	30.3.	0.99±0.21	<0.8	<0.7
3.	31.3.	0.57±0.16	<0.6	<0.6
4.	1.4.	0.4±0.1	<0.7	<0.6
5.	2.4.	<0.6	<0.7	<0.7
6.	3.4.	<1.2	<1.0	<1.0
7.	4.4.	2.4±0.4	<1.1	<1.1

Tabela 5. Koncentracije radionuklida u svežem spanaću

No.	Datum (2011)	^{131}I (Bq·kg^{-1})	^{134}Cs (Bq·kg^{-1})	^{137}Cs (Bq·kg^{-1})
1.	27.3.	<2.6	<2.3	2.2±0.7
2.	28.3.	<1.6	<1.6	<1.1
3.	29.3.	<1.7	<1.8	<2.0
4.	30.3.	1.0±0.3	<1.4	<1.5
5.	1.4.	<0.9	<1.2	<1.0
6.	2.4.	0.7±0.3	<1.2	<1.1
7.	3.4.	1.2±0.3	<1.3	<1.4
8.	4.4.	0.5±0.2	<0.4	<0.5
9.	5.4.	1.06±0.27	<0.5	<0.5
10.	6.4.	0.83±0.26	<0.5	<0.5
11.	7.4.	0.99±0.27	<0.5	<0.5
12.	8.4.	<0.4	<0.4	<0.5
13.	9.4.	0.98±0.24	<0.4	<0.5
14.	10.4.	<0.4	<0.4	<0.5
15.	11.4.	0.60±0.27	<0.5	<0.5
16.	12.4.	<0.6	<0.6	<0.7
17.	13.4.	<0.4	<0.4	<0.5
18.	14.4.	0.53±0.26	<0.5	<0.6
19.	15.4.	<0.9	<0.7	<0.5
20.	16.4.	<0.7	<0.7	<0.8
21.	17.4.	<0.8	<0.9	<0.8

4. Diskusija i zaključak

U Tabeli 6 dat je pregled procenjenih doza zračenja koje bi stanovnici mogli primiti u toku jednog meseca kao posledica udisanja aerosola iz vazduha i unosa mleka i spanaća u organizam [8], koji sadrže radioaktivni ^{131}I u tragovima. Za ovčije mleko i spanać procenjen je mesečni unos od oko 30 litara mleka u oko 6 kg spanaća. Bazirano na procenjenim dozama (Tabela 6), može se zaključiti da je ukupna doza koju bi stanovnik primio (čak i kada bi ^{131}I bio prisutan u vazduhu i hrani u toku cele godine), u koncentracijama koje su detektovane, daleko ispod maksimalne dozvoljene doze za stanovništvo od 1 mSv godišnje [9].

Tabela 6. Procenjena mesečna doza od ^{131}I za stanovništvo

Uzorak	Koncentracija aktivnosti	Konstanta doze [Sv/Bq]	Pretpostavljeni mesečni unos (ingestija/inhalacija)	Procenjena mesečna doza ^{131}I
Aerosol	0.8 mBq·m^{-3}	7.4 10^{-9}	600 m^3	3.5 nSv
Ovčije mleko	0.8 Bq·l^{-1}	2.2 10^{-8}	30 l	0.5 μSv
Spanać	0.8 Bq·kg^{-1}	2.2 10^{-8}	6 kg	0.1 μSv

5. Zahvalnica

Autori se zahvaljuju na finansijskoj pomoći Ministarstvu prosvete i nauke Republike Srbije, u okviru projekta Nuklearne metode istraživanja retkih procesa i kosmičkog zračenja broj 171002, Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima broj 43002 i Pokrajinskom sekretarijatu za nauku i tehnološki razvoj.

6. Literatura

[1] Brit Salbu, Radionuclides Released to the Environment Following Nuclear Events, Integrated Environmental Assessment and Management, Volume 7, Number 3, pp. 362-364

[2] J. Diaz Leon et al., Arrival time and magnitude of airborne fission products from the Fukushima, Japan, reactor incident as measured in Seattle, WA, USA, Journal of Environmental Radioactivity (2011), doi:10.1016/j.jenvrad.2011.06.005

[3]Pittauerova, D., et al., Fukushima fallout in Nortwest German environmental media, Journal of Environmental Radioactivity (2011), doi:10.1016/j.jenvrad.2011.06.003

[4] M. Manolopolou, E. Vagena, S. Stoulos, A. Ioannidou, C. Papastefanou, Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Northern Greece due to the Fukushima nuclear accident, Journal of Environmental Radioactivity 102 (2011) 796-797.

[5]http://www.fjspecialty.com/DFHV-1.htm

[6] IAEA Technical Reports Series No.295 – Measurement of Radionuclides in Food and the Environment - Section 5. - Collection and Preparation of Samples.

[7] ASTM C 1402 – 04 Standard Guide for High-Resolution gamma-Ray Spectrometry

[8] Official journal of Serbia, 38/2011

[9]Official journal of Serbia, No. 36/09, Law on Protection against Ionizing Radiation and Nuclear Safety

ABSTRACT

I-131 IN THE ENVIRONMENT AGAIN

Ištvan BIKIT, Dušan MRĐA, Nataša TODOROVIC, Jovana NIKOLOV, Miodrag KRMAR, Miroslav VESKOVIĆ, Jaroslav SLIVKA, Jan HANSMAN, Sofija FORKAPIĆ, Nikola JOVANČEV

University of Novi Sad, Faculty of Science, Department of Physics, Novi Sad, Serbia, bikit@df.uns.ac.rs

After the public presentation of the accident on the Fukushima power plant a devoted environmentalradioactivitymonitoring system was established. Aerosol, rain, milk and spinach samples have been collected daily. In the aerosol samples the activity concentration of ^{131}I has been measured to be of mBq order of magnitude while in the rain, milk and spinach samples about 1 Bq kg^{-1} of ^{131}I has been found.

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ ВАЗДУХА У БЕОГРАДУ

Маја ЕРЕМИЋ САВКОВИЋ[1], Ирена ТАНАСКОВИЋ[1], Љиљана ЈАВОРИНА[1], Гордана ПАНТЕЛИЋ[2], Ведрана ВУЛЕТИЋ[3]

1) Институт за медицину рада Србије „Др Драгомир Карајовић“, Београд, Србија, mesavkovic@yahoo.com

2) Институт за нуклеарне науке „Винча“, ПП522, Београд, Србија,pantelic@vinca.rs

3) Агенција за заштиту од зрачења и нуклеарну сигурност Србије, Београд, Србија, vedrana.vuletic@gmail.com

САДРЖАЈ

Глобални извори радиоактивне контаминације су падавине након нуклеарних проба у атмосфери и радионуклиди пореклом из региона у којима су били нуклеарни акциденти, Чернобиљски 1986. године и акцидент у нуклеарној електрани Фукушима у Јапану у марту 2011. године. Систематско праћење радиоактивности у животној средини предуслов су за очување здравља становништва и заштите животне средине од штетног дејства јонизујућег зрачења, као и процене контаминације настале услед нежељених акцидената. Као део мониторинг програма јепраћење активности вештачког радионуклда ^{137}Cs као и ^{7}Be радионуклида космогеног порекла у ваздуху. У периоду 2007.-2010. године активност ^{137}Cs кретала се од < 0.2μBq/m^{3}до 2.06 μBq/m^3. Након акцидента у нуклеарној електрани Фукушима у Јапану 11. марта 2011. године у ваздуху у Београду детектовани су ^{131}I, ^{137}Cs и ^{134}Cs.

1. Увод

Производи фисије, који се образују после нуклеарне експлозије или акцидента у нуклеарном постројењу, активно учествују у динамичким процесима са животном средином. У атмосфери се адсорбују на честицама прашине и аеросола, а затим се са атмосферским талогом депонују на земљину површину, где почиње интензивни процес биолошке измене.

Ваздух и дневне падавине су један од првих индикатора нуклеарног акцидента.

Потенцијалну опасност по здравље људи представља дугоживећи радионуклид фисионог порекла ^{137}Cs ($T_{1/2}$=30 година) који потиче од нуклеарних експлозија и хаварије нуклеарних постројења. Поред наведеног радионуклида испитује се и ^{7}Be, радионуклид космогеног порекла, који се у атмосфери налази везан за честице аеросола.

Систематско испитивање узорака из животне средине на садржај радионуклида у нашој земљи регулисано је Законом о заштити од јонизујућег зрачења нуклеарној сигурности, Сл. гласникРС бр. 36/09 и Правилником о утврђивању програма систематског испитивања радиоактивности у животној средини, Сл. Гласник бр. 100/2010.

Гамаспектрометријско испитивање ваздуха у Институту за медицину рада Србије "Др Драгомир Карајовић" врши се од 1991 и праћено је смањење активности ^{137}Cs у ваздуху након Чернобиљског акцидента [1,2].Прикупљање узорака вршено је пумпама за узимање узорака ваздуха које имају мали проток - 7.5 m^3/h.У овом раду представљени су резултати мерења активности радионуклида у ваздуху на територији града Београда од 2007. године узоркованих пумпом већег протока ваздуха [3].

2. Метода мерења

За узорковање ваздуха користи се пумпа ACC-500, произвођача из Пољске, просечног протока ваздуха 500 m^3/h. Ваздух се непрекидно просисава кроз филтер папир тип Петрианов, FPP-15-1.5, на висини од 1 m изнад некултивисане травнате површине у дворишту Института за медицину рада Србије "Др Драгомир Карајовић". Дневни проток је око 17000 m^3 ваздуха. Гамаспектрометријска мерења вршена су на композитним месечним узорцима од 2007. - 2010. године. Након акцидента у нуклеарној електрани Фукушима у Јапану гамаспектрометријска мерења вршена су свакодневно.

Узорци аеросола мерени су на три чиста германијумска детектора релетивне ефикасности 25-40% и енергетске резолуције 1.85-1.95keV. Енергетска калибрација и калибрација на ефикасност обавља се помоћу радиоактивног стандарда који је направљен у Институту накапавањем сертификованог раствора на филтеристих геометријских карактеристика као код узорака за испитивање [4]. Време мерења узорка је 250000s. Исто толико мерено је и основно зрачење.

3. Резултати и дискусија

У табели 1. приказани су резултати мерења активности ^{137}Cs у узорцима ваздуха у Београду од 2007-2010.године. Гамаспектрометријскаанализа композитних месечних узорака ваздуха показује спектар основног фонаактивности (углавном радионуклиди природног и космогеног порекла). Активност ^{137}Cs у ваздуху је била на ниском нивоу и кретала се од < 0.2 $\mu Bq/m^3$ до 2.06 $\mu Bq/m^3$. Просечне годишњеактивности ^{7}Be, космогеног радионуклида приказане су на графику 1.

Након акцидента у нуклеарној електрани Фукушима у Јапану у последњој недељи марта месеца у узорцима аеросола у Београду детектовани су ^{131}I, ^{134}Cs и ^{137}Cs. Активност ^{131}I варирала је од 0.03 до 1.6 mBq/m^3у периоду 23.3.-19.4. 2011.године. Дневне варијације активности ^{137}Cs и ^{134}Cs приказане су на графицима 2. и 3.

Табела1: Активност $^{137}Cs(\mu Bq/m^3)$у ваздуху у Београду

МЕСЕЦ	2007	2008	2009	2010
Јануар	1.06 ± 0.13	1.20 ± 0.27	1.86 ± 0.25	0.9 ± 0.2
Фебруар	0.94 ± 0.22	0.57 ± 0.12	2.06 ± 0.19	0.8 ± 0.2
Март	0.75 ± 0.11	0.75 ± 0.13	1.08± 0.10	1.8 ± 0.3
Април	0.65 ± 0.14	0.78± 0.10	< 0.5	0.68 ± 0.14
Мај	0.53 ± 0.10	< 0.22	0.36 ± 0.08	0.50 ± 0.07
Јун	< 0.58	< 1.6	< 0.2	0.59 ± 0.16
Јул	0.95 ± 0.19	< 1.2	< 0.4	< 0.21
Август	0.46 ± 0.10	2.05 ± 0.67	< 0.2	0.48 ± 0.14
Септембар	0.64 ± 0.16	< 1.1	0.5 ± 0.1	0.69 ± 0.13
Октобар	0.70 ± 0.13	< 1.5	1.2 ± 0.2	0.73 ± 0.07
Новембар	1.16 ± 0.21	< 1.1	1.86 ± 0.25	0.93 ± 0.25
Децембар	1.77 ± 0.23	< 0.6	2.06 ± 0.19	1.07 ± 0.16

График 1.Активност ^{7}Be (mBq/m^{3})уваздухупериодуод 2007. до2010. године

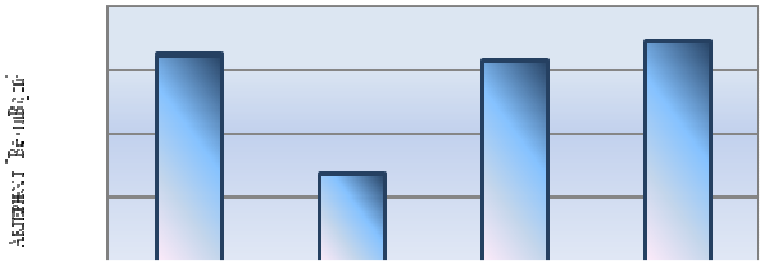


График 2. Варијације активности ^{137}Cs (mBq/m^{3})упериоду 26.03.-19.04.2011.године

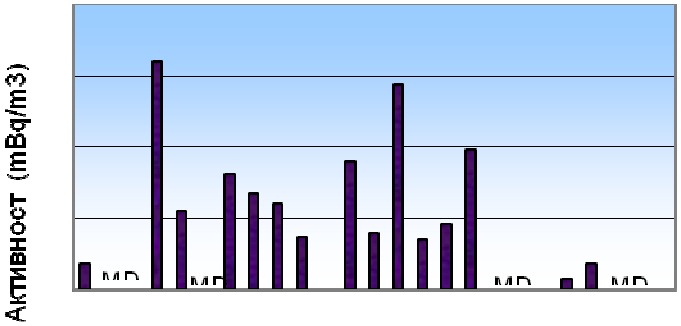
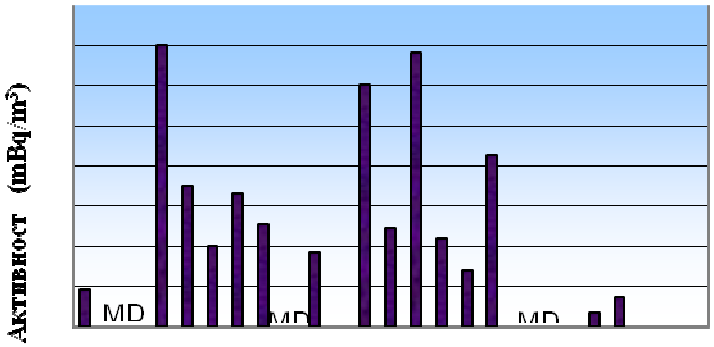


График 3. Варијације активности ^{134}Cs (mBq/m^{3}) у периоду 26.03.-19.04.2011.године



4. Закључак

Континуирано праћење радиоактивности у ваздуху у Београду у периоду од 2007. до 2010.године показало је да је вештачки радионуклид ^{137}Cs на ниском нивоу активности. Због космогеног порекла, активност ^{7}Be се из године у годину не мења много. Детектовани су фисиони продукти ^{131}I, ^{134}Cs^{137}Cs као

последица нуклеарног акцидента у реактору нуклеарне електране Фукушима у Јапану. Максимална измерена концентрација ^{131}I била је 1.6 mBq/m^3, максимална измерена концентрација ^{134}Cs и ^{137}Cs биле су 0.14 и 0.16 mBq/m^3 29.-30.марта и 0.136 и 0.144 mBq/m^3 8.-9.април 2011.године респективно.

5. Литература

[1] И. Петровић, Р. Брновић, М. Вукотић, Г. Пантелић. Радиоактивност у ваздуху и падавинама у Србији за период од 1984-1993. *Зборник радоваXXIсаветовања Заштита ваздуха 94*, Београд, 1994, 325-330

[2] I.Petrović,G.Pantelić.^{137}Cs activities in the air on the territory of Serbia during the period 1993-1999.*Proceedings of 3rd International Yugoslav Nuclear Society Conference, Vinča Bulletin,* Volume 6, Supplement 1, Belgrade, 2001, 791-794

[3] Институт за медицину рада Србије „ Др Драгомир Карајовић“, Извештаји- „Радиоактивност животне средине у Београду 2007, 2008, 2009, 2010.година“

[4] Г. Пантелић, В. Вулетић. Калибрација германијумских детектора за мерење аеросола. *Зборник радова XXVсимпозијума друштваза заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*; 30. септембар - 2. октобар 2009, Копаоник, 259-263

ABSTRACT

RADIOACTIVITY CONTROL OF AEROSOL IN BELGRADE

MajaEREMIĆ SAVKOVIĆ[1], Ljiljana JAVORINA[1], IrenaTANASKOVIĆ[1], GordanaPANTELIĆ[2] i VedranaVULETIĆ[3]

1)Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajovic", Belgrade, Serbia, mesavkovic@yahoo.com

2)Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia, pantelic@vinca.rs

3)Serbian Agency for Radiation Protection and Nuclear Safety Belgrade, Serbia,vedrana.vuletic@gmail.com

The global source of radionuclide contamination in our country are fallout due to previous nuclear testing and deposition of radionuclides from the regions of nuclear accidents, Chernobyl 1986 and Fukushima 2011. Environmental radioactivity monitoring radioactivity is a very important for the preservation of public health and the environment from the harmful effects of ionizing radiation as well as assessment of contamination caused by unwanted accidents. Gamma spectrometry determination of ^{137}Cs and cosmogony radionuclide^{7}Be in aerosol in Belgrade are a part of monitoring programme. ^{137}Cs activity concentration was between < 0.2 μBq/m^3 and 2.06μBq/m^3. during the period 2007-2010. The fission products ^{131}I,^{137}Cs and^{134}Cs were detected in the aerosol in Belgrade after the Fukushima nuclear reactor accident.

РАДИОАКТИВНОСТ МЛЕКА У СРБИЈИ У 2011. ГОДИНИ

Ведрана ВУЛЕТИЋ[1], Гордана ВИТОРОВИЋ[2], Бранислава МИТРОВИЋ[2], Гордана ПАНТЕЛИЋ[3] и Велибор АНДРИЋ[2,3]

1) Агенција за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије, Београд, Србија, vedrana.vuletic@srbatom.gov.rs

2) Универзитет у Београду, Факултет Ветеринарске медицине, Лабораторија за радијациону хигијену, Београд, Србија, radijacija@vet.bg.ac.rs

3)Институт за нуклеарне науке „Винча“, ПП522, Београд, Србија, pantelic@vinca.rs

САДРЖАЈ

Након акцидента у нуклеарној електрани Фукушима у Јапану, детектовано је присуство радионуклида који су у овом акциденту испуштени у атмосферу у узорцима из животне средине на територији Републике Србије. Узорци крављег, козјег и овчијег млека су сакупљани на 13 локација у Србији и одређена је активност ^{40}K, ^{131}I и ^{137}Cs. Резултати су показали да је дошло до трансфера ^{131}I у козје и овчије млеко.

1. Увод

Акцидент који се 1986. године догодио у чернобиљској нуклеарној електрани показао је да се радиоактивне материје емитоване у атмосферу у току акцидента могу трансопртовати на велике удаљености, чак и између континената, остављајући дуготрајне последице на животну средину.

Акцидент у нуклеарној елекрани Фукушима догодио се 11. марта 2011. године након разорног земљотеса и цунамија који су изазвали катастрофалне последице на источној обали Јапана. У нуклеарној електрани је дошло до експлозија услед којих је у атмосферу испуштена велика количина радиоактивног материјала. Девет дана након акцидента, ваздушне масе које су носиле радиоактивне материје су прешле Северноамерички континента, а три дана након тога, на Исланду је мерна станица регистровала присуство радиоактивних материја чиме је доказано да су ове ваздушне масе стигле и до Европског континента [1].

У Србији је 24. марта у ваздуху детектовано присуство ^{131}I, а неколико дана касније и у другим узорцима из животне средине [2]. Поред инхалације, најважнији пут уноса јода у организам је ингестија. У уобичајеној исхрани главни извори јода су морска риба, млеко и млечни производи и јодирана кухињска со. [3]

2. Материјал и методе

Узорци млека сакупљани су на 13 локалитета на територији Републике Србије. Узорци су мерени у свежем стању, а сваки узорак је мерен 60000 s.

Садржај радионуклида у узорцима одређен је гамаспектрометријским мерењима на германијумском детектору високе чистоће (Ortec, USA), релативне ефикасности 30% и енергетском резолуцијом од 1.85 keV на линији 1.3 MeV. Анализа спектара гама зрачења извршена је програмом GAMMA VISION® 32 (Ortec, USA).

3. Резултати и дискусија

Садржај радионуклида је одређен у 59 узорака млека. Од тога је 36 узорака крављег млека, 10 овчијег и 13 узорака козјег млека.

Резултати испитивања садржаја радионуклида у узорцима млека сакупљеним у периоду од марта до јула 2011. године приказани су у табелама 1. и 2.
Садржај ^{40}K у крављем млеку кретао се у интервалу од 32,2 до 66,1 Bq/kg, u козјем од 42,6 до 111 Bq/kg, а у овчијем од 28,5 до 52,5 Bq/kg.
Присуство ^{131}I је детектовано у 2 узорка овчијег млека, у Суботици и на Дивчибарама и у једном узорку козијег млека из Делиблатске пешчаре. Највећа активност ^{131}I од 4,1 Bq/kg измерена је у овчијем млеку које је 2. априла узорковано у Суботици. Сва три узорка у којима је потврђено присуство јода, сакупљени су почетком априла, док у узорцима који су сакупљени током маја и јуна није детектован 131I. Ово је у сагласности са резултатима из других европских земаља [4], чиме се потврђује да је детектовани јод пореклом из акцидента у нуклеарној електрани Фукушима.
У узорцима крављег млека није детектован 131I, што је очекивано јер краве у периоду када је вршено узорковање нису биле на испаши и нису храњене свежом храном која је могла да садржи радиоактивни јод пореклом из акцидента у Фукушими.

Табела 1. Ниво активности ^{40}K, ^{131}I и ^{137}Cs у млеку у Војводини (Bq/kg)

Бр.	Локалитет	Врста млека	Датум узорковања	^{40}K (Bq/kg)	^{131}I (Bq/kg)	^{137}Cs Bq/kg
1.	Суботица	кравље	12.04.2011.	53,3 ± 2,1	< 0,1	< 0,1
		кравље	18.06.2011.	56,6 ± 1,3	< 0,1	< 0,1
		овчије	02.04.2011.	52,5 ± 2,1	4,1 ± 1,1	< 0,1
		овчије	18.05.2011.	28,5 ± 1,3	< 0,07	0,17 ± 0,02
		козје	02.04.2011.	63,5 ± 2,2	< 0,1	< 0,1
		козје	18.06.2011.	111,2 ± 3,9	< 0,1	0,3 ± 0,1
2.	Фрушка Гора	кравље	22.03.2011	46,7 ± 1,8	< 0,1	< 0,1
		кравље	01.04.2011.	46,5 ± 1,7	< 0,1	< 0,1
		кравље	18.05.2011	32,2 ± 1,1	< 0,1	< 0,1
		козје	25.03.2011.	57,9 ± 2,1	< 0,1	< 0,1
3.	Делиблатска пешчара	кравље	03.04.2011.	49,5 ± 1,8	< 0,1	< 0,1
		кравље	17.04.2011.	51,2 ± 1,8	< 0,1	< 0,1
		кравље	19.06.2011.	55,1 ± 2,2	< 0,1	< 0,1
		козје	26.03.2011.	72,3 ± 2,7	< 0,1	< 0,1
		козје	10.04.2011.	69,8 ± 2,4	1,1 ± 0,4	< 0,1
		козје	06.05.2011.	42,6 ± 2,5	< 0,1	< 0,1
		козје	19.06.2011.	71,3 ± 1,1	< 0,1	< 0,1
		овчје	12.06.2011.	50,0 ± 1,9	< 0,1	< 0,1
4.	Вршац Бела Црква	кравље	27.03.2011.	42,9 ± 1,5	< 0,1	< 0,1
		кравље	10.04.2011.	32,6 ± 1,3	< 0,1	< 0,1
		кравље	25.06.2011.	44,1 ± 1,7	< 0,05	0,07 ± 0,03
		козје	25.06.2011.	62,3 ± 2,2	< 0,05	< 0,07

Радиоактивни изотоп цезијума, ^{137}Cs, детектован у укупно 9 узорака, од тога у 2 узорка козјег млека, једном узорку овчијег млека и 6 узорака крављег млека. С обзиром да је ^{137}Cs детектован у узорцима млека крава које нису биле на испаши, а поред тога ни у једном узорку у којем је детектован ^{137}Cs, није детектован и ^{131}I, може се закључити да је присуство цезијума у овим узорцима највероватније последица чернобиљског акцидента. У табели 3. приказане су вредности активности ^{40}K и ^{137}Cs измерене у крављем, овчијем и козјем млеку сакупљеном на Дивчибарама и Копаонику током претходних година. Резултати показују да је, у узорцима млека из ових региона, ^{137}Cs који је последица чернобиљског акцидента још увек присутан у ланцу исхране.

Табела 2. Ниво активности ^{40}K, ^{131}I и ^{137}Cs у млеку у централној Србији (Bq/kg)

Бр.	Локалитет	Врста млека	Датум узорковања	^{40}K (Bq/kg)	^{131}I (Bq/kg)	^{137}Cs Bq/kg
5.	Београд Степојевац	кравље	26.03.2011.	52,9 ± 1,9	< 0,1	< 0,1
		кравље	15.04.2011.	58,1 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
		кравље	12.06.2011.	58,2 ±1,4	< 0,1	< 0,1
		козје	12.06.2011.	55,8 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
6.	Београд-Авала	кравље	19.03.2011.	53,6 ± 1,7	< 0,1	< 0,1
		кравље	02.04.2011.	45,1 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
		кравље	12.06.2011	51 ± 1	< 0,1	< 0,1
		кравље	14.06.2011.	56,9 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
7.	Космај	кравље	22.03.2011.	57,7 ± 1,2	< 0,06	< 0,05
		кравље	30.04.2011.	54,4 ± 1,1	< 0,1	< 0,1
		кравље	12.06.2011.	39,4 ± 1,5	< 0,1	< 0,1
		козје	12.06.2011.	60,6 ± 2,1	< 0,1	< 0,1
8.	Маљен – Дивчибаре	кравље	23.03.2011.	52,1 ± 1,3	< 0,1	1,3 ± 0,1
		кравље	14.04.2011.	56,2 ± 1,2	< 0,1	2,6 ± 0,1
		кравље	12.06.2011.	52,3 ± 1,2	< 0,1	3,5 ± 0,9
	Дивчибаре – Брежђе	овчије	04.04.2011.	38,4 ± 1,1	< 0,1	< 0,1
		овчије	09.04.2011.	32,4 ± 0,9	< 0,1	< 0,1
		овчије	15.04.2011.	40,1 ± 1,5	1,5 ± 0,3	< 0,1
		козје	12.06.2011	54,5 ± 1,9	< 0,1	< 0,1
9.	Рудник	кравље	23.03.2011.	54,5 ± 1,9	< 0,1	< 0,1
		кравље	21.05.2011.	47,8 ± 1,7	< 0,05	0,19 ± 0,05
		кравље	21. 06.2011.	37,8 ± 1,6	< 0,06	< 0,08
10.	Златибор	кравље	19.03.2011.	36,1 ± 0,9	< 0,05	< 0,06
		кравље	26.03.2011.	49,9 ± 1,1	< 0,04	0,10 ± 0,01
		кравље	12.06.2011.	49,3 ± 1,8	< 0,1	< 0,1

		козје	12.06.2011.	45,2 ± 1,9	< 0,01	0,5 ± 0,01
11.	Хомоље – Кучево	кравље	06.04.2011.	66,1 ± 1,3	< 0,1	< 0,1
		кравље	10.06.2011.	51,1 ± 1,1	< 0,1	< 0,1
		козје	06.04.2011.	66,2 ± 1,4	< 0,1	< 0,1
		овчије	16.04.2011.	48,8 ± 1,8	< 0,1	< 0,1
		овчије	06.06.2011.	42,7 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
12.	Копаоник	кравље	23.03.2011.	53,1 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
		кравље	08.04.2011.	59,2 ± 1,1	< 0,1	< 0,1
		кравље	23.05.2011.	39,9 ± 0,7	< 0,1	< 0,1
		овчије	23.05.2011.	35,8 ± 1,2	< 0,1	< 0,1
13.	Стара Планина (Бабин Зуб)	кравље	26.07.2011.	42,7 ± 1,9	< 0,1	< 0,1
		овчије	26.07.2011.	49,4 ± 1,1	< 0,1	< 0,1

Табела 3. Ниво активности ^{40}K и ^{137}Cs у млеку са Дивчибара и Копаоника (Bq/kg)

Локалитет	Врста млека	Датум узорковања	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs Bq/kg
Маљен – Дивчибаре	кравље	Јул 2004.	64.2 ± 2.2	4.5 ± 0.1
	овчије	Јун 2002.	51.3 ± 1.7	14.0 ± 0.4
	овчије	Јун 2002.	80.8 ± 2.5	21.7 ± 0.6
	овчије	Јун 2002.	62.4 ± 1.9	17.7 ± 0.5
	овчије	Јун 2004.	61.4 ± 1.8	9.3 ± 0.3
	овчије	Јун 2004.	41.2 ± 1.7	7.4 ± 0.2
	козје	Јун 2004.	110 ± 4	24.2 ± 1.2
Копаоник				
Блажево	кравље	Јул 1988.	51,5 ± 1,6	13.4 ± 1.1
Лисина	кравље	Јул 1988.	55,3 ± 2,1	40.8 ± 5.1
Црна Глава	овчије	Јул 1988.	63,2 ± 1,4	39.6 ± 2.2
Бећиревац	овчије	Јул 1988.	58,6 ± 2,1	79.4 ± 2.1
Гобеља	овчије	Јул 1988.	66,8 ± 2,2	101± 3

4. Закључак

Упркос великим удаљеностима између извора и области депозиције, трагови ^{131}I су детектовани у узорцима козијег и овчијег млека на територији Србије. С обзиром на ниске активности, присутни јод није представљао радијациони ризик за становништво Србије. Активност ^{137}Cs пореклом из чернобиљског акцидента у узорцима млека је у ниским нивоима.

5. Литература

[1] http://www.ctbto.org/press-centre/highlights/2011/fukushima-related-measurements-by-the-ctbto/fukushima-related-measurements-by-the-ctbto-page-1/

[2] www.srbatom.gov.rs

[3] M. Haldimann, A. Alt, A. Blanc, K. Blondeau. Iodine content of food groups. Journal of Food Composition and Analysis, 18(2005) 461-471.

[4] D. Pittauerová, B. Hettwig, H. W. Fischer. Fukushima fallout in Northwest German environmental media. Journal of Environmental Radioactivity, 102 (2011) 877-880

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF MILK IN SERBIA

ВЕДРАНА Вулетић[1], ГОРДАНА Виторовић[2], БРАНИСЛАВА Митровић[2], ГОРДАНА Пантелић[3] и ВЕЛИБОР Андрић[2,3]

1) Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Belgrade, Serbia, vedrana.vuletic@srbatom.gov.rs

2) University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine,Laboratory for Radiation Hygiene, Belgrade, Serbia, radijacija@vet.bg.ac.rs

3)Institute for Nuclear Sciences „Vinča“,P.O. Box 522, Belgrade, Serbia, pantelic@vinca.rs

After the accident in Fukushima nuclear power plant in Japan, radionuclides released into the atmosphere during the accident were detected in different environmental samples in Serbia. Samples of cow, goat and sheep milk were collected at 13 sites in Serbia and activity concentrations of ^{40}K, ^{131}I и ^{137}Cs were determined. Results confirm transfer of ^{131}I to goat and sheep milk.

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ ВАЗДУХА У БЕОГРАДУ-ПОСЛЕДИЦЕ ФУКУШИМЕ

Гордана ПАНТЕЛИЋ, Драгана ТОДОРОВИЋ, Јелена НИКОЛИЋ и Марија ЈАНКОВИЋ

Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, ПП522, Београд, Србија,pantelic@vinca.rs

САДРЖАЈ

Узорци аеросола из приземног слоја атмосфере су свакодневно анализирани у оквиру мониторинга након акцидента у Фукушими. Гамаспектрометријско испитивање ових узорака показало је присуство фисионих продуката ^{131}I, ^{134}Cs и ^{137}Cs. Максимална измерена концентрација ^{131}I била је 1.3 mBq/m^3 у узорку 29.-30. марта, док су максималне концентрације ^{134}Cs и ^{137}Cs биле 0.07и 0.09 mBq/m^{3}у узорку 11.-12. априла 2011. године, респективно.

1. Увод

Радиоактивна емисија из оштећеног реактора Фукушима у атмосферу почела је 12 марта 2011. године. Радиоактивна контаминација је очекивана у Јапану и Азији, али због транспорта радионуклида изнад Пацифика у правцу Северне Америке, контаминација је детектована на целој северној хемисфери укључујући САД и Европу [1, 2, 3, 4]. Присуство фисионих продуката се очекивало 15 дана после акцидента, што одговара времену првог појављивања контаминације након нуклеарних проба у Кини (слична географска ширина) [5].

Због тога је редовни мониторинг у Инстуту Винча, који, поред других анализа, обухвата месечно гамаспектрометријско испитивање активности радионуклида у ваздуху и падавинама проширен на свакодневну контролу аеросолних филтера и падавина, као и мерење укупне алфа и бета активности у овим узорцима, почевши од 21. марта 2011. године.

2. Метода мерења

Узорци аеросола из приземног слоја атмосфере прикупљани су на 4 мерне станице у Винчи (Винча 1- координате 44° 45′ N; 20° 35′ E; Винча 2- координате 44° 45′ N; 20° 36′ E; Винча 3- координате 44° 46′ N; 20° 37′ E; Винча 4- координате 44° 44′ N; 20° 36′ E) и једној на Зеленом брду у Београду (координате 44° 47′ N; 20° 25′ E). Ваздух се непрекидно просисава кроз филтер папир Whatman 41/No.5A, 20 cmx25 cm, релативне ефикасности за депозицију 81 %, на висини од 1 m изнад некултивисане травнате површине. Укупна запремина ваздуха у збирном дневном узорку на свих 5 мерних места је била око 7000m^3.

Узорци падавина прикупљани су свакодневно на квадратним тацнама површине 0.16 m^2 и испитивани су гамаспектрометријски. Збирни дневни узорци ваздуха са свих 5 мерних места мерени су одмах након узорковања.

Мерење је вршено на два HPGe детектора (Canberra) релативне ефикасности 20 % и 18% и енергетске резолуције 1.8 keV и 1.9 keV. Енергетска калибрација и калибрација на ефикасност обављена је помоћу одговарајућег радиоактивног стандарда исте геометрије мерења [6]. Време мерења узорака је 60000s.

Мерење укупне алфа и бета активности у појединачним дневним филтерима са свих пет мерних места вршено је 5 часова и 5 дана након узорковања. Мерење је

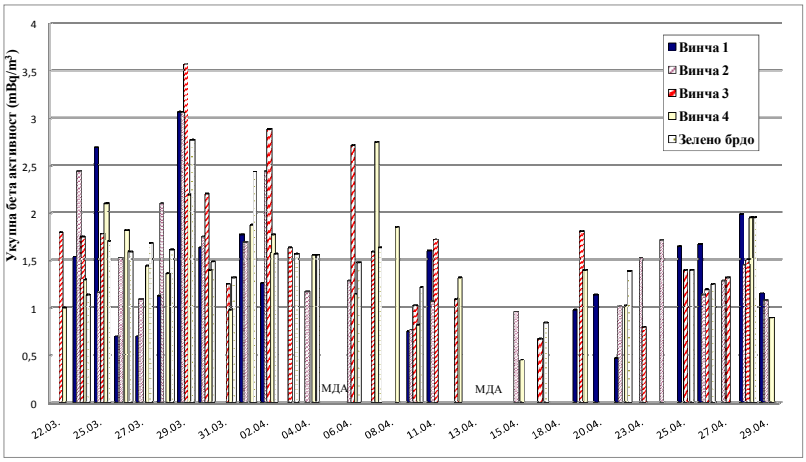
обављено на нискофонском пропорционалном алфа бета бројачу ThermoEberlineFHT770T.

3. Резултати и дискусија

Резултати мерења укупне алфа и бета активности, као и њиховог односа, 5 часова након узорковања нису показивали промену у односу на период пре акцидента, осим у случају филтера експонованих од 29. до 30. марта. Већи однос укупне бета према укупној алфа активности у узорку од 29-30.03.2011. указује на присуство контаминације у ваздуху. На слици 1 су приказани резултати мерења укупне бета активности у узорцима ваздуха 5 дана након узорковања на 5 места у Београду крајем марта и у априлу 2011. године.

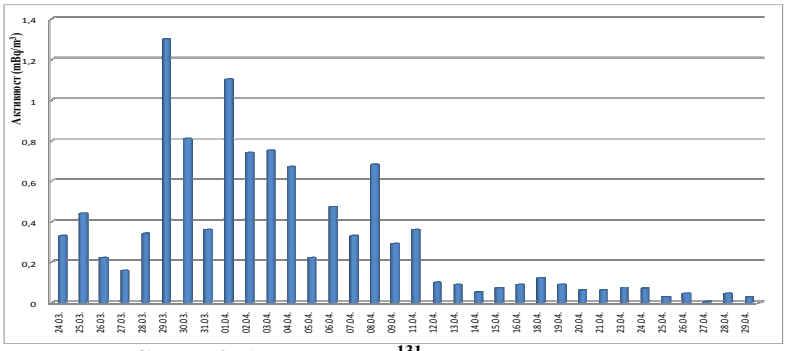
У збирним дневним узорцима, гамаспектрометријским мерењем је утврђено присуство ^{131}I (слика 2) и ^{134}Cs и ^{137}Cs (табела 1).

Од дневних узорака са појединачних мерних места, направљени су збирни месечни узорци и на њима извршена гамаспектрометријска анализа. Резултати ових мерења показују присуство радионуклида природног и космогеног порекла, као и радионуклида ^{134}Cs и ^{137}Cs. У резултатима се не очекује присуство ^{131}I што је последица припреме узорака минерализацијом.

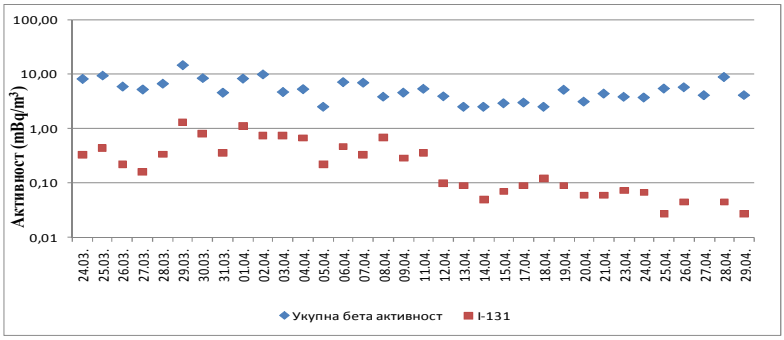


Слика 1. Варијације укупне бета активности у ваздуху у Београду, мерено 5 дана након узорковања (mBq/m^3)

На слици 3 приказани су упоредо укупна бета активност (5 дана након узорковања) и активност ^{131}I у ваздуху у Београду, у збирним дневним узорцима. У периоду од 24. марта до 11. априла тренд промене укупне бета активности прати тренд промене активности ^{131}I, док та појава није уочљива после 12. априла јер је активност ^{131}I значајно опала.



Слика 2. Активности ^{131}I у ваздуху у Београду



Слика 3. Укупна бета активност (5 дана након узорковања) и активност ^{131}I у ваздуху у Београду.

Табела 1. Активност ^{134}Cs и ^{137}Cs у ваздуху у Београду.

Датум узорковања	^{134}Cs(mBq/m^3)	^{137}Cs(mBq/m^3)
21.03-7.04.2011	< 0.007	< 0.05
8.-9.04.2011.	0.065±0.014	0.064±0.016
9.-11.04.2011.	0.030±0.007	0.016±0.006
11.-12.04.2011.	0.069±0.017	0.090±0.023
12.-13.04.2011.	< 0.006	< 0.07
13.-14.04.2011.	0.015±0.006	0.014±0.007
14.-21.04.2011.	< 0.007	< 0.06
21.-22.04.2011.	0.017±0.007	0.020±0.008
22.-30.04.2011.	< 0.007	< 0.05

4. Закључак

Иако је Фукушима удаљена 9044 km од Београда, у узорцима аеросола из приземног слоја атмосфере су детектовани радионуклиди ^{131}I, ^{134}Cs и ^{137}Cs. Максимална измерена активност ^{131}I била је 1.3 mBq/m^3 у узорку од 29.-30. марта, док су максималне активности ^{134}Cs и ^{137}Cs биле 0.07и 0.09 mBq/m^{3}у узорку 11.-12. априла 2011. године, редом. Ови резулатаи су 3 до 4 реда величине мањи од резултата добијених мерењем 1986. године након акцидента у Чернобиљу [6], што је и очекивано због велике раздаљине до Фукушиме и познатог ефекта разблажења.

5. Литература

[5] Diaz Leon, J., Jaffe, D.A., Kaspar, J., Knecht, A., Miller, M.L., Robertson, R.G.H., Schubert, A.G. Arrival time and magnitude of airborne fission products from the Fukushima, Japan, reactor incident as measured in Seattle, WA, USA. J.Environmental Radioactivity (2011), doi: 10.1016/j.jenvrad.2011.06.005

[6] KEK High Energy Accelerator Research Organization, Measurement Result of Airborne Nuclide and Air Radiation Level in Tsukumba Area (Japan): 3rd Report. 28 March, 2011. KEK.JP

[7] Manolopoulou, M., Vagena, E., Stoulos, S., Ioannidou, A., Papastefanou, C. Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Northern Greece due to the Fukushima nuclear accident. J.Environmental Radioactivity Vol. 102, Is. 8, 2011, 796-797

[8] Pittauerová, D., Hettwig, B., Ficher, H.W. Fukushima fallout in Nothwest German environmental media. J.Environmental Radioactivity Vol. 102, Is.9, 2011, 887-880

[9] Тодоровић, Д.Дистрибуција природних (^{7}Be, ^{210}Pb) и произведених (^{137}Cs) радионуклида у приземном слоју атмосфере и слободно наталоженој прашини у урбаним срединама, Физички факултет, Београд, докторска дисертација, 2000

[10] Popović, D., Todorović, D., Spasic Jokić, V., Djurić, G., 2007. Air Radioactivity monitoring inSerbia. Environmetal Tehnologies: New Developements, Ed. Burcu Ozkaraova Gungor, Publ. I-Tech Inc, Vienna, ISBN 978-3-902613-10-3, 147-166.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY CONTROL OF AEROSOL IN BELGRADE – CONSEQUENCES OF FUKUSHIMA ACCIDENT

GordanaPANTELIĆ, Dragana TODOROVIĆ, Jelena NIKOLIĆ and Marija JANKOVIĆ

University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences,Department of Radiation Protection and Environmental Monitoring, Belgrade, Serbia, pantelic@vinca.rs

Samples of aerosol and fallout were taken and analysed for traces of isotopes indicating Fukushima fallout within a monitoring program. Gamma spectrometry measurement from these samples showed clear evidence of fission products ^{131}I, ^{134}Cs and ^{137}Cs. The highest activity was observed for ^{131}I in aerosol was 1.3 mBq/m^3 on 29th -30th March. Maximum value for ^{134}Cs and ^{137}Cs in aerosol were 0.07 mBq/m^3 and 0.09 mBq/m^3 on 11th -12thApril.

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ НАКОН ФУКУШИМА АКЦИДЕНТА

Дубравка ВУКОВИЋ[1], Радосав МИТРОВИЋ[1], Михаило ВИЋЕНТИЈЕВИЋ[1] и Гордана ПАНТЕЛИЋ[1,2]

1) Научни институт за ветеринарство Србије, Београд, Србија, dubakaiva@gmail.com

2) Институт за нуклеарне науке „Винча“, ПП522, Београд, Србија,pantelic@vinca.rs

САДРЖАЈ

Акцидент у Фукушими је утицао на повећан опрез када је реч контроли радиоактивности узорака из увоза, а посебно риба и производа од рибе. Контролисане су морске и речна риба, производи од рибе и рибље брашно - укупно 95 узорака. Сви производи су били радијационо- хигијенски исправни и безбедни за употребу.

1. Увод

Нуклеарни акцидент у Фукушими, који се десио 11.03.2011.године у Јапану, изазвао је велику пажњу и забринутост јавности због могуће контаминације животне средине. Након што су у неким прехрамбеним производима и води у Јапану утврђене радиоактивне супстанце, као последица ове несреће, многе земље широм света су или забраниле увоз или појачале контролу на радиоактивност хране из ове земље.

Радиоактивни облак је до наших простора стигао крајем марта, када су у узорцима аеросола и падавина у Београду детектовани ^{131}I,^{134}Cs и ^{137}Cs , што је објављено на сајту Агенције за заштиту од зрачења и нуклеарну сигурност Србије [1].У суседној Грчкој су нађене вредности истог реда величине [2].

Многе лабораторије у Србији су овлашћене за испитивање радиоактивности у узорцима хране. У лабораторији за радијациону хигијену Научног института за ветеринарство Србије, која је акредитована за испитивање радиоактивности у храни, садржај радионуклида се испитује гамаспектрометријски у намирницама и храни за животиње од 1989. године.

2. Метода мерења

За гамаспектрометријско испитивање најважнија је хомогенизација узорака и одговарајућа калибрација према густини и геометрији узорака који се испитују. У случају намирница и хране за животиње, хомогенизација се састоји од млевења узорака, који се затим стављају у маринели посуду.

Узорци су мерени на чистом германијумском детектору ORTEC, релетивне ефикасности 30% и енергетске резолуције 1.85keV. Енергетска калибрација и калибрација на ефикасност вршена је са стандардом у Маринели посуди. Време мерења узорака је 3600 s. Основно зрачење је мерено 250000s.

У току анализе посебна пажња је посвећена радионуклидима: ^{131}I, ^{134}Cs и ^{137}Cs,који су могли бити присутни у испитиваним узорцима.

3. Резултати и дискусија

Од почетка јануара до почетка августа 2011. године измерено је 420 узорака. Од тога је било 79 узорака риба и 16 узорака рибљег брашна. У табели 1 је приказан укупан број испитиваних узорака пре и после 17. марта, од када је појачана

контрола хране која долази из Азије. Највећи број испитиваних узорака су биле рибе из Тајланда, Кине, Вијетнама, ...

Табела1: Укупан број измерених узорака и број узорака рибе и рибљег брашна

Интервал испитивања	1.01.-16.03.2011.	17.03.-1.08.2011.
Укупан број узорака	281	139
Број узорака риба	13	66
Број узорака рибљег брашна	5	11

У свим измереним узорцима активност ^{131}I је била испод границе детекције (мање од 0.06Bq/kg). Такође није детектован ни ^{134}Cs, за који је граница детекције 0.03Bq/kg. У табели 2 приказан је број узорака по врстама и средња вредности активности ^{137}Cs у испитиваним узорцима, као и измерене минималне и максималне вредности.

Табела 2: Број узорака по врстама и активност ^{137}Cs

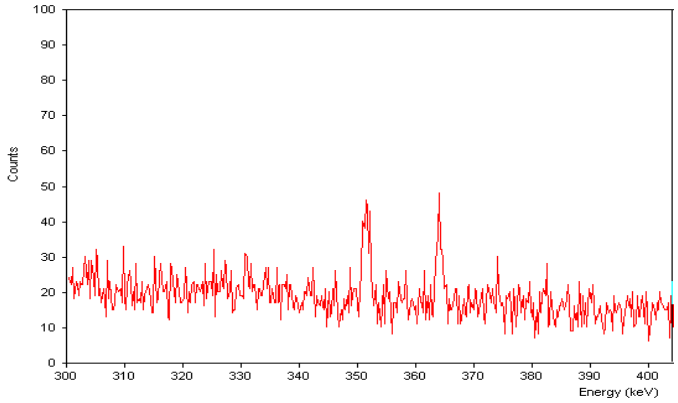
Врста	Број узорака	Активност ^{137}Cs(Bq/kg)		
		Средња вредност	Минимална вредност	Максимална вредност
Морска риба, ослић, скуша, папалина	26	0.29	< 0.04	3.13 ± 0.62
Речна риба, сом пангасиус	24	< 0.07	< 0.02	< 0.15
Рибље конзерве	29	< 0.24	< 0.06	< 0.65
Рибље брашно	16	1.84	< 0.04	4.25 ± 0.54

Из досадашњих мерења једино је у ситној риби као што је папалина био детектован ^{137}C и то због начина исхране [3], као и у рибљем брашну као концетрованом производу. У морској крупнијој риби није детектован повећан садржај цезијума. Од слатководних риба испитиван је сом - пангасијусус пореклом из Вијетнама, и ни у једном узорку није детектовано присуство радионуклида вештачког порекла.

Иако су концентрације у ваздуху биле веома ниске, трагови присуства радионуклида ^{131}I, ^{134}Cs и^{137}Cs су могли бити детектовани и у неким другим узорцима из животне средине. Измерене су трава и детелина прикуљена у околини Института на Бежанијској коси. Прво је вршено испитивање свежих узорака, одмах након прикупљања, а поновљено испитивање је вршено на сувим узорцима. У првим мерењима 18.04.2011. године, је евидентно присуство ^{131}I (табела 3, слика 1) у оба узорка. Мерење сувих узорака 11.05.2011. године није могло поуздано то да потврди. Резулатати мерења свежих узорака траве и детелине показују трагове ^{134}Cs и^{137}Cs, али су њихове концентрације биле веома ниске, испод 0.1 Bq/kg.

Табела 3. Активност ^{131}I у узорцима свеже траве

Узорак	Датум узорковања	Активност ^{131}I(Bq/kg)
Трава	18.04.2011.	0.42 ± 0.10
Детелина	18.04.2011.	0.43 ± 0.09



Слика 1. Део спектра траве, на коме се види линија 364.5keV која припада радионуклиду ^{131}I

4. Закључак

У риби и производима од рибе од почетка године до августа 2011. године није детектован ^{131}I и ^{134}Cs, док је активност ^{137}Csбила испод дозвољене границе.
Стално праћење радиоактивности у увозним производима обезбеђује присуство радијационо – хигијенско исправне хране за људе и животиње.
Премда је наша земља веома далеко од Јапана, у узоцима детелине и траве је детектован ^{131}I.

5. Литература

www.srbatom.gov.rs

[2] M.Manolopoulou, E. Vagena, S. Stoulos, A. Ioannidou, S. Papastefanou,*Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Northern greece due to the Fukushima nuclear accident,* Journal of Enviromental Radioactivity, 2011, 102, 796-797.

[3] Митровић Р., Вуковић Д., Вићентијевић М., Кљајић Р., Петровић Б. *Риба као показатељ радиоактивне контаминације*, ТЕХНОЛОГИЈА МЕСА, No 2, 76-81, Београд, 1998.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY CONTROL AFTER FUKUSHIMA ACCIDENT

DubravkaVUKOVIĆ[1], RadosavMTROVIĆ[1], MihailoVIĆENTIJEVIĆ[1] andGordanaPANTELIĆ[1,2]

1) Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia, dubakaiva@gmail.com

2) Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia, pantelic@vinca.rs

Fukushima nuclear accident has influence on more attention when radioactivity of fish were controled.Sea fish, freshvater fish, fish products and fish flour were analised (95 samples). All products were safe for use with radiation- hygienic aspects.

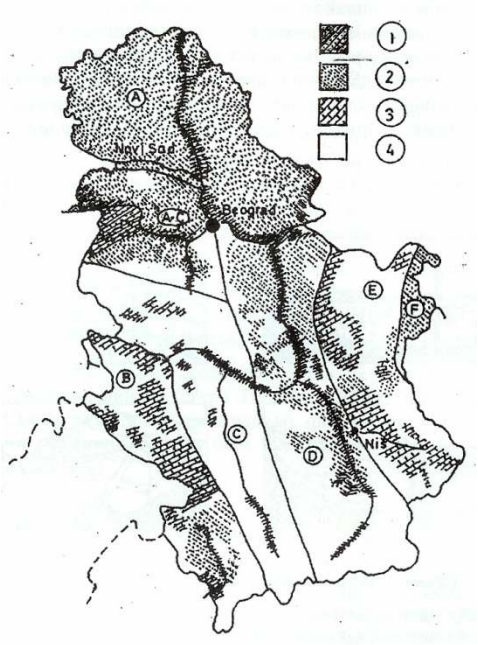
RADIOAKTIVNOST BANJSKIH VODA U SRBIJI

Irena TANASKOVIĆ, Maja EREMIĆ SAVKOVIĆ i Ljiljana JAVORINA
Institut za medicinu rada Srbije "Dr Dragomir Karajović", Deligradska 29, 11000 Beograd, Srbija, irenatanaskovic@yahoo.com

SADRŽAJ
U radu su prikazani rezultati merenja ukupne alfa i beta aktivnos, specifične aktivnosti ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{40}K i provodljivosti u banjskim vodama Srbije. Banjske vode su uzorkovane na terenima različitih tipova geološke sredine. Maksimalne vrednosti alfa i beta aktivnosti u vodama su 425 mBq/l i 1160 mBq/l, respektivno. Maksimalne specifične aktivnosti ^{226}Ra, ^{228}R i ^{40}K su 0.53 Bq/l, < 0.22 Bq/l, i 1.13 Bq/l, respektivno. Maksimalna vrednost električne provodljivosti je 5100 µS/cm.

1. Uvod

Voda, kao glavno jedinjenje neophodno za opstanak živog sveta na planeti, od davnina pobuđuje veliko interesovanje istraživača. Zalihe podzemnih voda su oko pedeset puta veće od zaliha površinskih voda. One predstavljaju ključni element u velikom broju geoloških i hidrolohemijskih procesa.



Slika 1. Geotektonska rejonizacija teritorije Srbije
A. Panonski basen; A-C. Savski rov; B. Dinaridi; C, Vardarska zona; D. Srpsko-makedonska masa; E. Karpato-balkanidi; F. Dakiski basen; 1. aluvioni; 2. neogen; 3. karst; 4. pukotinska sredina.

Raznovrsnost geološke strukture zemljišta na našoj planeti, utiče da svako nalazište ima geološki uticaj na karakteristike vode. Teritorija Srbije se odlikuje veoma složenom geološkom građom, u kojoj su zastupljeni mnogobrojni litostratigrafski članovi, čija je

starost u rasponu od prekambrije do kvartara slika 1. Zbog specifične građe geotektonskih sredina u Srbiji, pojavljivanje mineralnih banjskih voda vezano je za 4 tipa geoloških sredina. : Hidrogeološki masiv, Oblast metamorfita, Karstna područija i Vulkanogeni masivi [1]. U radu su prikazani rezultati radioaktivnosti banjskih voda Srbije i uticaj geološke strukture izvorišta na sadržaj radioaktivnosti.

2. Materijal i metode

Uzorci banjskih mineralnih voda uzorkovani su na teritoriju Srbije direktno u banjskim centrima za lečenje, koje se aktivno koriste. Uzorkovanje banjskih mineralnih voda je bazirana na petrološko-strukturnim karakteristikama terena. Uzorkovano je 20 l mineralne vode po uzorku.

Merenjeukupne alfa i beta aktivnosti vrši se na niskofonskom$\alpha\beta$ - proporcionalnom gasnom brojačuPIC-WPC-9550 proizvođačaProtean Instrument Corporation.Nivo osnovnog alfa zračenja je 0.1 imp/s, a osnovnog beta zračenja 0.4imp/min. Efikasnost brojača za alfa zračenje je 31 % a za beta zračenje iznosi 45 %, i određena je pomoću standarda^{241}Ami^{90}Sr, respektivno. U procesu merenja se koristi računski program *Vista 2000*nabavljen od proizvođača uređaja[3]. Za analizu ukupne alfa i beta aktivnosti u vodama korišćene su ISO 9696 i ISO 9696 metode [2.3].

Gamaspektrometrijska merenja vršena su na HPGe detektorima, rezolucije 1,95 keV, odnosno 1,85 keV, relativne efikasnosti 25% na 1,33 MeV firme ″ORTEC″. Energetska kalibracija , kao i kalibracija efikasnosti detektora obavlja se pomoću radioaktivnog standarda AMERSHAM [2]. Za gamaspektrometrijsku analizu voda korišćena je ISO 10703 mtoda [4]. Provodljivost banjskih voda je merena konduktometrom CON 5/TDS 5, opseg od 0 do 199.9, 1999 µS, 19.99 mS, rezolucija 0.1, 1 µS; 0.01 mS.

3. Rezultati i diskusija

Banjske vode su uzorkovane na teritorijama različitih tipova geoloških sredina. U sastav akvifera Hidrogeoloških masiva ulaze neogene jezerske tvorevine i krečnjaci. U Hidrogeološkom masivu uzorkovano je na sledećim lokacijama: Kanjiža Banja (S1), Junaković Banja (S2), Koviljača Banja (S3), Selters Banja (S4), Višnjička Banja (S5). U sastav akvifera Karstnog područija ulaze krečnjaci, stene koje sadrže Ca, Mg i HCO_3, vode su pokretne kroz pukotine u krečnjaku (šupljine). U Karstnim područijima uzorkovano je na sledećim lokacijama: Vrdnik Banja (S6), Bogutovačka Banja (S7), Niška Banja (S-8), Soko *Park* Banja (S-9), Ovčar Banja (S10) .

Imajući u vidu da rastvorljivost radioelemenata u vodi prati sledeći red radium>uranium>thorium, analiziran je radium u mineralnim vodama [5]. Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Geološki sastav akvifera nema uticaj na ukupnu alfa i beta aktivnosti, specifičnu aktivnost ^{226}Ra i ^{228}Ra u banjskim vodama , što pokazuje srednja vrednost u oba tipa geoloških sredina. Uočena je razlika u maksimalnim vrednostima ^{40}K, gde se izdvaja voda iz Hidrogeološkog masiva sa vrednošću od 1.13 Bq/l. Vode iz Karstnog područija imaju veću provodljivost , što je posledica sastava akvifera.

Tabela 1. Karakteristike banjskih voda Srbije

Oznaka Banje	Alfa (mBq/l)	Beta (mBq/l)	^{40}K (Bq/l)	^{226}Ra (Bq/l)	^{228}Ra (Bq/l)	Provodljivost [µS/cm]
S1	< 60	316±36	0.32±0.02	<0.02	<0.02	3770
S2	< 290	1131±173	1.03±0.08	0.22±0.02	<0.02	5100
S3	18±9	363±28	0.31±0.01	0.15±0.01	< 0.03	677
S4	170±90	1160±170	1.13±0.04	0.30±0.02	< 0.22	2219
S5	< 50	242±33	0.20±0.02	<0.01	< 0.015	1100
Srednja vrednost	118	642	0.60	0.14	0.06	2573
Max. vrednost	290	1160	1.13	0.3	0.22	5100
S6	< 20	302±25	0.26±0.02	<0.02	< 0.02	722
S7	101±15	457±28	0.41±0.07	0.22±0.01	< 0.02	440
S8	425±31	702±37	0.39±0.03	0.53±0.03	< 0.04	265
S9	186±10	283±17	0.22±0.02	0.21±0.02	< 0.03	248
S10	< 20	312±24	0.29±0.01	< 0.02	< 0.02	324
Srednja vrednost	150	411	0.31	0.2	0.03	400
Max. vrednost	425	702	0.41	0.53	0.04	722

4. Zaključak

Dobijeni rezultati merenja radioaktivnosti u uzorcima banjskih voda Srbije, nisu potvrdili uticaj geološke strukture akvifera na njih. Ovde predstavljeni rezultati su osnov za dalje analize i merenja u oblasti hidrogeoloških ispitivanja.

5. Literatura

[1] D. Protić, Mineralne i termalne vode u srbiji, Knjiga 17, Geoinstitut,
[2]] ISO 9696, Water quality-Measurement of gross alpha activity in non-saline water Thich source method, 1992
[3] ISO 9697 Water quality-Measurement of gross beta activity in non-saline water, 1992
[4] ISO 10703Water quality-Determination of the activity concentration of radionuclides by high resolution gamma-ray spectrometry, 1997
[5] D. Bonotto, T. Bueno, Th natural radioactivity in Guarani aquifer ground water,Brazil, *Applied Radiation and Isotopes*, 66 (2008) 1507-1522.

ABSTRACT

TOTAL ALPHA AND BETA ACTIVITY OF AIR AND FALLOUT IN BELGRADE FROM 2006 TO 2008

Irena TANASKOVIĆ, Maja EREMIĆ SAVKOVIĆ and Ljiljana JAVORINA
Institute of Occupational Health of Serbia "Dr Dragomir Karajović", Deligradska 29, 11000 Belgrade, Serbia, irenatanaskovic@yahoo.com

The natural radioactivity of water is derived primarly from the radioactive rocks with which the water has been in contact. This study presents the natural radioactivity of mineral spa waters (total 10) collected from 4 different hydrological regions in Serbia (Hydrogeological masiff, Metamorphic area, Karstic region and Vulcanite massif) in the period 2007-2008. The measurements of gross alpha- and gross beta- activity are reported together with the activity concentration of the natural dissolved radionuclides ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Ra and conductivity.

KONCENTRACIONI FAKTORI ^{226}RA KOD VRSTE CIPOLA *LIZA AURATA*

Ivanka ANTOVIĆ i Nevenka M. ANTOVIĆ
1) Departman za biomedicinske nauke, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Srbija, Ivanka_Antovic@yahoo.com
2) Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora

SADRŽAJ
Na osnovu izmjerenih koncentracija aktivnosti ^{226}Ra u cijelim jedinkama vrste cipola Liza aurata, njenim mišićima i skeletu, određeni su koncentracioni faktori za transfer radijuma iz vode i sedimenta u ovu vrstu cipola iz južnog Jadranskog mora.

1. Uvod

Ispitivanje radioaktivnosti u ribama obično se vrši zbog procjene doza zračenja koje primaju ljudi konzumirajući ih, zbog čega je neophodno znati sadržaj i aktivnosti radionuklida u njihovom jestivom dijelu.

Transfer radionuklida u tkiva ribe je takođe važan za razumijevanje dinamike izotopa u akvatičnoj životnoj sredini. Ranije istraživani koncentracioni faktori (KF) za transfer radionuklida iz vode u ribe, pokazali su sposobnost riba da akumulišu neke radionuklide iz vode čak i onda kada se radi o njihovim veoma malim koncentracijama. Uprkos dosadašnjim istraživanjima [1, 2], preuzimanje ^{226}Ra, distribucija i bioakumulacija u različitim vrstama riba, nijesu dobro poznati. Stoga, izvršena su mjerenja koncentracija njegove aktivnosti u cijelim jedinkama vrste cipola *Liza aurata*Risso, 1810 (Mugilidae) iz južnog Jadranskog mora, u dva uzorka mišića i dva uzorka skeleta; a određeni su i KF za transfer ^{226}Ra iz vode i sedimenta.

2. Materijal i metodi

2.1. Mjerenje ^{226}Ra spektrometrom PRIPJAT-2M

Spektrometarski sistem PRIPJAT-2M [3] sastoji se od šest NaI(Tl) detektora (kristali dijametra 15 cm i visine 10 cm), čelične i olovne pasivne zaštite, elektro-motora, elektronike (CAMAC standard), personalnog kompjutera i softvera PRIP. Spoljašnje dimenzije spektrometra su (250x145x186) cm^3, a masa 4200 kg. Osnovne karakteristike su: geometrija blizu 4π (~ 0.7x4π sr), vrijeme rezolucije koincidencija – 40 ns, višestrukost koincidencija – od 2 do 6. Ove karakteristike (uključujući i relativno veliku detekcionu komoru u koju se mogu smjestiti uzorci zapremine do 5 dm^3) dozvoljavaju mjerenje uzoraka proizvoljnog oblika, a ne postoji potreba za posebnom pripremom uzoraka i kalibracionim mjerenjima za njihove različite geometrije. Mjerenje aktivnosti ^{226}Ra ovim spektrometrom opisano je u [4]. Naime, eksperimenti su pokazali da, ukoliko je radijum u radioaktivnoj ravnoteži sa potomcima (tj. nema emanacije radona ^{222}Rn), njegovu aktivnost pomoću spektrometra PRIPJAT-2M treba određivati koristeći pik na energiji 609 keV (609.312 keV γ-zrak, intenziteta 46.1 %, koji prati β^-–raspad ^{214}Bi) u režimu dvostrukih koincidencija, kada je, uz relativno veliku efikasnost detekcije, osjetljivost spektrometra najveća. U ovom režimu, spektrometar detektuje γ-zrak 609 keV i γ-zrake u dvostrukoj kaskadi sa njim. Efikasnost detekcije ovog zraka u fotopiku iznosi 0.103, dok je minimalna detektibilna aktivnost za realno vrijeme mjerenja od 500 s – 0.9 Bq [4].

2.2. L. aurata, morska voda i sediment

Od ukupnog broja jedinki (n=20) vrste cipola *L. aurata* ulovljenih 2009. godine u zalivu Boka Kotorska (među kojima je bilo jedinki iste dužine, a u dva slučaja čak i iste dužine i mase), a koje su bile izdvojene na osnovu taksonomskih osobina [5], ovo istraživanje uključilo je njih 7 (ulovljenih u blizini Tivta).

Uzorak 1, mase 0.258 kg i ukupne dužine 35.6 cm, mjeren je spektrometrom PRIPJAT-2M bez bilo kakve pripreme i bez uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između ^{226}Ra i njegovih potomaka, što je uslovilo da je, što se tiče radijumskog niza, preko pika na energiji 609 keV, bilo moguće mjerenje samo ^{214}Bi. Zatim je uzorak homogenizovan, hermetički zatvoren u Marineli posudu i mjeren (nakon 38 dana) pomoću HPGe detektora (ORTEC – GEM-40190, relativne efikasnost – 40 %) i spektrometra PRIPJAT-2M. Četiri uzorka (ovdje označena kao 2, 3, 4 i 5), dužine: 29.6 cm, 29.5 cm, 30.1 cm, 23.5 cm, i mase: 0.182 kg, 0.194 kg, 0.185 kg i 0.105 kg, respektivno, hermetički su zatvorena u plastične posude, i aktivnost radijuma određivana je nakon uspostavljanja radioaktivne ravnoteže u nizu radijuma. Mjerenja su izvršena spektrometrom PRIPJAT-2M u režimu dvostrukih koincidencija, tokom 5000 s realnog vremena (u svim slučajevima, živo vrijeme mjerenja bilo je veće od 4950 s).

Što se tiče preostala dva uzorka (6 i 7 – ukupnih dužina 31.9 cm i 34.6 cm, i masa 0.231 kg i 0.265 kg, respektivno), najprije je u njima izmjerena aktivnost ^{214}Bi, a zatim je urađena disekcija i izdvojeni su njihovi mišići i skeleti. Oni su zatim hermetizovani i mjereni u istom režimu rada spektrometra, po 10 000 s živog vremena. Na osnovu koncentracije aktivnosti ^{226}Ra u mišićima, kao jestivom dijelu, procijenjena je i godišnja efektivna doza uslovljena konzumiranjem ove vrste ribe (koristeći dozni koeficijent za ^{226}Ra – 0.28 μSv Bq^{-1}[6]).

30 litara vode uzorkovano je takođe u blizini Tivta, kao i uzorak površinskog sedimenta. Voda je uparena do 1 litra, hermetički zatvorena u Marineli posudi i mjerena 10 000 s živog vremena. Sediment je osušen na sobnoj temperaturi (masa suvog uzorka – 1.345 kg), hermetizovan i mjeren 2000 s realnog vremena. U oba slučaja, mjerenja su izvršena nakon više od 38 dana, tj. nakon uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između radijuma i njegovih potomaka.

2.3. Koncentracioni faktori

Za procjenu transfera radiuma iz vode u tkivo ribe, korišćen je koncentracioni faktor (KF_1) definisan kao:

$$KF_1 = \frac{\text{Bq kg}^{-1}\ \text{u svježem uzorku ribe}}{\text{Bq L}^{-1}\ \text{u morskoj vodi}} \qquad (1)$$

a iz sedimenta (KF_2):

$$KF_2 = \frac{\text{Bq kg}^{-1}\ \text{u svježem uzorku ribe}}{\text{Bq kg}^{-1}\ \text{u suvom uzorku sedimenta}} \qquad (2)$$

3. Rezultati i diskusija

Kao što je prethodno rečeno, uzorak 1 mjeren je spektrometrom PRIPJAT-2M u režimu dvostrukih koincidencija, bez uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između radijuma i njegovih potomaka, i određena je aktivnost ^{214}Bi (0.43±0.09 Bq kg^{-1}). Nakon homogenizacije, hermetizacije i ponovnog mjerenja, određena je i koncentracija aktivnosti ^{226}Ra (Tabela 1). Isti uzorak je mjeren HPGe detektorom i dobijena je aktivnost radijuma (0.62±0.09) Bq kg^{-1}, tj. razlika među rezultatima bila je < 10 %. Rezultati mjerenja koncentracija aktivnosti u preostale četiri cijele jedinke *L. aurata*, dati su u Tabeli 1, kao i koncentracioni faktori KF_1 i KF_2, definisani izrazima (1) i (2), respektivno. U vodi je izmjerena aktivnost od (0.08±0.02) Bq L^{-1}, a u sedimentu – (7.32±0.75) Bq kg^{-1}, što je ispod nivoa aktivnosti radijuma u sedimentu Pacifika (21.4 Bq kg^{-1}), Irskog mora (23.9 Bq kg^{-1}), Indijskog okeana (13.8 Bq kg^{-1}) i Arapskog mora (od 14.4 do 36.6 Bq kg^{-1}) [7].

Srednja vrijednost aktivnosti radijuma u cijelim jedinkama *L. aurata* iznosi oko 1.28 Bq kg^{-1}, što je iznad one koja je izmjerena u cijelim jedinkama ribe u Baltičkom moru (0.7 Bq kg^{-1} [8]). Srednja vrijednost koncentracionog faktora KF_1 (iz vode u tkivo ribe) iznosi oko 16, dok je srednja vrijednost koncentracionog faktora KF_2 (iz sedimenta) oko 0.18.

Tabela 1. Aktivnost ^{226}Ra u cijelim jedinkama cipola *L. aurata* iz južnog Jadranskog mora i koncentracioni faktori KF_1 i KF_2

L. aurata	A_c(^{226}Ra), [Bq kg^{-1}]	KF_1	KF_2
1	0.58±0.11	7.25	0.08
2	0.66±0.05	8.25	0.09
3	1.97±0.46	24.62	0.27
4	1.29±0.11	16.12	0.18
5	1.90±0.28	23.75	0.26

Umišićimauzorka 6 (mase 0.0334 kg), koncentracijaaktivnosti^{226}Rabilaje (2.39±0.37) Bqkg^{-1}, dokjeumišićimauzorka 7 (mase 0.0374 kg), izmjereno (2.14±0.87) Bqkg^{-1}, što znači da je srednja koncentracija aktivnosti ^{226}Ra oko 2.3 Bqkg^{-1}. U kostima, izmerene su koncentracija aktivnosti ^{226}Ra – (29.91±5.61) Bqkg^{-1} i (18.6±2.56) Bqkg^{-1}, respektivno, tj. Srednja vrijednost iznosi 24.25 Bqkg^{-1}. KF_1 (transfer iz vode) za uzorke mišića bio je 29.88 i 26.75, respektivno; a zauzorke skeleta – 373.87 i 232.5, respektivno (u oba slučaja, a posebno u slučaju skeleta, značajno veće vrijednosti nego za cijele jedinke). KF_2 (transfer iz sedimenta) za uzorke mišića bio je 0.33 i 0.29, respektivno; a za uzorke skeleta – 4.1 i 2.55, respektivno (ponovo, uobaslučaja, posebno u slučaju skeleta, značajno veće vrijednosti nego za cijele jedinke).

Aktivnost radijuma u mišićima cipola *L. aurata* veća je nego, na primjer, aktivnost mjerena u mesu riba iz Baltičkog mora (0.057 Bq kg^{-1}[8]), riba iz *Cauvery River* – Indija (0.26 Bq kg^{-1}[1]), haringe iz *Quirke Lake* u Kanadi (1.4 Bq kg^{-1}[9]). Sa druge strane, izmjerena koncentracija aktivnosti radijuma u kostima, iako veća od one u već pomenutim ribama iz *Cauvery River* – Indija (od 1.3 do 2.8 Bq kg^{-1}[1]), uporediva je sa aktivnošću koja je izmjerena u haringi iz *Quirke Lake* u Kanadi (srednja vrijednost od

oko 18 Bq kg^{-1}[9]), i značajno je niža od aktivnosti radijuma koja je pronađena u kostima nekih drugih akvatičnih ili semi–akvatičnih vrsta.
Pretpostavljajući da je godišnje unošenje ove vrste ribe (samo mišić) 10 kg, efektivna doza koju odrasli pojedinac iz stanovništva primi na ovaj način iznosi oko 0.006 mSv god^{-1}, što je mali dio srednje godišnje doze usljed izlaganja prirodnim izvorima zračenja (2.4 mSv [6]).

4. Literatura

[1] P.S. Hameed, K. Shaheed, S.S.N. Somasundaram, M.A. Riyengar. Radium-226 levels in the Cauvery river ecosystem, India. *J. Biosci.* 22/2 (1997) 225-231.

[2] B. Porntepkasemsan, A.E. Nevissi. Mechanism of radium-226 transfer from sediments and water to marine fishes. *Geochem. J.* 24 (1990) 223-228.

[3]С.К.Андрухович, А.В.Берестов, В.И.Гутко, А.М.Хильманович. Высокочувствительные многодетекторные гамма спектрометры ПРИПЯТЬ. *Препринт Института физики АН БССР*, Минск, 1995.

[4] N. Antovic, N. Svrkota. Measuring the radium-226 activity using a multidetector γ-ray coincidence spectrometer. *J. Environ. Radioactiv.* 100 (2009) 823-830.

[5] J.M. Thomson. The grey mullets. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 4 (1966) 301-335.

[6]UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. *Report to the General Assembly of the United Nations with Scientific Annexes.* United Nations, New York, 2000.

[7] M. Akram, R.M. Qureshi, N. Amhad, T.J. Solaija. Gamma-emitting radionuclides in the shallow marine sediments off the Sindh coast, Arabian Sea. *Radiat. Prot. Dosim.* 118/4 (2006) 440-447.

[8] M. Suplinska, A. Adamczyk. Cs-137, Ra-226 and K-40 in the southern Baltic Sea fish flesh. Helsinki Commission (HELCOM MORS-PRO 14/2009). *Project Group for Monitoring of Radioactive Substances in the Baltic Sea, 14th Meeting*, Stockholm, Sweden, May 5-7, 2009.

[9] F.V. Clulow, N.K. Dave, T.P. Lim, R. Avadhanula. Radium-226 in water, sediments, and fish from lakes near the city of Elliot Lake, Ontario, Canada. *Environ. Pollut.* 99/1 (1998) 13-28.

ABSTRACT

CONCENTRATION FACTORS OF ^{226}Ra IN THE MULLET SPECIES *LIZA AURATA*

Ivanka ANTOVIĆ[1]andNevenka M. ANTOVIĆ[2]

1) Department for Biomedical Sciences, State University in Novi Pazar, Serbia, Ivanka_Antovic@yahoo.com

2) Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro

On the basis of measured ^{226}Ra activity concentrations in whole individuals of the mullet species Liza aurata, its muscles and skeleton, concentration factors for transfer of radium from water and sediment to this mullet species from the South Adriatic Sea, have been determined.

MERENJE RADONA U PIJAĆIM VODAMA

Jovana NIKOLOV, Nataša TODOROVIĆ, Sofija FORKAPIĆ, Ištvan BIKIT, Dušan MRĐA, Miodrag KRMAR i Miroslav VESKOVIĆ
Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4, e-mail adresa:natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ
Glavni doprinos ukupnoj godišnjoj dozi prirodnog zračenja koje primi stanovništvo potiče od radioaktivnog gasa ^{222}Rn. U radu su prikazani rezultati merenja koncentracije aktivnosti radona u flaširanim pijaćim vodama koji se mogu naći u javnom prometu u Srbiji i u vodama sa javnih česmi u Novom Sadu.

1. Uvod

Gas radon je potomak prirodnog radioaktivnog uranijuma i radijuma koji čine sastavni deo zemljine kore. Podzemne vode koje prolaze kroz stene i zemljište koje sadrži ove radionuklide zahvata radon koji ovim putem dospeva u vodovod. Ingestija pijaće vode sa povećanom koncentracijom radona predstavlja potencijalan rizik od dobijanja karcinoma, primarno karcinoma želudca. Takođe, postoji i rizik od dobijanja karcinoma pluća usled inhalaciji radona koji se oslobađa prilikom korišćenja vode iz vodovoda u domaćinstvu [1]. Evropska komisija daje preporuke za referentni nivo ^{222}Rn u pijaćim vodama od 100 $Bq{\cdot}l^{-1}$[2].

Zbog potencijalne opasnosti po zdravlje stanovništva, ispitivanja koncentracije aktivnosti radona u pijaćim vodama je neophodna [3]. Region Vojvodine, zbog velikog broja podzemnih toplih izvora, izvora prirodnog gasa kao i rezervoara sirove nafte, a zbog ovoga moguće povećane aktivnosti radona u vodama, je područje gde je veoma interesantno merenje radona u pijaćim vodama. U radu su prikazani rezultati merenja radona u 33 flaširane pijaće vode i 6 uzoraka vode sa javnih gradskih česmi (bez ikakvog hemijskog tretmana vode) u Novom Sadu.

2. Eksperimentalna metoda

Za merenje koncentracije aktivnosti radona u pijaćim vodama korišćen je RAD 7 H_20 detektor proizvođača DURRIDGE COMPANY In. kojim je moguće izvršti merenja u opsegu do 370 $Bq{\cdot}l^{-1}$. Granica detekcije iznosi 0.37 Bq l^{-1}.

RAD-H_20 metoda koristi zatvoren sistem aeracije u kome su zapremina vazduha i zapremina vode konstantne i ne zavise od brzine protoka. Vazduh cirkuliše kroz vodu i konitinualno izdvaja radon sve do stanja ravnoteže. RAD-H_20 sistem dostiže stanje ravnoteže u roku od 5 min, posle čega ne dolazi do izdvajanja radona. Efikasnost ekstrakcije, odnosno procenat radona koji se izdvoji iz vode u vazduh, je veoma visoka i iznosi 94% za uzorak zapremine 250 ml. Tačna vrednost efikasnosti izdvajanja zavisi i od ambijentalne temperature, ali u svim slučajevima je iznad 90% [4]. Kako je period poluraspada radona 3.825 dana, potrebno je izvršiti korekciju na raspad za vreme proteklo od trenutka uzorkovanja do trenutka merenja [4]. Određivanje koncentracija aktivnosti radona u pijaćim vodama je važno sa dozimetrijskog aspekta. Godišnja efektivna doza za ingestiju i ihalaciju radona u radu je računana u skladu sa [5], [6] i [7].

3. Rezultati i diskusija

Radon u flaširanim pijaćim vodama

Uzorci vode su uzeti iz javnog prometa, pri čemu je nastojano da se izmeri koncentracija aktivnosti radona u svim flaširanim vodama za piće koji se mogu naći na tržištu u Srbiji. Neke voda merene su nekoliko puta, sa različitim datum punjenja. Takođe, bilo je potrebno za vode budu što "svežije", odnosno da je vreme proteklo od flaširanje do merenje bude što je moguće kraće. Korekcije na raspad su izvršene za svaki uzorak, pri čemu se dobija koncentracija aktivnosti radona u vodi na dan punjenja. Početna aktivnost ovih voda je nepoznata, jer se nije znalo koliko vremena je proteklo od skladištenje vode do punjenja.

U 33 izmerene vode, samo u 7 je aktivnost ^{222}Rn bila viša od granice detekcije detektorskog sistema, Tabela 1. Korekcija na raspad ima smisla ukoliko nije prošlo više od 10 dana od datuma punjenja do datuma merenja [4]. Za uzorke pod rednim brojem 4. i 6. iz Tabele 1 aktivnost ^{222}Rn je veća od izračunate, zbog toga što je aktivnost ^{222}Rn smanjena usled difuzije radona kroz zidove plastične boce. Godišnja efektivna doza koju primi stanovništvo usled ingestije radona, računa se po formuli [5]:

$$E = K \cdot G \cdot C \cdot t \qquad (1)$$

gde je E efektivna godišnja doza usled ingestije ^{222}Rn (Sv), K je ingestioni dozni konverzioni faktor za ^{222}Rn (8.4 E-08 Sv Bq^{-1}[6]), G je dnevna zapremina vode koja se popije po stanovniku (1 $l \cdot dan^{-1}$), C je koncentracija ^{222}Rn ($Bq \cdot l^{-1}$), t je vreme trajanja konzumacije vode (365 dana).

Iz dobijenih rezultata, Tabela 1, može se zaključiti da je većina flaširanih pijaćih voda sigurna za konzumiranje sa stanovišta koncentracije aktivnosti ^{222}Rn u njima [2]. Najveća koncentracija ^{222}Rn izmerena je u vodi pod renim brojem 4., Tabela 1. Poreklo ove vode je u stenama vulkanskog porekla, što može objasniti visoku koncentraciju radona. Potrebno je naglasiti da je korigovana aktivnost jednaka aktivnosti radona u trenutku punjenja, a da se vode konzumiranju barem nekoliko dana kasnije, tako da su i aktivnosti radona u njima manje od onih datih u Tabeli 1.

Difuzija radona kroz plastične boce

Da bi se odredila difuzija radona kroz plastične boce, izvršena su dva seta merenja. Prvo je merena difuzija radona kroz plastičnu bocu zapremine 5 l (koja se komercijalno koristi za ambalažu) koja je do vrha napunjena vodom sa jedne od gradskih javnih česmi. U toku 7 dana merena je koncentracija aktivnosti ^{222}Rn RAD7 H_2O detektorom, Tabela 2. Određena je početna aktivnost A_0 i korigovana aktivnost A_{corr}. Razlika između vrednosti korigovanih aktivnosti i izmerenih A ^{222}Rn može se pripisati difuziji radona kroz plastičnu bocu.U drugom setu merena je koncentracija aktivnosti ^{222}Rn u vodi iz 5 plastičnih boca zapremine 1.5 l koje su istovremeno napunjene do vrha vodom sa gradske česme. Svakog dana je merena koncentracija ^{222}Rn u vodi iz nove boce. Rezultati merenja su dati u Tabeli 3. Poređenjem rezultata iz Tabele 2 i Tabele 3 može se zaključiti da je razlika između korigovane i merene aktivnosti veća kod boce od 5 l nego kod boce od 1.5 l, najverovatnije zbog toga što je pri svakodnevnom otvaranju boce od 5 l i punjenju mernih posuda, deo radona iz vode prešao u vazduh.

Tabela 1. Rezultati merenja koncentracije aktivnosti ^{222}Rn u flaširanim pijaćim vodama, $A_{corr} = Ae^{(-(\ln 2 \cdot t)/T_{1/2})}$

Uzorak vode	Vreme proteklo od trenutka punjenja do merenja t (danima)	Koncentracija aktivnosti ^{222}Rn A (Bq l^{-1})	Korigovana koncentracija aktivnosti ^{222}Rn A_{corr}(Bq l^{-1})	Godišnja efektivna ingestiona doza (μSv $year^{-1}$)
1.	1	2.1±0.7	2.5±0.8	0.77
2.	9	2.8±0.7	14.3±3.5	4.4
3.	10	0.15±0.07	0.91±0.43	0.28
4.	33	3.7±0.8	1463±316	448.6
5.	10	3.6±2.3	18.3±11.7	5.6
6.	34	0.15±0.07	71±33	21.8
7.	10	0.26±0.07	1.59±0.4	0.49

Tabela 2. Rezultati merenja ^{222}Rn u vodi iz plastične boce (zapremine 5 l) u toku 7 dana,A_0 = (7.27±4.81) Bq l^{-1}, $A_{corr} = A_0e^{(-(\ln 2 \cdot t)/T_{1/2})}$

Br.	t (dani)	A (^{222}Rn)(Bq l^{-1})	A_{corr}(^{222}Rn)(Bq l^{-1})	(A_{corr}-A) (Bq l^{-1})
1.	0.02	7.24±4.80	7.27±4.81	0.03
2.	1	4.62±3.35	6.06±2.72	1.44
3.	2	3.51±2.00	5.06±1.39	1.55
4.	3	2.72±1.45	4.22±1.58	1.5
5.	4	1.74±1.02	3.52±0.84	1.78
6.	5	1.50±0.51	2.94±0.61	1.44
7	6	0.374±0.085	2.45±0.03	2.08

Tabela 3. Rezultati merenja ^{222}Rnu vodi iz plastičnih boca (zapremina 1.5 l) u toku 5 dana, A_0 = (20.60±6.72) Bq l^{-1}, $A_{corr} = A_0e^{(-(\ln 2 \cdot t)/T_{1/2})}$

Br.	t (dani)	A (^{222}Rn)(Bq l^{-1})	A_{corr}(^{222}Rn)(Bq l^{-1})	(A_{corr}-A) (Bq l^{-1})
1.	0.02	20.53±6.70	20.60 ± 6.72	0.07
2.	1	17.10±3.03	17.18±2.53	0.08
3.	2	13.80±2.18	14.33±1.52	0.53
4.	3	11.70±1.27	11.96±0.74	0.26
5.	4	9.55±1.11	9.97±0.54	0.42

Radon u vodi sa javnih gradskih česmi u Novom Sadu

Povećane koncentracije aktivnosti radona u pijaćim vodama moguće su ukoliko se za piće koriste podzemne vode [1].

