JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

ZBORNIK RADOVA

XXI SIMPOZIJUM JDZZ
Kladovo 2001, 10 – 12. oktobar

Beograd
2001.

ZBORNIK RADOVA

XXI SIMPOZIJUM JDZZ
Kladovo, 10 – 12. oktobar 2001.

Izdavači:

Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja

Za izvršnog izdavača:

Dr Krunoslav Subotić

Urednik:

Mr Milojko Kovačević

ISBN 86-7306-051-6

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Tehnička obrada: Zoran Hadžić

Štampa: Štamparija Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd
Tiraž: 120 primeraka
Štampa završena oktobra 2001.

XXI SIMPOZIJUM JUGOSLOVENSKOG DRUŠTVA
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
Kladovo, 10 – 12. oktobar 2001.

Organizatori:

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „VINČA“
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita“

Organizacioni odbor:

Predsednik: Milojko Kovačević

Članovi:

Željka Ilić
Gordana Pantelić
Snežana Milačić
Perko Vukotić
Ranko Kljajić
Radoman Benderać
Srpko Marković

Redakcioni odbor:

Dr Marko Ninković
Dr Gordana Joksić
Dr Milan Orlić

Organizaciju su pomogli:

Ministarstvo za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije
Ministarstvo zdravlja Republike Srbije
Naučni institut za veterinarstvo, Novi Sad
Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd
PERKIN ELMER Instruments, Beograd (ranije: ORTEC)
INEP, Beograd
TRY, Beograd
METRO, Novi Sad
Institut za nuklearne nauke ”Vinča”

Ovaj Zbornik je zbirka radova saopštenih na XXI Simpozijumu Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja koji je održan od 10. do 12.oktobra 2001. godine u Kladovu. 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

AGENCIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA (AZZ)

M.Orlić, Ž. Ilić, O. Čuknić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd
– predavanje po pozivu –

SADRŽAJ

U Jugoslaviji postoji značajna primena jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja u medicini, industriji i nauci. Problemima zaštite od zračenja bavi se veliki broj stručnjaka u više institucija. Za to se izdvajaju značajna sredstva od strane vlade, a stanje zaštite nije na potrebnom nivou. Kada je bilo najpotrebnije sistem zaštite nije delovao dobro. To najbolje pokazuju primeri kao što su udes u Černobilu i primena municije sa osiromašenim uranom na teritoriji naše zemlje. Jedini izlaz iz takve situacije jeste formiranje Agencije za zaštitu od zračenja. U radu su analizirani svi razlozi za formiranje agencije, definisana njena namena i postavljeni zadaci, prikazana potrebna organizacija i predložen način finansiranja.

UVOD

Čovek je oduvek živeo u uslovima izloženosti zračenju koje potiče iz kosmosa, sa Sunca, iz okoline i čak iz sopstvegog tela. Pod pojmom *zračenje* podrazumeva se kako jonizujuće (alfa, beta, gama, neutroni), tako i nejonizujuće (UV, elektromagnetno, lasersko) zračenje. Predmet ovog rada, odnosno Agencije za zaštitu od zračenja, su i jonizujuće i nejonizujuće zračenje. U zadnjem veku čovek je naučio da koristi zračenje u medicini, industriji i nauci. Pokazalo se da, pored velike koristi, zračenje može da predstavlja opasnost za ljude i životnu sredinu. Stoga je neophodno preduzeti odgovarajuće mere zaštite.

Oblast zaštite od zračenja se neprekidno razvijala u svetu. Postoji više značajnih međunarodnih institucija koje se bave ovom oblašću kao što su: Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP), međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA), Naučni komitet ujedinjenih nacija za efekte atomskog zračenja (UNSCEAR) i svetska zdravstvena organizacija (WHO). One su postavile savremeni koncept zaštite od zračenja koji je načelno prihvaćen i u našoj zemlji. Sve to prati i regulativa čiju osnovu kod nas čini "Zakon o zaštiti od jonizujućeg zračenja" (Sl.list SRJ 46/96) i više pratećih podzakonskih akata.

U našoj zemlji postoji značajna primena zračenja u medicini, nauci i industriji. U odnosu na razvijene zemlje nedostaje samo primena u nuklearnoj energetci. Problemima zaštite od zračenja bavi se više ustanova. To su pre svega INN Vinča i Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović". Ovim problemom bave se i druge ustanove: Vojnomedicinska akademija, Vojnotehnički institut, Institut bezbednosti, Institut

za primenu nuklearne energije u poljoprivredi, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, kao i više fakulteta.

Problemi vezani za zaštitu od zračenja nalaze se u nadležnosti većeg broja ministarstava na saveznom i republičkom nivou. To su resorna ministarstva za zdravstvo, industriju, poljoprivredu, zaštitu životne sredine i druga. Zakonska osnova nalazi se u saveznom Zakonu o zaštiti od jonizujućeg zračenja (sa više pravilnika koji iz njega proističu) i republičkom Zakonu o zaštiti životne sredine. Ovi zakoni pravljeni su na osnovu međunarodnih preporuka i po svojoj formi su savremeni. Međutim, nisu dovoljno usklađeni sa realnom situacijom pa su potrebne određene izmene i dopune, kao i izrada novih aktuelnih akata.

Postavlja se osnovno pitanje, kako ovako razuđeni sistem zaštite od zračenja funkcioniše u praksi, odnosno da li su stanovništvo, profesionalno osoblje i životna sredina zaštićeni od mogućeg štetnog delovanja zračenja. Na žalost, veliki broj primera u bliskoj prošlosti pokazao je da sistem nije funkcionalan i da ga treba značajno izmeniti.

Od značaja je kako se ovi problemi rešavaju u drugim, razvijenijim zemljama. Pošto su od primene zračenja, pored profesionalaca koji tako ostvaruju dohodak, ugroženi i stanovništvo, lokalno ili u celini, kao i životna sredina, jasno je da se radi o nacionalnom problemu koji mora da se reši na nacionalnom nivou. Stoga u većini zemalja postoje nacionalni instituti ili agencije za zaštitu od zračenja koji imaju eksperte iz različitih oblasti potrebnih za uspešan rad. Takvo rešenje je najbolje i za našu zemlju. Cilj ovog rada je upravo da to i obrazloži.

STANJE ZAŠTITE OD ZRAČENJA U NAŠOJ ZEMLJI

Za vreme *udesa u Černobilu* videle su se sve mane sistema zaštite od zračenja još u okviru SFRJ. Prvo se kasnilo u reagovanju, što je veoma važno sa stanovišta uspešnosti delovanja, nisu se znale nadležnosti i obaveze pojedinih institucija, rezultati merenja su bili neusaglašeni, informisanost je bila loša. Posle toga pristupilo se dogradnji sistema zaštite. Međutim, događaji tokom 1999 godine i NATO bombardovanja pokazali su trajne slabosti ovog sistema. To se odnosi, prvo, na mogućnost *bombardovanja reaktora RA u INN Vinča* i korišćenje municije sa osiromašenim uranijumom na našoj teritoriji. U prvom slučaju sistem zaštite nije mogao da profunkcioniše, koordinacija između institucija nije bila dobra, nadležnost saveznih, republičkih, opštinskih i gradskih organa nije bila jasna i predstavljala je smetnju. Tek pred prestanak opasnosti od bombardovanja sistem zaštite se oformio na takav način da je mogao efikasno da deluje. Međutim, vać sada, ovaj sistem ponovo nije u funkciji.

Drugi slučaj odnosi se na *osiromašeni uranijum*. Po prestanku bombardovanja Jugoslavije problem osiromašenog uranijuma je trebao biti rešen. Za to je postojala čak i zakonska obaveza. Međutim, zbog neorganizovanosti, problem je rešavan na više mesta i to najčešće nekompetentno. Samo u situacijama kada se svet zainteresovao za taj problem kod nas se ozbiljno pristupalo njegovom rešavanju. Posle toga, kao i sada, nema ozbiljnog rada.

Status *istraživačkog reaktora RA u INN Vinča* koji već preko 15 godina ne radi dalje pokazuje hronične probleme u ovoj oblasti. Sve to vreme isluženo nuklearno gorivo nalazi se u bazenu pored reaktora, što predstavlja najveću opasnost pri eventualnom akcidentu. To je direktno u vezi sa gradnjom *odlagališta* za ovakvu vrstu otpada. Ni ovaj problem se neće rešiti dok se jasno ne definišu obaveze i odgovornosti svih činilaca u državi. Nacionalni izstitut za zaštitu od zračenja sa jasno definisanim statusom, obavezama i pravima, uz rešeno finansiranje, može najefikasnije da rešava i da reši ovakve probleme.

Radioaktivni gromobrani, iako je sadašnjim i prethodnim zakonom o zaštiti od zračenja naloženo njihovo skidanje, još uvek su prisutni. Dobrom organizaciom ovaj problem se može rešiti u kratkom roku, a ne kao do sada namernim odugovlačenjem.