Rezultati merenja koncentracije aktivnosti radona u vodi sa 6 gradskih javnih česmi u Novom Sadu prikazane su u Tabeli 4. Godišnja efektivna ingestiona doza izračunata je na osnovu [5] i [6]. Stanovnici uglavnom koriste ovu vodu za piće, direktno sa česme, ili pune u boce i koriste za piće i kuvanje. Iako je voda iz vodovoda hemijski,

baketeriološki i radiološki ispravna, među nekim od stanovnika vlada mišljenje da je voda sa česmi zdravija i čak lekovita.

Tabela 4. Rezultati merenja radona u vodi sa javnih gradskih česmi u Novom Sadu

Br.	Uzorak vode	A ($Bq\cdot l^{-1}$)	Godišnja efektivna ingestiona doza ($\mu Sv\cdot god^{-1}$)
1.	Česma "Limanski park"	18.4 ± 1.7	5.6
2.	Česma "SPENS"	13.9 ± 8.4	4.3
3.	Česma na ulazu u Sremske Karlovce	9.8 ± 1.1	3.0
4.	Česma na izlazu iz Sremskih Karlovaca	3.9 ±1.1	1.20
5.	Česma, Lenjinova ulica	4.6 ± 8.5	1.4
6.	Česma "Ribarsko ostrvo"	18.6 ± 1.3	5.7

Povećane koncentracije aktivnosti ^{222}Rn u ovim uzorcima mogu se objasniti povećanom koncentracijom radona i radijuma u zemljištu u Novom Sadu, verovatno zbog povećane koncentracije uranijuma u dubokim slojevima zemlje, što potvrđuje i postojanje izvorišta nafte i velikog broja toplih izvora u regionu.

4. Zaključak

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da su koncentracije aktivnosti radona u flaširanim pijaćim vodama u Srbiji bezbedne za piće. Samo u jednom uzorku vode je detektovana koncentracija radona iznad preporučenih granica, što može da se objasni vulkanskim poreklom ove vode. Koncentracija aktivnosti radona u javnim gradskim česmama u Novom Sadu je takođe ispod preporučenih granica.

5. Zahvalnica

Autori se zahvaljuju na finansijskoj pomoći Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, u okviru projekta Nuklearne metode istraživanja retkih događaja i kosmičkog zračenja broj 171002, Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima broj 43002, i Ispitivanje klimatskih promena i njihovih uticaj na okruženje: impakt, adaptacija i mitigacija broj 43007.

6. Literatura

[1]Risk Assessment of Radon in Drinking Water, Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water, *National Research Council*, 296 pages, 6 x 9, (1999)

[2] EUROPEAN COMMISSION, Commission Recommendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water, *2001/982/Euratom* , L344/85 (2001)

[3] G. M. Kendall, Controls on radioactivity in water supplies in England and Wasels, with especial reference to radon, *J. Radiol. Prot*. (2004) 409-412

[4]*RAD7 RAD H_20, Radon in Water Accessory, DURRIDGE Co.*

[5] K. Somlai, S. Tokonami,T. Ishikawa, P. Vancsura, M. Gaspar, V. Jobbagy, J. Somlai, T. Kovacs, ^{222}Rn concentrations of water in the Balaton Highland and in the

southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose, *Radiation Measurements* 42 (2007) 491-495
[6] G.M. Kendall and T. J. Smith, Doses to organs and tissues from radon and its decay products, *J. Radiol. Prot*. 22 (2002), 389-406
[7] Z.A. Tayyeb, A.R. Kinsara and S. M. Farid, A Study on the Radon Concentrations in Water in Jeddah (Saudi Arabia) and the Associated Health Effects, *J. Environ. Radioacitivity*, Vol. 38, No.1, pp 97-104, 1998

ABSTRACT

RADON IN DRINKING WATER IN SERBIA

Jovana NIKOLOV, Nataša TODOROVIĆ, Sofija FORKAPIĆ, Ištvan BIKIT, Dušan MRĐA, Miodrag KRMAR and Miroslav VESKOVIĆ
University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Trg D. Obradovića 4 , Serbia, e-mail: natasa.todorovic@df.uns.ac.rs

Radon is the main source of natural radiation that is received by population. The results of radon activity measurements from bottled drinking water and in water from public drinking fountain in the city of Novi Sad, Serbia, are presented in this paper. The measurements were performed by RAD 7 radon detector manufactured by DURRIDGE COMPANY Inc. The radon level in one sample exceeded the European Commission recommendation reference level for radon in drinking water of 100 $Bq \cdot l^{-1}$.

RASPODELA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA I TORONA U KUĆAMA NA KOSOVU I METOHIJI

GordanaMILIĆ[1], Biljana VUČKOVIĆ[1], Ljiljana GULAN [1], Igor ČELIKOVIĆ[2]i Zora S. ŽUNIĆ[2]

1) Prirodno- matematički fakultet Univrziteta u Prištini, 28000 Kosovska Mitrovica, Srbija, gmgordanamilic@gmail.com

2) Institut za nuklearne nauke VINČA ,Univerzitet u Beogradu, 11000 Beograd, Srbija, zzunic@verat.net

SADRŽAJ

U radu se iznose rezultati zapreminske aktivnosti radona i torona izmerenih u vazduhu prostorija 56 kuća u seoskim sredinama Severnog i Centralnog Kosova i regiona Prizrena. Merenja su izvršena pasivnom integralnom metodom pomoću CR-39 detektora α-čestica iz raspada radona i torona. Aritmetička srednja vrednost svih rezultata je za radon C_{Rn}*=406* Bq m^{-3}, za toronC_{Tn}=56 Bq m^{-3} . *U Centralnom Kosovu izmerena je jačina doze gama-zračenja u 30 kuća u intervalu od 70 do 268 nSvh^{-1} u vazduhu zavorenih prostorija i od 80 do 175 nSvh^{-1} u spoljašnjem vazduhu .*

1. Uvod

Kosovo i Metohija se odlikuje raznovrsnom geološkom građom koja obuhvata period stvaranja od mlađeg proterozoika do holocena. Geološka građa se odlikuje suštinskim regionalnim karakteristikama, uključujući vertikalino i horizontalno rasedanje. Starije stene koje čine osnovu mlađeg proterozoika, sastavljene od kristalastih škriljaca i granita, pojavljuju se u severoistočnom delu Kosova i Metohije. U regionu Centralnog Kosova dominantni su sedimenti kvaternara i paleogen-neogen doba, a u regionu Prizrena prostiru se sedimenti i magmati mezozoika. U regionu Centralnog Kosova dominantni su sedimenti kvaternara i paleogen-neogen doba, a u regionu Prizrena prostiru se sedimenti i magmati mezozoika. U jugoistočnom delu Kosova i Metohije poznata je uranijumsko-torijumska anomalna zona Stublovace, Visoče i Kosmajke [1,2,3,4,5]. O Severnom Kosovu i regionu Prizrena nisu postojale nikakve informacije o prirodnoj radioaktivnosti vazduha. U početnom istrazivanju [1,4,5] o prisustvu radona obuhvaćeno je 204 kuća na Kosovu i Metohiji od kojih je 119 bilo iz oblasti Centralnog Kosova [5]. Uzimajući u obzir da od radona i njegovih potomaka potiče više od 50% prirodne radioaktivnosti životne sredine, radi sistematičnog istraživanja prisutva radona proširena su istraživanja na nove kuće u istim sredinama (Gračanica, Novi Badovac, Dobrotin, Gornja Gušterica i Kosovo Polje), i na nove oblasti koje nisu ranije istraživane. Koncentracija torona je prvi put na Kosovu i Metohiji izmerena u svim ovim oblastima. U Centralnom Kosovu pored radona i torona izmerena je jačina doze gama zračenja. U radu se iznose rezultati ovih istraživanja.

2. Eksperimentalmi rad

Merenje koncentracije aktivnosti radona i torona vršeno je pasivnim diskriminativnim radonsko/toronskim dozimetrima sa detektorima CR-39 za široku skalu istraživanja (RADUET).[6] Dozimetri sa detektorima postavljani su u dnevnom boravku i spavaćim sobama u seoskim prizemnim kuća u mestima koja su naznačena na šematskoj mapi Kosova i Metohije (slika 1). Detektori su izlagani 3 meseca.

Razvijanje detektora, očitavanje tragova α – čestica i određivanje koncentracije radona i torona je vršeno u laboratoriji nacionalnog instituta za radiološke nauke (**N**ational

Institute for **R**adiological **S**ciences-**NIRS**), Chiba, Japan. Tragovi α–čestica u detektorima su izazivani metodom hemijskog nagrizanja u 6.25 normalnom rastvoru NaOH pri temperaturi od 90°C i vremenu trajanja od 6 h [6].
Jačina gama doze je izmerena u 30 kuća u Centralnom Kosovu. Gama zračenje je mereno GM brojačem na rastojanju od jednog metra unutar prostorije i spolja od zida sobe sa dozimetrima.
Određivanje koncentracije radona i torona izvršeno je u tri oblasti Kosova i Metohije: Centralnom Kosovu, Severnom Kosovu i području Prizrena i to u 37 kuća iz 13 naseljenih lokacija Centralnog Kosova (Gračanica, Novi Badovac, Sušica, Donja Gušterica, Radevo, Staro Gracko, Lipljan, Lepina, Laplje Selo, Livađe, Dobrotin, Kosovo polje), u 8 kuća Severnog Kosova iz četiri lokacije (Leposavić, Ostraće, Sočanica, Ibarska Slatina) i 11 kuća sa područja Prizrena.

Slika 1. Šematska mapa Kosova i Metohije

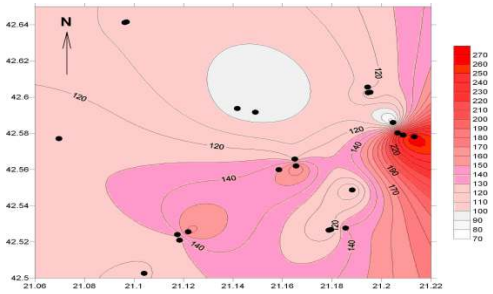
3.Rezultati merenja i tumačenje

U tabeli 1 dati su parametri log-normalne raspodele za radon i toron posebno za sve oblasti. U tabeli su navedene dobijene maksimalne i minimalne vrednosti koncentracije aktivnosti radona i torona, njihove aritmetičke sredine (AS), geometrijske sredine (GS), geometrijske standardne devijacije (GSD), standardne devijacije (SD) u odgovarajućim jedinicama i za odgovarajući radionuklid. Od 56 kuća toron nije identifikovan u 28 kuća.

Tabela 1. Vrednosti koncentracije radona i torona u Bq m^{-3}

Oblasti	Maksimum [Bq m^{-3}]		Minimum [Bq m^{-3}]		AS [Bq m^{-3}]		GS [Bqm^{-3}] i GSD		SD	Br. kuća u % sa konc. Rn[Bq m^{-3}]	
	Rn	Tn	Rn	Tn	Rn	Tn	Rn	Rn	Tn	>200	>600
Centralno Kosovo	1640	635	15	N/A	534	73	351	3.5	11.6	67	33
Region Prizrena	194	49	64	N/A	107	13	98	1.5	16.1	-	-
Severno Kosovo	145	54	14	N/A	91	23	75	2.5	17.2	-	-

Radi analize uticaja građevinskih materijala kao potencijalnih izvora radona i torona koristi se posredna ocena prema jačini doze gama zračenja. Na slici 2 su date jačine gama doze u vazduhu zatvorenog prostora u kućama Centralnog Kosova.



Sl. 2. Gama zračenje u kućama Centralnog Kosova u nSvh^{-1}

U tabeli 2 prikazane su karakteristike jačine gama doze u kućama i spoljašnjem vazduhu u njihovoj blizini i interval njihovih razlika za odgovarajući broj kuća u kojima su izmerene veće vrednosti od spoljašnjih. U preostalih 5 od 30 kuća su izmerene niže.

Tabela 2. Karakteristike izmerenih jačina gama doze

Mesto merenja	Vrednosti merenja nSvh^{-1}		Razlika merenja Zatvoreni-otvoreni prostor	
	Maksimum	minimum	Interval razlike [nSvh^{-1}]	Broj kuća
Zatvoreni prostor	268	71	5-30	18
Otvoreni prostor	175	80	30-100	7

jačine gama doze. Veće vrednosti u kućama od spoljašnjih potencijalno ukazuju da građevinski materijali sadrže prirodne radionuklide koji prevazilaze aktivnost karakterističnu za zemljište i stene te sredine. Kako je razlika između vrednosti, izmerenih unutra i spolja, do 30 $nSvh^{-1}$ za najveći broj kuća, proizilazi da građevinski materijali ne doprinose uvećanju nivoa zapreminske aktivnosti radona. Najveća razlika (blizu 100) je karakteristična za merenja gde je koncentracija torona veća od radona što ukazuje na prisustvo radionuklida iz torijumovog niza.

4. Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata **koncentracija radona veća je u Centralnom Kosovu** u odnosu na region Prizrena i Severnog Kosova. Koncentracioje torona su prvi put izmerene. Pored Gornje Stuble [1,2,4,5] **Centralno Kosovo je druga identifikovana zona sa visokim sadržajem radona** na Kosovu i Metohiji. U ranijoj kampanji merenja geometrijska srednja vrednost u Centralnom Kosovu bila je 199 Bqm^{-3} [5] a u ovim istraživanjima je 351 Bqm^{-3}. Ta razlika u izmerenim koncentracijama verovatno je posledica veceg broja terenskih podataka sa više od 30 novih mernih mesta pretežno u starim kućama koje su bez betonskih ploča kao zaštite od prodora vazduha iz zemlje. Mala razlika između jačine doze gama zračenja u kućama i otvorenom prostoru ukazuje da **aktivnost prirodnih radionuklida u građevinskim materijalima ne prevazilazi prosečne vrednosti** karakteristične za zemljište i stene date oblasti. Maksimalna vrednost jačine gama doze od 268 $nSvh^{-1}$ izmerena je u kući u kojoj je izmerena maksimalna koncentracija torona od 635 Bqm^{-3} .

5. Zahvalnost

Rad je urađen uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije P 41028. Svim stanovnicima kuća u kojima su postavljeni dozimetri se zahvaljujemo na saradnji kao i istrazivačkom timu iz NIRS-a, Chiba, Japan pod rukovodstvom Dr Shinji Tokonami na izvanrednoj saradnji. Posebno se zahvaljujemo Prof. Dr Bajram Jakupiju prema čijoj ideji su započela i nastavila se istraživanja radona na Kosovu i Metohiji.

6. Literatura

[1] B. Jakupi, G. Krstić, M. Tonić and R. Ilić, " *Radon in mines and dwellings in Kosovo andMetohia* ", Radiation Measurements Vol. 28 Nos 1-6 pp 691-694, 1997

[2] Z.S. Zunic, J.P.Mc Laughlin, C.Walsh and R Bendarac. *The use of SSNTDs in the retrospective assessment of radon exposure in high radon rural communites in Yugoslavia,* Radiation Measurments. 31 (1999), pp. 343-346.

[3] Zunic Z.S., Fujimoto, K. Mc Laughlin, J.P. Birovljev,“ Field *experience of indor thoron gas meassurements in a stable rural community in Yugoslavia* in Proceedings, IRPA10,.10th International congress of the International Radiation Protection Association "Harmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem", International Conference Center Hiroshima, 14-19 May, (2000), Hiroshima, Japan, CD-ROM p-1b-15/1-5.

[4] Zunic,Z.S., J.P.Mc Laughlin, C.Walsh, A.Birovljev, S.E.Simopoulos, B.Jakupi, V.Gordanic, M.Demajo, F.Trotti, R.Falk, H.Vanmarcke,J.Paridaens, K.Fujimoto, *Integrated natural radiation exposure studies in stable Yugoslav rural communities*, The Science of the Total Environment 272 (2001) 253 - 259

[5] Gordana Milić, *Distribucija radona u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima Kosova i Metohije,* Doktorska disertacija, Kosovska Mitrovica 2003.

[6] S Tokonami, H Takahashi, Y Kobayashi, W Zhuo, H Erik, *Up-to-date radon-thoron discriminative detector for a large scale survey,* Rev. of Sci instrum. 76 (2005), p, 113505.

ABSTRACT

RADION AND THORON CONCENTRACION ACTIVITY DISTRIBUTION IN HOUSES IN KOSOVO AND METOHIJA

GordanaMILIĆ[1], Biljana VUČKOVIĆ[1], Ljiljana GULAN [1], Igor ČELIKOVIĆ[2] and Zora S. ŽUNIĆ[2]

1) Prirodno- matematički fakultet Univrziteta u Prištini, 28000 Kosovska Mitrovica, Srbija, gmgordanamilic@gmail.com

2) Institut za nuklearne nauke VINČA ,Univerzitet u Beogradu, 11000 Beograd, Srbija, zzunic@verat.net

The paper deals with the results of indoor radon and thoron concentrations measured in 56 houses of North ,Central Kosovo and Prizren region. The measurments were carried out by means of the passive integral method using Cr-39 passive discriminative radon/thoron detectors. The arithmetic mean of all measurments is for radon C_{Rn}=*406* Bq m^{-3}, and for thoron C_{Tn}=56 Bq m^{-3}. In Central Kosovo gamma dose rate in 30 houses (indoor and outdoor) were measured, ranging from *70 do 268 nSvh^{-1}(indoor) a*nd *80 do 175 nSvh^{-1}(outdoor) respectively.*

PERIODIČNOST KONCENTRACIJE RADONA U NISKOFONSKOJ PODZEMNOJ LABORATORIJI U BEOGRADU

Vladimir UDOVIČIĆ[1], Aleksandar DRAGIĆ[1], Radomir BANJANAC[1], Dejan JOKOVIĆ[1], Bojana GRABEŽ[1] i Zora S. ŽUNIĆ[2]

1) Institut za fiziku, Beograd, Srbija, udovicic@ipb.ac.rs

2) Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija, ecelab@vinca.rs

SADRŽAJ

U podzemnoj niskofonskoj laboratoriji u Beogradu kontinuirana merenja radona traju od njenog osnivanja 1997. godine. Od 2008. godine koncentracija radona se meri aktivnom metodom, kratkotrajnim merenjima u intervalima od po dva sata. Dobijeni vremenski niz podataka je analiziran i uočene su dve izrazite periodičnosti od jedne godine i jednog dana. Uz simultana merenja meteoroloških parametara tražena je veza ovih parametara sa periodikom koncentracije radona. Pokazuje se da je ponašanje radona u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji slično sa bilo kojim drugim podzemnim okruženjem (pećine, rudnici, bušotine, ...).

1. Uvod

Niskofonska podzemna laboratorija u Beogradu je jedinstvena laboratorija takve vrste u regionu i namenjena je merenjima niskih aktivnosti kao i istraživanjima retkih nuklearnih procesa. Osnovni imperativ u svim podzemnim laboratorijama je postići što niži gama fon. Pored toga, jako je važno da uspostavljeni fon ima što manje varijacije u vremenu. Kako glavni doprinos gama fonu potiče od radona to je dostizanje što manje koncentracije radona u podzemnim laboratorijama jako bitan zadatak [1]. Takođe, varijacija koncentracije radona može biti velika što negativno utiče na stabilnost gama fona. S tim u vezi, neophodno je neprekidno meriti koncentraciju radona i to aktivnom metodom kako bi se pratile kratkotrajne varijacije radona.

U Niskofonskoj laboratoriji za nuklearnu fiziku u Beogradu merenje radona aktivnom metodom traju od 2008. godine [2]. Do danas je već stvorena bogata baza podataka koji su analizirani Lomb-Scarglov metodom. I pored primenjenih mera za redukciju radona, analizom vremenskog niza podataka o koncentraciji radona dobijene su dve jasne periodičnosti od jedne godine i jednog dana. Posebno je analizirana jednodnevna varijacija uz traženje uzroka za njeno postojanje.

Istraživanja periodičnosti koncentracije radona imaju i širi značaj, jer se ispostavlja da dnevne varijacije radona u zatvorenim prostorijama u stambenim objektima mogu biti ekstremne i samim tim ih treba uzeti u obzir prilikom određivanja doze koja potiče od radona.

2. Eksperiment

Kratkotrajna merenja koncentracije radona vršena su u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji u Beogradu pomoću komercijalnog uređaja SN1029 (proizvođača Sun Nuclear Corporation). Uređaj je relativno jednostavne konstrukcije sa mogućnošću istovremenog merenja meteoroloških parametara (temperature, atmosferskog pritiska i relativne vlažnosti). Takođe, moguće je podesiti uzorak vremenskog intervala merenja od 30 min. do 24 sata. Jedan ciklus merenja može trajati najduže 1000 sati. Nakon tog vremena neophodno je prebaciti dobijene podatke u računar i zatim nastaviti merenje

novim ciklusom. Na taj način dobija se vremenski niz podataka koji se dalje mogu analizirati različitim metodama. Metod korišćen u spektralnoj analizi je Lomb-Scarglov periodogram. Prednost ovog metoda je dobro zasnovana statistička interpretacija periodograma.

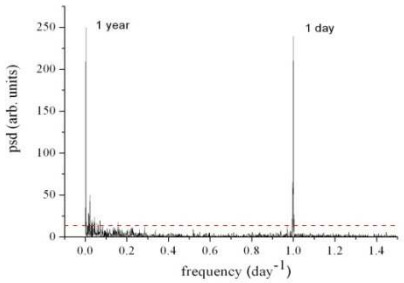
3. Rezultati i diskusija

U ovom radu su analizirani podaci sakupljeni u periodu od jula 2008. do jula 2011. godine. U Tabeli 1 prikazana je statistika rezultata merenja koncentracije radona sa uređajem SN1029 u datom periodu merenja.

Tabela 1. Statistika rezultata merenja koncentracije radona sa uređajem SN1029 u periodu juli 2008.-juli 2011.

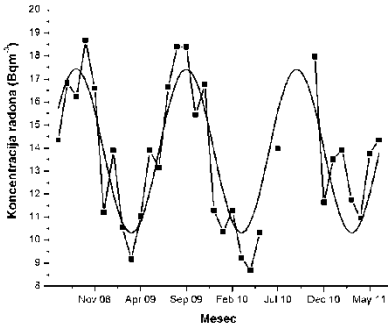
	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Minimum	Medijana	Maksimum
Koncentracija radona (Bqm^{-3})	13.50	9.75	0	12.4	75

Na slici 1 prikazan je Lomb-Scarglovperiodogram.



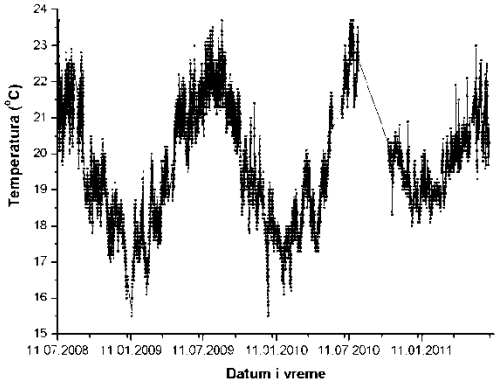
Slika 1. Lomb-Scarglovperiodogram.

Sa slike 1 je očigledna izrazita jednogodišnja i jednodnevna periodičnost koncentracije radona.
Jednogodišnja perioda u koncentraciji radona je još očiglednija kada se pogleda vremenski niz koncentracije radona usrednjenog na mesec dana (slika 2).



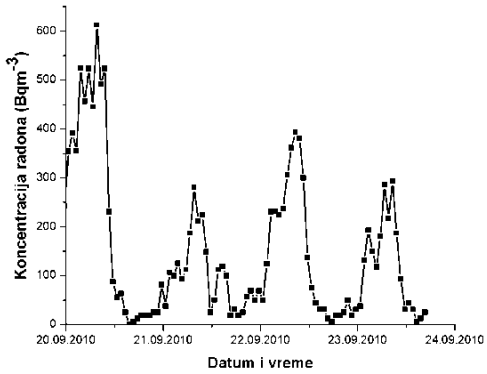
Slika 2. Vremenski niz koncentracije radona usrednjenog na mesec dana.

Dobijena sezonska varijacija radona može se povezati sa oblikom vremenske serije temperature u laboratoriji (slika 3).



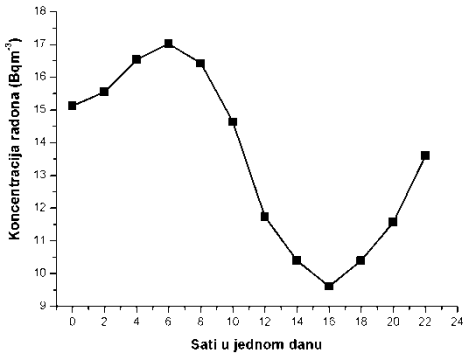
Slika 3. Vremenski niz temperature u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji.

Posebno je analizirana jednodnevna varijacija koncentracije radona, koja u zatvorenim prostorijama u stambenim objektima može biti izuzetno intenzivna (slika 4).



Slika 4. Varijacija koncentracije radona u dnevnom boravku jedne kuće u Beogradu.

I pored primenjenih mera za redukciju radona u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji, analizom vremenskog niza koncentracije radona uočava se i jednodnevna varijacija koja ima oblik koji je prikazan na slici 5.



Slika 5. Varijacija koncentracije radona u toku jednog dana.

Maksimalnu vrednost koncentracija radona dostiže u ranim jutarnjim satima (oko 6 sati) dok se minimum događa u rano popodne (oko 16 sati). Amplituda koncentracije radona je 3.5 Bqm^{-3} (25% u odnosu na srednju vrednost), dok je u slučaju dnevnog boravka u kući u Beogradu (slika 4) taj odnos takav da je amplituda (612.2 Bqm^{-3}) tri puta veća od srednje vrednosti (150 Bqm^{-3}). Kada se uradi korelaciona analiza vremenskih nizova koncentracije radona i meteoroloških parametara, korelacija je statistički signifikantna na nivou poverenja od 95% jedino u slučaju koncentracije radona i razlike spoljašnje i unutrašnje temperature. Ovakav rezultat je potvrđen i u drugim podzemnim prostorima [3], [4].

4. Zaključak

Pokazuje se da je ponašanje radona u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji slično sa bilo kojim drugim podzemnim okruženjem (pećine, rudnici, bušotine, …). I pored primenjenih mera za redukciju radona u podzemnoj niskofonskoj laboratoriji, uočava se jednodnevna varijacija koncentracije radona. U zatvorenim prostorijama u stambenim objektima varijacija koncentracije radona može biti velika što svakako ima uticaja na proračun doze koja potiče od inhalacije radona.

5. Literatura

[1] V. Udovičić, B. Grabež, A. Dragić, R. Banjanac, D. Joković, B. Panić, D. Joksimović, J. Puzović, I. Aničin: Radon problem in an underground low-level laboratory. *Radiation Measurements* 44 (2009) 1009-1012.

[2] V. Udovičić, I. Aničin, D. Joković, A. Dragić, R. Banjanac, B. Grabež, N. Veselinović: Radon Time-Series Analysis in the Underground Low-Level Laboratory in Belgrade, Serbia.*Radiation Protection Dosimetry* 145 (2-3) (2011) 155-158.

[3] V. M. Choubey, B. R. Arora, S. M. Barbosa, N. Kumar, L. Kamra: Seasonal and daily variation of radon at 10 m depth in borehole, Garhwal Lesser Himalaya, India. *Applied Radiation and Isotopes* 69(7) (2011) 1070-1078.

[4] S. M. Barbosa, H. Zafrir, U. Malik, O. Piatibratova: Multiyear to daily radon variability from continuous monitoring at the Amram tunnel, southern Israel. *Geophysical Journal International* 182 (2010) 829-842.

ABSTRACT

RADON CONCENTRATION PERIODICITY IN THE UNDERGROUND LOW-LEVEL LABORATORY IN BELGRADE

Vladimir UDOVIČIĆ[1], Aleksandar DRAGIĆ[1], Radomir BANJANAC[1], Dejan JOKOVIĆ[1], Bojana GRABEŽ[1] and Zora S. ŽUNIĆ[2]

1) Institute of Physics, Belgrade, Serbia, udovicic@ipb.ac.rs

2) Institute for Nuclear Sciences Vinča, Belgrade, Serbia, ecelab@vinca.rs

The underground low-level laboratory in Belgrade exists for fourteen years, with the continuous monitoring of the radon concentration carried out during this period. The radon time series analysis based on the short-term measurements performed since 2008. has shown that there are two periodicity at 1 day and 1 year. Also, the simultaneous measurements of meteorological parameters in the laboratory were done and we tried to found possible connection of these parameters with radon periodicity. It has been shown that the radon behavior in the underground low-level laboratory in Belgrade has the similar characteristics as in the other underground environments (caves, mines, boreholes, …).

ISTRAŽIVANJE RADONA U RUDNIKU MRKOG UGLJA "ĐURĐEVIK"

Zejnil TREŠNJO[1], Feriz ADROVIĆ[2] i A. TRUMIC[3]
1) Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru, Mostar, BiH, zejnil@bih.net.ba
2)Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet, Tuzla, BiH, adrovicferiz@yahoo.com
3)The International School of The Hague, Den Haag, Holandija

SADRŽAJ
U rudnicima uglja može doći do povećane akumulacije radona usljed njegovog dotoka mrežom pukotina i fraktura zemljišta, kao i preko sistema podzemnih voda. Isto tako, kopanjem uglja može doći do naglog oslobađanja radioaktivnog gasa radona koji je često zarobljen u geološkim strukturama uglja, što može dovesti do povećanja koncentracije radona i njegovih produkata raspada u atmosferi rudnika. U radu su prikazani rezultati istraživanja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu rudnika mrkog uglja "Đurđevik" dobiveni pomoću plastičnih trag detektora CR-39 i AlphaGUARD PQ 2000 PRO sistema. Na istim lokacijama u atmosferi rudnika istovremeno je vršeno mjerenje jačine doze gama zračenja. Vrijednosti koncentracije radona izmjerene pomoću alfa trag detektora nalaze se u opsegu od 25 do 76 Bq/m^3. Trenutne vrijednosti koncentracije aktivnosti radona izmjerene pomoću "AlphaGUARD PQ 2000 PRO" sistema su varirale u opsegu 5 do 3420 Bq/m$^{3.}$ Izvršena je procjena srednje godišnje efektivne ekvivalentne doze za radnike koji rade u jami rudnika usljed izlaganja radonu i njegovim produktima raspada.

1. Uvod

Eksploatacija uglja, i njegovo sagorjevanje u termoelektranama predstavlja potencijalno najznačajniji proces za stvaranje tehnološki povišenih nivoa prirodne radioaktivnosti[1]. Kopanjem i eksploatacijom uglja, radioaktivni gas radon, koji je sadržan u prirodnim geološkim strukturama, preraspodjeljuje se iz dubine ugljenih slojeva. Na taj način ovaj gas se može koncentrisati u depoima i otkopima rudnika, ili se može transportovati ka površini zemlje, gdje može bitno promijeniti nivoe radioaktivnosti i radioekološku sliku u radnim i boravišnim prostorima.

Atmosfera podzemnih rudnika sadrži, u gasovitom obliku ili obliku aerosoli, sve prirodne radionuklide lanaca raspada uranija i torija. Kao rezultat toga, koncentracija pojedinih radionuklida, pogotovo radona i njegovih produkata raspada, mogu dostići visoke nivoe koncentracije koji mogu biti opasni po zdravlje radnika [2].

Iako nema podataka o emisiji radona od svih rudnika uglja (površinskih i jamskih), industrija uglja u Bosni i Hercegovini predstavlja potencijalni izvor opasnosti radioaktivne kontaminacije okoline posebno u slučajevima kad pojedini ugljevi koji se koriste u termoelektranama pokazuju povećan sadržaj prirodnih radionuklida. U ovom radu prikazani su rezultati jednogodišnjeg istraživanja koncentracije radona u rudniku mrkog uglja "Đurđevik" (jamska eksploatacija). Na osnovu gamaspektrometrijske analize uglja koji se koristi u TE "Tuzla", a koja je vršena u 2009. godini, utvrđeno je da vrijednosti specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u ugalju iz rudnika "Đurđevik" iznose: 56,0±8,7 Bq/kg za ^{238}U; 9,0±0,4 za ^{232}Th i 67,4±17,9za ^{40}K [3]. Poznavajući sve osobenosti samog uglja, geološke karakteristike samog rudnika (sastav podine i krovine), prisustvo podzemnih voda, ventilacijski sistem, te rudarske aktivnosti u samoj jami

(bušenje, miniranje, transport, itd), u ovom radu je sagledana zavisnost između izmjerenih vrijednosti koncentracije aktivnosti radona i ovih pojedinih paramatara.

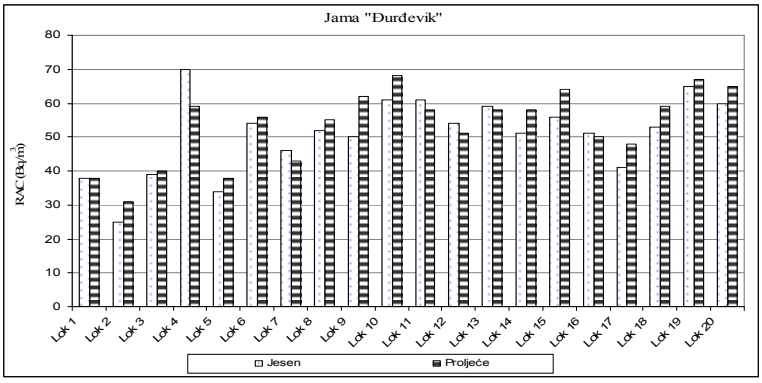
2. Metode istraživanja i instrumentalizacija

Mjerenje koncentracije radona metodom nuklearnih trag detektora vršeno je pomoću Radon sistema (Radosys, proizvođač Mađarska). Osnovne komponente ovog sistema su: difuzni dozimetar sa detektorom tipa CR-39, sistem za hemijsku analizu detektora, sistem za automatsko očitavanje detektora. Korišteni detektori izrađeni su od alildiglikol polikarbonata, poznat kao CR-39, sa dimenzijama 10 x 10 x 1 mm, osjetljivost za □-čestice je 2,9 tragova po (cm^3 kBq h) m^{-3}.Nagrizanje detektora i proces brojanja tragova izvršeno je u Laboratoriji za detekciju, dozimetriju i zaštitu od zračenja (LDDZZ) Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Tuzli. Nesigurnost mjerenja kod ovog postupka iznosi od 20 do 30%.

Za trenutna i kontinuirana mjerenja koncentracije aktivnosti radona u rudniku korišten je mjerni sistem "Alpha GUARD PQ 2000 PRO"(proizvođač Genitron Instruments, Njemačka), čiji se rad zasniva na principu jonizacije [4]. Mjerni opseg za koncentraciju aktivnosti radona ovog uređaja je $2 - 2\cdot 10^6$ Bq/m^3, dok je temperaturni opseg od -10 do 50° C. Kalibraciona greška sistema za ^{222}Ra je ±3%. Na ispitnim lokacijama je vršeno mjerenje jačine doze gama zračenja pomoću "ADL Gamma Tracer" sistema (Genitron Instruments GmbH Frankfurt).

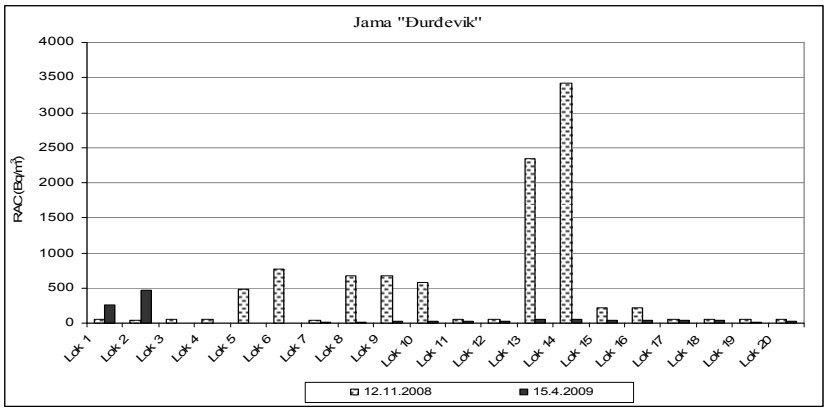
3. Rezultati mjerenja i diskusija

Mjerenje koncentracije aktivnosti radona pomoću nuklearnih trag detektora vršeno je dva puta godišnje na 20 lokacija unutar same jame. Prvo mjerenje izvršeno je u jesen 2008. godine i trajalo je 87 dana, dok je drugo mjerenje trajalo 41 dan i izvršeno je u proljeće 2009. godine. Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona u vazduhu jame "Đurđevik" dobivene pomoću nuklearnih trag detektora se nalaze u intervalu 25 - 70 Bq/m^3 kod prvog mjerenja i intervalu 31 - 68 Bq/m^3 kod drugog mjerenja. Očito je da dobivene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona na pojedinim lokacijama kod ova dva mjerenja neznatno variraju, što se najbolje može vidjeti iz njihovog grafičkog prikaza na slici 1.



Slika 1.Grafički prikaz RAC dobiven pomoću nuklearnih trag detektora na mjernim lokacijama unutar jame "Đurđevik"

Trenutna mjerenja koncentracije aktivnosti radona izvršena pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO pokazuju da trenutne vrijednosti RAC mogu značajno varirati od jedne do druge lokacije a kreću se od 48 do 3420 Bq/m^3 kod prvog mjerenja, odnosno 5 do 475 Bq/m^3 kod drugog mjerenja, što se najbolje može vidjeti iz grafičkog prikaza na slici 2.



Slika 2. Grafički prikaz RAC dobiven pomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO

Najveća vrijednost koncentracije aktivnosti radona izmjerena je na lokaciji 14 koja se nalazi na samom radilištu gdje je vršeno miniranje i otkopavanje uglja. Ovako velike vrijednosti koncentracije aktivnosti radona potvrđuje činjenicu, da tokom otkopavanja zaista može doći do oslobađanja radona zarobljenog u ugljenom sloju, koji se zatim transportuje kroz rudnik (bilo difuzijom ili provjetravanjem).

Izmjerene vrijednosti jačine ekvivalentne doze gama zračenja u vazduhu jame "Đurđevik" također variraju od lokacije do lokacije i kreću se intervalu 108 - 254 nSv/h kod prvog mjerenja, odnosno 48 - 164 nSv/h kod drugog mjerenja.

Uzimajući u obzir rezultate mjerenja koncentracije radona pomoću nuklearnih trag detektora, te imajući u vidu da radnik na radnom mjestu prosječno provede osam sati dnevno (2920 sati u godini) može se izvršiti procjena Koristeći postupak dat u Annex B izvještaja UNSCEAR 2000 [5], izvršena je procjena efektivne ekvivalentne doze za radnike u jami "Đurđevik" usljed izlaganju radonu i njegovim produktima raspada, koja se nalazi u intervalu od 0,275 - 0,837 mSv/god.

Izračunavanje korelacionog faktora r_{xy} prema poznatoj statističkoj formuli [6]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_i x_i y_i - \frac{1}{n}\sum_i x_i \sum_i y_i}{\sqrt{\left[\sum_i x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_i x_i\right)^2\right]\left[\sum_i y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_i y_i\right)^2\right]}} \qquad (1)$$

omogućava dalju analizu dobivenih rezultata. Značajniji korelacioni odnos postoji ako je $r_{xy} \geq 0,5$. Izračunavanjem linearnog koeficjneta korelacije r_{xy} između koncentracije aktivnosti radona izmjerene pomoću nuklearnih trag detektora za dva različita vremenska perioda (jesen i proljeće) uočava se značajna korelacija između ova dva mjerenja (r_{xy}=0,64). Značajnija korelacija je također uočena između koncentracije aktivnosti radona izmjerene pomoću AlphaGUARD uređaja i jačine ekvivalentne doze gama zračenja mjerene u proljeće (r_{xy}=0,64), dok je slaba korelacija učena kod prve serije mjerenja izvršene u jesen (r_{xy}=0,11), što se može pripisati trenutnim meteorološkim uslovima (temperatura, pritisak, vlažnost, brzina premještanja vazduha, itd.).

4. Zaključak

Izmjerene vrijednosti koncentracije aktivnosti radona u jami "Đurđevik" nalaze se u granicama uobičajenih vrijednosti za zatvorene prostore (20–80 Bq/m^3) i takođe su ispod vrijednosti izmjerenih u rudnicima nekih evropskih država. Značajnije prisustvo podzemnih voda u jami ima direktan uticaj na sadržaj vlage u samom vazduhu jame, te ovaj parametar zajedno sa efikasnošću instaliranog ventilacijskog sistema može imati znatan uticaj na koncentraciju radona u atmosferi samog rudnika. Mjerenja koncentracije aktivnosti radonapomoću uređaja AlphaGUARD PQ 2000 PRO pokazuju da trenutne vrijednosti koncentracije aktivnosti radona mogu značajno varirati od jedne do druge lokacije u jami.

5. Literatura

[1] F. Adrović, M. Prokić, M. Ninković andR. Glišić. *Measurements of environmental background radiation at location of coal-fired power plants*, Radiation Protection Dosimetry, Vol 112, No.3. p.p 439-442, Oxvord University, (2004)

[2] UNSCEAR 1982: *Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annex C - Technologically Modified Exposure to Natural Radiation.* New York, 1982.

[3] JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo: *Izvještaj o zaštiti okoline za 2009. godinu*

[4] AlphaGuard PQ2000 Radon Monitor, User manual, Genitron Instruments Germany

[5] UNSCEAR 2000: *Source, effects and risks of ionizing radiation*, *Annex B – Exposures from natural radiation sources.*New York, (2000).

[6] D. Todorovic, D. Popovic, J. Nikolic, J. Ajtic: *Radioactivity Monitoring in Ground Level Air in Belgrade Urban Area,* Radiation Protection Dosimetry, Vol. 142, No. 2-4, pp. 308-313, Oxvord University, (2010)

ABSTRACT

THE RESEARCH OF RADON IN BROWN COAL MINE "ĐURĐEVIK"

Zejnil Tresnjo[1], Feriz Adrovic[2] and A. Trumic[3]

1) University "Dzemal Bijedic" of Mostar, Mostar, B&H, zejnil@bih.net.ba

2) University of Tuzla, Faculty of Natural Sciences and Mathematics,Tuzla,B&H , adrovicferiz@yahoo.com

3) The International School of The Hague, Den Haag, Nederlands

This paper presents the results of research of radon activity concentration (RAC) in air in the brown coal mine "Đurđevik": the method of solid nuclear track detectors (CR-39), and the

ionization chamber. At the same time in the same places in the mine's atmosphere there was carried out measuring of gamma radiation dose rates. The measured values of RAC with nuclear track detector were between 25-76 Bq/m^3 and they are within limits of usual values for indoor places. Based on these results, the estimation of the average annual effective dose for workers at hole mines due to their exposure to radon and its decay products was done, and the estimated value was between 0,275-0,837 mSv/year and at some locations (near the excavation works) it was almost twice higher than average. The results of RAC measured with "AlphaGUARD PQ 2000 PRO" show that values of RAC can significantly vary from one to other location (5-3420 Bq/m^3).

PRIMJENA AKTIVNE METODE MJERENJA KONCENTRACIJE RADONA U ŠKOLAMA GRADA BANJE LUKE, REPUBLIKA SRPSKA

Zoran ĆURGUZ[1], Predrag KOLARŽ[2], Zora S.ŽUNIĆ[3], Bratislav MARINKOVIĆ[2] i Branko PREDOJEVIĆ[4]

1) *Saobraćajni fakultet Doboj, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, RS, zoranc@teol.net*
2) *Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Srbija, kolarz@ipb.ac.rs, bratislav.marinkovic@ipb.ac.rs*
3) *ECE Lab, Institut za nuklearne nauke „Vinča", Univerzitet u Beogradu, Srbija, zzunic@verat.net*
4) *Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Banjaluci, RS, bpredojevic@teol.net*

SADRŽAJ

U deset osnovnih gradskih škola u Banjaluci su, na teritoriji Republike Srpske, prvi put izvršena preliminarna mjerenja koncentracije radona aktivnom metodom. U radu se iznose rezultati kontinualnih mjerenja koncentracija radona u toku četiri mjeseca (april -avgust 2011) praćenih instrumentom RAD7. Sedmodnevna mjerenja su vršena u osam škola tokom školske godine, a u dvije škole su mjerenja vršena u trajanju od pet dana kada su škole zbog ljetnjeg raspusta bile zatvorene. Povišene koncentracije radona su izmjerene u 4 od 10 škola obuhvaćenih istraživanjem.

1. Uvod

Pod uobičajenim uslovima, radon i njegovi potomci daju najveći pojedinačni doprinos (preko 50%) godišnjoj efektivnoj ekvivalentnoj dozi koje prima stanovništvo od jonizujućih zračenja iz prirode [1]. Istovremeno, radon predstavlja jedan od najvarijabilnijih faktora koji utiču na ovu dozu. U području radijacione zaštite i zdravlja stanovništva, kroz nacionalne programe za radon u zemljama zapadne i centralne Evrope, sprovode se sistematska istraživanja o efektima izlaganja prirodnom radioaktivnom gasu radonu i njegovim radioaktivnim potomcima [2,3]. Pored koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u zemljištu, prije svega uranijumovog (U-238 i U-235) i torijumovog (Th-232) prirodnog niza, od kojih radon potiče, poroznost tla je jedan od glavnih činilaca koji utiče na emanaciju radona. Zbog toga što koncentracije radona u vazduhu osciluju, na osnovu isključivo geološke podloge, ne može se ustanoviti koje su zgrade više a koje manje ugrožene.Usled toga, u zgrade koje su izgrađene od građevinskog materijala sa visokim sadržajem prirodnih radionuklida ili koje nisu dovoljno kvalitetno izolovane, a nalaze se na području sa prirodno povećanim sadržajem radionuklida u zemljištu, radon može prodrijeti u prostorije u većim koncentracijama. One u nekim slučajevima mogu biti istovjetne sa aktivnošcu radona u jediničnoj zapremini vazduha u rudnicima uranijuma. Zato su sistematska mjerenja radona u vazduhu, koja obuhvataju statistički dovoljan broj zgrada osnova svih daljih istraživanja prema kojima se može utvrditi raspodjela koncentracije radona, procjeniti efektivna doza koju populacija prima od jonizujućih zračenja iz prirode i identifikovati

područja sa povećanim radonskim rizikom. Radon je dokazani kancerogeni agens[4]. Kada se radi o kvalitetu vazduha koji se udiše u zatvorenim prostorijama on je pored azbesta, duvanskog dima i staklenih vlakana, četvrti agens koji se kroz zakonske propise i akta obavezno ispituje u zemljama Evropske Unije [5]**.** Kroz Nacionalne programe za radon u većini zemalja Evrope koji se sprovode od 1980, određene su dozvoljene koncentracije radona u zatvorenim prostorijama u kojima ljudi borave i žive. Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) dala je preporuke o prihvatljivom nivou radona u stanovima i na radnom mjestu. Akcioni nivo radona iznosi za stanove 300 - 600 Bq/m^3, a za radna mjesta 500 - 1000 Bq/m^3 [6]. Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) predlaže nivo radona od 100 do 300 Bq/m^3 za stanove [3]. Takođe se preporučuju da prosječne vrijednosti koncentracija radona ne budu veće od 150 Bq/m^3, što je u ovom radu usvojeno kao referentna vrijednost. Osnovne škole predstavljaju sredinu u kojoj rade i borave i odrasli i djeca provodeći značajan vremenski dio života u njima. Zato su se i istraživanja izlaganja populacije u školama sprovela u većini evropskih zemalja predstavljajući važnu komponentu nacionalnih programa za radon u procjeni izlaganja stanovništva pojedinih zemalja radonu. Obziromdau Republici Srpskoj nema sistematskih podataka o raspodjeli koncentracije radona u zatvorenim prostorijama, problem zaštite populacije od prirodnih izvora zračenja do sada sistematski nije naučno razmatran, i nema podataka o individualnom riziku stanovnika Republike Srpske usled izlaganja radonu. U tom smislu ovaj rad predstavlja pokušaj da se uvede primjena i obezbjedi razvoj metoda za sistematsko praćenje raspodjele koncentracije radona, da se utvrdi radijaciona doza koju stanovništvo prima od radona i procjeni rizik od radona. Krajnji cilj istraživanja je izrada mape radonskog rizika Republike Srpske koja bi omogućila formiranje kriterijuma u vezi sa preporukama za remedijaciju zgrada sa povišenim nivom aktivnosti radona.

2. Metoda i eksperimentalni rad

Mjernje koncentracija radona vršeno je pomoću kontinualnog monitora radona RAD7 (Durridge company, USA), koji radi na principu poluprovodničkog α-detektora konvertujući energiju α-čestice direktno u električni signal. To omogućava da se odredi izotop – potomak (^{218}Po, ^{214}Po,...) tako da može da se razlikuje radon od njegovih potomaka, radon od torona i signal od šuma [7]. Instrument pored višednevnih mjerenja sa različitim vremenima očitavanja ima i opciju „njuškanja“ što omogućava da se u vremenu od 5 minuta dobije okvirna koncentracija radona na odabranom mjernom mjestu. Osjetljivost instrumenta je 0,5 [pCi/litru], a opseg je 4 - 750000 Bq/m^3. Interna memorija je u stanju da pamti vrijednosti 1000 zadnjih koncentracija radona. Protok vazdušne pumpe je 1 l/min, a vazduh koji se uzorkuje prolazi kroz sušače i filter koji se nalaze ispred interakcione komore. Instrument poseduje RS232 port za komunikaciju sa računarom, autonomno napajanje, IC štampač i još mnogo drugih pogodnosti koje značajno olakšavaju mjerenje koncentracije radona. Mjerenje je vršeno u prizemnim prostorijama u deset škola koje se nalaze u užem gradskom jezgru Banjaluke i građene su od sličnih materijala u periodu od 1953 do 1973 godine. Uređaj je postavljan na pod tako da je uzorkovan vazduh na visini od 0.5 m. Očitavanja su vršena na svaka 2 sata, tj. 84 puta za sedam dana, odnosno 60 puta za pet dana. Vlažnost vazduha u instrumentu poslije isušivača nije prelazila 10%, a temperatura prostorija se kretala između 17 ^{o}C i 25 ^{o}C. U školama 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 i 10 (Tabela 1), vršena su sedmodnevna mjerenja u toku školske godine, a u školama 1 i 7 mjerenje je vršeno 5 dana u prostorijama koje su bile zatvorene i nisu bile izložene ventilaciji zbog raspusta. Zbog varijabilnosti radona i

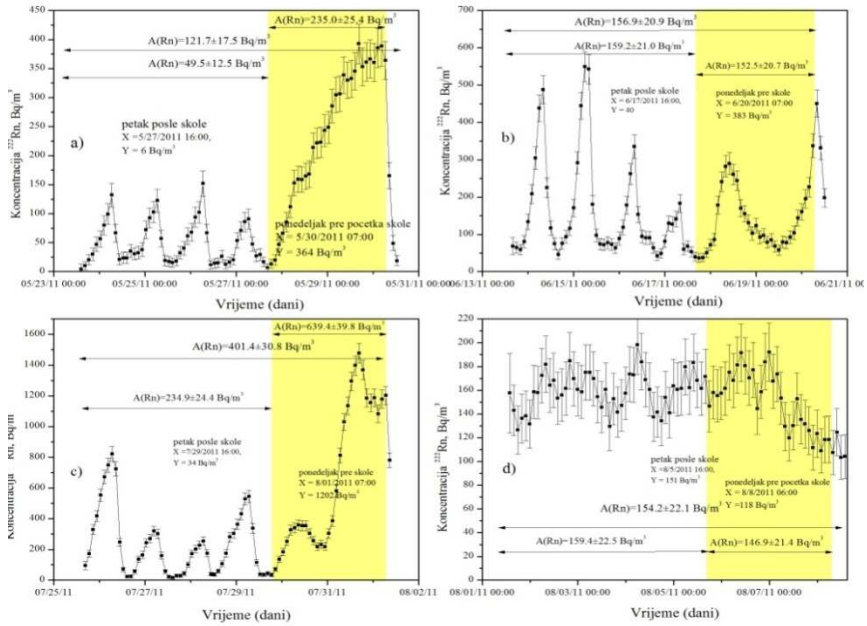
osobine akumuliranja u neventiliranim prostorijama, posebna pažnja je obraćena na vrijednosti tokom vikenda (Tabela 1, Slika 1).

3. Rezultati mjerenja

U tabeli 1 su prikazane izmjerene koncentracije radona. Na slici 1 prikazani su dobijeni rezultati mjerenja za četiri škole a žutom bojom je označeno vrijeme između početka vikenda (petak poslije 16 h) i početka sledeće radne nedjelje zbog očekivanog nagomilavanja radona. U školama *Branislav Nušić i Ivo Andrić u Centru*, maksimalne izmjerene koncentracije iznose 610±50 Bq/m^3 i 1480±70 Bq/m^3. U školi *Ivo Andrić* prosječne vrijednosti tokom svih sedam dana su iznosile 240±20 Bq/m^3, za vrijeme vikenda 640±40 Bq/m^3, tokom pet radnih dana 30±10 Bq/m^3 jer je prostorija stalno provjetravana. U školi *Branko Radičević* maksimalna koncentracija radona je iznosila 390±30 Bq/m^3 a prosječna koncentracij posle vikenda, 240±30 Bq/m^3. U školi *Branko Radičević* maksimalna koncentracija radona je iznosila 390±30 Bq/m^3 a prosječna koncentracija posle vikenda 240±30 Bq/m^3.

Tabela 1: Rezultati mjerenja koncentracije radona u skolama Republike Srpske

Br	**Naziv škole**	**Min. vrijednost [Bq/m^3]**	**Maks. vrijednost [Bq/m^3]**	**Sr. vr. za 5 dana [Bq/m^3]**	**Sr. vr. za vikend [Bq/m^3]**	**Sr. vr. za 7 dana [Bq/m^3]**
1.	B. Stanković	7±6	70±20	30±10	-	-
2.	**B. Radičević**	12±7	**390±30**	50±10	**240±30**	**120±20**
3.	J. Dučić	13±8	60±20	30±10	40±10	30±10
4.	I. G. Kovačić	15±8	110±20	40±10	50±20	50±20
5.	**B. Nušić**	40±10	**610±50**	160±20	**160±20**	**160±20**
6.	A. Šantić	20±10	60±10	40±10	30±10	40±10
7.	G. S. Rakovski	20±8	80±20	30±10	-	-
8.	**Ivo Andrić**	20±8	**1480±70**	30±10	**640±40**	**240±20**
9.	**Sveti Savo**	100±20	**200±20**	150±20	**160±20**	**160±20**
10.	Z. J. Jovanović	8±6	50±10	25±10	30±10	30±10



Slika 1. Prikaz vremenske zavisnosti vrijednosti koncentracija radona u školama Banjaluke: a) Branko Radičević; b) Branislav Nušić; c) Ivo Andrić; d) Sveti Savo.

U školi *Sveti Savo* maksimalna koncentracija radona je bila 200±20 Bq/m^3, a prosječne vrijednosti, za vrijeme vikenda 160±20 Bq/m^3. U ostalim školama izmjerene vrijednosti koncentracije radona bile su u granicama ili ispod preporučenih prosječnih vrijednosti.

4. Zaključak

U ovom istraživanju mjerenje koncentracije radona u zatvorenom prostoru izvršeno je u 10 škola aktivnom metodom pomoću instrumenta Rad7. U 4 škole izmjerene maksimalne i sedmodnevne koncentracije radona prevazilaze referentnu vrijednost od 150 Bq/m^3. U dvije škole postoji razlika tokom radnog vremena i vikendom (kada je povišena) u koncentraciji radona. Predpostavlja se da nastale razlike koncentracija radona potiču od geološkog sastava podloge na kojoj su izgrađene što je potrebno dalje analizirati. Preporučuje se obavezna mjera ventilacije škola prije ulaska učenika u školski prostor kao i često provjetravanje učionica. Na osnovu različitih aktivnosti radona u školama na relativno malom gradskom području, potrebno je proširiti istrazivanja na sve škole i uvesti i pasivne metode mjerenja pomoću čvrstih nuklearnih trag detektora, sa ciljem dobijanje integralnih vrijednosti koncentracije radona kao značajne komponente nacionalnog programa za radon Republike Srpske.

5. Literatura

[1] UNSCEAR 2000 Report to the generally Assembly with Scientific Annexes, UN, New York (2000) *Sources and Effects of Ionizing radiation*.

[2]Dubois G. (2005): *An overview of radon surveys in Europe*. EU Report, EUR 21892 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-79-01066-2.

[3] WHO (2001) *Air Quality Guidlines*, 2nd ed.world Health orhganization-regional Office for Europe , Copenhagen, Denmark.

[4] WHO (1996) *Updaiting and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe* (Report on a WHO Working Group),WHO Report EUR/ICP/EHAZ 94 05/MT09, Copenhagen, Denmark.
[5] WHO 2010 , WHO *Guidliness for Indoor Air Quality, Selected pollutants*, Geneva, Swiss,ISBN 978 92 890 0213 4.
[6] Međunarodna komisija za radiološku zaštitu. *Preporuke međunarodne komisije za radiološku zaštitu*(ICRP). ICRP 37 (2-4), str. 1-332 (2007).
[7] Durridge Company Inc., 2000., RAD 7 radon Detector. Owner's Manual, Bedford.

Zahvalnost: Rad je urađen uz podršku Ministartsva prosvjete i kulture Republike Srpske broj 07.020/610-374/11 i uz finansijsku podršku Ministartsva za prosvetu i nauku Republike Srbije pod brojevima: P 41028 i P 171020.

ABSTRACT

THE APPLICATION OF THE ACTIVE METHOD OF MEASURING INDOOR RADON CONCENTRATION IN THE SCHOOLS OF BANJALUKA, A CITY IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

Zoran ĆURGUZ[1], Predrag KOLARŽ[2], Zora S. ŽUNIĆ[3], Bratislav MARINKOVIĆ[2]and Branko PREDOJEVIĆ[4]

1) *Faculty of transport Doboj, University in East Sarajevo, Republic of Srpska, zoranc@teol.net*
2) *Institute of Physics , University of Belgrade, Serbia, kolarz@ipb.ac.rs,bratislav.marinkovic@ipb.ac.rs*
3) *ECE Lab, Institute of Nuclear Sciences „Vinča“, University of Belgrade, zzunic@verat.net*
4) *Faculty of Science, University of Banja Luka, Republic of Srpska,bpredojevic@teol.net*

Over a period of four months from April to August 2011, a radon survey was carried out in 10 schools located in the city of Banjaluka. This was the first ever preliminary measurment of indoor radon concentration activity using the active method. This paper deals with the average indoor radon concentration activity results after indoor radon levels were continuosly monitored by RAD 7 instrument. Seven-day measurement cycles were carried out in eight schools with normal working regime and in two schools using five-days cycles, after the schools were closed for summer holiday. Of ten schools investigated, high indoor radon concentration level were found in four.

MERENJA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U STAMBENIM PROSTORIJAMA U RURALNIM SREDINAMA NA KOSOVU I METOHIJI

Ljiljana GULAN[1], Carmela CARPENTIERI[2], Zora S. ZUNIĆ[3], Gordana MILIĆ[1], Biljana VUČKOVIĆ[1] i Francesco BOCHICCHIO[2]

1) Prirodno- matematički fakultet Univrziteta u Prištini, 28000 Kosovska Mitrovica, Srbija, gmgordanamilic@gmail.com

2) Nacionalni institut za zdravlje, 00161 Rim, Italija, francesco.bochicchio@iss.it

3) Institut za nuklearne nauke VINČA ,Univerzitet u Beogradu, 11000 Beograd, Srbija, zzunic@verat.net

SADRŽAJ

U radu se iznose rezultati izmerenih koncentracija aktivnosti radona u 25 kuća u seoskim sredinama Centralnog Kosova, Kosovskog Pomoravlja i metohijskog sela Osojane. Merenja su izvršena u dve prostorije, u svakoj kući, u dva uzastopna perioda od šest meseci, pomoću dozimetara sa detektorima CR-39 alfa- čestica iz raspada radona. Aritmetičke sredine izmerenih koncentracija radona u pojedinim prostorijama za sve kuće su 175 Bq m^{-3} (kuhinja, dnevni boravak), 161 Bq m^{-3} (spavaće sobe) i 168 Bq m^{-3} (obe prostorije).

1. Uvod

Rezultati istraživanja prikazanih u ovom radu su deo kontinuiranih istraživanja o radonu na Kosovu i Metohiji u cilju izrade mape radonskog rizika. U svakoj seriji merenja po oblastima uključuju se nove lokacije i kuce. U radu se iznose rezultati izmerenih godišnjih prosečnih koncentracija aktivnosti radona pojedinacno za svaku prostoriju, njihov međusobni odnos, prosečne vrednosti koncentracije radona za svaki period merenja od šest meseci u obe prostorije, međusobni odnos izmerenih koncentrcaija po

periodima i godišnje prosečne koncentracije. Dati su parametri log-normalne raspodele rezultata izmerenih tokom cele godine u kućama pojedinačno za sve oblasti.

2. Eksperimentalna merenja

U tabeli 1 prikazane su lokacije sa odgovarajućim brojem kuća u čijim zatvorenim prostorijama je izmerena koncentracija radona, cije su pozicije naznacene na šematskoj mapi Kosova i Metohije (slika 1).

Tabela 1. Oblasti sa mestima i brojem merenja

Oblasti merenja	Naselja	Broj Kuća
Centralno Kosovo	Gračanica, Sušica, Donja Gušterica, Laplje Selo, Dobrotin	12
Kosovsko Pomoravlje	Veliko Ropotovo, Ranilug, Vrbovac, Izvor, Šilovo, Prekovce, Jasenovik, Pasjane	10
Osojane	Osojane	3

Merenje koncentracije aktivnosti radona vršeno je pasivnim diskriminativnim dozimetrima sa detektorima CR-39. Detektori su postavljani u dnevnom boravku ili kuhinji i spavaćim sobama seoskih prizemnih kuća, i izlagani u dva jednaka perioda uz sukcesivnu zamenu nakon šest meseci. Tragovi α – čestica u detektorima su izazivani metodom hemijskog nagrizanja u 6.25 N rastvoru NaOH na 90°C i vremenu od 6 h. Razvijanje detektora, očitavanje tragova α – čestica i određivanje koncentracije radona je vršeno u u italijanskom Nacionalnom Institutu za Zdravlje -Rim[4].

Slika 1. Šematska mapa Kosova i Metohije

3. Rezultati istraživanja i diskusija

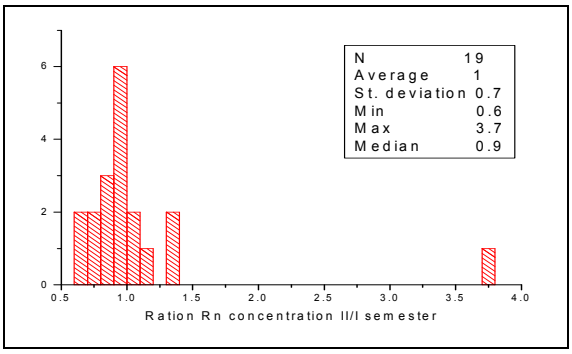
Od 25 kuća u kojima je izvrseno odredjivanje koncentracije radona, u 19 se sprovelo kompletno merenje od dva sest-mesecnih perioda u dve prostorije, u 4 kuce merenje od samo šest meseci, a u 2 od dva uzastopna perioda od šest meseci samo u jednoj prostoriji . U tabeli 2 su navedene aritmeticke sredine izmerenih koncentracija radona za

obe prostorije (dnevni boravak-kuhinja, spavaca soba) u svim kucama u dva perioda od šest meseci kao i godišnje prosečne koncentracije. Prvi period obuhvata zimu i proleće, a II (leto i jesen).

Tabela 2. Prosečne koncentracije radona za obe merne prostorije u kucama u periodima I i II i godisnje

Vreme merenja	I period	II period	Godišnje
Broj kuća	25	21	21
Aritmetička sredina ($Bqm^{-3)}$	167	171	169
Standarna devijacija (Bqm^{-3})	82	98	86
Minimum (Bqm^{-3})	38	46	61
Maksimum (Bqm^{-3})	336	424	380
Medijana (Bqm^{-3})	138	141	139

Na slici 2 je prikazana raspodela odnosa prosečnih vrednosti koncentracija radona u obe sobe u dva perioda od šest meseci za 19 kuca u kojima je uradjeno kompletno merenje. U tabeli 3 su navedene godišnje prosečne koncentracije radona za svaku sobu u kući (prosečne vrednosti koncentracija radona izmerene u oba perioda) i godišnje prosečne koncentracije u obe sobe kuće.

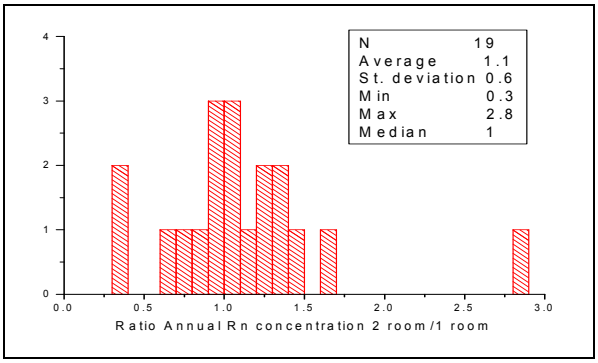


Slika 2. Raspodela odnosa između koncentracija radona u dva perioda (drugi/prvi)

Tabela 3. Prosečne godišnje koncentracije radona

mesto merenja	I soba	II soba	Kuća
Broj kuća	20	20	19
Aritmetička sredina ($Bqm^{-3)}$	175	161	168
Standarna devijacija (Bqm^{-3})	97	99	88
Minimum (Bqm^{-3})	47	45	61
Maksimum (Bqm^{-3})	380	435	380
Medijana (Bqm^{-3})	162	125	139

Na slici 3 je prikazana raspodela odnosa između godišnjih prosečnih koncentracija sobe 2 (kuhinje ili dnevnog boravka) i sobe 1 (spavaće sobe).



Slika 3.Raspodela odnosa između godišnjih prosečnih koncentracija sobe II prema sobi I

U tabeli 4 prikazane su vrednosti log-normalne raspodele za tri istraživane oblasti posebno.U tabeli su navedene: minimalne, maksimalne vrednosti, aritmetičke sredine (AS), geometrijske sredine (GS), geometrijske standardne derivacije (GSD) i broj kuća u procentima u kojima su koncentracije radona veće od 200 i 600 Bqm^{-3}.

Tabela 4.Parametri log-normalne raspodele

Oblast merenja	Minimum Bqm^{-3}	Maksimum Bqm^{-3}	AS Bqm^{-3}	GS Bqm^{-3}	GSD	>200	>600
Centralno Kosovo	61	380	210	187	1.7	44.8	2.8
Kosovsko Pomoravlje	85	202	117	113	1.29	2.5	-
Osojane	86	269	157	139	1.8	54	1.3

4. Zaključak

Od tri istrazivanih oblasti, najveća prosečna vrednost koncentracije radona , od 210 Bqm^{-3} izmerene su u kucama Centralnog Kosova. Medijana raspodele odnosa prosečnih koncentracija određenih u kuhinji ili dnevnom boravku prema vrednostima u spavaćoj sobi jednaka je jedinici što znači da je koncentracija radona ujednacena u protorijama kuce.

Medijana raspodele odnosa koncentracija u dva sezonska perioda merenja od šest meseci je 0.9. To potkrepljuje rezultat da su u periodu zima-proleće izmerene veće vrednosti od perioda leto-jesen. Odnos izmerenih prosečnih vrednosti za dva uzastopna perioda jednak je jedinici i to ukazuje da su rezultati pouzdani ako se merenja vrse i samo u jednoj sezoni. (zima-prolece ili leto-jesen).

5. Zahvalnost

Rad je urađen uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije P 41028.. Svim stanovnicima kuća najlepse se zahvaljujemo na saradnji. Zahvaljujemo se na tehničkoj pomoći inž. Sekulić Milanu.

6. Literatura

[1] Gordana Milić, Distribucija radona u vazduhu zatvorenog prostora u nekim regionima Kosova Metohije, Doktorska disertacija, Kosovska Mitrovica 2003.
[2] G. Milić, B.Jakupi, S. Tokonami, R. Trajković, T. Ishikawa, I. Čeliković, P. Ujić, O. Čuknić, I.Yarmoshenko, K. Kosanović, F. Adrović, S. K. Sahoo, N. Veselinović, Z. S. Žunić."The concetrations and exposure doses of radon and thoron in residences of the rural areas of Kosovo and Metohija" Radiation Measurements, 45, (1), 2010, 118-121 .
[3] Gordana Milić, Ilia V Yarmoshenko,Bajram Jakupi,Milojko Kovačević and Zora S Žunić Indoor tadon measurements in Kosovo and metohija over the period 1995-2007 Radiation Measurements, 46, (1), 2011, Pages 141-144.
[4] Z.S.Zunic, P. Bossew, N. Veselinovic, F.Bochicchio, V.Carelli, J.Vaupotic,O.Cuknic, R.Simovic,Z.Vojinovic, D.Kisic, T.Tollefsen "The indoor radon survey in Serbian schools: can it reflect also the general population exposure?", Nukleonika 55 (4), 419-427: 2010

ABSTRACT

MEASURING THE CONCENTRATION OF RADON ACTIVITY IN RESIDENTAL DWELLINGS IN SAMPLED RURAL AREAS OF KOSOVO I METOHIA

Ljiljana GULAN[1], Carmela CARPENTIERI[2], Zora S. ZUNIĆ[3], Gordana MILIĆ[1], Biljana VUČKOVIĆ[1] and Francesco BOCHICCHIO[2]

1) Prirodno- matematički fakultet Univrziteta u Prištini, 28000 Kosovska Mitrovica, Srbija, gmgordanamilic@gmail.com

2) Nacionalni institut za zdravlje, 00161 Rim, Italija, francesco.bochicchio@iss.it

3) Institut za nuklearne nauke VINČA ,Univerzitet u Beogradu, 11000 Beograd, Srbija, zzunic@verat.net

This study sets out the results of indoor radon concentration activity as measured in 25 houses in rural regions of Central Kosovo, Kosovsko Pomoravlje and Metohian village Osojane. The measurment were taken over two consecutive six-month periods, in two rooms of each house,using dosimeters with CR-39 detectors of alpha particle decay originating from radon. The arithmetic mean value of the above results was *175 Bq $^{m-3}$(kitchen, living room) , 161Bq $^{m-3}$ (bedrooms) and 168 Bq $^{m-3}$ for both indoor spaces (bedroom and living room).*

KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADONA U VAZDUHU U NEKIM BANJSKIM CENTRIMA SRBIJE

Biljana VUČKOVIĆ i Feriz ADROVIĆ
Univerzitet u Prištini, Prirodno-matematički fakultet Kosovska Mitrovica, AP Kosovo i Metohija, Srbija,
teabobigo@gmail.com, adrovicferiz@yahoo.com

SADRŽAJ
Poslednjih godina sve je više istraživanja koja se vrše u cilju sagledavanja nivoa ozračivanja organizma radonom i njegovim potomcima sadržanim u vodi banjskih centara. To se prvenstveno odnosi na vodu za piće, kao i na vodu koja se koristi u bazenima za kupanje, kadama i kupatilima za inhalaciju.U radu su prikazani rezultati istraživanja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu većine poznatih banjskih objekata Srbije. Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracija ^{222}Rn u vazduhu ovih objekata varira u opsegu od 13 do 1446 Bq/m^3,

1. Uvod

Nesporna je činjenica da glavni doprinos izloženosti ljudi prirodnoj radijaciji dolazi od radioaktivnog gasa radona. U isto vreme, dok se jedni ljudi leče u banjskim centrima, među kojim su i lečilišta sa radioaktivnom-radonskom vodom, s druge strane rudari urušavaju svoje zdravlje radeći u rudnicima urana, jer masovno obolevaju od raka i mladi umiru. Danas se zna da je udisanje radona u visokim koncentracijama, kakve postoje u rudnicima urana, uzrokuje rak pluća rudara, što se nazvalo svojevremerno «Bergmannskrankenheit» (rudarska bolest). Isto tako, unošenje radona iz vode putem ingestije je opasno po zdravlje, jer dolazi do ozračenja ćelija u gastrointestinalnom traktu

i ostalim organima. Radon se lako apsorbuje iz gastrointestinalnog trakta i distribuira među tkivima, delimično zbog njegove relativne rastvorljivosti u krvi.
S druge strane, lečenje radonom je jedna od najstarijih terapija kojom su se ljudi koristili i kojom se i danas koriste. Radon terapija je zastupljena u mnogim modernim rehabilitacionim centrima sveta. Očito je da prirodnii lekoviti izvori koji sadrže radioaktivni gas radon, koji sa svojim kratkoživećim i dugoživećim produkatima raspada generiše alfa, beta i gama zračenje, ima intenzivan uticaj na ljudske organe. U ovim centrima leči se reumatoidni artritis, većina tipova reumatizma, psorijatični artritis, posttraumatska stanja, ankilozantni spondilitis (Behtjerevljeva bolest), neuralgija, sklerodermija, neuritis, giht, nervne komplikacije kod šećerne bolesti i dr. Međutim, ne sme se zanemariti činjenica da su i radonske vode kao mineralne vode obogaćene i drugim mikroelemenatima kao što su K, Na, J, Ca, Mg, Br, Se,Sr, Rb, Li i dr.
Banjski lokaliteti na području Srbije, koji su bili predmet istraživanja u ovom radu, zahvaljujući geološkoj podlozi i pedološkom pokrivaču, složenosti reljefa, ubrajaju se u najlepše komplekse nenarušene životne sredine na Balkanu i šire. Odlikuju se složenom geološkom građom, od najstarijih kristalastih škriljaca do najmlađih aluvijalnih nanosa od metamorfnih, magmatskih i sedimantnih naslaga. Najveći broj pojava i ležišta mineralnih voda vezan je za rasprostranjenost karstnog i karstno-pukotinskog tipa izdani [1]. U nekim reonima Srbije preovadavaju naslage mezozojske, tercijarne i kvartarne starosti, kristalasti škriljci višeg i nižeg kristaliniteta sa gnajsevima, amfibolitima i sličnim stenama.

2. Materijal i metode

Istraživanja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu, izvršena su na području sledećih banjsko-zdravstvenih centara kao i nekih izvorišta mineralnih i termomineralnih voda: Bukovička Banja, Banja Gornja Trepča, Bogutovačka Banja, Novopazarska Banja, Jošanička Banja, Mataruška Banja, Vrnjačka Banja, Lukovska Banja, Banja Banjska, Kuršumlijska Banja, Prolom Banja, Sijarinska Banja, Vranjska Banja, Ribarska Banja, Niška Banja, Soko Banja i Gamzigradska Banja, kao i na nekim napuštenim izvorima.
Tokom istraživanja brižljivo su praćeni meteorološki parametri na mernim lokalitetima, jer su oni bitni faktori koji su mogli uticati na promenu koncentracije aktivnosti radona. To se prvenstveno odnosilo na mineralne i termomineralne izvore koji se pojavljuju geografski daleko od mesta nastanka, kada postoji povećana mogućnost mešanja obične atmosferske vode i dubinskih voda.
Merenja su vršena u bazenima za kupanje, kao i prostorijama gde su smeštene kade i kupatila za inhalaciju. U nekim slučajevima, kada je to god bilo moguće, zbog birokratskih procedura, merenja koncentracije spoljašnjeg radona su vršena i na samim izvorištima kao i lokacijama gde se vrši kaptiranje ovih voda.
Merenja koncentracije aktivnosti radona su vršena pomoću Alpha GUARD PQ 2000 Multiparameter Radon Monitor sistema, uređaja čiji se rad zasniva na principu jonizacije. To je impulsna jonizujuća komora, aktivne zapremine 0,56 dm^3, namenjena za alfa spekrtometriju sa digitalnim procesiranjem signala. Veliki filter od staklenih vlakana dozvoljava da u komoru difuzijom uđe gas radon, dok produkti raspada bivaju zadržani na filteru. Merni ospeg za koncentraciju aktivnosti radon ovog sistema je od $2–2\cdot10^6$ Bq/m^3, dok je temperatrni opseg od 10 do

50°C. Sistem pored radona uporedo meri temperaturu vazduha, atmosferski pritisak i relativnu vlažnost vazduha, dakle one meteorološke parametere koji su u dubokoj korelaciji sa distribucijom radona u vazduhu.

3. Rezultati i diskusija

Merni sistem Alpha GUARD PQ 2000 u toku svih serija merenja je permanentno radio na 10 minutnom mernom ciklusu. Na taj način dobile su se izlazne 10 minutne vrednosti koncentracije aktivnosti radona, što je od veoma bitnog značaja za prospekciju radona. Na većini lokaliteta ranije su vršena preliminarna merenja. Rezultati tih merenja su ukazali na potrebu da se u određenim banjskim centrima izvrše detaljnija istraživanja. To se prvenstveno odnosilo na Nišku Banju.

Područje Niške Banje je još 1909.godine poznato po radioaktivnosti [2]. U toku nekoliko godina u Niškoj Banji vršena su merenja u tri serije [3]. Izmerene vrednosti koncentracije radona u vazduhu bazena hotela Radon nalazile su se u opsegu od 0,980 – 1,446 kBq/m^3. Ove vrednosti se odnose za merenja koja su vršena pri radnom režimu bazena, tj. kada je bio ispunjen vodom i kada nije bilo intezivnije izmene vazduha iznad bazena. Izmene vode iz bazena vrše se po ustaljenom režimu svake večeri, kada se vrši i intezivno provetravanje bazena. U tom intervalu vremena srednje koncentracije radona bile su znatno niže i iznosile su oko 230 Bq/m^3, što je očigledan dokaz da povećani nivoi radona dolaze usled pojačane ekshalacije radona iz termomineralne vode koja se koristi u basenu.

Koncentracija radona merena je na različitim mestima i nivoima jedanaestospratnog hotela Radona. Distribucija radona u ispitivanim mestima, direktno je bila u korelaciji sa mogućnošu dotoka ekshaliranog radona iz termomineralne vode. Kako se termomineralna voda nalazi u sistemu vodovoda u celom hotelu Radon, onda se može zaključiti da u toaletima hotela, kao i sobama koje se ne provetravaju, dolazi do najveće akumulacije radona. Na većini ispitivanih mesta ove lokacije, prosečna vrednost koncentracije radona nalazila se u intervalu od 150 do 580 Bq/m^3.

Rezultati istraživanja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu ostalih ispitivanih lokacija prikazani su u tabeli br. 1.

Tabela 1. Koncentracije aktivnosti radona u vazduhu nekih banjskih centara Srbije

Lokalitet	A [Bq/m^3]	Lokalitet	A [Bq/m^3]
Bukovička Banja (česma)	43±4	Kuršumlijska Banja (bušotina)	15±5
Banja Gornja Trepča (kupatilo hidrobloka)	52±6	Prolom Banja (bazen)	25±4
Bogutovačka Banja (bazen hotela)	94±10	Sijarinska Banja (inhalatorijum)	88±11
Novopazarska Banja (bazen centra)	13±5	Vranjska Banja (hidroblok)	50±8
Jošanička Banja (česma)	44±4	Ribarska Banja (hidroblok)	65±9

Mataruška Banja (kupatila hidrobloka)	107±9	Soko Banja (prostorija u bolnici)	126±13
Vrnjačka Banja (Rimski izvor)	33±5	Gamzigradska Banja (hidroblok)	152±16
Lukovska Banja (gejzer)	21±8	Niška Banja (bazen hotela Radon)	1446±102
Banja Banjska (česma)	51±6	Niška Banja (kaptaža Malo grlo)	177±18

Na slici 1 prikazane su vrednosti koncentracije radona u vazduhu bazena hotela Radon, koje su dobijene pri punoj eksploataciji bazena.

Slika 1. Koncentracija aktivnosti radona u vazduhu [kBq/m^3] bazena hotela Radon

Na osnovu rezultata merenja koji su prikazani u tabeli 1, vidi se da je koncentracija aktivnosti radona vrlo različita i da prvenstveno zavisi od porekla vode i lokacije izvorišta. Najveće vrednosti koncentracije aktivnosti radona u vazduhu izmerene su u Niškoj Banji, Soko Banji i Gamzigradskoj Banji, koje se nalaze na području reona Karpato-balkanoida, kojeg karakteriše složena geološka građa. Najmanje koncentracije radona u vazduhu u svim serijama merenja izmerene su u Novopazarskoj Banji, Kuršumlijskoj Banji, Lukovskoj Banji i Prolom Banji, koje većinom pripadaju Šumadijsko-kopaoničkom reonu. Osnovna karakteristika ovog reona je rasedna struktura nastala intenzivnim delovanjima magmatskih i vulkanskih aktivnosti. I ostali banjski centri koji su obuhvaćeni u ovoj seriji merenja, odlikuju se relativno malim vrednostima koncentracije radona.

4. Zaključak

Većina banjskih centra Srbije odlikuje se niskim koncentracijama aktivnosti radona u vazduhu. Najveća koncentracijaradonaizmerena jeuvazduhunapodručju rekreaciono-turističkog centra Niška Banja a rezultati istraživanja ukazuju da ona direktno zavisi od ekshalacije radona iz termomineralnih voda koja se koriste u lečilišno-rekreacionom centru NiškaBanja. Očito je da termomineralna voda Niške Banjedolazi negde u direktan kontakt sa mineralnim česticama koje sadrže radijum. Nastali radon može efektom uzmaka da bude ubačen u vodu i podzemnom protočnom vodom može da se transportuje

na veća rastojanja. Ova istraživanja su od značaja kako za posetioce i pacijente banjskih centara, tako i za stručno osoblje u tim centrima.

5. Literatura

[1] B. Filipović. *Mineralne, termalne i termomineralne vode Srbije*, Udruženje banjskih i klimatskih mesta Srbije, Vrnjačka Banja i Institut za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd (2003).
[2] B.Vuckovic, F. Adrovic, M. Milosavljevic. *Levels of Gamma Radiation Dose Rate and Radon Activity Concentration in Air at Niska Banja*, TTEM - 5 (2010) 82-87
[3] B M. Leko. *Ispitivanje radioaktivnosti voda u Srbiji*. Glas Srpski, kraljevska Akademija LXXXIII, Beograd (1911).

ABSTRACT

RADON ACTIVITY CONCENTRATION IN AIR OF SOME SPA CENTERS IN SERBIA

Biljana VUČKOVIĆ and Feriz ADROVIĆ
Univerzitet u Prištini, Prirodno-matematički fakultet Kosovska Mitrovica, AP Kosovo i Metohija, Srbija,
teabobigo@gmail.com, adrovicferiz@yahoo.com

In recentyears there have been more and more researchescarried out inorder to reviewthe levels of exposure of organisms to radonand itsdescendantscontainedin waters of spacenters.Thisis primarily related todrinking water, as well as the waterusedin swimming pools, tubsandinhalation rooms. This paperpresents resultsof radonactivity concentrations researches in the airof the most of the famousspafacilitiesin Serbia.The results obtainedshow thatthe concentration of^{222}Rnin the airof these facilitiesvariesin the range from13to 1446Bq/m^3.

MERENJE RADONSKE RAVNOTEŽE U VAZDUHU

Sofija FORKAPIĆ, Dušan MRĐA, Nataša TODOROVIĆ, Kristina BIKIT i Jan HANSMAN
Departman za fiziku, Prirodnomatematički fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija,sofija@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ

U ovom radu prikazan je egzaktni metod merenja radonske ravnoteže u vazduhu i određivanja koncentracije radonovih potomaka. Metoda se zasniva na simultanom usisavanju vazduha preko filter papira i alfaspektrometrijskom merenju koncentracije aktivnosti radona u vazduhu. U radu su izvedene matematičke formule za izračunavanje početnih koncentracija potomaka ^{218}Po, ^{214}Pb i^{214}Bi u vazduhu na početku usisavanja na osnovu detektovanog odbroja postradonskih gama linija sa uzorka filter papira. Ovakav model koji u sebi sadrži korekcije na radioaktivni raspad potomaka tokom usisavanja, hlađenja i merenja može naći primenu i u drugim nuklearnim analizama gde poluživot izvora ima isti red veličine kao raspoloživo vreme snimanja.

1. Uvod

Faktor ravnoteže između radona i potomaka predstavlja veoma važnu veličinu za procenu doze koju stanovništvo primi od udisanja radona i neophodno ga je odrediti pri svakom monitoringu radona. Prema ICRP preporukama [1], za faktor ravnoteže može se pretpostaviti vrednost 0.4, međutim pošto ovaj faktor zavisi u velikoj meri od uslova sredine (jačina ventilacije, vlažnost i sl.[2]) potrebno je razviti metodu merenja koncentracije potomaka kako bi se procenio faktor ravnoteže na osnovu sledeće formule [3]:

$$F = \frac{0.105\,A_1 + 0.515\,A_2 + 0.380\,CA_3}{A_{Rn}} \qquad (1)$$

gde su A_1, A_2 i A_3 koncentracije aktivnosti potomaka ^{218}Po (indeks 1), ^{214}Pb(indeks 2) i ^{214}Bi(indeks 3) u vazduhu, a A_{Rn} je stvarna koncentracija aktivnosti radona u vazduhu.
U literaturi se najčešće sreću metode za merenje faktora ravnoteže koje se zasnivaju na detekciji ukupne alfa aktivnosti koje unose velike neodređenosti i greške. U ovom radu predlažemo metodu simultanog merenja koncentracije aktivnosti radona u vazduhu alfaspektrometrijski i određivanje koncentracije aktivnosti radonovih potomaka gamaspektrometrijskom metodom.

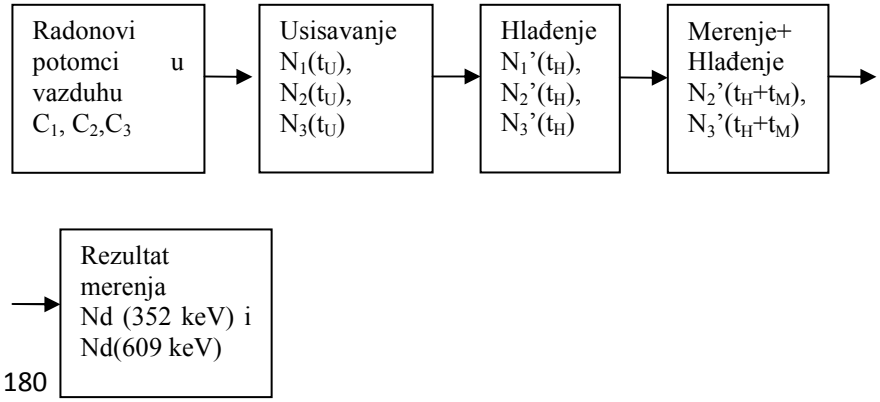
2. Metodamerenja

Koncentracija aktivnosti radona je merena alfa spektrometrom RAD-7, proizvođača Durridge Company, USA (slika1) koji ima mogućnost kontinuiranog prikazivanja koncentracije radona i zbog toga je pogodan za ovakva simultana merenja. Za uzorkovanje aerosola korišćena je pumpa AIR Sampler - model DHFV-1SE, proizvođača F&J Speciality Products Inc., USA i filter papir sa staklenim vlaknima visoke efikasnosti prikupljanja od ε=98%. Brzina protoka pumpe u toku merenja iznosila je v=0.0303 m^3/s. U toku usisavanja radonovi kratkoživeći potomci pripojeni za aerosole u vazduhu hvataju se na nepokretni filter papir. Nakon prestanka usisavanja filter papir se približno homogeno pakuje u cilindričnu geometriju nakon čega su izvršena dva sukcesivna merenja u trajanju od po 1000 s, pri čemu je do početka prvog merenja proteklo 120 s U ovom eksperimentu korišćen je ultra nisko-fonski germanijumski detektor, proizvođača Canberra, tipa GX10021 koji ma prošireni merni opseg od 6 keV do 3 MeV i nalazi se u originalnoj zaštiti od olova debljine 15 cm. Relativna efikasnost ovog detektora je 100% (ekvivalentno apsolutnoj efikasnosti 3"x 3" NaI(Tl) detektora na 1332 keV).

Slika 1. Pumpa za filtriranje vazduha (levo) i alfa spektrometar RAD-7 (desno)

3.Matematičkimodelzaizračunavanjekoncentracijeaktivnostiradonovihpotomakauvazduhunapočetkuusisavanja

Kako bi se rezultat gama-spektrometrijskog merenja filter papira povezao sa koncentracijama radonovih potomaka u vazduhu prostorije ($C_1(^{218}Po)$, $C_2(^{214}Pb)$, $C_3(^{214}Bi)$) neophodno je uzeti u obzir korekcije usled raspada kratkoživećih potomaka radona u toku usisavanja, hlađenja nakon prestanka propuštanja vazduha kroz filter i vremena merenja, pošto ova vremena nisu zanemarljiva u odnosu na kratke periode poluraspada otomaka (^{218}Po – 3 min, ^{214}Pb – 26.8 min i ^{214}Bi – 19.9 min).



Slika 2. Algoritam merenja koncentracije aktivnosti potomaka u vazduhu

Nakon vremena t_U od starta usisavanja na filter papiru se uhvatilo N_1, N_2 i N_3 atoma potomaka ^{218}Po, ^{214}Pb i ^{214}Bi, koji se mogu odrediti kao rešenja sledećih diferencijalnih jednačina koje predstavljaju promenu broja atoma potomaka u toku usisavanja, za početni uslov $N_1(0)=0$, $N_2(0)=0$, $N_3(0)=0$, tj. da na početku usisavanja nema radonovih potomaka na filtru:

$$\frac{dN_1}{dt_U} = C_1 v\varepsilon - \lambda_1 N_1$$
$$\frac{dN_2}{dt_U} = C_2 v\varepsilon + \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$
$$\frac{dN_3}{dt_U} = C_3 v\varepsilon + \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \qquad (2)$$

Rešenje ovog sistema diferencijalnih jednačina je izvršeno u programskom paketu *Matematica* za zadate početne uslove i odgovarajuće vrednosti konstanti raspada (λ_1=0.003787 s^{-1}, λ_2=0.000431 s^{-1}, λ_3=0.00058 s^{-1}), brzine protoka usisavanja (v=0.0303 m^3/s), efikasnosti filter papira (ε=0.98) i vremena usisavanja (t_U=1320s).
Nakon prestanka usisavanja broj atoma potomaka radona na filter papiru se tokom hlađenja i merenja menja u skladu sa jednačinama:

$$\frac{dN_1'}{dt} = -\lambda_1 N_1'$$
$$\frac{dN_2'}{dt} = \lambda_1 N_1' - \lambda_2 N_2'$$
$$\frac{dN_3'}{dt} = \lambda_2 N_2' - \lambda_3 N_3' \qquad (3)$$

Početni uslovi za ovaj sistem jednačina dobijeni su kao rezultat rešavanja prvog sistema diferencijalnih jednačina (2) i iznose:
Početni uslovi za ovaj sistem jednačina dobijeni su kao rezultat rešavanja prvog sistema diferencijalnih jednačina (2) i iznose:
$N_1'(0)=$ 7.78814 C1; $N_2'(0)=$ -78.4011 [redacted] 0.31813 C1 - 0.381261 C2 [redacted] i
$N_3'(0)=$
-1.90951´ 10^9 [redacted] 2.72364´ 10^{-9} C1 - 3.79308´ 10^{-9} C2 - 1.43426´ 10^{-8} C3 [redacted]

Rešavanjem poslednjeg sistema jednačina (3) dobijaju se odgovarajuća rešenja koja predstavljaju promenu broja jezgara radonovih potomaka na filter papiru $N'_1(t)$, $N'_2(t)$, $N'_3(t)$.
Broj raspadnutih jezgara ^{214}Pb, odnosno ^{214}Bi u toku vremena merenja može se povezati sa gamaspektrometrijskim podacima uzorka filter papira na osnovu sledeće relacije:

$$\frac{N_d}{\varepsilon_d p_\gamma} = N_r \qquad (4)$$

gdje N_r broj raspadnutih jezgara u toku vremena merenja t_M,
N_d ukupan broj detektovanih događaja pod odgovarajućim fotovrhom u toku vremena merenja,
ε_d fotopik efikasnost detekcije i p_γ verovatnoća emisija gama kvanta.
Ovde se broj raspadnutih jezgara može izraziti na sledeći način:

$$N_r = N'(t=t_H) - N'(t=t_H+t_M) \qquad (5)$$

Pri čemu prvi član ove razlike je broj neraspadnutih jezgara nakon vremena hlađenja, a drugi član je broj neraspadnutih jezgara nakon vremena hlađenja i merenja.
Primenjujući ovaj algoritam za ^{214}Pb i ^{214}Bi dobijaju se sledeće relacije:

$$N_r(^{214}Pb) = 5.76\,C_1 + 9.93\,C_2 \text{ , za } t_H = 120 \text{ s i } t_M = 1000 \text{ s}$$
$$N_r(^{214}Pb) = 7.17\,C_1 + 6.46\,C_2 \text{ , za } t_H = 1120 \text{ s i } t_M = 1000 \text{ s} \qquad (6)$$
$$N_r(^{214}Bi) = -5.23\,C_1 - 3.77\,C_2 + 11.24\,C_3 \text{ , za } t_H = 120 \text{ s i } t_M = 1000 \text{ s}$$

3. Rezultati merenja

U eksperimentu su dobijene sledeće vrednosti intenziteta gama linija 351.9 keV (^{214}Pb) i 609.3 keV (^{214}Bi) koje su date u Tabeli 1:

Tabela 1. Intenziteti gama linija

t_H [s]	t_M [s]	t_H+t_M [s]	N_d (352 keV) ε_d=0.0425; p_γ=0.371	N_d (609 keV) ε_d=0.0264; p_γ=0.461
120	1000	1120	3108	2962
1120	1000	2120	2041	2526

Koristeći podatke iz Tabele 1 i sistem linearnih jednačina (6) izračunate su početne koncentracije radonovih potomaka: C_1=356 m^{-3}, C_2=19785 m^{-3} i C_3=28446 m^{-3} što odgovara sledećim koncentracijama aktivnosti radonovih potomaka u vazduhu:
$A_1=\lambda_1 C_1$=1.4(5) Bq/m^3; $A_2=\lambda_2 C_2$=8.50(15) Bq/m^3 i $A_3=\lambda_3 C_3$=16.50(15) Bq/m^3 Merne nesigurnosti za A_1, A_2 i A_3 su procenjene samo na osnovu statističke merne nesigurnosti površine fotovrhova. Imajući u vidu da je istovremeno izmerena koncentracija aktivnosti radona na mestu usisavanja vazduha kroz filter papir iznosila 20±4 Bq/m^3, procenjeni faktor ravnoteže radonovih potomaka i radona prema relaciji (1) je 0.54(11).

5. Zaključak

U radu su dati preliminarni rezultati određivanja radonske ravnoteže gama spektrometrijskim merenjem radonovih potomaka - gama emitera prikupljenih na filter papiru. Određene su sledeće vrednosti za koncentracije aktivnosti potomaka radona u vazduhu: 1.4(5) Bq/m^3 za ^{218}Po; 8.50(15) Bq/m^3 za ^{214}Pb i 16.50(15) Bq/m^3 za ^{214}Bi, kao i faktor ravnoteže 0.54(11). Velika razlika u dobijenim koncentracijama radonovih potomaka zahteva analizu njihovog kompleksnog ponašanja u atmosferi, u smislu pripajanja aerosolima, taloženja i razelektrisavanja. Planira se detaljno ispitivanje ove metode na velikom broju merenja, kao i optimizacija vremena uzorkovanja, hlađenja i merenja. Problem saturacije potomaka na filter papiru će takođe biti razmatran u budućim istraživanjima. Procena merne nesigurnosti dobijenih rezultata ukazuje na najjaču zavisnost koncentracije aktivnosti ^{218}Po od podataka prikupljenih gamaspektrometrijskim merenjima ^{214}Pb i ^{214}Bi, u odnosu na koncentracije aktivnosti preostala dva potomka.

6. Literatura

[1] International Commission on Radiological Protection. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,* ICRP Publication 60 (Anals of the ICRP 21 (1991))

[2].Karel Jilek, Josef Thomas and Ladislav Tomašek: *First results of measurement of equilibrium factors F and unattached fractons f_p of radon progeny in Czech dwellings*, NUKLEONIKA 2010;55(4);439-444

[3] S.Y.Y.Leung, D.Nikezic,K.N.Zu: *Passive monitoring of the equilibrium factor inside a radon exposure chamber using bare LR 115 SSNTDs,* Nuclear Inst. And Methods in Physics Research A 564 (2006) 319-323

ABSTRACT

Sofija FORKAPIĆ, Dušan MRĐA, Nataša TODOROVIĆ, Kristina BIKIT and Jan HANSMAN

Departman za fiziku, Prirodnomatematički fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija,sofija@df.uns.ac.rs

This paper presents the exact method of radon equilibrium measuring in the air and determining the radon progeny concentrations. The method is based on simultaneous sampling of air through the filter paper and alpha spectrometry measurement of radon activity concentration in the air. This paper derived a mathematical formula to calculate the initial concentrations of radon progenies ^{218}Po, ^{214}Pb and ^{214}Bi in the air at the start of sampling based on the detected count rate of postradon gamma lines in the sample of filter paper. Such a model containing the radioactive decay corrections during the time of sampling, cooling and measurement can be applied in other nuclear analysis where the half-life of the source has the same order of magnitude as the available recording time.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI

AKTIVACIONE DOZE KOD 15 MV MEDICINSKIH LINEARNIH AKCERELATORA

Duško LUKARSKI Sonja PETKOVSKA
Univerzitetska klinika za radioterapija i onkologija, Skopje, R. Makedonija, duskol@yahoo.com

SADRŽAJ

U cilju ovog rada, razmatrana je doza koja je rezultat aktivacije nakon radioterapiskog tretmana sa visokoenergetskim x-zracima dobijenih ubrzivačkim potencijlom od 15 MV. Ispitivano je opadanje jačine doze i urađena je procena doze koju bi u toku godine primio radiološki tehničar koji sprovodi tretman pacijenata.

1. Uvod

Za radioterapiski tretman tumora koji se nalazi na većoj dubini u organizmu, koristi se medicinski linearni akcelerator. U njemu se proizvode visokoenergetski fotoni dobijeni ubrzavačkim potencijalom većim od 10 MV. Pri tome dolazi do stvaranja aktivacionih proizvoda koji doprinose dozama rendgen-tehnologa[1,2,3]. Kod savremenih radioterapiskih metoda (kao radioterapija moduliranim intenzitetom (RTMI) ili tomoterapija) gde je vreme zračenja nekoliko puta veće, doza koju dobije operator akceleratora može biti značajnija. Cilj ovog rada je izvršiti procenu ove doze.

U procesu stvaranja aktivacionih proizvoda preovlađuju dva tipa reakcije.

Prva je nuklearni fotoefekat – (γ, n) reakcija, koja nastaje kad na jezgro upadne foton energije veće od energije vezivanja neutrona u jezgru, pri čemu je neutron izbačen iz jezgra. Preostalo jezgrokojeima smanjeni broj neutrona je radioaktivno i raspada se β^+ raspadom ili elektronskim zahvatom. Srednja energija vezivanja nukleona je oko 8 MeV, pa zbog toga kodakceleratorskih tretmana sa nisko-energetskim fotonima (uobičajeno 6 MV) nema induciranja aktivacionih proizvoda.

Druga reakcija je neutronski zahvat – (n, γ) reakcija, pri čemu jezgro absorbuje neutron i oslobađa višak energije u vidu fotona. Neutroni koji su potrebni za ovu reakciju se dobijaju iz prethodne. Jezgro koje nastaje uobičajeno jeβ^- emiter.

Neutroni koji se kreiraju u nuklearnom fotoefektu kontaminiraju tretmanski snop i nisu dobro atenuirani teshkim elementima od kojih je izgrađena tretmanska glava gantrija. Zato u celoj tretmanskoj sobi postoji fluks neutrona i zbog toga u celoj sobi postoji distribucija aktivacionih proizvoda nastalih neutronskim zahvatom. S druge strane, izotopi proizvedeni nuklearnim fotoefektom su koncentrisani u regionima maksimalnog fluksa visokoenergetskih fotona, t.j. u samoj tretmanskoj glavi gantrija.

2. Materijali i metode

Ovaj rad je urađen na Univerzitetskoj klinici za radioterapiju i onkologiju u Skoplju, Makedonija, na jednom od dva linearna akceleratora Varian Clinac 23 EX. Merenja su urađena sadozimetrom - Exploranium GR130. Jačina doze je merena na mestu koje je udaljeno 1m od izocentra mašine u lateralnom pravcu na visini od 1,3m iznad poda. To je zapravopozicija u kojoj uobičajeno stoji rendgen tehnolog koji pozicionira pacijenata. Podatci iz literature ukazujuda je tretmanski stojedan od glavnih izvora aktivacionih proizvoda. Zbog konzervativnosti u procenivanju doze, merenja su urađena sa stolom u tretmanskoj poziciji, bez prisustva vodenih fantoma koji bi simulirali pacijenata. Korišteno je polje 20x20 cm, sto je na rastojanju od 110 cm od fokusa akceleratora, t.j 10 cm ispod izocentara mašine.

Merenja su rađena tako daodmah nakon isporučivanjaplaniranih monitorskih jedinica (MJ), t.j. odmah nakonbeam-on vremena, što pre (uobičajeno za oko 10s)se ulazi u bunker i postavlja dozimetar u već opisanu poziciju.

Tokom merenja isporučen je različiti broj monitorskih jedinica – 250, 1000 i 1500 MJ; 250 MJ odgovaraju tipičnom radioterapiskom tretmanu u kome se saopštavaju 2 Gy pacientu, 1000 MJ odgovaraju jednokratnoj iradijaciji (8 Gy), dok isporuka1500 MJ odgovara RTMI tretmanu.

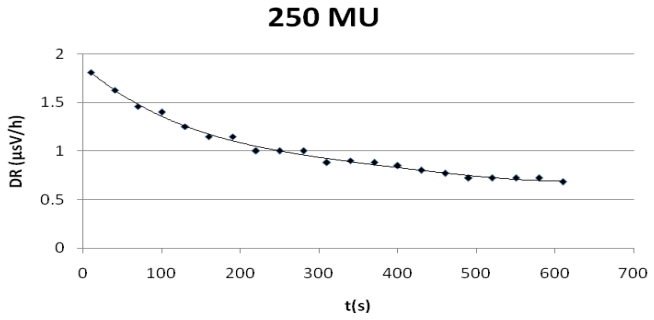
3. Rezultati

Zbog same aktivacije, nivo fona je različito u zavisnosti od dana merenja. Ponedeljkom ujutro, posle celog vikenda raspada dugoživečih aktivacionih proizvoda, izmerena jačina doze je 0,12 µSv/h. Na početku bilo kog drugog dana, što bi značilo posle cele noči vremena za raspad aktivacionih proizvoda, izmerena jačina doze je 0,25 µSv/h. U toku radnog dana, minimalna jačina doze je 0,5 – 0,6 µSv/h.

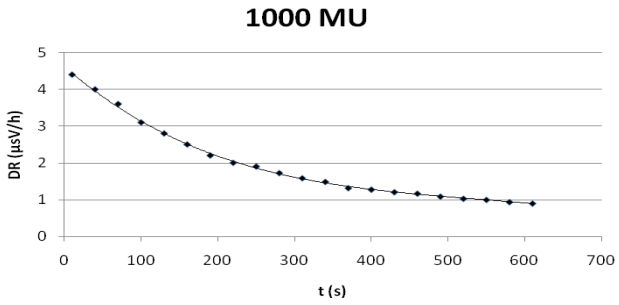
Na slikama 1 – 3 prikazano je opadanje jačine doze tokom vremena za sva tri slučaja – 250 MJ, 1000 MJ i 1500 MJ respektivno. Vreme je mereno od trenutka isključivanja snopa.

Krive prikazane na slikama predstavljajupolinome četvrtog reda. Kako bi dobili dozu koju prima rendgen tehnolog tokom rada integriramo ove krive u granicama od 30 s (što je normalno vreme ulaska tehnologa u bunkeru) do 7 min (što smatramo da je maksimalno vreme koje bi tehnolog proveo u bunkeru pozicioniravši sledećeg pacijenata). Dobijamo 0,12 µSv za normalan tretman sa 250 MJ, 0,24 µSv za jednokratnu iradijaciju sa 1000 MJ i 0,3 µSv za RTMI tretman. Pretpostavljajući 30 pacijenata u jednoj smeni na akceleratoru, od kojih je 25 klasičnih tretmana, 1 je jednokratna iradijacija i 4 su RTMI tretmana, ukupna dnevna doza koju bi primio rendgen tehnolog iznosi 4,44 µSv/dan, što znači 1,043 µSv/godišnje (pretpostaljajući 235 radnih dana). Ovi rezultati su sumirani u tabeli 1.

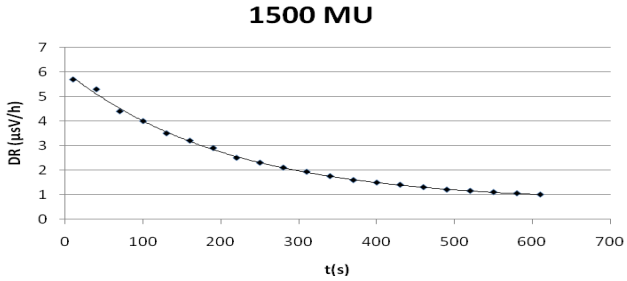
Mora se naglasiti da je ova doza prilično konzervativna, jer u svakom slučaju pri tretmanu se koriste više polja, pa za vreme rotacije gantrija deo kratkoživečih izotopa se raspada, što može značajno umanjiti dozu tehnologa. Drugi razlog je što su linearni akceleratori uobičajeno dvoenergetski, tako da senajviše 50-60% vremena koriste visokoenergetski x-zraci, a ostalo vreme se koriste x-zraci niže energije (najčešče 6 MV) kod kojih nema aktivacije.



Slika 1. Opadanje jačine doze nakonisporuke250 MJ



Slika 2. Opadanje jačine doze nakon isporuke1000 MJ



Slika 3. Opadanje jačine doze nakon isporuke1500 MJ

Efikasan način smanjenja ove doze je rotacija personala koji ulazi u bunker. Naime, na jednom bunkeru rade 3 rendgen tehnologa od kojih dvoje ulazi u bunker za pozicioniranje pacijenata, a jedan ostaje za komandnim pultom. Sa rotacijom radnika koji ostaje za pultom, doza svakog od troje radnika se može smanjiti za jednu trećinu. U svakom slučaju, ova doza je puno manja od Evropskihzakonskih granica od 20 mSv/a, a i manja od granice ispitivanja od 4 mSv/a.

Tabela 1. Procenjena maksimalna doza od aktivacije kod rendgen tehnologa

Tip tretmana	Doza po tretmanu (µSv)	Broj pacijenata dnevno	Ukupna doza dnevno (µSv)
250 MJ	0,12	25	3
1000 MJ	0,24	1	0,24
1500 MJ	0,3	4	1,2
		Ukupno dnevno	4,44
		Ukupno godišnje	1043

4. Zaključak

Merenja doze od aktivacije kod linearnih akceleratora pri radu na 15 MV pokazuju da je doza koju prima operator akceleratora manja od 1 mSv godišnje. To znači da ne postoji potreba za uvođenje dopunskih lokalnih procedura pri ovakvim tretmanima. Imajući u vidu opadanje doze s vremenom, jedina preporuka u cilju optimizacije radijacione zaštite rendgen tehnologa bila bi da se ne žuri sa ulaskom u bunker nakon tretmana u kome je isporučen veliki broj monitorskih jedinica.

5. LITERATURA

[1] H.W. Fisher, B. Tabot, B. Poppe. Activation Products in Medical Linear Accelerators, *IRPA 2nd European Congress,* Paris, May 15-19, 2006.

[2] H.W. Fisher, B. Tabot, B. Poppe. Activation process in a medical linear accelerator and spatial distribution of activation products, *Phys. Med. Biol.* 51 (2006) N461-N466.

[3] J.A. Rawlingson, M.L. Islam, D. M. Galbraith, Dose to radiation therapists from activation at high-energy accelerators used for conventional and intensity-modulated radiation therapy, *Med. Phys*. 29 (4), 598-608.

ABSTRACT

DOSES FROM ACTIVATION IN 15 MV MEDICAL LINEAR ACCELERATORS

Duško LUKARSKI, Sonja PETKOVSKA

University Clinic for Radiotherapy and Oncology, Skopje, R. Macedonia,

duskol@yahoo.com

In this work we investigated the decrease of the activation dose rate after a radiation treatment with high energy x-rays of 15 MV. We estimated the annual dose to the radiation technologists that treat the patient with this energy of photons.

НЕУТРОНИ МЕРЕНИ У ОКОЛИНИ ТЕРАПИЈСКОГ ЛИНЕАРНОГ АКЦЕЛЕРАТОРА

МилутинБАУЦАЛ[1], МиодрагКРМАР[2],НиколаЈОВАНЧЕВИЋ[2], Јан ХАНСМАН[2] и Оливера ЦИРАЈ-БЈЕЛАЦ[3]

1) Институт за онкологију, Сремска Каменица, Србија, mbaucal@yahoo.com

2) Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија, krmar@df.uns.ac.rs

3) Институт за нуклеарне науке Винча,Београд, Србија, ociraj@vinca.rs

СЕДРЖАЈ

Неутронска доза на улазним вратима у лавиринта (maze) просторије у којој је смештен 15 MeV-ски линеарни терапијски акцелератор је мерана за различите конфигурације примарних и MLC колиматора. Истовремено су праћене релативне промене флукса термалних и епитермалних неутрона употребом активационих детектора ид природног индијума, на терапијском лежају где је смештен пацијент током терапије. Установљено је да конфигурација колиматора не утиче значајно на неутронску дозу мерену на улазним вратима, док положај MLC колиматора може повећати присуство епитермалних неутрона на месту пацијента

1. Увод

Познато је да терапијски линеарни акцелератори који раде на енергијама вишим од енергија прага (n,γ) фотонуклеарних реакција производе мерљив број неутрона. Највећи број ових неутрона се ствара у акцелераторској глави.Мета и примарни колиматори представљају сталан извор нутрона, док помични делови као што су то секундарни колиматори (jaws) производе неутроне у оној мери колико су изложени снопу фотонског зрачења. Модерни акцелератори поседују MLC (multileafcollimators) који могу бити додатни извор и расејивач неутрона. То свакако значи да величина и облик зрачног поља, тј. положај колиматора могу имати утицаја на призводњу и расејавање неутрона [1,2].

Постоје два битна разлога због којих је неопходно познавати флуксеве неутрона унутар терапијске просторије. По неким проценама [3] утицај неутрона на појаву секундарних канцера може бити веома значајан, поготово у случају IMRT процедуре која уз употребу MLC може трајати знатно дуже (фактор 2 и више) од конвенционалне радијационе терапије. Медицинско особље које борави и креће се иза масивних врата терапијске просторије је неопходно на најбољи могући начин заштити од фотонског и неутронског зрачења. Стандардан метод за процену неутронске дозе на улазним вратима је прописан NCRP 151 протоколом [4] али утицај положаја колиматора није посебно анализиран.

У овом раду ће бити приказане вредности неутронске дозе мерене са унутрашње стране врата акцелераторске просторије. Дозе су мерене за разне конфигурације колиматора, како секундарних тако и MLC. Истовремено су на треапијском лежају били постављани активациони детектори од природног In за мерење релативне промене флукса неутрона у зависности од конфигурације колиматора

2. Метод мерења

Терапијски акцелератор Varian 2100 C од 15 MeV је коришћен у мерењима. Неутронска доза је регистрована непосредно поред врата, унутар акцелераторске просторије. Мерења су вршена неутронским дозиметром Meridian 5085. Дужина ходника лавиринта износи 5.35 m. Време експозиције је било 60 s, што одговара фотонској дози од 4 Gy у воденом фантому на месту максималне дозе. Активациони детектори од природног индијума, облика новчића дијаметра 2 cm и масе 4 g, са и без кадмијумске заштите дебљине 1 mm постављани су на терапијски лежај на 40 cm од осе снопа. Растојање између терапијског лежаја и фокуса акцелератора је било 100 cm. Гама зрачење ^{116}In насталог неутронским захватом на језгрима ^{115}In мерено је непосредно након озрачивања NaI детекторим од 3 инча. Сва мерења су трајала 600 s. Три интензивне гама линије од 416.9 keV, 1097.3 keV и 1293.6 keV су коришћене за израчунавање сатурационе активности:

$$R = \frac{N}{m \cdot e^{-\lambda \cdot \Delta t}} \frac{1}{\varepsilon \cdot p_{\gamma}} \frac{\lambda \cdot M}{N_{AV} \cdot \eta \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_{meas}})(1 - e^{-\lambda \cdot t_{ir}})} \qquad (1)$$

где је N број детектованих γ-фотона одређене енергије, λ је константа распада, m је маса активационог детектора а M је атомска маса коришћеног материјала, ε је фотопик ефикасност детектора на датој енергији, p_{γ} је квантни принос, N_{AV} је Авогардров број, η је заступљеност изотопа активационог детектора у природном материјалу, док су Δt, t_{meas} и t_{ir}времена хлађења, мерења и зрачења респективно. У стандардном методу сатурациона активност R активационог детектора изложеног флуксу неутрона без кадмијума је:

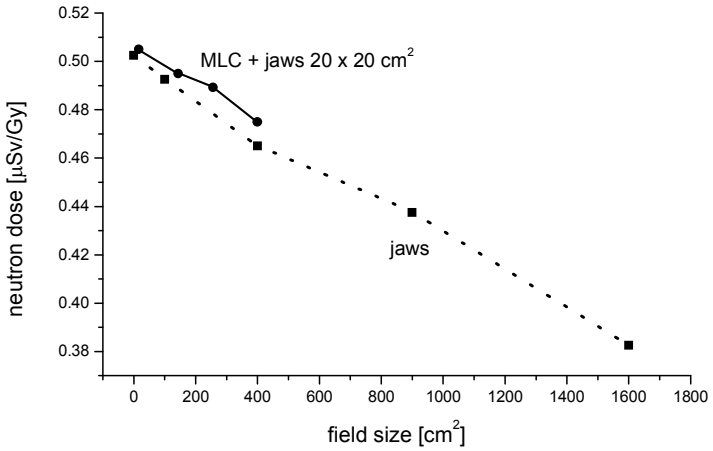
$$R = \Phi_{th} \cdot \sigma_{th} + \Phi_{f} \cdot I \qquad (2)$$

где су σ_{th} и I субкадмијумски и епикадмијумски пресеци за захват неутрона респективно, а Φ_{th} и Φ_{f} представљају термални и епитермални неутронски флукс респективно. Уколико је активациони детектор упакован у кадмијумски омотач, сатурациона активност R је одређена само другим сабирком у једначини (2).

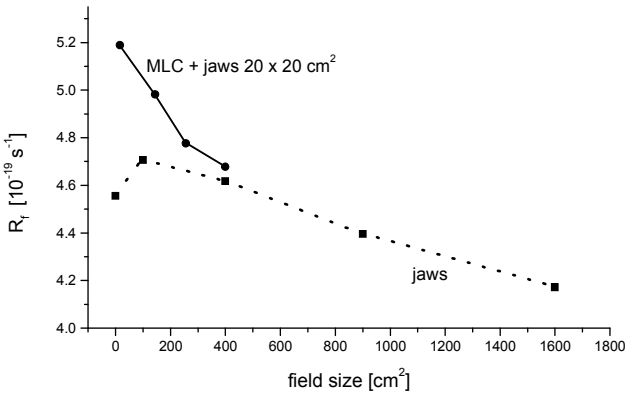
Да би се процениo могући утицај конфигурације колиматора на стварање неутрона, две врсте мерења су извршене. У првој од њих MLC су били у потпуности уклоњени, а поље је дефинисано само секундарним колиматорима. За неколико различитих величина поља, од потпуно затвореног (0 x 0 cm) до максимално отвореног (40 x 40 cm) је мерена неутронска доза на улазним вратима као и интензитети гама линија ^{116}In. У другој серији мерења, секундарним колиматорима је дефинисано поље величине 20 x 20 cm, а MLC су полако увођени да би ограничили неколико различитих величина поља, све док га у потпуности нису затворили. И у овом случају је мерена доза на улазним вратима и вршена су спектроскопска мерења активационих детектора. Репродуцибилност измерених доза на улазним вратима као и вредности сатурационе активности је тестирана у 20 сукцесивних мерења која су изведена на описани начин, с том разликом што су употрбљени индијумски активациони детектори масе 1 g, без употребе кадмијумског омотача.

3. Резултати

Неутронске дозе (по јединичној фотонској дози) измерене на улазним вратима за разне димензије поља одређеног само скундарним колиматорима приказане су на Слици 1 испрекиданом линијом. Може се видети да се неутронска доза на вратима смањује са повећањем поља. Вредности неутронске дозе по јединчној фотонској дози у случају када је величина поља била одређена помоћу MLC, почев од 20 x 20 cm до 4 x 4 cm приказане су на Слици 1 пуном линијом. Вредности сатурационих активности $R_f = \Phi_f \cdot I$ које позичу од захватоа епитермалних неутрона у зависности од величине поља дефинисаног секундарним колиматорима приказане су на Слици 2 исперкиданом линијом. Пуном линијом су приказане вредности сатурационе активности измерене у случају када је поље било одређено помоћу MLC.



Слика 1. Неутронска доза на вратима у зависности од величине поља



Слика 2. Сатурациона активност у зависности од величине поља

4. Закључак

Установљено је да неутронска доза на улазним вратима лавиринта зависи од величине зрачног поља. Измерена је релативна промена од 24% између потпуно затвореног (0 x 0 cm) и максимално отвореног (40 x 40 cm) поља када су у употреби били искључиво секундарни колиматори. Евидентно је да се код мањих поља производи већи број неутрона пошто увођењем колиматора већа количина материјала бива изложена флуксу високоенергетских фотона. Интересантно је приметити да доза на улазним вратима у случају када је поље била дефинисано помоћу MLC не одступа значајније од дозе мерене када је поље сличне величине била дефинисана секундарним колиматорима. Мерења репродуцибилности добијених вредности неутронских доза показала су да је стандардна девијација која се може добити у поновљеним мерењима реда величине 1.7%. Разлике између неутрунских доза мерених код поља дефинисаних секундарним колиматорима и MLC су реда величине стандардне девијације. Евидентно је да доза на улазним вратима не зависи значајније од тога да ли су неутрони створени у секундарним колиматорима или MLC.

Сатурациона активност од епитермалних неутрона R_f показује најмању вредност у случају када су секундарни колиматори у потпуности отворени. Вредност R_f поступно расте са смањењем величине поља тако да је код димензија 10 x 10 cm око 10% виша него када је величина поља била 40 x 40 cm. Интересантно је приметити да је вредност R_f у случају потпуно затвореног поља око 8% мања него у случају поља димензија 10 x 10 cm. У конфигурацијама где се MLC уводе у сноп фотона вредности R_f могу бити знатно веће него када је исто поље дефинисано само секундарним колиматорима. Највероватније објашњење ове појаве би се могло тражити у чињеници да код Varian-ових акцелератора MLC бивају постављени испод секундарних колиматора, дакле ближе равни пацијента.

5. Literatura

[1] R.M. Howell, E. Burgett, D. Followill, N.E. Hertel. Efects of tertiary MLC configuration on secondary neutron spectra from 18 MV x-ray beams for the Varian 21EX linear accelerator, Med. Phys. 36, 4093-4046 (2009)

[2] R.M. Howell, N.E. Hertel, Z. Wang, J. Hutchinson, G.D. Fullerton. Calcilation of effective dose from measurements of secondary neutron spectra and scattered photon dose from dynamic MLC IMRT for 6MV, 15 MV and 18 MV beam energies. Med. Phys. 33, 360-368 (2006).

[3] D.S. Followell. Estimates of the whole-body dose equivalent produced by beam intensity mod. conformal ther., Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 38, 667-672 (1997)

[4] National Council on radiation protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for megavoltage x-and gamma-ray radiotherapy facilities, NCRP report 151, Bethesda, MD (2005)

ABSTRACT

NEUTRONS MEASURED IN VICINITY OF THE LINEAR THERAPY ACCELERATOR

Milutin BAUCAL[1], Miodrag KRMAR[2], Nikola JOVANČEVIĆ[2]
Jan HANSMAN[2]and Olivera CIRAJ-BJELAC[3]

1) *Institute of Oncology, Sremska Kamenica, Serbia, mbaucal@yahoo.com*
2) *Faculty of Science, Novi Sad, Serbia, krmar@df.uns.ac.rs*
3) *Institute for Nuclear Research Vincha, Belgrade, Serbia, ociraj@vinca.rs*

This study was undertaken to explore the effects of the jaws and MLC openings on the dosage at the maze door and neutron flux at the patient plane. The dosage measured at the maze door depends on the jaw and MLC opening. There is no significant difference in neutron dosage when MLC define some radiation field instead of jaws. The increase of the fast neutron capture reaction rate when MLC are inserted probably originates from neutron scattering.

PROCENA DOZE ZA STANOVNIŠTVO IZLAGANJA U NUKLEARNOJ MEDICINI U SRBIJI

Olivera CIRAJ-BJELAC, Danijela ARANĐIĆ, Duško KOŠUTIĆ, Đorđe LAZAREVIĆ, Predrag BOŽOVIĆ i Dragana ČEKEREVAC

Institut za nukelarne nauke Vinča, Beograd, Srbija

ociraj@vinca.rs

SADRŽAJ

Doprinos medicinskih izlaganja ukupnoj dozi za populaciju beleži kontunuiran rastući trend. U radu su prikazani rezultati prve procene doze za populaciju u Srbiji koja potiče od dijaganotičkih pregleda u nuklearnoj medicini. Na osnovu podataka iz 10 bolnica, u Srbiji se godišnje obavi oko 35000 dijagnostičkih pregleda u nuklearnoj medicni. Odgovarajuća kolektivna doza za populaciju iznosi 125 čovek·Sv, dok je prosečna efektivna doza po glavi stanovinika 17 μSv. Uočene su značajne razlike u praksi u različitim bolnicama i predložene vrednosti nacionalnih dijagnostičkih referntnih nivoa u Srbiji.

1. Uvod

Medicinska izlaganja predstavljaju najznačajniji činilac u ukupnoj kolektivnoj dozi za populaciju koja potiče od veštačkih (proizvedenih) izvora zračenja. Prema podacima Međunarodnog Komiteta Ujedinjenih Nacija za Efekte Zračenja (UNSCEAR) za period 1997-2007, globalni broj pregleda u nuklearnoj medicini na godišnjem nivou iznosi 32.7 milona, što odgovara frekvenciji od 5.1 pregleda na 1000 stanovnika [1]. Odgovarajuća globalna vrednost kolektivne doze od pregleda u nuklearnoj medicini iznosi 202000 čovek·Sv, što odgovara *per caput* dozi od 0.031 mSv. Ovaj podatak se odnosi na dijagnostičke preglede u nuklearnj medicini, dok terapijske procedure prdstavljaju samo mali udeo u ukupnom broju pregleda [2]. Najveći deo ovih pregleda obavi se u zemljama sa visokim stepenom razvijenosti zdravstvene zaštite (89%) iako je varijacija i unutar ove kategorije zemalja značajna. Pregledi obavljeni u kategoriji zemalja sa razvijenom zdravstvenom zaštitom posledično doprinose kolektivnoj dozi sa 92%. U globalnoj praksi u nuklearnoj medicni dominira scintigrafija koštanog sistema, kardiovaskularni pregledi i pregledi štitaste žlezde. Iako je doprinos dozi od medicinskih izlaganja koji potiče od prakse sa radiofarmaceuticima mali u poređenju sa radiološkim pregledima (0.9% frekvencija i 5.1% kolektivna doza), srednja vrednost doze po jednom pregledu je daleko veća u nuklearnoj medicni i iznosi 6.0 mSv, dok je je u dijagnostičkoj radiologiji to 1.3 mSv.

U nuklearnoj medicini se za izučavanje fiziologije tkiva i funkcije organa koristi veoma širok spektar radiofarmaceutika [2]. Procena globalne prakse u nuklearnoj medicini se bazira na prikupljanju podataka iz različitih zemalja. Ovakve analize pored podataka o globalnoj praksi, omogućavaju poređenje prakse u različitim zemljama. Procena doze od medicinskih izalganja i utvrđivanje nacionalnih dijagnostičkih referentnih nivoa (DRL) predstavlja zahtev Direktive 97/43 Euratom koja uređuje oblast medicinskih izlaganja [3]. Praktične smernice za procenu doze od medicinskih izalganja date su u publikaciji

Radiation Protection 154 [4]. Na osnovu ovih smernica doza od medicinskih izlaganja može biti procenjena analizom kompletne prakse u jednoj zemlji ili analizom odabranog i reprezentativnog uzorka procedura koje najznačajnije utiču na dozu od medicinskih izlaganja.

2. Materijal i metode

Podaci o frekvenciji pojedinih pregleda u nuklearnoj medicini prikupljeni su putem upitnika koji je upućen bolnicama u kojima se obavlja ovaj tip radijacione delatnosti. Klasifikacija pregleda u nuklearnoj medicini koja je primenjena u ovom radu bila je u skladu sa smenicama iz publikacije Radiation Protection 154. Pored frekvencije, prikupljeni su podaci o prosečnoj aktivnosti radiofarmaceutika za određene vrste pregleda. Upitnikom je predviđeno prikupljanje podataka za ukupno 28 različitih pregleda u nuklearnoj medicini koji se odnose na različite anatomske regije i zahtevaju primenu različitih radiofarmaceutika. Efektivna doza za pacijenta od pojedinih pregleda u nuklarenoj medicini procenjena je koristeći podatak o srednjoj vrednosti aktivnosti radiofarmaceutika i konverzione faktore za izračunavanje efektivne doze na osnovu aktivnosti sadržane u ICRP publikacijama [5,6]. Za procenu kolektivne efektivne doze po glavi stanovnika upotrebljen je podatak o broju stanivnika od 7.498 miliona [7]. Upitnik je upućen u 10 bolnica od ukupno 15 u kojima se koriste radiofarmaceutuci za dijanostičke procedure. Pozitivan odgovor je dobijen iz svih bolnica. Od ukupno 10 ustanova, samo dve poseduju više od jedne gama kamere. Bolnice koje nisu obuvaćene ovom analizom takođe su opremljene sa po jednom gama kamerom, stoga je ukupan broj pregleda na nivou Republike Srbije, procenjen ekstrapolacijom prikupljenih podataka iz ustanova sa sličnom praksom, odnosno množenjem ukpnog broja pregleda iz ustanova opremljenih sa jednom gama kamerom faktorom 13/8. Na osnovu prikupljenih podataka o prosečnoj aktivnosti radionuklida za različite tipove pregleda u nuklearnoj medicini, predložene su i vrednosti nacionalnih DRL za Srbiju. DRL su izračunati kao zaokružena vrednost trećeg kvartila statističke distribucije aktivnosti iz 10 bolnica.

3. Rezultati

Od ukupno 28 pregleda navedenih u upitniku, bolnice u Srbiji pozitivno su odgovorile u vezi ukupno 18 različitih pregleda, kao što je navedeno u Tabeli 1. Pored pregleda, radionuklida i radiofarmaceutika, u Tabeli 1 su navedene i frekvencije i aktivnosti radionuklida kao i odgovarajuće minimalne i maksimalne vrednosti. Uočene su i značajne varijacije u praksi između pojedinih bolnica koje se ogledaju u raznovrsnosti pregleda koji se realizuju, u broju tih prelgeda i primenjenoj akrivnosti radionuklida. Aktivnosti se za isti tip pregleda razlikuju do faktora 7, dok je razlika u radnom opterećenju jos izraženija pa se prosečan broj procedura u bolnicama razlikuje i do faktora 135. U Srbiji se godišnje obavi oko 35000 dijagnostičkih pregleda u nuklearnoj medicni. Kolektivna doza za populaciju u Srbiji od dijagnostičkih pregleda u nuklearnoj medicini iznosi 125 čovek·Sv. Procenjena *per caput* efektivna doza od pregleda u nuklearnoj medicni iznosi 17 μSv dok je prosečna efektivna doza po pregledu 3.6 mSv. Na tačnost procene efektivne doze utiču aktivnost radionuklida i upotrebljen dozni koverzioni faktor koji, u velikoj meri, zavisi od tačnosti biokinetičkog modela na osnovu kojeg je konverzioni faktor izračunat. Pored merne nesigurnosti efektivne doze, značajna uticajna veličina jeste i pretpostavljen broj pregleda na godišnjem nivou [4]. Imajući u vidu navedeno, procenjena merna nesigurnost kolektivne doze iznosi 35%. Pored rezultata procene kolektivne doze od dijagnostičkih pregleda u nukelarnoj medicni, u Tabeli 1 su navedene i predložene vrednosti DRL koji su rezultat realne prakse u Srbiji.

Ove vrednosti predstavljaju značajnu informaciju za optimizaciju prakse u nuklearnoj medicini.

Tabela 1. Frekvencije, efektivne i kolektivne doze od dijagnostičkih pregleda u nuklearnoj medicini u Srbiji za 2010 godinu.

N	Procedura (scintigrafija)	Radionuklid	Hemijski oblik	Broj pregleda			Aktivnost/ pregled (MBq)			Ukupan broj pregleda	Effektivna doza (mSv)	Kolektivna efektivna doza (čovek Sv)	DRL (MBq)
				min	max	sv	min	max	sv				
1	Kosti	^{99m}Tc	Fosfat/fosfonat	174	2040	872	555	740	672	11000	3.9	42	730
2	Perfuzija miokarda, rest	^{99m}Tc	MIBI	130	672	351	740	925	833	1500	7.6	11	925
3	Perfuzija miokarda, sters	^{99m}Tc	MIBI	100	672	317	740	1036	870	1300	6.9	9.0	960
4	Tumor (PET) + dijagnostički CT	^{18}F	FDG	960	1440	1200	296	370	333	2400	1.6	3.8	350
5	Štitasta žlezda, metastaze (nakon ablacije, "uptake" 0%)	^{131}I	Jodid	72	260	133	111	145	119	1200	7.0	8.4	110
6	Štitasta žlezda, (oralna aplikacija)	^{99m}Tc	Pertehnetat	120	1350	778	74	185	119	7000	1.7	12	110
7	Štitasta žlezda ("uptake" 35 %)	^{123}I	Jodid	240	240	240	1,85	1,85	2	250	0.044	0.011	2
8	MUGA, srčani protok krvi	^{99m}Tc	Eritrociti obeleženi ^{99m}Tc	72	120	96	740	925	833	300	6.0	1.8	880
9	Dopamin (parkinsonizam)	^{123}I	Beta-CIT			200			130	200	3.1	0.62	130
10	Perf. scintigrafija pluća	^{99m}Tc	MAA	13	840	234	111	185	131	1400	1.3	1.8	125
11	Neuroendokrini tumori	^{111}In	Pentetreotid			300			740	300	88	27	740
12	Scintigrafija bubrega	^{99m}Tc	DMSA	8	1080	338	74	222	136	3000	1.1	3.5	150

13	Scintigrafija bubrega	^{99m}Tc	MAG3	240	288	264	74	148	111	800	0.81	0.65	130
14	Scintigrafija bubrega	^{99m}Tc	DTPA	40	960	374	74	370	194	4000	1.1	4.3	215
15	Paratireoidna žlezda	^{99m}Tc	MIBI	10	400	134	111	740	459	1200	5.7	6.8	600
16	Cerebralna angioscintigrafija	^{99m}Tc	Eksmetazim (HMPAO)	60	60	60	925	925	925	100	8.6	0.86	925
17	Infekcije/upale	^{99m}Tc	Leukociti obeleženi ^{99m}Tc	72	72	72	740	740	740	100	8.1	0.81	740
18	Infekcije/upale	^{99m}Tc	Monoklonska antitela	72	72	72	740	740	740	100	5.9	0.59	730

Imajući u vidu nedostatk podataka o frekvenciji pregleda u nuklearnoj medicni, kao i o dozi za pacijenta od pojedinih dijagnostičkih pregleda sa radiofarmaceuticima, cilj ovog rada bio je procena kolektivne doze od dijagnostičkih pregelda u nuklearnoj medicni za populaciju u Srbiji

4. Zaključak

U radu su prikazani rezultati procene kolektivne doze od dijagnostičkih pregleda u nuklearnoj medicini u Srbiji. Kolektvna doza na godišnjem nivou iznosi 125 čovek·Sv. Procenjena *per caput* efektivna doza po jednom pregledu u nuklearnoj medicni iznosi 17 μSv. Uočene su iznačajne varijacije u praksi u različitim bolnicama koje ukazuju na potrebu za optimizacijom prakse u nuklearnoj medicini. Predložene vrednosti nacionalnih DRL predstavljaju značajnu polaznu informciju u procesu optimizacije.

5. Literatura

[1] UNSCEAR, 2010. Sources and Effects of Ionizing Radiation". UNSCEAR 2008 Report, United Nations, New York.

[2] NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. The National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, USA.

[3] European Commission, 1997. Council Directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure. L 180, Vol 40, 22-27.

[4] European Commission, 2008. EC Radiation Ptotection No 154: European Guidance On Estimating Population Doses From Medical X-Ray Proceedures, Luxembourg, 2008.

[5] ICRP 53. The International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients fromradiopharmaceuticals. ICRP Publication 53, Annals ICRP, 18 (1-4), 1987. ISBN 0 08 035591 9.

[6] ICRP 80. The International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. ICRP Publication 80. 28 (3), 1998. Addendum to ICRP 53. Also includes Addendum 1 to ICRP Publication 72. ISBN 0 08 043 5734.

[7] http://www.srbija.gov.rs

ABSTRACT

POPULATION DOSE ASSESSMENT FROM NUCLEAR MEDICINE EXAMINATIONS IN SERBIA

Olivera CIRAJ-BJELAC, Danijela ARANĐIĆ, Duško KOŠUTIĆ, Đorđe LAZAREVIĆ, Predrag BOŽOVIĆ i Dragana ČEKEREVAC

Institut za nukelarne nauke Vinča, Beograd, Srbija

ociraj@vinca.rs

Medical exposure is the most significant contributor to the population dose from man-made sources of radiation, with ever increasing trend. The paper presents results of population dose assessment from diagnostic nuclear medicine examinations. Base on 10 hospitals, total number of procedures was assessed to be 35000, with associated collective dose of 125 man Sv. Average effective dose per caput was estimated to 17 μSv. Large variations in practice were observed, indication scope for optimisation. Also results for national diagnostic reference levels were proposed.

INTERKOMPARACIJA MERENJA PERSONALNOG DOZNOG EKVIVALENTA HP(10) U POLJIMA FOTONSKOG ZRAČENJA U SRBIJI I CRNOJ GORI

Olivera CIRAJ-BJELAC[1], MIODRAG ANTIĆ[2], Jelica KALJEVIĆ[1], Olivera MARNKOVIĆ[3], Nikola SVRKOTA[4], DUŠICA VUČIĆ[2], Mladen VUKČEVIĆ[1], Milojko KOVAČEVIĆ[1]

1)Institut za nukelarne nauke Vinča, Beograd,Srbija ociraj@vinca.rs

2)ZZZZR Niš, Odeljenje za zaštitu od zračenja, Niš, Srbija

3)Agencija za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost Srbije, Beograd, Srbija

4)Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati prve interkomparacije u oblasti individualnog monitoring u Srbiji i Crnoj Gori koja se odnosi na merenje spoljašnjeg izlaganja celog tela a čiju organizaciju je iniciralo Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore. Osnovni zadatak interkomparacije bio je verifikacija karakteristika laboratorija za individualni monitoring na osnovu ocene kapaciteta ovih laboratorija da izmere dozimetrijsku veličinu Hp(10) u poljima x i gama zračenja. U radu je opisana metodologija i način organizacije interkomparacije, prikazani su postignuti rezultati i date odgovarajuće preporuke.

1. Uvod

Jedan od značajnih elemenata kvaliteta Laboratorija za individualni monitoring jeste periodično učešće u nacionalnim i međunarodnim interkomparacijama. Dalje, interkomparacija pomaže laboratorijama da postignu zadovoljavajući nivo tačnosti i postignu i očuvaju kvalitet dozimetrijskog servisa [1-3]. Imajući u vidu potrebu za međulaboratorijskim merenjima ali i činjenicu da je učešće u interkomparacijama i deo Sistema kvaliteta čijem uspostavljanju laboratorije teže, Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore pokrenulo je inicijativu za organizaciju međulaboratorijskih merenja iz oblasti individualnog monitoringa koja bi bila regionalnog karaktera i o tome obavestilo sve ovlašćene laboratotije u Srbiji i Crnoj Gori.

Osnovni zadatak interkomparacije je verifikacija karakteristika laboratorija za individualni monitoring na osnovu ocene kapaciteta ovih laboratorija da izmere dozimetrijsku veličinu Hp(10) u poljima x i gama zračenja [1]. U radu su prikazani rezultati interkomparacije koja se odnosi na merenje spoljašnjeg izlaganja celog tela, sa idejom da ovo bude prva u nizu interkomparacija u oblasti individualnog monitoringa.

2. Obim interkomparacije

Interkomparacija se odnosi na pasivne dozimetre pomoću koji se meri dozimetrijska veličina Hp(10) u poljima x i gama zračenja. Imajući u vidu praksu u laboratorijama, jedini tip dozimetara koji je očekivan u interkomparaciji jesu termoluminescentni dozimeti (TLD), tipa TLD-100.

3. Organizacija interkomparacije i ozračivanje dozimetara

U cilju uspešnije organizacije intekomparacije, 15. januara 2010. godine održan je pripremni sastanak predstavnika zaintersovanih laboratorija za individualni monitoring sa ciljem da se precizno definišu uslovi i način realizacije interkomparacije. Ozračivanje dozimetara obalvljeno je tokom marta 2010. godine, dok je prikupljanje rezultata

realizovano u periodu april-juni 2010. godine. Radijacione aktivnosti obavljene su u Metrološkoj dozimetrijskoj laboratoriji (MDL) Instituta za nuklearne nauke Vinča, koja je članica WHO/IAEA mreže Sekundarnih standardnih dozimetrijskih laboratorija. Laboratorija poseduje izvore koji omogućavaju ozračivanje dozimetara u poljima x i gama zračenja kao i odgovarajuće referntne standarde.
Ozračivanje dozimetara za potrebe interkomparacije ostvareno je u poljima gama zračenja ^{137}Cs i ^{60}Co (S-Cs i S-Co) i poljima x-zračenja ISO W kvaliteta (W-80, W-110, W-150) [4-7], kao što je prikazano u Tabeli 1. Navedeni uslovi odgovaraju opsegu energija 30 keV-1.3 MeV i opsegu doza 0.2 mSv- 500 mSv. Upadni ugao od 0° korišćen je za ozračivanje u svim kombinacijama doza i kvaliteta snopa. Za potrebe ove interkomparacije, u MDL su korišćeni standardi: UNIDOS T10002-20767 sa jonizacionom komorom TW 32002-0311, kalibrisan u polju ^{60}Co i ^{137}Cs, merne nesigurnosti ±1.2 % i UNIDOS T10002-20767 sa jonizacionom komorom TW 32002-0310, kalibrisan u polju x-zračenja, ukupne merne nesigurnoti ±1.9 %. Ukupna kombinovana proširena merna nesigurnost određivanja veličine Hp(10) iznosi 1.8%.

Tabela 1. Kvaliteti snopa korišćeni za ozračivanje dozimetara[4-7]

Kvalitet snopa gamazračenja	**Radionuklid**	**E_{sr} (keV)**
ISO S-CS	^{137}Cs	662
ISO S-Co	^{60}CO	1250
Kvalitet snopa x-zračenja		
ISO W-80	/	57
ISO W-110	/	79
ISO W-150	/	104

U interkomparaciji su učestvovale četiri laboratorije, interno označene slovima A, B, C i D. Za potrebe intrekomparacije, svaka laboratorija je poslala ukupno 18 dozimetara. U interkomparaciji je za potrebe ozračivanja korišćeno ukupno 15 različitih kombinacija kvaliteta snopa i doze i isto toliko dozimetara, dok su tri dodatna dozimetra imali funkciju kontrolnih. Ozračivanje ukupno 60 dozimetara, u grupama od po 4 dozimetra, je obavljeno za rastojanje izvor-dozimetar 200 cm. Dozimetri su fiksirani na 30 x 30 x 15 cm^3 fantom (ISO, polimetil-metakrilat/voda), pomoću lepljive trake debljine 0,05 mm [3]. Izmena dozimetara obavljana je ručno a uključivanje i isključivanje aktivnog rada izvora obavljeno je automatski. Nakon ozračivanja, dozimetri su vraćeni laboratorijama radi očitavanja a rezultati su naknadno dostavljeni koordinatoru interkomparacije.

4. Zahtevi u interkomparaciji

Osnovni zahtev individualnog monitoringa jeste obezbeđivanje tačne vrednosti određenih dozimetrijskih veličina, u ovom slučaju Hp(10) u svim situacijama koje mogu nastati u praksi a na zadovoljavajućem nivou tačnosti. Na osnovu zahteva Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja (ICRP), 95% referisanih godišnjih vrednosti doza mora biti unutar intervala prihvatljive merne nesigurnosti [1]. Za potrebe usaglašenosti sa regulatonim zahtevima, dozimetri pomoću kojih se meri veličina Hp(10) ne bi trebalo da

se razlikuju za više od -33% i +50% (na nivou poverenja od 95%) u odnosu na dozu koja bi bila izmerena hipotetčkim idelanim dozimetrom, u isto vreme i na istom mestu.
Dozimetri koji se koriste za individualni monitoring moraju ispuniti zahteve u pogledu merene nesigurnosti na dva nivoa:

1. U oblasti bliskoj granici izlaganja, faktor 1.5 u oba pravca se može smatrati prihvatljivim;
2. Na niskim vrednostima doza (recording level), prihvatljiva merna nesigurnost iznosi ±100%.

Prema navedenim zahtevima, interval u kome se moraju nalaziti izmerene vrednosti nalazi se između gornje (R_{ul}) i donje granice (R_{ll}), definisane sledećim izrazima [1]:

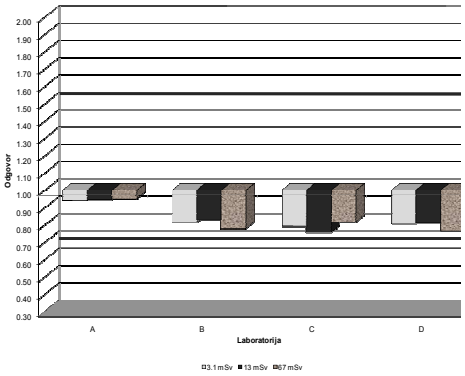
$$Rul = 1.5 \times \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_1}\right) \qquad (1)$$

$$Rll = \begin{cases} 0 & H_1 < H_0 \\ \frac{1}{1.5}\left(1 + \frac{2H_0}{H_0 + H_1}\right) & H_1 \geq H_0 \end{cases} \qquad (2)$$

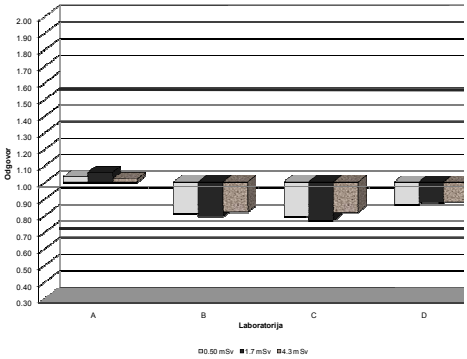
Za veličinu Hp(10), i period monitoring od nekoliko meseci, H_0 iznosi 0.08 mSv (1 mesec) i 0.17 mSv (2 meseca). Imajući u vidu zahtev da izmerena vrednost mora biti u intervalu -33% i 50% u odnosu na dogovorenu tačnu vrednost, tada standardna devijacija merenja, računajući sve uticajne veličine i merne nesigurnosti tipa A i B iznosi (GUM): $1.96|\sigma| = 0.5(0.33 + 0.50) \rightarrow \sigma \leq 2.12$. Ukupna kombinovana i proširena merna nesigurnost tada iznosi 1.96σ=0,415 [1].

5. Rezultati

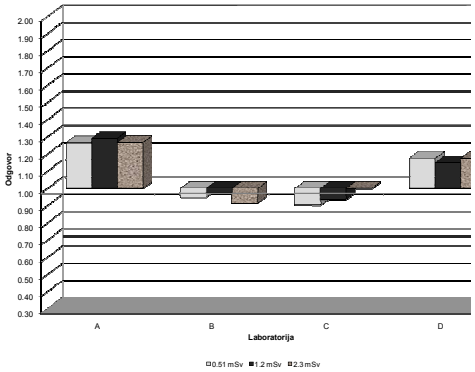
Interkomparacija je bila usmerena ka oceni karakteristika laboratorija koje se bave procenom spoljašnjeg individualnog izlaganja, a u cilju da se evaluira tačnost i nivo kvaliteta dozimetrijskog servisa. U oblasti doze iznad 1 mSv, koji je korišćen u 12 od 15 slučajeva (80%), oblast prihvatljivosti razultata je aproksimirana odgovorom (R), i to vrednošću 0.66 za donju i 1.5 za gornju granicu. Rezultati interkomparacije za pet kvaliteta snopova prikazani su na Slikama 1-5.
Sve izmerene vrednosti bile su unutar zadatih granica prihvatljivosti. Dve laboratorije su pokazale trend ka podcenjivanju doza za sve kombinacije kvalitet snopa-doza, iako su sva pojedinačna merenja bila unutar granica prihvatljivosti. Najveća odstupanja zabeležena su za kvalitet snopa ISO W-80, sa srednjom energijom od 57 keV. Dve laboratorije su u ovom slučaju precenile dozu, dok su preostale dve pokazale obrnut trend. Slični rezultati za kvalitet snopa W-80 zabaleženi su i u drugim interkomparacijama ove vrste [8,9].



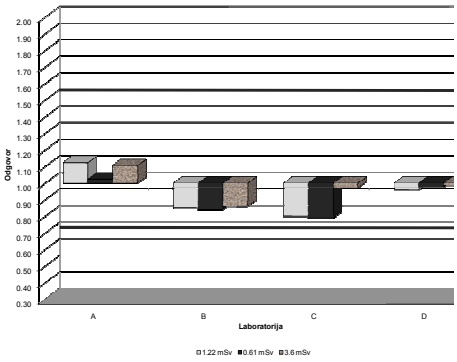
Slika 1. Faktor odgovora za kvalitet snopa ISO S-Co



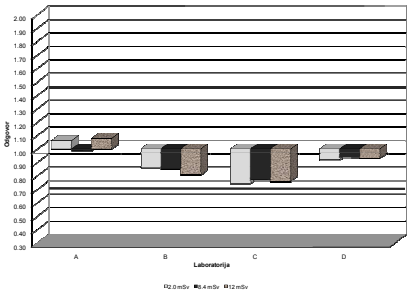
Slika 2. Faktor odgovora za kvalitet snopa ISO S-Cs



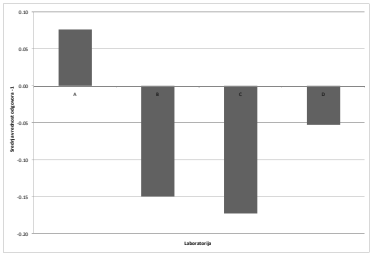
Slika 3. Faktor odgovora za kvalitet snopa ISO W-80



Slika 4. Faktor odgovora za kvalitet snopa ISO W-110



Slika 5. Faktor odgovora za kvalitet snopa ISO W-150



Slika 6. Srednja vrednost odgovora umanjena za 1 u laboratorijama koje su učestvovale u interkomparaciji

Na Slici 6 je prikazana srednja vrednost odgovora umanjena za 1 (R-1) u laboratorijama koje su učestovavle u interkomparaciji. U svim laboratorijama koje su učestvovale u interkomparaciji, rezultati merenja doze bili su unutar intervala R (0.74, 1.29).
Odnos izmerene i zadate vrednosti za sve kombinacije kretao se u intervalu od 0.74 do 1.29. Za pojedine laboratorije vrednost R bila je u intervalima: 0.94-1.29 za laboratoriju A, 0.78-0.97 za laboratoriju B, 0.74-1.00 za laboratoriju C i 0.77-1.18 za laboratoriju D.

6. Zaključak i preporuke

Sve laboratorije koje su učestvovale u interkomparaciji su za sve kombinacije kvalitet snopa-doza pokazale zadovoljavajuće performanse, imajući u vidu definisane kriterijume prihvatljivosti, odnosno interval 0.66-1.5 za odgovor dozimetra (R).
Interkomparacija predstavlja značajunu podršku kvalitetu servisa laboratorija za inidividualni monitoring. Najznačaniji problem koji je uočen tokom interkomparacije jeste nepostojanje budžeta merne nesigurnosti u pojedinim laboratorijama. U tom smislu, učesnicima interkomparacije je preporučeno da sačine budžet merne nesigurnosti za svoju laboratoriju, u skladu sa važećim međunarodnim preporukama.
Redovne interkomparacije koje bi obuhvatile različite kvalitete snopova ali i procenu uglovne i energetske zavisnosti dozimetara pomogle bi uspostavljanju i očuvanju kvaliteta servisa laboratorija za individulani monitoring.

7. LITERATURA

[1] International Atomic Energy Agency. Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, IAEA Safety Standards SeriesNo. RS-G-3.1, IAEA, Vienna (1999).

[2] European Commission. Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation. Radiation Protection 160. Luxembourg (2009)

[3] International Atomic Energy Agency. Calibration of radiation protection monitoring instruments. SafetyReport Series, No. 16, IAEA (2000).

[4] International Electrotechnical Commission. Radiation Protection Instrumentation. Measurement of Personal Dose Equivalent Hp(10) and Hp(0.07) for X, Gamma, Neutron and Beta radiation: Direct Reading Personal Dose Equivalent and monitors. International Standard IEC 61526 (2005).

[5] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy, Part 1: Radiation characteristics and production methods. International Standard ISO 4037-1. (ISO, Geneva) (1996).

[6] International Organization for Standardization. X and gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, Part 2: Dosimetry for Radiation Protection over the Energy Ranges 8 keV to 1.3 MeV and 4 MeV to 9 MeV. International Standard ISO 4037-2. (ISO, Geneva) (1997).

[7] International Organization for Standardization. X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Determination of their Response as a Function of Energy and Angle of Incidence. International Standard ISO 4037-3 (ISO, Geneva) (1999).

[8] Lund E, Kyllonen J, Grindborg et al. Performance testing of personal dosimeters for, eleven dosimetry services in Sweden. Radiat Prot Doisim. 96: 99-103 (2001).

[9] Msimang1 Z, Cruz-Suarez R, Zeger J. Intercomparison on Measurements of the Quantity Personal Dose Equivalent Hp(10) In Photon Fields in The African Region. Radiat Prot Dosim 144: 282–286 (2011).

ABSTRACT

INTERCOMPARISON ON MEASUREMENTS OF THE QUANTITY PERSONAL DOSE EQUIVALENT Hp(10) IN PHOTON FIELDS IN SERBIA AND MONTENEGRO

Olivera CIRAJ-BJELAC[1], MIODRAG ANTIĆ[2], Jelica KALJEVIĆ[1], Olivera MARNKOVIĆ[3], Nikola SVRKOTA[4], Mladen VUKČEVIĆ[1], Milojko KOVAČEVIĆ[1]

1)Vinca Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia, Beograd, ociraj@vinca.rs

2) Institute for Occupational Health, Nis, Serbia

3)Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Belgrade, Serbia

4) Centre for Ecotoxicological Research, Podgorica, Montenegro

Within its occupational radiation protection programme, the radiation Protection Association of Serbia and Montenegro initiated and organized an intercomparison exercise of personal dosimeters to determine the quantity personal dose equivalent in photon radiation fields. The objectives of the intercomparison are to assess the capabilities of the dosimetry services in measuring the quantity Hp(10) in photon fields. The paper presents the results of the intercomparison, with an aim to help individual monitoring laboratories to comply with quality management requirements and to harmonies the use of internationally agreed quantities and recommended assessment methods. The scope of the intercomparison was limited to passive dosimeters, which determine the personal dose equivalent in photon radiation fields. The comparison protocol, results, conclusions and recommendations are presented in the paper.

PHYSICAL AND TECHNICAL ASPECTS OF QUALITYASSURANCE IN MAMMOGRAPHY IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

Jovica Ž. PRASKALO[1], Biljana KOČIĆ[1], Jasna Đ. DAVIDOVIĆ[2] i Olivera CIRAJ-BJELAC[3]

1) *Public Health Institute, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina*
2) *Clinical Centre Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina*
3) *Radiation and Environmental Protection Department, Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

In this paper, a brief survey is given on the mammography screening practice in the Republic of Srpska. As an illustration, results of measurements of technical parameters, including mean glandular dose, for 31 mammography units are presented. Large fluctuations in dose among different measuring sites were found, unacceptable not only from the standpoint of mammography screening, but in clinical mammography as a whole. Subsequently, a series of quality control tests and corrective measures throughout the mammography imaging chain are proposed, in line with international guidelines and newly promulgated national legislation.

1. Introduction

Mammography also involves ionising radiation. Thus, there is a certain risk for inducing cancer, since the breast is a highly vulnerable radiosensitive organ, particularly in its developing phase, i.e. from adolescence to the beginning of the lactation period. According to some UK risk estimates, mammography contributes with a 1:100000 cancer risk per each view, with 1:21 being the overall risk of getting breast cancer in the course of a lifetime [1]. A periodic QC of all the X-ray units in the Republic of Srpska has been re-established in the post-war period, more precisely, between 2001 and 2004 [2]. With the goal of providing an insight into the present technical aspects of the Republic of Srpska mammography screening program, this paper reviews the main types of mammography equipmentcurrently in use on its territory. Also, some results based on dose measurements (such as half-value layer, mean glandular dose and scattered radiation dose rates in proximity of mammographic units) for standard breast examination, are reported here.

2. Materials and methods

X-ray units. In the framework of Republic of Srpska's healthcare system, 31 mammography units (2 of them being mobile) of different models and manufacturers are currently in use, deployed both in public and private clinical institutes, namely: Philips Fmax (1 unit), Philips Mammo Diagnost (3), Planmed Sophie (1), Metaltronica Lilyum (2), Siemens Mammomat 1000 (7), Siemens Mammomat 3000 (4), Siemens Mammomat C3 (1), Hologic Lorad M-IV (1), GE Performa (2), GE Alpha RT (2), GE Alpha ST (2), GE Alpha III (2), GE Senographe 500T (2), GE Medical Systems 800T (1).

Image receptors. Mammography systems use standard 18×24 cm and 24×30 cm cassettes, depending on the size of the imaged breast. Various film-screen combinations are used as image receptors in 30 out of 31 mammography units. An important mammography dose index is given by the so called mean glandular dose (also referred to as MGD or D_G) [6, 7,12]. Direct measurement of MGD is not possible; instead, an

estimate for the real patient or standard poly-methil metacrilate (PMMA) phantom is made, based on the measured value of incident air kerma on breast skin surface, corrected by appropriately chosen conversion factors. Asasubstitute to the real breast, a 45 mm PMMA dosimetry phantom is used as the standard in dose measurements [6,12]. Assuming that the values of conversion factors for the given mammography unit, as well as the characteristics of the imaged breast (such as breast size and composition) are known, the mean glandular dose may be computed as follows [7,8,12]:

$$MGD = K \cdot g \cdot c \cdot s, \quad (1)$$

where K, is air kerma at entrance surface, g represents a factor accounting for 50% breast glandularity, varying with different HVL values, c is the correction for the deviation of the breast tissue examined from 50% glandularity, whereas s is an indication of different target-filter combinations. According to the European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis [7], the reference vale for MGD is 2.5 mGy.
For each mammography unit, 2 sets of measurements were performed. The first was a workplace monitoring or dose rate measurement by means of a portable instrument. The second set of measurements consisted in a series of QC tests of the mammograph itself, including X-ray tube parameters and dose- related quantities (such as air kerma), using appropriate phantoms.
Radiation measurement instruments used for these checks were the Scintillator Probe 6150AD-b (by *Automess*, Germany) and Barracuda (by *RTI Electronics*, Sweden). A 45 mm PMMA block was applied as dosimetry phantom. MGD is computed for typical clinical values of the tube voltage (kVp), product of current and time ($I \cdot t$) and target-filter combination. Among the 31 units tested, X-ray tube voltage was found to have a constant value for each single unit ranging between 24 and 34 kV. The current-time product varied between 20 and 160 mAs, whereas exposure time took the values up to a maximum of 1.8 s. In X-ray tubes, a Mo/Mo target-filter combination was employed (see Table 1). The focus-film distance during image acquisition was the same (65 cm) for all the units.

3. Results

Half value layer. HVL values for the 31 units measured are given in Table 1. They vary between 0.33–0.65 mm Al, whereas only the values comprised within the 0.36 ± 0.02 mm Al range may be considered satisfactory, according to [7].
Mean glandular dose to the standard breast. The MGD for all 31 units was computed based on the measured values of incident air kerma on the surface of a 45 mm PMMA phantom. Mean glandular dose values lie within the 0.28–7.74 mGy range. In 21 cases (68%), MGD inferior to 2 mGy was found; the remaining 6 units (19%) had their MGD values comprised between 2 and 2.5 mGy (i.e. between the achievable and the acceptable value, as prescribed by [7]), whereas in 4 units (13%), the MGD measured more than 2.5 mGy (Figure 1).

Ambiental dose rate. Dose rate measurements show that for 24 out of 31 mammography units, dose rates do not exceed 0.10 μSv/h. In 3 cases, on the door of the technician's room, dose rates within 0.20–0.30 μSv/h were measured. Moreover, dose rates ranging between 0.13–0.60 μSv/h were measured behind mobile shields in 3 cases. In one of the two mobile units, the dose rate on the front side of the door reached 0.62 μSv/h.

Table 1. Values obtained for the standard breast simulated with a 45 mm PMMA dosimetry phantom; *c*, *g* and *s* values have been taken from [7].

	min	MAX	mean	SD	median
Uo [kV]	24	34	29	2	28
I·t [mAs]	20	160	77	30	80
K [mGy]	1.4	24	7.8	5.1	6.6
HVL [mmAl]	0.32	0.65	0.38	0.08	0.36
MGD [mGy]	0.27	7.7	1.7	1.6	1.3

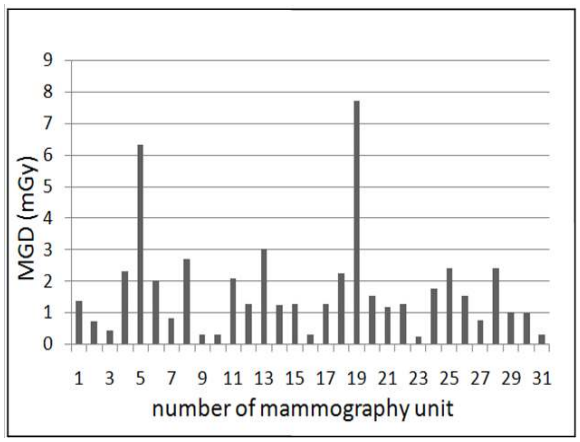


Figure 1. Results of MGD assessment in 31 mammography units

4. Discussion and conclusions

In the Republic of Srpska, a mammography screening practice has, at least declaratively, been applied in the past several years. Nevertheless, a strong belief that a whole series of steps along the existing mammography screening chain need to be undertaken in order to improve the screening procedure and bring it to the level of compliance with European quality standards and newly promulgated national regulative is all present.

Quality control protocols apply to all of the components of the screening process – not only the staff involved, but the equipment used, as well as practices and legal requirements implemented. It is, therefore, necessary to maintain the screening equipment in good technical condition, as well as to perform the prescribed periodic quality checks of – i.e. image acquisition, processing, viewing, archiving and interpretation – such as light boxes, displays, computed radiography cassettes and readers, film developing systems, laser printers, as well as stereotactic biopsy units, etc.

Based on the statistical data presented in the form of tables and plots, it can be concluded that there are large fluctuations in MGD. Although for the majority of units tested, the MGD was found to comply with reference values, in several cases, the legally prescribed levels were significantly exceeded. This situation calls for a series of corrective measures, both on the maintenance and image acquisition level.

Even among the mammographs whose parameters comply with legal requirements, there are significant fluctuations in measured values of the parameters considered in this paper, which is unacceptable according to mammography screening quality criteria. It is, therefore, necessary to harmonize all parameters relevant to mammo imaging in all healthcare institutions appointed for the implementation of mammography screening.

Establishing a fully integrated QA and QC system is a joint task of all the participants in the mammography screening chain [7].

5. Literature

[1] Ciraj-Bjelac, O., Beciric, S., Arandjic, D., Kosutic, D. and Kovacevic, M. Mammography Radiation Dose: Initial Results from Serbia Based on Mean Glandular Dose Assessment for Phantoms and Patients, *Radiat. Prot. Dosim*. Vol. 140, No.1, (2010), pp. 75-80

[2] Bosnjak, J., Ciraj-Bjelac O. and Strbac, B. Implementation of Quality Assurance in Diagnostic Radiology in Bosnia and Herzegovina (Republic of Srpska), *Radiat. Prot. Dosim.*,Vol. 129, No. 1-3, (2008), pp. 249-252

[3] Lončar, B., Vujisić, M., Stanković, K., Osmokrović, P. Stability of Metal-Oxide Varistor Characteristics in Exploitation Conditions, *Acta Physica Polonica A*, Vol. 116, No. 6, (2009), pp. 1081-1084

[4] Stanković, K., Pešić, M., Osmokrović, P., Vujisić, M. Surface Time enlargement law for gas pulse breakdown, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 15, No. 4, (2008), pp. 994-1005

[5] Živković, M. M., Stantić, T. J., Ciraj-Bjelac O. F. Technical aspects of quality assurance in mammography: preliminary results from Serbia, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 25, No.1,(2010), pp. 55-61

[6] European Commission, European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images, EUR 16260 EN, European Communities, Luxembourg (1996)

[7] European Commission, European Guidelines for Quality Assurance in BreastCancer Screening and Diagnosis.4th ed. Luxembourg: European Communities (2006)

[8] Faulkner, K., Mammographic Screening: is the Benefit Worth the Risk? *Radiat. Prot. Dosim.,* Vol.117, No.1-3, (2005), pp. 318-320

[9] Ciraj-Bjelac, O, Faj, D., Stimac, D., Kosutic, D., Arandjic, D., Brkic, H. Good reasons to implement quality assurance in nationwide breast cancer screeninng programs in Croatia and Serbia: Results from a pilot study, *Eur. J. Radiol.*, Vol. 78, No. 1, (2011), pp. 122-128.

[10] Faj, D., Posedel, D., Štimac, D. et al, Survey of Mammography Practice in Croatia: Equipment Performance, Image Quality and Dose, *Radiat. Prot. Dosim*., Vol. 131, No. 4, (2008), pp. 535-540

[11] Faulkner, K., Wallis, M. and Whitaker, C. Evaluation of the Population Dose to the UK Population from the National Health Service Breast Screening Programme, *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol.129, No. 1 184-190, (2008)

[12] International Atomic Energy Agency. Dosimetry in Diagnostic Radiology: an International Code of Practice. Technical Report Series no 457 (Vienna: IAEA), (2007)

САДРЖАЈ

ФИЗИЧКО-ТЕХНИЧКИ АСПЕКАТИ КОНТРОЛЕ КВАЛИТЕТА У МАМОГРАФИЈИ У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

Jovica Ž. PRASKALO[1], Biljana KOČIĆ[1], Jasna Đ. DAVIDOVIĆ[2] i Olivera CIRAJ-BJELAC[3]

1) Public Health Institute, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

2) Clinical Centre Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

3) Radiation and Environmental Protection Department, Vinca Institute of Nuclear Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

У овом раду дат је кратак приказ скрининг мамографије у Републици Српској. Као илустрација тренутног стања техничких параметара, наводе се средње вредности дебљине полуслабљења и врши се прорачун средње гландуларне дозе за 31 мамограф, на основу резултата мерења које је извршила за то сертификована институција. Уочљиве су велике флуктуације у вредностима дозе између појединачних апарата обухваћених мерењем, што је недопустиво не само у светлу скрининг-мамографије него и у клиничкој мамографији. Због тога се предлаже низ тестова квалитета и корективних мера које би требало да обухвате читав дијагностички процес, у складу са европским смерницама и недавно усвојеним националним правилницима.

SNIMANJE DECE U CT DIJAGNOSTICI: PACIJENTNE DOZE U DEČJIM KLINIKAMA U SRBIJI

Danijela ARANĐIĆ, Olivera CIRAJ-BJELAC i Djordje LAZAREVIĆ
INN Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, darandjic@vinca.rs

SADRŽAJ
U radu su prikazani rezultati sakupljanja podataka o pacijentnim dozama kod snimanja pedijatrijskih pacijenata u CT dijagnostici u dečjim bolnicama u Srbiji. Istraživanjem su obuhvaćene 3 bolnice a dobijeni podaci reprezentuju tipičnu praksu u našoj zemlji. Podaci su sakupljeni u formi $CTDI_{vol}$ i DLP za različite starosne grupe pacijenata za procedure snimanja glave, pluća i abdomena. Vrednosti za $CTDI_{vol}$ i DLP bile su ispod DRL za odrasle pacijente i u rangu sa do sada publikovanim vrednostima za pedijatrijske pacijente. Spektar vrednosti dobijen za iste procedure u 3 bolnice ukazuje na mogućnost za optimizaciju protokola.

1. Uvod

Snimanje dece na rendgen-aparatima za kompjuterizovanu tomografiju (CT) neosporno doprinosi bržem uspostavljanju dijagnoze i kvalitetnijem lečenju. Ova metoda omogućava vizuelizaciju unutrašnjosti pacijenta sa prostornom rezolucijom od 2 mm, dok je razlika u gustini mekog tkiva koja se može videti na CT snimcima 30 puta manja nego u konvencionalnoj radiografiji. Ovakva sposobnost vizuelizacije eliminiše nepotrebne dijagnostičke hirurške intervencije, što je naročito važno kada je reč o pedijatrijskim pacijentima.

Međutim, pacijentna doza za dete u CT dijagnostici je veoma visoka. Na osnovu istraživanja Brenera iz 2001 godine [1], utvrđeno je da rizik za nastanak fatalnog karcinoma kod dece podvrgnute CT snimanjima iznosi 1 u 1000. Deca su osetljivija na zračenje od odraslih pacijenata usled bržeg razmnožavanja ćelija i nesposobnosti da se oporave od mutacija izazvanih jonizujućim zračenjem. Pored toga, očekivani životni vek je duži kod dece te je verovatnoća za razvoj radijacionog karcinoma veća nego kod odraslih.

Mnoga istraživanja pokazuju da se broj CT pregleda kod dece rapidno povećava [2, 3, 4]. Od ukupnog broja CT pregleda od 2 do 5 % su pregledi na pedijatrijskim pacijentima [5, 6]. Takođe, utvrđeno je da se u mnogim ustanovama kod snimanja dece koriste isti parametri ekspozicije kao za odrasle pacijente, što rezultuje znatno većom dozom za dete [7, 8].

Koncept Dijagnostičkih referentnih nivoa (Diagnostic Reference Levels- DRL) uveden je da bi se lakše pratio trend pacijentnih doza, ukazalo na lošu i promovisala dobra praksa, što za krajnji cilj ima smanjivanje pacijentnih doza [9, 10]. Iako postoje brojna istraživanja na temu pedijatrijskih doza u CT dijagnostici i publikovane vrednosti za DRL na nacionalnom nivou [11, 12, 13], internacionalni DRL još uvek nisu određeni.

U ovom radu prikazani su rezultati sakupljanja podataka o pacijentnim dozama kod snimanja pedijatrijskih pacijenata na CT uređajima u Srbiji. Podaci su prikupljeni iz 3 dečje bolnice i reprezentuju tipičnu praksu u našoj zemlji.

2. Materijali i metod

U Srbiji postoje 4 pedijatrijske bolnice, a 3 su opremljene sa CT uređajima. Podaci o pacijentnim dozama prikupljeni su iz sve 3 bolnice. Karakteristike uređaja na koje se podaci odnose date su u Tabeli 1. Bolnice su interno označene slovima A, B i C.

Tabela 1. Karakteristike CT uređaja u dečjim bolnicama u Srbiji.

Bolnica	Proizvođač i model	Broj detektora	Godina instalacije	Automatska kontrola ekspozicije
A	Siemens Somatom Emotion 16	16	2008	Da
B	Toshiba Aquilion 16	16	2009	Da
C	General Electric BrightSpeed S	16	2008	Da

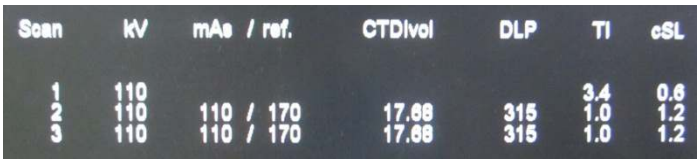
Podaci su prikupljeni za 3 standardne procedure (glava, pluća i abdomen) i 4 različite starosne grupe pacijenata mlađih od 15 godina (< 1, 1 - <5, 5 - <10 i 10 - 15 godina). Za određenu proceduru prikupljeno je između 5 i 10 pacijenata za svaku starosnu grupu. Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 222 pacijenta, 116 dečaka i 106 devojčica. Pacijentne doze su određene kao srednja vrednost podataka u starosnoj grupi za svaku proceduru.