Nerešenih primera iz oblasti zaštite od zračenja ima još. Jedno od takvih je i postojanje veće količine *radijumskih igala* u Institutu za onkologiju. Ne postoje nikakvi opravdani razlozi da se ove igle ne prebace u INN Vinča na sigurnije mesto. Stanje *opreme za rentgen dijagnostiku* i *nuklearnu medicinu*, kako sa stanovišta kvaliteta dijagnostike, tako i sa stanovišta zaštite od zračenja, je znatno ispod nivoa razvijenih zemalja. Na tim pitanjima se nedovoljno radi.

Još od udesa u Černobilu pristupilo se izradi *sistema rane najave nuklearnih udesa* u našoj, a pogotovo susednim zemljama koji mogu da ugroze našu zemlju. Većina zemalja je taj problem režila i samostalno i u okviru evropske mreže. Kod nas, problem je ostao na novou diskontinualnog merenja jačine doze od strane Saveznog hidrometeorološkog zavoda na njegovim mernim tačkama. Danas se ovo može i mora lako rešiti u okviru interneta i mobilne telefonije.

Radon je zadnjih desetak godina veoma aktuelan u svetu. Njegov doprinos ukupnoj godišnjoj dozi stanovništva je čak oko 50%. Za razliku od drugih fatora, ovako visoki procenat se može znatno sniziti kako konkretnim merama zaštite, tako i regulativom. U našoj zemlji se ovom problemu nikad nije prišlo organizovano, iako postoji kadar i oprema raspodeljeni u više institucija.

Regulativa iz oblasti zaštite od jonizujućeg zračenja u našoj zemlji postoji. Bazira se na međunarodnim preporukama. Ova regulativa nije sasvim uvažila realnu situaciju u našoj zemlji pa često ne obezbeđuje potrebnu zaštitu, a pogotovu ne vodi njenom poboljšanju. Zato je potrebno njeno inoviranje i približavanje zakonodavstvu Evropske unije.

Zaštiti od *nejonizujućeg zračenja* pažnja se poklanja tek zadnjih godina. Regulative u ovoj oblasti gotovo i da nema. U pitanju su lasersko, radarsko, UV i druga elektromagnetska zračenja. Naročito je značajno pitanje zaštite od zračenja kojem je izložena velika populacija ili celo stanovništvo. Svedoci smo razvoja mobilne telefonije. Taj razvoj mora da prati i odgovarajuća zaštita. Ništa manje aktuelna nisu ni pitanja zaštite od UV zračenja koje potiče od sunca.

Ova kratka analiza pokazuje da u oblasti zaštite od zračenja, bez obzira na postojanje obrazovanog kadra i dela opreme, postoji veliki broj nerešenih problema. Njihovo rešavanje je od interesa za celu zemlju. Te probleme može uspešno da reši samo ustanova koja će odgovorno učestvovati u postavljanju regulative, sprovođenju mera zaštite i nadzoru. Takva ustanova je Agencija za zaštitu od zračenja.

NAMENA I ZADACI AZZ-a

AZZ je institucija vlade od nacionalnog značaja.

Osnovni zadatak AZZ-a je zaštita stanovništva i životne sredine od efekata zračenja. Pod pojmom zračenje podrazumeva se i jonizujuće i nejonizujuće zračenje.

Da bi ovaj zadatak ostvario, AZZ treba da ispuni sledeće funkcije:

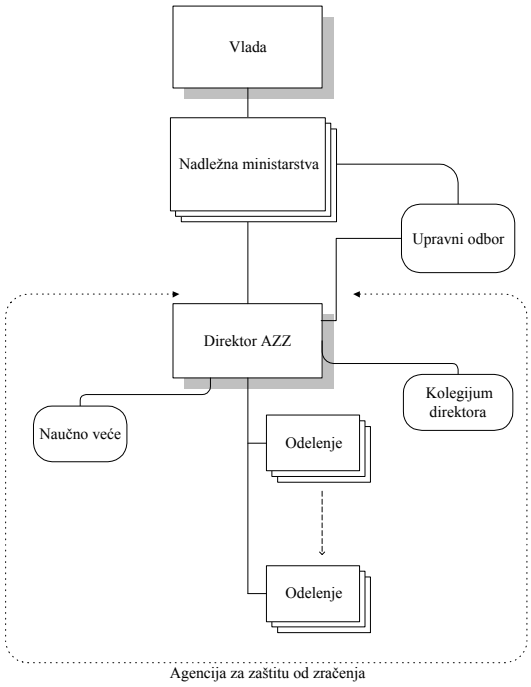
- AZZ je garant da su rizici i korist od primene zračenja utvrđeni i da se mogu porediti.
- AZZ je osposobljen da minimizira rizik za ljude koji rade sa zračenjem
- AZZ postavlja granice doza za stanovništvo i profesionalce i donosi propise (preko vlade) i osigurava njihovo poštovanje (preko inspekcija).

- AZZ obezbeđuje informisanost, obuku, savete i vodi istraživačke projekte vezane za oblast svoje delatnosti.
- AZZ učestvuje u međunarodnim projektima iz ove oblasti.
- AZZ je odgogvorna za koordinaciju delovanja u slučaju udesa vezanih za zračenje (udesi na nuklearnim postrojenjima, posledice vojne primene, izgubljeni izvori i sl.). U okviru toga uspostavlja i koristi sistem rane najave udesa preko mreže stanica u našoj zemlji i inostranstvu.

ORGANIZACIJA AZZ

Organizacija AZZ uslovljena je poslovima kojima se bavi, laboratorijama koje ima u svom sastavu, naučnoistraživačkim projektima koje vodi i poslovima koji donose prihod. U daljem tekstu predlaže se organizacija AZZ koja vodi računa o ovim kriterijumima.

Vlada Republike Srbije preko nadležnog ministarstva, a uz saradnju sa ministarstvima čija je problematika rada usko vezana sa primenom zračenja (zdravstvo, ekologija, industrija, poljoprivreda, ...), formira Agenciju za zaštitu od zračenja. Za praćenje rada ove agencije Vlada imenuje i Upravni odbor sa 5 do 8 članova. Njegov osnovni zadatak je kreiranje poslovne politike AZZ i praćenje poslovanja.



Slika 1. Spoljašnja i unutrašnja organizaciona šema AZZ

Sama AZZ sastoji se od više odelenja kojima rukovode direktori odelenja. Direktore odelenja, kao i njihove zamenike imenuje Direktor AZZ-a. U svakom odelenju formira se Kolegijum odelenja.

Svi direktori odelenja čine Kolegijum Direktora AZZ. Njime rukovodi Direktor AZZ-a. Osnovni zadatak ovog Kolegijuma je kreiranje poslovne politike AZZ-a, predlaganje planova rada i njihova realizacija.

U okviru AZZ formira se Naučni kolegijum kojeg čine *svi* doktori nauka sa naučnim zvanjima. Naučni kolegijum predlaže, prati i ocenjuje naučne projekte iz delatnosti AZZ-a.

Organizaciona šema AZZ prikazana je na sl.1.

U sastavu AZZ nalaze se sledeća odeljenja. U sastavu nekih odelenja nalaze se i laboratorije za čiji posao je odgovoran Rukovodilac laboratorije.

I. DOZIMETRIJA
II. LIČNA DOZIMETRIJA
   A. TLD laboratorija
III. NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA
   A. Laboratorija za nejonizujuća zračenja
IV. ŽIVOTNA SREDINA
   A. Gama spektrometrijska laboratorija
   B. Laboratorija niskih aktivnosti
   C. Laboratorija za radon
   D. Radiohemijska laboratorija
   E. Automatski sistem monitoringa okoline
V. NADZOR
VI. RADIOAKTIVNI OTPAD
VII. ZRAČENJA U MEDICINI
VIII. METROLOGIJA
   A. Metrološka laboratorija
IX. NUKLEARNE INSTALACIJE (reaktori, akceleratori)
X. MEDICINSKA ZAŠTITA
   A. Biološki monitoring
   B. Brojač celog tela (WBC)
XI. KONSALTING I OBUKA

ZAKONODAVSTVO I STANDARDIZACIJA

XII. ADMINISTRACIJA I BAZA PODATAKA

Broj zaposlenih potrebnih za normalno funkcionisanje AZZ iznosi 100 – 150 od koji su većina eksperti u svojim oblastima.

FINANSIRANJE

Finasiranje AZZ treba da bude dvojako. Država treba da odvoji u budžetu onoliko sredstava koliko je potrebno za obezbeđenje osnovnih funkcija AZZ. U okviru ovih sredstava nalaze se i sredstva za naučno-istraživački rad iz ove oblasti.