Kao opšteprihvaćene veličine u CT dozimetriji [2, 14], podaci o dozama prikupljeni su u formi $CTDI_{vol}$ i DLP [15]. Pored toga, beleženi su i parametri ekspozicije i podaci o pacijentima (godište, masa i visina pacijenta). Podaci o frekvenciji pregleda na godišnjem nivou preuzeti su iz arhiva bolnica.

Različiti proizvođači CT uređaja koriste različite opcije za prikaz podataka o pregledu pacijenta. U praksi, podaci o pregledu pacijenta nalaze se ili na radnoj stanici (komandnoj konzoli) ili se čuvaju na CD-u u DICOM formatu. Očitavanje podataka sa komandne konzole je jednostavan postupak jer su svi podaci o pregledu (napon, struja, vreme rotacije, dozne vrednosti) prikazani na jednom mestu. Kada se podaci sa radne stanice prebace na CD, za njihovo očitavanje neophodno je posedovati odgovarajući program. S obzirom da su uređaji obuhvaćeni ovim istraživanjem od različitih proizvođača, sam način očitavanja doznih vrednosti razlikovao se u sva 3 slučaja.

Očitavanje podataka na CT uređaju Siemens Somatom Emotion 16

Za prikupljanje podataka na ovakvom uređaju dovoljno je podatke o pregledu koji su narezani na CD otvoriti u programu Syngo Viewer koji je dostupan na sajtu www.siemens.com. Podaci o pacijentu spremljeni su u DICOM formatu, a program omogućava lako očitavanje doznih vrednosti kao i parametara ekspozicije. Displej koji se to prilikom javlja prikazan je na Slici 1.

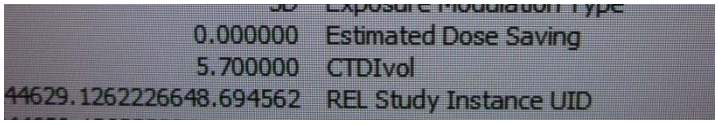


Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol	DLP	TI	cSL
1	110				3.4	0.6
2	110	110 / 170	17.68	315	1.0	1.2
3	110	110 / 170	17.68	315	1.0	1.2

Slika 1. Izgled displeja kod očitavanja podataka u programu Syngo Viewer.

Očitavanje podataka na CT uređaju Toshiba Aquilion 16

Za prikupljanje podataka na ovakvom uređaju dovoljno je podatke o pregledu koji su narezani na CD-u otvoriti u programu VITAL. U konkretnom slučaju, program VITAL bio je instaliran na pomoćnoj radnoj stanici. Podaci o vrednostima $CTDI_{vol}$ očitani su sa radne stanice, dok su vrednosti DLP određene na osnovu $CTDI_{vol}$, poznavajući broj preseka i njihovu širinu. Na Slici 2 prikazan je izgled DICOM formata koji sadrži vrednosti za $CTDI_{vol}$.



Slika 2. Izgled displeja kod očitavanja podataka u programu VITAL.

Očitavanje podataka na CT uređaju General Electric Bright Speed

Za prikupljanje podataka na ovakvom uređaju, ukoliko se podaci očitavaju sa CD-a, neophodno je takođe posedovati program za otvaranje DICOM formata. Takav program nije bio dostupan tokom ovog istraživanja te su podaci o dozama očitani direktno sa komandne konzole uređaja.

3. Rezultati i diskusija

Rezultati istraživanja prikazani su u Tabelama 2-6. U Tabeli 2 prikazani su podaci o frekvenciji CT pregleda u dečjim bolnicama u Srbiji. Značajno veći broj pregleda glave u bolnicama A i B, u odnosu na ukupan broj pregleda, posledica je činjenice da ove ustanove u datom periodu nisu raspolagale uređajem za magnetnu rezonancu.

Kod snimanja glave mogu se uočiti dvostruko manje vrednosti $CTDI_{vol}$ na CT uređaju Siemens Somatom Emotion 16 u odnosu na druga dva. Za ovu proceduru takođe su vidljive razlike u dozama između različitih starosnih grupa za isti uređaj, što ukazuje na pravilan odabir protokola kod snimanja pacijenata različitih uzrasta.

Kod snimanja pluća mogu se uočiti veoma slične vrednosti za bolnice A i B, dok su vrednosti za ovu proceduru u bolnici C znatno veće. Takođe, veoma slične vrednosti unutar starosnih grupa istog uređaja karakteristične su za ovu proceduru.

Interesantno je da je kod procedure snimanja abdomena u bolnici B primećen trend opadanja doznih vrednosti sa porastom starosti pacijenta, što je paradoks.

Inače, najveće DLP vrednosti uočene su u bolnici B. S obzirom na definiciju ove veličine, proizvod doze i dužine, mogući problem jeste i dužina skeniranja.

Sva 3 CT uređaja obuhvaćena ovim istraživanjem nude u svojim protokolima mogućnost da se kod snimanja dece koriste prilagođeni parametri ekspozicije. Protokoli se odnose na različite delove tela koji se snimaju, iako se od skora preporučuje korišćenje protokola koji bi bili zasnovani na težini deteta koje se snima [13]. Spektar vrednosti $CTDI_{vol}$ koji je dobijen u ovom istraživanju za istu proceduru i istu starosnu grupu ukazuje na mogućnosti za dodatnu optimizaciju protokola.

Vrednosti za $CTDI_{vol}$ i DLP koje su dobijene u ovom istraživanju bile su ispod DRL za odrasle pacijente [16] i u rangu sa do sada publikovanim vrednostima za pedijatrijske pacijente [12].

Tabela 2. Podaci o frekvenciji CT pregleda u dečjim bolnicama u Srbiji.

bolnica	broj pregleda u 2009 godini		
	glava	pluća	abdomen
A	1137	51	91
B	318	102	108
C	900	84	60

Tabela 3. Podaci o pacijentima (visina i težina).

		visina	težina
		srednja vrednost ± sd (min - max)	
starosna grupa	0-1	60 ± 10 (34-85)	5 ± 3 (5-12)
	1-5	95 ± 15 (60-128)	15 ± 5 (8-35)
	5-10	130 ± 15 (95-169)	30 ± 10 (14-73)
	10-15	165 ± 10 (138-185)	55 ± 15 (25-100)

Tabela 4. Podaci o doznim vrednostima za proceduru snimanja glave.

GLAVA		CTDI [mGy]			DLP [mGy·cm]		
		srednja vrednost ± sd (min - max)					
		A	B	C	A	B	C
starosna grupa	0 – 1	15 ± 1 (14 - 17)	25 ± 5 (25 – 33)	25 ± 5 (8 – 30)	250 ± 30 (200 –288)	500 ± 200 (216 – 792)	400 ± 170 (125 – 714)
	1 – 5	20 ± 1 (16 – 20)	45 ± 15 (16 – 57)	35 ± 10 (21 – 44)	340 ± 40 (247 – 408)	1200 ± 400 (538 – 1826)	570 ± 200 (339 – 1255)
	5 – 10	20 ± 2 (17 – 23)	50 ± 15 (20 – 61)	35 ± 10 (21 – 45)	500 ± 200 (270 – 792)	1080 ± 400 (572 – 1762)	570 ± 150 (320 – 727)
	10 - 15	25 ± 1 (21 – 25)	70 ± 35 (16 – 92)	40 ± 5 (28 – 45)	600 ± 200 (386 – 930)	1900 ± 1000 (358 – 2932)	600 ± 100 (452 – 852)

Tabela 5. Podaci o doznim vrednostima za proceduru snimanja pluća.

PLUĆA		CTDI [mGy]			DLP [mGy·cm]		
		srednja vrednost ± sd (min - max)					
		A	B	C	A	B	C
starosna grupa	0 – 1	3 ± 0 (3 – 3)	4 ± 0 (4 – 4)	7 ± 3 (4 – 9)	90 221 ± 127	190 ± 70 (131 – 310)	(137 – 236)
	1 – 5	3 ± 0 (3 – 3)	4 ± 3 (2 – 13)	8 ± 0 (8 – 8)	130 ± 50 (54 – 191)	400 ± 500 (121 – 1728)	305 ± 0 (305 – 305)
	5 – 10	4 ± 1 (3 – 5)	5 ± 4 (2 – 13)	-	130 ± 50 (64 – 227)	920 ± 700 (274 – 1852)	10 ± 0 (10 – 10)
	10 - 15	5 ± 2 (4 – 8)	6 ± 3 (2 – 14)	5 ± 3 (1 – 7)	200 ± 100 (73 – 454)	710 ± 400 (110 – 1300)	470 – 350 (30 – 995)

Tabela 6. Podaci o doznim vrednostima za proceduru snimanja abdomena.

ABDOMEN		CTDI [mGy]			DLP [mGy·cm]		
		srednja vrednost ± sd (min - max)					
		A	B	C	A	B	C
starosna grupa	0 – 1	3 ± 1 (3 – 4)	13 ± 0 (13 – 13)	-	150 ± 30 (120 – 191)	1130 ± 0 (1134 – 1134)	-
	1 – 5	4 ± 1 (2 – 4)	6 ± 3 (2 – 13)	-	180 ± 50 (102 – 228)	700 ± 400 (384 – 1576)	-
	5 – 10	7 ± 2 (4 – 10)	5 ± 1 (3 – 6)	-	400 ± 300 (172 – 851)	720 ± 500 (128 – 1256)	-
	10 - 15	6 ± 1 (4 – 8)	5 ± 1 (3 – 6)	-	400 ± 200 (125 – 579)	740 ± 400 (358 – 1522)	-

4. Zaključak

Dijagnostički referentni nivoi kod snimanja dece u CT dijagnostici na internacionalnom nivou još uvek nisu određeni. Sakupljanje podataka o CT dozama za ovu populacionu grupu na nacionalnom nivou od suštinske je važnosti za uspostavljanje internacionalnih DRL. U radu su prikazani podaci koji reprezentuju tipičnu praksu u našoj zemlji. Vrednosti doza su daleko niže od vrednosti za odrasle pacijente, i u rangu su sa do sada publikovanim vrednostima. Međutim, adekvatnom optimizacijom protokola doza za dete može dodatno da se smanji. Stoga buduća istraživanja treba usmeriti ka optimizaciji postojećih protokola za snimanje dece.

5. LITERATURA

[1] Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, et al. Estimated risk of radiation- induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR* 176 (2001) 289-296.

[2] Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA and Dunn M. National survey of doses from CT in the UK: 2003. *Br. J. Radiol.* 79 (2006) 968–980.

[3] Moss M and McLean D. Paediatric and adult computed tomography practices and patient dose in Australia. *Australas. Radiol.* 50 (2006) 33–40.

[4] Tsapaki V, Aldrich JE, Sharma R, Staniszewska MA, Krisanachinda A, Rehani M, Hufton A, Triantopolou C, Maniatis PN, Papailiou J and Prokop M. Dose reduction in CT while maintaining diagnostic confidence: diagnostic reference levels at routine, head, chest and abdominal CT-IAEA coordinated research project. *Radiology* 240 (2006) 828–834.

[5]Mettler FA, Thomadsen BR, Bhargavan M, Gilley DB, Gray JE, Lipoti JA, McCrohan J,Yoshizumi TT and Mahesh M. Medical radiation exposure in the U.S. in 2006: preliminary results. *Health Phys.* 95 (2008) 502–507.

[6] Tenkanen-Rautakoski P. Number of radiological examinations and procedures in 2008 (in Finnish). Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK). Report STUKB 121 (2008). ISBN: 978-952-478-540-2.

[7] Pages J, Buls N. and Osteaux M. CT dose in children: a multi-centre study. *Br. J. Radiol.* 76 (2003) 803–811.

[8]Paterson A, Frush DP and Donnelly LF. Helical CT of the body: are settings adjusted for paediatric patients? *Am. J. Roentgenol.* 176 (2001) 297–301.

[9] International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. ICRP (2007).

[10] European Commission. Council Directive 97/43/ Euratom of 30 June 1997, on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. Off. J. Eur. Commun. No L 180/22- 27, 9.7.1997.

[11]Shrimpton PC and Wall BF. Reference doses for paediatric computed tomography. *Radiat. Prot. Dosim.* 90 (2000) 249–252.
[12] Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA et al. National survey of doses from CT in the UK: 2003. *Br. J. Radiol.* 79 (2006) 968–980.
[13]Watson DJ and Coakley KS. Paediatric CT reference doses based on weight and CT dosimetry phantom size: local experience using a 64-slice CT scanner. *Pediatr. Radiol.* 40 (2010) 693–703.
[14]Muhogora WE et al. Patient doses in CT examinations in 18 countries: initial results from International Atomic Energy Agency projects. *Radiat. Prot. Dosimetry* 136 (2009) 118–126.
[15]International Electrotechnical Commission: Evaluation and routine testing in medical imaging departments—Part 2–6: Constancy tests—imaging performance of computed tomography X-ray equipment. International standard. IEC 61223-2-6. International Electrotechnical Commission (2006).
[16] European Guidelines on quality criteria for computed tomography, EUR 16262 EN

ABSTRACT

PAEDIATRIC COMPUTED TOMOGRAPHY: PATIENT DOSES IN HOSPITALS IN SERBIA

Danijela ARANĐIĆ, Olivera CIRAJ-BJELAC and Djordje LAZAREVIĆ
Vinca Institute of Nuclear Sciences, Radiation and Environmental Protection Department, Belgrade, Serbia, darandjic@vinca.rs

In this work the results about patient doses in paediatric CT are presented. Data were collected in 3 hospitals in terms of $CTDI_{vol}$ i DLP values. The obtained values were below DRL for adults and the very similar with already published data for paediatrics. Widely spread values among hospitals for the same kind of procedure and the same age group shows the possibility for optimization of protocols.

RADIATION DOSE AND RISK ASSESSMENT IN HYSTEROSALPINGOGRAPHY

Monika ŽIVKOVIĆ[1], Darko PLEĆAŠ[2] i Olivera CIRAJ-BJELAC[3]

1) Clinical Hospital Centre Zemun, Belgrade, Serbia

2) Clinical Centre of Serbia, Belgrade, Serbia

3)Vinca Institute of Nuclear Sciences; Belgrade, Serbia, ociraj@vinca.rs

ABSTRACT

Hysterosalpingography (HSG) is an importing diagnostic method for evaluation of female reproductive tract that involves exposure of patients to ionizing radiation. The irradiation of ovaries is unavoidable and both radiation exposure of the patient and associated radiological risk for fetus and born child during period of growth should be considered. The purpose of this work is to evaluate organ and patient doses and radiation risk during HSG procedures performed in a dedicated gynecological hospital. The entrance surface air kerma was measured for total 31 patients during HSG. Based on the obtained results radiogenic risk for hereditary effects and cancer induction was estimated. The estimated patient dose levels are in range 3-15 mGy with median value of 10 mGy in terms of ESAK. Estimated median ovarian and uterus doses are 1.7 and 2.3 mGy, respectively. The estimated risk for fatal cancer and hereditary effects is estimated to be 5.5 10^{-5} and 3.4 10^{-6}, respectively. Although low compared to natural incidence for genetic effects and cancer, it can be elevated in the case of prolonged or repeated procedures or if non-optimized protocol is used.

1. Introduction

Hysterosalpingography (HSG) is an important diagnostic method for evaluation of female reproductive tract that involves exposure of patients to ionizing radiation. It is a relatively frequent radiogynaecological procedure which is used to assess the uterine cavity and the patency of Fallopian tubes. The common indication for HSG is primary and secondary infertility [1,2,3,4]. During gynecoradiological procedures, HSG is only initial step. Based on findings at HSG, one may proceed with selective salpingography, tubal catheterization or other therapeutical procedures [5].

In radiological procedures in gynecology, irradiation of ovaries is unavoidable and one should consider both radiation exposure of the patient and associated radiological risk for foetus and born child during period of growth. Concerns over radiation dose received by patients and associated radiation risk have become a major public issue in recent years [6,7]. Contribution to collective dose from HSG is not significant [8,9], however, good radiation protection is of utmost importance at individual level as this examination involves irradiation of females of reproductive capacity and irradiation of gonadal region of relatively young patients with possible repeated examinations. In that sense, any dose and risk information is welcomed.

The purpose of this work is to evaluate organ and patient doses and radiation risk during HSG procedures performed outside the radiology department, in a dedicated gynecological hospital.

2. Methods

Clinical protocol for HSG used in a dedicated gynecological hospital comprised several radiographies in anterior-posterior (AP) projections following in utero administration of non-ionic radiological contrast. The protocol excluded any fluoroscopy, oblique and lateral projections. The examination protocol was designed in such way to minimize patient radiation dose. The survey was performed during June and July 2010. All patients were examined using three-phase, six-pulse generator Superix 1000 (EI Nis, Serbia), with over-couch x-ray tube, anti-scattering grid (grid ratio 12:1) in place and manual exposure control settings.

A solid-state dosimeter R-100 Barracuda (RTI Electronics, Sweden), calibrated in the traceable Secondary Standard Dosimetry Laboratory at the Vinca Institute of Nuclear Sciences was used for x-ray tube output measurements.

The tube voltage, tube current and exposure time were selected manually by radiographer to produce diagnostic quality images for given patient size. The film size used for all images was 24 x 30 cm with fixed focus-to film distance of 100 cm. The nominal speed class of film-screen combination was 400.

A total number of 31 patients were monitored during two-month period. For each patient and each projection following personal data and technical parameters were collected: age, body weight, height, tube potential, tube current time product, focus-to-film distance and film size used. Entrance Surface Air Kerma (ESAK) was calculated based on the radiation output measurements for each projection [10]. Further, using relationship between Kerma Area Product (KAP) and ESAK for a given filed size [11], KAP was calculated for each patient. A conversion factor of 0.29 mSv/Gycm^2 was used to calculate effective dose from assessed KAP values [9]. To allow estimation of organ doses for ovaries and uterus, United Kingdom's National Radiological Protection Board conversion factors have been used [12]. ESAK and KAP as input parameters have allowed organ dose assessment for each patient and actual radiation quality.

The radiation risk following HSG was estimated using available risk coefficients obtained from International Commission for Radiological Protection Report 103 [13]. The risk for cancer was calculated using detriment-adjusted nominal risk coefficients for stochastic effects after exposure to radiation at low dose rate. For whole population presents risk coefficient is 5.5 10-2 Sv-1. Although significantly lower (27 times) than risk for cancer development, the risk for genetic effects in future generations was obtained by multiplying the mean dose to ovaries by the risk factor of 0.2 10-2 Sv-1[13].

3. Results

In total, 31 patients were studied. The age of patients included in the survey ranged 19-43, with mean and median values of 31. Average body mass of these patients was 68 kg with associated range of 45-85 kg. Typical exposure parameters and dosimetry data are presented in Table 1. All HSG examination enrolled in this study were simple, without any further need for therapeutic procedure.

According to data presented in Table 1, it is estimated that doses to ovaries and uterus present 16% and 22 % of ESAK, respectively. A mean effective dose of 1 mSv for patients form HSG procedure is estimated using suitable convection coefficient of 0.29 mSv/Gycm^2. The risk for radiation-induced hereditary effects was determined by multiplying ovarian dose with and risk factor of 0.2 10^{-2} Sv^{-1}. This risk for deleterious effects on a future foetus from a HSG procedure performed on mother was found to be 3.4 10^{-6}. Using a risk factor of 5.5 10^{-2} Sv^{-1}, estimated risk for cancer induction in the exposed individual is estimated to be 55 10^{-6}.

Table 1. Typical exposure parameters and dose values from HSG examination

Parameter	Mean	Median	Range
Number of exposures	2.9	/	2-3
Tube voltage (kVp)	73±7	74	60-90
Tube current time product (mAs)	32±6	32	20-40
ESAK (mGy)	10±3	10	3-15
KAP ($Gy \cdot cm^2$)	3.2±0.92	3.2	1.1-4.5
Ovarian dose (mGy)	1.6±0.61	1.7	0.25-2.8
Uterus dose (mGy)	2.2±0.82	2.3	0.38-3.8

4. Conclusions

The study presents results of the first dose and risk assessment for HSG in Serbia. The estimated patient dose levels are in range 3-15 mGy with median value of 10 mGy in terms of ESAK. Estimated median ovarian and uterus doses are 1.7 and 2.3 mGy, respectively. The estimated risk for fatal cancer and hereditary effects is low compared to natural incidence for genetic effects and cancer. However, it can be elevated in the case of prolonged or repeated procedures or if non-optimized protocol is used.

5. References

[1] Gregan, A.C.,Peach, D., McHugo, J.M., Patient dosimetry in hysterosalpingography: a comparative study. *Br. J. Radiol.* 71 (1998), 850, pp. 1058-1061

[2] Sulieman, A., Theodorou, K., Vlychou, M., Topaltzikis, T., Roundas, C., Fezouliudas, I., Kappas, C., Radiation dose optimisation and risk estimation to patients and staff during hysterosalpingography. *Radiat. Prot . Dosim*. 128 (2008), 2, pp. 217-226

[3] Kramer, R., Khoury, H.J., Lopes, C., Vieira, J.W., Equivalent dose to organs and tissues in hysterosalpingography calculated with the FAX (Female Adult voXel) phantom. *Br. J. Radiol*. 79 (2006), 947, pp. 893-899

[4] Perisinakis, K., Damilakis, J., Grammatikakis, J., Theocharopoulos, N., Gourtsoyannis, N., Radiogenic risk from hysterosalpingography, *Eur. Radiol.* 13(2003); pp. 1522-1528

[5] Karande, V.C., Pratt, D.E., Balin, M.S.,. What is the radiation exposure to patients during a gynecoradiologic procedure? Fertil Steril. 67 (1997), pp. 401-403

[6] Rehani, M., Frush, D., Tracking radiation exposure of patients, *Lancet*. 376(2010), 9743, pp 754-755

[7] Holmberg, O., Malone, J., Rehani, M., McLean, D., Czarwinski, R. Current issues and actions in radiation protection of patients.*Eur J Radiol.*76 (2006), 1 pp. 15-19

[8] UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to General Assembly, UNSECAR, New York, 2010

[9] NCRP, 2009. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. NCRP Report 160. The National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, USA

[10] Intrenational Atomoc Energy Agency, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Report Sertiea No 457, IAEA, Vienna, 2007.

[11] Yakoumakis, E., Tsalafoutas, I., Nikolau, D., Nazos, I., Koulentianos, E., Proukakis, C. Differences in effective dose estimation from dose-area product and entrance surface dose measurements in intravenous urography, *Br. J. Radiol.* 74 (2001), 884, pp.727-734
[12] Hart, D., Jones, D.G., WallB.F. Normalized Organ Doses for Medical X-ray Examinations Calculated Using Monte Carlo Techniques. NRPB SR262, National Radiation Protection Board, Chilton (1994).
[13] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4)

SADRŽAJ

PROCENA DOZE I RADIJACIONOG RIZIKA U HISTEROSALPINGOGRAFIJI

Monika ŽIVKOVIĆ[1], Darko PLEĆAŠ[2] i Olivera CIRAJ-BJELAC[3]
1)Kliničko-bolnički centar Zemun, Beograd
2) Klinički centar Srbije, Beograd
3)Institut za nukelarne nauke Vinča, Beograd, Srbija,ociraj@vinca.rs

Histerosalpingografija (HSG) je jedna od značajnijih dijagnostičkih procedura reproduktivnog trakta pacijenata ženskog pola koja uključuje izlaganje jonizujućem zračenju. Doza za jajnike je neizbežan deo ovog dijagnostičkog postupka, te doza za izloženog pojedinca i radijacioni rizik za buduće generacije zahtevaju pažljivu analizu. Cilj ovog rada je procena doze za organe i pretećeg radijacionog rizika tokom HSG procedura realizovanih u specijalizovanoj ginekološkoj bolnici. Kerma u vazduhu na površini kože pacijenta izmerena je za ukupno 31 pacijenta tokom HSG. Na osnovu izmerenih vrednosti procewen je radijacioni rizik za hereditarne efekte i nastanak karcinoma. Procenjene doze za pacijente bile su u opsegu od 3–15 mGy, sa medijanom od 10 mGy. Procenjene tipične vrednosti doze za jajnike i uterus bile su 1.7 i 2.3 mGy, respektivno, dok odgovarajući rizik za fatalni karcinom i hereditarne efekte iznose 5.5 10^{-5} i 3.4 10^{-6}, respektivno. Iako je procenjen rizik mali u poređenju sa prirodnom incidencom za nasledne efekte i karcinom, on može biti značajno uvećan u slučaju procedura produženog trajanja, ponovljenih procedura na istom pacijentu i ukoliko se primewuju neoptimizovani protokoli pregleda.

DOZIMETRIJA

RASPODELA SPECIFIČNE ENERGIJE BETA ZRAČENJA UNUTAR ĆELIJE

Vladimir MARKOVIĆ, Nenad STEVANOVIĆ i Dragoslav NIKEZIĆ
Prirodno matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, Srbija, vmarkovic@kg.ac.rs

SADRŽAJ
U ovome radu je opisan mikrodozimetrijski model određivanja gustine raspodele specifične energije unutar struktura individualne ćelije za radionuklide koje se koriste u radioimunoterapijama kao i za radionuklide prisutne u životnoj sredini.Gustina raspodele specifične energije – $f_1(z)$ je izračunata Monte Karlo metodom koristeći softver za simulaciju transporta elektrona kroz proizvoljnu sredinu – PENELOPE.

1. Uvod

Jedna od značajnih oblasti istraživanja u suzbijanju kancera je klinička aplikacija radionuklida markiranim monoklonskim antitelima [1]. Cilj radioimunoterapije je da proizvede monoklonska antitela, koja se vezuju za tumorno tkivo, a zatim pridruži antitelu odgovarajući radionuklid i aplicira pacijentu sa oboljenjem. Rezultujuća prostorna raspodela absorbovane doze unutar tumornog tkiva je veoma neuniformna usled neravnomerno vezane aktivnosti za ćelije tkiva i relativno kratkog dometa alfa i beta čestica. Posledično, konvencionalne tehnike procene doza, koje podrazumevaju unuformnu raspodelu aktivnosti izvora, mogu da dovedu do velikih grešaka.

Treba napomenuti da poznavanje prostorne raspodele doze unutar određenog tumornog tkiva predstavlja napredak u odnosu na poznavanje srednje absorbovane doze u tom tkivu. Međutim poznavanje prostorne raspodele doze još uvek nije dovoljno jer ovakva procena ne daje dozu primljenu od strane jedara individualnih ćelija. S obzirom da je široko prihvaćena činjenica da do inaktivacije ćelije dolazi usled direktnog ili indirektnog oštećenja DNK materijala unutar jedra, upravo raspodela doze unutar samog jedra individualnih ćelija je precizniji indikator nivoa oštećenja i inaktivacije ćelije usled terapijske primene radionuklida.

Pored izloženosti zračenju u terapijske svrhe, u ljudski organizam dospeva i niz prirodnih ili veštački proizvedenih radionuklida prisutnih u okolini. Od interesa je odrediti i raspodele doze unutar individualnih ćelija od strane ove vrste izlaganja kako bi se upotpunila slika i realnije procenili rizici.

U ovom radu od interesa su beta emiteri. Mnogi radionuklidi koji se koriste u radioimunoterapijama su upravo beta emiteri, koji mogu biti kratkog dometa (npr. ^{191}Os i ^{199}Au), srednjeg dometa (npr. ^{77}As, ^{186}Re i ^{131}I) i dugodometni emiteri (^{32}P i ^{90}Y), kao i mnogi drugi. Od veštačkih radionuklida najznačajniji je ^{137}Cs, koji je u prirodnu sredinu dospeo posle černobiljskog akcidenta i nuklearnih testova. Treba napomenuti da se među prirodnim radionuklidima mogu naći intenzivni beta emiteri srednjeg i dugog dometa. Radi se o olovu i bizmutu iz uranovog i torijumovog niza – radonovi i toronovi kratkoživeći potomci (^{214}Pb, ^{212}Pb, ^{214}Bi i ^{212}Bi).

Mikrodozimetrija beta čestica je kompleksinja u odnosu na alfa čestice. Naime elektroni u svom kretanju ne prate pravu liniju kao alfa čestice već se kreću u obliku cik – cak putanje. Na taj način nije moguće mikrodozimetrijske veličine određivati jednostavno prateći geometriju od izvora ka meti. Mora se u potpunosti ispratiti svaki segment putanje elektrona, kako bi se odredile relevantne veličine.

2. Metodologija

Gustina raspodele specifične energije – $f_1(z)$, [2]unutar citoplazme i nukleoplazme individualne ćelije je određena u ovome radu simulirajući transport elektrona PENELOPE softverom [3]. Specifična energija – z je mikrodozimetrijska veličina, koja je analogna apsorbovanoj dozi, ima istu jedinicu i predstavlja energiju koja se deponuje pri prolazku jedne beta čestice kroz region od interesa po jedinici mase regiona. Monte Karlo metod omogućava određivanje raspodele ove veličine unutar regiona od interesa, prateći veliki broj individualnih beta čestica i određivajući specifičnu energiju koju deponuju unutar zapremine od interesa.

Model ćelije i ćelijskog jedra je predstavljen dvema koncentričnim sferama radijusa 10 μm i 6 μm [4]ispunjenih vodom. Razmatrana su dva slučaja prostorne raspodele radionuklida kao izvora zračenja unutar ćelije. U jednom slučaju radionuklidi su homogeno raspoređeni u nukleoplazmi jedra ćelije. U drugom slučaju razmatrana je homogena prostorna raspodela radionuklida u citoplazmi ćelije.Broj beta čestica čije su istorije u potpunosti praćene iznosi 10^6 kako bi se formirala dobra raspodela specifične energije, kao i da se omogući simuliranje beta čestica sa veoma malim verovatnoćama emisije.

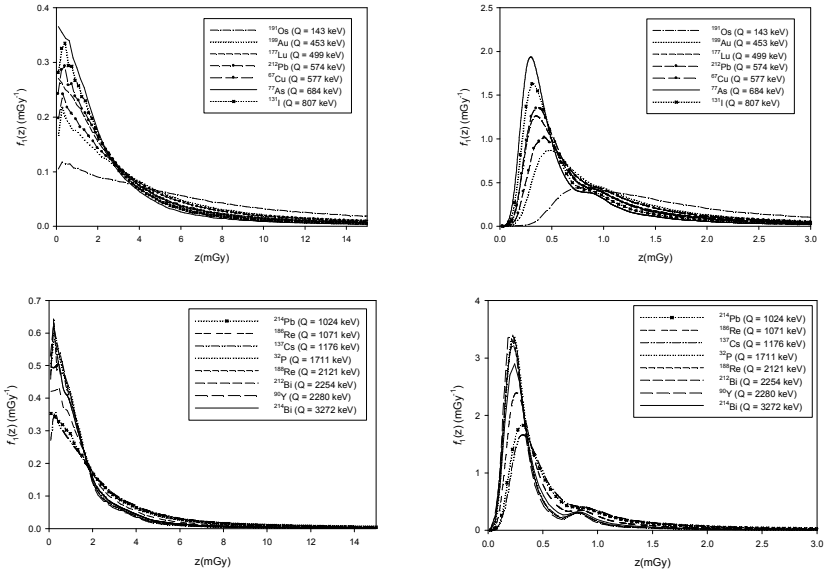
3. Rezultati

Na Slikama 1 i 2 su pikazane funkcije gustine raspodele specifične energije za radionuklide homogeno raspoređene u nukleoplazmi i citoplazmi ćelije. U zagradi pored oznake radionuklida je data maksimalna energija beta čestice.

Može se uočiti da radionuklidi koji emituju elektrone sa većom srednjom energijom deponuju manje količine energije u zapremini od interesa. Ukoliko se uporede funkcije gustine raspodele specifične energije ^{191}Os i ^{90}Y, kao radionuklida na najmanjom i najvećom srednjom energijom spektra respektivno, može se uočiti da $f_1(z)$ za ^{90}Y ima intenzivnije maksimume koji su pomereni ka nižim vrednostima z i brže opadaju sa povećanjem specifične energije.

Za ^{191}Os kao predstavnika sa najnižom srednjom energijom situacija je upravo obrnuta. Maksimumi su znatno manji i pomereni udesno, ka višim specifičnim energijama. Pritom $f_1(z)$ ne opada naglo i omogućava da se pri interakciji beta zračenja sa ćelijskim strukturama deponuju veće količine energije. Ova pojava se prirodno objašnjava činjenicom da zaustavna moć opada sa povećanjem energije elektrona. Srednja vrednost specifične energije po jednoj beta čestici ^{191}Os u sličaju kada je izvor jedro, Slika 1, iznosi 9,1 *mGy* u nukleoplazmi i 2,1 *mGy* u citoplazmi. Za ^{90}Y pomenute vrednosti su 1,6 *mGy* i 0,5 *mGy*.

Bez obzira na najmanju srednju energiju spektra, ^{191}Os deponuje najveću količinu energije. Treba napomenuti da kada su u pitanju radionukidi sa većim srednjim energijama spektra, veliki broj beta čestica se ne apsorbuje u ćeliji u kojoj se desio radioaktivni raspad i izlaze van ćelije sa izvesnom količinom energije. Ukoliko su ćelije gusto pakovane, kao što je slučaj kod većine tkiva u ljudskom organizmu, doći će do tzv. efekta unakrsne paljbe. Za određivanje doza i mikrodozimetrijskih veličina neophodno je uzeti u obzir i ovaj efekat, što u ovome radu neće biti razmatrano.

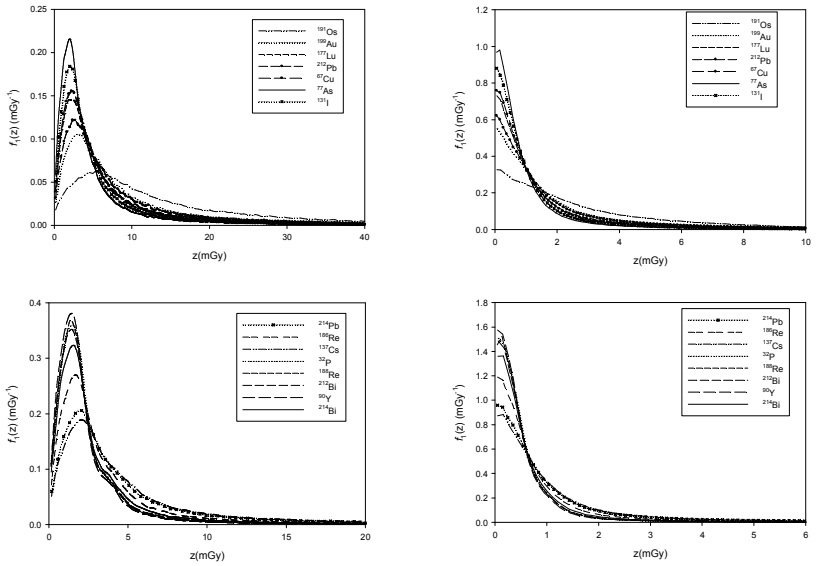


Slika 1. Funkcija gustine raspodele specifične energije u nukleoplazmi (levo) i citoplazmi (desno). Izvor zračenja predstavljaju radionuklidi homoheno raspoređeni u nukleoplazmi

U zavisnosti od prostorne raspodele izvora zračenja funkcija gustine raspodele specifične energije se menja po uočljivom obrascu. U slučaju kada izvor zračenja istovremeno predstavlja i metu, Slika 1 levo i Slika 2 desno, f_1(z) monotono opada sa povećanjem vrednosti specifične energije. Najverovatnije su male vrednosti *z* gde funkcija f_1(z) naglo opada i zatim prelazi u krivu sa blagim nagibom sve do maksimalnih vrednosti *z*.

Kada se gustina raspodele specifične energije prati u regionu, koji je lokacijski različit od mesta izvora, Slika 1 desno i Slika 2 levo, f_1(z) ima izražen maksimum, koji se pomera udesno sa povećanjem srednje energije spektra. Takođe se može uočiti da je vrednost funkcije gustine raspodele specifične energije čak za red veličine veća u slučaje kada se izvor i meta lokacijski razlikuju. Ovo je posledica toga što beta čestice čiji je domet veći od dimenzija izvora gube deo svoje energije u interakcijama pri kretanju kroz zapreminu izvora i prelaze u drugi region sa izraženo manjim energijama, gde im se verovatnoća interakcije znatno uvećava. Na taj način gube veći udeo svoje energije u regionu različitom od mesta izvora pa je i f_1(z) znatno veća.

Maksimalne vrednosti *z* su znatno veće u slučaju kada se izvor i meta lokacijski poklapaju. Na taj način bez obzira na to što je f_1(z) znatno izaženija za slučaj kada su lokacije izvora i mete različiti, srednja specifična energija je veća u oblasti u kojoj se izvor nalazi.



Slika 2. Funkcija gustine raspodele specifične energije u nukleoplazmi (gore) i citoplazmi (dole). Izvor zračenja predstavljaju radionuklidi homoheno raspoređeni u citoplazmi

4. Zaključak

U ovom radu načinjeni su napori kako bi se odredioo obrasc po kome se energija beta čestica deponuje u citoplazmi i nukleoplazmi individualne ćelije. Rezultati i informacije u ovome radu mogu biti od koristi i pomoći u procesu izbora odgovarajućeg radionuklida za određenu terapiju. Kao što je i očekivano funkcija gustine raspodele specifične energije opada sa povećanjem srednje energije spektra beta zračenja.

5. Literatura

[1] SC. Siravastava. Radiolabeled monoclonical antbodies for imaging and therapy, *NATO ASI Series A, Life Sciences*, Vol. 152 New York, 1988. Plenum Press.

[2] ICRU Report 36, Microdosimetry, Washiington DC 1983.

[3] F. Salvat, JM. Fernández-Varea and J. Sempau. PENELOPE–2006 A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. OECD Nuclear Energy Agency, Issy-les-Moulineaux, France, 2006.

[4]WE. Boich and EH. Kim. Calculations of electron single event distributions for use in internal microdosimetry. *Rad. Prot. Dos.* Vol. 52 Nos 1-4, 994,77-80.

ABSTRACT

SPECIFIC ENERGY DISTRIBUTION OF BETA PARTICLES INSIDE SINGLE CELL

Vladimir MARKOVIĆ, Nenad STEVANOVIĆ and Dragoslav NIKEZIĆ
Faculty of Science, University of Kragujevac, Serbia
vmarkovic@kg.ac.rs

In this paper microdosimetry model was developed for determination of specific energy distribution inside of single cell structure for radionuclides which are used in radioimmunetherapy and for radionuclides present in the environment. Specific energy distribution – $f_1(z)$ was calculated by means of Monte Carlo method using software for electron transport simulation through arbitrary materials – PENELOPE.

USPOSTAVLJANJE STANDARDNIH KVALITETA SNOPA U SSDL ZA PRIMENU U OBLASTI DIJAGNOSTIČKE RADIOLOGIJE

Dragana ČEKEREVAC, Olivera CIRAJ-BJELAC, Miloš ŽIVANOVIĆ i Predrag BOŽOVIĆ

Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, Srbija, cekerevac@vinca.rs

SADRŽAJ

U ovom radu je prikazan postupak za implemenaciju standardnih kvaliteta snopa u Sekundarnoj Standardnoj Dozimetrijskoj Laboratoriji (SSDL) koje se osposobljavaju za usluge etaloniranja dozimetara za primenu u QC u dijagnostičkoj radiologiji. SSDL „Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine" INN „Vinča" je obezbedila sledivost za deo serija kvaliteta snopa RQR i RQT. Mereni su metrološki parametri neatenuiranog snopa i izvršene su korekcije radi postizanja saglasnosti sa standardnom IEC 61 267.

1. Uvod

U dijagnostičkoj radiologiji potreba za dozimetrijom je dvojaka. Prvo, potrebno je odrediti vrednosti dozimetrijskih veličina koje odgovaraju dobroj kliničkoj praksi, koje mogu da budu preporučene i da se koriste za komparativnu procenu rizika. Ove vrednosti su podložne promeni u skladu sa razvojem tehnologija i tehnika snimanja. Drugo, dozimetrija je neophodna za procenu performansi dijagnostičke opreme u okvirima kontrole kvaliteta (QC)[1]. U ovoj oblasti dozimetrije se koriste dozimetri čije performanse i dizajn odgovaraju različitim dijagnostičkim modalitetima. Prirodno se nametnula potreba da se same merne procedure u dijagnostičkoj radiologiji standardizuju, kao i da se napravi standardizacija procedura za etaloniranje korisničkih dozimetara u Sekundarnim standardnim dozimetrijskim laboratorijama (SSDL). Takođe, zbog porasta tražnje za ovom vrstom dozimetrijskih usluga u dijagnostičkoj i interventnoj radiologiji, postalo je važno obezbediti sledljivost merenja u ovoj oblasti. Međunarodna Agencija za Atomsku Energiju (IAEA) omogućava sledivost kroz IAEA/WHO mrežu Sekundarnih dozimetrijskih laboratorija [2]. Standardizacija procedura za etaloniranje u dijagnostičkoj radiologiji podrazumeva i standardizaciju kvaliteta snopa koji se koriste pri etaloniranju, koja je njen ključni činilac, i objedinjena je u standardu IEC 61 267. Opis kvaliteta snopa energetskom raspodelom fotona, odnosno spektrometrijom X-zračenja je nesrazmerno komplikovan za datu primenu, zahteva previše vremena, upotrebu posebnih instrumenata i nije primenjiv u terenskim uslovima. Zato se kvaliteti snopa opisuju naponom na X-cevi i vrednostima prve i druge debljine poluslabljenja. Naravno, usled različitosti u dizajnu (anodni ugao, materijal od koga je načinjena anoda, inherentna filtracija) i starosti X-cevi, kvalitet snopa dobro definisanog napona cevi i debljina poluslabljenja realizovan na dva različita uređaja imaće dve različite spektralne distribucije fotona. Standardizacija kvaliteta snopa u dijagnostičkoj radiologiji omogućava da se u SSDL što približnije simuliraju klinički uslovi u kojima korisnički uređaj, koji se u SSDL etalonira, kasnije treba da radi. IEC standard predviđa posebne serije kvaliteta za generalnu radiografiju i fluoroskopiju, zatim za CT dijagnostiku i mamografiju (RQR, RQT i RQR-M, respektivno), kao i posebne serije za simuliranje atenuiranog snopa kod merenja doze iza pacijenta u generalnoj radiografiji i mamografiji (RQA, RQA-M).

U ovom radu su dati rezultati implementacije kvaliteta snopa iz serija RQR i RQT u našoj SSDL, sa osvrtom na metode određivanja dodate filtracije koja predstavlja korekciju neatenuiranog snopa radi standardizacije, i problem prevelike inherentne filtracije rendgen-uređaja.

2. Materijal i metode

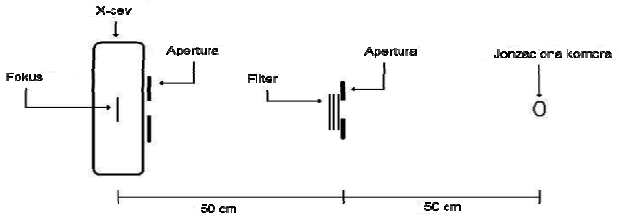
Kvaliteti snopa serije RQR se odnose na kliničku situaciju u kojoj je snop incidentan na pacijenta, kao što je to slučaj u radiografiji, fluoroskopiji i dentalnoj radiologiji [3]. Realizuju se pomoću X-cevi sa anodom od volframa. Parametri ove serije prema IEC standardu su navedeni u tabeli 1.

Tabela 1. Standardni parametri RQR serije kvaliteta snopa

Kvalitet snopa	Napon (kV)	HVL_1 (mm Al)	Koeficijent homogenosti
RQR2	40	1.42	0.81
RQR3	50	1.78	0.76
RQR4	60	2.19	0.74
RQR5	70	2.58	0.71
RQR6	80	3.01	0.69
RQR7	90	3.48	0.68
RQR8	100	3.97	0.68
RQR9	120	5.00	0.68
RQR10	150	6.57	0.72

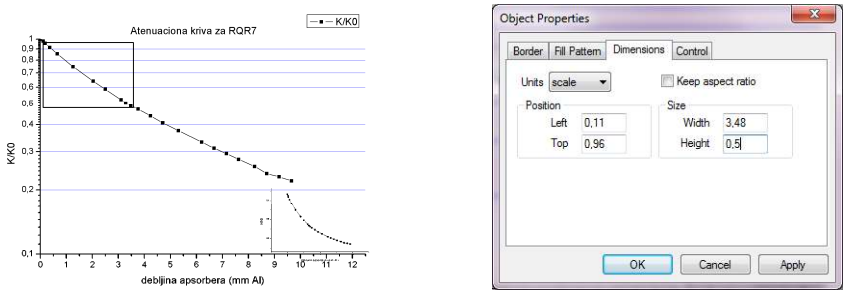
Kvalitet snopa RQR5 se smatra referentnim, odnosno preporučljivo je da se korisnički dozimetri uvek etaloniraju i u ovom kvalitetu snopa. Parametar „koeficijent homogenosti“ (h) predstavlja odnos prve i druge debljine poluslabljenja (HVL_1 i HVL_2) i opisuje širinu spektra fotona. Da bi se uspostavili kvaliteti snopa, za merenje prve i druge debljine poluslabljenja, laboratorija treba da poseduje set aluminijumskih filtera i bakarnih filtera (za seriju RQT). Iako IEC standard preporučuje upotrebu visoko čistih aluminijumskih filtera (99.9% Al), dobri rezultati se postižu i korišćenjem filtera sa 99.5% Al [4]. Debljina filtera treba da je poznata sa nesigurnošću od 10 μm i da bude homogena na celoj površini filtera. Atenuaciona kriva se dobija merenjem kerme u vazduhu referentnom jonizacionom komorom, koja predstavlja sekundarni standard i kalibrisana je u Primarnoj Standardnoj Dozimetrijskoj Laboratoriji (PSDL) u kvalitetima snopa za koje se atenuaciona kriva snima, na fiksnom rastojanju, obično na 1000 mm od fokusa. Merni sklop za snimanje atenuacione krive je šematski prikazan na slici 1.

Prilikom snimanja atenuacione krive debljina Al dodatne filtacije je postepeno povećavana, a pri svakom koraku je merena kerma u vazduhu po 5 puta za period od 60 s, uz paralelno beleženje pokazivanja monitorske transmisione komore. Kasnije su pokazivanja referentne komore korigovana na uticaj kratkoročne stabilnosti rendgen-uređaja pomoću pokazivanja monitorske komore. U zavisnosti od debljine potrebne za postizanje HVL_2, za snimanje atenuacione krive korišćene su kombinacije filtera ukupne debljine u opsegu 0 mm – 14 mm aluminijuma.



Slika 1. Merni sklop za snimanje atenuacione krive

Code of Practice (IAEA TRS 457) predlaže „ručno“ određivanje dodatne filtracije sa atenuacione krive koja se iscrtava u semi-logaritamskom obliku (*y*-osa je logaritamska). Ovako iscrtana atenuaciona kriva ima gotovo linearan oblik. Zatim se napravi transparentni šablon od folije čija su visina i širina u odgovarajućim jedinicama grafika atenuacione krive: visina 0.5, gde je 0.5 segment na logaritamskoj *y*-osi između 0.5 i 1, dok je širina jednaka standardnoj vrednosti HVL_1 za odgovarajući kvalitet snopa. Ovako konstruisan šablon se stavi preko atenuacione krive i pomera po njoj dok tačke gornjeg levog i donjeg desnog ugla šablona ne budu obe legle na krivu. Kada se ove tačke na šablonu poklope sa krivom, dodatna filtracija se može lako pročitati: ona odgovara odsečku na *x*-osi u nivou leve vertikalne ivice šablona. Sve ovo je moguće uraditi i u programu *Origin* konstruisanjem pravougaone maske odgovarajućih dimenzija koja ima mogućnost da se pomera horizontalno i vertikalno. Kada se maska postavi analogno kao šablon od folije, dodatna filtracija se može pročitati u meniju *Object Properties/Dimensions* kao pozicija leve ivice maske u jedinicama koje odgovaraju *x*-osi (opcija *Units/scale*).



Slika 2. Atenuaciona kriva (levo); Podešavanje dimenzija maske i očitavanje vrednosti dodatne filtracije (desno)

Dodatna filtracija se može odrediti i metodom „pogađanja“. Pre snimanja atenuacione krive dobro je nekim manje preciznim instrumentom koji može da meri HVL_1 tu vrednost okvirno odrediti, kako bi se stekla orjentacija o tome koji je red veličine filtracije koju treba dodati kako bi se kvalitet snopa standardizovao. Zatim se atenuaciona kriva snima postepeno, sa malim korakom povećavanja debljine apsorbera, naročito u početnom delu krive. U nekom od programa za obradu mernih podataka interpolira se vrednost za HVL_1 i HVL_2. Pri tom, inicijalna vrednost kerme u vazduhu je vrednost izmerena bez prisustva apsorbera. Zatim za inicijalnu vrednost kerme u vazduhu uzmemo vrednost dobijenu uz neku od manjih debljina apsorbera, pa

interpoliramo poludebljine sa novom početnom vrednošću za K_0. Postupak se ponavlja dok interpolirane vrednosti za HVL_1 i HVL_2 ne budu zadovoljavajuće bliske standardnim. Konačno, treba proveriti da li određena dodatna filtracija omogućava da standard bude zadovoljen. Provera je u sledeća dva uslova: uslov prve debljine poluslabljenja i uslov koeficijenta homogenosti. Izmeri se kerma u vazduhu kada snop atenuiran dodatnom filtracijom. To je K_0. Zatim se izmeri kerma u vazduhu pošto je snop atenuiran i tom dodatnom filtracijom i filterima ukupne debljine koja odgovara standardnom HVL_1. To je vrednost $K_{1/2}$. Odnos $K_{1/2}/ K_0$ treba da leži u opsegu 0.485-0.515, i to je prvi od uslova za proveru saglasnosti sa standardom. Ovaj uslov se može tumačiti i kao slaganje postignute i standardne debljine poluslabljenja sa dozvoljenom razlikom od 3%. Drugi uslov se odnosi na koeficijent homogenosti. Za snop „korigovan“ dodatnom filtracijom se gore opisanim postupkom odrede prva i druga debljina poluslabljenja, a iz njih koeficijent homogenosti. Koeficijent homogenosti ne treba da odstupa od standardom propisane vrednosti (četvrta kolona tabele 1) za više od 0.03. Međutim, postignuti kvalitet snopa treba da se periodično proverava, da bi se proverilo da se postignute vrednosti HVL_1 i h nisu promenile za više od 3%.
Za potrebe određivanja standadnih kvaliteta snopova u SSDL Instituta za nuklearne neuke Vinča korišćen je jonizaciona komora Magna 3 cc sa elektrometrom Unidos (PTW, Freiburg, Germany) i Al fitri voske čistoće Goodfellow (Goodfellow, Cambridge, UK). Kao generator x-zračenje korišćen je rendgen-aparat Philips MG 320.

3. Rezultati

Atenuacione krive su snimljene za deo kvaliteta snopa serije RQR i jedan snop serije RQT za koji postoji sledivost do PSDL. Pokazalo se da se kvalitet snopa RQR3 ne može uspostaviti, obzirom da je u rendgen-uređaj ugrađen filter od 4 mm Al, koji sa inherentnom filtracijom uređaja onemogućava postizanje ovog kvaliteta. Naime, u ovom slučaju dodatna filtracija za korekciju snopa bi imala negativnu vrednost, a ukljanjanje filtera od 4 mm Al nije bilo tehnički izvodljivo. Rezultati opisane metode za postizanje kvaliteta snopa serije RQR i RQT su dati u tabeli 2. Veličine označene apostrofom se odnose na eksperimentalno dobijene vrednosti posle odgovarajuće korekcije dodatnom filtracijom d. U levom delu tabele su dati standardni parametri radi poređenja.

Tabela 2. Postizanje kvaliteta snopa serije RQR u SSDL

Kvalitet snopa	U [kV]	HVL_1[mm Al]	h	d [mm Al]	HVL_1'[mm Al]	h'	$\|h-h'\|$	Napomena
RQR3	50	1.78	0.76	0	1.99	0.91	0.15	Dodatna korekcija
RQR5	70	2.58	0.71	0	2.63	0.73	0.02	Postignut
RQR6	80	3.01	0.69	0	3.05	0.71	0.02	Postignut
RQR7	90	3.48	0.68	0.11	3.49	0.69	0.01	Postignut
RQR8	100	3.97	0.68	0.16	4.00	0.68	0	Postignut
RQR9	120	5.00	0.68	0.26	4.99	0.68	0	Postignut
RQT9	120	8.4	-	0.26 mm Al + 0.25 mmCu	8.4	-	-	Postignut

Kada se jednom uspostave kvaliteti RQR, kvaliteti serije RQT se jednostavno postižu dodavanjem filtracije od bakra debljine specificirane IEC standardom. Kvalitet RQT9 je stoga postignut jednostavnim dodavanjem 0.25 mm Cu na postojeću korekciju od 0.26 mm Al za kvalitet snopa RQT9.

4. Zaključak

Uloga SSDL je da uspostavi metrološku vezu između PSDL i korisnika u medicinskim ustanovama pružajući usluge etaloniranja i tehničku podršku u kontroli kvaliteta. Da bi ove poslove obavljala uspešno, SSDL treba da ispuni niz tehničkih uslova koji se tiču potrebne instrumentacije i načina rada. Pošto se obezbedi oprema referentne klase, pristupa se korigovanju kvaliteta snopa X-zračenja na raspoloživim rendgen-uređajima prema IEC standardu za odgovarajuće specifične primene, na način opisan u ovom radu. Cilj usaglašavanja uslova u laboratoriji sa standardom propisanim uslovima je simuliranje tipičnih kliničkih uslova rada uređaja, što rezultuje najboljim mogućim kalibracionim koeficijentom u praktičnom smislu.

5. Literatura

[1] O.Ciraj-Bjelac, *Calibration Procedures in the Field of Diagnostic Radiology*, project work. Regional Postgraduate Educational Course on Radiation Protection and Safety on Radiation Source, Athens, 2006.

[2] International Atomic Energy Agency, *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*. Technical Report Series No. 457, Vienna, 2007.

[3] International Electrotechnical Commission, *Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation conditions for use in the determination of characteristics*, IEC 61 267, IEC, Geneva, 2005.

[4] P. Oliveira, *et al*, „Analysis of metrological parameters of IEC X-ray reference radiation quality“. International Nuclear Atlantic Conference INAC, Santos, SP, Brazil, 27. Sept- 5. Oct. 2007.

ABSTRACT

ESTABLISHING STANDARD RADIATION QUALITIES IN SSDL FOR THE USE IN THE FIELD OF DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Dragana ČEKEREVAC, Olivera CIRAJ-BJELAC, Miloš ŽIVANOVIĆ and Predrag BOŽOVIĆ

Vinca Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,
cekerevac@vinca.rs

Thispaper gives aprocedure forimplementation of standard radiationqualities in SSDLs whichare prepared fordosimeterscalibrationservices in the field of diagnostic and interventional radiology. Laboratory for Radiationand Environmental Protectionof the Vinca Institute of Nuclear Sciences as a SSDL ensuredtraceability fora part of RQR standard radiation quality series and for one radiation quality from the RQT series.

Metrologicalparameters of the unattenuated beamwere measuredandcorrectionswere madeto achievecompliancewith the standardIEC 61267.

PRSTEN DOZIMETRI ZA EKSTREMITETE

Jelica KALJEVIĆ i Olivera CIRAJ-BJELAC
Institut za nuklearne nauke „Vinča“P.P. 522, Beograd, Srbija, jkaljevic@vinca.rs

SADRŽAJ
U radu su date karakteristike DXT-RAD (LiF:Mg,Ti) (Harshaw) prsten dozimetara koji se u INN Vinča, Laboratorija „Zaštita“, koriste za ličnu dozmerijsku kontrolu ekstremiteta (šake) profesionalno izloženih lica spoljašnjem slabo prodornom zračenju. Prikazani su i rezultati merenja ekvivalent doze $H_P(0.07)$ za profesionalno izloženih lica zaposlena u Centru za nuklearnu medicinu –Kliničkog centra Srbije.

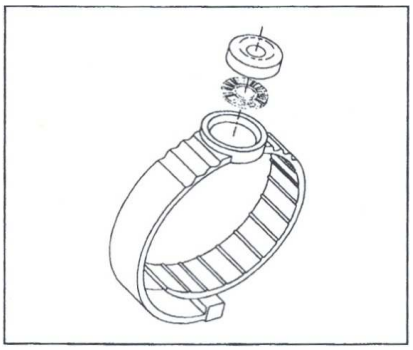
1.Uvod

Kontrola izlaganja profesionalno izloženih lica spoljašnjim jonizujućim zračenjima, podrazumeva procenu nivoa individualnog izlaganja. Za spoljašnje izlaganje operativna veličina koja se meri je lični ekvivalent doze $H_p(d)$, gde je d dubina u milimetrima (mm) ispod površine tela. Za prodorno zračenje d je 10 mm, za slabo prodorno zračenje i za kožu d je 0,07 mm i za očno sočivo d je 3 mm. Jedinica za ekvivalent doze je sivert Sv.
$H_p(10)$ je ekvivalent doze za celo telo, $H_p(0.07)$ je ekvivalent doze za ekstremitete i kožu i $H_p(0.03)$ je ekvivalent doze za očno sočivo. Pri uniformnom ozračivanju celog tela (bez korišćenja zaštite) lični ekvivalent doze $H_p(10)$ je efektivna doza celog tela. $H_p(0.07)$ za ekstremitete se meri pri neuniformnom ozračivanje tela.
Lična dozimetrijska kontrola profesionalno izloženih lica vrši se primenom odgovarajućih ličnih dozimetara (za telo, za ekstremitete). Dozimetri za ekstremitete se koriste za kontrolu specifičnih delova tela (ruka,saka,prsti) lica izloženih velikim dozama zračenja. Dozimetri za prste se koriste u situacijama okarakterisanim neunifomnim izlaganjima na radnom mestu, u kojima postoji verovatnoća za uvećano izlaganje određenih delova tela i prekoračenje granice izlaganja za kožu i ekstremitete. Opisane situacije karakteristične su za interventnu kardiologiju i radiologiju i praksu za beta emitujućim radionuklidima u nuklearnoj medicini.
Lična dozimetrijska kontrola profesionalno izloženih lica koja se sprovodi u INN Vinča, Laboratorija „Zaštita“,odnosi se na određivanje doza od slabo prodornog zračenja (beta, gama) primenom termoluminescentnih dozimetara (TLD) za telo i za ekstremitete. Prsten Harshaw DXT-RAD TL dozimetri za ekstremitete (šake) se koriste više od godinu dana za kontrolu radnka u Nuklearnoj medicini Kliničkog centra Srbije.

2. Sistem za ličnu dozimetrijsku kontrolu ekstremiteta

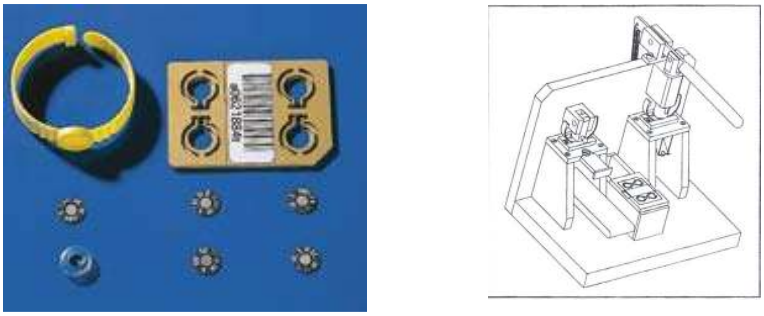
Sistem za ličnu dozimetrijsku kontrolu šaka (prsti) čine: DXT-RAD (Lif:Mg,Ti) prsten dozimetri (Harshaw), čitač TLD (Harshaw 6600PLUS), program WinREMS program, program TL dozimetrija i aparatura za montažu-demontažu prsten dozimetara.

2.1. DXT-RAD (Lif:Mg,Ti) prsten dozimetar DXT-RAD (Harshaw) prsten dozimetar sastoji se iz:“ ringlete“, plastičnog prstena i plastične kapice . Ringletu čini TL detektor (LiF:Mg,Ti) u Kapton foliji i 5 digitnim identifikacionim brojem oko njega (Slika 1.). Plastična kapica zatvara “ringletu“ na plastičnom prstenu.



Slika 1. DXT-RAD(LiF:Mg,Ti) prsten dozimetar [5]

Za sva merenja "ringlete" se moraju po četiri komada staviti na karticu-nosač koja je pogodna za automatsko merenje na čitaču. Za to se koristi specifična aparatura za montažu /demontažu ringlete (Slika 2.).



Slika 2. Aparatura za montažu demontažu ringlet na kartici-nosaču i na plastičnom prstenu [5]

Sva merenje se vrše na na automatskom TLD čitaču HARSHAW 6600PLUS sa WinREMS (Windows based Radiation Evaluation and Management System) programom.

2.2. Kalibracija DXT-RAD (LiF:Mg,Ti) prsten dozimetara

Pre korišćenja svi prsten dozimetri moraju biti iskalibrisani. Kalibracija se obavlja preko tri automatske kalibracione procedure programa WinREMS: za kalibracione dozimetre, čitač i dozimetre (feeld dosimeters). Za kalibraciju čitača se kalibracioni dozimetri ozračuju u Metrološkoj laboratoriji u Laboratoriji "Zaštita" na ^{137}Cs. Dozimetri se fiksiraju na ISO fantomu za prste (PMMA štap dužine 300mm i prečnika 19mm) [2] (Slika 3(c)), a prema standardu ISO 4073 [3].

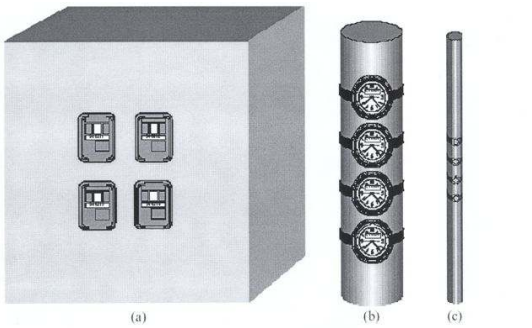


Figure3: Phantoms to be used for calibration of dosemeters: (a) ISO slab phantom, (b) ISO pillar phantom, and (c) ISO rod phantom

Slika 2. Fantomi za kalibraciju ličnih dozimetara [2]

U samom čitaču se uz pomoć ugrađenog izvora zračenja (^{90}Sr) i uz pomoć odgovarajuće procedure vrši određivanje koeficijenta kalibracije dozimetra. Rezultat kalibracionih procedura su: koeficient kalibracije čitača (RCF) i koeficijent kalibracije svakog dozimetra (ECC), koji se koriste za izračunavanje doze zračenja. Konačan rezultat svih kalibracionih procedura je dozimetar spreman za korisnika.

4. Zaljučak i preporuke

DXT-RAD (LiF:Mg,Ti) prsten dozimetri su se do sada (poslednje dve godine) koristili za procenu nivoa izlaganja spoljašnjem slabo prodornom zračenju ekstremiteta (šaka) lica zaposlenih u Centru za nuklearnu medicinu, Kliničkog centra Srbije. Kontrola profesionalno izloženih lica je mesečna [4]. U 2010.god. na kontroli je bilo 33 radnika, a u 2011.god.je 31 radnik. Kumulativna ekvivalent doza za ekstremitete (šake) $H_p(0.07)$ za 2010. god. po licima u 2010. Bila je u intervalu od 1.3 do 27 mSv.

U radu je prikazan sistem za ličnu dozimetrijsku kontrolu ekstremiteta u INN Vinča, Laboratorija "Zaštita". Za procenu nivoa individualnog izlaganja spoljašnjem fotonskom zračenju ekstremiteta profesionalno izloženih lica koriste se DXT-RAD (LiF:Mg,Ti) prsten dozimetri prvi put kod nas. Kumulativna ekvivalent doza za šake za 2010. god. za kontrolisana lica iz Centra za nuklearnu medicine KCS ne prelazi graničnu vrednost za ekstremitete od 500 mSv po godini [4] . Od septembra ove godine u KCS, pored Centra za nuklearnu medicinu, prsten dzimetre će koristiti i lica zaposlena u Sali za kateterizaciju (Klinika za kadiologiju) i Odeljenju uroradiologije

5. Literatura

[1]ICRP 103(2007)
[2]IAEA, Safety Report Series No.16.
[3]International Standard Organisation (ISO), "X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of energy", Part 1,2 and 3: ISO 4037 series, 1999
[4]Pravilnik o granicamaizlaganjajonizujućimzračenjima ("Službeni listSRJ",бр. 32/98)
[5]Model 6600 PLUS Automated TLD Reader with WinREMS - Operator's Manual

ABSTRACT

EXTREMITY RING DOSEMETERS

Jelica KALJEVIĆ and Olivera CIRAJ-BJELAC
Institut za nuklearne nauke Vinca, P.P.522,Beograd, Srbija, jkaljevic@vinca.rs

The paper presents characteristics of DXT-RAD (LiF:Mg,Ti) (Harshaw) ring dosemeters used in Individual monitoring servis in Radiation and environmental protection laboratory in Institute Vinca, for photons extremity monitoring. The results of personal dose equivalent $H_P(0.07)$ are shown for staff in nuclear medicine in KCS.

UREĐAJ ZA KONTINUALNO MERENJE JAČINE DOZE GAMA ZRAČENJA U ŽIVOTNOJ SREDINI

Miloš ĐALETIĆ, Miloš ŽIVANOVIĆ i Milojko KOVAČEVIĆ
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija,

SADRŽAJ
U radu je predstavljen uređaj za kontinualno merenje jačine doze u životnoj sredini baziran na široko rasprostranjenom Microchip mikrokontroleru PIC 18F4550 sa ugrađenom USB podrškom za prenos podataka. Takođe prikazan je i jednostavan softver za akviziciju podataka.

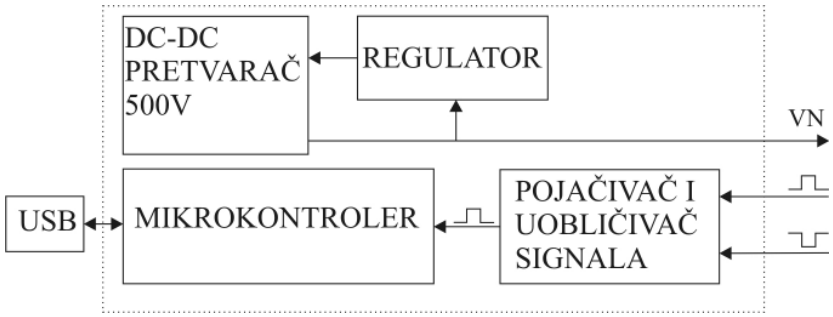
1. Uvod

Rasprostranjenost računarskih sistema i interneta stvorila je pogodnu platformu za akviziciju, prenos i obradu podataka. Time je omogućen razvoj mernih uređaja koji su povezani u mrežu i čiji rad može da se prati sa bilo kog mesta gde postoji internet. Ovakvo okruženje omogućava funkcionisanje sistema koji čine merač jačine doze gama zračenja u životnoj sredini na više lokaliteta i čiji se rezultati putem interneta šalju u centar gde će se oni obrađivati i čuvati.

U radu je prikazan relativno jeftin, pouzdan i višenamenski monitor zračenja. Može naći primenu u monitoringu životne sredine, u prevenciji nelegalnog prometa izvorima zračenja, a može se koristiti kao nastavno sredstvo u školama. Takođe, može se koristiti kao mobilni uređaj zajedno sa prenosnim računarom. U daljem tekstu prikazan je jedan takav uređaj, razvijen u Laboratoriji za zaštitu od zračenja Instituta za nuklearne nauke Vinča, a koga čine kontrolna jedinica, merna sonda i softverska podrška.

2. Kontrolna jedinica

Kontrolnu jedinicu uređaja čine: 1) mikrokontrolerski deo koji broji impulse koji stižu sa ulaznog pojačivača i TTL uobličivača signala; 2) DC-DC pretvarač koji generiše visok napon potreban za funkcionisanje detaktora-Gajger Milerove (GM) cevi u mernom modulu [1]. Shema kontrolne jedinice prikazana je na Slici 1.



Slika 1. Dijagram kontrolne jedinice

Modul za visok napon generiše stabilan napon od 500V pomoću DC-DC pretvarača i regulatora sa izvorom referentnog napona. Ugradnjom modula za visok napon u kontrolnu jedinicu umesto u merni modul poboljšava se stabilnost napona, s obzirom da je na ovaj način eliminisan uticaj temperaturnih promena. Naime, kontrolni modul se

nalazi u blizini računara, na sobnoj temperaturi, dok je merna sonda izložena atmosferskim uticajima (temperaturnim promenama). Srž mikrokontrolerskog modula čini Microchip-ov mikrontroler 18F4550. Osnovne karakteristike ovog mikrokontrolera su: integrisani USB 2.0 interfejs, velika brzina procesora od 48MHz, velika programska i RAM memorija.
Napajanje svih modula vrši se preko USB porta, pa je nepotrebno koristiti spoljne izvore napajanja. Prenos impulsa od merne sonde izveden je diferencijalnom metodom. Pošto je korišćen oklopljen kabl, mogućnost uticaja elektromagnetnih interferencija sveden je na minimum, čime je omogućen pouzdan prenos impulsa na velikim rastojanjima. Karakteristike uređaja date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike 18F4550 mikrokontrolera

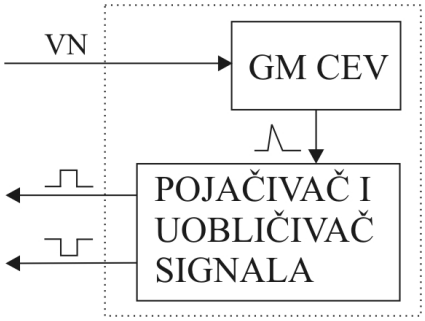
Tip i veličina programske memorije	Flash - 32KB	**Brzina procesora**	12 MIPS
Veličina korisničkog EEPROMA	256B	**Veličina RAM-a**	2KB
ADC	13 kanala, 10bit	**Tajmeri**	1x 8bit, 3x 16bit
Periferije za komunikaciju	USART, SPI, I2C	**USB**	Full Speed 2.0
Radni napon	2 - 5.5V	**Radna temperatura**	-40 do 85ºC
Broj pinova	40	/	/

3. Merna sonda

Merna sonda namenjena je za spoljnu montažu i izložena je atmosferskim pojavama. Zbog toga, korišćena je metalna, vodonepropusna kutija. Sastoji se od: GM cevi i pojačivača sa diferencijalnim izlazom. Shema merne sonde prikazana je na Slici 2, dok su karakteristike GM cevi ZP1400 korišćene u ovom uređaju date u Tabeli 2.

Tabela 2. Karakteristike brojačke cevi ZP 1400

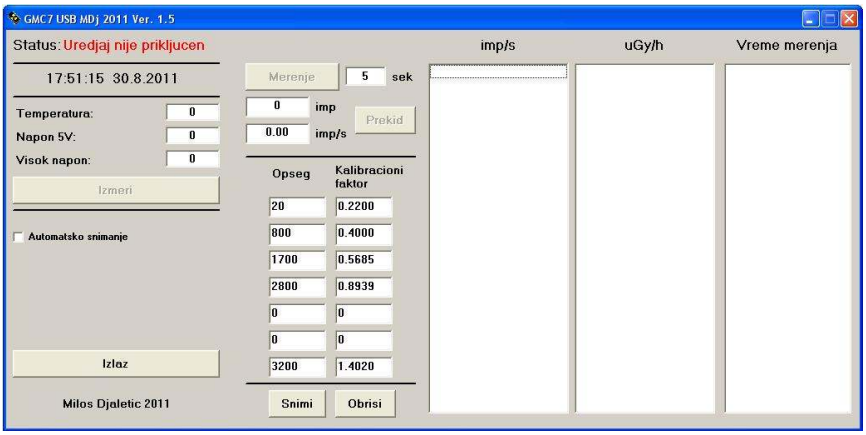
Vrste zračenja koje detektuje	α, β, γ	**Mica prozor (9mm prečnik)**	2.0-3.0 mg/cm^2
Raspon jačina doza	10^{-3} - 10^{2} mGy/h	**Nagib platoa**	0.04%
Napon praga platoa	400 V	**Mrtvo vreme (500V)**	90µs
Dužina platoa	200 V	**Radna temperatura**	-40 do 70ºC
Preporučen napon i otpor	500 V, 10MΩ	**Sopstveni fon (500V, 50mm Pb, 3mm Al do cevi)**	10 imp/min
Očekivani radni vek (25ºC)	$5\cdot10^{10}$ impulsa	**Beta osetljivost Sr-90/Y-90**	0.42 imp/s·cm^{-2}



Slika 2. Dijagram merne sonde

4. Softver

Komunikacija između personalnog računara i kontrolne jedinice ostvarena je pomoću USB-a i vrši se HID (Human Interface Device) protokolom.



Slika 3. Izgled interfejsa

Ovo mogućava korišćenje standardnih Windows drajvera, što je naročito važno za Windows 7, jer je za specijalne drajvere potreban Microsoft sertifikat.

Pošto je HID standard univerzalan, lako se mogu razvijati i programi za Linux operativne sisteme. U daljem tekstu prikazan je program za Windows operativne sisteme, koji vrši akviziciju podataka. Napisan je u Microsoft-ovom paketu Visual Studio, što je omogućilo brzu i efikasnu izradu.

Program se sastoji iz jednog prozora na kome se nalaze sve kontrole bitne za kontrolu uređaja i akviziciju podataka: Status uređaja, datum i vreme, taster "Merenje" kojim se pokreće merenje, polje za upis perioda merenja, polja za kalibracione faktore, taster za snimanje, taster za brisanje kao i liste sa izmerenim vrednostima i vremenima. Postoji i opcija automatskog snimanja posle svakog merenja i snimanje merenja prethodnog dana u poseban fajl. Radi lakše obrade podataka, vrednosti iz svake liste snimaju se u poseban fajl. Minimalni hardverski zahtevi za rad programa su: Windows 98 SE operativni sistem i USB port. Izgled interfejsa prikazan je na Slici 3.

Dodavanjem besplatnih programa, može se napraviti i web server, tako da se razultatima merenja može pristupiti i preko interneta.

5. Rezultati ispitivanja za monitora za kontinualno merenje doze

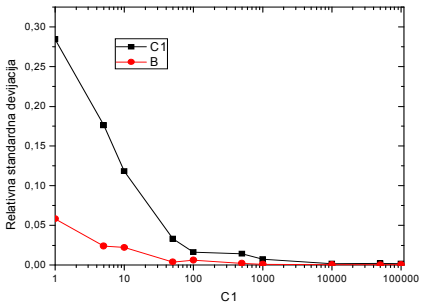
Ispitivanja monitora zračenja obuhvatila su proveru sledećih karakteristika: ispitivanje statističkih fluktuacija pri konstantnoj dozi, proveru greške merenja jačine doze i linearnosti, kratkovremensku stabilnost i provera rada u preopterećenju. Sva ispitivanja su vršena u skladu sa standardom IEC 1017-1 koji uređuje ovu oblast [2].

5.1. Ispitivanje statističkih fluktuacija pri konstantnoj dozi

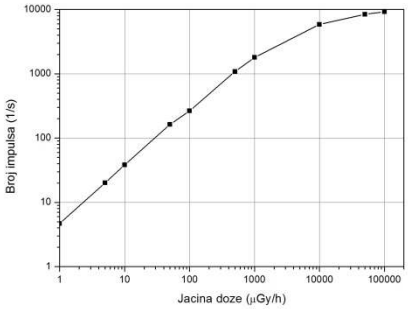
Statističke fluktuacije pri konstantnoj dozi ispitane su merenjem 30 uzastopnih rezultata pri konstantnoj dozi za jačinu kerme od: 10 μGy/h, 100 μGy/h i 10 mGy/h i to kada je vremenska konstanta 5 s i 100 s. Rezultati merenja su dati na Slici 4. Sa slike se vidi da su varijacije rezultata pri vremenskoj konstanti od 5 s izražene do jačine doze od 50 μGy/h a da za jače doze praktično nema razlike da li je konstanta 5 s ili 100 s.

5.2. Provera greške merenja jačine doze i linearnosti

Provera greške merenja je vršena merenjem kerme u vazduhu u tačkama: 1 μGy/h, 5 μGy/h, 10 μGy/h, 50 μGy/h, 100 μGy/h 500 μGy/h, 1 mGy/h, 10 mGy/h, 50 mGy/h, 100 mGy/h. Mereno je 10 vrednosti za vremensku konstantu od 5 s i 100 s. Rezultati merenja broja imulsa iz GM brojača u zavisnosti od jačine kerme dati su na slici 2. Sa slike se vidi da brojač ima relativno dobru linearnost do vrednosti kada je jačina doze 10 mGy/h a posle te vrednosti dolazi do izražaja mrtvo vreme brojača. Kako softver za proračun doze ima mogućnost da uzima promenljive vrednosti za pojedine opsege merenja to se uticaj



Slika 4. Statističke fluktuacije pri konstantnoj dozi



Slika 5. Zavisnost broja impulsa od jačine doze

mrtvog vremena može korigovati. Na taj način postignuto je da je greška merenja uredjaja manja od ± 20 % .

5.3. Kratkovremenska stabilnost

Kratkovremenska stabilnost je proverena postavljanjem dozimetra u polje od 10 μGy/h i praćenjem pokazivanje u periodu od 8 sati. Rezultati merenja pokazuju da je standardna devijacija rezultata iznosi 1.2 % što je praktično posledica statističkih varijacija u merenju i ukazuje na dobru vremensku stabilnost.

5.4. Provera rada u preopterećenju

Provera rada pri preopterećenjeu se vrši postavljanjem dozimetra u polje jačine kerme u vaduhu 300 mGy/h (van deklarisanog opsega instrumenta) i meri 5 minuta. Proverom je utvrdjeno da cev zadržava impulsni režim rada i pri prekoračenim vrednostima jačine doze.

6. Zaključak

U radu je prikazan relativno jeftin, pouzdan i višenamenski monitor zračenja. Može naći primenu u monitoringu životne sredine, u prevenciji nelegalnog prometa izvorima zračenja, a može se koristiti kao nastavno sredstvo u školama. Takođe, može se koristiti kao mobilni uređaj zajedno sa prenosnom računarom.

7. Literatura

[1] Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons, 2000.

[2] International Electrotechnical Commission, Portable, transportable or installed X or gamma radiation ratemeters for environmental monitoring, IEC, 1991.

ABSTRACT

INSTRUMENT FOR CONTUOUSTS MEASUREMENS OF GAMMA RADIATION IN THE ENVIRONMENT

Miloš ĐALETIĆ, Miloš ŽIVANOVIĆ and Milojko KOVAČEVIĆ

Vinca Institute of Nuclear Sciences, radiation and Environmental Protection Department, Belgrade

Paper presents an instrument for continuous measurements of gamma radiation dose rate in the environment, based on the Microchip microcontroller PIC18F4550 with embeded USB support for data transfer. Also, a simple software for data aqusisition is presented.

BIODOZIMETRIJA

PROFESIONALNA EKSPOZICIJA RADIONUKLIDIMA
-PRIKAZ SLUČAJA-

Boban RAKIĆ[1], Jelena PAJIĆ[1], Olivera MARINKOVIĆ[2], Dubravka JOVIČIĆ[3], Vedrana PROKIĆ[1] i Zoran MIRKOV[1]

1) Institut za medicinu rada Srbije"Dr Dragomir Karajović", Beograd, Srbija
2) Agencija za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost, Beograd, Srbija
3) Fakultet za primanjenu ekologiju, Univerzitet "Singidunum", Beograd, Srbija
*e-mail:*rakicboban@yahoo.co.uk

SADRŽAJ

Najvažniji citigenetski testovi koji se koriste u proceni genomskih oštećenja su analiza strukturnih hromozomskih aberacija (CA) – stabilnih i nestabilnih, razmena sestrinskih hromatida (SCE) i cyokinesis-block mikronukleus (CBMN) test. Analiza CA i CBMN test su standardizovane tehnike koje se koriste pri proceni doze osoba koje su profesionalno, medicinski ili akcidentalno izložene jonizujućim zračenjima. Trenutno ne postoji najbolja primenljiva metoda koja bi se koristila pri proceni doze u slučaju interne kontaminacije radionuklidima. Dostupni biotestovi su manje ili više senzitivni u zavisnosti od tipa zračenja. Dostune fizičke metode za procenu doze osoba koje rade sa otvorenim izvorima zračenja u mnogim slučajevima nisu dovoljno precizne i postoji potreba za uvođenjem dodatnih metoda, naime, pri dozimetriji ekstremiteta. U slučaju izlaganja malim dozama jonizujućeg zračenja, vrlo često postoji nepodudarnost pri proceni doze između fizičke dozimetrije i biodozimetrije. Međutim, u nekim situacijama, čini se da su oba biološka testa, kao i dostupne metode fizičke dozimetrije, dovoljni u detekciji interne kontaminacije. U ovom radu su predstavljene vrednosti ličnih ekvivalenata doza Hp(10) i Hp(0.07) Odeljenja za ličnu dozimetriju Instituta za medicini rada Srbije, kao i rezultati analize CA i CBMN testa posle prvog i kontrolnog ispitivanja u Laboratortiji za radijacionu citogenetiku istog Instituta. U ovom radu je takođe pokazano da je CBMN tast senzitivnija tehnika u slučaju interne kontaminacije nego analiza CA.

1. Uvod

Jonizujuća zrečenja (JZ), u svim fazama ćelijskog ciklusa, veoma efikasano indukuju hromozomske aberacije, koje se mogu jednostavno propoznati i kvantifikovati kultivacijom limfocita periferne krvi (LPK) ozračenih osoba. Učestalost hromozomskih aberacija zavisi od doze jonizujućeg zračenja i pokazuje određene matematičke pravilnosti. To je glavni razlog korišćenja hromozomskih aberacija kao bioloških dozimetara, naročito u slučaju incidentalnog/akcidentalnog ozračivanja [1].

Citogenetske analize hromozomskih oštećenja lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima se baziraju na korišćenju nekoliko tehnika [2]. Najvažniji citogenetski testovi koji se koriste pri proceni genomskih oštećenja su analiza strukturnih hromozomskih aberacija (CA) – stabilnih i nestabilnih, razmena sestrinskih hromatida (SCE) i cyokinesis-block mikronukleus (CBMN) test. [3,4].

Primenljivost ovih testova zavisi od stabilnosti hromozomskih oštećenja. Nestabilne hromozomske aberacije – dicentrik (DC), ring hromozom (R) i acentrični fragmenti (ACF), prevremena kondenzacija hromozomskih fragmenata (PCC) i mikronukleusi (MN), pokazuju opadanje učestalosti sa vremenom u LPK, pa su ove tehnike najbolje primenljive u proceni skorašnjih ozračenja. Stabilne aberacije (translokacije, inverzije), međutim, se održavaju u genomu ozračenih ćelija mnogo duže i tehnike koje se koriste

za dokazivanje prisustva stabilnih aberacija, kao npr. FISH, su metode izbora pri proceni doze, u slučaju hronične ekspozicije ili retrospektivne dozimetrije [5].
Analiza CA i CBMN test su standardizovane tehnike koje se koriste pri proceni doze osoba koje su profesionalno, medicinski ili akcidentalno izložene jonizujućim zračenjima [6-8].
Nestabilne CA su rezultat kompleksne interakcije JZ i humanog genoma. DCi su biomarkeri radijacione ekspozicije, zbog svog prisustva (u velikom procentu) u ozračenim ćelijama. Spontana učestalost DCa u zdravoj opštoj populaciji je veoma mala (oko 1 DC na 1000 ćelija) [4, 9].
MNi potiču od delova hromozoma ili celih hromozoma koji zaostaju u anafazi. Dva osnovna fenomena koji vode formiranju MN u mitotičkim ćelijama su prekid hromozoma i disfunkcija mitotičkog aparata. MNi nastaju od acentričnih hromozoma ili hromatidnih fragmenata i celih hromozoma ili hromatida koji zaostaju u anafazi, i tako ostaju van nukleusa ćerki ćelija u telofazi [10]. Ti ostaci delova hromozoma ne mogu da se kreću ka polovima, jer su odvojeni od deobnog vretena ili imaju bipolarnu (meroteličnu) orijentaciju [11].
CBMN test je u današnje vreme inplementiran u procenu doze osoba koje rade sa otvorenim i zatvorenim izvorima JZ. Jednostavniji je i brži od analize CA, a ispitivanje se vrši na većem broju ćelija (1000, u poređenju sa 100-200 pri analizi CA) čime se postiže veća statistička značajnost [12].
Lica koja su zaposlena u nuklearnoj medicini (NM) su od posebnog interesa za biodozimetrijska istraživanja, zbog povećanog rizika od interne kontaminacije. Interna kontaminacija radionuklidima predstavlja poseban oblik produženog izlaganja zračenju, kada je ozračenje pojedinih organa u telu veoma neizvesno. Situacija sa internom kontaminacijom je posebno komplikovana s obzirom na činjenicu da radionuklidi mogu biti uniformno ili neunuformno raspoređeni u ljudskom organizmu. Treba napomenuti da se samo neki radionuklidi (^{137}Cs i ^{3}H) raspoređuju homogeno, i da je u slučaju kontaminacije ovim radioniklidima biološka dozimetrija uspešna. Takođe se mora napomenuti da je bilo pokušaja korišćenja citogenetske biodozimetrije pri incidentima/akcidentima koji su uključivali ugradnju neuniformno raspoređenih radionuklida, u cilju dopune dozimetijskih informacija koje su bazirane na merenju radioaktivnosti i modelovanju [5].
Na Institutu za medicinu rada Srbije "Dr Dragomir Karajović" (IMRS), u Centru za radiološku zaštitu, postoje laboratorije koje su opremljene za procenu doze osoba profesionalno izloženih JZ. Laboratorija za radijacionu citogenetiku (LRC) Instituta upotrebljava dicentrik test i MN test kod lica profesionalno izloženih, kako otvorenim, tako i zatvorenim izvorima JZ. Laboratorija za ličnu dozimetriju (LLD) priprema i obrađuje lične dozimetre. U decembru 2007. godine obrađeno je 50 ličnih dozimetara lica zaposlenih na NM i, tom prolikom, primećene su neobične vredosti kod dva tehničara. Isti tehničari su potom ispitivani i u LRC.
U ovom radu su predstavljene vrednosti ličnih ekvivalenata doza Hp(10) i Hp(0.07) Odeljenja za ličnu dozimetriju Instituta za medicinu rada Srbije, kao i rezultati analize CA i CBMN testa, posle prvog i kontrolnog ispitivanja u LRC istog Instituta.

2. Materijal i metode

Sistem za ličnu dozimetriju obuhvata Harshaw TLD čitač-model 6600 i dozimetre. Termoluminiscentni material čine LiF:Mg,Ti kristali koji su pakovani u standardne držačekoji imaju dva filtera: ekvivalent kože i organa.

Lični dozimetri su korišćeni za procenu izloženosti. Apsorbovane doze zračenja su merene termoluminiscentnim dozimetrima (TLD), jednom mesečno, za vreme profesionalne ekspozicije i izražene su u mSv, kao srednja godišnja efektivna doza za period ekspozicije. Rutinska lična dozimetrija je vršena korišćenjem automatskog TLD čitača (Harsaw Model 6600 sa LiF:Mg Ti karticama; Thermo Scientific, 81 Wyman Street, Waltham, MA 02454). Kriva isijanja je korišćena za sofisticiranu obradu podataka sa Harsaw CGCD (Computerized Glow Curve Deconvolution) softverom.
CA u LPK su analizirane u skladu sa standardnim protokolom [4]. Mikrokulture su pripremane korišćenjem RPMI 1640 medijuma, kome je dodavan 10% Fetal Bovine Serum (Sigma). Limfociti su stimulisani fitohemaglutininom (PHA, PAA) u koncentraciji od 5 µg/ml i termostatirani 48h na 37º C. Dva sata pre isteka inkubacije medijumu je dodavan kolhicin (Colchicine, Sigma; 0.05 µg/ml). Ćelije su izlagane hipotoničnom rastvoru (20 min) postepenim dodavanjem 0.075M KCl i fiksirane hladnim fiksativom (metanol:glac.sirćetna kiselina, 3:1). Fiksirane ćelije su nanošene na mikroskopske pločice i sušene iznad plamenika. Obeležene pločice su nakon stajanja (5-7 dana) bojene gimzom i analizirane pod mikroskopom. Pregledano je 200 dobro razabranih metafaza po ispitaniku.
Za CBMN test LPK su kultivisani istom rutinskom procedurom kao za klasičnu citogenetsku analizu. Nakon 44h od inkubacije dodavano je 0,1ml rastvora citohalazina B (Cytochalasin B, Sigma) u DMSO (Sigma) i kultivacija je potom nastavljana još 24h. Ovo je praćeno tehnikom preparacije, pri kojoj su kulture tretirane rastvorom 0.9% NaCl, zatim hipotoničnim rastvorom (dodavanjem hladnog 0.075M KCl) za liziranje crvenih krvnih zrnaca. Supernatant je uklanjan i zamenjivan fiksativom (metanol:glac.sirćetna kiselina, 3:1) sa 1% formaldehidom. Nakon 20 minuta inkubacije na sobnoj temperaturi, ćelije su ćetiri puta ispirane fiksativom, bez formaldehida. Ćelije su lagano resuspendirane, a suspenzija je nanošena na čiste mikroskopske pločice, koje su potom sušene na vazduhu. Za bojenje ćelija je koriscen 10% rastvor gimze u destilovanoj vodi.
Detaljne informacije o profesionalnoj i medicinskoj istoriji ova 2 ispitanika su dobijene popunjavanjem anamnestičkog upitnika, koji je sadržao demografske podatke, pušenje, korišćenje alkohola, lekova, kao i izloženost zračenju ili hemikalijama.

3. Rezultati i diskusija

Više od 50 ličnih dozimetara, koji su pripadali radnicima NM, koji su bili izloženi u novembru 2007. godine je obrađeno u decembru 2007. Neuobičajeni rezultati primećeni su samo kod 2 tehničara. Rezultati ličnih ekvivalenata doza Hp(10) i Hp(0.07) su prikazani u Tabeli 1..
Razlika između dva lična ekvivalenta doze ukazivala je na prisustvo visoke aktivnosti beta amitera. Druge opcije (greške očitavanja, kontaminacija dozimetara, itd.) bile su proveravane i eliminisane.

Tabela 1:Lični ekvivalent doze za 2 tehničara u novembru 2007.

Radnik	Hp(10) mSv	Hp(0.07) mSv
1.	0.37	9.7
2.	0.25	5.9

Sasvim je jasno da je Institut za nuklearnu medicinu započeo sa terapijom ^{90}Y visoke beta akrivnosti. U zvaničnom izveštaju IMRS, Institut za NM je upozoren na prestanak rada bez odgovarajuće zaštitne opreme, i oni su se složili. Međutim, terapija ^{90}Y je

ponovljena u februaru 2008., pri istim uslovima, ponovo bez odgovarajuće zaštitne opreme.
Tabela 2 predstavlja rezultate za ista 2 tehničara. NM je imala sopstvene razloge da izabere iste tehničare da vrše aplikaciju ^{90}Y.

Tabela 2: Lični ekvivalent doze za 11./2007. i 02./2008.

	Lični ekvivalent doze	Novembar 2007.		Februar 2008.	
		barcode	Doza (mSv)	barcode	Doza (mSv)
1.	Hp(10)	658 (ii)	0,37	6938 (ii)	28,9
	Hp(0,07)	658 (iii)	9,7	6938 (iii)	1452 !!!
2.	Hp(10)	6405 (ii)	0,25	10542 (ii)	0,42
	Hp(0,07)	6405 (iii)	5,9	10542 (iii)	5,2

Po prijemu izveštaja, NM se složila da terapija bez mera zaštite mora biti prekinuta zbog povećanog rizika kome su izloženi zaposleni.
Objašnjenje koje je dao tehničar sadržalo je informaciju da je nazaštićen špric sa ^{90}Y nosio u ruci, blizu tela i ličnog dozimetra, dok je hodao od mesta ekstrakcije do sobe u kojoj se vršila aplikacija. To takođe znači da Hp(10)=28.9mSv predstavlja ekvivalent doze za mali region blizu dozimetra, a ne za celo telo. LLD je rekonstruisala događaj (bez radionuklida), analizirala čitav proces i procenila da je kontakt tehničarevih prstiju sa nazaštićenim spricem trajao oko 1 minut po pacijentu. Prosečna aktivnost u spricu je bila 3 GBq. Izračunata doza na koži prsta, u tački kontakta, je bila 2 Sv po jednom pacijentu [13]. LLD je procenila, iz pisanih podataka, da je svaki tehničar upravljao sa ne manje od 10 ^{90}Y terapijskih doza od 3GBq od oktobra 2007. do maja 2008.

Citogenetski rezultati:
Tehničar 1 (T1) je ispitivan u LRC u januaru 2008. Analiza CA je pokazala prisustvo 1 ACF na 200 pregledanih metafaza, ali nalaz MN testa je bio interesantan. Nađeno je 40 MN na 1000 pregledanih binuklearnih limfocita (BL). Važno je naglasiti da su, u skladu sa HUMN projektom i drugim istraživanjima na opštoj populaciji, srednje vrednosti za MN od 7 do 10 na 1000 pregledanih BL (za opštu populaciju). Distribucija ovih 40 MN je bila neuniformna. Nađene su 2 ćelije sa 4 MN, 4 ćelije sa 3 MN, 6 ćelija sa 2 MN i 8 ćelija je sadržalo po 1 MN. Nukleoplazmatični mostovi(NPM) (0-10 na 1000 binuklearnih-BN ćelija su normalne vrednosti) i nukleusni pupovi (NP) (0-5 na 1000 BN ćelija su normalne vrednosti) su takođe ispitivani [14]. Izbrojano je 14 NPM na 1000 ćelija – u jednoj BN ćeliji su nađena 2 NPM između dva glavna nukleusa, a 12 BN ćelija je sadržalo 1 NPM. Takođe je pronađeno 10 NP – 3 NP u jednoj ćeliji, nađene su 2 ćelije sa 2 NP na glavnim nukleusima i 3 ćelije sa 1 NP.
Nakon ovog ispitivanja, T1 je nastavio da radi sa radionuklidima, a kada je došao na kontrolni pregled u LRC, nakon 4 meseca (u maju 2008.) rezultati su bili sledeći: analizom CA konstatovan je 1 ACF i 1 hromatidni prekid (HP) Bq, analizom MN testa: 37 MN na 1000 BL, 14 NPM and 9 NP.
Nakon ovih pregleda, T1 je bio isključen iz rada sa radiofarmaceuticima naredna 3 meseca. Ponovo je dosao u LRC u novembru 2008., kada je analizom CA konstatovan normalan nalaz, bez nestabilnih strukturnih hromozomskih aberacija, hromatidnih i izohromatidnih prekida. Nađeno je 19 MN na 1000 BL (10 NPM i 6 NP).

Tehničar 2 (T2) je ispitivan u LRC samo u novembru 2008. Oba testa, i analiza CA i MN test su pokazali normalne vrednosti. Hromozomskih aberacija nije bilo, a na 1000 pregledanih BN ćelija nađeno je 11 MN.
Oba tehničara su nepušači. T1 je radio (u to vreme) sa radiofarmaceuticima 20, a T2 18 godina..
U pogledu procene rizika za T1, važno je napomenuti da je imao incident 2001. godine. Prosuo je ^{131}I preko ruku. Incident tada nije prijavljen, a procena doze nije urađena. Prvo očitavanje ličnog dozimetra, nakon incidenta, je bilo dve nedelje kasnije. Rezultat je bio Hp(10)=11mSv. Sledećeg meseca rezultat je bio Hp(10)=7mSv.
Tabela 3. predstavlja samo ličnu godišnju procenu doze Hp(10) za tehničara 1.

Tabela 3:Godišnji lični ekvivalent doze Hp(10) za T1

God	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
***Hp (10)* mSv**	19.64	1.71	1.46	2.13	2.52	3.26	2.63	31.86	4.08
Komentar	^{131}I Kontaminacija u novembru	-	-	-	-	-	^{90}Y terapija	^{90}Y terapija	-

Tabela 4. Citogenetski rezultati za T1

Datum citogenetskih ispitivanja	**Analiza CA**	**Analiza MN (broj MN na 1000 BL)**	**Distribucija MN (No ćelija x No prisutnih MN)**	**NPM**	**NP**
Decembar 2001.	1DC + 1 ACF	35	1 x 4 3 x 3 4 x 2 14 x 1	Nije analizirano	Nije analizirano
Januar 2008.	1 ACF	40	2 x 4 4 x 3 6 x 2 8 x 1	14	10
Maj 2008.	1 ACF + 1 HP Bq	37	1 x 4 4 x 3 3 x 2 15 x 1	14	9
Novembar 2008.	normalan	19	1 x 3 3 x 2 10 x 1	10	6
Jun 2010.	normalan	13	2 x 2 9 x 1	7	4

Ovaj tehničar je bio na citogenetskim ispitivanjima u Decembru 2001. Analizom CA je nađen 1 DC sa pratećim ACF na 200 pregledanih metafaznih ćelija, a rezultat MN testa je bio: 35 MN na 1000 BN ćelija. Distribucija MN je bila: 1 ćelija sa 4 MN, 3 ćelije sa 3 MN, 4 ćelije sa 2 MN i 14 ćelija sa 1 MN. NPM i NP nisu analizirani.
T1 je dolazio na redovne kontrolne preglede u periodu između dva incidenta, jednom godišnje, i njegovi nalazi su bili uglavnom normalni, u slučaju analize CA (bez nestabilnih aberacija), a vrednosti MN testa su bile između 16-20 na 1000 BL.
Rezultati svih citogenetskih ispitivanja za T1 su predstavljeni na Tabeli 4.

Bez korišćenja prsten-dozimetara nije moguće potvrditi dozu. Međutim, u ovom prikazu slučaja je pokazano da, u nekim situacijama, čak i TLD je dovoljan za procenu doze i detekciju radijacionog incidenta.
Prikaz slučaja za T1 je veoma dobar primer kombinovanja rezultata fizičke dozimetrije i citogenetskih analiza, u slučaju interne kontaminacije visokim dozama radionuklida, za razliku od izlaganja malim dozama JZ, kada je neslaganje između rezultata fizičke- i biodozimetrije često prisutno.
Korišćenje odgovarajućih citogenetskih analiza, u slučaju interne kontaminacije, zavisi od tačke ulaska i metabolizma radionuklida. Prema nekim istraživačima [1], MN test bi trebalo koristiti pre nego analizu CA, zbog povećane osetljivosti i primenljivosti pri različitim tipovima interne kontaminacije.
Ovaj rad je takođe pokazao da je CBMN test senzitivnija metoda od analize CA, u slučaju interne kontaminacije. CBMN test je zanimljiv jer, pored MN, samih po sebi, ovaj test omogućava praćenje distribucije MN u ćelijama, broj NPM i NP, a takođe i apoptotične i nekrotične ćelije [7, 14].
Dobro je poznato da su NPMindikatori dicentrika u ćeliji [15,16], koji nije mogao da se rasporedi u ćerke ćelije za vreme procesa ćelijske deobe, a da su NP direktni indikatori amplifikacije nekih gena [15].
Razlike između biološkog odgovora na istu vrstu interne kontaminacije ova dva tehničara mogu biti objašnjene individualnom varijabilnošću, i, mozda, činjenicom da je T1 već bio, 7 godina pre drugog incidenta, kontaminiran radionuklidom (^{131}I, 2001.). Njegov drugi odgovor je verovatno bio veći zbog kumulativnog efekta jonizujućeg zračenja , kao i hronične ekspozicije radionuklidima na svom radnom mestu.
Najvažniji uslovi za bolju praksu u nuklearnoj medicini su korišćenje adekvatnih mera zaštite, redovni medicinski i citogenetski pregledi, kao i edukacija radnika koji rade sa otvorenim izvorima zračenja.

4. Reference

[1] Joksić G. Citogenetski testovi u dijagnostici internih kontaminacija radionuklidima. Hemijska industrija 2001;55:273-276.
[2] Jovičić D, Milačić S, Vukov TD, Rakić B, Stevanović M, Drakulić D, Rakić R, Bukvić N. Detection of premature segregation of centromeres in persons exposed to ionizing radiation. Health Physics 2010;98(5):717-727.
[3] Albertini RJ, Nicklas JA, O'Neill JP. Future research directions for evaluating human genetic and cancer risc from environmental exposures. Environ Health Persp 1996;104(Suppl 3):503-10.
[4] International Atomic Energy Agency (IAEA). Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment. International Atomic Agency Technical Report Series 405. Vienna: IAEA;2001.

[5] Ainsbury EA, Bakhanova E, Barquinero JF, Brai M, Chumak V, Correcher V, Darroudi F, Fattibene P, Gruel G, Guclu I, Horn S, Javorska A, Kulka U, Lindholm C, Lloyd D, Lango A, Marrale M, Monteiro Gil O, Oestreicher U, Pajic J, Rakic B, Romm H, Trompier F, Veronese I, Voisin P, Vral A, Whitehouse CA, Weiser A, Woda C, Wojcik A, Rothkamm K. Review of Retrospective Dosimetry Techniques for External Ionizing Radiation Exposures. Radiat Prot Dosymetry 2010; first published online.
[6] International Commision on Radiological Units and Measurements. Retrospective Assesment of Exposure to Ionizing Radiation (Report 68). Journal of the ICRU 2002.
[7] Fenech M, Chang WP, Kirsch-Volders M, Holland N, Bonassi S, Zeiger E.HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. Mutat Res 2003;534:65-75.
[8] Jovičić D, Milačić S, Milić N, Bukvić N, Vukov TD. Chromosomal aberrations in subjects exposed to ionizing radiation. J Env Path Tox Onc 2009;28:75-82.
[9] Romm H, Oestreicher U, Kulka U. Cytogenetic damage analysed by dicentric assay. Ann Ist Super Sanita 2009;45:251-259.
[10] Fenech M. Cytokinesis-block micronucleus technique: a detailed description of the method and its application to genotoxicity studies in human population. Mutat Res 1993;285:35-44.
[11] Gollin SM. Mechanisms leading to chromosome instability. Seminars in Cancer Biology 2005;15:33-42.
[12] Mateuca R, Lombaert N, Aka PV, Decodier I, Kirsch-Volders M. Chromosomal changes: induction, detection methods and applicability in human biomonitoring. Biochemie 2006;88:1515-31.
[13] Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook. Radiation Protection Dosimetry 2002;98.
[14] Fenech M. Cytokinesis-block micronucleus cytome assay. Nature Protocols 2007;2:1084-104.
[15] Fenech M, Crott JW. Micronuclei, nucleoplasmic bridges and nuclear buds induced in folic acid deficient human lymphocytes-evidence for breakage-fusion-bridge cycles in the cytokinesis-block micronucleus assay. Mutat Res 2002;504:131-6.
[16] Fenech M, Bonassi S, Turner J, Lando C, Ceppi M, Chang WP, Holland N, Kirsh-Volders M, Zeiger E, Bigatti P, Bolognesi C, Cao J, De Luca G, Di Giorgio M, Ferguson LR, Fučić A, Garcia Lima O, Hađidekova VV, Hrelia P, Jaworska A, Joksić G, Krishnaja AP, Lee T-K, Martelli A, McKay MJ, Migliore L, Mirkova E, Müller W-U, Odagiri Y, Orsiere T, Scarfi MR, Silva MJ, Sofuni T, Surelles J, Trenta G, Vorobtsova I, Vral A, Zijno A. Intra- and inter-laboratory variation in the scoring of micronuclei and nucleoplasmic bridges in binucleated human lymphocytes. Results of an international slide-scoring exercise by the HUMN project. Mutat Res 2003;534:45-64.

ABSTRACT

OCCUPATIONAL EXPOSURE BY RADIONUCLIDES - A CASE STUDY -

Boban Rakić[1], Jelena Pajić[1],Olivera Marinković[2], Dubravka Jovičić[3], Vedrana Prokić[1] and Zoran Mirkov[1]

1) Serbian Institute of Occupational Health, Belgrade, Serbia

2) Serbian Radiation protection and Nuclear Safety Agency, Belgrade, Serbia

3) Faculty of Applied Ecology "Singidunum" University, Belgrade, Serbia

*e-mail:*rakicboban@yahoo.co.uk

Most important cytogenetic tests used in assessment of genome damage are analysis of structural chromosomal aberrations (CA) -stable and unstable, sister chromatid exchange (SCE) and cytokinesis-block micronucleus (CBMN) assay. CA analysis and CBMN test are standardized techniques used in dose assessment of subjects professionally, medically and accidentally exposed to ionizing radiation. At this very moment, there is no best applicable method for dose assessment in case of internal contamination with radionuclides. Available bioassays are more or less sensitive, depending on particular irradiation.

Available physical methods for dose assessment of subjects operating open sources in most cases are not enough for accurate dose assessment, and there is a need for implementing additional methods, namely, extremity dosimetry.

There is, very often, disagreement in dose assessment in physical and biodosimetry in case of exposure to low doses of IR. However, in certain situations, both bioassays and available physical dosimetry methods seem to be quite enough in detecting internal contamination.

In this paper are presented values for personal equivalent doses Hp(10) and Hp(0.07) (from Personal Dosimetry Department - SIOH) and results of CA and MN analyses after first and control examinations from Cytogenetic Laboratory of same Institute. This paper also showed that CBMN test is more sensitive technique in case of internal contamination than CA analysis.

HRONIČNA LIMFOCITNA LEUKEMIJA POD UTICAJEM NEJONIZUJUĆEG ZRAČENJA-PRIKAZ SLUČAJA

Jelena ĐOKOVIĆ i Snežana MILAČIĆ
Institut za medicinu rada „ Dr Dragomir Karajović“, Beograd, Srbija,
djokovic.j@gmail.com

SADRŽAJ
Razvojem novih tehnologija suočeni smo sa novim vidovima energije čiji efekti po zdravlje se primećuju poslednjih nekoliko godina ili će se tek primetiti. Uticaj nejonizujućeg zračenja na zdravlje ljudi je još uvek nedovoljno ispitan. Kao grana medicine koja se bavi prevencijom, medicina rada je u većini slučajeva u problemu kako da dokaže jasnu povezanost kontstovanog oboljenja i štetnosti kojoj se radnik izlaže na radnom mestu.
Cilj ovog prikaza je razmatranje eventualnog profesionalnog oboljenja-hronične limfocitne leukemije izazvane nejonizujućim zračenjem.

1.Uvod

Razvojem novih tehnologija, suočeni smo sa novim vidovima energije čiji efekti po zdravlje se primećuju poslednjih nekoliko godina ili će se tek primetiti. Uticaj fizičkih agenasa po zdravlje je u polju interesovanja naročito zbog mogućeg manipulisanja ili nepoznavanja samih karakteristika zračenja. Uticaj jonizujućeg zračenja je ispitan i zna se da ima kancerogeno svojstvo. Međutim uticaj nejonizujućeg zračenja je još uvek nedovoljno ispitan. Naučni dokazi o uticaju elektromagnetnog zračenja su slabi. O uticaju nejonizujućeg zračenja se bave asocijacije koje prate dve forme raka u ljudskoj populaciji (dečiju leukemiju i hroničnu limfocitnu leukemija kod odraslih). Kao grana medicine koja se bavi prevencijom, medicina rada je u većini slučajeva u problemu kako da dokaže jasnu povezanost konstatovanog oboljenja i štetnosti kojoj se radnik izlaže na radnom mestu.
Cilj ovog prikaza je razmatranje eventualnog profesionalnog oboljenja-hronične limfocitne leukemije izazvane nejonizujućim zračenjem.
Prikaz bolesnika
Pacijent Đ.A bio je hospitalizovan u Institutu za medicinu rada Srbije radi ispitivanja i ocene radne sposobnosti po uputu specijaliste medicine rada nakon periodičnog pregleda. Ima 42 godine života. Po zanimanju je meteorološki tehničar, ima 24 godine staža osiguranja i sve vreme radi poslove referenta za operativno sprovođenje odbrane od grada I stepena u RO Hidrometerološki zavod Srbije u Kruševcu.
Na prijemu se žalio na otok i bolnu osetljivost u potpazušnim jamama i u predelu vrata i prepona uz uvećanje limfnih čvorova u tim predelima, bol ispod levog rebarnog luka, u levoj polovini grudnog koša i iza grudne kosti, otežano disanje i sviranje u grudima, glavobolju, povremeno vrtoglavice, zapušen nos i otežano gutanje.
Objektivno se uočavaju uvećani limfni čvorovi (na vratu, u pazusima i preponama).
Zbog povišenih vrednosti leukocita i limfocita avgusta 2009. pacijent je detaljnije ispitivan da bi u avgustu 2010. posumnjano da se radi o hroničnoj limfocitnoj leukemiji koja je potvrđena citološkim nalazom u Vojnomedicinskoj akademiji u Beogradu. U toku je lečenje u Institutu za hematologiju Kliničkog centra Srbije. Pacijent je i dugogodišnji dijabetičar, od avgusta 2010. je sekundarno insulin zavistan. Boluje i od arterijske hipertenzije, hroničnog lumbalnog sindroma, kao i poremećaja prilagođavanja na novonastale okolnosti (bolest).

Ispitivanjem u citogenetskoj laboratoriji Instituta za medicinu rada Srbije konstatovan je i smanjen mitotski indeks što se i očekivalo. Na 50 pregledanih metafaza nisu nađene nestabilne strukturne aberacije. Konstatovan je 1 izohromatidni prekid (Bq) u prvoj i 1 hromatidni prekid Aq u drugoj ćeliji, smanjen indeks binuklearnih limfocita. Mikronukleusni test je negativan (na 750 pregledanih binuklearnih limfocita nađeno je 9 mikronukleusa).
Hematološkim ispitivanjem nađena je leukocitoza (22.2 x 10 9/L), neutropenija 18.7%), limfocitoza (74.3 %; 16.5 x10 9/L), monocitoza (1x10 9/L) i trombocitopenija. Perifernim razmazom krvi potvrđena je hronična limfocitna leukemija.
Na osnovu dobijenog ispitivanja pacijent nije sposoban za radno mesto gde bi bio izložen nejonizujućem zračenju, odnosno drugim hematotoksičnim agensima.

2. Diskusija

Hronična limfocitna leukemija je hronično maligno limfoproliferativno oboljenje koje nastaje zbog monoklonske proliferacije i akumulacije limfocita u kostnoj srži, perifernoj krvi, slezini, limfnim čvorovima, jetri i drugim organima. Javljaju se u 25 % osoba sa leukemijama, najčešće u osoba preko 50 godina, izuzetno retko ispod 30. godine života. Najčešće se radi o bolesti B limfocita. Etiologija bolesti je bazirana na mogućoj ulozi hrmozomskih anomalija, onkogena i retrovirusa. Najčešće se radi o porodičnom opterećenju. U onkogene mogu da spadaju hemijski i fizički agensi (npr. jonizujuće zračenje).(1,2). Ukoliko se javi u osoba koja su mlađe od 50 godina, od značaja je utvrditi uzrok nastanka ove bolesti. Kao što je navedeno, najčešće se smatra naslednom bolešću, ali uticaj radne sredine takođe ne treba zanemariti.
Naš pacijent koji boluje od hronične limfocitne leukemije ima 42 godine života i radi poslove referenta za operativno sprovođenje odbrane od grada I stepena. Ovo radno mesto je procenjeno kao radno mesto bez povećanog rizika po nastanak profesionalnih oboljenja. Na osnovu toga se zaključuje da je radnik izložen vrlo malim dozama nejonizujućeg zračenja, bez opasnosti po zdravlje. Limitirajući faktor za razmatranje slučaja bio je nedostatak informacija o samim karakteristikama izvora, primljenim dozama, odnosno o dužini ekspozicije. Procenjuje se da je snaga izvora oko 5 GHz, međutim, sama antena zrači samo u određenim pravcima, ukoliko je radar uključen. Smatra se da ukoliko je osoba na mestu emitovanja kroz prostor radiotalasa, izložena je nejonizujućem zračenju u većoj meri. Stoga, preporuka je da postoji adekvatna procena rizika na radnom mestu kako bi se potpunije analizirali ovakvi slučajevi, jer samo priznavanje profesionalnog oboljenja iziskuje jasnu korelaciju štetnosti na radnom mestu i ustanovljenog oboljenja
Agencije koje se bave uticajem nejonizujućeg zračenja na organizam su NIESH (National Institute of Environmental Health Scienses) i NIH (National Institutes of Health), a IARC (International Agency for Research on Cancer) je nejonizujuće zračenje klasifikovao u 2B odnosno u grupu mogućih kancerogena (2,3,4,5). U svakom slučaju, u pitanju su male verovatnoće za nastanak bolesti, jer se radi o nejonizujućem zračenju, agensu fizičke prirode koji nema dovolju snagu da izazove jonizaciju materije odnosno rak. (2,3,4) O povezanosti hronične limfocitne leukemije i nejonizujućeg zračenja u svetskoj i našoj literaturi nema dovoljno podataka. Za sada se smatra da ne postoji uzročno-posledična povezanost (1,2) te se hronična limfocitna leukemija u ovom slučaju nije mogla priznati profesionalnim oboljenjem.

*Referentne vrednosti Instituta za medicinu rada Srbije:

Leukociti: 3.4-9.7 x 10^{9}/L	Eritrociti (za žene): 4.34-5.72 x 10^{12} /L
Neu (segmentirani leu) %: 44.0-72.0	Hemoglobin (za žene): 119-157 g/L
Ly %: 20.0-46.0	Hematokrit (za žene): 0.360-0.470 L/L
Mo %: 2.0-12.0	MCV (za žene): 83.0-97.2 fL
Eo%: 0.0-7.0	Fe u serumu (za žene): 7-28 μmol/L
Ba%: 0.0-1.0	

3. Reference

[1] M. Čolović. Hronična limfocitna leukemija. U: D. Manojlović. Interna medicina II . Beograd, 2000: 1006-1010.

[2] Martha S. Linet, Mary K. Schubauer-Berigan, Dennis D. Weisenburger, David B. Richardson, Ola Landgren, Aaron Blair, Sharon Silver, R. William Field, Glyn Caldwell, Maureen Hatch and Graca M. Dores: Chronic lymphocyt leucaemia: an overview of aetiology in light of recent developments in classification and pathogenesis-review. British Journal of hematology, 2007; 139: 672-686.

[3] NIEHS REPORT on Health Effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic field. NIH Publication No.99-4493. National Institute of Environmantal Health Sciences, Research Triangle Park, NC, 1999. on http://www.niehs.nih.gov/health/docs/niehs-report.pdf.

[4] Extremely low frequency on http://en.wikipedia.org/wiki/extremelyl_low_frequency

[5] World Health Organisation. Environmantal Health criteria 238. Extremely low frequency fields. WHO Geneva, Switzerland, 2007. http://www.who.int/peh-emf/research/health_ riscasses/en/index2.html

ABSTRACT

CHRONIC LYMPHOCYTIC LEUKAEMIA AND NON-IONIZING RADIATION-CASE REPORT

Jelena Đokovićand Snežana Milačić

Institute of Occupational Health „Dr Dragomir Karajović“, Belgrade, Serbia, djokovic.j@gmail.com

During past years we are faced with new forms of energy. The influence of non-ionizing radiation on human health is still not well understood. As a preventional field of medicine, occupational medicine has a problem to detect correlation between desease and workplace hazard.

The aim of this case report is to consider a possible occupational disease-chronic lymphocytic leukemia caused by non-ionizing radiation.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MICRONUCLEI INCIDENCE OF PERSONS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONISING RADIATION IN SERBIA AND CROATIA

Mirta MILIĆ[1], Dubravka JOVIČIĆ[2], Boban RAKIĆ[3] and Jelena PAJIĆ[3]
1) Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia
2) Faculty of Applied Ecology "Singidunum" University, Belgrade, Serbia
3) Serbian Institute of Occupational Health "Dr Dragomir Karajovic", Belgrade, Serbia

ABSTRACT
Biomonitoring is important part of biodosimetry for individuals professionally exposed to different physical or chemical mutagens or carcinogens. To estimate the amount of damage caused after the exposure, it is important to have sensitive and reliable methods for evaluation. The reliable method for detection of stabile DNA damage in human peripheral blood lymphocytes in the field of radiation protection is cytokinesis-blocked micronucleus assay (CBMN). Total number of the individuals included in this study was 60, half of them were workers from Serbia and the other half workers from Croatia. The samples of whole blood (5ml) were taken from cubital vene into heparinised vacutainer (Becton Dickinson) and kept at 4 °C till further processing. One thousand binucleated lymphocytes with well-preserved cytoplasm per subject were analyzed. The criteria used for the selection of binucleated cells, MN, NPB (total number of nucleoplasmic bridges), NB (total number of nuclear buds), and for the calculation of NDI (nuclear division index). When two groups were compared, statistically significant difference was observed for MN (p=0.009), MN1 (p=0.046), NB (p=0.005) and NMB (p=0.000). All the values were higher in the group of workers from Serbia. Spearman correlation did not show any statistically significant influence on observed variables, except for the MN and MN1 (R=0.885). The number of NMB also showed the significant correlation with the NB (R=0.623). The interesting fact was the significant correlation between NB and total years of working (R=0.439), but not with the years of exposure, while NMB showed significant correlation with total years of employment (R=0.413) and years of exposure (R=0.264).

1. Introduction

It is well known that ionizing radiation induce some changes in chemical constituents of cell. Effects of the radiation include possible development of highly delicate lesions of the genetic material. Modern radiation cytogenetics had long ago accepted a postulate that DNA molecules, as essential biological substrate, represent the most important target of the ionizing radiation. Occupational exposition to low doses of ionising radiation is a particularly delicate subject for investigation, due to the cumulative effects of chronic exposure. It is very important to consider and to measure the biological response to given conditions of exposure [1,2]. Biomonitoring is important part of biodosimetry for individuals professionally exposed to different physical or chemical mutagens or carcinogens. To estimate the amount of damage caused after the exposure, it is important to have sensitive and reliable methods for evaluation. The most important cytogenetic methods used in surveillance of proffesionalyexposed populations are chromosomal aberrations (CA), sister chromatid exchange (SCE) and micronucleus test (MN).

The reliable method for detection of stabile DNA damage in human peripheral blood lymphocytes in the field of radiation protection is cytokinesis-blocked micronucleus

assay (CBMN). This method is used to evaluate damage after radiation exposure of occupational, medically and accidentally exposed individuals and to assess *in vitro* radiosensitivity and cancer susceptibility [3-14]. The name of this method comes from micronuclei - like small nuclei with nuclear membrane in cytoplasm that are not incorporated into the daughter cells after cell division. They can contain parts or whole chromosomes that lag behind at anaphase during nuclear division. In CBMN assay, they are counted in once-divided cells that did not pass cytokinesis due to chemical cytohalasin used in the method. There is a large number of studies that have showed strong correlation between induced number of micronucleus detected in binucleated cells and radiation exposure [15-20], especially among hospital and nuclear power plant workers [21-25]. Half time of MN disappearing is 342 days, similar to the results observed in radiotherapy patients one year after the therapy that showed MN declination of about 60% [26].In Belgium, Croatia and Serbia, micronucleus assay is regularly applied in biomonitoring of workers exposed to ionising radiation whose exposure did or did not exceed the 20 mSv dose limits. The prescription for this examination is given by the occupational medicine service of the worker. The accuracy of any risk assessment, especially low dose exposures, depends on both the resolution of the method, and the baseline data obtained in well-selected controls. The dose detection limit with 95% of confidence for individual dose assessment is restricted to 0.2 Gy [27], but can be decreased to 0.1 Gy by scoring centromeres in micronuclei using fluorescence in situ hybridization (FISH) [28-32]. Compared to chromosomal assay, in which the most important stabile damage measured after radiation was the frequency of dicentrics, with similar decline time, this test is easy, rapid and can be used in large scale assessment and for population triage in case of large scale radiation accidents [27]. In Croatia, the mean value for general population is 13 micronuclei per 1000 binucleated cells, with the range from 0 to 18 micronuclei. In Serbia, the normal values for general population are from 0 to 15 micronuclei per 1000 binucleated cells.Except for measuring frequency of micronucleus, with this CBMN assay it is also possible to measure other forms of damage, such as nuclear buds (NB) and nucleoplasmic bridges (NPB). For NPB is considered that they origin from dicentric chromosomes, that cannot be divided equally into daughter cells after nuclear division, and NB are considered to be connected with gene or chromosome amplifying and possibly elimination of DNA-repair complexes. With this assay it is possible to measure nuclear division index (NDI) and to see wheter the exposure results in cell cycle delay [33].

2. Materials and methods

Total number of the individuals included in this study was 60, half of them were workers from Serbia and the other half workers from Croatia. The samples of whole blood (5ml) were taken from cubital vene into heparinised vacutainer (Becton Dickinson) and kept at 4 °C till further processing. All the individuals filled standardised questionary that involved question about their specific life habbits, diet, diseases. Workers were from different proffesions, and included radiologists, technicians, nurses, cardiologists, etc. Demographic characteristics can be seen in Table 1. Cultures for the CBMN (cytochalasin B-blocked micronucleus) assay were set up in triplicate according to method of Fenech and Morley [34] with minor modification. Incubation of the cell lymphocyte cultures in RPMI 1640 medium (Gibco), with 1% of phytohaemaglutinin (Apogent), 20% of foetal serum and mixed solution of peniciline (100 IU per ml, Pliva) and streptomicine (100 µg per ml, Krka) lasted for 72 hours at 37 °C in humidified

atmosphere with 5% CO_2 supplementation (Heraeus Hera Cell 240 incubator). To block cytokinesis, cytochalasin B (Sigma) was added 44 hours after the start of cultivation, at concentration of 6 µg per ml. After cultivation, samples were centrifuged at 800 rpm per minute, 8 minutes. After the received hypotonic treatment (for 20 minutes), samples were fixed according to Kapka *et al*. [35]. One thousand binucleated lymphocytes with well-preserved cytoplasm per subject were analyzed. The criteria used for the selection of binucleated cells, MN, NPB, NB and NDI calculation have already been described by Fenech *et al*. [36].Statistical analyses was carried out by the use of Statistica 9.0 package (StatSoft, Tulsa, USA). Each subject was characterized for the extent of DNA damage by considering the mean (± standard deviation) for the MN parameters measured. Mann- Whitney U-test was used to test the differences between the groups. Spearman Rank Correlation analysis was used to find correlation among observed parameters.

3. Results

Demographic characteristics of the study population are given in Table 1. The values of the age, number of smokers/non-smokers and years of exposure did not significantly differ among two groups ($p>0.05$).

When two groups were compared, statisticaly significant difference was observed for MN ($p=0.009$), MN1 ($p=0.046$), NB ($p=0.005$) and NPB ($p=0.000$). All the values were higher in the group of workers from Serbia. Spearman correlation did not show any statistically significant influence on observed variables, except for the MN and MN1 ($R=0.885$). The number of NMB also showed the significant correlation with the NB ($R=0.623$). The interesting fact was the significant correlation between NB and total years of working ($R=0.439$), but not with the years of exposure, while NPB showed significant correlation with total years of employment ($R=0.413$) and years of exposure ($R=0.264$).

4. Conclusion

This paper reports the results of frequency of MN, NB and NPB in peripheral blood lymphocytes of persons occcupationally exposed to ionising radiation in Serbia and Croatia, performed according to newly established criteria as proposed by HUMN project [36].

Because the ionising radiation is strong clastogenic agent, and thus a potent inducer of MN, it is very important to estimate their effects by CBMN assay. The CBMN assay for peripheral blood lymphocytes is a thoroughly validated and standardized technique to evaluate exposure of occupationally, medically and accidentally exposed individuals [37].

Analysis of cytogenetic damage in peripheral blood lymphocytes induced by ionising radiation is commonly used for biodosimetry. Beside cytogenetic techniques like dicentric assay and premature chromosome condensation fragment, CBMN assay is also used for retrospective dosimetry, especially for assessing dose from more recent exposures.

Table 1. Demographic characteristics of the study population with respect to gender, age, smoking habits, years of exposure and profession

	No. of subjects (30 totally) (%)		Age		Smoking habits (No.)		Years of exposure		Profession	
	Male	Female	Mean±SD	Range	S	NS	Mean±SD	Range	Radiologist	Rö technician
Serbian population	10(33)	20(67)	44.73±8.83	27-59	8	22	17.30±8.08	5-35	6	24
Croatian population	10(33)	20(67)	45.63±9.23	28-59	8	22	16.28±8.71	2-38	6	24

Table 2. Frequency of micronuclei (MN), nuclear buds (NB) and nucleoplasmic bridges (NMB) per 1000 binucleated cells in both exposed groups expressed as mean±SD and range

	MN	MN1	MN2	MN3	MN4	NB	NMB
Serbian population	21.43±6.69* 12-36	14.03±3.51** 6-22	2.60±1.59 1-7	0.60±0.86 0-3	0.10±0.31 0-1	3.53±2.03** 1-8	7.20±2.76** 3-13
Croatian population	15.53±8.49 1-29	11.53±6.86 1-25	1.83±1.53 0-5	0.07±0.25 0-1	0.03±0.18 0-1	2.03±2.27 0-7	0.90±1.71 0-8

*Significantly different from the other group ($p<0.01$) as determined by Mann-Whitney U-test

** Significantly different from the other group ($p<0.001$) as determined by Mann-Whitney U-test

The CBMN assay has been validated as a good dosimetric tool in a limited number of small radiation accidents [38]. Biodosimetry based on the cytogenetic methods, like CBMN assay, is of particular importance because it takes into account interindividual variation in susceptibility to radiation damage [37].
The results obtained in this study could be used for future comparison with cytogenetic results between Laboratory for radiation cytogenetics of SIOH and Mutagenesis Unit of Institute for Medical Research and Occupational Health in Croatia. It is very important to compare these results with results obtained in healthy blood donors from the general population of these countries.

5. Literature

[1] D. Jovicic, S. Milacic, N. Milic, N. Bukvic and T.D. Vukov. Chromosomal aberrations in subjects exposed to ionizing radiation. *J Environ Pathol Toxicol Oncol*28(1) 2009 75–82.

[2] D. Jovicic, S. Milacic, T. Vukov, B. Rakic, M. Stevanovic, D. Drakulic, R. Rakic andN. Bukvic. Detection of premature segregation of centromeres in persons exposed to ionizing radiation. *Health Phys*98(5) 2010717–727.

[3] H. Thierens, A. Vral and L. De Ridder A cytogenetic study of radiological workers: effect of age, smoking and radiation burden on the micronucleus frequency. *Mutat. Res.*360 1996 75–82.

[4] H. Thierens, A. Vral, L. De Ridder, N. Touil , M. Kirsch-Volders , V. Lambert and C. Laurent.Scoring of different cytogenetic endpoints after in vitro low dose γ-exposure: interlaboratory comparison for biomonitoring of radiological workers. *Int J Rad Biol*75 1999 23–34.

[5] H. Thierens, A. Vral, M. Barbe, B. Aousalah and L. De Ridder .A cytogenetic study of nuclear power plant workers using the micronucleus-centromere assay. *Mutat. Res.*445 1999 105–111.

[6] H. Thierens, A. Vral, R. Morthier, B. Aousalah and L. De Ridder.Cytogenetic monitoring of hospital workers occupationally exposed to ionising radiation using the micronucleus-centromere assay. *Mutagenesis*15 2000 245–249.

[7] H. Thierens, A. Vral, M. Barbe, L. De Ridder.Micronucleus assay reveals no radiation effects among nuclear power plant workers. *Health Phys*83 2002 178–182.

[8] I. Sari-Minodier, T. Orsiere, P. Auquier, F. Martin and A. Botta .Cytogenetic monitoring by use of the micronucleus assay among hospital workers exposed to low doses of ionising radiation. *Mutat. Res.*629 2007 111–121.

[9] M. Monsieurs, K. Bacher, B. Brans, A. Vral, L. De Ridder, R.A. Dierck and H.M. Thierens.Patient dosimetry after 131I lipiodol therapy. *Eur J Nucl Med Mol Imag*30 2003 554–561.

[10] F.L. Dias, L.M.G. Antunes, P.A. Rezende, F.E. Carvalho, C.M. Silva, J.M. Matheus, J.V. Oliveira Jr, G.P. Lopes, G.A. Pereira and M.A. Balarin. Cytogenetic analysis in lymphocytes from workers occupationally exposed to low levels of ionising radiation. *Environ Toxicol Pharmacol*23 2007 228–233.

[11] E.Y. Song, S.M. Rizvi, C.F. Qu, C.Raja, J. Yuen, Y. Li, A. Morgenstern, C. Apostolidis and B.J. Allen .The cytokinesis-block micronucleus assay as a biological dosimeter for targeted alpha therapy. *Phys Med Biol*53 2008 319–328.

[12] A. Baeyens, H. Thierens, K. Claes, B. Poppe, L. Messiaen, L. De Ridder and A. Vral.Chromosomal radiosensitivity in breast cancer patients with a known or putative genetic predisposition. *Brit J of Cancer*87 2002 1379–1385.

[13] P. Willems, K. Claes, A. Baeyens, V. Vandersickel, J. Werbrouck, K. De Ruyck, B. Poppe, R. Van den Broecke, A. Makar , E. Marras, G. Perletti , H. Thierens and A. Vral.

Polymorphisms in non homologous end-joining genes associated with breast cancer risk and chromosomal radiosensitivity. *Genes Chrom Cancer*47 2008 137–148. Erratum in: *Genes Chrom Cancer*48 2009 381.
[14] A. Vral, F. Verhaegen, H. Thierensand L. De Ridder .Micronuclei induced by fast neutrons versus 60Co γ-rays in human peripheral blood lymphocytes. *Int J Rad Biol* 65 1994 321–328.
[15] F. Verhaegenand and A. Vral. Sensitivity of micronucleus induction in human lymphocytes to low LET radiation qualities: RBE and correlation of RBE and LET. *Radiat Res*139 1994 208–213.
[16] K. Wuttke, W.U. Muller and C. Streffer. The sensitivity of the in vitro cytokinesis-blocked micronucleus assay in lymphocytes for different and combined radiation qualities. *Strahlentherapie Onkol*174 1998 262–268.
[17] A. Lehnert, E. Lessmann, J. Pawelke and W. Dörr.RBE of 25 kV X rays for the survival and induction of micronuclei in the human mammary epithelial cell line MCF-12A. *Radiat Environ Biophys*45 2006 253–260.
[18] Lehnert A, Dorr W, Lessmann E and J. Pawelke.RBE of 10 kV X rays determined for the human mammary epithelial cell line MCF-12A. *Radiat Res*169 2008 330–336.
[19] B. Gersey, J. Sodolak, M. Hada, P. Saganti, R. Wilkins, F. Cucinotta and H. Wu. Micronuclei induction in human fibroblasts exposed in vitro to Los Alamos high energy neutrons. *Adv Space Res*40 2007 1754–1757.
[20] M. Milić. Važnost individualne osjetljivosti za procjenu rizika od oštećenja genoma pri kroničnoj profesionalnoj izloženosti niskim dozama ionizirajućeg zračenja [disertacija]. Zagreb: Biološki odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu; 2010.
[21] H. Thierens, A. Vral, L. De Ridder. A cytogenetic study of radiological workers: effect of age, smoking and radiation burden on the micronucleus frequency. *Mutat. Res.*360 1996 75–82.
[22] H. Thierens, A. Vral, L. De Ridder, N.Touil, M. Kirsch-Volders, V. Lambert and C. Laurent.Scoring of different cytogenetic endpoints after in vitro low dose γ-exposure: interlaboratory comparison for biomonitoring of radiological workers. *Int J Rad Biol*75 1999 23–34.
[23] H. Thierens, A. Vral, R. Morthier, B. Aousalah and L. De Ridder .Cytogenetic monitoring of hospital workers occupationally exposed to ionising radiation using the micronucleus-centromere assay. *Mutagenesis*15 2000 245–249.
[24] H. Thierens, A. Vral, M. Barbe and L. De Ridder.Micronucleus assay reveals no radiation effects among nuclear power plant workers. *Health Phys*83 2002 178–182.
[25] M. Fenech, J. Denham, W. Francis and A. Morley. Micronuclei in cytokinesis-blocked lymphocytes of cancer patients following fractionated partial-body radiotherapy. *Int J Rad Biol*57 1990 373–383.
[26] H. Thierens and A. Vral. The micronucleus assay in radiation accidents. *Ann. Ist. Super Sanita* 45(3) 2009 260–264.
[27]H. Thierens, A. Vral, L. De Ridder, N. Touil, M. Kirsch-Volders, V. Lambert and C. Laurent.Scoring of different cytogenetic endpoints after in vitro low dose γ-exposure: interlaboratory comparison for biomonitoring of radiological workers. *Int J Rad Biol* 75 1999 23–34.
[28] H. Norppa, L. Renzi and C. Lindholm. Detection of whole chromosomes in micronuclei of cytokinesis-blocked human lymphocytes by antikinetochore staining and in situ hybridization. *Mutagenesis* 8 1993 519–525.
[29] R. Huber, K. Salassidis, U. Kulka, H. Braselmann and M. Bauchinger .Detection of centromeres in vinblastine- and radiation-induced micronuclei of human lymphocytes using FISH with an alpha satellite pancentromeric DNA probe. *Environ Mol Mutagen*27 1996 105–109.

[30] A. Vral, H. Thierens and L. De Ridder. The in vitro micronucleus centromere assay to detect radiation damage induced by low doses in human lymphocytes. *Int J Rad Biol*71 1997 61–68.
[31] F.S. Pala, F. Alkaya, K. Tabakcioglu, F. Tokatli,C. Uzal, S. Parlar and C. AlgünesThe effects of micronuclei with whole chromosomes on biological dose estimation. *Turk J Biol*32 2008 283–290.
[32] M. Kirsch-Volders, T. Sofuni, M. Aardema, S. Albertini, D. Aestmond, M. Fenech, M. Ishidate, S. Kirchner, E. Lorge, T. Morita, H. Norppa, J. Surralles, A. Vanhauweart and A. Wakata. Report from the in vitro micronucleus assay working group. *Mutat. Res.* 540 2003 153–163.
[33] M. Fenech and A.A. Morley. Cytokinesis-block micronucleous method in human lymphocytes: effect of *in vivo* aging and low dose X-irradiation. *Mutat. Res*. 161 1986 193–198.
[34]L. Kapka, A. Baumgartner, E. Siwińska, L.E. Knudsen, D. Anderson and D. Mielzyńska. Environmental lead exposure increases micronuclei in children.*Mutagenesis* 22(3) 2007 201–207.
[35] M. Fenech, W.P.Chang, M.Kirsch-Volders, N.Holland, S.Bonassi, E.Zeiger. HUMN project, detailed descriptions of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocytes cultures, *Mutat. Res.* 534 (2003) 65–75.
[36] International commission on radiological units and measurements. Retrospective assessment of exposure to ionizing radiation (Report 68). Journal of the ICRP 2, 2002
[37] A.Vral, M. Fenech and H. Thierens.The micronucleus assay as a biological dosimeter of in vivo ionizing radiation exposure. *Mutagenesis* 26(1) (2011) 11–17.
[38]E.A.Ainsbury, E. Bakhanova, J.F. Barquinero, M. Brai, V. Chumak, V. Correcher, F. Darroudi, P. Fattibene, G. Gruel, I. Guclu, S. Horn, A. Jaworska, U. Kulka, C. Lindholm, D. Lloyd, A. Longo, M. Marrale, O. Monteiro Gil, U. Oestreicher, J. Pajic, B. Rakic, H. Romm, F. Trompier, I. Veronese, P. Voisin, A. Vral, C.A. Whitehouse, A. Wieser, C. Woda, A. Wojcik and K. Rothkamm.Review of retrospective dosimetry techniques for external ionizing radiation exposures. *Radiation Protection Dosimetry* 2010

UTJECAJ POLIMORFIZAMA GENA ZA POPRAVAK DNA NA OŠTEĆENJA GENOMA LIMFOCITA UZROKOVANIMA KRONIČNOM IZLOŽENOŠĆU IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU NAKON IZLAGANJA DOZI OD 4 GY

Mirta MILIĆ[1], Ružica ROZGAJ[1], Vilena KAŠUBA[1], Marin MLADINIĆ[1], Davor ŽELJEŽIĆ[1], Dragan KUBELKA[2], Sabrina ANGELINI[3] i Patrizia HRELIA[3]

1) Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska, mmilic@imi.hr

2) Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb, Hrvatska, *dzrns@dzrns.hr*

3) Department of Pharmacology, University of Bologna, Bologna, Italy,s.angelini@unibo.it

SADRŽAJ

Promjene u genskoj ekspresiji i polimorfizmi gena koji sudjeluju u DNA popravku mogu utjecati na različiti stanični odgovor poslije izloženosti ionizirajućem zračenju. Cilj ovog istraživanja bila je procjena oštećenja DNA ljudskih limfocita nakon izlaganja dozi od 4Gy ionizirajućeg zračenja.Istraživanje je obuhvatilo medicinsko osoblje kronično izloženo niskim dozama ionizirajućeg zračenja (20) te kontrolnu populaciju. Svi se bili genotipizirani za polimorfne gene koji sudjeluju u popravku DNA: hOGG1, XRCC1, APE1, XPD 10, XPD 23, XRCC3, PARP1 i MGMT. Mikronukleus (MN) test je korišten za procjenu trajnih oštećenja prije i nakon ozračivanja. frekvencija MN korelirala je sa izloženošću te sa polimorfnim varijantama gena XPD23 i hOGG1. Značajna razlika primjećena je između ozračenih homozigota (HO) i heterozigota (HE). Spol je također utjecao na frekvenciju MN u izloženoj skupini nakon ozračivanja. Multipla regresijska analiza je pokazala utjecaj polimorfnih varijanti gena APE1 i XRCC3 sa MN prije ozračivanja. Rezultati su potvrdili vrijednost mikronukleus testa u procjeni DNA oštećenja ali do doze od 2Gy i pokazali moguću upotrebu polimorfnih gena u praćenju pojedinaca profesionalno izloženih niskim dozama ionizirajućeg zračenja.

1. Uvod

U staničnom odgovoru na izloženost niskim dozama ionizirajućeg zračenja velik utjecaj ima i individualne predispozicija, neki put čak i značajnija nego utjecaj duljine trajanja te izloženosti [1,2,3]. Varijacije mogu biti rezultat promjena u ekspresiji gena, ali i posljedica polimorfizama gena koji kodiraju za proteine uključene u različite mehanizme popravka oštećene DNA [4-9].

Cilj istraživanja bio je primjenom mikronukleus (MN) testa utvrditi razinu postojanih oštećenja u genomu limfocita periferne krvi ispitanika profesionalno izloženih zračenju i odgovarajuće kontrolne skupine nastalih nakon izlaganja ionizirajućem zračenju pri dozi od 4 Gy, te istražiti povezanost statusa polimorfnosti gena

koji sudjeluju u popravku DNA s nastalim oštećenjima i dinamikom stanične diobe.

2. Materijal i metode

Zdravi dobrovoljni darovatelji venske krvi oba spola (40) sudjelovali su u istraživanju. Od njih bilo je 20 zdravstvenih radnika nepušača profesionalno izloženih niskim dozama ionizirajućeg zračenja, te 20 ispitanika odgovarajuće dobi i spola u kontrolnoj skupini. Krv za potrebe MN-testa izvađena je u sterilne heparinizirane spremnike, a uzorci za izolaciju DNA uzimani su u spremnike s etilendiamintetraoctenom kiselinom. Svi uzorci krvi ozračeni su dozom od 4 Gy u posebnom nosaču („fantomu“) od pleksi stakla postavljenom na udaljenosti od 80 cm od izvora izotopa kobalta ^{60}Co (uređaj Alcyon, CGR-MeV, na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu). Kulture limfocita za MN-test pripremljene su u triplikatu prema standardnoj metodi [10]. Svjetlosnim mikroskopom, pri povećanju od 1000 x, pregledano je 1000 binuklearnih limfocita s očuvanim citoplazmama po uzorku u kojima je utvrđivana učestalost mikronukleusa [11] te raspodjela i indeks dioba jezgara [12].Genomska DNA izolirana je iz limfocita periferne krvi prema modificiranom protokolu [13] ili protokolu tvrtke QUIAGEN za izolaciju genomske DNA limfocita iz pune krvi (mini KIT). Uzorci su razrijeđeni do koncentracije od 10 ng μL^{-1} i pohranjeni na -20 °C do početka postupka amplifikacije. Na izoliranoj DNA, određivani su slijedeći polimorfizmi gena u: popravku DNA isijecanjem baza: *APE1 (apurinska/apirimidinska endonukleaza,* Asp148Glu), *hOGG1 (ljudska 8-oksoogvanin glikozilaza, Ser326Cys),XRCC1 (X-ray repair cross-complementing protein-group 1, Arg194Trp);* popravku isijecanjem nukleotida: *XPD (Xeroderma pigmentosum-group D*, Lys751Gln); popravku dvolančanih lomova DNA: *XRCC3 (X-ray repair cross-complementing protein-group 3*, Thr241Met), *PARP1 (poli ADP riboza-polimeraza 1*, Val762Ala); popravku neholomolognih krajeva: *MGMT (metil-gvanin DNA metil-transferaza*, Leu84Phe).

Rezultati su obrađeni primijenom t-testa i neparametrijski Mann-Whitney U-testa (MW). Za usporedbu parametara među skupinama, multipla regresijska analiza je korištena za analizu utjecaja parametara na cijelu skupinu, te Spearmanova korelacija za analizu promatranih parametara i parametara oštećenja (STATISTICA 9, StatSoft, Tulsa, SAD).

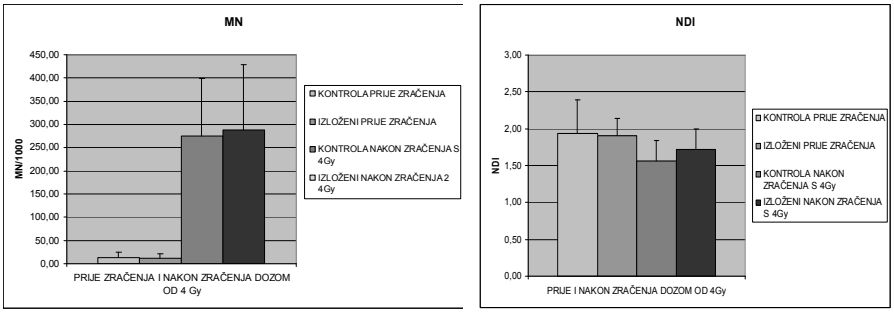
3. Rezultati

Značajke ispitivane populacije s obzirom na dob, spol, duljinu radnog staža i prosječnu dozu zračenja registriranu dozimetrima (zbroj registriranih doza za vrijeme trajanja rada u zoni zračenja) prikazane su u Tablici 1. Učestalost MN i NDI u kontrolnoj i izloženoj skupini prikazani su na Slici 1. Učestalost MN kod ispitanika izložene skupine nakon zračenja dozom od 4 Gy bila je znatno viša nego u kontrolnoj skupini, ali i značajno veća od doze s 2Gy, koja je korištena u prethodnom radu (3). S druge strane, ozračivanje krvi značajno je utjecalo na kinetiku staničnih dioba (Mann Whitney U-test, p=0,04). Multipla regresijska analiza pokazala je pozitivnu korelaciju polimorfnih gena APE1 i XRCC3 s MN u cijeloj skupini prije zračenja (p=0,055, F=1,48, β APE1=0,4, β XRCC3=-0,34).

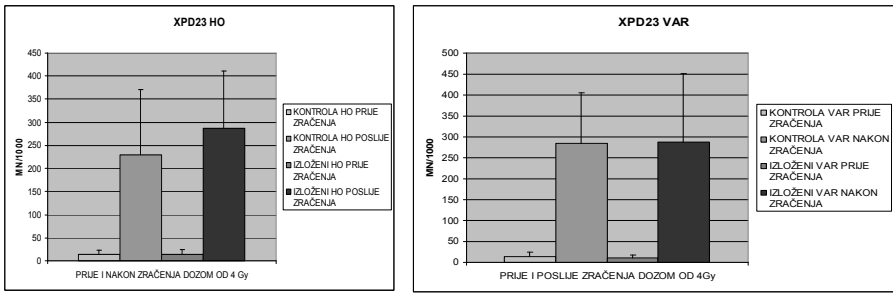
No za razliku od zračenja s dozom od 2 Gy koje je pokazalo utjecaj raznih polimorfizama gena za popravak na samo oštećenje DNA, nakon izlaganja dozi od 4Gy, samo izložena skupina te polimorfizmi XPD23 (p=0,00, Slika 2.) i hOGG1 gena (Slika 3.) su pokazali značajnu korelaciju (p=0,05) s brojem mikronukleusa. Nakon podjele po zanimanjima, skupina radiologa je pokazala korelaciju spola i broja mikronukleusa, pokazujući da su žene imale veća oštećenja, dok je skupina kirurga i kardiologa pokazala povezanost zanimanja s frekvencijom nastalih mikronukleusa nakon zračenja. Kod žena je nađena korelacija između frekvencije mikornukleusa i dobi (p=0,01).

Tablica 1.: Opće značajke istraživane populacije

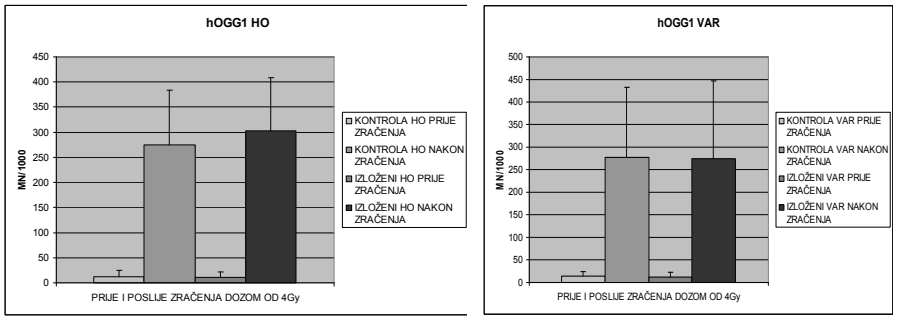
	Broj ispitanika, žene/muškarci	Dob±S.D. (Raspon)	Radni staž±S.D. (Raspon)	Izloženost ±S.D. (Raspon)
Kontrolna skupina	20, 9/11	41,40±9,76 (25-60)	-	-
Izložena skupina	20, 9/11	41,40±9,62 (25-60)	12,13±7,14 (1-28)	4,06±9,77 (0-36,50)



Slika 1.: Učestalost MN i NDI u ispitivanoj populaciji prije i nakon zračenja uzoraka



Slika 2.: Učestalost MN u polimorfnom XPD23 genu prije i nakon zračenja uzoraka



Slika 3.: Učestalost MN u polimorfnom hOGG1 genu prije i nakon zračenja uzoraka

4. Zaključak

Rezultati su pokazali da je doza od 4 Gy podjednako djelovala na kontrolnu i izloženu skupinu, te da niti adaptivni učinak niti utjecaj polimorfizma nije toliko jak, koliko je to bilo prisutno pri zračenju uzoraka dozom od 2Gy.

Ovo je istraživanje potvrdilo vrijednost MN-testa koji se pokazao osjetljivom metodom za analizu i procjenu trajnih oštećenja genoma nakon izloženosti ionizirajućem zračenju. Dobiveni rezultati također upućuju na vrijednost analize polimorfizama gena pri dozi od 2 Gy i niže, ali ne i pri dozi od 4Gy, te sugeriraju mogućnost njene primjene u zdravstvenom nadzoru populacija profesionalno izloženih zračenju.

5. Reference

[1] Andreassi MG, Cioppa A, Botto N, Joksic G, Manfredi S, Federici C, Ostojic M, Rubino P, Picano E. Somatic DNA damage in interventional cardiologists: a case-control study. FASEB J 2005;19:998-999.

[2] Andreassi MG, Foffa I, Manfredi S, Botto N, Cioppa A, Picano E. Genetic polymorphisms in XRCC1, OGG1, APE1 and XRCC3 DNA repair genes, ionizing radiation exposure and chromosomal DNA damage in interventional cardiologists. Mutat Res 2009;666:57-63.

[3] Milić M, Rozgaj R, Kašuba V, Kubelka D, Angelini S, Hrelia P. Utjecaj polimorfizama gena za popravak DNA na razinu postojanih oštećenja genoma u ljudskim limfocitima izazvanih nakon izlaganja ionizirajućem zračenju od 2 Gy. U: Krajcar Bronić, Ines; Kopjar, Nevenka; Milić, Mirta; Branica, Gina, ur. Zbornik radova Osmog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja, str. 123- 128, Krk, Hrvatska, 13-15. travnja2011. Tiskara Denona, Zagreb.

[4] Hu Z, Ma H, Chen F, Wei Q, Shen H. XRCC1 polymorphisms and cancer risk: a meta-analysis of 38 case-control studies. Cancer Epidemiol Biomarkers Prevent 2005;14:1810-1818.

[5] Hung RJ, Hall J, Brennan P, Boffetta P. Genetic polymorphisms in the base excision repair pathway and cancer risk: a HuGE review. Am J Epidemiol 2005;162:925-942.

[6] Parl FF. Glutathione S-transferase genotypes and cancer risk. Cancer Lett 2005;221:123-129.

[7] Weiss JM, Goode EL, Ladiges WC, Ulrich CM. Polymorphic variation in hOGG1 and risk of cancer: a review of the functional and epidemiologic literature. Mol Carcinogen 2005; 42: 127-141.

[8] Kotsopoulos J, Chen Z, Vallis KA, Poll A, Ainsworth P, Narod SA. DNA repair capacity as a possible biomarker of breast cancer risk in female BRCA1 mutation carriers. Br J Cancer 2007;96:118-125.
[9] Milić M. Važnost individualne osjetljivosti za procjenu rizika od oštećenja genoma pri kroničnoj profesionalnoj izloženosti niskim dozama ionizirajućeg zračenja [disertacija]. Zagreb: Biološki odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu; 2010.
[10] Fenech M, Morley AA. Cytokinesis-block micronucleous method in human lymphocytes: effect of *in vivo* aging and low dose X-irradiation. Mutat Res 1986;161:193-198.
[11] Fenech M, Chang WP, Kirsch-Volders M, Holland N, Bonassi S, Zeiger E. HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. Mutat Res 2003;534:65-75.
[12] Eastmond DA, Tucker JD. Kinetochore localization in micronucleated cytokinesis-blocked chinese hamster ovary cells: a new and rapid assay for identifying aneuploidy-inducing agents. Mutat Res 1989;224:517-525.
[13] Daly AK, Steen VM, Fairbrother KS, Idle JR. CYP2D6 multiallelism. Meth Enzymol 1996;272:199-210.

ABSTRACT

INFLUENCE OF SNP POLYMORPHISMS IN DNA REPAIR GENES ON THE LEVEL OF PERSISTENT DAMAGE IN HUMAN LYMPHOCYTES AFTER EXPOSURE TO 4 Gy OF IONISING RADIATION

Mirta MILIĆ[1], Ružica ROZGAJ[1], Vilena KAŠUBA[1], Marin MLADINIĆ[1], Davor ŽELJEŽIĆ[1], Dragan KUBELKA[2], Sabrina ANGELINI[3]2nd Patrizia HRELIA[3]
1) Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia, mmilic@imi.hr
2) State Office for Radiological and Nuclear Safety, Zagreb, Croatia, dzrns@dzrns.hr
3) Department of Pharmacology, University of Bologna, Bologna, Italy,s.angelini@unibo.it

Changes in gene expression and/or polymorphisms of DNA repair genes can result in cell variation response to ionising radiation. The aim of the study was to estimate the DNA damage level in human lymphocytes after exposure to 4Gy of ionising radiation. Medical workers occupationally exposed to low doses of ionising radiation (20) and matched controls were genotyped for polymorphic hOGG1, XRCC1, APE1, XPD 10, XPD 23, XRCC3, PARP1 and MGMT genes. Micronucleus (MN) test was used for the estimation of DNA damage before and after radiation. Incidence of MN in irradiated samples positively correlated with the years of exposure and with polymorphic variants of XPD23 and hOGG1 gene. Significant difference was observed between irradiated homozygotes (HO) and heterozygotes (HE). Gender showed different MN in the exposed group after exposure. Multiple regression analysis revealed connection between polymorphic variants of APE1 and XRCC3 with MN before exposure. These results confirm the value of micronucleus assay in DNA damage estimation but till 2 Gy doses and suggest possible use of polymorphic genes in monitoring of individuals professionaly exposed to low doses of ionising radiation.

INFLUENCE OF AN HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS TO THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ENDOCRINE PANCREAS IN WISTAR SPP. RATS

Smiljana PARAŠ[1], Igor KALABA[1] i Milica MATAVULJ[2]

1) Prirodno-matematički fakultet u Banja Luci, Republika Srpska, BiH, srpskiitebej@gmali.com

2) Departman za biologiju, Prirodno-matematički fakultet Novi Sad, Srbija

SADRŽAJ

Ovaj rad prikazuje kako visokofrekventna elektromagnetna polja deluju na morfološke karaktristike endokrinog u odnosu na egzokrini pankreas. Laboratorijske životinje bili su mužjaci pacova Wistar spp. soja koji su zračeni u visokofrekventnim elektromagnetnim poljima frekvencije od 1,9 GHz, 30 dana po dva sata dnevno. Posle žrtvovanja, pankresi pacova su provedeni kroz standardnu proceduru za svetlosnu mikroskopiju. Prezentacija rezultata obavljena je stereološkim metodama merenja tkiva a statistička obrada podataka i određivanje statističke značajnosti urađeno je u SPSS i ANOVA programu. Značajnost razlika među grupama proveravana je Fišerovim i Studentovim testom.

1. Uvod

Zbog činjenice da brza urbanizacija i sve veći broj baznih stanica koje se koriste u mobilnoj telefoniji stvaraju veliku gustinu elektromagnetnih polja visoke frekvencije danas se sve više izučava njihov efekat, posebno štetni na biološke sisteme. Iz razloga što visokofrekventa elektromagnetna polja mogu da budu uzrok pojave dijabetaesa kod ljudi endokrini pancreas je sve više predmet izučavanja (Arimura i Shioda, 1995., Tomas i sar., 1999., Lowerth i sar., 2004.,). U odnosu na elektromagnetna polja visoke frekvencije pankreas pokazuje takođe veliku sposobnost adaptacije, regeneracije i akomodacije kao u drugim stresnim stanjima. U morfološkom smislu ova polja dovode do malih i neznatnih promena, a u fiziološkom promene su reverzibilne. Koncentracija glukoze i insulina raste u krvi pod uticajem elektromagnetnih polja visoke frekvancije, ali je ovaj porast reverzibilan, prestaje sa nestankom polja (Laitl-Kobierska i sar., 2002). Nejonizujuća zračenja, gde ubrajamo i visokofrekventna elektromagnetna zaračenja mobilnih telefona i baznih stanica imaju niže frekvencije i manju količinu energije u odnosu na jonizujuća zračenja. Sistem komunikacije pomoću mobilnih telefona, baznih stanica, antena i operatera zajedno čini sistem mobilne komunikacije. Antene sistema mobilne komunikacije su uređaji koji dokazano zrače elektromagnetne talase jer pomoću njih prenose zvuk, glas i poruke na daljinu. One su usmerene što znači da zrače u tačno određenom smeru dok u svim ostalim smerovima nivo zračenja opada, dok je nivo zračenja prema dole zanemarljiv (Vecchai i sar., 2009).

2. Teorijski model

Od konkretnih primera uticaja elektromagnetnih polja visoke frekvencije (EMP

VF) na ljudski organizam treba spomenuti rezultate eksperimenata koji su pokazali da se maligne ćelije mnogo brže dele kada su izložene dejstvu ovih polja (Berg, H., 1995; Niu i Kang, 1997). Poznato je da su svi molekularni procesi u ćelijama veoma osteljivi na promene koje izazivaju promene temperature, koncentracije supstanci u i izvan ćelija kao i EMP VF. Najoestljiviji na spomenuta polja su ćelijske membrane i ribozomalni prekidači, RNK senzori koji usmeravaju ekspresiju gena kroz promene u konformaciji RNK i uvođenje ćelije u patološke promene (Veccia i sar., 2010). Pored citoloških postoji i niz epidemioloških ispitivanja koja su išla u smeru verifikovanja i dokazivanja zdravstvenih tegoba koje prouzrukuje upotreba mobilnih telefona i bazne stanice mobilne telefonije. 31% ispitanih Šveđana navelo je da upotreba mobilnih telefona izaziva kod njih bolove glave, umor, pospanost, gubitak koncentracije, tahikardiju, povišen krvni pritisak, mučnine i vrtoglavice (Rea, 2010).

3. Eksperimentalni podaci

Iz svega spomenutog iznikla je ideja za određivanje uticaja EMP VF na odnos endokrinog i egzokrinog pankreasa, kao parametra za prikazivanje rada pankreasa. Ispitivanje uticaja VF EMP na endokrini pancreas izvršeno je na mužjacima belih laboratorijskih pacova soja Wistar od 60-og do 90-og postnatalnog dana, uzgajanih u vivarijumu na Prirodno-matematičkom fakultetu u Banja Luci. Životinje namenjene tretmanu VF EMP izlagane su delovanju polja frekvencije 1,9 GHZ, dva sata dnevno. Kontrolna grupa životinja paralelno je uzgajana u podrumskim prostorijama u kojima nije bilo delovanje nikakvih elektromagnetnih polja niske ili visoke frekvencije. Histološka građa pankreasa: endokrinog (Langerhansova ostrva) i egzokrinog kod kontolnih i životinja izlaganih poljima izučavana je svetlosnom mikroskopijom posle sprovedene standardne obrade histoloških preparata. Za analizu i prezentaciju razultata promena odnosa endokrinog u odnosu na ezokrini pancreas korišćene su stereološke metode a korišćen je Weibel-ov mnogonamenski testni sistem (M42) na mikroskopu Philip Harys pod 10X, 20X i 40X uvećanjem. Tkiva pankreasa su posmatrana na OPTON 9S-2, Oberkochen, Germany mikroskopu, uz upotrebu imagenalyser sistema sa MEGA VIEW kamerom.

4. Rezultati

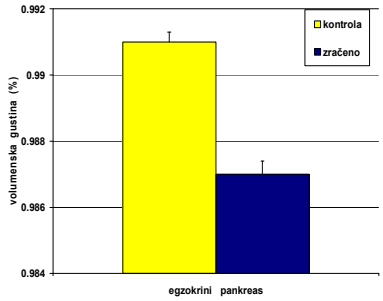
Rezultati istraživanja uticaja EMP VF na promenu tkiva pankreasa preko promene parametra volumenskih gustina endokrine (Langerhansovih ostrva) i egzokrine komponente ove žlezde. Posle eksperimentalnog, citolaboratorijskog i laboratorijskog dela rada došli smo do sledećih podataka. Pomoću M42 mrežice merene su volumenske gustine endokrinog i egzokrinog pankreasa a njihove vrednosti bile su određivane uz pomoć formule:

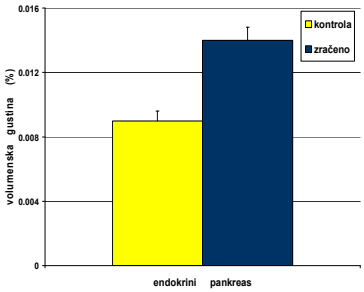
$V_{VF}= P_F / P_T$, gde je: V_{VF} – volumenska gustina ispitivanog elementa, faze, PF- broj tačaka koje pogađaju ispitivani element i PT- ukupan broj tačaka testnog sistema.

Dobijeni podaci su predstavljeni tabelarno i grafički. Posle toga tkiva su fotografisana zbog boljeg prikaza promene odnosa endokrinog u odnosu na egzokrini pankreas.

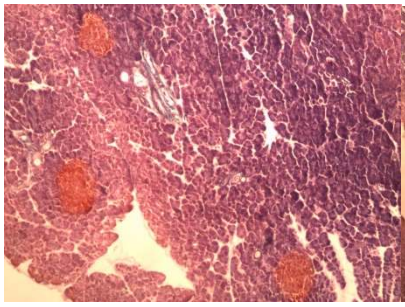
Tabela 1. Statistički podaci odnosa endokrinog i egzokrinog pankreasa

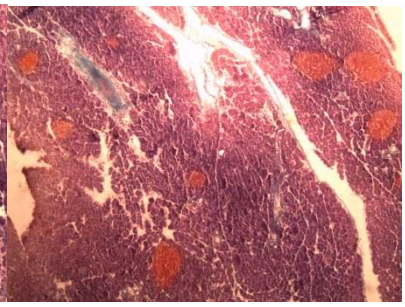
parametar		Vv egzokrini	Vv endokrini
srednja vrednost	kontrola	0.991	0.009
	зpazračeno	0.986	0.014
standardna devijacija	kontrola	0.0066	0.0036
	зpazračeno	0.0066	0.0036
minimalna vrednost	kontrola	0.985	0.003
	зpazračeno	0.974	0.007
maksimalna vrednost	kontrola	0.997	0.015
	зpazračeno	0.993	0.026
koeficijent varijacije	kontrola	0.000013	0.000013
	зpazračeno	0.4797	0.000026
F - test (2,22)	vrednost	0.04722	0.04722
	značajnost	p<0.05	p<0.05
t - test (1,3)	vrednost	0.0083	0.0083
	značajnost	p<0.01	p<0.01





Grafik 1. Odnos egzokrinog pankreasa **Grafik 2. Odnos endokrinog pankreasa**





Slika 1. kontrola, 5X, Masson **Slika 2. zračeno, 5X, Masson**

4. Diskusija

Posle stereoloških merenja i statističke obrade podataka formirana je tabela 1 u kojoj su predstavljeni parametri – volumenske gustine endokrinog i egzokrinog pankreasa. Ista tabela prikazuje da postoji statistička značajnost u razlici između srednjih vrednosti volumenskih gustina endokrinog (0.009 i 0.014) i egzokrinog (0.991 i 0.0986) pankreasa kod zračene grupe životinja u odnosu na kontrolnu grupu pacova, po oba primenjena testa, Fišerov i Studentov. Ovi rezultati se poklapaju sa literaturnim koji potvrđuju povećanje volumenskih gustina endokrinog u odnosu na egzokrini pankreas kod životinja koje su boravile u EMP VF (Laitl-Kobiersk i sar., 2002, Thomas i sar., 1999). Grafici 1 i 2 prikazuju promenu volumenskih gustina egzokrinog i endokrinog pankreasa kontrolne grupe životinja u odnosu na zračenu grupu laboratorijskih pacova. Slike 1 i 2 prikazuju povećan broj Langerhansovih ostrva u zračenoj grupi u odnosu na kontrolu. Povećan broj ostrva ukazuje na veću funkciju pankreasa u cilju lučenja što veće količine insulin u krv kod zračenih životinja. Ovo zapažanje se poklapa rezultatima već urađenih eksperimenata u kojima su životinje zračene VF EMP i kod kojih je došlo do povećanja koncentracije insulin u krvi pacova (Berh, H., 1995., Nui, Z. Q. and Kang, G., 1997).

5. Zaključci

Svi podaci dobijeni iz ovog istraživanja navode na nekoliko zaključaka:

- EMP VF dovode do povećanja volumenskih gustina endokrinog pankreasa u odnosu na egzokrini kod laboratorijskih pacova,
- EMP VF dovode do povećanja broja Langerhansovih ostrva u tkivu pankreasa pacova i
- Elektromagnetna polja visokih frekvencija dovode po povećane koncentracije insulin u krvi laboratorijskih životinja, pacova.

6. LITERATURA

[1] Arimura, A., Shioda, S.: Pituitary adenylate cyclase activating polypeptide (PACAP) and its receptors – Neuroendocrine and endocrine interaction. Front Neuroendocrinol: 16 (1995) 958-965

[2] Berh, H.: Possibilities and problems of low-frequency weak electromagnetic-fields in cell biology. Bioelectrochem Bioenerg: 38(1) (1995) 153-159

[3] Laitl-Kobiersk, A. A., Cieslar, G., Sieron, A., Grzybek, H.: Influence of alternating extremely low and hight frequency ELF magnetic fields on structure and function on pancreas in rats. Bioelectromagnetics. (2002), 23-49

[4] Loweth, A. C., Wiliams, G. T., Scarpello, J. H. B., James, R. F. L., Morgan, N. G.: Human pancreatic isleds show differential sensitivy to nitric oxide-induced apoptosis compared to clonal beta cell lines. Diabetes research: 31 (2004) 231-241

[5] Nui, Z, Q., Kang, G.: The window effect of ELF electromagnetic fields on biology. Second World Congress for Electricita and Magnetism in Biology and Medicine. Bologna. Abstract Book p 261 (1997)

[6] Rea, W. J.: Chemicals and triggering agent of electromagnetic sensitivity. 28th International Symposium on EMF Sensitivity, Walnut Hill, Dallas. (2010)

[7] Thomas, D. C., Bowman, J. D., Jiang, L., Jiang, F., and Peters, J. M.: Power frequency electromagnetic fields and health. Bioelectromagnetics, 20 (1999) 414-422
[8] Vecchia, R., Matthes, R., Ziegelberger, G., Lin, J., Sanders, R.: International Congress for no-ionizing radiation and electromagnetic-fields.: (2009)
[9] Veccia, P., Matthes, R., Ziegelberger, G., Lin, J., Saunders, R., Swerdlow, A.: Exposure to hight frequency elelctromagnetic fields, biological effects and health consequences. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Oberschleisheim, Germany. ISBN 978-393499410-2 (2010)

ABSTRACT

INFLUENCE OF AN HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS TO THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ENDOCRINE PANCREAS IN WISTAR SPP. RATS

Smiljana PARAŠ[1], Igor KALABA[1] i Milica MATAVULJ[2]
1) Prirodno-matematički fakultet u Banja Luci, Republika Srpska, BiH,
srpskiitebej@gmali.com
2) Departman za biologiju, Prirodno-matematički fakultet Novi Sad, Srbija

The trial conducted in this study aimed to determine whether there was an influence of the high/frequency electromagnetic fields determined characteristics to the endocrine pancreas. The experimental animals were rat males of the Wistar spp. and we submitted to the electromagnetic field frequency of 1,9 GHz frequency, 30 days, two hours for day. After sacrifising, pancreases of the rats were submitted to the standard procedure for the light microscopy. For presentation of the results and conclusions the stereological analyses, while statistical significance of the differences was estimated by analyzing for characteristic used SPSS and ANOVA programs. The significance of differences in arithmetic means between the groups was estimated by Fisher's and Student's tests.

PROFESIONALNI MULTIPNI MIJELOM – PRIKAZ SLUČAJA

Snežana MILAČIĆ[1,2], Jelena ĐOKOVIĆ[1,2] , Dubravka JOVIČIĆ[3], Vera SPASOJEVIĆ-TIŠMA[4], Gordana PANTELIĆ[4]

1)Institut za medicinu radaSrbije; Beograd,Srbija, snezanamilacic@gmail.com

2)Medicinski fakultet, Beograd,Srbija

3) Institut za pesticide i zastitu zivotne sredine, Zemun, Srbija

4)Institut Vinca, Beograd, Srbija, verat@vinca.rs

SADRŽAJ

Radiolog dozimetrista po zanimanju, profesionalno izlozen jonizujucem zracenju duze od 10 godina, radio je na poslovima dekontaminacije terena posle NATO bombardovanja u period od 2002 do 2007 godine, prosecno oko 3 nedelje godisnje. Nosio je sva predvidjena zastitna sredstva i TL dozimetar. Merenja u zivotnoj okolini su pokazala znacajnu kontaminaciju. Krajem 2006 godine ima promene u kariotipu limfocita. Krajem 2009 godine javljaju se prvi simptomi bolesti, a od februara 2010 se aktivno leci od plazmocitoma (multipnog mijeloma).

1. Uvod

Dva su osnovna mehanizma transfera urana (osiromašenog ^{238}U) iz kontaminiranog okruženja u telo ljudi: ingestijom (voda, hrana…) i inhalacijom (aerosol). Nasa dosadasnja ispitivanja (1, 2, 3) kontaminacije terena, aerosol, vode, lanca ishrane, stanovnistva i radnika na dekontaminaciji, imala su za cilj identifikaciju zdravstvenog rizika radnika koji su kontinuirano ili povremeno ziveli i radili na teritoriji kontaminiranoj osiromasenim uranom.

2. Metodologija

U 2 navrata ispitivan je tim od 11 radnika na dekontaminaciji Lustice u Crnoj Gori i tim (15 clanova) na jugu Srbije, prosecne starosti 43 godine, takodje radnika na dekontaminaciji – ciscenju i sanaciji terena. Ispitivanjem su obuhvaceni osnovni klinicki simptomi i znaci prilikom ciljanih sistematskih pregleda pre i posle vrsenja poslova dekontaminacije na terenu, zatim laboratorijski parametri kao sto su:

krvna slika (eritrociti, hemoglobin, retikulociti, trombociti i leukociti, elementi leukocitne formule: granulociti, limfociti i monociti);

biohemijske analize (glukoza, trigliceridi, holesterol, bilirubini, feremija, urea i kreatinin);

analiza urina: radioaktivnosti, sedimenta, mikroglobulina β_2;

TLD

Biomarkeri: analiza kariotipa limfocita

Merenja uzoraka u okruzenju:zemljista, aerosola, podzemnih i nadzemnih voda, pijace vode, narirnica ljudske ishrane, penetratora.

3. Rezultati i diskusija

N.M., dozimetrista decontaminator, bio je angazovan na poslovima ciscenja osiromasenog urana kao clan tima na sanaciji terena od 2002 do 2007.