Drugi deo finansiranja treba da ostvari sama AZZ kroz naplatu inspekcijskih poslova i kroz pružanje usluga vezanih za osiguranje kvaliteta i obuku. Ti poslovi su:

- Usluge sistema lične dozimetrije (TLD ili film)
- Kontrola graničnih prelaza

- Kontrola namirnica, vode i robe široke potrošnje
- Skidanje radioaktivnih gromobrana
- Medicinski pregledi osoba koje rade sa izvorima zračenja
- Usluge metrološkog obezbeđenja – kalibracija i baždarenje
- Kontrola Rentgen aparata, gama kamera i tomografa
- Kontrola industrijskih izvora zračenja (radioizotopi i rentgen aparati)
- Obavljanje poslova za potrebe VJ (ABHO služba)
- Konsalting
- Obuka

Kako ova sredstva budu rasla tokom uspostavljanja prave funkcije AZZ, tako se mogu smanjivati sredstva koja država daje iz budžeta.

ZAKLJUČAK

U Jugoslaviji postoji značajna primena zračenja u medicini, istraživanju i industriji.

Postoji više nerešenih problema zaštite ljudi i životne sredine čije rešavanje je aktuelno. Jedan od bitnih faktora postojanja tih problema jeste glomazna, razuđena, nefunkcionalna i skupa organizacija.

Da bi se ovi problemi mogli efikasno rešiti potrebno je, po ugledu na razvijene zemlje, formirati Agenciju za zaštitu od zračenja. Time se smanjuju troškovi države za ovu oblast uz povećanje efikasnosti zaštite.

Formiranje AZZ je neophodan preduslov za prihvatanje normi Evropske zajednice u oblasti zaštite od zračenja.

U ovom projektu dat je predlog ovakve agencije koji je optimalan za našu zemlju sa stanovišta rešavanja svih problema uz minimalne ukupne izdatke za državu.

AZZ može da bude potpuno nezavisna institucija ili pak u okviru neke od postojećih kuća koje se bave ovom problematikom.

ABSTRACT

RADIATION PROTECTION AGENCY

M.Orlić, Ž.Ilić, O.Čuknić
"Vinča" Institute of Nuclear Sciences

In Yugoslavia exist significant application of ionising and non ionising radiation in medicine, industry and science. A lot of specialist from different institutions work in the radiation protection field. Government cost for that are not negligible, and protection level is not appropriate. In the critical cases the radiation protection system failed. That's happened in the case of Chernobil accident as well as in the case od depleted ammunition application in Yugoslavia.

The only possibility to solve this situation is forming a national radioation protection agency. All reasons for that are analized in this paper. All agency goals and tasks, organisation and finance are presented too.

MEĐUNARODNI STANDARDI U OBLASTI ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

R. Kljajić, Z. Mašić, M. Kovačević[1], R. Mitrović[2]
Naučni institut za veterinarstvo, Novi Sad
[1]Institut za nuklearne nauke, Vinča
[2]Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd

SADRŽAJ

Jonizujuća zračenja i radioaktivne materije su prirodne i stalne odlike životne sredine, pa se zato rizici povezani sa zračenjem u svim njenim oblicima mogu ograničiti, ali ne i potpuno eliminisati. Osim toga, široko je rasprostranjeno korišćenje izvora zračenja koje je čovek stvorio. Zbog toga je bitno da aktivnosti koje uključuju izloženost zračenju, kao što su korišćenje izvora zračenja i radioaktivnih materijala, rukovanje nuklearnim instalacijama i upravljanje radioaktivnim otpadom, budu predmet određenih bezbednosnih standarda da bi se zaštitile osobe koje su izložene zračenju i da bi se sačuvala životna sredine. U tom smislu većina razvijenih zemalja je u sradnji sa međunarodnim organizacijama pristupila izgradnji integralnog sistema zaštite od zračenja i razvoju bezbednosnih standarda. U radu je razmatrann program i iskustva Evropske Unije u ovoj oblasti.

UVOD

Još u ranim ispitivanjima rendgenskih zraka i radioaktivnih minerala uočeno je da izloženost visokim dozama zračenja može da izazove kliničko oštećenje tkiva ljudskog organizma. Osim toga, dugoročna epidemiološka ispitivanja stanovništva izloženog zračenju, naročito preživelih posle atomskog bombardovanja Hirošime i Nagasakija u Japanu 1945, pokazala su da izloženost zračenju takođe može da dovede do zakasnele indukcije malignih oboljenja.

Nuklearne tehnike se sve više koriste u industriji, poljoprivredi, medicini i mnogim poljima istraživanja, pružajući korist stotinama miliona ljudi i zapošljavajući milione ljudi u srodnim zanimanjima. Korišćenje nuklearne energije i primene njenih nusproizvoda, u stalnom je porastu širom sveta (oko 17% ukupne proizvodnje električne energije u 1992. godini bilo je od nuklearne energije). Izvori jonizirajućeg zračenja su neophodni u savremenoj zdravstvenoj zaštiti: raspoloživ medicinski pribor sterilizovan intenzivnim zračenjem ima centralno mesto u borbi protiv bolesti, radiologija je bitno dijagnostičko oruđe, radioterapija je sastavni deo tretmana malignih oboljenja. Sterilizacija zračenjem se koristi širom sveta da bi se sačuvale namirnice i smanjili gubici, a sterilizacione tehnike se koriste za suzbijanje bolesti koje donose insekti i štetočine.

Industrijska radiografija se rutinski koristi, npr. za ispitivanje zavarenih šavova i otkrivanje pukotina.

Svakako da ovako široka upotreba izvora zračenja nosi sa sobom i određeni rizik. Zato prihvatanje rizika od zračenja od strane društva treba pravdati koristima koje pruža njegovo korišćenje. Međutim, ti rizici se moraju ograničiti i potrebno je zaštititi se od njih primenom bezbednosnih standarda i njihovo usklađivanje na međunarodnom planu, odnosno izgraditi integralni sistem zaštite. Integralni sistem zaštite od zračenja podrazumeva izradu međunarodnih Osnovnih bezbednosnih standarda za zaštitu od jonizujućih zračenja i za bezbednost izvora zračenja sa ciljem da se utvrde osnovni zahtevi za zaštitu od rizika povezanog sa izlaganjem jonizujućim zračenjima i za bezbednost izvora zračenja, koji mogu da dovedu do te izloženosti.

OSNOVE ZA IZRADU MEĐUNARODNIH STANDARDA

Međunarodni standardi počivaju na informacijama izvedenim iz obimnog istraživanja i razvoja naučnih organizacija na nacionalnom i internacionalnom nivou, na dejstvu jonizujućih zračenja na zdravnje i tehnikama za bezbedan dizajn i funkcionisanje izvora zračenja i na iskustvu mnogih zemalja u korišćenju zračenja i nuklearnih tehnika. Naučni komitet za efekte atomske energije i zračenja pri Ujedinjenim nacijama (UNSCEAR), telo koje su UN osnovale 1955. godine, sastavlja, procenjuje i širi informacije o dejstvu zračenja na zdravlje i o nivou izloženosti zračenju iz različitih izvora. Navedene informacije služe kao osnova pri razvijanju Standarda bezbednosti.

Sledeći međunarodnu tradiciju, Standardi se pre svega zasnivaju na preporukama Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP). To je nevladina naučna organizacija osnovana 1928. da bi odredila osnovne principe i preporuke u oblasti zaštite od zračenja. Osim toga, što se tiče bezbednosti, Standardi uzimaju u obzir principe koje preporučuje Međunarodna savetodavna grupa za nuklearnu bezbednost (INSAG), koja pod pokroviteljstvom Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) razvija koncepte za nukearnu bezbednost od 1985. Tako su naprimer utvrđeni Osnovni bezbednosni principi za nuklearne eletrane, a mnogi od tih principa se odnose i na druge izvore zračenja i druge instalacije.

Kao izvorni materijal takođe su korišćeni Standardi, uputstva i preporuke drugih organizacija kao naprimer oni koje je izdala zajedinička FAO/WHO Codex Alimentarins komisija. Osim toga, u vezi sa nuklearnim elektranama i upravljanjem radioaktivnim otpadom Standardi su upućeni na IAEA Standarde za nukelarnu bezbednost (NUSS), kao i IAEA Standarde za upravljanje radioaktivnim otpadom (RADVASS).

Iako su Standardi razvijeni samo za zaštitu ljudi, podrazumeva se da će standardi za zaštitu, koji su adekvatni za tu svrhu, obezbediti da nijedna druga vrsta ne bude ugrožena kao ni populacija u celini, čak ako pojedini primerci unutar vrste budu ozračeni.

Generalna politika Standarda je da se specifikuju osnovni zahtevi za zaštitu ljudi i životne sredine od neprihvatljivog izlaganja zračenju, bez sprečavanja opravdanog korišćenja zračenja i nuklearnih tehnika. Sledeći ovu politiku, glavni cilj primene Standarda je da se spreče deferminističke posledice zračenja i da se ograniči verovatnoća pojave stohastičkih posledica. To treba učiniti održavanjem očekivanih doza zračenja na nižem nivou od nivoa praga za deferminističke posledice, ispod specifičnih limita doza i u svakom slučaju niske onoliko koliko se to razumno može postići pod uslovima koji u tom momentu vladaju, kao i ograničavanjem verovatnoće ozračenosti dozama jonizujućih zračenja usled potencijalne izloženosti do koje može, ali nije sigurno da će doći.

Čisto naučna razmatranja su, međutim, samo deo osnove za odluke u vezi sa zaštitom i bezbednošću, a Standardi implicitno podstiču donosioce odluka da donose sudove zasnovane na ličnim merilima o relativnoj važnosti različitih vrsta rizika i o ravnoteži rizika i koristi. Standardi ukazuju da je zračenje samo jedan od mnogih izvora rizika u životu i da rizike povezane sa zračenjem ne treba meriti samo u odnosu na korist, već ih posmatrati i u perspektivi sa rizicima iz drugih izvora.

PRIMENA STANDARDA

Ljudske aktivnosti koje doprinose većoj izloženosti zračenju od one koju ljudi normalno primaju usled pozadinskog zračenja, ili povećavaju verovatnoću ozračivanja u Standardima nazivaju se "prakse ili postupci", a ljudske aktivnosti kojima se smanjuje postojeća izloženost zračenju ili postojeća verovatnoća ozračivanja nazivaju se "intervencije".

Standardi se primenjuju u početku i tokom postupaka koji sobom kao posledicu donose, ili bi mogli da donesu, izloženost zračenju, tako i za postojeće, de-fakto situacije, gde se izloženost zračenju ili njena verovatnoća mogu smanjiti ili isključiti pomoću neke intervencije. Za "postupak", mere za zaštitu od zračenja i bezbednost mogu da se donesu pre njegovog početka, a izloženost zračenju i njena verovatnoća mogu se ograničiti od početka. U slučaju "intervencije", okolnosti koje izazivaju izloženost zračenju ili njenu verovatnoću već postoje, a njihovo smanjenje može se postići samo posredstvom dodatnih ili zaštitnih akcija.

Postupci za koje su Standardi namenjeni uključuju aktivnosti koje obuhvataju korišćenje jonizujućih zračenja i radioaktivnih materija u istraživanju, industriji, medicini, poljoprivredi, proizvodnji električne energije preko nuklearne energije, uključujući i čitav niz delatnosti koje su s tim povezane, od iskopavnja radioaktivnih ruda do manipulacije nuklearnim reaktorima i drugim nuklearnim objektima za nuklearno gorivo, kao i do upravljanja radioaktivnim otpadom, takođe aktivnosti kao što je kopanje uglja i fosfatnih i drugih minerala, koje može da poveća izloženost zbog radioaktivnih materija koje se prirodno javljaju. Situacije koje mogu zahtevati intervenciju uključuju: hroničnu izloženost prirodnim izvorima zračenja, kao što je radon u prebivalištima, i radioaktivnim ostacima od prošlih aktivnosti i događaja, privremenu izloženost koja može da potiče od akcidenata ili nedostatka bezbednosti kod postojećih instalacija.

Praktično je izvesno da će do nekih izloženosti zračenju doći usled izvođenja "postupaka" i da će njihove magnitude biti predvidljive, čak i ako će do izvesnog stepena biti neizvesne: Standardi upućuju na te očekivane izloženosti kao na "normalne izloženosti". Takođe, mogu se predpostaviti scenariji izloženosti kod kojih je izloženost zračenju potencijalna i nije sigurno da će zista do nje i doći, takve neočekivane ali moguće izloženosti nazivaju se "potencijalne izloženosti". Potencijalne izloženosti mogu postati stvarne izloženosti ako dođe do neočekivane situacije. To se može desiti kao posledica kvara na opremi, konstrukcionih ili operativnih grešaka ili nepredviđenih promena uslova životne sredine na mestu za odlaganje radioaktivnog otpada. Ako se može predvideti pojava tih događaja, može se proceniti verovatnoća njihove pojave, kao i izloženost zračenju koja odatle proizlazi.

Mere koje Standardi preporučuju za kontrolu normalne izloženosti je restrikcija doza koje ljudi mogu primiti. Mera za kontrolu potencijalne izloženosti je pre svega dobar projekat instalacija, opreme i operativnih postupaka. Te mere imaju za cilj da ograniče

verovatnoću pojave događaja koji bi mogli dovesti do neplanirane izloženosti i da redukuju magnitude izloženosti do koje može doći, ako bi se takvi događaji javili.

Za pojedince, relevantna izloženost zračenju koju pokrivaju Standardi obuhvata izloženost radnika na poslu, pacijenata pri medicinskom tretmanu i dijagnostici, kao i populacije u celini. Izloženosti se, prema tome, dele na 3 tipa:

"profesionalne izloženosti" do kojih dolazi na poslu, i pre svega kao rezultat rada,

"medicinske izloženosti", koje su u osnovi izloženosti pacijenata pri dijagnostici i tretmanu,

"javne izloženosti " koje uključuju sve ostale izloženosti.

Namera Standarda je da obuhvata sve ljude koji mogu biti izloženi zračenju, uključujući i one iz budućih generacija na koje bi mogli štetno da deluju današnji postupci ili intervencije.

OSNOVNI PRINCIPI STANDARDA

Principi zaštite od zračenja i bezbednosti, na kojima su bazirani Standardi, su oni koji su razvijeni od strane ICRP-a i INSAG-a, a obuhvataju:

1. Sigurno društvo treba da zna da reguliše stavove i ponašanje u skladu sa zaštitom i bezbednošću svih pojedinaca i organizacija koji su u kontaktu sa izvorima zračenja.
2. Lice legalno ovlašćeno da se angažuje u postupku koji uključuje izvor zračenja treba da snosi primarnu odgovornost za zaštitu i bezbednost, ta osoba naročito treba da snosi primarnu odgovornost za ispunjavanje zahteva svih relevantnih standarda za zaštitu i bezbednost.
3. Postupak koji zahteva ili bi mogao zahtevati izloženost zračenju trebalo bi usvojiti jedino onda ako donosi dovoljno koristi izloženim pojedincima, odnosno taj postupak mora biti opravdan.
4. Pojedinačne doze usled kombinacije svih releventnih postupaka ne bi trebalo da pređu specifikovane limite doza.
5. Izvore zračenja i instalacije treba opremiti najboljom mogućom zaštitom i merama bezbednosti u postojećim okolnostima, tako da magnitude i verovatnoća izloženosti i broj izloženih pojedinaca budu što manji i da se socijalni faktori uzmu u obzir i budu u granicama specifikovanih doza i rizika, odnosno zaštitu i bezbednost treba optimizovati.
6. Temeljne zaštitne mere treba ugraditi u projektne i operativne postupke za izvore zračenja da nadoknade potencijalne greške kod mera zaštite ili bezbednosti.
7. Zaštita i bezbednost treba da budu osigurani ispravnim rukovođenjem i inženjeringom, obezbeđivanjem kvaliteta, usavršavanjem i kvalifikovanjem osoblja, obuhvatnom procenom bezbednosti i saznanjima iz iskustva i istraživanja.
8. Izloženost zračenju usled izvora zračenja koji nisu deo "postupka" treba smanjiti intervencijom kada je to opravdano, a intervencione mere treba optimizovati. Moguće mere intervencije treba planirati u odnosu prema svim postupcima koji povećavaju potencijalni rizik od izloženosti koje bi mogle zahtevati intervenciju.

Neodvojiv deo ovih principa je generalni princip da postupci treba da sačuvaju prirodno stanje životne sredine.

Iako je najveći deo zahteva koje postavljaju Standardi kvalitativne prirode, Standardi takođe određuju kvantifativna ograničenja i preporučljive nivoe doza zračenja i specifičnih nivoa aktivnosti radionuklida. Ukupan uticaj izloženosti zračenju usled određenog postupka ili izvora zavisi od broja izloženih pojedinaca i doze koju prime. Kolektivna doza, koja se definiše kao zbir posledica prosečnih doza kod različitih grupa izloženih ljudi i broja pojedinaca u grupi, se koristi za karakterizaciju uticaja zračenja nekog postupka ili izvora.

DRŽAVNI PROPISI I INFRASTRUKTURA

Standardi imaju za cilj da postave zahteve licima koja su legalno ovlašćena da vode postupke koji dovode do izloženosti zračenju ili da intervenišu da se smanji postojeća izloženost. Te osobe snose primarnu odgovornost za primenu Standarda. Vlada i državni organi, međutim, imaju odgovornost za uvođenje Standarda u praksu, obično preko regulatornog sistema koji uključuje i nadzorni sistem vlasti. Osim toga, Vlade obično obezbeđuju određene neophodne preduslove i infrastrukturne podloge za bezbednost od zračenja, kao i intervencije koje premašuju ili treba da dopune sposobnosti legalno ovlašćenih lica za vođenje postupaka. Zbog toga se Standardi baziraju na pretpostavci da je nacionalna infrastruktura takva da ispunjava državnu odgovornost za zaštitu od zračenja i bezbednost.