Radna anamneza

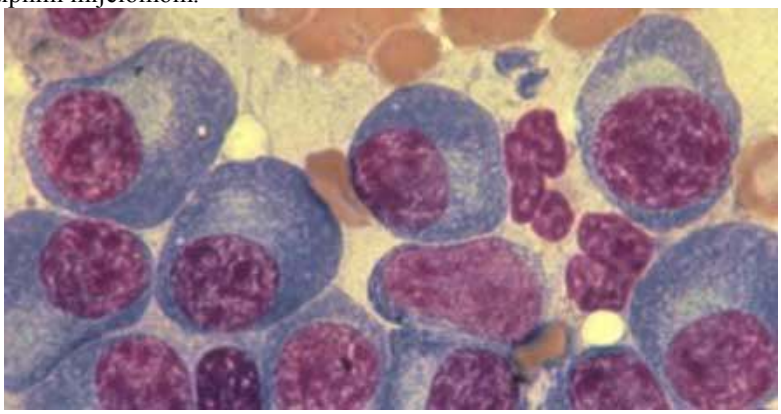
Zadatak tima bio je da vrsi dozimetrijsku kontrolu zamljista, pronalazi i uklanja radioaktivni material, obavlja dekontaminaciju ljudi i opreme, pribora i alata koriscenog pri dekontaminacicji, vodi evidenciju o kolicini radioaktivnog otpada, uklanja municiju sa osiromasenim uranom i uklanja radioaktivni otpad. Nosio je odgovarajucu zastitnu opremu. TL dozimetar nije pokazivao ukupnu ekvivalentnu dozu vecu od granice izlaganja, tako da je njegovo profesionalno izlaganje ispod MDD na osnovu TLD-a (= 8.15mSv) i procenjene ekspozicione doze tokom operacije dekontaminacije terena, kao i analize radioaktivnosti urina, te ukupno primljena doza iznosi 10.73mSv.

Merenje u zivotnoj okolini sastojalo se u uzorkovanju zemljista i prasine – aerosol, vode, penetratora i okolnog zeljista, i ostalog s cim je bio u kontaktu na terenu. Znacajna je kontaminacija ali vrlo razlicitih vrednosti u raznim periodima i u razlicitim uzorcima u sirokom rasponu od nekoliko pa do 200000 bekerela.

U klinickoj slici pojavljuje se povisen krvni pritisak 2005 godine, sto se moze objasniti povecanim psihofizickim naporima na terenu i nepravilnim rezimom rada i ishrane. Takodje, leukociti i limfociti su snizeni, eritrociti i limfociti pokazuju nepravilnosti u broju i izgledu od februara 2006 godine, te se krajem ove godine pojavljuju i prve hromozomske aberacije tipa acentricnog fragmenta u kariotipu limfocita. U klinickoj slici dominiraju ceste infekcije i malaksalost. Zbog toga se povlaci iz tima na dekontaminaciji. Nakon pauze, vraca se na iste poslove u timu, jer su se sve laboratorijske promene izgubile 2007 godine. Medjutim, 2008 godine ponovo se pojavljuju promene u limfocitima kao i iste hromozomske aberacije ali ovoga puta i jednolancani i dvolancani prekidi DNK, odnosno hromozomske i hromatidne promene i acentricni fragmenti. Uz malaksalost, javljaju se i bolovi u kicmi i smanjena pokretljivost, a u urinu proteinurija.

Uradjen je RTG kicme koji je pokazao potojanje osteolize prsljena Th 5, 6; patolosku frakturu prsljena L2. Napravljena je sternalna punkcija. U punktatu je 92% celija sa jedrom koje morfoloski odgovaraju plazmocitima (slika 1). Povisene su vrednosi uree i kreatinina, sto znaci da je kompromitovana funkcija bubrega, sto moze biti posledica ostecenja proksimalnih tubula nefrona a cemu je prethodila proteinurija. Sve se to moze pripisati uticaju urana kao teskog metala i uz to i radioaktivnog sa alfa emisijom visokog LET-a. Dijagnoza je Plasmocytoma, kao specificni tip limfoma, tj., multipnog mijeloma. Promene su prisutne u perifernoj krvi, u kostnoj srzi, u kostima torako lumbalne kicme i u bubrezima. Histoloska dijagnoza i citoloski nalaz Plasmocytoma 92% su potvrdili dijagnozu Myeloma multiplex, zbog infiltracije srzi i kosti plazmocitima u vise polja i multifokalno. Bolest je priznata kao profesionalna 2010. godine, kao posledica rada na sanaciji i dekontaminaciji terena.

To je u skladu sa mnogobrojnim objavljenim istrazivanjima o povezanosti uticaja urana i rada na dekontaminaciji sa solitarnim tumorima i limfomima, narocito multipnim mijelomom.



Slika 1. Plazmociti u kostanoj srzi u Plasmocytomu

4. LITERATURA

[1] Milacic S, Simic J. Identification of health risks in workers staying and working on the terrains contaminated with depleted uranium. Journal of Radiation Research 2009; 50(3): 213-222.

[2] Milacic S. Health investigations of depleted uranium clean-up workers. Med Lav. 2008; 99(5): 366-70.

[3] Spasojević Tisma V, Joksić G, Ilic Ž, Milanović S, Đurić J, Čeleketić D, Peršić J, Kaljević J i Milačić S*. Učestalost hromozomskih aberacija kod radnika pri radu sa različitim izvorima jonizujucih zračenja. XXIV Simpozijum Društva za zaštitu od zračenja SCG 3-5 Oktobar 2007, Zlatibor. Zbornik radova 2007: 177-183. Ed. Institut za nuklearne nauke Vinča i Društvo za zaštitu od zračenjaSCG, Beograd.

ABSTRACT

PRFESSIONAL MYELOMA – CASE REPORT

Snežana MILAČIĆ[1,2], Jelena ĐOKOVIĆ[1,2] , Dubravka JOVIČIĆ[3], Vera SPASOJEVIĆ-TIŠMA[4], Gordana PANTELIĆ[4]

1) Institute of Occupational Health of Serbia, Belgrade, Serbia, snezanamilacic@gmail.com

2) School of Medicine, Belgrade, Serbia

3) Institute of Pesticides and Environmental Protection, Zemun, Serbia,

4)Vinca Institute, Belgrade, Serbia

Medical technician, females, after 21 years professionally working with radioactive iodine, was sick with thyroid gland cancer. This was preceded by disturbances in DNA damaged cells and immune disease glands. After 10 years of exposure developed reduced function, a mitotic index of cells was decreased. TLD and gamma spectrometry analysis of urine are not indicative of an increased dose. Frequency of ca varied before and after the break of exposure, while lesions (cl) were present, and are damaged Ly increased.

PROFESIONALNI RAK ŠTITNE ŽLJEZDE – PRIKAZ SLUČAJA

Snežana MILAČIĆ[1,2], Jelena ĐOKOVIĆ[1,2] i Dubravka JOVIČIĆ[3]
1) Institut za medicinu rada Srbije; Beograd,Srbija,
snezanamilacic@gmail.com
2) Medicinski fakultet, Beograd,Srbija
3) Institut za pesticide i zastitu zivotne sredine, Zemun, Srbija

SADRŽAJ
Medicinski tehnicar, koji je 21 godinu rukovao sa radioaktivnim jodom, oboleo je od raka stitne zljezde. Tome su prethodili poremecaji na DNK, osteceni limfociti i imuna bolest zljezde. Posle 10 godina ekspozicije razvila se hipofunkcija, a mitotski indeks celija bio je snizen. TLD i gamaspektrometrijska analiza urina nisu ukazivale na povecanu dozu.

1. Uvod

Tumor stitne zljezde razvija se u ljudi izlozenih velikim dozama jonizujucih zracenja, u zivotnoj sredini nakon nuklearnih akcidenata, i u medicini, nakon radioterapije. Tumor se moze registrovati posle 10 godina, ali verovatnoca nastanka tumora raste posle 30 ili 40 godina. Duzina ovog latentnog perioda cesto je u obrnutoj srazmeri sa primljenom dozom. Osim od doze, na pojavu tumora stitnjace utice vrsta zracenja razlicitog LET-a (*Linearni Energetski Ttransfer*), posebno ako se radi i o internoj kontaminaciji rdaionuklidima koji se deponuju u stitnjaci, kao sto je radiojod. Najcesce koriscen izotop radiojoda je ^{131}I.

2. Metodologija

Radnici nuklearne medicine se periodično (najmanje jednom godisnje) pregledaju radi provere kontaminacije (merenjem radioaktivnosti urina) i primljene doze (analizom frekvence hromozomskih aberacija).
Procena rizika rada u nuklearnoj medicini za zdravlje izvršioca je na osnovu praćenja kliničkih simptoma, znakova i kliničko – laboratorijskih pokazatelja.
Najosetljiviji parametri su nalazi krvne slike i leukocitne formule.
Kod pacijentkinje – medicinskog tehnicara V.D., rodjene 1961, zaposlene pretezno sa ^{131}I u laboratoriji nuklearne medicine, praceni su od 1990 do 2011godine, parametri:

1. Klinički znaci i simptomi,
2. kliničko laboratorijski parametri:

2.1. krvna slika (eritrociti, hemoglobin, retikulociti, trombociti i leukociti, elementi leukocitne formule: granulociti, limfociti i monociti);
2.2. biohemijske analize (glukoza, trigliceridi, holesterol, bilirubini, feremija, urea i kreatinin);
2.3.gamaspektrometrijska analiza urina;
2.4.TLD

3. Kompletni biomarkeri:

3.1. hromozomske aberacije (ca)
3.2.hromatidne lezije (cl)
3.3.oštećeni limfociti(dc)
4. funkcija stitne zljezde analizom hormona T3, T4, TSH i ultrazvucnom sonografijom.

3. Rezultati i diskusija

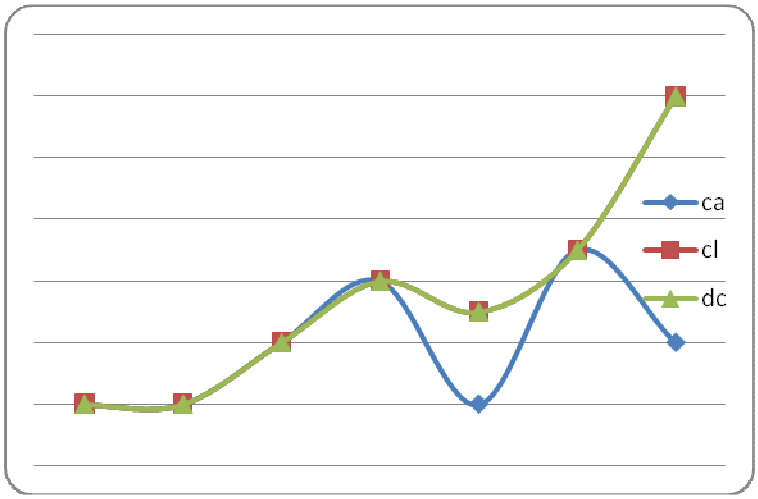
V.D., klinicki je ispitivana u Institutu za medicine rada Srbije. Obavlja posao medicinskog tehnicara u laboratoriji za nuklearnu hematologiju na poslovima obrade hematoloskih uzoraka radionuklidima s agama emisijom. Ukupan radni staz joj je 30 godina, a ekspozicioni 21. Sve vreme koristi TLD. Prosecno primljene doze, ocitane TLD-om, za celokupan period ekspozicije nisu prelazile maksimalno dopustene za profesionalno izlozena lica.
Gamaspektrometrijska analiza urina prikazana je u tabeli 1.

Tabela 1. Radioaktivnost 24-og urina merena na gama spektrometru

Kontrolno-periodicni pregled-godina	^{131}I	^{99}mTc	^{137}Cs	Ukupno
	Bq/l			
2004	0.45	0.18	0.35	0.63+0.35
2005	0.21	0.26	0.32	0.47+0.32
2006	0.31	0.26	0.34	0.57+0.34
2009	0.17	0.30	0.30	0.47+0.30
2010	0.20	0.10	0.30	0.30+0.30
Ukupno	1.34	1.10	1.61	2.44+1.61=4.05

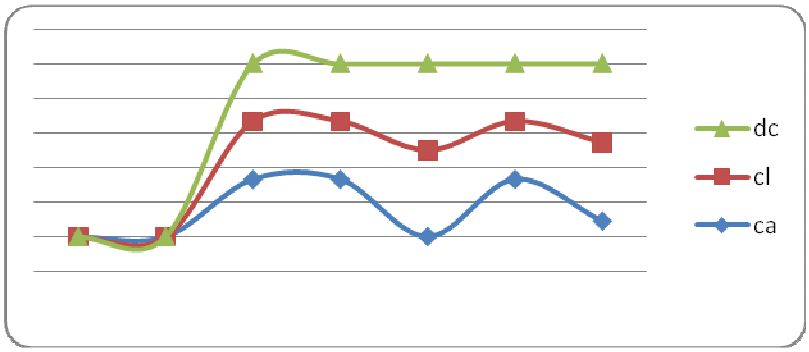
Ukupna gama aktivnost u urinu koja potice sa radnog mesta usled interne kontaminacije je 2,4Bq/l a iz okruzenja (prehrambeni proizvodi) 1,6Bq/l;ukupna radioaktivnost je 4 bekerela sto je znacajno manje od godisnje granice unosenja (GGU) za profesionalno izlozena lica.
U krvnoj slici postojala su povremena prolazna odstupanja u beloj krvnoj lozi, narocito u leukocitnoj formuli. Prvi - prethodni nalaz hromozomskih aberacija kao I naredna 2 u prvih 5 godina ekspozicionog radnog staza (1990-1994) nije pokazao nikakve nepravilnosti hromozoma na 200 analiziranih celija – limfocita. Posle 10 godina rada sa radionuklidima, 2004 godine, konstatuju se 2 promene na hromozomima u 2 celije od ukupno 150. Vec tada se pojavljuje snizen mitotski indeks. Medjutim, sve je to pripisano pojavi bolesti stitne zljezde: Hypothyreosis, tyreoiditis Hashimoto. Pacijentkinja je i dalje radila ali uz cesce kontrole. Medjutim, 2005 i 2006 pojavljuje se povecan broj mikronukleusa kao indicator poremecenih deoba limfocita pod uticajem zracenja, a ciji se i absolutni broj smanjuje. Na smanjen broj analiziranih celija, jedva 100, nije bilo formiranih

aberacija, vec samo ne specificnih lezija. Ipak, pacijentkinji se zabranjuje rad. Nakon prekida ekspozicije, 2008 i2009, hromozomske aberacije se gube, broj celija u mitozi ponovo je 200, ali ostaju prisutne ne specificne lezije. Povratkom u zonu zracenja, pojavljuju se hromozomske aberacije i mikronukleusi, a mitotski indeks se smanjuje, sa 200 na 75 celija u deobi. Na 700 limfocita nalazi se preko 30 mikronukleusa, dok broj dicentrika nikada nije bio veci od dva. Hromozomi su bili prekinuti, ali nisu bili u stanju da formiraju karakteristicne figure tipa dicentrika iako je doslo do dvostrukog prekida DNK lanca. Medjutim, broj hromatidnih lezija (cl) i oštećenih ćelija (dc) povećavaju se u funkciji dužine vremena ekspozicije. Hromatidne lezije su prekidi DNA koji se nisu završili formiranjem hromozomskih aberacija indukovanih jonizujućim zračenjem. Kontrolni pregled stitne zljezda 2010 godine potvrdio je dijagnozu Tyreoiditis Hashimoto ali su nadjene i suspektne kalcifikacije. Nova dijagnoza je bila: Adenoma gl.thyr.lobii dex. Obzirom na povecan rizik od maligne bolesti na radnom mestu u nuklearnoj medicine i na prethodne citogenetske nalaze, kao i uprkos tome sto nije dokazana povecana absorbovana doza za profesionalno izlozena lica, uradjena je operacija . Patohistoloski nalaz bio je: Microcarcinoma papillare gl.thyr. U limfnim zljezdama nije bilo metastaznih promena.
Zakljucak: bolest je priznata za profesionalnu malignu bolest, tj., rak stitne zljezde.



Grafik 1. Kretanje frekvence hromozomskih aberacija, hromatidnih i hromozomskih prekida i lezija i ostecenih limfocita tokom ekspozicionog radnog staza

Pri radu sa radioaktivnim materijama moguce je ostecenje limfocita i njihove funkcije u odbrani.



Grafik 2. Odnos doprinosa (32%/68%) hromozomskih aberacija (ca) i lezija - mikronukleusa (cl) u ukupnom ostecenju limfocita (dc)

Narocito je znacajna odbrana od tumora. Dugogodisnji rad sa radiojodom, koji je kompromitovao limfocite, u uslovima i minimalne kontaminacije i ozracenosti ispod GGU, odnosno MDD, a koji se deponuje u stitnoj zljezdi, uzrok je maligne bolesti zljezde uz prethodnu dugogodisnju imunu bolest i hipotireozu. Hipotireoza, promene na DNK, smanjeni imunitet, osteceni limfociti, doprineli su da i male dopustene doze indukuju razvoj carcinoma stitnjace.

4. Literatura

[1] Milacic S. Chromosomal aberration after exposure to low doses of ionizing radiation.Journal of BUON 2009;14(4):641-646.
[2] Jovičić D, Milačić S, Milic N, Bukvic N, Vukov T. Chromosomal Aberrations in Subjects Exposed to Ionizing Radiation.J Environ Pathol Toxicol Oncol. 2009; 28(1):75-82. Published by Begell Houe, U.S.A.
[3] Milacic S. The incidence of malignant neoplasms in individuals working in the area of ionizing radiation in hospitals. J BUON 2008; 13(3): 377-84.

ABSTRACT

PROFESSIONALLY CANCER OF THYROID GLAND - A CASE REPORT

Snežana MILAČIĆ[1,2], Jelena ĐOKOVIĆ[1,2] and Dubravka JOVIČIĆ[3]
1) Institute of Occupational Health of Serbia, Belgrade, Serbia, snezanamilacic@gmail.com
2) School of Medicine, Belgrade, Serbia
3) Institute of Pesticides and Environmental Protection, Zemun, Serbia

Medical technician, females, after 21 years professionally working with radioactive iodine, was sick with thyroid gland cancer. This was preceded by disturbances in DNA damaged cells and immune disease glands. After 10 years of exposure developed reduced function, a mitotic index of cells was decreased. TLD and gamma spectrometry analysis of urine are not indicative of an increased dose.

MORBIDITET ZAPOSLENIH U ZONI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

Vesna GLIŠIĆ[1], Radomir KOVAČEVIĆ[2], Velina PETKOVIĆ[1] i Gordana PAPOVIĆ-ĐUKIĆ[3]

1) ZZZZR d o o u restruktuiranju, Kragujevac
2) Institut za medicinu rada, Beograd
3) Dom zdravlja Vrbas

SADRŽAJ

Cilj rada je analiza zdravstvenog stanja 119 zaposlenih u zoni jonizujućih zračenja i shodno tome primena odgovarajućih mera prevencije.Analizom periodičnih pregleda u toku 2010 godine pokazalo se da je najveći procenat oboljevanja od kardiovaskularnih bolesti (28%), zatim slede hiperlipoproteinemije (23%), bolesti oka (21%) i bolesti krvi i krvotvornih organa (11%). Nisu notirane maligne bolesti i presenilna katarakta, gde jonizujuće zračenje može biti kofaktor u nastanku istih.Zdravstveni radnici, koji su profesionalno izloženi malim dozama jonizujućih zračenja u najvećoj meri boluju od kardiovaskularnih bolesti i hiperlipoproteinemija, te u tom smislu treba promovisati zdrav način života.

1. Uvod

U profesionalnim uslovima rizik od ekspozicije jonizujućem zračenju postoji u oblasti nuklearne medicine, u industriji svetlećih boja, u industriji satova, istraživačkim laboratorijama gde radnici rade sa otvorenim izvorima. Spoljašnjem zračenju kao riziku radnici su izloženi pri radu sa zatvorenim radioaktivnim izvorima i to u medicini i industriji (rentgen aparati, defektoskopi).Osnovu bioloških efekata jonizujućih zračenja čini stvaranje vrlo reaktivnih slobodnih radikala nastalih prilikom izlaganja ovim agensima vode koja čini 60% do 80% sastava organizma. Na zračenje su najosetljivije nukleinske kiseline koje su nosioci genetskih informacija. Posledice mutacija na somatskim ćelijama dovode do pojave karcinoma različitih lokalizacija. Za pojavu ovih efekata nema prag doze. To su tzv. stohastički efekti jonizujućih zračenja. Mutacije na reproduktivnim ćelijama dovode do genetskih mutacija koje mogu biti uzrok genetskih malformacija u potomstvu, a kod gravidnih žena mogu nastati somatske malformacije na plodu – tzv. teratogeni efekti.

Veliku radioosetljivost pokazuje hematopoezno tkivo, te kao posledica izlaganja malim dozama jonizujućih zračenja nastaju kumulativni efekti – leukopenija, anemija, trombocitopenija, mijeloproliferativne bolesti i stečene imunodeficijencije.

Pod uticajem zračenja mogu nastati i promene na koži u smislu akutnog ili hroničnog radiodermita ili pak može doći do pojave karcinoma kože.Profesionalna maligna oboljenja najčešće nastaju na karakterističnim lokacijama i određenih su vrsta. Sva jonizujuća zračenja mogu dovesti do nastanka leukemija. Radioaktivni jod je uzročnik adenokarcinoma štitaste žlezde. Radon je uzročnik adenonokarcinoma bronha i pluća. Sva jonizujuća zračenja

mogu biti uzrok malignih promena na koži. Uran, radijum i tehnecijum mogu biti uzročnici malignih tumora kostiju.
Cilj rada je analiza zdravstvenog stanja zaposlenih u zoni jonizujućih zračenja i shodno tome primena odgovarajućih mera prevencije.

2. Materijal i metode

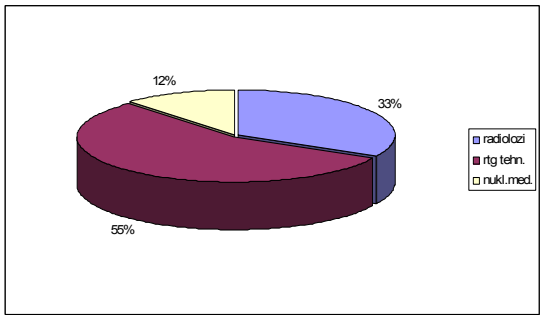
Korišćena je retrospektivna analitička metoda (2010god.), kartoni periodičnih pregleda zdravstvenih radnika zaposlenih u zoni zračenja. Srednja vrednost ekspozicionog radno staža je 10,67 +- 10,37 godina, prosečna starost je 39,41+-10,06 god., prosečan ukupni radni staž je 13,47+-10,73 god. Korišćeni su rezultati pregleda specijaliste medicine rada i lekara specijalističko – konsultativne službe. Podaci lične dozimetrije za svakog zaposlenog su u granicama referentnih vrednosti. Biodozimetrija je takođe rađena u skladu sa odgovarajućim indikacijama.

3. Rezultati i diskusija

Analizom periodičnih pregleda je obuhvaćeno 119 zaposlenih zdravstvenih radnika, prosečnog ekspozicionog radnog staža 10,67 +- 10,37 godina, prosečne starosti 39,41+- 10,06 god., prosečnog ukupnog radni staža 13,47+-10,73 god.

Tabela 1- Struktura zaposlenih na random mestu

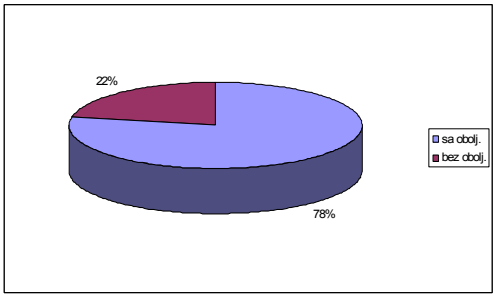
Radno mesto	Broj zaposlenih
Radiolozi	39
Radiološki tehničari	66
Zaposleni u nuklearnoj medicini	14
Ukupno	119



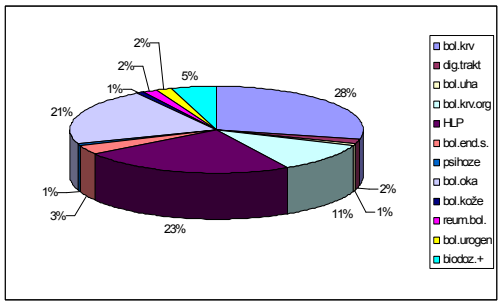
Slika 1- Zaposleni na radnom mestu

Srednje vrednosti broja krvni ćelija su u fiziološkim granicama.Srednje vrednosti ispitivanih biohemijskih parametara su u okvirima referentnih vrednosti, sem vrednosti holesterola. Ekspozicija malim dozama jonizujućih zračenja u kontrolisanim, profesionalnim uslovima nije dovela do oštećenja radioosetljivih

tkiva.Na osnovu urađenih periodičnih pregleda, utvrđeno je da je kod 78 % zaposlenih utvrđeno oboljenje, bilo u smislu hronične bolesti ili pak promena u hematološkim i biohemijskim parametrima. Kod 22% ispitanika nisu verifikovane patološke promene.



Slika 2 –Zastupljenost osoblja sa i bez oboljenja

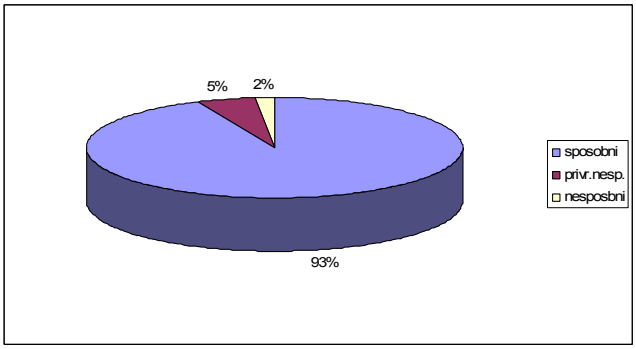


Slika 3. – Prikaz morbiditeta u zoni jonizujućih zračenja

Tabela 2. Rezultati hematoloških i biohemijskih parametara u krvi ispitanika

Parametar	N	Min	Max	Srednja vrednost	Standardna devijacija
Hemoglobin	119	98	170	138	14
Eritrociti	119	3.6	5.9	4.7	0.48
Leukociti	119	3.0	12	6.6	1.9
Trombociti	119	138	386	263	56
Glukoza	119	3.9	9.1	5.4	0.76
Kreatinin	119	52	147	82	15
Holesterol	119	2.4	8.9	5.7	1.2
Trigliceridi	119	0.3	4.8	1.4	0.8

Analizom periodičnih pregleda u toku 2010. godine pokazalo se da je najveći procenat oboljevanja od kardiovaskularnih bolesti (28%), što se može tumačiti opštim trendom porasta kardiovaskularnih bolesti. Ipak, mora se uzeti u obzir i specifičnost posla zaposlenih radnika u zoni jonizujućih zračenja. Na drugom mestu su hiperlipoproteinemije(23%), što se može objasniti načinom ishrane i specifičnošću rada zaposlenih u zoni zračenja. U treću grupu po zastupljenosti spadaju oboljenja oka, refrakcione anomalije (21%), dok oboljenja koja mogu biti vezana za ekspoziciju jonizujućim zračenjima nisu utvrđena (presenilna katarakta). Bolesti krvi i krvotvornih organa verifikovane su kod 11% zaposlenih. Leukocitoza je zastupljena kod 6 ispitanika, leukopenija kod 4 i anemija kod 1 ispitanika. Pozitivan biodozimetrijski test je utvrđen kod 6 zaposlenih (5% zaposlenih). Kod njih je utvrđena privremena radna nesposobnost, koja traje 3 meseca za koje vreme dolazi do reparacije promena na hromozomima. Inače, biodozimetrijski test je na nivou biomarkera i služi da preventivno eliminiše one zaposlene koji imaju hromozomske promene, koje su reverzibilne, a da ne bi došlo do kumulacije efekata i kasnijih posledica. Maligne bolesti nisu notirane (dijagram. br -3). S ozirom na ekspozicioni radni staž i prosečnu starosnu dob ovakav prikaz oboljenja se mogao očekivati i kod zaposlenih u zoni jonizujućih zračenja, te je stoga neophodna redovna kontrola svih zaposlenih u zoni zračenja radi preduzimanja odgovarajućih i pravovremenih mera prevencije.Neophodni su kontrolni pregledi, ciljani, ocena invaliditeta i promena radnog mesta ukoliko dođe do oštećenja zdravlja i pored primenjenih mera prevencije i poštovanja osnovnih principa radiološke zaštite.Profesionalna ekspozicija je posebno delikatna zbog hroničnog izlaganja malim dozama jonizujućeg zračenja, gde je zbog kumulativnog efekta zračenja važno sagledati i biološki odgovor organizma na date uslove ekspozicije.



Slika 4 – Ocena radne sposobnoti

Na osnovu periodičnih pregleda, izvršena je ocena radne sposobnosti pri čemu je 93 % sposobnih, privremeno nesposobnih 5%, dok je nesposobno 2% zaposlenih.Stoga najveći značaj za prevenciju oštećenja zdravlja i shodno tome adekvatnu ocenu radne sposobnosti imaju kontrolno-periodični pregledi svih zaposlenih, koji su izloženi povećanom radijacionom riziku usled rada sa otvorenim i zatvorenim izvorima zračenja.

4. Zaključak

Zdravstveni radnici koji su profsionalno izloženi malim dozama jonizujućih zračenja u najvećoj meri obolevaju od kardiovaskularnih bolesti i hiperlipoproteinemija, te u tom smislu treba promovisati zdrav stil života. Cilj zašite je sprečavanje štetnih efekta jonizujućih zračenja.

S tim u vezi kontinuirani zdravstveni monitoring lica zaposlenih u zoni jonizujućih zračenja je oblast regulisana Zakonom o zaštiti od jonizujućih zračenja. Takođe je neophodna i adekvatna edukacija, koja je najbolja prevencija kako za rane, tako i za kasne posledice uticaja jonizujućih zračenja.

5. Reference

[1] Milačić S. Bolesti izazvane jonizujućim zračenjima : U Medicina rada II, Vidaković A., ur.622-39, Udruženje za medicinu rada Jugoslavije, Beograd, 1997.

[2] Kovačević i saradnici. Specifičnosti zdravstvenog stanja zdravstvenih radnika u zoni jonizujućih zračenja. Zbornik radova XXI jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, 2001, Kladovo, 299-302.

[3] V. Spasojević Tišma, G. Joksić, D.Čeleketić. Neophodnost zdravstvene kontrole zdravstvenih radnika u zoni jonizujućih zračenja. Zbornik radova XXIII jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, 2005, Donji Milanovac, 277-279.

[4] V. Glišić. Promene na genetičkom materijalu kao biomarkeri efekata jonizujućih zračenja.Rad uže specijalizacije, Medicinski fakultet, Beograd, 2002.

ABSTRACT

MORBIDITY WITH EMPLOYEES IN IONIZING RADIATION ZONE

Vesna GLIŠIĆ[1], Radomir KOVAČEVIĆ[2], Velina PETKOVIĆ[1] and Gordana PAPOVIĆ-ĐUKIĆ[3]

1) ZZZZR d o o u restruktuiranju, Kragujevac

2) Institut za medicinu rada, Beograd

3) Dom zdravlja Vrbas

The aim of this study is analysis of health condition of 119 employees in ionizing radiation zone and implementation of adequate prevention measures. The analysis of periodic examinations in 2010 showed that the highest percentage of illnesses are cardiovascular diseases (28%), then hyperlipoproteinemia (23%), eye diseases (21%) and hematological diseases (11%). Malignant diseases and pre-senile cataract, where ionizing radiation can be a cofactor in their own formation, were not detected. Medical workers who are professionally exposed to low doses of ionizing radiation to the greatest extent fall ill to cardiovascular diseases and hyperlipoproteinemia, in this respect a healthy way of life should be promoted. Key words: ionizing radiation, hyperlipoproteinemia, cardiovascular diseases, prevention.

MEDICINSKI NALAZI OSOBA KOJE SU BORAVILE U JAPANU U TOKU AKCIDENTA U NUKLEARNOJ ELEKTRANI FUKUŠIMA 1

Vera SPASOJEVIĆ-TIŠMA, Živodarka DACIN, Želmira ILIĆ i Olivera ČUKNIĆ

JP „Nuklearni objekti Srbije", Vinča, Beograd, Srbija, verat@vinca.rs

SADRŽAJ

Razorni zemljotres, a nakon toga i cunami pogodili su Japan marta ove godine i doveli do oštećenja nuklearne elektrane Fukušima 1. Državljani Srbije koji su boravili tamo u toku akcidenta, su se nakon povratka u zemlju javili u našu ustanovu, JP„Nuklearni objekti Srbije" (JP NOS) - Poliklinička služba na pregled. Sumnjalo se na mogućnost kontaminacije ili ozračenosti. Svima pojedinačno je obavljen lekarski pregled poštujući Pravilnik o zdravstvenim uslovima i zdravstvenim pregledima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenj . Na osnovu dobijenih rezultata merenja, analiziranih uzoraka krvi i lekarskog pregleda može se u ovom trenutku zaključiti da ne postoje parametri koji bi ukazivali na kontaminaciju ili ozračenost pregledanih osoba.

1. Uvod

Zemljotres jačine devet stepeni Rihterove skale pogodio je Japan 11.03.2011. Reaktori 1,2,3 na nuklearnoj elektrani Fukušima 1 odmah su prestali da rade zbog potresa. Reaktori 4, 5 i 6 u tom trenutku nisu ni bili operativni. Nakon sat vremena usledio je cunami, veliki talas je udario u ove reaktore i poplavio celo područje. Kao posledica toga, dizel agregati koji su pokretali pumpe za hlađenje reaktora su ostali bez dovoda električne energije. Narednih nekoliko dana došlo je do delimičnog topljenja jezgra reaktora 1, 2 i 3 kao i eksplozije vodonika koji je uništio krovove zgrada gde se nalaze reaktori 1, 3 i 4; eksplozija je takođe oštetila kontejner reaktora 2 a nekoliko požara je oštetilo i reaktor 4. Zbog straha od širenja radijacije stanovništvo je evakuisano iz oblasti 20 km oko nuklearne centrale. Da bi se oslobodio pritisak u kontejmentu prvog bloka, u vazduh je ispuštena para, u kojoj su bile čestice radioaktivnog materijala. Vlada Japana je savetovala stanovnicima na 30 km od nuklearne centrale da ostanu u zatvorenom prostoru zbog mogućeg oslobađanja fisionih produkata iz oštećenog reaktora. Naročito je opasan radioaktivan jod (^{131}I), pa su zbog toga japanski medicinski radnici podelili profilaktičke jod tablete za ljude koji žive oko Fukušima 1 centrale. U trenutku zemljotresa i naši ljudi su se zatekli privatno ili službeno u Japanu. Neki od njih, po povratku u zemlju, u našoj ustanovi su obavili zdravstvene preglede i kontrolu interne kontaminacije merenjem na Whole Body Counter (WBC) – u [2], zbog sumnje na moguću kontaminaciju ili ozračenost.

2. Materijal i metode

U periodu od 21.3.2011. god. do 01.04.2011. god. Polikliničkoj slubi u JP NOS javilo se šest osoba na pregled, zbog sumnje na moguću kontaminaciju ili ozračenost. Pet osoba (2 muškarca i 3 žene) boravilo je u Japanu u vreme akcidenta, a jedan muškarac je boravio u Vladivostoku (600 km od Japana,

vazdušnom linijom) i smatrao je da su vremenske prilike bile takve da su vetrovi mogli doneti kontaminaciju do mesta njegovog boravka. Osobe koje su boravile u Japanu obavile su kompletne analize i preglede, dok je muškarac koji je boravio u Vladivostoku obavio samo merenje interne kontaminacije na WBC-u.
U nuklearnim akcidentima širih razmera, ozbiljan problem predstavlja uvek upravo procena primljene doze i dalja prognoza svakog ponaosob. Zbog toga se pristupilo pregledu ovih osoba prema Pravilniku o zdravstvenoj kontroli lica koji rade sa izvorima jonizujućih zračenja, a kakvi se pregledi i inače rade u našoj Polikliničkoj službi [3]. Pregled obuhvata sledeće:

1. Detekcija spoljašnje kontaminacije pomoću jonizacione komore;
2. Hematološko-biohemijske analize, sa analizom urina;
3. Analiza hromozomskih aberacija;
4. Merenje interne kontaminacije gama radionuklidima na WBC-u i
5. Specijalistički pregled od strane specijaliste medicine rada i radiološke zaštite.

3. Rezultati i diskusija

Svi pregledani pacijenti su u trenutku pregleda bili svesni, orjentisani u prostoru vremenu i prema okruženju. Nisu imali nikakve tegobe, niti su bili povređeni. Neki od njih su bili uplašeni. Objektivno nalazi po sistemima su bili uredni.
Ni kod jednog od pregledanih lica u Punktu za humanu dekontaminaciju nije utvrđeno prisustvo spoljašnje kontaminacije. Aktivnost zabeležena nad odećom u kojoj su došli i različitim delovima tela iznosila je od 1.0 – 1.1 imp/s. Vrednost fona u Punktu za humanu dekontaminaciju u istom trenutku je bila 1.1 imp/s. Ovo je i bilo za očekivati jer su svi oni boravili udaljeni od samog mesta događaja (200-600 km vazdužnom linijom), a takođe je i prošlo bar 10 dana od akcidenta do trenutka kada su se javili na pregled. Merenjem interne kontaminacije na WBC-u ustanovljeno je da ne postoji unutrašnja kontaminacija bilo kojim gama radionuklidom iznad granice detekcije za date uslove merenja.
Zbog velike radiosenzitivnosti hematopoznog tkiva uzeti su i uzorci venske krvi za hematološko – biohemijske analize i analizu hromozomskih aberacija. Pošto su limfociti periferne krvi najosetljivije zrele ćelije krvi i cirkulišu po organizmu (biološki dozimetri) analiza nestabilnih hromozomskih aberacija u njima je pokazatelj efekata jonizujućih zraćenja i one se prve jave pri povećanoj dozi, posebno u slučajevima akcidentalnog ozračivanja [4; 5]. Za svakog pacijenta je pregledano 200 ćelija limfocita periferne krvi u kulturi (Morhed-ova metoda). Strukturne hromozomske aberacije karakteristične za zračenje (dicentrični hromozom, prstenasti ili acentrični fragment) nisu bile nađene [6]. Nalaz kod svih pregledanih je bio normalan, bez strukturnih hromozomskih aberacija. Od hematoloških analiza rađene su vrednosti: leukocita sa leukocitarnom formulom, eritrociti, hemoglobin, hematokrit, trombociti i SE. Od biohemiskih analiza rađene su vrednosti: ukupni bilirubin, ALT, AST, ALP, glukoza, urea, kreatinin, totalni proteini, holesterol, trigliceridi i gvožđe.
Rezultati analize hematološko-biohemijskih parametara su prikazani u tabeli1.
Svi hematološki nalazi pregledanih osoba bili su u granicama referentnih vrednosti. Od biohemijskih analiza jedna osoba je imala povišen bilirubin

(pacijent dao anamnestički podatak da zna za hiperbilirubinemiju povremeno) i jedna osoba je imala snižene vrednosti gvožđa, dok su svi ostali laboratorijski nalazi pregledanih pacijenata bili u granicama referentnih vrednosti. Analiza urina kod svih pregledanih osoba je u granicama normalnih vrednosti, kako kvalitativni pregled tako i sediment urina.

Na osnovu dobijenih rezultata merenja i analiziranih uzoraka krvi može se u ovom trenutku zaključiti da ne postoje parametri koji bi ukazivali na kontaminaciju ili ozračenost pregledanih osoba koji su došli u našu ustanovu na kontrolu.Višegodišna ispitivanja radiosenzitivnosti su pokazala da postoji velika individualna varijabilnost u osetljivosti na dejstvo zračenja [7].

Tabela 1. Rezultati analizehematološko-biohemijskih parametara ispitanika

Parametar	Pacijent 1.	Pacijent 2.	Pacijent 3.	Pacijent 4.	Pacijent 5.
Le x 10^9/l	5,1	6,1	6,2	4,0	7,6
Er x 10^{12}	5,17	5,02	4,48	4,38	4,28
Hgb g/l	159	139	134	132	124
Hct l/l	0,492	0,445	0,416	0,414	0,385
Trom. 10^9/l	248	297	233	196	383
SE	6	6	4	8	8
Uk.bili.mmol/l	25,8	6,8	12,4	20,0	9,4
D.bili.mmol/l	5,6				
AST U/l	22	24	17	26	29
ALT U/l	14	13	15	5	19
ALP U/l	42	33	55	41	35
Gluk.mmol/l.	3,9	5,2	4,6	4,5	5,0
Urea mmol/l	4,7	5,9	5,6	3,1	2,8
Kreat.mmol/l	88	96	84	97	54
u.prot. g/l	67	72	69	72	69
Hol. mmol/l	4,10	4,80	3,72	5,20	4,99
Trigl. mmol/l	1,22	0,41	0,50	0,82	1,06
Fe mmol/l	17,9	14,7	15,1	28,9	7,4

4. Literatura

[1] Pravilnik o zdravstvenim uslovima i zdravstvenim pregledima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja (Sl.list 45/97).

[2] O.Čuknić, M.Orlić, Ž.Ilić, Prikaz i mogućnosti sadašnje instalacije brojača za celo telo u Zavodu za radiološku zdravstvenu zaštitu INN „Vinča“, XXII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac na moru, 29. septembar – 1. oktobar, 2003. Zbornik radova, Beograd, 2003, str.115-118

[3] Ž. Ilić, J. Perišić, O. Čuknić, V. Spasojević-Tišma, Medicinsko zbrinjavanje ljudi kontaminiranih radioaktivnim materijalom, XXII Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Petrovac na moru, 29. septembar – 1. oktobar, 2003. Zbornik radova, Beograd, 2003, str. 339-344

[4] Spasojević-Timša V., Joksić G., Ilić Ž., Milanović S., Đurić J., Tišma J., Čeleketić D., Čuknić O., Perišić J., Kaljević J., Milačić S., Učestalost hromozomskih aberacija kod radnika pri radu sa različitim izvorima jonizujućih zračenja, XXIV Simpozijum Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Zlatibor 2007, Zbornik radova, str. 177-182
[5] Harvey L., Berk A., Zipursky S.L., Matsudaira P., Baltimore D., Darnel J., (2001), Molecular Cell Biology, 4th Edition, Media Connected. Freemen, NewYork
[6] Dolphin G.W., Biological dosimetry with particular reference to chromosome aberrations analysis. A Review of Methods, Handling of Radiation Accidents, Proceedings, Int.Symp.Vienna, 1969, IAEA 1969, pp.75-79
[7] Tucker J.D., Morgan W.F., Awa A.A. et al., (1995), A proposed system for scoring structural aberrations detected by chromosome painting, Cytogenetic Cell Genetic, 68, pp. 211-221

ABSTRACT

MEDICAL FINDINGS IN INDIVIDUALS STAYED IN JAPAN DURING ACCIDENTS IN THE FUKUSHIMA 1 NUCLEAR POWER PLANT

Vera SPASOJEVIĆ-TIŠMA,Živodarka DACIN, Želmira ILIĆ and Olivera ČUKNIĆ
JP „Nuklearni objekti Srbije“, Vinča, Beograd, Srbija, verat@vinca.rs

The disastrous earthquake, followed by a tsunami hit Japan in March this year and led to damage of the Fukushima nuclear power plant 1. Citizens of Serbia, who stayed there during the accident, after they had returned to the country come in our institution, PE "Serbian Nuclear Facilities" (PC ISO) - Polyclinic Service for medical testing. The possibility of contamination or radiation was suspected. To every patient medical examination was conducted following Regulation respecting the health conditions and health checks of persons working with ionizing radiation. Based on the results of measurements, analyzed blood samples and medical examination it may be concluded at this point that there are no parameters that would indicate contamination or irradiation of the examined persons.

DEKONTAMINACIJA

ADSORPCIJA URANIJUMA NA PRIRODNOM I MODIFIKOVANOM SEPIOLITU

Branislava MITROVIĆ[1], Gordana VITOROVIĆ[1], Đorđe JANAĆKOVIĆ[2] i Velibor ANDRIĆ[1,3]

1) Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Srbija, radijacija@vet.bg.ac.rs
2) Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija
3) Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati dobijeni ispitivanjem adsorpcije uranil jona na prirodnom i modifikovanom sepiolitu, pri različitim masama adsorbenata, na pH 6, vreme kontakta 2^h. Dobijeni rezultati pokazuju da sepioliti imaju visoku sposobnost adsorpcije uranil jona, od preko 99% neaktivirani sepioliti i preko 97% aktivirani sepiolit, već pri masenom odnosu adsorbent:uranil jon – 100:1 (masa adosrbenta 0,05g).

1. Uvod

U životnoj sredini uranijum je normalno prisutan u zemljištu, stenama i vodi. Uranijum koji se unese u životnu sredinu iz antropogenih izvora, učestvuje u geohemijskim procesima na isti način kao i elementi iz prirodnih izvora (Mitrović i sar., 2011). Treba naznačiti da uranijum koji se u zemljištu pojavljuje iz geohemijskih izvora se nalazi u manje pristupačnim ili sasvim nepristupačnim oblicima, dok uranijum koji u zemljište dospeva iz antropogenih izvora je najčešće u takvim oblicima da je njegova pristupačnost za biljke veća. Primena veštačkih fosfornih đubriva predstavlja daleko najveći antropogeni izvor unošenja urana i pratećih radionuklida (Ra i Th) u životnu sredinu (Šatalov V. V i Laskorin B. N., 1989). Poznato je da tehnološki procesi koji se danas primenjuju u proizvodnji fosfornih đubriva iz fosfornih ruda, apatita i fosforita, ne omogućavaju izdvajanje uranijuma. Preko 90 % urana iz fosfornih ruda ostaje u finalnim proizvodima – mineralnim đubrivima. Na osnovu podatka da se u svetu godišnje prerađuje oko 135 miliona tona fosfornih ruda, procenjuje se da se godišnje može očekivati unos od 21.000 t uranijuma u životnu sredinu, što predstavlja oko 73 % od ukupnog unosa (Dangić, 1995). Osim procena koliko će se uranijuma uneti u zemljišta tretirana fosfornim đubrivima, nema mnogo literaturnih podataka o sudbini tako unetog uranijuma u zemljište.

Adsorbenti na bazi sepiolita koriste se u oblasti zaštite životne sredine, prvenstveno za uklanjanje jona teških metala iz vode i zemljišta. Sepioliti su vlaknasti glineni minerali, koji po hemijskom sastavu predstavlja hidratisani magnezijum-silikat, formule $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(H_2O)_4 \cdot nH_2O$, gde je n = 6-8 (Brauner, K., Preisinger A., 1956). Remedijacija zemljišta, podzemnih i površinskih voda zagađenih toksičnim metalima i radionuklidima, pretstavlja važnu oblast u hemiji životne sredine, s obzirom na negativne efekte koje ovi agensi mogu prouzrokovati po zdravlje ljudi.

Istraživanja su pokazala da sepiolit u značajnoj meri sorbuje jone: Cu^{2+},Zn^{2+}, Cd^{2+}, Co^{2+} i Pb^{2+}. Brigati(1996, 2000) i sar. su u eksperimentu rađenom sa jednokomponentnim rastvorima pokazali sledeće:

- Sorpciona sposobnost sepiolita da ukloni jone teških metala iz ovakvih rastvora može da se prikaže sledećim nizom:Pb^{2+}< Cd^{2+}< Co^{2+}< Zn^{2+}< Cu^{2+} .

Primena sepiolita u raznim oblastima nauke i tehnologije je vrlo raznovrsna, koristi se kao sorbent, reološki aditiv, nosač katalizatora, u industriji boja i guma itd. I dalje se vrše intenzivna istraživanja u novim oblastima, pre svega u poljoprivredi i zaštiti životne sredine, pa se sepiolit može smatrati za veoma perspektivnu sirovinu. Sepiolit se koristi i kao aditiv u stočnoj hrani (E-562) za sve vrste životinja, kao vezivno sredstvo u količini od 2%. Uprkos mnogobrojnim istraživanjima procesa interakcije između površine sepiolita sa jonima teških metala u vodenoj sredini i dalje se radi na razjašnjenju reakcionih mehanizama.

2. Materijal i metode rada

Kao polazne sirovine u eksperimentalnom radu korišćeni su sepioliti iz ležišta Andrići kod Čačka. Uzorci su sušeni dva sata u sušnici na 150 °C, a zatim sprašeni u porcelanskom avanu i prosejani kroz sita sa različitom veličinom otvora. Za eksperimente je korišćena frakcija čestica od 250-800 µm sepiolita Andrići.

Sepiolit Andrići je kiselinski aktiviran hlorovodoničnom kiselinom, koncentracije 4 mol/dm^3. Aktivacija je izvođena na sobnoj temperaturi, pri odnosu 10 g sepiolita i 100 cm^3 kiseline, u toku 10 h. Po završetku aktivacije, filtriracijom je odvojena čvrsta faza i ispirana vrućom destilovanom vodom do negativne reakcije na Cl- jone. Čvrsta faza je sušena 2^h na $150^{°C}$.

I*n vitro* ekseprimentima ispitivana je adsorpcija uranijuma-238 na neaktiviranom i aktiviranom sepiolitu, pri različitim koncentracijama sepiolita i to: 0,01g, 0,025g, 0,05g, 0,1g, 0,25g, 0,5 i 0,7 g, na **pH 6**. Broj proba pri svakoj pojedinačnoj koncetraciji je bio **5.** Vreme kontakta adsorbenta i uranil jona je bilo $\mathbf{2^h}$. Koncentracija uranil jona je bila konstantna pri svakoj probi – 10 ppm ^{238}U u 50 ml destilovane vode, što znači 10 µgU/ml, odnosno 500 µgU/50 ml destilovane vode. Tačno određena masa adsorbenata je dodavana u 50 ml rastvora uranil-nitrata (10 µgU/ml), pH 6.Adsorpcione smeše su nakon određenog vremena kontakta filtrirane kroz filter papir, a zaostala koncentracija neadsorbovanog uranil-jona u filtratu, kao i u početnom rastvoru (standardu) određivana je standardnom fluorimetrijskom metodom na aparatu Jarrel Ash 26-000. Količina adsorbovanog uranil-jona na uzorcima izračunavana je kao razlika između polazne i zaostale koncentracije.

Indeks adsorpcije uranil-jona u procentima (%) je izračunat po sledećoj formuli:
(Ico-Ic/Ico)·100, gde je *Ico* – polazna koncentracija uranil-jona u standardnom rastvoru, a *Ic* - ravnotežna koncentracija uranil-jona u filtratu posle adsorpcije.

3. Rezultati i diskusija

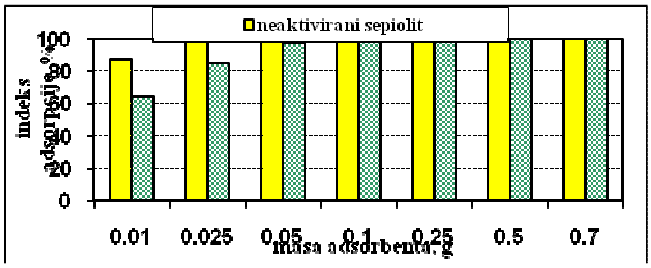
U tabeli 1 su prikazani rezultati praćenja adsorpcije uranil-jona na neaktiviranom i aktiviranom sepiolitu pri različitoj masi adsorbenata NS i AS i to: 0,01g 0,025, 0,05, 0,1, 0,25 i 0,5 i 0,7 g koja je dodavana u 50 ml vodenog rastvora uranijuma-238, na pH 6. Koncentracija uranil-jona u polaznom rastvoru iznosila je 10 µgU/ml. Vreme kontakta adosrbenata uranil-jona je bilo 2 sata.

Tabela 1. Indeks adsorpcije uranil-jona pri različitim masama neaktiviranog i aktiviranog sepiolita, pH 6, vreme kontakta 2^h

Masa adsorbenta (g)	Indeks adsorpcije NS %	Indeks adsorpcije AS %
0,01	87,1	64,1
0,025	98,1	84,5
0,05	99,6	97,6
0,1	99,6	99,7
0,25	99,7	99,8
0,5	99,6	99,6
0,7	99,7	99,7

Rezultati prikazani u Tabeli 1 pokazuju sepioliti imaju visoku sposobnost adsorpcije uranil-jona koja raste sa porastom sadržaja čvrste faze u suspenziji i to sa 87,1% kod mase adsorbenta NS od 0,01g do 99,7% kod mase adsorbenta NS od 0,7g. Već pri masi adsorbenta od 0,025 g zapaža se visoka adsorpcija od 98,1%. Neaktivirani sepiolit je pokazao nešto bolje rezultate adsorpicje uranil jona u odnosu na aktivirani sepiolit. Kod aktiviranog sepiolita indeks adosrpcije takođe raste sa porastom sadržaja čvrste faze u suspenziji i to sa 64,1% pri masi od 0,01 g do 99,7% pri masi adsorbenta od 0,7 g. Visok indeks adsorpcija (97,6%) uočava se već pri masi AS od 0,05 g, bez znatnog povećanja procenta adsorpcije sa daljim povećanjem mase adsorbenta.

Na grafikonu 1 su prikazani rezultati adsorpcije uranil-jona tokom 2 sata, pri promeni mase adsorbenata neaktiviranog i aktiviranog sepiolita (Tabela 1), na pH 6.



Grafikon 1. Adsorpcija uranil-jona tokom 2 sata, pri različitim masama adsorbenta neaktiviranog i aktiviranog sepiolita, pH 6

4. Zaključak

Na osnovu dobijeni rezultata uočava se visok indeks adosrpcije uranil jona na prirodnom i modifikovanom sepiolitu. Pri masenom odnosu adsorbent:uranil jon 100:1 (masa adsorbenta 0,05 g) indeks adsorpicje uranil jona je preko 99 % kod NS i ne povećava se sa daljim povećanjem mase adsorbenta, odnoso 97,6 % kod AS sa neznatnim povećanjem adsorpcije sa daljim povećanjem mase adosrbenta. Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost korišćenja sepiolita u oblasti zaštite životne sredine, u svim situacijama kada postoji kontaminacija zemljišta i voda uranijumom. Pošto su već dokazani pozitivni efekti dodavanja sepiolita stočnoj hrani (aditiv E-562), treba ispitati i mogućnost njegovog dodavanja stočnoj hrani u cilju zaštite životinja od alimentarne kontaminacije uranijumom.

5. Literatura

[1] B. Mitrović, G. Vitorović, M. Stojanović, D. Vitorović. Radioaktivnost fosfatnih mineralnih proizvoda. Vet. Glasnik, 65 (2011), br. 1-2, 133-140.

[2] Šatalov V. V, Laskorin B. N. (1989): Hemij estesvenih radionuklidov i Voprosi zaštiti okrucaicei sredi, B.I. Laskorin, B. F. Mjsoedov, edc, Himij Urana, Nauka, Moskva, 17-56.

[3] Dangić A. Geohemijski procesi u prirodi i radionuklidi. Jonizujuća zračenja u prirodi (monografija). Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Beograd, (1995), 41-56.

[4] K. Brauner and A. Preisinger. Struktur und Entstehung des Sepioliths. Tschermaks Miner., (1956), Petz. Mitt. 6 120–140.

[5]M.F. Brigati, C. Lugli, L. Poppi. Kinetics of heavy metal removal and recovery in sepiolite. Appl Clay Sci. (2000),16, 45–57.

[6]M.F. Brigati, L. Medici, L. Poppi. Sepiolite and industrial waste-water purfication: removal of Zn2+ and Pb2+ from aqueous solutions. App. Clay Sci. (1996), 11, 43–54.

ABSTRACT

URANIUMADSORPTIONON NATURAL AND MODIFIEDSEPIOLITE

Branislava MITROVIĆ[1], Gordana VITOROVIĆ[1], Đorđe JANAĆKOVIĆ[2] and Velibor ANDRIĆ[1,3]

1) Faculty of veterinary medicine, Belgrade, Srbija, radijacija@vet.bg.ac.rs

2) Faculty of Technology and Metallurgy, Beograd, Srbija

3) Instituteof Nuclear Sciences"Vinca", Beograd, Srbija

The paperpresents the resultsobtainedby testingadsorption ofuranylions onnatural andmodifiedsepioliteat differentmasses ofadsorbentsatpH6,contact time2 hours.The resultsshow thatsepiolitehasa highadsorptioncapacityof uranylions, over 99% for inactivated sepioliteand up to 97% for activated sepiolite,theadsorbentmass ratio: uranylion -100:1(weight0.05 gadsorbent).

UPOTREBA IKP METODE U KINETIČKOM ISPITIVANJU NEIZOTERMNOG RAZLAGANJA $NAHCO_3$

Bojan JANKOVIĆ[1], Marija JANKOVIĆ[2] i Dragana TODOROVIĆ[2]

1) Univerzitet u Beogradu, Fakultet za Fizičku Hemiju, Beograd, Srbija, bojanjan@ffh.bg.ac.rs

2) Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija

SADRŽAJ

Cilj rada je da se prikaže korist metode invarijantnih kinetičkih parametara (IKP) za određivanje kinetičkih parametara i kinetičkog modela ispitivanog procesa. Vrednost energije aktivacije (E_a) dobijene IKP metodom je u saglasnosti sa vrednošću dobijenom izokonverzionom metodom. IKP metoda udružena sa kriterijumom nezavisnosti kinetičkih parametara za sve brzine zagrevanja dovodi do sledećeg kinetičkog tripleta: E_a = 95.5 kJmol^{-1}, $A = 2.65 \times 10^{10}$ min^{-1} i konverzione funkcije $f(\alpha) = (1 - \alpha)$.IKP metoda se može uspešno primeniti u cilju kinetičke analize procesa dekompozicije različitih vrsta materijala prilikom sanacije radioaktivnog otpada, kao što je dekompozicija jono-izmenjivačkih smola, različitih adsorbenata itd.

1. Uvod

Za složene procese primena izokonverzionog postupka pokazuje da energija aktivacije (E_a) zavisi od stepena konverzije (α). Ponekad, za takve procese, ocenjuju se ukupni kinetički parametri. Nažalost, ovaj ukupni kinetički triplet ne može se koristiti za predviđanje vremenske evolucije sistema u drugim uslovima od onih na kojima je izvršena termička analiza. Ukoliko E_a ne zavisi od α, ispitivani proces je jednostavan i može biti opisan jedinstvenim kinetičkim tripletom.Ako se $E_a$menja saα, proces je složen i oblik $E_a = E_a(\alpha)$indicira složen reakcioni mehanizam [1]. U cilju pronalaženja konverzione funkcije $f(\alpha)$, nekoliko metoda je predloženo [2,3]. U ovom radu, za određivanje$f(\alpha)$ funkcije za termičko razlaganje natrijum bikarbonata ($NaHCO_3$), metoda invarijantnih kinetičkih parametara (IKP) je primenjena.

2. Eksperimentalni deo

Termičko razlaganje($NaHCO_3$) (Fluka, 99,5%, u prahu), urađeno je na SDT 2960 simultanoj jedinici TGA/DTA TA instrumenta. Uzorci natrijum bikarbonata su razloženi unutar termovage u korund posudama, pri brzini protoka azota od 20 ml min^{-1} i pri različcitim brzinama zagrevanja: 1, 2.2,4.1 и8.2Kmin^{-1}, u temperaturskom opsegu od 356K do485K. Temperatura peći podiže se linearno prema unapred predstavljenom linearnom rasporedu temperatura. Masa uzoraka bila je oko 20± 1 mg.

3. Teorijsko razmatranje

Diferencijalni izokonverzioni metod predložen od strane Friedman-a [4] zasniva se na opštem obliku jednačine brzine, napisane u svom logaritamskom obliku:

$$\ln\frac{d\alpha}{dt} \equiv \ln\beta\frac{d\alpha}{dT} = \ln Af(\alpha) - \frac{E_a}{RT} \quad (1)$$

gde je dα/dt brzina procesa i T je apsolutna temperatura. Za α = const., grafik zavisnosti $\ln(d\alpha/dt)$od 1/T, dobijen iz termograma na nekoliko brzina zagrevanja trebalo bi da bude prava linija, čiji nagib omogućava procenu energije aktivacije.

U ovom radu, metoda predložena od strane Budrugeac-a i saradnika [5] je korišćena za potrebe određivanja invarijantnih kinetičkih parametara (IKP). Metoda je zasnovana na eksperimentalnom zapažanju da ista termoanalitička kriva može biti opisana relativno dobro sa nekoliko različitih konverzionih funkcija. Korišćenjem Coats-Redfern-ove metode [6], za svaku brzinu zagrevanja i za svaku konverzionu funkciju (g(α)), par kinetičkih parametara (A, E_a) može biti određen. Korišćenje "veštačkog" kompenzacionog efekta, koji se javlja u slučaju promene reakcionog modela sa brzinom zagrevanja, omogućava nam da kompenzacioni parametri, a_vib_v, budu određeni u skladu sa jednačinom (2), koja zapravo predstavlja relaciju veštačkog kompenzacionog efekta [7]:

$$\ln A_j = a_v + b_v E_{aj} \quad (2)$$

gde su A_j i E_{aj} odgovarajuće vrednosti kinetičkih parametara koji su pripisani j-tom reakcionom modelu za datu brzinu zagrevanja β.

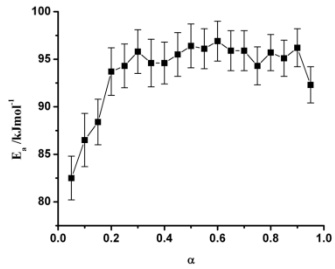
Tačka preseka pravih linija za nekoliko brzina zagrevanja odgovara realnim vrednostima E_a i A, koji se nazivaju invarijantni kinetički parametri($E_{a,inv}$ and A_{inv}), i nezavisni su od stepena konverzije, reakcionog modela i brzine zagrevanja. Pošto je određivanje tačke preseka grafičkom metodom nepouzdano, invarijantni kinetički parametri mogu biti definisani odgovarajućim super korelacionom relacijom:

$$a_v = \ln A_{inv} - b_v E_{a,inv} \quad (3)$$

Prava linija a_v u funkcijib_v omogućava da se odrede invarijantni kinetički parametri $E_{a,inv}$ i A_{inv}, iz nagiba i odsečka, redom.

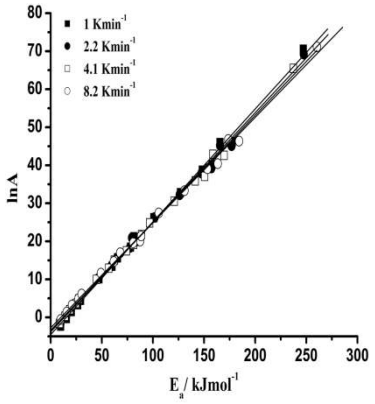
3. Rezultati i diskusija

Primena jednačine (1) na neizotermne podatke omogućava određivanje E_a u funkciji konstantnih vrednosti konverzije α. To je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Zavisnost $E_a$od α za neizotermnu dekompoziciju $NaHCO_3$, izvedena primenom Friedman-ove metode.

Energija aktivacije ostaje praktično konstantna u opsegu $0.20 \leq \alpha \leq 0.90$ sa srednjom vrednošću od E_a = 95.4 kJ mol^{-1}. Ovo ukazuje da postoji velika verovatnoća za prisustvo proste ("jednostepene") reakcije. U cilju primene IKP metode, opseg konverzije, u kome je vrednost E_a praktično konstantna, mora biti određen. Sa Slike 1 može se zaključiti da je opseg konverzije, gde je E_a nezavisno od α, u intervalu od α = 0.2 do α = 0.9. Coats-Redfern-ova metoda [6] je upotrebljena za određivanje parametara kompenzacionog efekta (a_v, b_v) u konverzionom opsegu gde je E_a konstantno. Nađeno je da su izračunate vrednosti energija aktivacije, $E_{a,j}$, za reakcioni model F1 (reakcija prvog reda) bliske po vrednosti sa energijom aktivacije koja je dobijena Friedman-ovom metodom. "Veštački" kompenzacioni efekat, dobijen za svaku brzinu zagrevanja prikazan je na Slici 2.



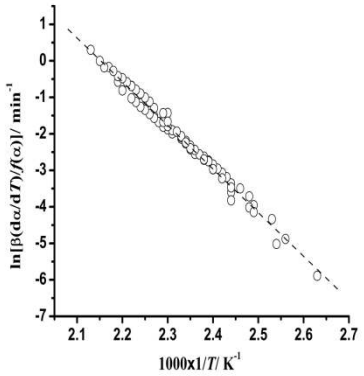
Slika 2. Zavisnost ln*A* od E_a za neizotermnu dekompoziciju $NaHCO_3$ ("površni" ili "veštački" kompenzacioni efekat).

Vrednosti a_v i b_v izračunate su iz nagiba i odsečka prave linije sa Slike 2. S obzirom na to da su a_v i b_v povezani super korelacionom relacijom (jednačina 3), kao konačni rezultat dobijeno je $\ln A_{inv}$ = 24.17 (A_{inv} izraženo u min^{-1}), $E_{a,inv}$ = 96.7 kJmol^{-1}.

Vrednost $E_{a,inv}$, praktično je jednaka vrednosti energije aktivacije dobijene Friedman-ovom metodom za $0.20 \leq \alpha \leq 0.90$. Realni kinetički model (funkcija $f(\alpha)$) može se dobiti suksecivnom primenom IKP metode i kriterijumom nezavisnosti kinetičkih parametara od brzine zagrevanja. Za ovu svrhu korišćena je sledeća jednačina:

$$\ln\left[\beta\left(d\alpha / dT\right) / f(\alpha)\right] = \ln A - \frac{E_a}{RT} \tag{4}$$

Krive $\ln[\beta(d\alpha/dT)/f(\alpha)]$ u funkciji $1/T$ odgovaraju F1 kinetičkom modelu ($f(\alpha) = 1 - \alpha$) i nacrtane su za sve korišćene brzine zagrevanja. Sve tačke nalaze se oko/na istoj pravoj liniji (Slika 3).



Slika 3. Kriterijum nezavisnosti kinetičkih parametara (A, E_a) od brzine zagrevanja (β), primenjen u slučaju neizotermne dekompozicije $NaHCO_3$.

Iz odsečka i nagiba prave linije izvedeni su kinetički parametri ln$A$ = 24.00 (A izraženo u min^{-1}) i E_a = 95.5 $kJmol^{-1}$ (r = -0.9950). Može se zaključiti da su ove vrednosti kinetičkih parametara u saglasnosti sa vrednostima koje su dobijene primenom drugih, gore navedenih metoda. Rezultati predstavljeni u ovom radu, u dobroj su saglasnosti sa rezultatima dobijenim od strane Hede i saradnika [8] i Romera i saradnika [9].

4. Zaključak

Neizotermna termogravimetrijska merenja na različitim brzinama zagrevanja omogućavaju izračunavanje kinetičkih parametara, karakterističnih za ispitivani proces razlaganja. Vrednost energije aktivacije (E_a) izračunata primenom IKP metode je u dobroj saglasnosti sa vrednošću E_a, koja je dobijena Friedman-ovom metodom, u opsegu $0.20 \leq \alpha \leq 0.90$. Za određivanje kinetičkog modela, upotrebljena je IKP metoda zajedno sa kriterijumom nezavisnosti kinetičkih parametara od brzine zagrevanja.

5. Reference

[1] S. Vyazovkin, A.I. Lesnikovich, An approach to the solution of the inverse kinetic problem in the case of complex processes: Part 1. Methods employing a series of thermoanalytical curves, *Thermochim. Acta*, 165 (1990) 273-280.

[2] L.A. Pérez-Maqueda, J.M. Criado, F.J. Gotor, J. Malek, Advantages of combined kinetic analysis of experimental data obtained under any heating profile, *J. Phys. Chem. A*, 106 (2002) 2862-2868.

[3] J. Málek, The kinetic analysis of non-isothermal data, *Thermochim. Acta*, 200 (1992) 257-269.

[4] H.L. Friedman, Kinetics of thermal degradation of char-forming plastics from thermogravimetry-application to a phenolic resin, *J. Polym. Sci. Part C: Polym. Lett.*, 6 (1964) 183-195.

[5] P. Budrugeac, E. Segal, L.A. Pérez-Maqueda, J.M. Criado, The use of the IKP method for evaluating the kinetic parameters and the conversion function of the thermal dehydrochlorination of PVC from non-isothermal data, *Polym. Degrad. Stab.*, 84 (2004) 311-320.
[6] A.W. Coats, J.P. Redfern, Kinetic parameters from thermogravimetric data, *Nature*, 201 (1964) 68-69.
[7] S. Vyazovkin, W. Linert, False isokinetic relationships found in the nonisothermal decomposition of solids, *Chem. Phys.*, 193 (1995) 109-118.
[8] P.K. Heda, D. Dollimore, K.S. Alexander, D. Chen, E. Law, P. Bicknell, A method of assessing solid state reactivity illustrated by thermal decomposition experiments on sodium bicarbonate, *Thermochim. Acta*, 255 (1995) 255-272.
[9] A. Romero, E. Garcia Calvo, P. Leton, M.A. Arranz, A differential method for kinetics of non-isothermal solid decomposition, *Thermochim. Acta*,182 (1991) 235-241.

ABSTRACT

THE USE OF THE IKP METHOD IN KINETIC STUDY OF THE NON-ISOTHERMAL $NaHCO_3$ DECOMPOSITION

Bojan JANKOVIĆ[1], Marija JANKOVIĆ[2] and Dragana TODOROVIĆ[2]
1) University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia
2) University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and Environmental Protection Department, Belgrade, Serbia, marijam@vinca.rs

The objective of the paper is to show the usefulness of the IKP (invariant kinetic parameters) method to determine both the kinetics parameters and the kinetic model of the investigated process. The activation energy (E_a) value obtained by the IKP method is in good agreement with the values obtained by isoconversional methods. IKP method associated with the criterion of coincidence of kinetic parameters for all heating rates led us to the following kinetic triplet: E_a = 95.5 kJmol^{-1}, $A = 2.65 \times 10^{10}$ min^{-1} and conversion function $f(\alpha) = (1 - \alpha)$.
IKP method can be successfully applied to kinetic analysis of the decomposition processes of various materials during remediation of radioactive waste, such as the decomposition of ion-exchanger resins, different adsorbents and so on.

MERNA INSTRUMENTACIJA

PRIMENA DETEKTORA CR-39 U DETEKCIJI I DOZIMETRIJI NEUTRONA

Biljana MILENKOVIĆ, Dragoslav NIKEZIĆ i Nenad STEVANOVIĆ
Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno matematički fakultet, Kragujevac, Srbija,
bmilenkovic@kg.ac.rs

SADRŽAJ
U ovom radu primenjen je Monte Karlo metod za simulaciju detekcije neutrona iz Am-Be izvora cilindričnog oblika, detektorom CR-39. Takođe, simuliran je razvoj tragova uzmaknutih protona u CR-39 detektoru pri istovremenom nagrizanju obe detektorske površine. Računata je apsorbovana energija po jednom uzmaknutom protonu i po jednom vidljivom tragu kao i broj vidljivih tragova neutrona po jednom incidentnom neutronu za različite debljine skinutih slojeva pri nagrizanju detektora.

1. Uvod

Suprotno naelektrisanim česticama zračenja, koja direktno izazivaju oslobađanja elektrona, neutroni interaguju sa jezgrom što dovodi do emisije nekoliko različitih tipova naelektrisanih čestica, kao što su protoni, alfa čestice ili teški joni.

Neutronska dozimetrija je od velike važnosti za zaštitu od zračenja u blizini akceleratora čestica i nuklearnih reaktora, kao i za kvantifikaciju efekata izlaganja kosmičkom zračenju. Takođe je veoma bitna kod terapije brzim neutronima, neutronskim zahvatom, kao i u terapiji jonskim snopovima.

Do sada su vršena brojna istraživanja u oblasti neutronske dozimetrije, i na tu temu je objavljen veliki broj radova. Uprkos četrdesetogodišnjem istraživanju lična neutronska dozimetrija ostaje veliki problem u oblasti radijacione zaštite. Karakteristike trenutno dostupnih ličnih neutronskih dozimetara su daleko od idealnih. Među danas korišćenim pasivnim ličnim neutronskim dozimetrima, trag detektori se smatraju jednom od najperspektivnijih tehnika. Posebno mesto u svetu trag detektora zauzima dobro poznati CR-39 detektor (poly allyl diglycol carbonate PADC), iako su u upotrebi i drugi tipovi detektora zasnovani na nitrocelulozi i drugim vrstama polikarbonata. Među brojnim prednostima, najvažnija osobina CR-39 detektora je njegova velika osetljivost na protone i niskoenergetski prag za neutrone, kao i njegova mala osetljivost na gama zračenje. U odnosu na druge ispitivane detektore CR-39 je jeftiniji i svestraniji neutronski dozimetar sa širokim spektrom odgovora u oblasti energije neutrona. Zbog toga je CR-39 najpopgodniji kandidat za primenu u ličnoj neutronskoj dozimetriji.

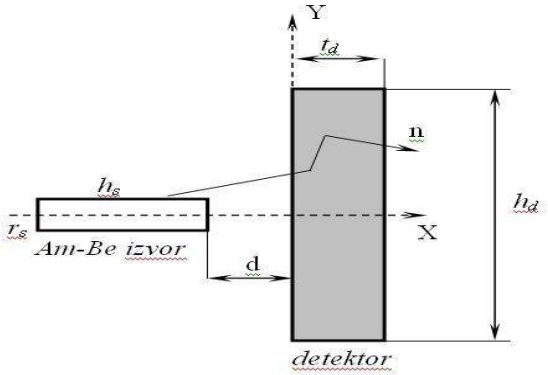
Neutroni interaguju sa atomima konstituenata detektora i proizvode H, C i O uzmake, kao i sekundarne naelektrisane čestice. Sekundarne naelektrisane čestice i uzmaknuta jezgra ostavljaju oštećenja pri prolasku kroz detektorski materijal, koja se nazivaju "latentni tragovi". Ako se detektor koji sadrži latentne tragove izloži hemijski agresivnim rastvorima, kao što su vodeni rastvori NaOH ili KOH, hemijska reakcija će biti mnogo intenzivnija duž latentnog traga. Rastvor će nagrizati površinu detektora, ali većom brzinom u oštećenoj oblasti. Na ovaj način se formira trag čestice koji se može videti pod optičkim mikroskopom.

U ovom radu je u prvoj fazi simulirano kretanje neutrona kroz CR-39 detektor dok je u drugom fazi simuliran razvoj tragova pri istovremenom nagrizanju obe

detektorske površine, tj. gornje i donje. Rezultati su dobijeni po jednom emitovanom neutronu.

2. Teorijski model

Simulacija je vršena za CR-39 detektor dimenzije h_d x w_d x t_d (2 cm x 1 cm x 0.1 cm) ozračivan neutronima iz Am-Be neutronskog izvora cilindričnog oblika baznog dijametra r_s = 2.2 cm i visine h_s = 2.2 cm, Slika 1. Neutronski izvor nije u kontaktu sa detektorom već je na rastojanju d = 1.4 cm. Pretpostavljeno da se neutroni emituju sa površine izvora, zanemarujući interakcije i samoapsorpcije u samom izvoru kao i kroz vazduh.



Slika 1. Geometrija neutronskog izvora i detektora. Detektorske dimenzije su visina hd; širina wd (duž Z ose); debljina detektora, td. Dimenzije detektora su: radijus, rs; visina hs. Rastojanje između izvora i detektora je d.

Fortranski program, razvijen u našoj laboratoriji, nazvan Neutron_CR-39.f90, omogućuje simulaciju kretanja neutrona kroz CR-39 detektor i računa parametre protonskih tragova nakon nagrizanja. Program Neutron_CR-39.f90 sadrži podprograme Neutron.f90, koji obavlja simulaciju prostiranja neutrona, i Trackfdmsame.f90 i Trackfdmback.f90 za računanje parametara protonskih tragova nastalih nakon nagrizanja detektora u istom i suprotnom smeru. Detaljan opis programa Neutron_CR-39.f90 je dat u radu [1]. Program Track_Visibility.f90, opisan u radu [2] bio je osnova za razvoj podprograma Trackfdmsame.f90 i Trackfdmback.f90.

Podprogram Neutron.f90 kreira istoriju pojedinačnih neutrona, koja se sastoji iz sledećih koraka: uzorkovanje početne tačke i početnog pravca neutrona u izvoru, tačku izlaska iz izvora; određivanje da li je neutron pogodio detektor i ako je odgovor "da" uzorkovanje njegovog slobodnog puta u materijalu detektora; određivanje da li neutron interaguje sa atomima detektora i ako se to događa uzorkovanje atoma u detektoru sa kojim neutron interaguje i određivanje tipa interakcije (elastična ili neelastična). Kao rezultat većeg broja simuliranih istorija formira se fajl PROTONS_AmBe.DAT sa podacima "nastalih" uzmaknutih protona, koji sadrži ugao uzmaka, koordinate početne i krajnje tačke dometa protona, kao i energiju uzmaknutog protona i deponovanu energiju.

Protoni nastali u (n,p) reakcijama se emituju u različitim pravcima i njihovi latenti tragovi su orjentisani slučajno u svim pravcima. Neki tragovi biće

nagrizani od tačke gde je proton nastao u pravcu njegovog kretanja - to je direktno nagrizanje. Drugi tragovi će biti nagrizani od tačke gde se proton zaustavio – to je nagrizanje u suprotnom smeru. Još jedan slučaj je kada proton napušta detektorsku površinu (bilo gornju bilo donju), tada nagrizanje počinje od tačke izlaska protona.

Podprogram Trackfdmsame.f90 analizira podatke iz fajla PROTONS_AmBe.DAT i određuje koji latentni protonski trag će biti direktno nagrizan sa gornje a koji sa donje strane detektora.

Podprogram Trackfdmback.f90 počinje sa izvršavanjem posle podprograma Trackfdmsame.f90. Iz fajla PROTONS_AmBe.DAT analiziraju se protonski tragovi koji će biti nagrizani u suprotnom smeru. Tragovi nagrizani u suprotnom smeru dolaze od latentnih protonskih tragova: (1) pod uglom $\alpha<\pi/2$, za nagrizanje sa donje strane; (2) pod uglom $\alpha>\pi/2$, za nagrizanje sa gornje strane detektora.

Program odlučuje da li će neki protonski trag biti vidljiv ili ne pod sledećim uslovima: ako je ugao između detektorske površine i pravca protona veći od kritičnog ugla i ako je dijametar traga veći od 5 μm, onda će trag biti vidljiv pod optičkim mikroskopom. Izračunavanje parametara tragova nagrizanih u istom i suprotnom smeru je bazirano na numeričkom rešavanju jednačine zida traga koristeći metodu konačnih razlika. Ovaj pristup je korišćen ranije za tragove alfa čestica u LR115 detektoru i detaljno je opisan u [3].

Uzeto je da je brzina nagrizanja 1.2 μm/h, što odgovara nagrizanju u 6.25 N vodenom rastvoru NaOH pri konstantnoj temperaturi od 70°C, [4].

Kritični ugao se računa koristeći dobro poznatu jednačinu $\theta_c = ArcSin(1/V)$, gde je, $V = V_t / V_b$, V_b je brzina nagrizanja neoštećenog detektora, a $V_t$je brzina nagrizanja detektora duž traga. Korišćena je V funkcija za protone u CR-39 detektoru koja je nedavno publikovana [5].

Tokom nagrizanja detektor je potpuno potopljen u rastvor, tako da su obe površine, tj. gornja i donja nagrizane istovremeno. Broj vidljivih tragova otkrivenih tokom nagrizanja obe površine, uključujući nagrizanje u smeru prostiranja protona i u suprotnom smeru, uzet je u obzir i zabeležen je u programu.

Tragovi od alfa čestica kao i njihova apsorbovana energija su zanemareni jer je verovatnoća nastanka alfa čestice mnogo manja nego za protone.

3. Rezultati

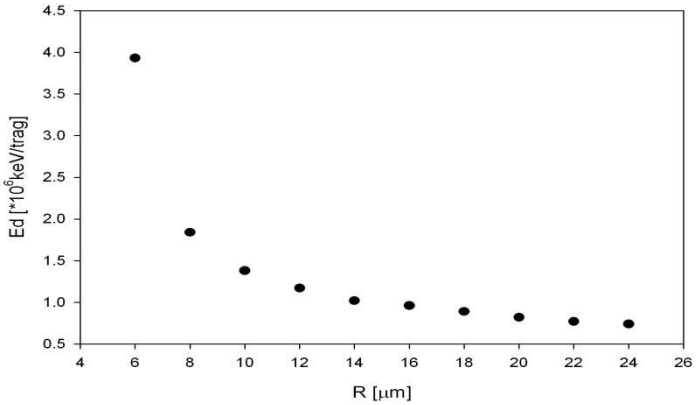
Rezultati programa Neutron.f90, kao što su energetska i ugaona raspodela alfa čestica i protona i njihova apsorbovana energija po jedinici mase detektora po jednom neutronu prikazani su u radu [6]. Apsorbovana energija po jednom neutronu po vidljivom protonskom tragu prikazana u radu [2], računata je u programu Track_Visibility.f90. Rezultati programa Neutron_CR-39.f90 su:

a. fajl PROTONS_AmBe.DAT sa podacima nastalih protona, koji sadrži ugao uzmaka α u odnosu na X osu, početnu i krajnju koordinatu položaja duž X ose, kao i početnu energiju uzmaknutog protona i njegovu deponovanu energiju,
b. apsorbovana energija uzmaknutih protona po vidljivom tragu, Ed (kev/trag), Slika2,

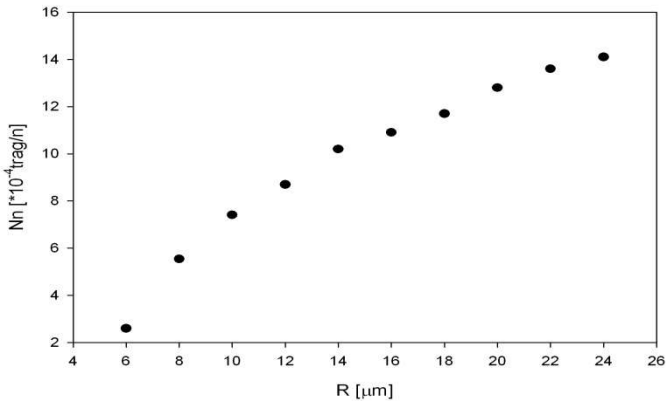
c. broj vidljivih tragova neutrona po incidentnom neutronu, Nn (trag/n), Slika 3,

d. apsorbovana doza u detektoru, tj. količnik apsorbovane energije uzmaknutih protona i mase detektora, koja iznosi 62 μGy.

Vrednosti Ed i Nn su računate za različite skinute slojeve detektora i rezultati su prikazani na Slikama 2 i 3.



Slika 2. Apsorbovana energija uzmaknutih protona po vidljivom tragu, Ed, u zavisnosti od skinutog sloja, R.



Slika 3. Broj vidljivih tragova neutrona po incidentnom neutronu, Nn, u zavisnosti od skinutog sloja, R.

4. Zaključak

U radu je predstavljen trenutni status rada na razvoju modela i programa za neutronsku dozimetriju korišćenjem CR-39 detektora. Napravljeni program i dobijeni rezultati će biti iskorišćeni za poređenje sa eksperimentima. Geometrija neutronskog izvora datog na Slici 1 odgovara izvoru sa kojim se obavljaju

eksperimenti. Cilj eksperimentalnog rada je određivanje veze između odgovara detektora izraženog preko gustine tragova i apsorbovane doze neutrona.

5. Zahvalnica
Ovaj rad je podržan od strane ministarstva nauke i tehnološkog razvoja srbije, kroz projekat N_0 171021.

6. Literatura

[1] B.Milenković, N. Stevanović, D. Nikezić, M. Ivanović. Computer program Neutron_CR-39 for simulation of neutrons from Am-Be source and calculation of proton track profiles.Computer Physics Communications 182 (2011) 1536-1542.
[2] B. Milenković, N. Stevanović, V. Marković, D. Nikezić. Efikasnost detekcije protona nastalih u CR-39 detektoru ozračenom neutronima iz Am-Be izvora. Zbornik radova 54. konferencije za ETRAN, Donji Milanovac 7-11. jun 2010.
[3] B. Milenković, N. Stevanović, D. Krstić, D. Nikezić. Numerical solving of track wall equation in LR115 detectors etched in direct and reverse directions. Radiation Measurements 44 (2009) 57-62.
[4] J.P.Y. Ho, C.W.Y Yip, D. Nikezic, K.N. Yu. Effects of stirring on the bulk etch rate of CR39 detector, Radiation Measurements 36 (2003)141-143.
[5] D. Hermsdorf. Measurement and comparative evaluation of the sensitivity V for protons and Hydrogen isotopes registration in PADC detectors of type CR-39, Radiation Measurements 44 (2009) 806-812.
[6] B. Milenković, D. Nikezić, N. Stevanović. Simulacija odgovora CR-39 detektora na ozračivanje neutronima iz Am-Be izvora. Zbornik radova, XXV Simpozijum Društva za Zaštitu od Zračenja Srbije i Crne Gore , Kopaonik, 30.09. - 02.10. 2009.

ABSTRACT

USE OF CR-39 DETECTOR IN NEUTRON DETECTION AND DOSIMETRY

Biljana MILENKOVIĆ, Dragoslav NIKEZIĆ and Nenad STEVANOVIĆ
*University of Kragujevac, Faculty of Science, Kragujevac, Serbia*bmilenkovic@kg.ac.rs, nikezic@kg.ac.rs, nstevanovic@kg.ac.rs

The interaction of the neutrons emitted from Am-Be neutron source of a cylindrical shape with the CR-39 detector is simulated in this paper, as well as the etching of both detector surfaces simultaneously. Deposited energy of recoiled protons per visible tracks, as well as number of visible tracks per incident neutron were calculated for different removed layers of detector.