Neophodni delovi nacionalne infrastrukture za zaštitu su: zakonodavstvo i propisi, nadzorna vlast ovlašćena da nadgleda i kontroliše regulisane aktivnosti i da primenjuje zakone i propise, dovoljno resursa i adekvatan broj obučenog osoblja. Ona takođe obezbeđuje načine i sredstva da se posveti društvenim brigama koje premašuju odgovornosti lica koja su legalno ovlašćena da vode postupke koji su povezani sa izvorima zračenja. Na primer, nacionalne vlasti moraju osigurati da se izvrše određeni aranžmani za otkrivanje koncentracija rdioaktivnih materija u životnoj sredini, za odlaganje radioaktivnog otpada i za pripremanje intervencija, naročito za vreme vanrednih situacija koje mogu rezultirati izloženošću populacije zračenju. Takođe će možda morati da obezbede kontrolu određenih izvora zračenja, za koje nijedna druga organizacija nije odgovorna, kao što su npr. prirodni izvori i radioaktivne materije iz prošlih "postupaka".

U okviru nacionalne infrastrukture, odgovorne osobe, moraju da prave adekvatne aranžmane za obrazovanje i usavršavanje stručnjaka za zaštitu od zračenja i bezbednost, kao i za razmenu informacija između stručnjaka. Slična odgovornost je i odgovarajući način informisanja javnosti, njenih predstavnika i informativnih medija o zdravstvenim i bezbedonosnim aspektima aktivnosti koje uključuju izloženost zračenju, kao i o regulativnim postupcima. To obezbeđuje informaciju za politički proces postavljanja nacionalnih prioriteta i lociranje resursa za zaštitu i bezbednost, a takođe pomaže da se regulacioni proces učini razumljivijim.

Nacionalna infrastruktura treba takođe da obezbedi uređaje i usluge, koji su neophodni za odgovarajuću zaštitu od zračenja i bezbednost, ali premašuju mogućnosti osoba ovlašćenih da vode postupke. Ti uređaji i usluge obuhvataju i one koji su potrebni za intervenciju, ličnu dozimetriju i monitoring životne sredine, kao i one za kalibraciju i međusobno poređenje opreme za merenje zračenja. Usluge mogu da obuhvate i obezbeđivanje centralnih registara evidencije profesionalne izloženosti, kao i informacije o pouzdanosti opreme. Obezbeđivanje takvih usluga na nacioanlnom nivou ne umanjuje krajnju odgovornost za bezbednost od zračenja koju snose osobe ovlašćene da vode postupke.

Potpuno i tačno sprovođenje Standarda zahteva da nacionalne Vlade odrede nadzorni organ koji reguliše uvođenje i vođenje svih postupaka koji uključuju izvore zračenja. Takav nadzorni organ treba da poseduje dovoljno ovlašćenja i resursa za efikasno regulisanje i njegove odluke treba da budu nezavisne od svih vladinih ministarstva i društava koji su odgovorni za uvođenje i razvoj postupaka koji se nadziru. Nadzorna vlast-organ, takođe treba da bude nezavisna od onih koji vrše registraciju, onih koji imaju odobrenja vlasti, kao i od projektanata i konstruktora izvora zračenja koji se koriste u postupku. Razdvajanje odgovornosti između nadzorne vlasti i svih drugih strana treba da je jasno, tako da lica koja vrše nadzor zadrže nezavisnost presude i odluke kao bezbednosne vlasti.

Standardi su sastavljeni sa pretpostavkom da je jedan nadležni organ odgovoran za sve aspekte zaštite od zračenja i bezbednosti u zemlji. Tip nadzornog sistema prihvaćenog u nekoj zemlji zavisiće od obima, kompleksnosti i bezbednosnih implikacija postupka i izvora koji se nadziru, kao i od tradicije nadzora u zemlji. Mehanizam za izvođenje nadzornih dužnosti može varirati, od vlasti koje su same sebi potpuno dovoljne do onih koje dodeljuju inspekcije, procene ili druge dužnosti različitih vladinim, javnim ili privatnim agencijama. Nadzorna vlast može takođe biti samoj sebi dovoljna što se tiče stručne ekspertize, ili može konsultovati stručne savetnike i savetodavne odbore.

Osnovne funkcije nadzornih organa uključujući procenu molbi za dozvolu za vođenje postupaka koji iziskuju ili bi mogli da iziskuju izlaganje zračenju, davanje dozvola za takve postupke i izvore povezane sa njima u zavisnosti od određenih specifičnih uslova, periodična inspekcija za saglasnost sa uslovima, primena svih neophodnih akcija za obezbeđivanje saglasnosti sa propisima i standardima.

U tu svrhu, potrebni su mehanizmi za motifikaciju, registraciju i licenciranje izvora unutar postupka, sa odredbom za isključenje ili oslobađanje izvora ili postupaka od nadzornih zahteva pod određenim okolnostima. Odredba je takođe potrebna za nadgledanje, monitoring, pregled, verifikaciju i inspekciju izvora, kao i za obezbeđivanje postojanja adekvatnih planova za sanaciju akcidentalnih situacija izazvanih zračenjem i vršenje hitnih intervencija. Trebalo bi proceniti efikasnost mera za zaštitu od zračenja i bezbednost za svaki odobren izvor, kao i ukupni potencijalni uticaj svih odobrenih izvora na zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Ovlašćenja inspektora nadzorne vlasti treba da budu dobro definisana i treba sačuvati doslednost primene, sa mogućnošću žalbe onih koji su odgovorni za izvore. Direktive inspektorima i nadziranim licima treba da budu jasne. Nadzorne vlasti treba nekad da obezbede uputstva kako određeni nadzorni zahtevi treba da se ispune za različite postupke, npr. u dokumentima nadzornih direktiva. Trebalo bi negovati otvorenost i kooperaciju između nadziranih lica i inspektora, što uključuje olakšavanje pristupa inspektorima do objekata i do informacija.

Dodatna odgovornost nadzorne vlasti je da na sve uključene strane prenese bezbednosnu kulturu koja uključuje: individualno i kolektivno angažovanje radnika, rukovodstva i inspektora radi bezbednosti, odgovornost svih pojedinaca za zaštitu i bezbednost, uključujući pojedince na korporativnom i upravljačkom nivou, i mere koje podstiču postavljanje pitanja i izgradnju stavova, a odvraćaju od samozadovoljstva. Nadležna vlast i nadzirana lica treba da podnesu odgovarajući izveštaj o generalnom iskustvu i novim kretanjima u zaštiti od zračenja i bezbednosti izvora.

ZAKLJUČAK

Standardi podrazumevaju da osnovni zahtevi za zaštitu od zračenja i za bezbednost izvora zračenja budu sprovedeni u svim aktivnostima koje uključuju izloženost zračenju. Zahtevi imaju snagu koja je izvedena iz statutarnih odredbi međunarodnih organizacija. Oni ne zahtevaju da države budu obavezne da usklade svoje zakonodavstvo sa njima, niti imaju nameru da zamene odredbe nacioanlnih zakona ili propisa ili standarde koji su na snazi. Njihov cilj je da služe kao praktičan vodič za državnu vlast i službe, zaposlene radnike, lica za specijalizovanu zaštitu od zračenja, preduzeća i odbore za bezbednost i zdravlje. Zahtevi postavljaju osnovne principe i ukazuju na različite aspekte koje treba da obuhvati efikasan program zaštite od zračenja. Oni se ne moraju primenjivati takvi kakvi jesu u svim zemljama i područjima, ali ih treba interpretirati tako da se uzimaju u obzir lokalne situacije, tehnički resursi i uređaji, faktori koji će odrediti potencijal primene.

Standardi obuhvataju širok dijapazon postupaka i izvora koji izazivaju ili mogu da izazovu izloženost zračenju, i zbog toga su mnogi zahtevi formulisani opštim rečima. Sledi da se svaki zahtev može ispunjavati različito za različite tipove postupaka i izvora, prema prirodi operacija i potencijalu izloženosti. Neće svaki zahtev važiti za svaki postupak ili svaki izvor, i na odgovarajućoj nadzornoj vlasti je da odredi koji od zahteva je primenjiv u svakom pojedinačnom slučaju.

U cilju stvaranja uslova za unpređenje sistema zaštite od zračenja na nivou naše države i uključivanja u međunarodne tokove bilo bi neophodno osnovati Agenciju za zaštitu od zračenja i bezbednost izvora koja bi organizovala efikasan i jedinstven sistem uz doslednu primenu ovih međunarodnih standarda.

PREGLED VAŽNIJIH MEĐUNARODNIH PROPISA

a) Međunarodne konvencije

1. Convention on Nuclear Safety
2. The Vienna Convention (21 May 1963) on Civil Liability for Nuclear Damage and Joint Protocol on the Application of the Vienna Convention and of the Paris Convention
3. Protocol on the Amendment of the Vienna Convention (1963) on Civil Liability for Nuclear Damage
4. The Vienna Convention on Physical Protection of Nuclear Materials (1979)
5. Convention on Operative Information about Nuclear Accident (1986)
6. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (signed on 30 September 1997)
7. Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage (signed on 30 September 1997)

b) Regulativa Evropske Unije

1. Radiation protection provisions of the Euratom Treaty

- Commission Recommendation of 26 July 1991 on the application of the third and fourth paragraphs of Article 33 of the Euratom Treaty.

- Commission Recommendation of 6 December 1999 on the application of Article 37 of the Euratom Treaty.
- Commission Recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as a whole.

2. Basic Safety Standards

- Council Directive of 15 July 1980 amending the Directives laying down the basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation.
- Council Directive of 3 September 1984 amending Directive 80/836/EURATOM as regards the basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation.
- Communication from the Commission concerning the implementation of Council Directives 80/836/EURATOM and 84/467/EURATOM of 3 September 1984 amending Directive 80/836/EURATOM.
- Council Directive of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation.
- Communication from the Commission concerning the implementation of Council Directive 96/29/Euratom.

3. Radiation Protection in the medical field

- Council Directive of 3 September 1984 laying down basic measures for the radiation protection of persons undergoing medical examination or treatment.
- Council Directive 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. (OJ L-180 of 09/07/97 page 22) ** repealed with effect from 13 May 2000 and replaced by Council Directive 97/43/Euratom

4. Radon

- Commission Recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon.

5. Information

- Council Decision of 14 December 1987 on Community arrangements for the early exchange of information in the event of a radiological emergency.
- Council Directive of 27 November 1989 on informing the general public about health protection measures to be applied and steps to be taken in the event of a radiological emergency.
- Commission Communication on the implementation of Council Directive 89/618/EURATOM.

6. Contamination of foodstuffs and feedingstuffs

6.1. Post-Chernobyl

- Council Regulation of 22 March 1990 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power-station.
- Council Regulation of 20 March 2000 amending Regulation (EEC) No 737/90 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power station.
- Commission Regulation of 24 July 2000 establishing a list of products excluded from the application of Council Regulation (EEC) No 737/90 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power station.
- Commission Regulation of 27 July 1999 laying down detailed rules for the application of Council Regulation (EEC) No 737/90 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power-station.
- Commission Regulation of 24 July 2000 amending Regulation (EC) No 1661/1999 laying down detailed rules for the application of Council Regulation (EEC) No 737/90 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power station.

6.2. Future accidents

- Council Regulation of 22 December 1987 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.
- Council Regulation of 18 July 1989 amending Regulation 87/3954/EURATOM laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.
- Commission Regulation of 29 March 1990 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.
- Commission Regulation of 12 April 1989 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination in minor foodstuffs and of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.
- Council Regulation of 18 July 1989 on the special conditions for exporting foodstuffs and feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.

7. Outside workers

- Council Directive of 4 December 1990 on the operational protection of outside workers exposed to the risk of ionizing radiation during their activities in controlled areas.

8. Shipments of radioactive waste and substances

- Council Directive of 3 February 1992 on the supervision and control of shipments of radioactive waste between Member States and into and out of the Community.

- Communication concerning Council Directive 92/3/EURATOM.
- Commission Decision of 1 October 1993 establishing the standard document for the supervision and control of shipments of radioactive waste referred to in council Directive 92/3/EURATOM.
- Council Regulation of 8 June 1993 on shipments of radioactive substances between Member States.
- Communication concerning Council Regulation (Euratom) No 1493/93.

ARGUMENTI ZA FORMIRANJE PROGRAMA NUKLEARNI REAKTORI I RADIOAKTIVNI OTPAD

I. Plećaš, M. Pešić, R. Pavlović, M. Mataušek
Institut za Nuklearne Nauke "Vinča"

SADRŽAJ

U radu su dati podaci o trenutnom stanju kao i argumenti za preduzimanje hitnih mera za saniranje ozbiljnih ekoloških problema koji se odnose na nedefinisano stanje reaktora RA, bazena sa istrošenim gorivom, privremenog stokirališta za radioaktivni otpad u krugu Instituta Vinča, kao i osavremenjivanje reaktora nulte snage, RB. Predlaže se formiranje nacionalnog naučnog Programa koji bi obuhvatio sve nuklearne probleme i argumentovano se predlažu osnovna četiri zadatka.

UVOD

U Institutu "Vinča"nalaze se dva nuklearna reaktora- Reaktor RA i Reaktor RB. Reaktor RA je fisioni nuklearni reaktor snage 6,5 MV. On je pušten u pogon 1959. godine, a 1984. godine stavljen je van pogona u cilju rekonstruisanja pojedinih podsistema. Ta rekonstrukcija još uvek nije završena. Istrošeno gorivo se nalazi u bazenu sa vodom u njegovoj neposrednoj blizini. Pre nekoliko godina utvrđeno je da je bazen u lošem stanju i da je nužno da se on hitno sanira. Ta sanacija je otpočela početkom 1996.godine i trebalo bi da bude završena do kraja 2001.godine.Reaktor RB je fisioni nuklearni reaktor nulte snage. On je pušten u pogon 1958.godine, i još uvek se koristi. Posle više konstrukcionih izmena mašina je sada spregnuti brzo-termički reaktor, koji omogućava generisanje različitih neutronskih polja. Može koristiti za osnovna i primenjena istraživanja u neutronskoj fizici, dozimetriji, zaštiti od zračenja i radijacionoj biologiji, i za razvoj nuklearnih tehnika.

PROGRAM NUKLEARNI REAKTORI I RADIOAKTIVNI OTPAD

Nacionalni naučni program NUKLEARNI REAKTORI I RADIOAKTIVNI OTPAD ima karakter razvojnih i primenjenih istraživanja u oblastima primene energije nuklearne fisije, primene neutronskog zračenja, analize sigurnosti i zaštite od jonizujućeg zračenja. Program obuhvata sledeće celine:

1. Trajno stavljanje van pogona Reaktora RA
2. Izgradnja dugotrajnog odlagališta istrošenog goriva Reaktora RA
3. Osavremenjavanje Reaktora RB i projektovanje Reaktora H5B

4. Izgradnja trajnog odlagališta radioaktivnog otpada

Cilj programa NUKLEARNI REAKTORI I RADIOAKTIVNI OTPAD je održavanje postojećeg i formiranje novog naučnog i stručnog kadra u različitim oblastima visoke nuklearne tehnologije. i stvaranje uslova za primenu stečenih znanja.

TRAJNO STAVLJANJE VAN POGONA REAKTORA RA

Reaktor RA zaustavljen je augusta 1984. godine u cilju rekonstrukcije i osavremenjavanja pojedinih sistema i komponenata. S obzirom da zbog niza objektivnih, ali i subjektivnih, razloga reaktor sve do danas nije osposobljen za nastavak rada, predlaže se da se donese odluka o njegovom trajnom zatvaranju. Ovaj predlog je prvenstveno zasnovan na stavu da u Institutu "Vinča" ne postoji tim inženjera koji bi uzeo na sebe odgovornost da ponovo pusti reaktor u pogon, odnosno da ne postoji nijedna grupa naučnika koja pokazuje interes da opremi neki eksperimentalni kanal na reaktoru i da ga koristi u dužem vremenskom periodu. Međutim, i pored toga, u okviru programa trajnog stavljanja van pogona biće razmotrena i mogućnost pretvaranja Reaktora RA u reaktor snage reda nekoliko stotina kW.

Pre nego što se donese odluka o trajnom zatvaranju istraživačkog nuklearnog reaktora treba da budu obavljeni pripremni radovi na organizaciji i planiranju dekomisije, a pre nego što se postrojenje povuče iz upotreba, treba već da budu pripremljeni i detaljni planovi za dekomisiju. Planiranje dekomisije ima za cilj da se identifikuju i definišu osnovni zahtevi koji uključuju: opcije dekomisije; pogodnosti koje se postižu dekomisijom; metode, sredstva i procedure kojima se ove pogodnosti mogu ostvariti; specifikaciju izvora finansiranja, organizacije i odgovornosti; rokove u kojima dekomisija treba da bude sprovedena da bi se postigli postavljeni zadaci. Pošto je definisana globalna strategija dekomisije, pristupa se izradi detaljnog plana koji pokriva sve aspekte dekomisije.

U međuvremenu, dok se ne steknu uslovi za sprovođenje dekomisije, puštanje u rad Reaktora RA na malim snagama moglo bi da predstavlja optimalno rešenje za problem budućeg statusa Reaktora RA, uzevši u obzir raspoloživu količinu svežeg goriva i teške vode, stanje reaktorskih sistema i opreme, kao i postojeći kadar. Radom na malim snagama (250kW) Reaktor RA bi trošio 20 gorivnih elemenata godišnje, te bi u postojećim bazenima za odlaganje bilo mesta za odlaganje dodatnog isluženog goriva za narednih nekoliko godina rada Reaktora RA. Realno je očekivati da će se u tom periodu rešiti problem trajnog smeštaja istrošenog goriva Reaktora RA.