MONTE KARLO SIMULACIJA APSOLUTNE EFIKASNOSTI DETEKCIJE LINIJE OD 46.5 KEV ZA ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE PB-210 U POSTOJEĆOJ OLOVNOJ ZAŠTITI HPGE DETEKTORA

Dejan JOKOVIĆ, Radomir BANJANAC, Vladimir UDOVIČIĆ, Aleksandar DRAGIĆ, Dimitrije MALETIĆ, Nikola VESELINOVIĆ i Ivan ANIČIN

Institut za fiziku, Beograd, Srbija, yokovic@ipb.ac.rs

SADRŽAJ

Izložen je opis MC simulacije paketom GEANT4, pomoću koje je određena apsolutna efikasnost za detekciju gama zračenja od 46.5 keV, po pretpostavci emitovanog iz homogeno distribuiranog Pb-210 u olovnoj zaštiti HPGe detektora. Iz eksperimentalnog intenziteta ove linije u fonskom spektru detektora nađeno je da koncentracija Pb-210 u olovnoj zaštiti iznosi 30(10) Bq/kg.

1. Uvod

Kao pasivna zaštita germanijumskih detektora najčešće se koristi olovo. Jedna od značajnih komponenti fona je „kontaminacija" samog olova dugoživećim izotopom Pb-210. Obilnost Pb-210 ($T_{1/2}$ oko 22 godine) je u odnosu na očekivanu vrednost iz sekularne ravnoteže U-238 niza realno mnogo veća. Zračenje iz Pb-210, beta maksimalne energije 63 keV i gama od 46.5 keV lako se samoapsorbuje u olovu, ali je problem zakočno zračenje elektrona od potomka Bi-210. Zbog maksimalne energije elektrona od 1.16 MeV prateći kontinuum zakočnog zračenja značajno doprinosi fonu sve do energije od oko 500 keV. Analitički pokušaj izračunavanja tog kontinuuma, [1], daje procenu da 20% fona u intervalu 85 keV–511 keV potiče od opisanog zakočnog zračenja a koji se povezuje sa izmerenom koncentracijom aktivnosti Pb-210 u zaštiti od 25 Bq/kg. Ta aktivnost se smatra malom jer maksimalan doprinos fonu koji je u oblasti oko 200 keV može dostići čak 70% ako je početna koncentracija Pb-210 prevelika, [2]. Koncentracije Pb-210 u olovu kreću se u rasponu od detekcione granice odgovarajućeg detektora do 2500 Bq/kg. Prosečna vrednost je oko 300 Bq/kg. Komercijalno je dostupno olovo sa koncentracijom aktivnosti Pb-210 manjom od 50 Bq/kg. Alternativno, dovoljno čisto može biti i dovoljno staro olovo, ako početna aktivnost nije prevelika. U odnosu na površinske laboratorije, relativan doprinos fonu kontinuuma od opisanog zakočnog zračenja posebno raste za podzemne laboratorije gde je smanjen fluks miona i posledično deo fona od njihovog zakočnog zračenja. U zavisnostiod potreba merenja moguće je modifikovati i fon. Oblaganjem unutrašnje površine Pb zaštite tankim materijalima manjeg rednog broja-lajnerima (Cu, Cd, Sn, teflon) apsorbuje se karakteristično X zračenje olova (72.8 keV–87.4 keV), ali se nužno podiže kontinuum upravo u oblasti u kojoj dominira Bi-210-zakočno zračenje.

Pasivnu zaštitu HPGe detektora u Niskofonskoj podzemnoj laboratoriji za nuklearnu fiziku, Instituta za fiziku, čini pretopljeno olovo od starih vodovodnih cevi. Pretpostavka da je istog porekla kao i olovo opisano u [1] je pod sumnjom

nakon detaljne analize izmerenog fona. Nužno je dakle, odrediti aktivnost Pb-210 u gotovoj Pb zaštiti. Pokušaji simulacija paketom MCNP nisu davali dovoljno dobre rezultate za voluminozne izvore, a u slučaju same olovne zaštite kao izvora zračenja to nije jednostavno upravo zbog velikog efekta samoapsorpcije fotona od 46.5 keV.
U Pb zaštiti cilindričnog oblika, nalazi se koaksijalni HPGe detektor (ORTEC tip GEM30) aktivne zapremine 148,9 cm^3 i izmerene relativne efikasnosti 35%. Kako detektor nije GMX tipa, efikasnost na malim energijama mu je mala što je zahtevalo dovoljno dugo vreme merenja kada su i varijacije svih promenljivih komponenti fona doprinosile grešci merenja. To otvara pitanje porekla fona u oblasti energije od interesa.

2. Komponente fona na 46.5 keV

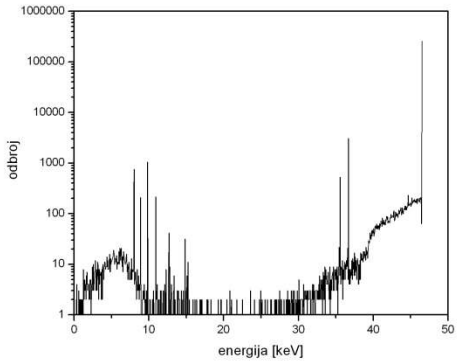
Za konkretan izbor lokacije-laboratorije, detektora, pasivne zaštite, ali i uslova ventilacije imaćemo određenu vrednost fona u oblasti oko 46.5 keV, linije iz Pb-210. Fonu najpre doprinosi sam detektorski sistem i to delovi najbliži njegovoj aktivnoj zapremini. Spoljna kapa detektora proizvodi se od visokočistog magnezijuma radiočistoće veće od 10 mBq/kg Ra-226 ili od 99.999% čistog aluminijuma sa sadržajem U i Th ispod 1 ppb. Posebna prednost je na strani GMX detektora sa berilijumskim tankim prozorom kroz koji lako prolaze i fotoni malih energija pa je unutrašnja efikasnost detekcije na manjim energijama višestruko veća. Ovo je posebno značajno jer je verovatnoća emisije fotona od 46.5 keV svega 4% pa je relativno malu aktivnost Pb-210 teško detektovati detektorima male efikasnosti.
Opisani HPGe detektor ima radijaciono čisti kriostat i opravdano je zanemariti kontaminaciju samog detektora. Iako je efikasnost detekcije mala u tom opsegu energija kontinuum je nužno visok usled komptonovskog rasejanja svih fotona viših energija. Dakle, linija na 46.5 keV potiče od olova iz zaštite, kada olovo nije obloženo lajnerima ali i od depozicije postradonskih potomaka. U zapremini između detektora i pasivne zaštite raspadom radona i njegovih kratkoživećih potomaka na površini detektora i unutrašnjoj površini zaštite deponuju se aerosoli sa Pb-210. Efekat može biti pojačan prisustvom materijala koji elektrostatički privlače radon npr. lajnera od teflona pa je razvijen model koji proračunava efekat ove depozicije, [3]. I u slučaju male koncentracije radona, koja se kontinuirano monitoriše u našoj laboratoriji i iznosi svega 10(4) Bq/m^3, tokom vremena se ova površinska kontaminacija samo nagomilava. Za kompletnu analizu doprinosa fonu potrebno je izvršiti niz merenja fona u kojima se koriste i lajneri da zaklone olovo kao i redovan postupak čišćenja površine detektora i zaštite radi uklanjanja površinske depozicije simultano mereći koncentracije radona i torona. Prvi korak u proceni koncentracije Pb-210 u olovnoj zaštiti je određivanje apsolutne efikasnosti za detekciju linije na 46.5 keV. Zbog kompleksnosti problema odlučili smo se za simulaciju paketom GEANT4 koji je prilagođen propagaciji zračenja niskih energija u materiji.

3. Simulacija i merenje

GEANT4 [4], je simulacioni paket za brze i precizne Monte Karlo simulacije interakcija čestica sa materijom. On sadrži kompletan alat za modeliranje trajektorija i interakcija čestica: definisanje geometrije i materijala detektora, fizičkih procesa, primarnih događaja, odziva detektora, u skladu są konkretnim problemima, a značajan kvalitet mu je i stalno dopunjavanje biblioteke preseka za sve relevantne interakcije zračenja sa materijom.

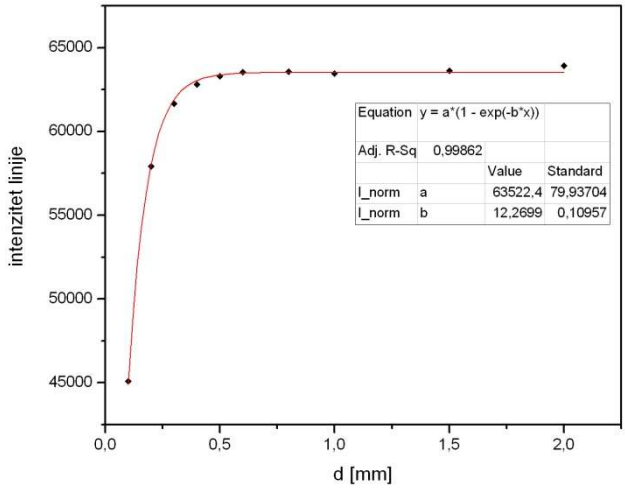
Detektorski sistem definiše se zadavanjem oblika i materijala svih njegovih sastavnih delova, kao i njihovih uzajamnih položaja, prema specifikaciji proizvođača. Aktivni kristal germanijuma je cilindričnog oblika, čiji je prečnik 58,5 mm a visina 56,4 mm. Unutrašnja šupljina u detektoru ima prečnik 9,0 mm i visinu 42,9 mm. Neaktivni sloj Ge iznosi 0,9 mm. Držač od bakra ima visinu 94 mm i debljinu 0,76 mm. Sve ovo se nalazi unutar kućišta od magnezijuma čija je visina 120 mm, prečnik 65 mm i debljina 1,5 mm; rastojanje gornje površine detektora od kućišta iznosi 3 mm. Celokupan detektor je smešten unutar olovne zaštite debljine 12 cm, na poziciji 12 cm ispod gornje strane i 5 cm od bočnih strana olovne zaštite. Primarni događaji u simulaciji generisani su definisanjem čestica, njihovih pozicija, pravaca impulsa i energija. Incidentne čestice su fotoni energije 46,5 keV i njihove pozicije su slučajno odabrane tačke u tankom unutrašnjem sloju olova (okrenutom ka detektoru) date debljine. Početni pravci čestica su takođe slučajno odabrani u 4π geometriji.

Prvi zadatak simulacije je nalaženje spektralnog odziva detektora, odnosno raspodele odbroja u zavisnosti od deponovane energije u detektoru. Na taj način može se odrediti i totalna efikasnost detektora kao i ona za vrh totalne apsorpcije, za date početne uslove, a time i procenat fotona koji se komptonovski raseju u detektoru. Spektralni odziv detektora, dobijen simulacijom za fotone generisane u sloju olova debljine 0,5 mm, prikazan je na slici 1. On se razlikuje od realnog spektra jer zbog jednostavnosti nije uzeta u obzir konačna rezolucija detektora, a zanemareni su i kontinuum fona od viših energija i doprinos od depozicije postradonskih potomaka.



Slika 1. Spektralni odziv germanijumskog detektora na fotone energije 46,5 keV

Početni broj događaja bio je 10^9, odbroj u vrhu totalne apsorpcije na 46,5 keV je $2{,}58(1)x10^5$ a odbroj u celom spektru je $2{,}82(1)x10^5$. Iako na malim energijama fotona dominira fotoelektrični efekat koji u potpunosti doprinosi vrhu totalne apsorpcije, efekat rasejanja u detektoru i odbegli pikovi nisu zanemarivi. Približno 8,5% detektovanih fotona je rasejano u detektoru a da se nije u potpunosti apsorbovalo. Pored linije od 46,5 keV koja intenzitetom dominira u desnom kraju slike 1, u spektru se identifikuju i K-X linije iz Cu na 8 i 9 keV, na 9.9 i 11 keV K-X linije iz Ge i na 10.5, 12.6 i 14.8 keV L-X linije iz Pb. Odbegli pikovi iz Ge na energijama 35.5 i 36.6 keV posledica su činjenice da se detekcija inicijalnih fotona dešava u tankom sloju aktivne zapremine detektora neposredno ispod njegove površine. Svi oni se u realnom merenju najčešće ne vide zbog visokog kontinuuma pa se praktično utapaju u fluktuacije fona.
Određujući efikasnost vrha totalne energije u funkciji od debljine sloja olova, moguće je naći efektivnu zapreminu olova iz koje se emituju fotoni koji doprinose liniji od 46,5 keV u fonskom spektru. Dobijeni rezultati efikasnosti, odnosno intenziteta linije, za različite debljine olova prikazani su na slici 2. Broj primarnih događaja je normiran tako da je broj generisanih fotona u jedinici zapremine isti za sve date debljine.



Slika 2. Intenzitet linije 46,5 keV u zavisnosti od debljine sloja olova

Intenzitet linije od 46,5 keV pokazuje saturaciju već za sloj olova debljine 0,5 mm. Time je definisan i deo zapremine olova odgovoran za doprinos fonskoj liniji 46,5 keV. Iz simulacije za tu debljinu olova se dobija ukupna efikasnost detekcije od 0,000258(1). Problem očigledno male efikasnosti detekcije našeg detektora za posledicu je imao dugo vreme merenja (oko 30 dana) i relativno veliku statističku grešku. Procena za izvor linije od 46,5 keV (unutrašnja olovna zaštita debljine 0,5 mm i mase 1,13 kg) daje za aktivnost Pb-210 vrednost od

30(10) Bq/kg. Ova vrednost je realno precenjena mogućom sistematskom greškom usled prisustva Pb-210 nataloženog na površinu detektora i olova a koji je posledica raspada radona, ali se dobro slaže sa rezultatom iz [1]. Naredna merenja fona sa lajnerima, precizna i simultana merenja radona i njegovih potomaka unutar pasivne zaštite i prateće simulacije pružiće detaljnije odgovore o poreklu fona u oblasti linije na 46,5 keV.

4. Literatura

[1] D. Mrđa, I. Bikit, Uticaj Pb-210 u olovnoj zaštiti na fon gama spektrometra, *Zbornikradova XXIII simpozijuma DZZSCG*, Donji Milanovac (2005) 187-190
[2] M. Korun, B. Vodenik, Influence of Pb-210 on the continuous background of gamma-ray spectrometers, *Appl. Radiat. Isot.* 67 (2009) 762-764
[3] V. Guiseppe *et al.*, A Radon Progeny Deposition Model,*arXiv:1101.0126v1* [nucl-ex] 30 Dec 2010
[4] Agostinelli *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth. A* 506 (2003) 250-303

ABSTRACT

MONTE CARLO SIMULATION OF ABSOLUTE DETECTION EFFICIANCY OF A LINE 46.5 keV USED FOR DETERMINATION OF CONCENTRACION PB-210 IN LED PROTECTION FOR HPGe

Dejan JOKOVIĆ, Radomir BANJANAC, Vladimir UDOVIČIĆ, Aleksandar DRAGIĆ, Dimitrije MALETIĆ, Nikola VESELINOVIĆ and Ivan ANIČIN
Institut za fiziku, Beograd, Srbija, yokovic@ipb.ac.rs

Detection efficiency for the 46.5 keV line from the uniformly distributed Pb-210 within the lead shielding of an HPGe detector is determined by means of the Geant4-MC simulation. From the experimental intensity of this line in the background spectrum the concentration of Pb-210 is found to be 30(10) Bq/kg.

PROVERA STABILNOSTI KALIBRACIONIH STANDARDA KORIŠĆENIH U GAMA SPEKTROMETRIJI

Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Aleksandar KANDIĆ, Ivana VUKANAC, Bojan ŠEŠLAK i Zoran MILOŠEVIĆ
Institut za Nuklearne Nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija,
mirad@vinca.rs

SADRŽAJ
Primena standarda SRPS ISO:IEC 17025:2006 pri gamaspektrometrijskom merenju uzoraka iz životne sredine zahteva stalnu proveru i praćenje stabilnosti korišćenih kalibracionih standarda. U radu su prikazane kalibracione krive za različite matrikse merene na poluprovodničkom HPGe detektoru u različitim položajima. Analiza rezultata je pokazala da je došlo do izvesne degradacije korišćenih standarda.

1. Uvod

Praćenje prisustva radionuklida gama emitera u uzorcima iz životne sredine jedan je od zadataka svake specijalizovane laboratorije za radiološku kontrolu životne sredine. Takve analize zahtevaju pouzdane analitičke metode i precizno određene krive efikasnosti, imajući u vidu da su u pitanju uglavnom uzorci niskih aktivnosti. Pošto kriva efikasnosti predstavlja složenu funkciju energije, karakteristika spektrometra, geometrije merenja, zapremine i gustine uzorka, velika pažnja pri izboru kalibracionih standarda poklanja se odabiru matriksa standarda, jer to u velikoj meri utiče i na pouzdanost dobijenih rezultata. Vrlo često standardi koje nude renomirane metrološke institucije svojom gustinom i hemijskim sastavom ne odgovaraju potrebama korisnika, ili pak ne pokrivaju potreban energetski opseg merenja. Alternativa tome je da se prema preporuci IAEA [1] izvrši priprema kalibracionih standarda za izabrane matrikse korišćenjem standardnog rastvora monoenergetskih gama radionuklida sledivog do primarnog etalona.

Naša laboratorija se opredelila da korišćenjem standardnog rastvora nabavljenog od Češkog Metrološkog Instituta [2], za matrikse različite gustine (zemlja, trava, pesak i mleko u prahu) sama napravi odgovarajuće standarde. Tačnost eksperimentalno dobijenih efikasnosti pomoću napravljenih kalibracionih standarda potvrđena je Monte Carlo simulacijom, korišćenjem softverskog paketa FOTELP, pri čemu se pokazalo dobro slaganje sem u oblasti niskih energija [3]. Pouzdanost i tačnost dobijenih krivih efikasnosti proveravana je u brojnim međunarodnim interkomparativnim merenjima organizovanim od strane IRMM i IAEA u kojima je naša laboratorija uspešno učestvovala.

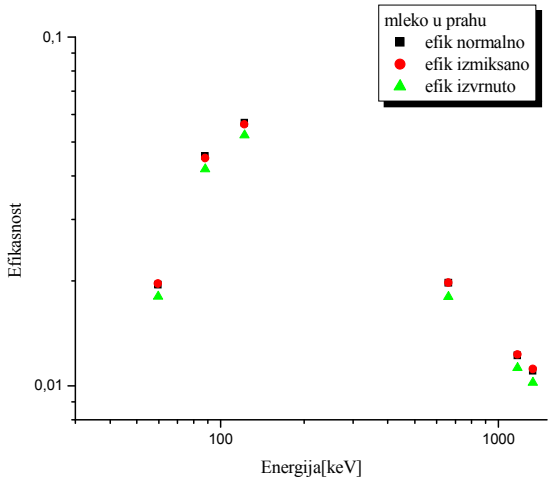
2. Priprema kalibracionih standarda

Da bi se pokrio potreban opseg gustine i hemijskog sastava merenih uzoraka, kalibracioni standardi su pripremljeni za sledeće matrikse: mineralizovanu travu (ρ = 0,09 g/cm^3), mleko u prahu (0,47 g/cm^3), površinsko zemljište (0,75 g/cm^3), i pesak (1,07 g/cm^3). Izabrana je geometrija PVC cilindrične kutije zapremine 100

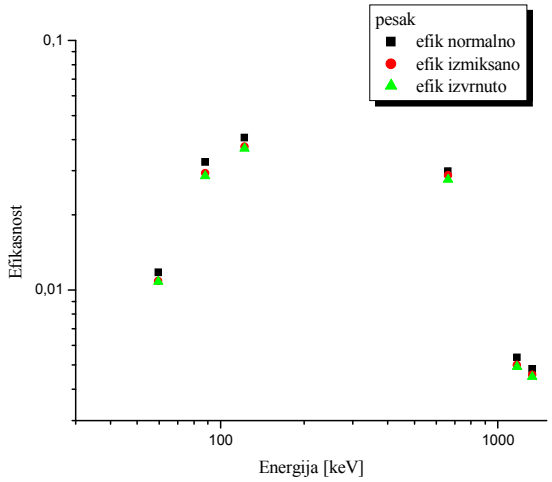
ml. Svi standardi su pripremljeni korišćenjem standardnog rastvora monoenergetskih gama emitera (^{241}Am, ^{109}Cd, ^{139}Ce, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{203}Hg, ^{113}Sn, ^{85}Sr and ^{88}Y) nabavljenog od Češkog Metrološkog Instituta, primenom procedure predložene od grupe autora Taskaeva et al. [4].
Standardni rastvor razblažen je do odgovarajuće specifične aktivnosti dodavanjem pripremljenog nosača ($SnCl_2$•$2H_2O$, CdI_2, $Ce(SO_4)_2$•$4H_2O$, $HgCl_2$, $SrCl_2$•$6H_2O$, CsCl, CoCl2•$6H_2O$ i YCl_3). Pri pravljenju standarda proverena je i homogenost kontaminiranog matriksa standardnim rastvorom [3].

3. Eksperiment i rezultati eksperimenta

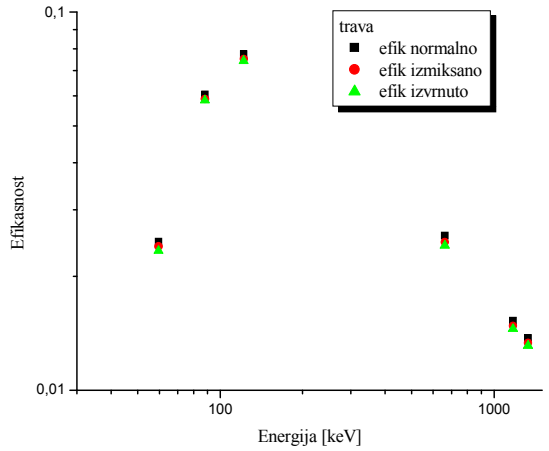
Kada je u laboratoriji nabavljen novi poluprovodnički HPGe detektor (ORTEC, GEM-30) relativne efikasnosti 30 %, rezolucije 1.8 keV na 1332.5 keV, napravljeni kalibracioni standardi mereni su u kontakt geometriji. Eksperimentalno dobijeni spektri obrađeni su korišćenjem programa Canberra Genie 2000. Površine ispod pikova korigovane su na fon (uzorak blenka) i mrtvo vreme, dok je efekat koincidentnog sumiranja korigovan primenom metode Debertin i Schötzig [5]. Nakon analize snimljenog spektra i određivanja pik efikasnosti za date energije, fitovanjem se dobija analitički izraz za krivu efikasnosti ($\varepsilon = e^{-P(\ln E)}$, gde je: ε efikasnost, E je energija gama zračenja a *P(lnE)* je polinom petog stepena) [3].
Da bi se proverila stabilnost i pouzdanost korišćenih standarda svi standardi su izmereni na istom detektoru i to u tri različita položaja: normalan položaj u kontakt geometriji (dno kutijice na detektoru), izvrnut položaj u kontakt geometriji (polopac kutijice na detektoru) i normalan položaj na detektoru nakon rehomogenizacije standarda.
Krive efikasnosti za sve standarde i u svim položajima prikani su na Slikama 1-4. Može se uočiti da su efikasnosti standarda merenog izvrnuto u svim tačkama i za sve matrikse značajno ispod drugih vrednosti efikasnosti. To pokazuje da je najverovatnije narušena homogenost standarda i da je verovatno došlo do zgrudvavanja matriksa (svi matriksi su manje ili više higroskopni) i taloženje nosilaca radioaktivnosti.
Najveća odstupanja su za matrikse mleka u prahu i peska i odgovaraju vrednostima od 10 % i 14 %, respektivno. Kod mleka u prahu je karakteristično da je amorfni oblik laktoze veoma higroskopan, te vezuje vlagu iz vazduha prelazeći u kristalni oblik [6]. I pesak po svojim hemijskim karakteristikama pokazuje osobine higroskopnosti, i ima tendenciju apsorbovanja vlage koja dovodi do bubrenja čestica.
Nešto bolje karakteristike što se tiče krivih efikasnosti pokazali su standardi matriksa trave i zemlje, gde su maksimalna odstupanja oko 6 %.
Takođe se uočava da su najveća odstupanja karakteristična za niže energije (u ovom slučaju to su 88.034 keV i 122.06 keV).



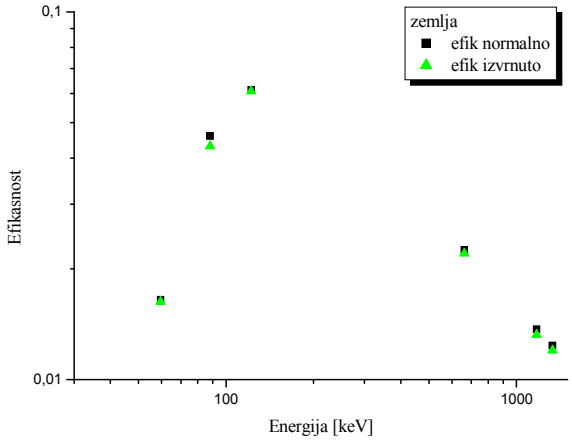
Slika 1. Krive efikasnosti za standard mleka u prahu u tri različita položaja



Slika 2. Krive efikasnosti za standard peska u tri različita položaja



Slika 3. Krive efikasnosti za standard trave u tri različita položaja



Slika 4. Krive efikasnosti za standard zemlje u tri različita položaja

4. Zaključak

Korišćenje kalibracionih standarda podrazumeva i stalno praćenje i proveru njihove pouzdanosti i stabilnosti. Ovaj eksperiment je pokazao da vremenom kalibracioni standardi gube na svom kvalitetu i postaju nepouzdani naročito za merenja gde se traži veća preciznost. Međutim, zarutinskamerenjakada je prihvatljivatačnostreda 20%,ovistandardisemogukoristiti.

5. Zahvaalnica
Ovaj rad uradjen je u okviru projekta 171018 koji finansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije.

6. Literatura

[1] [IAEA, Measurement of Radionuclides in Food and Environment, A Guidebook, *Technical Reports Series No.* 295 (1989).
[2] CMI (Czech Metrological Institute), Radioactive Standard Solutions, ER 25, ER X Prague, 2005
[3] I. Vukanac, M. Đurašević, A. Kandić, D. Novković, L. Nađđerđ, Z. Milošević, Experimental Determination of the HPGe spectrometer Efficiency Curve, *Applied radiation and Isotopes* 66 (2008) 792-795
[4] Taskaeva, M., Taskaev, E., Penev, I., 1996. On the Preparation of Efficiency Standards for Gamma-ray Spectrometers, *Applied Radiation and Isotopes* 47 (9), 981-990
[5] Debertin K. and Schötzig U., Bedeutung von Summationskorrektionen bei der Gammastrahlen-Spektrometrie mit Germaniumdetektoren, PTB-Bericht PTB-Ra-24, Braunschweig, 1990, ISSN 0341-6747, ISBN 3-89429-010-2.
[6] Šumić Z., Mleko u prahu, Tehnologija hrane, 2008, http://www.tehnologijahrane.com/tehnologijamleka/mlijeko-u-prahu

ABSTRACT

STABILITY TESTING OF THE CALIBRATION STANDARDS USED IN GAMMA SPECTROMETRY

Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Aleksandar KANDIĆ, Ivana VUKANAC, Bojan ŠEŠLAK and Zoran MILOŠEVIĆ
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", University of Belgrade, Belgrade, Serbia, mirad@vinca.rs

In accordance with SRPS ISO:IEC 17025:2006, continual examination of the quality and long-term stability of the used calibration standards for gamma spectrometry of the environmental samples, is very important. Efficiency curves for HPGe spectrometar, for different matrices and measurement geometries, experimentaly obtained are presented in this paper. Analysis of the results showed certain degradation of the used standards.

RADIOMETRIJSKI REŽIM SPEKTROMETRA PRIPJAT

Nikola SVRKOTA[1], Nevenka M. ANTOVIĆ[2], Sergej K. ANDRUHOVIČ[3]
1) Centar za ekotoksikološka ispitivanja, Podgorica, Crna Gora, nsvrkota@t-com.me
2) Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora
3) Institut za fiziku, Akademija nauka, Minsk, Bjelorusija

SADRŽAJ
Skorašnja modifikacija spektrometra PRIPJAT i pratećeg softvera PRIP omogućila je analizu spektara u radiometrijskom režimu, čime se obezbjeđuje značajno kraće vrijeme mjerenja uzoraka. U radu su navedene karakteristike radiometrijskog i poređenja sa spektrometrijskim režimom rada, za slučaj mjerenja ^{232}Th – u nekoincidentnom i spektru dvostrukih koincidencija.

1. Uvod

Šest-detektorski spektrometri tipa PRIPJAT razvijeni su devedesetih godina na Institutu za fiziku Akademije nauka Bjelorusije u Minsku (Laboratorija za nuklearnu spektroskopiju) [1]. Njima pripada i spektrometar PRIPJAT-2M koji se nalazi u Laboratoriji za nuklearnu fiziku na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta Crne Gore, na kome su do sada, između ostalog, razvijani i koincidentni metodi mjerenja ^{226}Ra i ^{232}Th [2, 3].
Skorašnja modifikacija prateće elektronike spektrometra PRIPJAT i pratećeg softvera (PRIP), poboljšala je karakteristike uređaja, proširila mu mogućnosti i, u zadnje vrijeme, osim u spektrometrijskom, omogućila analizu spektara i u radiometrijskom režimu rada (onda kada je izotopski sastav izvora poznat) [4]. U ovom režimu, koriste se *matrični metod* i podaci dobijeni mjerenjem standarda odgovarajućih izotopa različitih masa i gustina.

2. Radiometrijski režim rada

2.1. Softver PRIP

Softver PRIP, sastavni dio spektrometara tipa PRIPJAT, nakon modifikacije, dozvoljava izbor režima rada – spektrometrijski ili radiometrijski (čije se funkcije vide na Sl. 1).

Slika 1. Primjer izbora broja E-dijapazona na spektrometru PRIPJAT-2M u režimu »radiometar«.

Dozvoljava dalje, u radiometrijskom režimu, kompletnu automatsku obradu spektara, izbor parametara: *vrijeme* – vrijeme snimanja uzoraka i kalibracionih standarda (ENergetska i kalibracija EFikasnosti), format spektra, itd.; *E-dijapazoni* – količina, tj. broj dijapazona u svim raspoloživim režimima rada (Sl. 1), i granice – početne i krajnje; *izvod* – ekran, printer, fajl; *arhivacija* – arhiv spektara fona, spektara EN-etalona, EF-etalona...
Kalibracija zahtijeva mjerenje fona, EN- i EF- etalona (Sl. 2). Kao kalibracioni izvori koriste se matriksi (rastvori) sa većim brojem radionuklida (kao minimum ^{137}Cs + ^{40}K, i češće ^{137}Cs + ^{40}K +^{226}Ra + ^{232}Th).
Konačno, rad je moguć u režimima: *nuklid*, *Bio* (^{137}Cs + ^{40}K), *EPH* (^{226}Ra + ^{232}Th+ ^{40}K) + ^{137}Cs, *radon* (^{222}Rn) i *toron* (^{220}Rn) – Sl. 3.

Slika 2. »Kalibracija« u radiometrijskom režimu spektrometra PRIPJAT

Slika 3. Raspoloživi režimi rada (mjerenja).

2.2. Osnovi matričnog metoda

Pri obradi spektara matričnim metodom, energetski dijapazon spektrometra dijeli se na intervale. Širina i položaj intervala za svaki konkretan zadatak mogu se odrediti iz uslova maksimalne stabilnosti rješenja sistema jednačina u odnosu na varijacije brzine brojanja u intervalima. Reakcija spektrometra na zračenje pojedinih radionuklida ili porodice radionuklida u ravnoteži (P_{ij}) određuje se eksperimentalno, kalibracionim mjerenjima, i unosi se u specijalni fajl u vidu matrice vrijednosti osjetljivosti spektrometra u energetskim intervalima:

$$P_{ij} = \frac{S_{ij} - F_j}{A_i}, \qquad (1)$$

gdje je i indeks radionuklida ili porodice radionuklida, j – indeks intervala, F_j– brzina brojanja fona u intervalu j; S_{ij}– brzina brojanja u intervalu j od izvora koji sadrži radionuklid ili porodicu radionuklida i aktivnosti A_i.
Aktivnost radionuklida i u uzorku, određuje se iz sistema jednačina:

$$\sum_{i=1}^{n} A_i \cdot P_{ij} = S_j - F_j, \qquad (2)$$

gdje su: A – aktivnost i-tog radionuklida ili porodice radionuklida, S_j– brzina brojanja impulsa u intervalu j pri mjerenju uzorka, F_j – brzina brojanja fona u j-tom intervalu.
Broj energetskih intervala bira se tako da broj jednačina bude veći od broja nepoznatih. Rješenje sistema u matričnom obliku je:

$$A = (P'WP)^{-1} \cdot P'WY, \qquad (3)$$

gdje su: A – vektor parametara rješenja sistema; P – (konstrukciona) matrica sastavljena od P_{ij}:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & .. & P_{1i} & .. \\ .. & .. & .. & .. \\ P_{j1} & .. & P_{ji} & .. \\ .. & .. & .. & .. \end{pmatrix};$$

Y – vektor vrijednosti iz prvog dijela sistema jednačina(S_j - F_j); W – matrica, suprotna kovarijacionoj matrici vrijednosti Y.
U slučaju kada vrijednosti $Y_j$nijesu korelisane, matrica W ima dijagonalni oblik:

$$W = \begin{pmatrix} 1/\sigma_1^2 & .. & 0 & .. \\ .. & .. & .. & .. \\ 0 & .. & 1/\sigma_j^2 & .. \\ .. & .. & .. & .. \end{pmatrix},$$

gdje je σ_j – disperzija vrijednosti Y_j.
Ukupna relativna greška aktivnosti i-tog radionuklida ili porodice radionuklida određuje se (na nivou povjerenja 95 %) preko:

$$\delta A_i = \delta A_{sist} + \frac{1}{A_i}\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left[\frac{\partial A_i}{\partial(S_j - F_j}\right]^2 \cdot (\Delta S_j^2 + \Delta F_j^2)}, \qquad (4)$$

gdje su ΔS_jи ΔF_j– apsolutne vrijednosti statističke greške mjerenja i brzine brojanja fona u intervalu j; a δA_{sist}– sistematska greška određena pri provjeri spektrometra. Vrijednosti $\partial A_i/\partial(S_j - F_j)$ određuju se računski, rješavanjem sistema za vrijednost brzine brojanja koja je promijenjena za 0.1 %.

2.3. Mjerenje ^{232}Th

Registracija torijuma spektrometrom PRIPJAT-2M zasnovana je na detekciji γ-zraka koji prate β^--raspad njegovog potomka ^{208}Tl (583 keV i 2615 keV) – u

nekoincidentnom i spektru dvostrukih koincidencija, kao i ^{228}Ac (911 keV) – u nekoincidentnom spektru [3]. Razmatranje spektra dvostrukih koincidencija (najpovoljnijeg za detekciju torijuma – preko γ-linija na energijima 583 keV i 2615 keV [3]), za vrijeme mjerenja 1000 s u spektrometrijskom i 100 s u radiometrijskom režimu rada, pokazalo je efikasnosti detekcije: za 583 keV – 0.082 i 0.33, respektivno; a za 2615 keV – 0.013 i 0.023, respektivno. Istovremeno, minimalne detektibilne aktivnosti torijuma (procijenjene pomoću i ranije korišćene formule [3]), u spektrometrijskom i radiometrijskom režimu (za navedena vremena mjerenja), preko pika na energiji 583 keV su 0.74 Bq i 0.6 Bq, respektivno, a preko pika na energiji 2615 keV – 1.95 i 2.2 Bq, respektivno. Analize su pokazale i da je, za fotopik na energiji 911 keV u nekoincidentnom spektru, bez obzira što je efikasnost detekcije u radiometrijskom režimu veća nego u spektrometrijskom režimu (oko 3 puta), minimalna detektibilna aktivnost torijuma u oba režima ista, i za data vremena mjerenja iznosi 0.31 Bq. Sa druge strane, za vrijeme mjerenja koje je za red veličine kraće nego u spektrometrijskom režimu, efikasnost detekcije u radiometrijskom režimu značajnije se povećava za γ-zrak energije 583 keV (4 puta), nego za γ-zrak energije 2615 keV (1.7 puta). Takođe, minimalna detektibilna aktivnost torijuma preko fotopika 583 keV niža je u radiometrijskom režimu. Stoga, za detekciju torijuma u ovom režima spektrometra PRIPJAT, povoljnije je koristiti fotopik na energiji 583 keV u spektru dvostrukih koincidencija, dok je u nekoincidentnom spektru najpovoljnije koristiti pik na energiji 911 keV – čime se obezbjeđuje najniža minimalna detektibilna aktivnost torijuma (i u spektrometrijskom i u radiometrijskom režimu rada).

3. Zaključak

U poređenju sa režimom »spektrometar«, radiometrijski režim rada spektrometra PRIPJAT obezbjeđuje značajno kraće potrebno vrijeme snimanja spektara, kao i poboljšanje efikasnosti detekcije. U slučaju mjerenja ^{232}Th, najpovoljnije je koristiti fotopik na energiji 911 keV u nekoincidentnom, i fotopik na energiji 583 keV – u spektru dvostrukih koincidencija.

4. Litaratura

[1]С.К.Андрухович, А.В.Берестов, В.И.Гутко, А.М.Хильманович. Высокочувствительные многодетекторные гамма спектрометрыПРИПЯТЬ.*Препринт Института физики АН БССР*, Минск, 1995

[2] N. Antovic, N. Svrkota. Measuring the radium-226 activity using a multidetector γ-ray coincidence spectrometer. *J. Environ. Radioactiv.* 100 (2009) 823-830.

[3] N. Antovic, N. Svrkota. Development of a method for activity measurements of ^{232}Th daughters with a multidetector gamma-ray spectrometer. *Appl. Radiat. Isotopes*67/6 (2009) 1133-1138.

[4]S. K. Andrukhovih, A. V. Berestov, S. N. Harkusha, E. A. Rudak, A. M. Hilmanovich, A. S. Uzunbadzakov, F. E. Zyazyulya, N. Antovich. Extension of

abilities of the 4π-gamma-spectrometers »PRIPYAT«. *Nucl. Phys. Atom. Ener.* 20/2 (2007), 140-146
ABSTRACT

RADIOMETRIC MODE OF THE PRIPYAT SPECTROMETER

Nikola SVRKOTA[1], Nevenka M. ANTOVIC[2] and Sergey K. ANDRUKHOVICH[3]
1) Centre for Ecotoxicological Research, Podgorica, nsvrkota@t-com.me
2)Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Montenegro, Podgorica
3) Institute of Physics, Academy of Sciences, Minsk, Belarus

A recent modification of the PRIPYAT spectrometer and its software PRIP enabled spectra analysis in the radiometric mode, which provides significantly shorter samples measuring time. The radiometric mode characteristics, and some comparisons with spectrometric mode in the case of ^{232}Th measurement – in the non-coincidence and double coincidences spectrum, are presented in this work.

ТЕРМОЛУМИНЕСЦЕНТНИ СИСТЕМ СА ДВЕ ВРСТЕ ТРАПОВА

Здравко ВЕЈНОВИЋ, Милош ПАВЛОВИЋ и Милорад ДАВИДОВИЋ
Институт ГОША, 11000 Београд, Србија, zdravejn@yahoo.com

САДРЖАЈ
У раду је приказан поступак деконволуције термолуминесцентних кривих исијавања које су добијене релаксацијом система са две врсте трапова. Термолуминесцентна емисија система поликристалног фосфора са две врсте блиских трапова је симулирана помоћу карактеристичних диференцијалних једначина за интерактивну кинетику методом Монте Карло. За анализу овако добијених кривих је коришћен метод деконволуције са Гаус-Лоренцовим кривама. Поступак деконволуције је примењен и на реалном систему $BaSO_4$. Резултати показују да код система са блиским траповима долази до значајне интеракције међу траповима и да постоји добра сагласност претпостављеног модела са експериментално добијеном кривом исијавања.

1. Увод

Шематски енергетски дијаграм за изолаторе и полупроводнике, формиран на основу зонске теорије, може у општем случају, у забрањеној зони, да има већи број врста трапова за електроне и шупљина. Електрон који је термално ослобођен из трапа може, у општем случају и у зависности од вредности коефицијента ретрапованја, да буде захваћен или ретрапован од стране било ког трапа за електроне односно може да се рекомбинује са било којом врстом трапова за шупљине.

У вези са зонским моделом се може написти систем диференцијалних једначина који описује трансфер слободних носилаца. У практичним случајевима је често довољно да се разматрају прелази једне врсте носилаца (електрона) јер се добијају потпуно исти резултати као и у случају прелаза других носилаца што произилази из идентичности једначина које описују те прелазе. Ако се ограничимо на прелазе електрона из трапова и на њихову рекомбинацију на центрима светљења, који су у том случају трапови за шупљине, онда се концентрације електрона, концентрације трапова за електроне, активационе енергије трапова, фреквентни фактори и рекомбинациони коефицјенти електрона са шупљинама могу означити на следеће начине: n_j, N_j, E_j, $s^{(j)}$, $\gamma_t^{(j)}$ *i* $\gamma_l^{(j)}$. У општем случају и у пракси се добијено светљење, настало рекомбинацијом електрона са захваћеним шупљинама на центрима светљења посматра интегрално. У већини случајева је оно монохроматско и може се узети да потиче од рекомбинације са једном врстом центара светљења. Може се такође претпоставити да нема термалног ослобађања слободних носилаца са центра светљења. У том случају је само од интереса концентрација шупљина на центрима светљења p_l. На овај начин се систем диференцијалних једначина значајно редуцира и омогућена је једноставнија анализа термолуминесцентних процеса у реалним системима.

У односу на наведени начин обележавања, за сваки ниво захвата електрона се може написати једначина [1]:

$$\frac{dn_j}{dt} = -n_j s^{(j)} \exp\left(-\frac{E_j}{kT}\right) + n_c \gamma_t^{(j)} \left(N_j - n_j\right). \quad (1)$$

У овој једначини су n_c концентрација електрона у проводној зони и k Болцманова константа. Под претпоставком да су центри светљења центри захвата шупљина истог типа и да нема емисије шупљина са њих може се закључити да се на њима одигравају процеси рекомбинације са електронима из проводне зоне и онда се коефицјент рекомбинације односи само на ту врсту центара и има вредност γ_l. За процесе рекомбинације на центрима светљења се може написати једначина:

$$\frac{dp_l}{dt} = -\gamma_l^{(j)} n_c p_l . \quad (2)$$

За промену концентрације електрона у проводној зони се може написати следећа једначина:

$$\frac{dn_c}{dt} + \sum_{j=1}^{2} \frac{dn_j}{dt} = \frac{dp_l}{dt} . \quad (3)$$

У овој једначини је узето да у материјалу постоје само две врсте трапова за електроне што је најпростији систем и најједноставнији за анализу и приказивање.

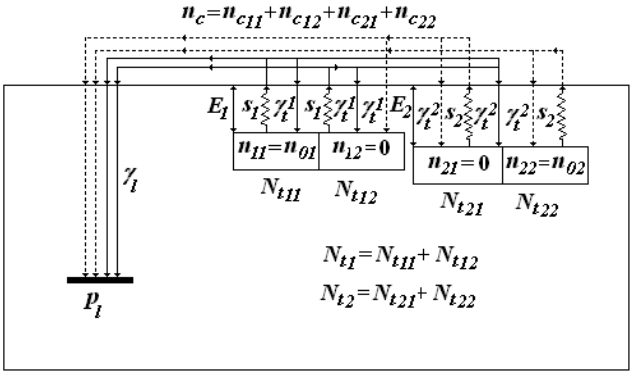
Наведене једначине описују такозвану интерактивну кинетику са две врсте трапова [1].

2. Интеракција две врсте трапова

Пошто се интерактивна кинетика не може анализирати аналитичким методама јер диференцијалне једначине које је описују немају аналитичко решење уобичајене су нумеричке методе. Експерименталне једначине се симулирају нумеричким решавањем диференцијалних једначина и добијена решења дају брзину рекомбинације слободних носилаца у фосфору у функцији темпаратуре узорка. За ту сврху се најчешће користи Runge-Kutta метода IV реда. Овакав приступ су користили многи аутори и он може феноменолошки да објасни добијене аномалије код вредности израчунатих параметара [1]. Међутим приступ који користи Монте Карло методу је кориснији ако се жели детаљније анализирати процес релаксације и испитати појединачни доприноси од међусобне интеракције две врсте трапова. Предност Монте Карло методе је што се посматрају појединачне интеракције сваког појединачног носиоца наелектрисања и што се на основу тога добијају квантитативни и квалитативни подаци о интеракцији међу траповима.

Код Монте Карло методе се за сваку појединачну вредност темпаратуре израчунава концентрација електрона у проводној зони као збир електрона добијених њиховом термалном релаксацијом са нивоа 1 и 2 (Слика 1.). Утицај међусобне интеракције трапова се прати тако што се нивои од сваке

врсте трапова раздвајају на оне код којих су електрони ретраповани са истог нивоа и на оне код којих су електрони ретраповани са другог нивоа. Отуда се се у коначном резултату добијају четири независне елементарне криве од којих две потичу од две врсте трапова, а две од њихове међусобне интеракције (Слика 1.).



Слика 1. Шематски приказ процеса термалне релаксације две врсте трапова са активационим енергијама E_1 и E_2, концентрацијом трапова N_{t1} и N_{t2} и почетним концентрацијама електрона у траповима n_{01}и n_{02} и концентрацијом центара светљења p_l и електрона у проводној зони n_c. Интеракција међу траповима је приказана дистрибуцијом електрона током процеса релаксације. На слици су n_{12} и n_{21} концентрације електрона настале услед ретраповања са других нивоа, а n_{c12} и n_{c21} концентрација електрона у проводној зони услед интеракције међу траповима.

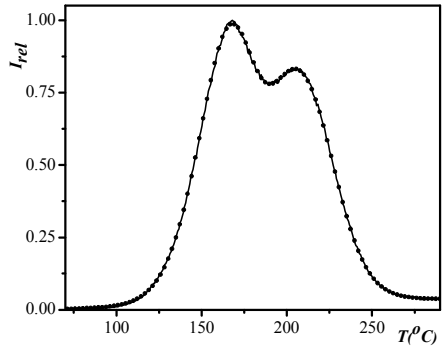
Електрон који се нађе у проводној зони може да буде захваћен или од трапа прве или друге врсте или од центра светљења. Према томе укупан збир вероватноћа да ће електрон да буде захваћен траповим или центром светљења је једнак јединици. Ако се у процесу побуде узме да су сви трапови и прве и друге врсте попуњени до краја, што није тешко у пракси реализовати, за добијену криву релаксације се може закључити: крива исијавања се састоји од три елементарне криве исијавања, допринос од интеракције ослобођених електрона из трапова са активационом енергијом ниже вредности који су потом захваћени од трапова са активационом енергијом више вредности је занемарљива и облик криве исијавања на њеном крају зависи од кинетике релаксације трапова активационе енергије чија је вредност већа.

3. Деконволуција криве исијавања са две врсте трапова

На основу испитивања симулираних кривих исијавања са две врсте трапова може се извршити деконволуција експериментално добијене криве за фосфорни материјал $BaSO_4$. То се може урадити са Гаус Лоренцовим функцијама [2]. Код реалних материјала је неопходно укључити и функцију позадинског шума *F(T)* [2]:

$$I(T)=\sum_{j=1}^{3} I_{mj}\left[1+\left(2^{\frac{2}{z_j+1}}-1\right)\frac{\ln^2\left(1+\frac{2(T-T_{mj})\mathrm{sh}b_j}{\omega}\right)}{b_j^2}\right]^{-\frac{z_j+1}{2}}+F(T) \qquad (4)$$

У овој једначини за појединачне криве исијавања су: I_m максимум криве, T_m темпаратура максимума, ω полуширина, b фактор асиметричности и z фактор облика криве. Добијени резултати су приказани на слици 2 и показују добру сагласност са претпостављеним моделом, а вредности одступања у подешавању су реда величине као и она која су добијена за симулиране теоријске криве (CHI^2≈10^{-5}).



Слика 2. Деконволуција криве исијавањаBaSO$_4$ (континуалном линијом је приказана експериментална крива а тачкама крива подешавања)

4. Литература

[1] R.K. Bull, S.W.S. Keever, R.Chen, V.K. Mathur, Joane F. Rhodes and M.D.Brown, J.Phys.D:Appl.Phys.19(1986)1321-1324.

[2] Z.Vejnović, M.B.Pavlović and M.Davidović, Fitting the Glow Curves and Calculating TL Parameters, J.Phys.D: Appl.Phys. 32(1999)72-78

ABSTRACT

THERMOLUMINESCENCE SYSTEM WITH TWO TYPES OF TRAPS

Здравко ВЕЈНОВИЋ, Милош ПАВЛОВИЋ и Милорад ДАВИДОВИЋ

Институт ГОША, 11000 Београд, Србија, zdravejn@yahoo.com

This paper describesthe deconvolution method applied to thermoluminescence glow curves of the system with two types of traps. Thermoluminescence emission of the system of polycrystalline phosphorous with two traps, which are very close each to other, is simulated using interactive kinetics model. This model is described by differential equations, and calculation was made by computer. For the analysis of the obtained curves deconvolution method with Gauss-Lorentz curves was used. Deconvolution procedure was applied in the real system BaSO$_4$. The results show a significant interaction between traps and good agreement between the assumed model and experimentally obtained curves.

DOGAĐAJI GENERISANI NEUTRONSKIM INTERAKCIJAMA U AKTIVNOJ ZAPREMINI GE DETEKTORA

Nikola JOVANČEVIĆ i Miodrag KRMAR
Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija,
nikola.jovancevic@df.uns.ac.rs

SADRŽAJ
Neutroni generisani kosmičkim mionima u zaštiti i okruženja detektora imaju značajan uticaj na nivo fona u niskofonskim gama spektroskopskim merenjima. Neutroni mogu produkovati merljivu gama aktivnost putem interakcija zahvata i rasejanja na materijalima detektorskih sistema. Cilj ovog rada je bio da se ispita uticaj interakcija neutrona na niskoenergetski deo gama spektara snimljenih pomoću HPGe detektora. Detekcija uzmaka jezgra germanijuma nakon rasejanja neutrona može povećati odbroj u gama spektrima u oblasti energija nižoj od 100 keV. Redukcija ove komponente fona je izuzetno značajna prilikom različitih niskofonskih gama spektroskopskih merenja kao što je npr. potraga za tamnom materijom (detekcija WIPM-ova). U ovom radu niskoenergetski deo gama spektara (od 10 do 50 keV) je detaljno analiziran merenjima pri kojima je korišćen izvor neutrona ^{252}Cf. Posebna pažnja u ovoj analizi je posvećena energetski asimetričnim gama linijama koje se pojavljuju usled neelastičnog rasejanja neutrona na jezgrima Ge. Energetski spektar neutron od izvora ^{252}Cf je prilikom merenja bio modifikovan usporavanjem neutrona pomoću PVC pločica koje su postavljane između detektora i izvora neutrona ^{252}Cf. Dobijeni rezultati pokazuju da niskoenergetski deo fonskih gama spektara uglavnom potiče od rasejanja brzih neutron u aktivnoj zapremini Ge detektora.

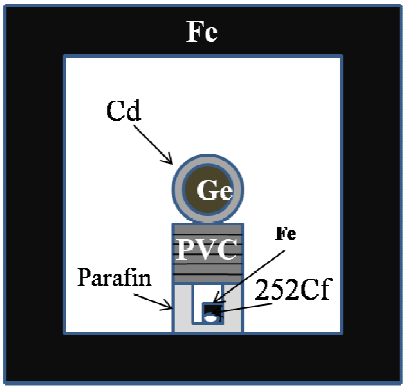
1. Uvod

Neutroni generisani kosmičkim zračenjem (prvenstveno interakcijama miona sa materijalima iz okruženja detektora i materijalima zaštite) su stalno prisutni u gama detektorskim sistemima. Na ovaj način stvoreni neutroni svojim interakcijama mogu generisati merljive vrednosti gama aktivnosti koja u različitim gama spektroskopskim merenjima sa germanijumskim detektorima doprinosi povećanju intenziteta fonskog zračenja. Neutroni mogu produkovanti gama aktivnost procesima zahvata i rasejanja na jezgrima materijala detektora čime sam detektor postaje izvor zračenja. Cilj ovog rada je bio da se izvrši detaljna analiza uticaja događaja generisanih neutrosnkim interakcijama sa jezgrima germanijuma na odbroj niskoenergetskog dela gama spektra u energetskom opsegu do 100 keV [1]. Pretpostavka da doprinos fonskom odbroju u ovom energetskom regionu potiče od detekcije uzmaka jezgra Ge nakon rasejanja neutrona trebala je da bude potvrđena u eksperimentalnim merenjima. Do detekcije uzmaka jezgra Ge može doći u dva slučaja, prvi je nakon elastičnog rasejanja neutrona na jezgrima Ge, a drugi je uzrokovan neelastičnim rasejanjem neutrona na Ge. Ukoliko emitovani gama foton sa nekog od pobuđenih nivoa Ge nakon neelastičnog rasejanja neutrona izbegne detekciju u aktivnoj zapremini kristala detektora dolazi jedino do detekcije uzmaka jezgra Ge. Pošto vrednosti

energije uzmaka jegra Ge nakon rasejanja neutrona (elastičnog ili neelastičnog) imaju standardnu Maksvelovu raspodelu, može se očekivati da se ovakva raspodela pojavi niskoenergetskom delu gama spektara. ^{252}Cf je upotrebljen kao izvor neutrona pošto se energetski spektar kosmičkih neutrona u laboratorijama bez pokrovnog sloja može biti aproksimiran fisionim spektrom neutrona od izvora ^{252}Cf [2].

2. Detektorski sistem i opis eksperimentalnog postupka

U ovom radu korišćen je HPGe detektor relativne efikasnosti 22% koji je smešten u niskofonskoj gama spektroskopskoj laboratoriji Departmana za fiziku u Novom Sadu. Detektor je okružen gvozdenom zaštitom koja je napravljena od gvožđa izlivenog pre Drugog svetskog rata i ima masu od oko 20 t sa korisnom zapreminom od 1m^3. U cilju ispitivanja uticaja interakcija neutrona na niskoenergetski deo gama spektara korišćen je izvor neutron ^{252}Cf (u gvozdenoj kutijici) koji je bio postavljen blizu kristala detektora. Između detektora i izvora neutrona su ređane PVC pločice (debljine 3.4 mm) sa ciljem da se termalizacijom i usporavanjem neutrona u PVC-u izvrši promena neutronskog fluksa brzih neutrona. Na slici 1 prikazana je geometrija detektorskog sistema i izvora neutrona tokom merenja. Vršene su serije merenja sa različitim brojem pločica PVC plastike između detektora i izvora neutrona ^{252}Cf da bi se ispitala zavisnost broja detektovanih događaja generisanih neutronskim interakcijama sa jezgrima Ge od promene neutronskog fluksa. Snimljeno je 14 gama spektara sa debljnama sloja PVC plastike od 0, 7, 14, 26, 45, 68 i 93 mm. Za svaku debljinu PVC plastike vršena su merenja sa i bez sloja kadmijuma debljine 2mm oko detektora, te se na taj način mogao uporediti posebno doprinos događaja generisanih interakcijama brzih i termalnih neutrona. Period vremena snimanja pojedinačnih spektara je bio oko 160000 s.

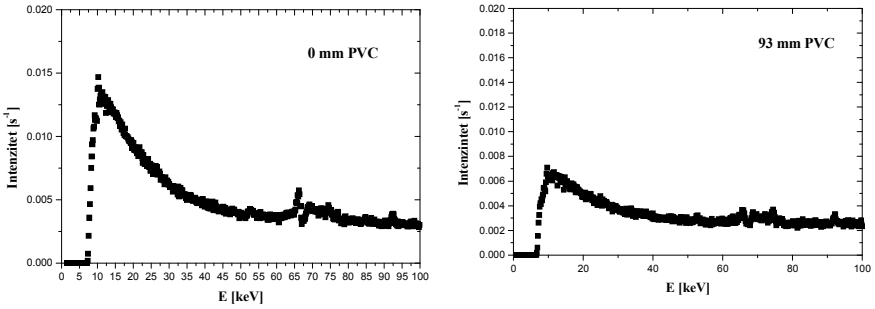


Slika 1. Geometrija sistema detektora i izvora neutrona tokom merenja.

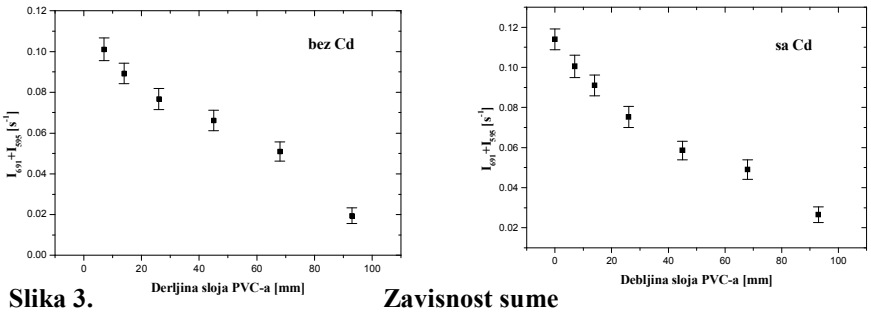
3. Rezultati

Na niskoenergetskom delu snimljenih gama spektara uočava se karakteristična struktura koja odgovara Maksvelovoj raspodeli koju poseduju vrednosti energije

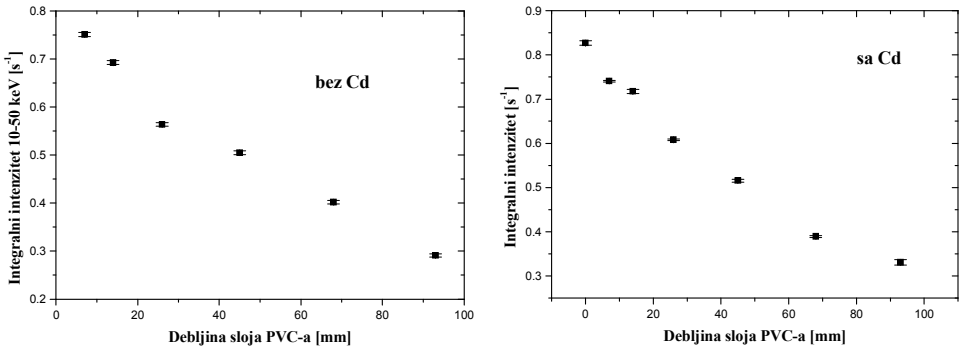
uzmaka jezgara Ge nakon rasejanja neutrona (slika 2). Integralni odbroj u regionu od 10 do 50 keV se smanjuje sa povećanjem debljine PVC plastike postavljene između detektora i izvora neutrona ^{252}Cf , što je prikazano na slici 4. Da bi se potvrdilo da ova struktura na najnižim energijama gama spektra potiče od neutronskih interakcija analizirani su detektovani događaji za koje se sigurno zna da su uzrokovani neutronskim procesima. U spektrima su uočljive energetski asimatrične gama linije koje potiču od neelastičnog rasejanja neutrona (691.3 keV ^{72}Ge(n,n')^{72}Ge, 595.8 keV ^{74}Ge(n,n')^{74}Ge). Intenziteti ovih gama linija opadaju sa povećanjem debljine PVC plastike između detektora i izvora neutron ^{252}Cf kao posledica manjeg broja brzih neutrona u detektorskom sistemu usled usporavanja neutrona u PVC-u (slika 3).



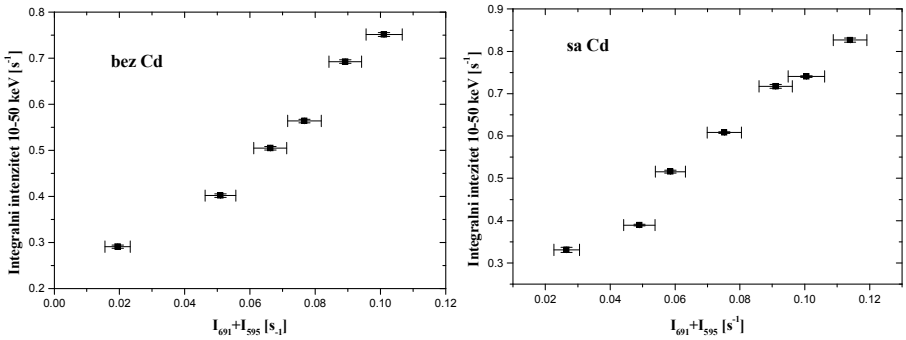
Slika 2. Niskoenergetski deo prikupljenih gama spektara (0mm i 93mm PVC-a između detektora i izvora neutrona 252Cf).



Slika 3. Zavisnost sume intenziteta gama linija od 691.3 keV i 595.8 keV od debljine sloja PVC plastike.



Slika 4. Zavisnost integralnog intenziteta početka gama spektra (10-50 keV) od debljine sloja PVC plastike.



Slika 5. Zavisnost integralnog intenziteta početka gama spektra u opsegu od 10-50 keV od sume intenziteta gama linija od 691.3 keV i 595.8 keV.

4. Zaključak

Cilj izvršenog eksperimentalnog merenja u ovom radu je bio da se odredi poreklo detektovanih događaja na samom početku niskoenergetskog dela fonskih gama spektara, zbog čega je izvršena detaljna analiza prikupljenih podataka koja je pokazala da su u svim snimljenim spektrima detektovani događaji generisani neutronskim interakcijama. Dobijeni rezultati pokazuju da postepeno smanjivanje srednje energije neutronskog fluksa pomoću PVC pločica vodi ka smanjenju intenziteta energetski asimetričnih gama linija (n,n') Ge koje se javljaju kao posledica neelastičnog rasejanja neutrona na jezgrima Ge. Integralni intenzitet niskoenergetskog regiona od 10 do 50 keV prati isti trend (slika 5). Na osnovu toga se može zaključiti da niskoenergetski deo gama spektara u energetskom opsegu do 100 keV dominantno potiče od neutronskih interakcija, tj. detekcije uzmaka jezgra Ge nakon elastičnog i neelastičnog rasejanja neutrona.

Određivanje tačnog porekla ove komponente fona je izuzetno bitno u niskofonskim gama spektroskopskim merenjima.

5. Literatura

[1] J.M. Carmona et al., Neutron background at the Canfranc Underground Laboratory and its contribution to the IGEX-DM dark matter experiment, Astroparticle Physics, (2004), 21, 523-533.

[2] M. Krmar, N. Jovančević and D. Nikolić, Measurement of ^{56}Fe activity produced in inelastic scattering of neutrons created by cosmic muons in an iron shield, Appl. Rad. and Isotop. , doi: 10.1016/j.apradiso.2011.08.003 (2011).

ABSTRACT

EVENTS GENERATED BY INTERACTIONS OF NEUTRONS IN ACTIVE VOLUME OF Ge DETECTOR

Nikola JOVANČEVIĆ и Miodrag KRMAR

Faculty of science, Novi Sad, Serbia,

nikola.jovancevic@df.uns.ac.rs, krmar@df.uns.ac.rs

Neutrons created by cosmic muons in the detector shield and in the surrounding materials can have significant influence on the background in low-level gamma spectroscopic measurements. Neutrons produce gamma activity by capture and scatter reactions in the materials of the detector system. The goal of this study was to investigate the influence of neutron interactions on the low energy part of the gamma spectrum obtained by HPGe detector. Detection of recoil energy of Ge nuclei after neutron scattering could increase the count rate in regions up to 100 keV in measured gamma spectra. The reduction of this neutron background component is of great importance in dark mater research experiments (detection of WIMPs). In this study low energy part of gamma spectrum (from 10- 50 keV) was carefully analyzed in set of measurement done by the used of the ^{252}Cf neutron source. Special care was taken in the analysis of the intensities of asymmetric gamma lines producer on inelastic scattering of neutrons in Ge. Neutron energy spectrum had been modified by slowing-down in difference thicknesses of PVC inserted between the detector and collimated ^{252}Cf source. Obtained results confirmed that the lowest part of background gamma spectra originates mostly on the neutron scattering of the fast neutrons in active volume of the Ge detector.

SEMIEMPIRIJSKA SIMULACIJA PRIRODNOG FONA SENDVIČ DETEKTORA

Dimitrije MALETIĆ[1], Radomir BANJANAC[1], Aleksandar DRAGIĆ[1], Dejan JOKOVIĆ[1], Vladimir UDOVIČIĆ[1] i Jovan PUZOVIĆ[2]

1) Institut za fiziku, Beograd, Srbija, maletic@ipb.ac.rs

2) Fizički fakultet, Beograd, Srbija

SADRŽAJ

U radu je opisan metod pripreme simulacijonog uzorka fonskog zračenja za proizvoljnu Monte Karlo simulaciju. Spektar kosmičkog zračenja dobija se Monte Karlo simulacijonim programom CORSIKA. Spektar ambijentalnog gama zračenja semiempirijski se određuje simulacijom zasnovanom na analizi fonskog spektra HPGe detektora. Metod je primenjen u procesu projektovanja sendvič detektora za određivanje njegovog fonskog spektra.

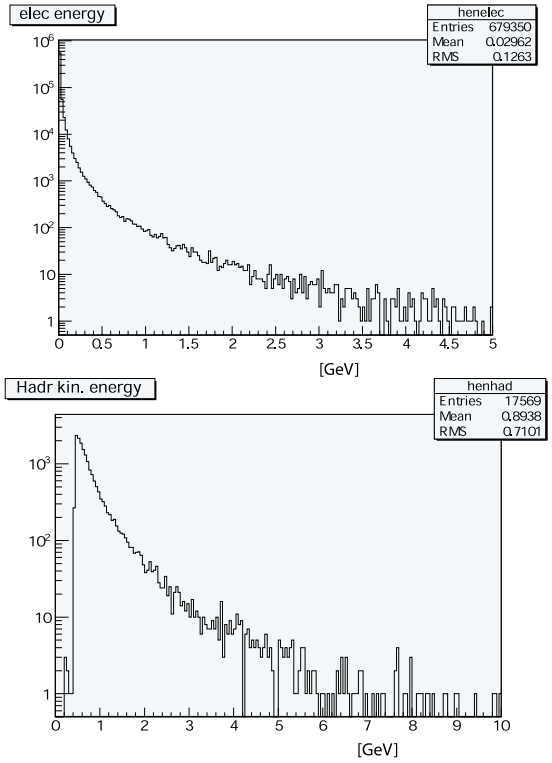
1. Uvod

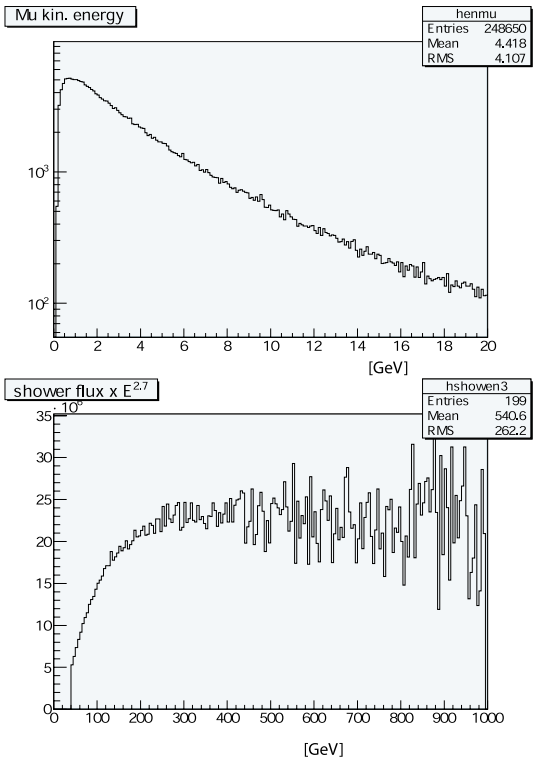
Metod pripreme simulacijonog uzorka fonskog zračenja nastao je prilikom razvoja Sendvič detektora kao uređaja za razlikovanje kosmičke komponente i komponente fona koja dolazi od prirodne radioaktivnosti. Sendvič detektor razvijan je na Fizičkom fakultetu u Beogradu i u Institutu za fiziku u Beogradu. Najzahtevniji zadatak u Monte Karlo simulaciji Sendvič detektora bila je priprema uzorka fona opisana u ovom radu. Za pripremu simulacijonog uzorka kosmičke komponente fona, tj. Monte Karlo simulaciju kosmičkog zračenja izabran je program CORSIKA (COsmic Ray Simulation for KAskade) [1]. Ovaj program se koristi za detaljnu simulaciju kaskada u vazduhu, koje su inicirane visoko-energetskim upadnim česticama u najvišim slojevima atmosfere.

Za dobijanje spektra prirodne radioaktivnosti osmišljena je sledeća semiempirijska metoda; naime, spektralna analiza fonskog spektra HPGe na površini zemlje, u Niskofonskoj laboratoriji za Nuklearnu fiziku (NLZNF) Instituta za fiziku u Beogradu, uz korišćenje poznate krive efikasnosti detekcije, daje odnose intenziteta spektralnih linija koje stižu do nezaštićenog HPGe detektora. Dalje, pretpostavlja se da to gama zračenje dolazi iz zemlje sa maksimalne dubine od 30 cm i iz okolnog građevinskog materijala za sve linije, osim za one iz radona i njegovih potomaka, koje dolaze iz okolnog vazduha. Konačni pripremljeni fon od prirodne radioaktivnosti dobijamo korišćenjem Monte Karlo programa Geant4 [2]. Uz uvažavanje pretpostavki o fonu prirodne radioaktivnosti o kojima će biti reči dalje u tekstu, Geant4 simulira propagaciju čestica komponenata fona i interakciju sa materijalima kroz koje prolazi (zemlja, beton, vazduh). Kada simulirane čestice dođu do određene zapremine, tada Geant4 zapisuje kao rezultat simulacije vrstu registrovane čestice, njihovu energiju kao i komponente impulsa. Ovako zapisani rezultati se dalje mogu koristiti u Monte Karlo programima za simulaciju propagacije i interakcije čestica sa materijom (kao što je Geant4) kao ulazne čestice tj. kao primarni verteksi u ovim simulacionim programima.

2. Simulacija kosmičkog zračenja

Monte Karlo simulacija kosmičkog zračenja koje pada na detektore u NLZNF, urađena je korišćenjem programa CORSIKA [1]. Ovaj program je razvijen za potrebe eksperimenta KASKADE (KArlsruhe Shower Core and Array DEtector) u Karlsrueu u Nemačkoj. Cilj programa CORSIKA je detaljna simulaciju kaskada u vazduhu, koje su inicirane visoko-energetskim upadnim česticama u najvišim slojevima atmosfere. Treba da se naglasi da CORSIKA simulacije uključuju sve komponente kosmičkog zračenja, odnosno elektromagnetsku, mionsku i hadronsku komponentu (slika 1.). Ovaj program daje kao izlaz čestice na zadatoj nadmorskoj visini, tj na opservacionoj ravni. Ove čestice su okarakterisane vrstom čestice, komponentama impulsa, koordinatama na opservacionoj ravni i vremenom dolaska na opservacionu ravan. Kako bi ovaj precizan program za simulaciju kosmičkog zračenja mogli da koristimo u NLZNF program je instaliran na server, dok se zahtev za simulacijama i izlazni podaci preuzimaju putem web servera, odnosno internet veze. Takođe, za korišćenje ovakvog izlaznog fajla u programu Geant4, bilo je potrebno kreirati i posebnu vezu Geant4 programa i za ove potrebe u NLZNF razvijenog "proširenog" HEPEvt [hepevt] formata. Posebno je važno bilo omogućiti kreiranje više primarnih verteksa sa različitim koordinatama u istom događaju u Geant-u. Ovo je korisno jer je otvorena mogućnost posmatranja događaja u kojima više čestica pada simultano na detektor, što vodi dobijanju preciznijeg spektra kosmičkog zračenja.



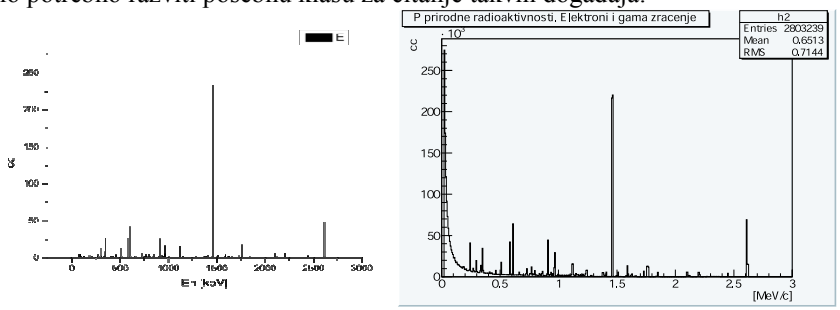


Slika 1. Spektri simuliranih komponenata kosmičkog zračenja - elektromagnetska (gore iznad), hadronska (gore ispod), mionska (dole iznad) i energetski fluks primarnog kosmičkog zračenja (dole ispod).

3. Simulacija zračenja prirodne radioaktivnosti

Metod dobijanja simulacionog uzorka zračenja prirodne radioaktivnosti nazvan je semiempirijski jer se u simulacijama koriste empirijski podaci o odnosima relativnih intenziteta spektralnih linija koje pripadaju radioaktivnim izvorima iz okoline. Odziv HPGe detektora u NLZNF, daje nam fonski spektar HPGe detektora (slika 2 levo). Ovakav fonski spektar nezaštićenog HPGe detektora se uz pomoć poznate, ili ranije simulacijono određene krive efikasnosti ovog detektora, modifikuje i prevodi u pravi (prirodni) spektar ambijentalnog fona u prostoru laboratorije (slika 2 desno). Pritom se vodi računa o poreklu određenih linija fona, i kome radioaktivnom nizu pripadaju. Pažnja je posvećena razlikovanju komponenata fona prirodne radioaktivnosti koja dolazi iz zemlje (i građevinskog materijala) od komponente koja potiče od radona (tj. iz vazduha). Kada su komponente, tj, njihovi odnosi određeni pristupa se simuliranju fona od prirodne radioaktivnosti. Pretpostavka za ovaj korak je da radioaktivni izvori iz zemljišta praktično ne doprinose fonu na površini ako se nalaze dublje od 30 cm. Prati se i beta zračenje emitovano iz zemlje i građevinskog materijala, ali se ispostavlja da je ono praktično zanemarljivo u odnosu na broj elektrona iz

Komptonovog rasejanja gama komponente fona, kako one iz prirodne radioaktivnosti tako i one iz kosmičkog zračenja.
Dobijanje simulacijonog uzorka prirodne radioaktivnosti vršeno je Monte Karlo metodom korišćenjem Geant4 [g4] programskog paketa za simulaciju propagacije i interakcije čestica sa materijom. U Geant4 simulacijonom programu prvo se definiše laboratorija, odnosno okolina detektora kojeg želimo da simuliramo. Tako je prvo definisana veća površina zemlje debljine 30cm i deo betonske strukture laboratorije. Tada svom materijalu u i oko laboratorije dodajemo radioaktivne izvore. Koji su to radioaktivni izvori i koje zračenje i koje energije zračenja daju kao i aktivnost tih izvora, zavisi od ranije opisane analize fonskog spektra nezaštićenog HPGe detektora. Naprimer, identifikovani su izvori u fonu koji se nalaze u nizu urana i oni se postavljaju kao homogeno raspoređeni izvori u zemlji i građevinskom marerijalu, nasuprot tome izvori iz radonskog niza, postavljaju se homogeno u vazduhu. Sve zračenja se emituju izotropno. Imaju, naravno, zadate energije, a učestanost kreiranja zavisi od međusobnih odnosa intenziteta vidljivih linija iz fonskog spektra HPGe detektora. Kada simulirana zračenja dođu do određene zapremine, veće površine, kako bi se sakupila bolja statistika fona, tada Geant4 zapisuje kao rezultat simulacije sve pristigle čestice. One se karakterišu vrstom čestice, njihovom odgovarajućom energijom kao i komponentama impulsa. Način zapisa, HEPevt format, ostavlja mogućnost da se ovakvi simulacijoni uzorci koriste za druge simulacijone programe osim za Geant4 program. Bitno je što standardna instalacija Geant4 može da čita ovako dobijen format. Ovo nije bio slučaj sa izlazom iz CORSIKA programa, gde je bilo potrebno razviti posebnu klasu za čitanje takvih događaja.

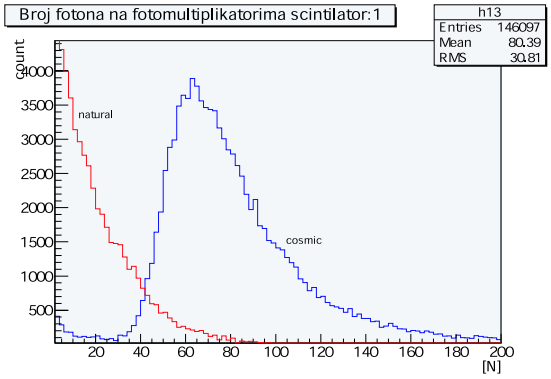


Slika 2. Spektar ambijentalnog gama zračenja u laboratoriji dobijen opisanom analizom fonskog spektra nezaštićenog HPGe detektora (levo) i spektar simuliranog fona, gde su prikazane i gama linije i elektroni (desno)

4. Primer korišćenja simulacionog uzorka fona

Kako je metod dobijanja simulacionog uzorka fona urađen za potrebe razvoja Sendvič detektora na Fizičkom fakultetu u Beogradu i Institutu za fiziku u Beogradu, moguće je prikazati i primer korišćenja ovakvog simulacionog uzorka. Osnovni cilj razvoja Sendvič detektora je mogućnost razlikovanja kosmičke komponente fona i komponente fona koja dolazi od prirodne radioaktivnosti. Sendvič detector, koji se sastoji od dva plastičnih scintilatora dimenzija 25 x 25 x 1 cm sa 2mm olovnom pločom izmedju njih, je simuliran Monte Karlo metodom

korišćenjem programskog paketa Geant4. Geant4 simulacioni program Sendvič detektora bazirao se na brojanju optičkih fotona koji su padali na fotomultiplikatore na uglovima kvadrata plastičnih scintilatora. Kao odgovor detektora na slici 3. prikazan je broj fotona koji dolazi na sve fotomultiplikatore, dajući jedan spektar za kosmičku komponentu fona, i drugi za terestrijalnu. Ovakva precizna simulacija omogućava da se odredi minimalna složenost sendvič detektora koja bi zadovoljavala osnovne kriterijume za separaciju komponenata fona, kosmičke i komponente koja dolazi od prirodne radioaktivnosti.



Slika 3. Rezultat korišćenja pripremljenog simulacionog uzorka za analizu separabilnosti komponenata fona sendvič detektorom.

5. Literatura

[1] CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air ShowersD. Heck, J. Knapp, J.N. Capdevielle, G. Schatz, T. ThouwForschungszentrum Karlsruhe Report FZKA 6019 (1998)

[2] Geant4 — a simulation toolkitS. Agostinelli et al.NIM A Volume 506, Issue 3, 1 July 2003.

ABSTRACT

SEMIEMPIRICAL SIMULATION OF NATURAL BACKGROUND OF THE SANDWICH DETECTOR

Dimitrije MALETIĆ[1], Radomir BANJANAC[1], Aleksandar DRAGIĆ[1], Dejan JOKOVIĆ[1], Vladimir UDOVIČIĆ[1] and Jovan PUZOVIĆ[2]

1) *Institute of Physics, Belgrade, Serbia, maletic@ipb.ac.rs*

2) *Faculty of Physics, Belgrade, Serbia*

This paper describes a method for creation of a simulation background sample for any Monte Carlo simulation. The spectrum of cosmic rays is obtained using Monte Carlo simulation program CORSIKA. The spectra of ambient gamma radiation is produced semi empirically based on the analysis of background spectra of the HPGe detector. The method is applied during designing of a Sandwich detector for purpose of obtaining its background spectra.

PROGRAM ZA PRORAČUN PARAMETARA ETALONSKIH POLJA GAMA ZRAČENJA

Miloš ŽIVANOVIĆ, Jasmina ĐUKANOVIĆ i Milojko KOVAČEVIĆ
Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija, milosz@vinca.rs

SADRŽAJ
U ovom radu je dat opis aplikativnog softvera razvijenog u okviru dozimetrijsko metrološke laboratorije INN Vinča za sopstvene potrebe. Diskusija obuhvata teorijske postavke na kojima je program zasnovan, mogućnosti trenutne verzije, kao i nekoliko primera dodatnih opcija koje bi se mogle realizovati manjim promenama koda i rekompajliranjem.

1.Uvod

Za etaloniranje merila koja mere dozu koriste se polja gama zračenja koja generiši uredjaji sa radioaktivnim izvorima. Za etaloniranje različitih tipova dozimetara potrebno je raspolagati poljima gde jačina doze obuhvata nekoliko redova veličina pa je da bi se ovo postiglo potrebno koristiti nekoliko izvora zračenja.

Kako jačina doze zavisi od aktivnosti radioaktivnih izvora koja se menja sa vremenom to se parametri ozračivanja menjaju svakodnevno. Zbog promene aktivnosti a i zbog toga što bi nalaženje mesta merenjem sa traženom jačinom doze, bilo mukotrpan posao uslovi za etaloniranje se proračunavaju na osnovu merenja jačine polja koja se sprovode najmanje jedanput godišnje.

Program km2.0, koji je razvijen u našoj laboratoriji, vrši upravo takve proračune, s tim što je veliki deo posla automatizovan korišćenjem nekoliko tipova baza podataka i skripti. Trenutna verzija programa je prvenstveno namenjena radu sa gama zračenjem. Program je pisan u programskom jeziku C#, uz korišćenje .NET Framework 3.5. Preporučeno je da se program pokreće na 32-bitnim MS operativnim sistemima, počev od MS Windows XP. Neophodno je imati instaliran .NET Framework 3.5 ili noviju verziju. Rezolucija ekrana mora biti minimalno 800 x 600 piksela, a hardverska zahtevnost je predodređena zahtevima instalirane verzije Windows-a. Ukoliko računarski sistem ne ispunjava navedene uslove, program može davati nepredviđene i/ili pogrešne rezultate.

2. Teorijska postavka

U osnovi matematičkog modela koji km2.0 koristi je zakon radioaktivnog raspada. Aktivnost izvora i izmerene jačine doza opadaju eksponencijalno sa vremenom, pri čemu brzina opadanja zavisi od vremena poluraspada, specifičnog za svaki radionuklid. Zbog toga program sve proračune koriguje množenjem sa faktorom

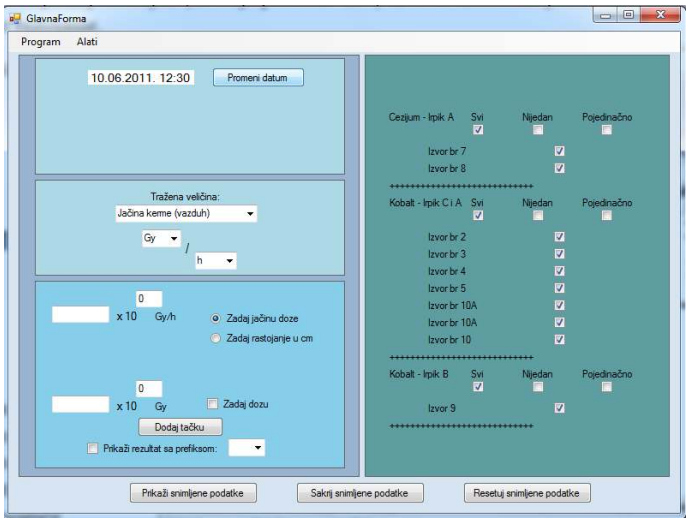
$$e^{(-\ln(2)\Delta t/t1/2)} \qquad (2)$$

Prema osnovnoj postavci programa, u proračunu se vrši nekoliko aproksimacija. Zanemaruje se efekat nagomilavanja i efekat rasejanja na zidovima sobe.

Apsorpcija zračenja u vazduhu se zanemaruje, a izvor se posmatra kao tačkasti, iz čega sledi jednačina Dr^2 = const. Posledica ove aproksimacije je da je dovoljno poznavanje jačine doze na jednoj razdaljini (ili još bolje – prosečnog Dr^2) da bi se izračunala jačina doze na bilo kom rastojanju.