Na malim snagama Reaktor RA bi mogao da radi u jednoj smeni, u toku radnog vremena, a mogao bi se i puštati u rad po potrebi. Postojeći kadar na reaktoru bi se dopunio sa novim kadrovima, modernizovala bi se oprema na horizontalnim eksperimentalnom kanalima i stvorilo bi se kadrovsko jezgro za potrebe nuklearnih nauka i tehnika. I na snazi od 250kW obezbedila bi se maksimalna gustina fluksa neutrona do 10^{13}n/cm^{2}s , što bi bilo dovoljno za proizvodnju nekih radioaktivnih izotopa za potrebe u medicini, biologiji i industriji, dopiranje silicijuma, primenu neutronske radiografije, aktivacionu analizu, izučavanje statike i dinamike atoma kristalne rešetke, faznih prelaza materije u feromagneticima i ferostaticima, koherentnih i nekoherentnih efekata u tečnostima i tečnim metalima, neelastičnog rasejanja termalnih neutrona, ovladavanje eksperimantalnim metodama i verifikaciju teorijskih metoda u oblasti neutronske fizike, fizike nuklearne sigurnosti i zaštite od zračenja.

IZGRADNJA DUGOTRAJNOG ODLAGALIŠTA ISTROŠENOG GORIVA REAKTORA RA

U toku preispitivanja budućeg statusa istraživačkog Reaktora RA konstatovano je da stanje postojećeg privremenog odlagališta isluženog goriva predstavlja ozbiljan sigurnosni problem, koji se mora hitno rešavati. Projekat "Sanacija odlagališta isluženog goriva istraživačkog reaktora RA" formulisan je 1996. godine, kada je počela i njegova realizacija. Program sanacionih radova predviđenih navedenim projektom obuhvata: uklanjanje mulja sa dna bazena, prečišćavanje vode u bazenu i uspostavljanje redovnog nadgledanja i održavanja kvaliteta vode; ispitivanje stanja goriva u čeličnim cevastim kontejnerima, podvodno bušenje aluminijumskih kontejnera i kontrolisano smanjenje očekivanog unutrašnjeg natpritiska, uzimanje uzoraka gasa i vode iz buradi i, na osnovu radiološke i hemijske analize ovih uzoraka, donošenje odluke o načinu daljeg čuvanja aluminijumske buradi. Znatan deo ovih radova već je obavljen, a završetak realizacije projekta planiran je za kraj 1999. godine.

Realizacijom projekta sanacije biće ostvareno poboljšanje uslova smeštaja goriva u postojećem privremenom odlagalištu u smislu da će biti minimizirana dalja korozija i da će biti ustanovljeni strogo praćenje i kontrola svih relevantnih tehnoloških parametara odlagališta. Na taj način biće poboljšane sigurnosne karakteristike odlagališta, odnosno biće svedena na najmanju moguću meru verovatnoća nekontrolisanog ispuštanja fisionih produkata u reaktorsku zgradu ili čak njenu okolinu.

IZGRADNJA TRAJNOG ODLAGALIŠTA RADIOAKTIVNOG OTPADA

Svi radioaktivni otpadni (RAO) materijali, nastali na teritoriji Jugoslavije u toku rada istraživačkih reaktora RA i RB i kao posledica rada na proizvodnji i primeni radioizotopa u medicini, industriji i istraživačkim projektima, privremeno su smešteni na lokaciji INN "Vinča". Ovi RAO materijali su obrađeni i uskladišteni na takav način da ne predstavljaju opasnost po stanovništvo i okolinu. Bezbednosni parametri za uskladišteni RAO, sa stanovišta zaštite od zračenja, zadovoljavaju zakonske propise. Međutim, pri postojećem nivou generisanja i dopremenja RAO materijala, kapacitet privremenog odlagališta moći će da zadovolji potrebe zemlje za period od najviše 4 do 5 godina.

Realizacija programa trajnog odlaganja RAO obuhvata: izgradnju odlagališta za RAO materijale, prevođenje RAO materijala niskog i srednjeg nivoa vezane aktivnosti u imobilisane oblike, solidifikovani RAO monolit, nastao po procesu imobilizacije, dopremanje i smeštaj RAO matriksnog monolita na lokaciju trajnog odlagališta i stvaranje mogućnosti stalne kontrole tretiranog RAO materijala u okviru sistema odlagališta.

Uslov za započinjanje projektantskih i izvođačkih radova na izgradnji trajnog odlagališta RAO je donošenje odluke o traženju lokacije i izboru tipa trajnog odlagališta na nivou Republike Srbije i SR Jugoslavije i definisanje u Prostornom planu Republike Srbije i SR Jugoslavije mogućih lokacija za trajno odlagalište RAO materijala. Zatim sledi sprovođenje istražnih radova na ispitivanju topografije, površinskih karakteristika, geologije, hidrogeologije, seizmike, tektonike, geohemije i geofizike tla, kao i sprovođenje socio-ekonomske i demografske analize, za potencijalne mikro lokacije. Što se tiče tipa trajnog odlagališta, prema kategoriji i vrsti RAO materijala koje je potrebno odlagati, predviđenim tehničko-tehnološkim postupcima njihove obrade, krajnjoj imobilisanoj formi RAO monolita, bezbednosnim kriterijima koje je potrebno zadovoljiti pri odlaganju tretiranog RAO

materijala, te prirodnim karakteristikama mogućih lokacija odlagališta, koncepcija koju treba razmatrati je plitko ukopani ili nadzemni sistem odlagališta RAO materijala.

U cilju obrade nekondicioniranog tečnog i čvrstog RAO materijla različitih nivoa vezane aktivnosti potrebno je dovršiti izgradnju postrojenja predviđenih za tu namenu. RAO materijale, koji su do sada uskladišteni na lokaciji NI "Vinča", treba procesima predtretmana i tretmana prevesti u oblik i do sastava koji obezbeđuje optimalne mogućnosti za vođenje procesa imobilizacije RAO u neaktivne matrikse, bilo na lokaciji Instituta ili na lokaciji trajnog odlagališta. Potrebno je sanirati stanje postojećih kondicioniranih RAO materijala, u smislu njihovog vezivanja u neaktivne matriksne materijale, otporne na uticaj hemijskih, štetnih agenasa i delovanje mehaničkih sila.

ZAKLJUČAK

Definitivno je sigurno da predloženi nacionalni naučni Program koji bi obuhvatio sve nuklearne probleme u INN Vinča treba da bude jedan od prioritetnih projekata koje vlada Republike Srbije treba da finansira u narednom petogodišnjem periodu. Svako dalje odlaganje rešavanja ovih nuklearnih problema zaostalih iz prošlosti biće komplikovaniji i skuplji za rešavanje pogotovo što u Institutu Vinča ima sve manje stručnih kadrova koji bi se aktivno uključili na ovim problemima.

LITERATURA

[1] I. Plećaš, "Radioactive Waste Management in FR Yugoslavia", Plenary lecture, I Regional Symposium "Chemistry and the Environment", Vrnjačka Banja, 25-29.09.1995., Vol.I, p.p.37-46.

[2] I.Plećaš, "Storage and Disposal of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Materials in Europe", Plenary lecture, YUNSC'96, Belgrade, 7-9.10.1996., p.p.603-607.

[3] M. V Mataušek, I. Plećaš, "Present Status and Future Plans forManagement and Storage of Spent Fuel from the RA Research Reactor", Plenary lecture ,IAEA Workshop on Characterization, Management and Storage of Spent Fuel from Research and Test Reactors, IAEA-TEC-DOC, 2000.

[4] Plećaš, M. Mataušek, N. Nešković, " National Nuclear Scientific Program "Plenary lecture, YUNSC'2000, Belgrade, 2-5.10.2000.,(CD) p.p. 21-24

[5] M. Mataušek, Z. Vukadin, I. Plećaš, R. Pavlović, O. Šotić, S. Bulkin, A. Sokolov, A. Morduhai, " Safe Disposal of Research Reactor RA Spent Fuel- Activities, Problems and Prospects " , Plenary lecture, Proceedings on the 3nd International Yugoslav Nuclear Society Conference (YUNSC-2000), Belgrade, Yugoslavia, Oct.2-5, 2000.,(CD) p.p.187-192

ABSTRACT

ARGUMENTS FOR FORMULATION PROGRAM NUCLEAR REACTORS AND RADIOACTIVE WASTE

I. Plećaš, M. Pešić, R. Pavlović, M. Mataušek
The “Vinča” Institute of Nuclear Scieneces

Information on actual status and arguments for urgent actions for solution of serious ecological problems concerning undefined status of RA Reactor, spent fuel storage pool, and intermittent radioactive waste storage in the Vinča Institute, including proposal for modernisation of zero power Reactor RB and design of small low flux ADS are given in this paper.