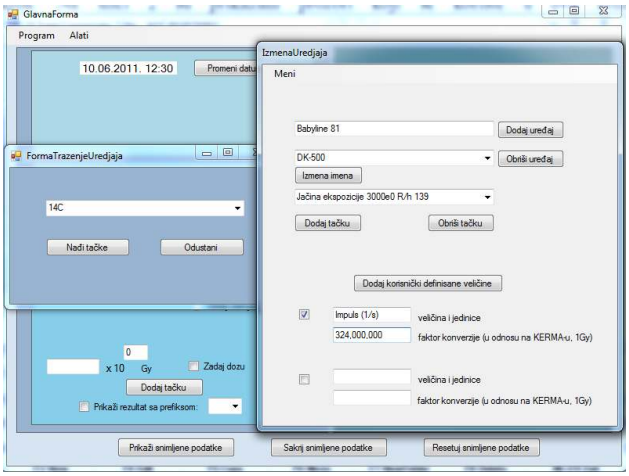
3. Mogućnosti verzije km2.0

Ova verzija programa omogućava da se izračuna tačka u polju u kojoj se postiže tražena jačina doze, ili da se izvrši proračun jačine doze na bilo kom rastojanju od izvora. Dodatna opcija je da se izračuna vreme ozračivanja da bi se postigla zadata integralna doza. Program će uvek ponuditi da preračuna doze na trenutni datum, ali je moguće postaviti bilo koji datum pritiskom na dugme „Promeni datum“ (Slika 1, gornji levi ugao). Ostatak leve strane prozora pruža mogućnosti da se odabere fizička veličina koja se traži, jedinice, prefiks sa kojim će rezultat biti prikazan itd. Pomoću radio dugmeta se bira da li će biti zadata jačina doze ili rastojanje. Desni deo prozora omogućava da se odaberu izvori na kojima će zadata jačina doze biti tražena.



Slika 1. Glavni prozor programa

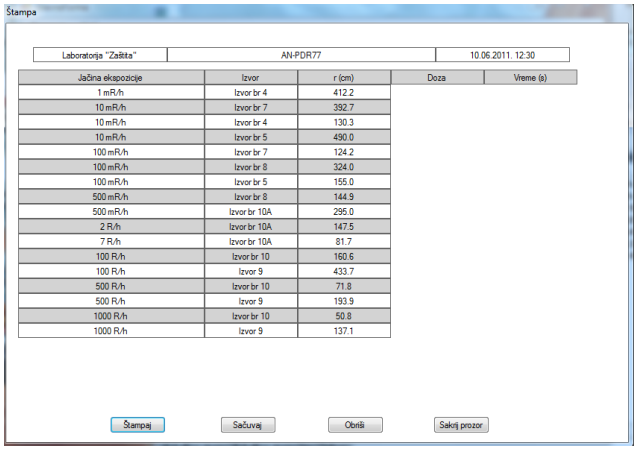
U skladu sa potrebama laboratorije, program može da preračunava ekspozicionu dozu, apsorbovanu dozu u vazduhu i vodi, Kerma, personalnu i ambijentalnu dozu ekvivalentnu dozu. Faktori konverzije i vremena poluraspada su uzeti iz odgovarajućih standarda i baza. [3,4] Takođe je razvijen modul koji omogućava brzo proračunavanje tačaka pri kalibraciji uređaja. Uređaji se kalibrišu tako što se postavljaju u niz predefinisanih tačaka sa poznatom jačinom doze. Poznata veličina se zatim poredi sa očitavanjem uređaja. Pošto se za isti tip uređaja uvek koristi isti set tačaka, pokazalo se zgodnim korišćenje makroa. Na slici 2 su prikazani prozori koji omogućavaju ovu funkcionalnost.



Slika 2. Snimanje makroa za kalibraciju uređaja

U prozoru „Izmena uređaja“ korisnik zadaje niz tačaka (npr. Kerma – air 5 mGy, 10 mGy, 50 mGy itd) koje je moguće snimiti u vidu fajla ekstenzije .kmu. Zadate tačke je moguće proračunati u bilo kom narednom trenutku tako što se odabere željeni uređaj u formi za pretragu i klikne na dugme „Nađi tačke“. Na taj način je moguće uštedeti značajnu količinu vremena. Ovaj sistem takođe pruža mogućnost da se definišu dodatne veličine koje su u vezi sa Kerma – vazduh (npr. impulsi), tako što se definiše njihovo ime i faktor konverzije.

Na slici 3 je prikazan prozor za pregled proračunatih tačaka. Iz praktičnih razloga, izveštaji su veličine koja odgovara papiru formata A4. Ukoliko je na računar priključen štampač, izveštaj je moguće odštampati u celini, a takođe ga je moguće sačuvati u formatu .bmp.



Jačina ekspozicije	Izvor	r (cm)	Doza	Vreme (s)
1 mR/h	Izvor br 4	412.2		
10 mR/h	Izvor br 7	392.7		
10 mR/h	Izvor br 4	130.3		
10 mR/h	Izvor br 5	490.0		
100 mR/h	Izvor br 7	124.2		
100 mR/h	Izvor br 8	324.0		
100 mR/h	Izvor br 5	155.0		
500 mR/h	Izvor br 8	144.9		
500 mR/h	Izvor br 10A	295.0		
2 R/h	Izvor br 10A	147.5		
7 R/h	Izvor br 10A	81.7		
100 R/h	Izvor br 10	160.6		
100 R/h	Izvor 9	433.7		
500 R/h	Izvor br 10	71.8		
500 R/h	Izvor 9	193.9		
1000 R/h	Izvor br 10	50.8		
1000 R/h	Izvor 9	137.1		

Slika 3. Format izveštaja koji daje program

Izvori, uređaji, izotopi i ostala podešavanja se čuvaju u fajlovima strukture tekstualnog fajla, sa posebnim ekstenzijama (.kmu, .kmb, .dat). Neke od ovih fajlova je moguće menjati iz samog programa, dok je pojedine u ovoj verziji moguće menjati samo iz nekog tekstualnog editora.
Postoji mogućnost da se korisnici podele u nekoliko kategorija sa različitim ovlašćenjima. Na taj način se sprečava slučajno menjanje baza podataka od strane korisnika, a takođe se onemogućava pristup neovlašćenim licima.

4. Mogućnost nadogradnje

S obzirom na izvanredno veliki broj veličina kojima se opisuje interakcija zračenja sa materijom, zatim ogromnih razlika u prirodi pojedinih oblika zračenja, kao i specifičnih zahteva koji se postavljaju pred program u zavisnosti od namene, verzija programa km2.0 se pokazala kao veoma specijalizovana. Međutim, uz male izmene koda je moguće odgovoriti maltene bilo kojim drugim zahtevima.Jedan od primera je zahtev da doza ne opada sa kvadratom rastojanja od izvora, već po nekoj složenoj zavisnosti. Ta zavisnost može biti identična za seriju izvora, ili različita za svaki, a od toga zavisi i vreme potrebno za izmene, kao i lakoća kasnijih izmena. Drugi primer je modeliranje polja alfa, beta ili neutronskog zračenja, proračun jačine kombinovanih polja, proračun efekata zaštitnih paravana, pravljenje baze radioizotopa itd.

5. Zaključak

Ovaj rad pokazuje jedan od načina da se značajno poveća brzina proračuna vezanih za izvore zračenja i efikasnost rada u laboratoriji. Ovo rešenje je veoma isplativo, s obzirom na to da su računari zasnovani na nekoj MS Windows platformi prisutni praktično u svakoj laboratoriji, pa su potrebna ulaganja minimalna. Program je pisan tako da bude pristupačan, pa je potrebna obuka veoma kratka.

6. Literatura

[1] Gad Shani, *Radiation dosimetry, Instrumentation and methods,* CRC Press (1991);
[2] I. Draganić, *Radioaktivni izotopi i zračenja*, Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" (1981);
[3] *Safety Reports Series No.16*, IAEA (2000);
[4] E. Browne, R.B. Firestone and V.S. Shirley, *Table of Radioactive Isotopes*, John Wiley and Sons, Inc., New York (1986)

ABSTRACT

DESCRIPTION OF THE COMPUTER PROGRAM KM2.0 DEVELOPED INTERNALLY IN METROLOGY – DOSIMETRY LABORATORY IN INN VINCA

Miloš Živanović, Jasmina Đukanović i Milojko Kovačević
Vinca Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia, milosz@vinca.rs

This paper gives a report on a computer program developed in-house for usage in metrology – dosimetry laboratory of INN Vinca. Theoretical basis of the software, capabilities of the current version and some examples of possible upgrades that could be achieved via minor code changes and recompiling have been discussed.

REALIZACIJA DVA POJAČAVAČA NA BAZI INTEGRACIONOG POJAČANJA ZA MERENJE NISKIH NIVOA JEDNOSMERNIH STRUJA U DOZIMETRIJSKIM APLIKACIJAMA

Uglješa JOVANOVIĆ, Marko AN̂ĐELKOVIĆ i Goran S. RISTIĆ
Elektronski fakultet, Niš, Srbija, ugljesa.jovanovic@elfak.ni.ac.rs

SADRŽAJ
U radu su predstavljena dva sistema zasnovana na integracionom pojačanju, razvijena u Laboratoriji za primenjenu fiziku Elektronskog fakulteta u Nišu, koji se mogu koristiti za detekciju i merenje intenziteta jonizujućeg zračenja. Prezentovani sistemi se mogu prilagoditi za merenje različitih tipova zračenja i mogu poslužiti kao osnova u realizaciji složenijih sistema. Dobijeni laboratorijski rezultati testiranja sistema pokazuju visok stepen linearnosti, što dokazuje da se predloženi koncept može, uz dodatne modifikacije, koristiti u realizaciji odgovarajućih dozimetrijskih sistema.

1. Uvod

Usled povećanog zagađenja nuklearnim otpadom i sve veće primene radioaktivnog zračenja u industriji i medicini potreba za sofisticiranim sistemima za detekciju i merenje radioaktivnog zračenja postaje sve veća. Sve veća primena, bilo da je u pitanju personalna dozimetrija ili brojne medicinske i naučno-istraživačke aplikacije zahteva razvoj inovativnih sistema korišćenjem novih detektora i metoda za merenje.

Kao senzorski element često se koristi PIN fotodioda ili fotodioda u kombinaciji sa scintilatorom pri čemu pod dejstvom zračenja dolazi do promene struje u fotodiodi. Najniže vrednosti struje fotodiode imaju vrednost od nekoliko pA, i pravi je izazov merenje niskih struja reda par desetina pa i stotina pA. Merenje niskih nivoa jednosmernih struja izvodi se konverzijom struje u napon koji se potom meri. Konverzija struje u napon izvodi se na dva načina i to primenom transimpedansnog pojačavača i integratora.

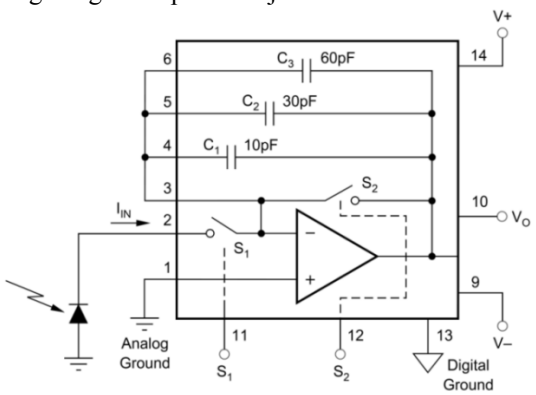
Klasičan transimpedansni pojačavač je jednostavniji od integratora i zadovoljava većinu primena ali je veoma osetljiv na šumove što ga čini nepodobnim za precizno merenje struja veoma malog inteziteta reda pA i nekoliko nA. S obzirom da pojačanje integratora zavisi od vremena trajanja integracije, ovako niske struje je moguće uspešno meriti sa dovoljno dugim vremenom integracije.

Integrator se sastoji od operacionog pojačavača, kondenzatora u negativnoj povratnoj sprezi i prekidača kojim se podešava dužina integracije. Ova naizgled jednostavna konfiguracija u realizaciji sa diskretnim komponentama ima izvesnih problema, koji su otklonjeni korišćenjem integrisanih integratora firme *Burr Brown* i to IVC102 [1] i DDC112 [2].

U prvom poglavlju predstavljeni su integratori, u drugom arhitekture sistema, a u trećem su prezentovani laboratorijski rezultati realizovanih sistema.

2. Opis integratora

Integrator IVC102 baziran je na integrisanom FET operacionom pojačavaču sa veoma malom ulaznom strujom polarizacije (do 750 fA), tri integrisana kondenzatora ukupne kapacitivnosti 100 pF i dva digitalna FET prekidača sa veoma niskim nivoom curenja. Pošto je reč o digitalnim prekidačima sa spoljašnjim upravljanjem dužina integracije se može podešavati. Zbog toga je ovaj integrator idealan za pojačanje malih vrednosti struje kao što su struje fotodiode. Napajanje je dvostruko odnosno sa pozitivnim i negativnim naponom. Blok dijagram ovog integratora prikazan je na slici 1.



Slika 1. Blok dijagram integratora IVC102

Pojačanje transimpedansnog pojačavača direktno zavisi od otpornika u povratnoj sprezi po sledećoj jednačini:

$$V_O = -I_{IN} * R_F \tag{1}$$

gde je I_{IN} struja fotodiode, a R_F vrednost otpornika u povratnoj grani pojačavača. Vrednost ovog otpornika utiče na širinu propusnog opsega i predstavlja izvor Džonsonovog šuma. Što je vrednost otpornika veća, veće je i pojačanje, kao i šum na otporniku. Po jednačini (1) da bi se struja od 1 nA konvertovala u napon od 1 V potreban je otpornik od 1 GΩ što je, zbog pomenutih razloga, krajnje nepraktično.

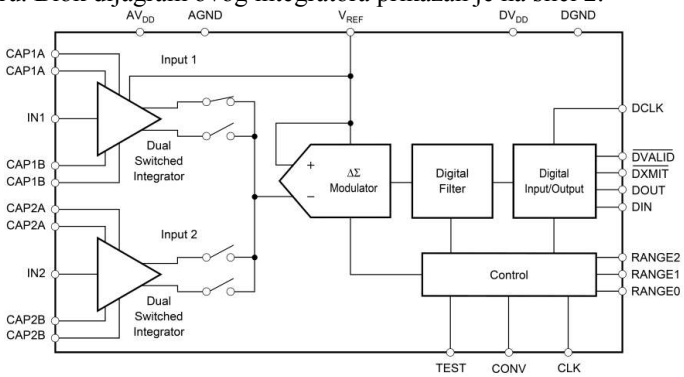
Pojačanje integratora direktno je proporcionalno dužini integracije a obrnuto proporcionalno kapacitivnosti kondenzatora u povratnoj sprezi po sledećoj jednačini:

$$V_O = -I_{IN}\frac{T_{INT}}{C_{INT}} \tag{2}$$

gde je I_{IN} ulazna struja, T_{INT} dužina integracije a C_{INT} kapacitivnost integracionog kondenzatora. Kao što se vidi iz jednačine (2) pojačanje zavisi od količnika T_{INT}/C_{INT} što znači da se struja od 1 nA može uspešno konvertovati u napon od 1 V sa vremenom integracije od 100 ms i kondenzatorom od 100 pF.

Integracijom se umanjuje celokupni uticaj šuma tako što se usrednjavaju ulazni šum sa senzora, šum sa pojačavača i šum generisan od strane spoljašnjih izvora.

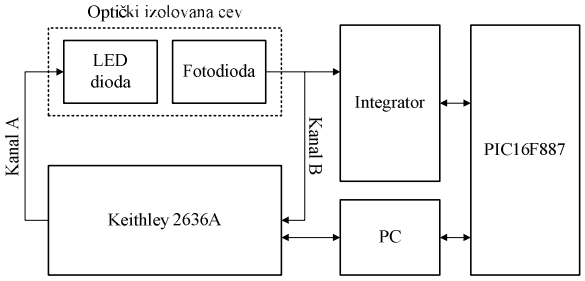
Međutim, integratorom IVC102 ne može se vršiti kontinualna odnosno neprekidna integracija jer se tokom merenja napona integracija prekida.
Za kontinualnu integraciju koristi se dvokanalni integrator DDC112 sa integrisanim 20-bitnim AD konvertorom i specijalnim integracionim kondenzatorima ukupne kapacitivnosti 87.5 pF. Oba kanala imaju po dva intergratora kojima se sprovodi neprekidna integracija tako što jedan integrator vrši integraciju, a drugi AD konverziju, i obratno. Na taj način se eliminiše gubitak informacije koji se javlja kod integratora IVC102 u toku AD konverzije. Veliku prednost ovog integratora predstavlja interni 20-bitni AD konvertor zbog velike rezolucije i zbog otpornosti na šum jer je integrisan na istom čipu sa integratorom čime je minimizovana mogućnost pojave šuma. Takođe, integracijom signala umanjuje se uticaj šuma usrednjavanjem svih nastalih šumova kao kod integratora IVC102. Pored toga ovaj integrator ima i integrisani digitalni filtar kojim se dodatno potiskuje nastali šum. Integrisani AD konvertor ima diferencijalne ulaze pri čemu je pozitivni ulaz povezan na referentni izvor napajanja V_{REF}. Na početku integracionog ciklusa integracioni kondenzatori se pune do nivoa V_{REF}. U toku integracije kondenzatori se prazne za vrednost proporcionalnu ulaznoj struji a preostali napon se upoređuje sa V_{REF}na AD konvertoru. Blok dijagram ovog integratora prikazan je na slici 2.



Slika 2. Blok dijagram integratora DDC112

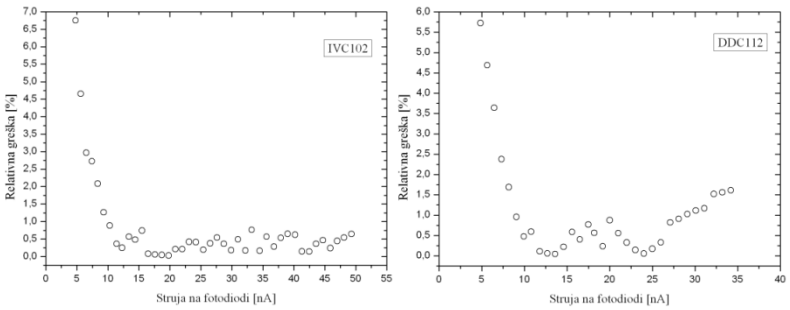
3. Arhitektura sistema

Za potrebe testiranja razvijena su dva sistema bazirana na mikrokontroleru PIC16F887 [3] firme *Microchip*. Blok dijagram oba sistema je isti i prikazan je na slici 3.
Prvi sistem sadrži integrator IVC102 i merenje napona se vrši pomoću mikrokontrolerovog internog 10-bitnog AD konvertora, dok drugi sistem sadrži dvokanalni integrator DDC112 sa integrisanim 20-bitnim AD konvertorom kojim se vrši merenje napona. Oba sistema putem serijskog RS-232 porta komuniciraju sa računarom što je izuzetno važno prilikom testiranja, s obzirom da se obrada rezultata vrši na računaru pomoću posebno razvijenih aplikacija, čijom se upotrebom testiranje značajno pojednostavljuje, veoma je pouzdano i precizno.



Slika 3. Blok dijagram realizovanih sistema

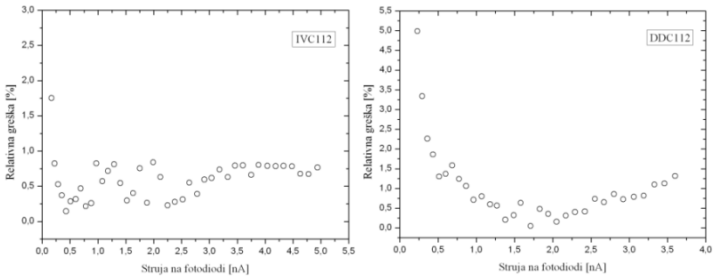
Sistemi su testirani u laboratorijskim uslovima a kao senzor korišćena je fotodioda EPD-525-0-1.4 firme *EPIGAP*. Prilikom testiranja laboratorijskih prototipova sistema nisu korišćeni scintilator i izvor zračenja, već je pobuda fotodiode sprovedena pomoću odgovarajuće LED diode pri čemu su se fotodioda i LED dioda nalazile u tamnoj i optički potpuno nepropusnoj cevi (LED dioda je zamenila jonizujuće zračenje i scintilator). U konačnom dozimetrijskom sistemu se umesto scintilatora i fotodiode može koristiti samo PIN dioda. Testiranje je vršeno tako što je LED dioda pobuđivana strujom iz kanala A instrumenta Keithley 2636A a uporedo sa tim kanalom B istog instrumenta merena je struja na fotodiodi nakon čega je izvršena AD konverzija, a dobijene vrednosti napona AD konverzije su putem serijskog porta prosleđivane računaru. Iz jednačine (2) dobija se idealna vrednost napona na izlazu integratora pri čemu se za I_{IN} uzima struja fotodiode. Ovaj napon se zatim upoređuje sa naponom dobijenim AD konverzijom i proračunava relativna greška sistema. Na slici 4 prikazane su relativne greške oba sistema u odnosu na struju fotodiode pri čemu je dužina integracije iznosila 10 ms a struja fotodiode je bila u opsegu od 5 nA do 50 nA za IVC102 i od 5 nA do 35 nA za DDC112. Greške uključuju nelinearnost pojačanja integratora i AD konvertora.



Slika 4. Relativna greška sistema sa integratorom: a) IVC102; b) DDC112

Vrednosti napona koji se dobijaju konvertovanjem struje inteziteta do 10 nA sa integracijom od 10 ms iznose par stotina mV i u tom opsegu AD konvertori imaju najveću grešku. Zbog toga prva merenja imaju grešku od nekoliko procenata koja zatim drastično opada. Da bi se adekvatnto pokrio i niži opseg struja produženo je

vreme integracije na 100 ms. Na slici 5 prikazane su relativne greške oba sistema u odnosu na struju fotodiode sa integracijom od 100 ms pri čemu je struja fotodiode bila u opsegu od 0.25 nA do 5 nA za IVC102 i od 0.25 nA do 3.75 nA za DDC112.



Slika 5. Relativna greška sistema sa integratorom: a) IVC102; b) DDC112

Zbog prethodno pomenutih razloga prva merenja imaju grešku od nekoliko procenata, nakon kojih je greška u zadovoljavajućim granicama što dokazuje da su razvijeni sistemi dovoljno precizni za upotrebu u dozimetrijskim aplikacijama.

4. Zaključak

Realizovana su dva sistema za pojačanje niskih nivoa jednosmernih struja koji se javljaju u senzorima i dozimetrima jonizujućeg zračenja. Rezultati pokazuju zadovoljavajući stepen linearnosti što predstavlja dobru osnovu za buduće nadogradnje sistema, koji bi se testirali sa odgovarajućim senzorima u polju zračenja, kako bi se utvrdili opseg i brzina doze koje se mogu meriti.

5. Literatura

[1] IVC102 Datasheet. Texas Instruments.
[2] DDC112 Datasheet. Texas Instruments.
[3] PIC16F887 Datashee. Microchip.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF TWO AMPLIFIERS BASED ON INTEGRATOR GAIN FOR MEASUREMENT OF LOW LEVEL DC CURRENT IN DOSIMETRY APPLICATIONS

Uglješa JOVANOVIĆ, Marko AN̂ĐELKOVIĆ i Goran S. RISTIĆ
Applied Physics Laboratory (APL), Faculty of Electronic Engineering, Niš, Serbia,
ugljesa.jovanovic@elfak.ni.ac.rs

Two systems based on the integrator gain developed at the Applied Physics Laboratory, Faculty of Electronic Engineering are presented in this paper. They can be used for detection and measuring intensity of ionizing radiation. Presented systems can be easily adapted to different types of radiation and may serve as a basis for development of more complex systems. The results obtained in the laboratory testing show a high degree of linearity, proving that the proposed concept can be used in the development of appropriate dosimetry systems with additional modifications.

REALIZACIJA DVA POJAČAVAČA NA BAZI TRANSIMPEDANSNOG POJAČANJA ZA MERENJE NISKIH NIVOA JEDNOSMERNIH STRUJA U DOZIMETRIJSKIM APLIKACIJAMA

Marko ANĐELKOVIĆ, Uglješa JOVANOVIĆ i Goran S. RISTIĆ
Elektronski fakultet, Niš, Srbija, marko.andjelkovic2@elfak.ni.ac.rs

SADRŽAJ
U ovom radu predstavljena su dva pojačavačka kola predviđena za merenje niskih nivoa jednosmernih struja u dozimetrijskim aplikacijama u kojima se kao detektori zračenja koriste PIN fotodiode, scintilacioni detektori, jonizacione komore, i slično. Oba rešenja se baziraju na konceptu transimpedansnog pojačanja i izvedena su tako da se obezbedi visoka preciznost merenja uz maksimalnu imunost na spoljnje elektromagnetne smetnje. Rezultati testiranja su pokazali veoma dobru linearnosti odziva oba modela, sa relativnom greškom pojačanja manjom od 2.5% pri ulaznim strujama od 1nA do 100nA.

1. Uvod

U mnogim dozimetrijskim aplikacijama postoji potreba za merenjem veoma niskih nivoa jednosmernih struja, u opsegu od nekoliko pA do nekoliko μA, indukovanih jonizujućim zračenjem [1]. Tipični primeri takvih aplikacija su dozimetrijski sistemi u kojima se kao detektori zračenja koriste PIN fotodiode, scintilacionidetektori, jonizacione komore, GM brojači, kao i sistemi zasnovani na principima luminescencije (TLD i OSL).

Iako su tehnike merenja vrlo niskih nivoa jednosmerne struje dobro poznate, praktična realizacija odgovarajućih mernih sistema predstavlja ozbiljan izazov zbog uticaja raznih oblika šumova, kako onih koji se javljaju u samom mernom sistemu tako i onih koji potiču od spoljnjih izvora [2]. Shodno tome, realizacija sistema za precizno merenje vrlo niskih nivoa jednosmernih struja zahteva primenu posebnih mernih tehnika.

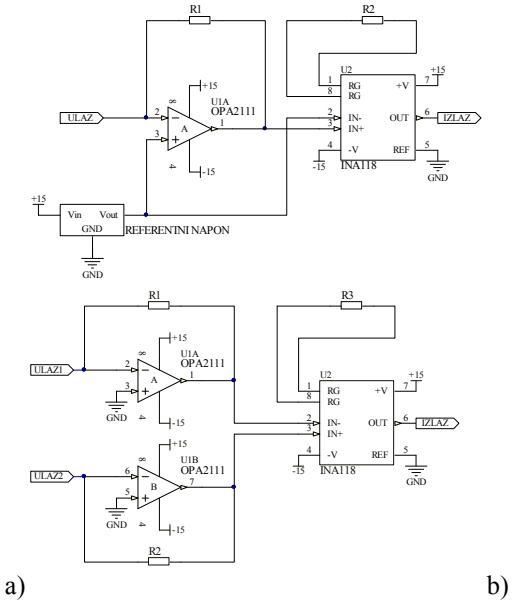
Merenje vrlo niskih nivoa jednosmerne struje se izvodi konverzijom struje u napon, uz određenu proporciju između struje i napona [3]. U širokoj upotrebi su dve različite tehnike konverzije struje u napon: transimpedansno pojačanje i integraciono pojačanje. Svaka od njih poseduje prednosti ali i nedostatke, pa samim tim konkretna primena istih zavisi od uslova koje nameće određena aplikacija. Ovaj rad je posvećen analizi aspekata konverzije struje u napon na bazi transimpedansnog pojačanja, čija glavna prednost nad integracionim pojačanjem jeste trenutni odziv, tj. generisanje odziva u realnom vremenu.

Transimpedansni pojačavač se u osnovi sastoji od operacionog pojačavača i otpornika velike otpronosti u negativnoj povratnoj sprezi pojačavača [4]. Međutim, ova jednostavna konfiguracija ne obezbeđuje visoku preciznost prilikom merenja niskih nivoa struje, pa se za takve potrebe koriste modifikovane varijante osnovnog transimpedansnog pojačavača. U ovom radu su predložene dve konfiguracije na bazi transimpedansnog pojačavača koje omogućavaju veoma precizno merenje struja reda nA.

Rad je podeljen u dva poglavlja. U drugom poglavlju je opisana struktura realizovanih pojačavačkih stepena. Eksperimentalni rezultati su prezentovani u trećem poglavlju.

2. Strukture pojačavača

Realizovane su dve konfiguracije pojačavača od kojih je jedna koncipirana kao pojačavač sa jednostrukim ulazom a druga sa diferencijalnim ulazima (slika 1). Obe varijante su izvedene u obliku dvostepenog pojačavača sa transimpedansnim pojačavačem kao prvim stepenom, i instrumentacionim pojačavačem u drugom stepenu. Ukupno pojačanje je isto u oba slučaja i iznosi približno 120×10^6 V/A. U cilju preglednosti date su osnovne električne šeme pojačavačkih stepena, dok su u konkretnoj realizaciji uključene i dodatne komponente koje obezbeđuju stabilnost u radu i imunost na spoljnje elektromagnetne smetnje.



a) b)

Slika 1. Konfiguracija pojačavača
(a) sa jednostrukim ulazom, (b) sa diferencijalnim ulazima

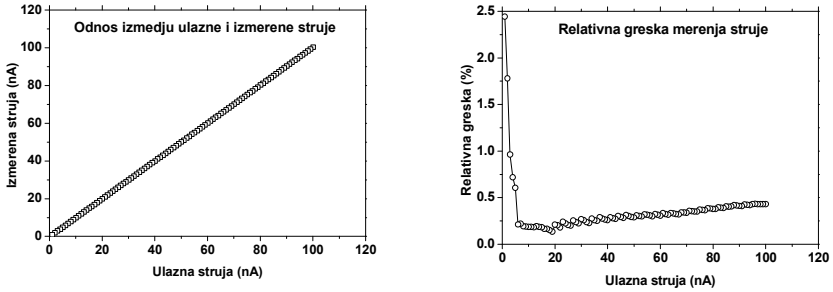
Prikazane konfiguracije su zasnovane na postojećim modelima pojačavača [5,6]. Međutim, za razliku od do sada publikovanih rešenja koja su poznata autorima, a koja se zasnivaju na klasičnom diferencijalnom pojačavaču u drugom stepenu, ovde je po prvi put predloženo rešenje u kojem je primenjen instrumentacioni pojačavač. U poređenju sa konvencionalnim diferencijalnim pojačavačem, instrumentacioni pojačavač ima veći CMRR (*common mode rejection ratio*) i znatno bolju izolaciju zahvaljujući ulaznim baferima [7].

U varijanti sa jednostrukim ulazom na neinvertujućem ulazu prvog stepena je priključen stabilan referentni (ofset) napon koji se sabira sa izlazom prvog stepena i potom oduzima u instrumentacionom pojačavaču. Ovo rešenje

obezbeđuje daleko veću preciznost pojačanja nego korišćenje mase kao referentne tačke, uz potpuno očuvanje korisnog signala.
Druga varijanta je zasnovana na konceptu diferencijalnog prenosa kojim se obezbeđuje efikasno potiskivanje elektromagnetnih smetnji. Osnovna ideja ovog rešenja je da se ulazna struja pojača dvostruko kako bi se na izlazima transimpedansnih pojačavača dobili isti naponi ali suprotnog polariteta. Tako dobijeni naponski nivoi se sabiraju po absolutnoj vrednosti u instrumentacionom pojačavaču i potom dodatno pojačavaju, dok se eventualni šumovi na ulazima instrumentacionog pojačavača u velikoj meri potiskuju.
Značajna pažnja je posvećena izboru komponenata. Pošto je neophodno detektovati niske nivoe struje, prvi pojačavački stepen mora biti realizovan operacionim pojačavačem sa veoma malim vrednostima ulazne struje polarizije (*input bias current*) i ulazne ofset struje (*input offset current*). U ovom slučaju je izabran dvostruki operacioni pojačavač OPA2111 [8], proizvođača *Burr-Brown*, sa ulaznom strujom do 4pA i ofset strujom oko 1pA. Drugi stepen je realizovan integrisanim instrumentacionim pojačavačem INA118 [9], takođe proizvod firme *Burr-Brown*, sa CMRR faktorom od 110dB i širokim opsegom pojačanja, od 1 do 10000, koje se definiše spoljnim otpornikom.

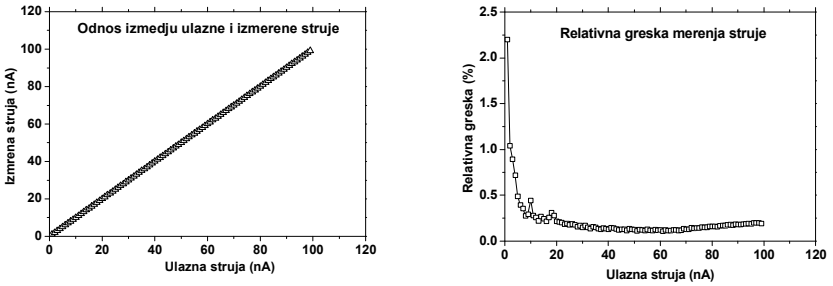
3. Eksperimentalni rezultati i diskusija

Procedura testiranja sprovedena je tako što je na ulazima pojačavača dovođena struja u opsegu od 1nA do 100nA, sa korakom od 1nA, uz istovremeno merenje odziva pojačavača, tj. izlaznog napona, za svaku vrednost ulazne struje. U slučaju pojačavača sa jednostrukim ulazom, kao strujni izvor je korišćen instrument Keithley 2400 koji je bio vezan na ulaz pojačavača, dok je izlazni napon meren instrumentom Keithley 2636A. S druge strane, kod varijante sa diferencijalnim ulazima korišćena su dva strujna izvora u vidu dva instrumenta Keithley 2400, pri čemu je tzv. „vrući kraj“svakog od njih bio priključen na jedan od ulaza pojačavača, a izlazni napon je meren instrumentom Keithley 2636A.
U cilju smanjenja uticaja elektromagnetnih smetnji, pojačavači su u toku testiranja bili potpuno oklopljeni u metalnoj kutiji, dok su veze između pojačavača, izvora napajanja i mernih instrumenata izvedene posredstvom koaksijalnih kablova.
Ceo tok eksperimenta kontrolisan je preko odgovarajuće Windows aplikacije razvijene u softverskom okruženju Visual Studio 2005, koja omogućava generisanje strujne pobude za pojačavače, merenje odziva u realnom vremenu i arhiviranje izmerenih rezultata u obliku tekstualnog fajla. Na osnovu dobijenih rezultata i poznatog pojačanja određen je odnos između ulazne i izmerene struje (slike 2a i 3a), a zatim je izračunata relativna greška u programskom paketu Matlab (slike 2b i 3b).



(a) **(b)**

Slika 2. Rezultati za pojačavač sa jednostrukim ulazom:
(a) odnos između ulazne i izmerene struje, (b) relativna greška



(a) **(b)**

Slika 3. Rezultati za pojačavač sa diferencijalnim ulazima:
(a) odnos između ulazne i izmerene struje, (b) relativna greška

Dobijeni rezultati pokazuju visok stepen linearnosti između ulazne i izmerene struje za oba modela pojačavačkog stepena, sa relativnom greškom manjom od 2.5% u celom opsegu ulazne struje od 1nA do 100nA. Relativna greška je najveća za ulazne struje od 1nA do 5nA, tipično od 0.5 do 2.5%, dok za ulazne struje od 5nA do 100nA iznosi manje od 0.5%. Merenje odziva pojačavača za ulazne struje manje od 1nA i veće od 100nA nije imalo smisla sa ovim konfiguracijama jer bi pri manjim strujama greška bila daleko veća a pri većim strujama pojačavač bi ušao u zasićenje. Naravno, neophodno je imati u vidu da će u konačnoj implementaciji svakako biti uključena i analogno-digitalna (AD) konverzija, što će neminovno doprineti povećanju ukupne greške zbog nesavršenosti AD konvertora, ali se ta greška može minimizovati softverkim tehnikama linearizacije kao što su *look-up* tabela, *piece-wise* linearna interpolacija, usrednjavanje, itd.

Posebno je važno naglasiti da je postignuta izvanredna ponovljivost izmerenih rezultata, prvenstveno zahvaljujući oklopljavanju pojačavača u metalnoj kutiji i primeni kvalitetnih koaksijalnih kablova. Takođe treba istaći veoma dobro slaganje između rezultata dobijenih prikazanim pojačavačkim konfiguracijama.

Dalji razvoj predloženih pojačavačkih stepena za merenje niskih nivoa jednosmernih struja biće usmeren prema dodatnom povećanju osetljivosti

pojačavača uz proširenje dinamičkog opsega pojačanja, čime bi se omogućilo precizno merenje još nižih nivoa jednosmernih struja, tipično u pikoamperskom opsegu. Ovi zahtevi se mogu najefikasnije realizovati primenom tehnike automatskog podešavanja pojačanja, tj. implementacijom više mernih opsega, tako da svakom opsegu odgovara jedinstveno pojačanje koje obezbeđuje dovoljno pojačanje ulaznog signala uz maksimalno potiskivanje uticaja šumova.

4. Zaključak

Predstavljene su dve konfiguracije pojačavačkog stepena za merenje veoma niskih nivoa jednosmerne struje. Obe varijante su realizovane u obliku dvostepenog pojačavača sa transimpedansnim pojačavačem kao prvim stepenom i instrumentacionim pojačavačem kao drugim stepenom, pri čemu je jedno rešenje izvedeno sa jednostrukim ulazom dok drugo ima diferencijalni ulaz. Rezultati testiranja pokazuju odličnu linearnost odziva oba modela pojačavačkog stepena za ulazne struje od 1 do 100nA, što znači da su predstavljena rešenja pogodna za implementaciju u dozimetarijskim sistemima kao i u drugim aplikacijama gde se zahteva merenje izuzetno niskih nivoa jednosmernih struja.

5. Literatura

[1] G. F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, 2000.
[2] P. Rako. Measuring Nanoamperes, EDN magazine, 2007.
[3] Low Level Measurement Handbook. Available at: www.keithley.com.
[4] Design considerations for transimpedance amplifiers. Application Note 1803, National Semiconductor, 2008.
[5] J. G. Graeme. Photodiode Amplifiers. McGraw-Hill, 1995.
[6] Precision Current Preamplifier, SIM918. Operational and Service Manual, Stanford Research Systems, 2006.
[7] Instrumentation Amplifier Basics. MT-061 Tutorial, Analog Devices, 2008.
[8] http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa2111.pdf.
[9] http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina118.pdf.

ABSTRACT

REALIZATION OF TWO AMPLIFIERS BASED ON TRANSIMPEDANCE GAINFOR LOW LEVEL DC CURRENT MEASUREMENTS IN DOSIMETRIC APPLICATIONS

Marko ANĐELKOVIĆ, Uglješa JOVANOVIĆ and Goran S. RISTIĆ
Applied Physics Laboratory, Faculty of Electronic Engineering, Niš, Srbija,
marko.andjelkovic2@yahoo.com

Two amplifier configurations for measuring very low levels of direct current in dosimetric applications are presented in this paper. Typical examples of dosimetric applications in which these amplifiers could be implemented include dosimetric systems based on detectors such as PIN photodiodes, scintillation detectors, ionization chambers, etc. Both models are based on transimpedance amplifier and can be utilized for high precision measurements with very good immunity against electromagnetic interference. Test results have shown that both versions exibit high degree of linearity with relative error below 2.5% for input currents in the range 1-100nA.

DALJINSKO UPRAVLJANJE ATOMTEX 1125 DETEKTOROM

Vlade UROŠEVIĆ[1], Aca ĐOKIĆ[2], Stefan VUKAJILOVIĆ[2] i Vladimir MARKOVIĆ[1]

1) Prirodno matematički fakultet Kragujevac
2) Tehnički fakultet, Čačak

SADRŽAJ

WEB laboratorija predstavlja dopunu klasičnom eLearning sistemu za izvođenje eksperimenata u oblasti prirodnih i tehničkih nauka.
U radu su dati osnovni principi i zahtevi koje treba ispuniti pri projektovanju WEB laboratorije. Predloženi principi su nezavisni sa aspekta korišćenog hardvera, softvera i oblasti primene tj. vrste eksperimenta. Sistem omogućava pristup eksperimentu, podešavanje parametera sistema, pokretanje, eksperimenta u realnom vremenu i dobijanje rezultata u numeričkoj li grafičkoj formi. , korišćenjem Web browser-a, U radu je kreiran softvver koji omogućava daljinsko upravljanje detektorom ATOMTEX 1125 kao prvog koraka ka formiranju WEB laboratorije na katedri za radijacinu fiziku na PMF u Kragujevcu

1. Uvod

Razvoj informacionih tehnologija i računarskih sistema u velikoj meri je nticao na na sve oblasti ljudskog delovanja. Pod uticajem ovih tehnologija javili su se novi modaliteti ucenja. Jedan od najznačajnijih koncepata je koncept *eLearninga.* U konceptu *eLearninga* značajno mesto zauzimaju i virtualne laboratorije. Virtualne laboratorije povećavaju dostupnost opreme studentima i smanjuju troškove laboratorijske opreme i troškove održavanja.

Generalno gledano postoje dva koncepta virtualnih laboratorija: jedne sa simulacijom i vizeulizacijom u konceptu virutelne realnosti i drugi, koji se bazira na udaljenom upravljanju sa laboratorijskim eksperimentima.

Razvoj web baziranih virtualnih laboratorija omogućava korisnicima da pristupe laboratorijskoj opremi i izvrše eksperimentalni rad na konkretnoj aparaturi u bilo koje vreme i sa bilo kog mesta. Mnogi univerziteti su razvili ili razvijaju ove laboratorije za upravljanje, elektroniku, proizvodnju i druge oblasti. Kod većine univerziteta udaljene eksperimentalne laboratorije dovele su do mogućnosti da skupa oprema bude široko dostupna, što je stvorilo uštedu vremena i smanjilo troškove i omogućilo individualni pristup opremi.

Web bazirane laboratorije možemo posmatrati iz tri ugla: akademskog, tehničkog i društveno-socijalnog.

Sa akademske tačke gledišta web laboratorije nude po nekim pitanjima velike prednosti u organizaciji studija inženjerskih i tehničkih nauka, pri čemu partneri u ovom poslu mogu biti različiti univerziteti, više škole, država i odgovarajuće institucije.

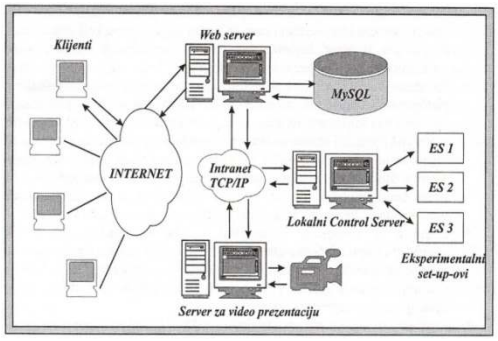
Sa tehničke strane potrebno je razviti hardversko-softversku platformu, koja može da omogući upravljanje različitom laboratorijskom opremom. Preduzeća i

partneri iz privrede mogu uzeti učešće u tehničkom razvoju web laboratorije, bilo da te laboratorije koriste za sopstvene eksperimentalne svrhe ili za permanentnu edukaciju svojih zaposlenih. Značajno mesto u web laboratorijama pripada mernoj instumentacji. Mogućnost daljinskog upravljanja ovim instrumentima postaje novi modalitet u radu, sa svim prednostima koje pružaju Web bazirane laboratorije

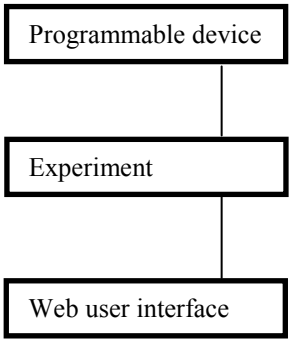
2. Projektovanje web bazirane laboratorije

Pri projektovanju web laboratorije, [1] potrebno je ispuniti sledeće zahteve:

- Lako razumevanje edukacijskih zadataka i lako korišćenje sistema.
- Prilagođavanje nastavnog materijala novom kontekstu.
- *On-line* uvid u eksperiment.
- Potrebno je izabrati odgovarajuću serversku platformu i odgovarajuću politiku zaštite. Ova
- Potrebno je da sistem funkcioniše sa klijent strane na svim raspoloživim platformama..
- Potrebno je omogućiti jednostavno i lako definisanje upravljačkih algoritama i upravljačkihsignala.
- Potebno je da sve laboratorijske vežbe i njihovi rezultati budu dokumentovani.
- *Download* eksperimentalnih rezultata. Mogućnost lakog upravljanja izmenama i distribucija novih verzija.
- Sistem mora da ima modularnu i otvorenu arhitekturu tako da se nave komponente i vežbedodaju što jednostavnije.



Slika 1. Arhitektura sistema



Slika 2. UML *dijagram klasa sistema*

Da bi se odgovorilo napred navedenim zahtevima potrebno je projektovati odgovarajuću softversku arhitekturu.

Softverska arhitektura se suštinski sastoji iz dva dela: prvi deo koji kontroliše fizičke procese (na strani servera - *Control Server)* i drugi deo koji generiše korisnički interfejs i definiše pristup korisnika (i koji upravlja ostalim delom

eLearning okruženja) i koji je orijentisan ka servisu korisnika (Web server) (slika 1). [1] Na lokalnom *Controle Server-u* potrebno je implementirati softverski modul *eksperimentalni interfejs,* koji ostvaruje algoritam upravljanja i komunicira sa web serverom. Sistem za akviziciju podataka i D/A konvertor su povezani za ovaj server. Klijent strana je bazirana na nekoj od tehnologija za kreiranje dinamičkih web strana. Svi podaci o eksperimetnima, pristupu korisnika i druge informacije vezane *Learning* okruženje nalaze se u bazi podataka.
Poslednji mogući server je video server. Preko njega se emituje digitalni video signal. On ima zadatak da ostvari vizeulnu "povratnu spregu" i da stvori korisnicima realni utisak eksperimenta, koji se odvija u laboratoriji.
Savremena računarska tehnologija omogućava rad Web laboratorije korišćenjem standardnog hardvera i softvera opšte namene, programabilnih uređaja i mrežnih tehnologija koje se koriste za Internet. Uopšteno rečeno arhitektura sistema za izvođenje Web eksperimenta se sastoji iz tri osnovna sloja koji su prikazani na UML dijagramu klasa na slici 2 [2].
Sistem za izvođenje Web eksperimenta je dizajniran, razvijen i implementiran sa osnovnim ciljem da omogući daljinski pristup eksperimentalnoj opremi i eksperimentima kao on line podršku klasičnom e learning-u. Prikazani sistem predstavlja prototip sa implementiranim eksperimentima iz različitih oblasti prirodnih i tehničkih nauka. Svaka od klasa na slici 2 odgovara jednom sloju sistema za izvođenje Web eksperimenta.
Ovakva konfiguracija između ostalog može da obezbedi ostvarenje sledećih zahteva:

- Univerzalna konfiguracija koja je pogodna i lako se prilagođava različitim eksperimentima.
- Strukturirana konfiguracija koja se može implementirati različitim hardverom i softverom.
- Skalabilna konfiguracija koja se lako može proširiti u slučaju:
  - Povećanja broja korisnika,
  - Povećanja broja eksperimenata,
  - Uvođenje novih eksperimenata,
  - Povećanje broja postojećih eksperimenata.
- Implementira se hardverom i softverom opšte namene, odnosno ne suviše specifičnim i egzotičnim.
- Kontrola simultanih zahteva za izvođenje istog eksperimenta.
- Daljinsko upravljanje i kontrola rada različitih mernih uređaja. Rad ovih uređaja je autonoman, ali je rad pojedinih podrzan PC-jem. Mogućnost daljinskog upravljanja ovim instrumentima postaje novi modalitet u radu, sa svim prednostima koje pružaju Web bazirane laboratorije.

3. Daljinsko merenje detektorom ATOMEX 1125

Radijacioni detektor Atomex AT 1125 je uređaj koji je namenjen za merenje [2]:

- doze i jacine doze ambijentalnog gama zračenja,
- gustine fluksa i fluensa alfa i beta zračenja

- specificne aktivnosti ^{137}Cs u namirnicama, vodi i tlu.

Rad instrumenta zasnovan je na visoko osetljivom NaI 25x40 mm scintilacionom dozimetru i fotomultiplikatorske cevi. Uređaj može raditi u spektrometijskom modu u kome je energetski opseg podeljen u 256 kanala.
U dozimetrijskom modu kanali su grupisani u 12 prozora.
Operacioni algoritam omogućava kontinualna merenja izračunavanjem srednje vrednosti. Algoritam omogućava statističku obradu podataka, uz evaluaciju statističkih fluktuacija sa brzim prilagođavanjem na nagle promene nivoa radijacije.

Operativni mod

Instrument ima dva operativna moda. Oba moda poseduju više podmodova, koji su dati u tabeli 1.1.

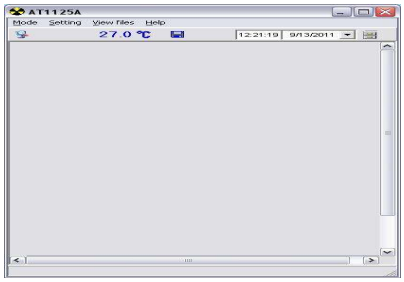
Tabela 1.1.

Mode	Ime	Vrsta merenja
F1	Dosimetrijski mod	Doza i ačina doze
F2	Radiometrijski mod	Specifična aktivnost

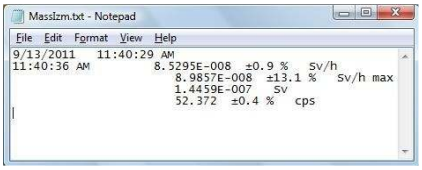
U radu je kreiran softver koji omogućava daljinsko upravljanje detektorom ATOMTEX AT1125. Zadavanjem komandi koje se prenose preko seriskog porta RS 232 softver omogućava da sve uobičajene komande kojima raspolaže ATOMTEX AT1125 budu na raspolaganju preko PC-ja.
Da bi se ostvarila veza između detektora i PC potrebno je:

- Instalirati kreirani softver koji omogućava daljinsko upravljanje detektorom ATOMTEX AT1125
- Povezati slobodan serijski port na PC sa soketom RS232 na izlazu detektora korišćenjem kabla.

U radu je kreiran softver u vidu Windows i Web aplikacije, koji omogućava prikaz podataka izmerenih uređajem Atomtex AT1125A u dozimetrijskom modu. Drugi operativni mod uređaja, radiometrijski mod, nije obuhvaćen kreiranim softverom, međutim postoji mogućnost za njegovu nadogradnju.
Za dobijanje i prikaz podataka u kreiranim aplikacijama, iskorišćena je početna forma softvera koji se dobija uz kupljeni uređaj Atomtex AT1125A. Nakon instalacije i pokretanja softver ima izgled kao na slici 3.



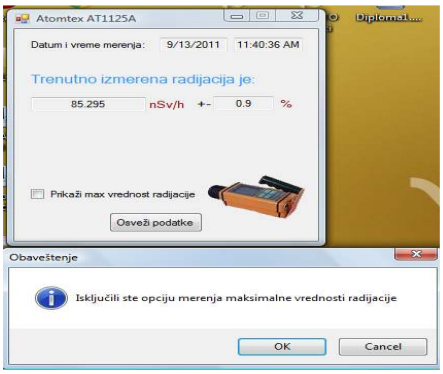
Slika 3. Početna forma softvera za akviziciju podataka



Slika 4. Tekstualni fajl

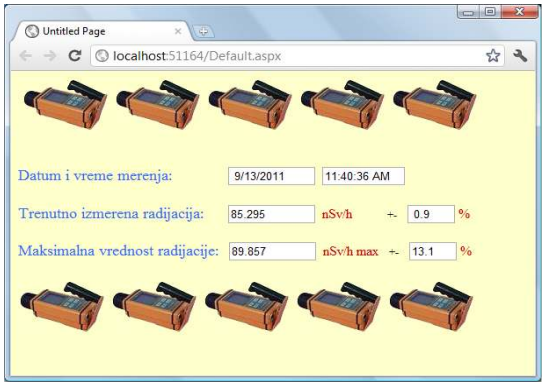
Instalirani softver ima mogućnost čuvanja podataka u tekstualnom fajlu, , prečicom klikom na ikonicu .
Proces čuvanja izmerenih podataka u tekstulani fajl i prikazivanje istih u Windows ili Web aplikaciji je sledeći:
Najpre je potrebno pokrenuti softver prikazan na slici 3. Nakon toga, pokreće se aplikacija pod nazivom KOORDINATE, koja ima zadatak da upiše vrednosti koordinata, odnosno položaj ikonice ,. Odabir kordinata vrši se nakon pokretanja aplikacije KOORDINATE, klikom miša na ciljano područje ekrana.
Na kraju ove procedure, pokrećemo pomoćni program koji uspostavlja link sa već postojećim programom. Posle aktiviranja instaliranog programa aktivira se kreirani, pomoćni program koji ima zadatak da podatke koje daje uređaj periodično snima u tekstualni fajl. Vreme snimanja se može proizvoljno postaviti u kodu programa. Podrazumevano vreme snimanja postavljeno je na 20 minuta.Tekstualni fajlovi sa izmerenim vrednostima uređaja Atomtex AT1125A su označeni po datumu i vremenu slika 4.
Ovako dobijeni podaci koje tekstualni fajl obrađuje, formatiraju se, kako bi se pripremili za prikaz Windows i Web formi.
Kreirana je Windows aplikacija koja prikazuje izmerene podatke uređaja Atomtex AT1125A. Izgled Windows aplikacije prikazan je na slici 5.

Slika 5. Prikaz forme windows aplikacije



Slika 6. Forma za maksimalnu vrednost radijacije

Moguće je uključiti ili isključiti formu za prikaz maksimalne vrednosti radijacije slika 6.
Na postojećoj formi postoji opcija za ažuriranje trenutnih podataka. Podrazumevana promena izmerenih podataka u tekstualnom fajlu je na 20 minuta (može se proizvoljno promeniti u kodu pomoćnog programa), tako da je promena podataka klikom na dugme „Osveži podatke" moguća tek nakon 20 minuta.
Na sličan način kreirana je i Web aplikacija[3]. Razlika je u tome što nema opcije za ažuriranje podataka , već je ono podešeno automatski Refresh stranice nakon 22 minuta. Tada se novi izmereni podaci iz tekstualnog fajla povlače na Web formu. Kreirana Web aplikacija prikazana je na slici 6.



Slika 7. Jedna od formi Web aplikacije

4. Zaključak

Web laboratorija je namenjena podršci e-learning sistema za pristup i izvođenje eksperimenata preko Interneta. Web laboratorije se mogu smatrati za sredstvo, koje na lak način u procesu tehničkih studija može integrisati ljude koji su na tom polju imali malo iskustva, kao i one koji iz različitih razloga nisu u mogućnosti da fizički pristupe laboratorijskoj opremi, bilo zbog udaljenog mesta stanovanja, bilo zbog posebnih potreba koje jedna grupa ljudi svakako ima. Takođe web bazirane laboratorije daju mogućnost korišćenja, ne samo kao podršku e learning sistemima, već i za daljinsko upravljanje i kontrolu raznih procesa iz oblasti industrije. Značajno mesto u web laboratorijama pripada mernoj instumentacji. Mogućnost daljinskog upravljanja ovim instrumentima postaje novi modalitet u radu, sa svim prednostima koje pružaju Web bazirane laboratorije.

5. Literatura

[1] Matijević M, Cvjetković V, Ranković V, Stefanović M., Upravljanje laboratorijskim procesima posredstvom interneta, Mašinski fakultet Kragujevac, 2007.
[2] Atomtex, Radiation monitors manuel October 20007.
[3] Phillip A. Laplante Real- time systes design and analysis John Wiley& sons 2004

ABSTRACT

REMOUT CONTROL OF ATOMTEX 1125 DETECTOR

Vlade UROŠEVIĆ[1], Aca ĐOKIĆ[2], Stefan VUKAJILOVIĆ[2] i Vladimir MARKOVIĆ[1]

1) Prirodno matematički fakultet Kragujevac
2) Tehnički fakultet, Čačak

WEB laboratory system support of classical e learning systems in the area of natural and technical sciences for experiment performance is presented.
Basics principles and requirements wich have to be done on projection WEB Laboratory was given.
Proposed principles are flexible and independent for used hardware, software, scalability and area of application, i.e. kind of experiment. System enables access to experiment using web browser, experimental parameters setup, start of the experiment in the real time and review of the obtained results in numerical and graphical form. In paper is created software for remoute control of ATOMTEX AT1125, as beginning step to forming Web labortory at the department of radiation physics on the Faculty of science Kragujevac

SLOBODNE TEME

EKOLOŠKI PROBLEMI I EKONOMSKA ANALIZA EKOLOŠKIH PROBLEMA

Ivona ĐUROVIĆ[1], Goran ZENOVIĆ[2]i IvanaKRSMANOVIĆ[3]

1) Univerzitet u Novom Pazaru, Departman u Pančevu, Pančevo, Srbija, ivona_zenovic@yahoo.com

2) Deki Trade d.o.o., Kotor, Crna Gora ,zenovicg@gmail.com

3) Zesium mobile d.o.o., Novi Sad, Srbija, ivana.krsmanovic.81@gmail.com

SADRŽAJ

Ekološki problemi nastaju kao pojedinačni i lokalni, ali se njihove negativne posledice ispoljavaju i ostaju vidljive tek na globalnom planu. Zato je osnovno geslo pristalica društvenog pokreta za zaštitu i očuvanje prirodne okoline "misli globalno, deluj lokalno". Veliki deo sveta posvećuje značajni deo politike ka usmeravanju svojih aktivnosti u cilju unapređivanja čovekove radne i životne okoline. One društvene snage koje mobilišu sve svoje potencijale na ostvarivanju programskih zadataka i usklađivanju programske politike ka zdravoj radnoj sredini - okolini pri tome i imaju već postignute rezultate u humanizaciji čoveka. Ekološki problemi dolaze u centar pažnje javnog mnjenja kad god se u svetu desi neka veća katastrofa sa ekološkim posledicama. Tako se atomska havarija u Černobilju ili satelitski snimci o nestajanju ozonskog omotača (koji štiti ljude od štetnog kosmičkog ultravioletnog zračenja) iznad severne hemisfere, najnoviji povod da se javno "otvori dosije" i svih drugih koji ugrožavaju prirodnu sredinu.

1. Uvod

Kroz ekološku politiku i njenu prizmu ostvaruju se društveni, ekonomski, tehničko-tehnološki, kulturno-obrazovni u celini "zelena tehnologija", koja mora biti svetlost, što sve utiče i doprinosi očuvanju prirode a time i na životnu sredinu (okolinu). Ekološka politika se ogleda u tome šta je u skladu a političkom države, zajednice, društva, što vodi napretku zemlje i sveukupnim standardima i zahtevima civilizacionog društva. Moglo bi se sa puno osnova utvrditi da je celokupna industrijsko-urbana civilizacija neposredno suprotstavljena ravnoteži prirodne sredine i harmoničnom odnosu čoveka i njegovog društva sa prirodom.

Gledano sa šireg društvenog stanovišta, automobil nije samo opasnost za pešake, napast za javne gradske površine u kojima se uvek oskudeva, nego je i gutač kiseonika koji ljudi udišu, proizvođač ugljen-dioksida koji menja atmosferu i klimu na Zemlji, zagađivač tla i vode ugljem koje prosipa iz motora. Nekad je simbol društvenog prosperiteta ("uspešne socijalističke izgradnje") bila fabrika sa visokim dimnjakom, o kojem su i pesnici smišljali stihove. Fabrika je delovala moćnije ukoliko iz njenog dimnjaka kulja što gušći dim i stvara tamne oblake (u vedrim danima), po kojima se prepoznaju industrijski pejzaži. Reke nizvodno od takvih fabrika su crne, masne i otrovne, opasne ne samo po ribe kojih u njima odavno više nema, nego i po biljke, životinje i ljude koji pored njih žive.

2. Ekološki problemi savremenog društva

Već je rečeno da ekološki problemi imaju to svojstvo da postaju globalni i opšti i onda kad su lokalni i kad s početka pogađaju samo neke, a neke druge prividno zaobilaze. Tu leži jedina nada da bi ljudi mogli zajedničkim delovanjem makar ublažiti postojeće ekološke probleme i izbeći ekološku kataklizmu na čiju verovatnoću ukazuju ne samo mrzovoljni futurolozi, nego i nepristrasni eksperti. O ovoj veoma složenoj ekološkoj problematici svedoči veliki broj problema sa kojima se suočava čovečanstvo. Oblaci puni ugljen-dioksida, bez obzira gde su nastali, nošeni vetrom svakom mogu doneti "kisele kiše" od kojih umiru biljke i životinje, koje zagađuju vodu, tlo i ulaze u lanac ishrane i u najrazvijenijim zemljama. Radioatkivna prašina ne zna za granice. Šume Amazona su "Svetska pluća" koja se moraju sačuvati tako što bi se brazilskoj sirotinji ponudile druge mogućnosti da opstanu - jer kiseonik je svima potreban.

Koja su rešenja i izlazi iz ekološke krize okupiraju pažnju već duže vremena naučnika svih profila ali i države, društvene organizacije i stranačka rukovodstva date dotične zemlje i regiona.

Koraci na ovom planu su već učinjeni u nekim zemljama sveta. Ekonomisti i ekolozi u savremenom društvu ukazuju na potrebu susretnog planiranja budžeta koji mora obuhvatiti i sredstva - deo budžeta za ekološke potrebe i kvaliteta života imajući u vidu čist vazduh, zemlju, vodu, šume - predele, biljni i životinjski svet koji bitiše živi u tim šumama.

Ekologija je nešto što uvek završi na drugom mestu – odmah iza ekonomije i naše potrebe za novcem i moći. Ovim omalovažavanjem naše planete stiče se utisak da se Zemlja zapravo ne vrti oko Sunca, već da se vrti oko novca. Ekologija je uvek negde iza i može opstati samo ako joj ekonomija to dopusti, a to se nažalost događa vrlo rijetko.

Živimo u vremenu čija je strukturalna potreba - potreba za utopijom. Industrijska društva u mnogo čemu crpe poslednje resurse svoje strukture, ali i prirode. Na pomolu je "Nova nepreglednost" opasnost da ostanemo bez budućnosti sada je izvesnija nego ikada ranije. Senka kataklizme koja se nadvila nad planetom za mnoge je poslednja opomena pred opasnošću najstrašnije vladavine - Vladavine večne tišine.

Najveći napori ekonomskih teoretičara i istraživača bili su usmereni na pronalaženje načina za internizaciju eksternih (društvenih) troškova životne sredine u proces odlučivanja zagađivača. Predložena glavna rešenja odnosila su se na: propisivanje određenih dozvola i standarda radi kontrole obima zagađenja, nametanje obaveze smanjenja zagađenja na društveno prihvatljiv nivo, utvrđivanje prava svojine nad dobrima životne sredine, kreiranje tržišta kvaliteta životne sredine kao javnog dobra..

Glavna rešenja ekoloških problema povezana su sa unapređenjem javne politike, posebno ekološke politike koja uključuje, pored ostalog, i ekonomske instrumente.

Zadatak ekološke ekonomije nije ostvarivanje nultog nivoa zagađenja, već određenog društveno prihvatljivog nivoa koji omogućava ekonomski razvoj bez

degradacije pojedinih delova životne sredine i bez narušavanja ravnoteže u ekosocijalnom sistemu.
Određeni nivo zagađenja priroda može sama da reši svojim prirodnim procesima. Izuzetak su samo neki toksični proizvodi koji se ne mogu degradirati prirodnim procesima, ili se razlazu veoma sporo u životnoj sredini.
Mnoge zemlje imaju zakonske propise kojima se zahteva procenjivanje ekoloških uticaja kada se odlučuje o izboru bitnih javnih i privatnih programa i projekata. Analiza ekonomskog uticaja ispituje kako određene aktivnosti kao što su: donošenje novog zakona, uvođenje nove tehnologije ili uključivanje novog izvora uvoza, utiču na ekonomski sistem u celini ili na pojedine njegove delove.

3. Zaključak

Globalno zagrevanje je trenutno najozbiljniji ekološki problem, a istaknutiji ekološki problemi su i zagađenje vazduha i voda, izumiranje mnogih životinjskih vrsta, kisele kiše i mnogi drugi. Majka Zemlja je postala vrlo ranjiva a ako je ona ranjiva i mi samim tim postajemo ranjivi. Globalno zagrevanje je već prouzrokovalo ozbiljne klimatske promene, a klimatske promene u kombinaciji s zagađenjem vazduha i voda su odgovorne za mnoge bolesti i naravno za mnoge smrti.
Uprkos tome što postoji toliko mnogo problema koji već pokazuju svoj razorni potencijal, prikladnih akcija još uvek nema na globalnoj udaljenosti. Ima nekih malih akcija, ali ono što je zaista potrebno je jedna ogromna akcija na globalnoj udaljenosti koja zahteva uključenost gotovo celog čovečanstva. Male akcije su dobre samo za određena ograničena područja, ali imaju malo ili ništa uticaja na globalnu situaciju.
Neki naučnici čak smatraju da je možda već sad sve gotovo jer nismo napravili odgovarajuće korake na vreme, ali ipak možda još postoji nada, ako ne u smislu otklanjanja problema onda barem u smislu zaustavljanja pogoršanja postojećih problema. Nažalost akcija ovakvog tipa je gotovo nemoguća jer mnogo ljudi nema razvijenu ekološku svest i samo misle kako zadovoljiti svoje potrebe. Fosilna goriva koja su uglavnom odgovorna za globalno zagrevanje su još uvek dominantan izvor energije, a obnovljivi izvori energije su stvar budućnosti. Koje budućnosti? Ako se ovaj trend nastavi, kakva će to budućnost biti? Trebamo li se stvarno dovesti na rub izumiranja da bi shvatili što trebamo napraviti ili će čovečanstvo bar jednom reagovati dok je još vreme? Nažalost čovečanstvo ne misli dovoljno na buduće generacije i njihovo pravo da od nas nasjede Zemlju isto tako jaku i lepu kao danas, a ne potrošenu planetu bez prirodnih lepota i dobrih životnih uslova. Mi jednostavno nemamo pravo uzeti celu planetu od naših naslednika i nadati se da će oni kasnije izmisliti nešto što će rešiti sve probleme koje smo stvorili.

4. LITERATURA

[1] Konstatinović, S., *Ekologija,* Univerzitet BK, Beograd, 2000.
[2] Kostadinović, A., *Uvod u ekologiju,* Megatrend; Beograd, 2004.
[3] Milenović, S. B., *Ekološka ekonomija, teorija i primena,*
Fakultet zaštite na radu, Niš, 2000.

[4] Mitrović, M., Petrović, S., *Ekološka kriza,* Fakultet odbrane i zaštite, Beograd, 2001.

ECOLOGICAL PROBLEMS AND ECONOMICAL ANALYSES OF ECOLOGICAL PROBLEMS

Ivona ĐUROVIĆ[1], Goran ZENOVIĆ[2]and IvanaKRSMANOVIĆ[3]

1) Univerzitet u Novom Pazaru, Departman u Pančevu, Pančevo, Srbija, ivona_zenovic@yahoo.com

2) Deki Trade d.o.o., Kotor, Crna Gora ,zenovicg@gmail.com

3) Zesium mobile d.o.o., Novi Sad, Srbija, ivana.krsmanovic.81@gmail.com

Ecological problems appear both as individual and local. However, their negative consequences are visible only at the global level. Therefore, the basic motto of the followers of social movement for protection and maintenance of the environment is “think globally , act locally”. The majority of the world devote a significant part of their policy to direct its activity with the objective of improving human working and living environment. Those social forces that mobilize all their potentials towards the realization of the program tasks and harmonization of the program policy with healthy working milieu – environment and having already reached results in man humanization.Ecological problems become the focus of public attention whenever a big disaster with ecological consequences happens in the world. Thus nuclear catastrophe in Chernobil or satellite photos of ozone shell (which protects people from damaging ultraviolet radiation) above northern hemisphere is the latest motivation to “ open the files” publicly , as well as all that jeopardize the environment.

INDEX AUTORA

Index autora

A. TRUMIC 156
Aca ĐOKIĆ 347
Aleksandar DRAGIĆ 151, 304, 328
Aleksandar KANDIĆ 50, 309
Aleksandra MILENKOVIĆ 33
Aleš VOLČANŠEK 45
Andreja SIRONIĆ 45
Anita RAJTARIĆ 45
Biljana KOČIĆ 200
Biljana MILENKOVIĆ 14, 299
Biljana VUČKOVIĆ 146, 165, 170
Boban RAKIĆ 239, 250
Bogomil OBELIĆ 45
Bojan JANKOVIĆ 98, 291
Bojan ŠEŠLAK 50, 309
Bojana GRABEŽ 151
Boris LONČAR 33
Borut BREZNIK 45
Branislava MITROVIĆ 287
Branka MURIĆ 24
Branko PREDOJEVIĆ 160
Bratislav MARINKOVIĆ 160
Carmela CARPENTIERI 165
Danijela ARANĐIĆ 189, 205
Darko PLEĆAŠ 211
Darko VASILJEVIĆ 24
Davor ŽELJEŽIĆ 257
Dejan JOKOVIĆ 151, 304, 328
Dejan PANTELIĆ 24
Dimitrije MALETIĆ 304, 328
Djordje LAZAREVIĆ 205
Dragan KUBELKA 257
Dragana ČEKEREVAC 29, 89, 189, 222
Dragana KRSTIĆ 19, 63
Dragana POPOVIĆ 54
Dragana TODOROVIĆ 54, 58, 98, 102, 291
Dragoslav NIKEZIĆ 14, 19, 63, 217, 299
Dubravka JOVIČIĆ 239, 250, 267, 271
Dušan MRĐA 67, 110, 141, 174
DUŠICA VUČIĆ 194
Duško KOŠUTIĆ 189
Duško LUKARSKI 181
Đorđe JANAĆKOVIĆ 287

Đorđe LAZAREVIĆ 189
Feriz ADROVIĆ 156, 170
Francesco BOCHICCHIO 165
Goran S. RISTIĆ 337, 342
Goran ZENOVIĆ 357
Gordana MILIĆ 165
Gordana PANTELIĆ 102, 267
Gordana PAPOVIĆ-ĐUKIĆ 275
Gordana VITOROVIĆ 287
Gordana MILIĆ 146
Gregor OMAHEN 9
Igor KALABA 262
Igor ČELIKOVIĆ 50, 146
Ines KRAJCAR BRONIĆ 45
Irena TANASKOVIĆ 106, 133
Ištvan BIKIT 67, 76, 80, 110, 141
Ivan ANIČIN 304
Ivan KNEŽEVIĆ 41
Ivana VUKANAC 50, 309
IvanaKRSMANOVIĆ 357
Ivanka ANTOVIĆ 137
Ivona ĐUROVIĆ 357
Jadranka BAREŠIĆ 45
Jan HANSMAN 110, 174
Jaroslav SLIVKA 110
Jasmina ĐUKANOVIĆ 89, 333
Jasminka JOKSIĆ 106
Jasna Đ. DAVIDOVIĆ 200
Jelena AJTIĆ 54
Jelena ĐOKOVIĆ 247, 267, 271
Jelena NIKOLIĆ 54, 58, 98, 102
Jelena PAJIĆ 239, 250
Jelena STAJIĆ 14, 63
Jelica KALJEVIĆ 194, 227
Jovan PUZOVIĆ 328
Jovana NIKOLOV 67, 76, 80, 110, 141
Jovica Ž. PRASKALO 200
Kristina BIKIT 174
Ljiljana GULAN 146, 165
Ljiljana JAVORINA 133
Maja EREMIĆ SAVKOVIĆ 133
Marija JANKOVIĆ 58, 67, 98, 102, 291
Marija VOŠTINAR 67
Marin MLADINIĆ 257
Marko ANĐELKOVIĆ 337, 342
Milan ORLIĆ 41

Milan VUJOVIĆ.....106
Milica MATAVULJ.....262
Milojko KOVAČEVIĆ.....194, 231, 333
Miloš DAVIDOVIĆ.....33, 89
Miloš ĐALETIĆ.....231
Miloš ŽIVANOVIĆ.....33, 89, 231, 333
Miodrag ANTIĆ.....194
Miodrag KRMAR.....110, 141, 323
Mirjana ĐURAŠEVIĆ.....50, 309
Mirjana RADENKOVIĆ.....106
Miroslav VESKOVIĆ.....67, 110, 141
Mirta MILIĆ.....250, 257
Mladen VUKČEVIĆ.....194
Monika ŽIVKOVIĆ.....211
Nada HORVATINČIĆ.....45
Nataša SARAP.....58, 98, 102
Nataša TODOROVIĆ.....67, 76, 80, 110, 141, 174
Nenad STEVANOVIĆ.....14, 217, 299
Nevenka M. ANTOVIĆ.....85, 137, 314
Nikola JOVANČEVIĆ.....110, 323
Nikola SVRKOTA.....85, 194, 314
Nikola VESELINOVIĆ.....304
Olivera CIRAJ-BJELAC.....29, 189, 194, 200, 205, 211, 222, 227
Olivera ČUKNIĆ.....280
Olivera MARINKOVIĆ.....194, 239
Patrizia HRELIA.....257
Perko VUKOTIĆ.....85
Predrag BOŽOVIĆ.....29, 32, 189, 193, 222, 226
Predrag KOLARŽ.....160
Radomir BANJANAC.....151, 304, 328
Radomir KOVAČEVIĆ.....275
Radovan D. ILIĆ.....33
Ružica ROZGAJ.....257
Sabrina ANGELINI.....257
Sergej K. ANDRUHOVIČ.....85, 314
Smiljana PARAŠ.....262
Snežana MILAČIĆ.....247, 267, 271
Snežana PAVLOVIĆ.....41
Sofija FORKAPIĆ.....67, 76, 110, 141, 174
Sonja PETKOVSKA.....181
Srboljub J. STANKOVIĆ.....33
Srboljub STANKOVIĆ.....89
Stefan VUKAJILOVIĆ.....347
Uglješa JOVANOVIĆ.....337, 342
Urban ZDEŠAR.....9
Vedrana PROKIĆ.....239

Vedrana VULETIĆ 106
Velibor ANDRIĆ 287
Velina PETKOVIĆ 275
Vera SPASOJEVIĆ-TIŠMA 267, 280
Vesna GLIŠIĆ 275
Vilena KAŠUBA 257
Vlade UROŠEVIĆ 347
Vladimir M. MARKOVIĆ 14
Vladimir MARKOVIĆ 19, 63, 217, 347
Vladimir UDOVIČIĆ 151, 304, 328
Vojislav STANIĆ 102
Zejnil TREŠNJO 156
Zora S. ŽUNIĆ 146, 151, 160
Zoran ĆURGUZ 160
Zoran GRŠIĆ 41
Zoran MILOŠEVIĆ 309
Zoran MIRKOV 239
Želmira ILIĆ 280
Živodarka DACIN 280
Бранислава МИТРОВИЋ 120
Ведрана ВУЛЕТИЋ 72, 116, 120
Велибор АНДРИЋ 120
Гордана ВИТОРОВИЋ 120
Гордана ПАНТЕЛИЋ 72, 116, 120, 125, 129
Драгана ТОДОРОВИЋ 125
Дубравка ВУКОВИЋ 129
Здравко ВЕЈНОВИЋ 319
Ирена ТАНАСКОВИЋ 72, 116
Јан ХАНСМАН 93, 185
Јелена НИКОЛИЋ 125
Љиљана ЈАВОРИНА 72, 116
Маја ЕРЕМИЋ САВКОВИЋ 72, 116
Марија ЈАНКОВИЋ 125
Милорад ДАВИДОВИЋ 319
Милош ПАВЛОВИЋ 319
Милутин БАУЦАЛ 185
Миљан ВЕЛОЈИЋ 93
Миодраг КРМАР 93, 185
Михаило ВИЋЕНТИЈЕВИЋ 129
Наташа ТОДОРОВИЋ 93
Никола ЈОВАНЧЕВИЋ 185
Оливера ЦИРАЈ-БЈЕЛАЦ 185
Радосав МИТРОВИЋ 129

SADRŽAJ

Sadržaj

AKREDITACIJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA – TROŠAK ILI MANJE DOZE I POUZDANI REZULTATI 9

KOREKCIJA LJUSKE ZA ZAUSTAVNU MOĆ ZA NISKOENERGETSKE JONE 14

REFLEKSIJA ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA OD ZAŠTITINIH MATERIJALA 19

ZAŠTITA OD LASERSKOG ZRAČENJA 24

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE ATENUACIONIH SVOJSTAVA PLOČASTIH MATERIJALA NA BAZI GIPSA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI 29

RADIJACIONI DEFEKTI USLED APSORPCIJE GAMA ZRAČENJA U TITANIJUMSKIM LEGURAMA 33

MODUL ZA PROCENU EKVIVALENTNE DOZE INTERNOG I EKSTERNOG IZLAGANJA U MATEMATIČKOM MODELU ZA RASPROSTIRANJE RADIONUKLIDA KROZ GRANIČNI SLOJ ATMOSFERE U OKOLINI NUKLEARNOG OBJEKTA 41

AKTIVNOST 14C U ATMOSFERI I BILJU U OKOLICI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO 2006. – 2010. 45

RADIOAKTIVNOST UZORKA SEDIMENTA JONSKOG MORA 51

VIŠE BILJKE KAO BIOMONITORI RADIONUKLIDA U URBANOM VAZDUHU 55

SADRŽAJ PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA SA ISTORIJSKIH LOKALITETA U SVETU 60

KONCENTRACIJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U DUVANU 65

ODREĐIVANJE TRICIJUMA U VODI – POREĐENJE METODA 69

АКТИВНОСТРАДИОНУКЛИДАУАЛГАМАРЕКЕДУНАВУПЕРИОДУОД 2003-2007. ГОДИНЕ 74

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI TRICIJUMA U DUNAVU TEČNIM SCINTILACIONIM DETEKTOROM 78

ODREĐIVANJE UKUPNE ALFA I BETA AKTIVNOSTI U PIJAĆIM VODAMA METODOM TEČNOG SCINTILACIONOG BROJANJA 83

ODNOSI AKTIVNOSTI IZOTOPA PLUTONIJUMA I ^{137}CS ZA ZEMLJIŠTE U CRNOJ GORI 88

PREGLED RAČUNARSKIH MODELA KRETANJA POLUTANATA KROZ ATMOSFERU SA POSEBNIM OSVRTOM NA RADIOPOLUTANTE 92

ЕФЕКТИ ЕОЛСКЕ ЕРОЗИЈЕ МЕРЕНИ ДИСТРИБУЦИЈОМ ^{137}CS И ПРИРОДНИХ РАДИОНУКЛИДА 96

ODREĐIVANJE SIMETRIČNOG INDEKSA ZA ^{3}H U REČNIM VODAMA 101

UTICAJ TRASERA NA ISPITIVANJE SADRŽAJA ^{90}SR U UZORCIMA REČNIH VODA I ZEMLJIŠTA 105

SISTEMATSKO ISPITIVANJE RADIOAKTIVNOSTI U ŽIVOTNOJ SREDINI U SRBIJI 109

I-131 PONOVO U ŽIVOTNOJ SREDINI 113

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ ВАЗДУХА У БЕОГРАДУ 120

РАДИОАКТИВНОСТ МЛЕКА У СРБИЈИ У 2011. ГОДИНИ 124

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ ВАЗДУХА У БЕОГРАДУ-ПОСЛЕДИЦЕ ФУКУШИМЕ 129

КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ НАКОН ФУКУШИМА АКЦИДЕНТА 133

RADIOAKTIVNOST BANJSKIH VODA U SRBIJI 137

KONCENTRACIONI FAKTORI ^{226}RA KOD VRSTE CIPOLA *LIZA AURATA* 141

MERENJE RADONA U PIJAĆIM VODAMA 145

RASPODELA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA I TORONA U KUĆAMA NA KOSOVU I METOHIJI 150

PERIODIČNOST KONCENTRACIJE RADONA U NISKOFONSKOJ PODZEMNOJ LABORATORIJI U BEOGRADU 155

ISTRAŽIVANJE RADONA U RUDNIKU MRKOG UGLJA "ĐURĐEVIK" 160

PRIMJENA AKTIVNE METODE MJERENJA KONCENTRACIJE RADONA U ŠKOLAMA GRADA BANJE LUKE, REPUBLIKA SRPSKA 164

MERENJA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U STAMBENIM PROSTORIJAMA U RURALNIM SREDINAMA NA KOSOVU I METOHIJI 169

KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADONA U VAZDUHU U NEKIM BANJSKIM CENTRIMA SRBIJE 174

MERENJE RADONSKE RAVNOTEŽE U VAZDUHU 178

AKTIVACIONE DOZE KOD 15 MV MEDICINSKIH LINEARNIH AKCERELATORA.....185

НЕУТРОНИ МЕРЕНИ У ОКОЛИНИ ТЕРАПИЈСКОГ ЛИНЕАРНОГ АКЦЕЛЕРАТОРА 190

PROCENA DOZE ZA STANOVNIŠTVO IZLAGANJA U NUKLEARNOJ MEDICINI U SRBIJI.....194

INTERKOMPARACIJA MERENJA PERSONALNOG DOZNOG EKVIVALENTA HP(10) U POLJIMA FOTONSKOG ZRAČENJA U SRBIJI I CRNOJ GORI.....200

PHYSICAL AND TECHNICAL ASPECTS OF QUALITYASSURANCE IN MAMMOGRAPHY IN THE REPUBLIC OF SRPSKA.....206

SNIMANJE DECE U CT DIJAGNOSTICI: PACIJENTNE DOZE U DEČJIM KLINIKAMA U SRBIJI 211

RADIATION DOSE AND RISK ASSESSMENT IN HYSTEROSALPINGOGRAPHY.....217

RASPODELA SPECIFIČNE ENERGIJE BETA ZRAČENJA UNUTAR ĆELIJE 224

USPOSTAVLJANJE STANDARDNIH KVALITETA SNOPA U SSDL ZA PRIMENU U OBLASTI DIJAGNOSTIČKE RADIOLOGIJE.....229

PRSTEN DOZIMETRI ZA EKSTREMITETE 234

UREĐAJ ZA KONTINUALNO MERENJE JAČINE DOZE GAMA ZRAČENJA U ŽIVOTNOJ SREDINI.....238

PROFESIONALNA EKSPOZICIJA RADIONUKLIDIMA -PRIKAZ SLUČAJA- 246

HRONIČNA LIMFOCITNA LEUKEMIJA POD UTICAJEM NEJONIZUJUĆEG ZRAČENJA-PRIKAZ SLUČAJA.....254

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MICRONUCLEI INCIDENCE OF PERSONS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONISING RADIATION IN SERBIA AND CROATIA 257

UTJECAJ POLIMORFIZAMA GENA ZA POPRAVAK DNA NA OŠTEĆENJA GENOMA LIMFOCITA UZROKOVANIMA KRONIČNOM IZLOŽENOŠĆU IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU NAKON IZLAGANJA DOZI OD 4 GY 264

INFLUENCE OF AN HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS TO THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ENDOCRINE PANCREAS IN WISTAR SPP. RATS.....269

PROFESIONALNI MULTIPNI MIJELOM – PRIKAZ SLUČAJA 274

PROFESIONALNI RAK ŠTITNE ŽLJEZDE – PRIKAZ SLUČAJA 278

MORBIDITET ZAPOSLENIH U ZONI JONIZUJUĆEG ZRAČENJA 282

MEDICINSKI NALAZI OSOBA KOJE SU BORAVILE U JAPANU U TOKU AKCIDENTA U NUKLEARNOJ ELEKTRANI FUKUŠIMA 1.....287

ADSORPCIJA URANIJUMA NA PRIRODNOM I MODIFIKOVANOM SEPIOLITU.....294

UPOTREBA IKP METODE U KINETIČKOM ISPITIVANJU NEIZOTERMNOG RAZLAGANJA $NAHCO_3$.....298

PRIMENA DETEKTORA CR-39 U DETEKCIJI I DOZIMETRIJI NEUTRONA 306

MONTE KARLO SIMULACIJA APSOLUTNE EFIKASNOSTI DETEKCIJE LINIJE OD 46.5 KEV ZA ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE PB-210 U POSTOJEĆOJ OLOVNOJ ZAŠTITI HPGE DETEKTORA.....311

PROVERA STABILNOSTI KALIBRACIONIH STANDARDA KORIŠĆENIH U GAMA SPEKTROMETRIJI.....316

RADIOMETRIJSKI REŽIM SPEKTROMETRA PRIPJAT.....321

ТЕРМОЛУМИНЕСЦЕНТНИ СИСТЕМ СА ДВЕ ВРСТЕ ТРАПОВА 326

DOGAĐAJI GENERISANI NEUTRONSKIM INTERAKCIJAMA U AKTIVNOJ ZAPREMINI GE DETEKTORA 330

SEMIEMPIRIJSKA SIMULACIJA PRIRODNOG FONA SENDVIČ DETEKTORA.....335

PROGRAM ZA PRORAČUN PARAMETARA ETALONSKIH POLJA GAMA ZRAČENJA 340

REALIZACIJA DVA POJAČAVAČA NA BAZI INTEGRACIONOG POJAČANJA ZA MERENJE NISKIH NIVOA JEDNOSMERNIH STRUJA U DOZIMETRIJSKIM APLIKACIJAMA.....344

REALIZACIJA DVA POJAČAVAČA NA BAZI TRANSIMPEDANSNOG POJAČANJA ZA MERENJE NISKIH NIVOA JEDNOSMERNIH STRUJA U DOZIMETRIJSKIM APLIKACIJAMA 349

DALJINSKO UPRAVLJANJE ATOMTEX 1125 DETEKTOROM 354

EKOLOŠKI PROBLEMI I EKONOMSKA ANALIZA EKOLOŠKIH PROBLEMA 364