AKTUELNE ICRP I ICRU VELIČINE U RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI OD SPOLJAŠNJEG ZRAČENJA

A. Janićijević, D. Nikezić[1]
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
[1]Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac

SADRŽAJ

Cilj ovog rada je da predstavi aktuelne ICRP i ICRU veličine koje se koriste u zaštiti od zračenja. Prikazani pregled veličina iz ove oblasti zasnovan je na podacima iz najnovijih Publikacija i ima informaciono – edukacionu svrhu. U jednoj od najnovijih ICRP Publikaciji 74 (Volume 26, izdanje 3-4) diskutovan je sistem veličina u radiološkoj zaštiti od spoljašnjih zračenja koji se sastoji od dve grupe veličina. To su zaštitne i operacione veličine koje su zasnovane na fizičkim veličinama. Pored toga opisana su utežnjavanja na osnovu radijacionih težinskih faktora, w_R, za zaštitne veličine i na osnovu faktora kvaliteta, Q,(baziranog na Q(L) - L vezi) za operacione veličine.

UVOD

Ovaj izveštaj predstavlja rad JOINT TASK grupe na veličinama povezanim sa dozom za radiološku zaštitu od spoljašnjeg ozračivanja, osnovane 1991 god. od Internacionalne komisije za radiološku zaštitu (ICRP) i Međunarodne komisije za jedinice i mere radijacije (ICRU). ICRP je 1990 god. odobrio nove osnovne preporuke koje zamenjuju one iz ICRP 26 (ICRP, 1977) i one sadržane u dopunskim ICRP Publikacija (ICRP, 1978, 1980, 1985). Nove preporuke koje su publikovane u ICRP 60 (ICRP, 1991a) sadrže nove veličine za korišćenje u radiološkoj zaštiti. Zbog toga je potreban pregled većine osnovnih podataka korišćenih u zaštiti od izlaganja izvorima jonizujućeg zračenja, kako spoljašnjih tako i unutrašnjih u odnosu na ljudsko telo. Ovaj rad se odnosi na izloženost spoljašnjoj radijaciji. Karakteristika ICRP 60 je da one predstavljaju značajno odstupanje od ICRP 26 u odnosu za *utežnjavanje* doza zračenja. ICRP 26 koristi *faktor kvaliteta* da bi uračunao razlike u kvalitetu zračenja. ICRU je koristio (i još koristi) faktor kvaliteta u definisanju operacionih veličina. Suprotno preporuci ICRP 26, ICRP 60 koristi *radijacione težinske faktore*, w_R, za definisanje zaštitnih veličina. 14-godišnje aktivnosti ICRP-a (od Publikacije 26 do 60) dale su za rezultat da su se u osnovu konceptualno zaokruženog posla radijacione dozimetrije ugradile preporuke ICRP Publikacije 60. Značajna unapređenja u matematičkim modelima, transportnim računskim programima, i fizičkim bazama su se koristila u pregledu podataka ICRP Publikacije 51 za determinisanje, distribucuju kvaliteta neophodne apsorbovane doze (i veličina koje se odnose na dozu). Prateći redefinisanje postojećih i uspostavljanje novih veličina od strane ICRP-a, ICRU je nastavio da razvija

dozimetrijske veličine koje su prvi put predstavljene 1985.god. ICRU je imao, kao jedan od osnovnih ciljeva, zadatak da razvije međunarodno prihvatljive preporuke za veličine i jedinice zračenja i radioaktivnosti u polju zaštite od zračenja. Jedan od važnijih zadataka ovog rada je da objasni zaključke i efekte ovih promena.

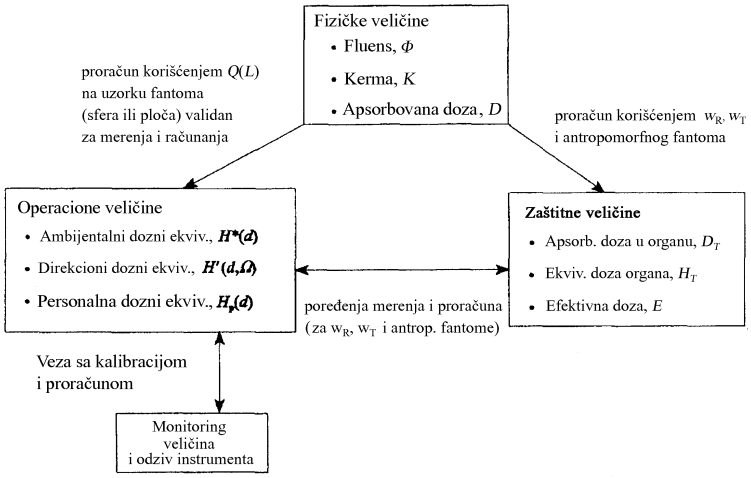
PODELA I DEFINICIJA VELIČINA KOJE SE KORISTE U RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI OD SPOLJAŠNJEG ZRAČENJA

Neke od najranijih radioloških zaštitnih veličina bile su direktno izražene preko veličina polja. Od 1950-god. sledeći uvođenje koncepta kritičnih organa, postoji potreba da se povežu parametri polja zračenja sa apsorbovanom dozom (i drugim veličinama koje se odnose na dozu) unutar ljudskog tela sa uslovima ozračivanja. Istorijski odnos između ova dva skupa veličina je blisko isprepletan. Na osnovu takvih zapažanja definisana su dva skupa veličina koje se koriste za upotrebu u radiološkoj zaštiti: *zaštitne* veličine koje je definisao ICRP i *operacione* veličine koje je definisao ICRU. Zaštitne veličine su se razvile iz koncepta doznog ekvivalenta preko efektivnog doznog ekvivalenta do trenutno preporučene efektivne doze. Operacione veličine su se razvile od maksimuma doznog ekvivalenta (MADE) preko dozno ekvivalentnih indeksa do trenutno predloženih ambijentalnih, direkcionih i personalnih doznih ekvivalenata.

Najnoviji skup zaštitnih veličina preporučenih u ICRP 60 (ICRP, 1991a) predstavljaju: apsorbovana doza u organu ili tkivu D_T, ekvivalentna doza u organu H_T, i efektivna doza za tkivo ili organ E. Ove veličine nisu direktno merljive, ali se mogu izračunati ako su uslovi ozračenja poznati. ICRU je definisao skup operacionih veličina za oblast (areal) i individualni monitoring. Ove veličine su razvijene kao potreba ICRP preporuke u ICRP 26 (ICRP, 1977) i dizajnirane su da pruže procenu zaštitnih veličina, koje su postojale u to vreme (ICRP, 1985, 1993b) i služile su kao kalibracione veličine za dozimetre korišćene u monitoringu. Za monitoring oblasti (areala) odgovarajuće veličine su ambijentalni dozni ekvivalent, H*(d), i direkcioni (upravljeni) dozni ekvivalent H'(d, Ω). Za individualni monitoring, odgovarajuća operaciona veličina je personalni dozni ekvivalent $H_p(d)$, je. Razvoj zaštitnih i operacionih veličina je doveo do sistema korelisanih veličina, koji je prikazan na slici 1.

Fizičke veličine

I zaštitne i operacione veličine su povezane sa fizičkim veličinama kao što su: *fluens*, Φ; *kerma u vazduhu*, K_a; i *apsorbovana doza u tkivu*, D, (ICRU, 1980, 1993b). Fizičke veličine i operacione veličine su osnova za merenje spoljašnjeg zračenja. Nacionalne i internacionalne standardne laboratorije održavaju standarde i referentna radijaciona polja koji su specificirani i opisani preko pojmova ovih veličina za kalibraciju instrumenata i dozimetara. Koeficijenti konverzije koji povezuju operacione i zaštitne veličine sa fizičkim veličinama su računati korišćenjem računarskih transportnih programa i odgovarajućih matematičkih modela. Postoje i proračunati podaci za koje je data numerička veza između fizičkih veličina i zaštitnih i operacionih veličina. Ti odnosi su prikazani u formi tabela u kojima koeficijenti konverzije E/Φ, H/ Φ, E/K_a, i H/K_a povezuju zaštitne i operacione veličine sa fizičkim veličinama.



Slika 1. Veza između veličina za radiološku zaštitu u cilju monitoringa

Fluens čestica u nekoj tački prostora je količnik broja čestica koje padaju na malu sferu oko te tačke i površine poprečnog preseka te sfere.

Kerma (kinetic energy realised in material) je količnik kinetičke energije koje su naelektrisane čestice predale nekom elementu zapremine i mase tog elemetnta zapremine.

Apsorbovana doza. Apsorbovana doza je srednja energija predata jonizujućim zračenjem materiji u nekom elementu zapremine, podeljena sa masom materije u zapremini. Veličina je definisana sa namerom pružanja fizičke mere koja je korelisana sa efektima jonizujućeg zračenja. Na primer, definisana je u tačkama u tkivima ili organima ljudskog tela ili fantoma, korišćenim za definisanje operacionih veličina (ICRU, 1993b). Kada se usrednji preko tkiva ili organa, apsorbovana doza se koristi za definisanje zaštitnih veličina (ICRP, 1991a).

Raspodela apsorbovane doze. Za sve tipove spoljašnjeg zračenja odredjivanje zaštitnih i operacionih veličina, počinje sa računanjem raspodele apsorbovane doze. Takvi proračuni raspodele apsorbovane doze se obavljaju korišćenjem Monte Carlo programa.

Srednja apsorbovana doza, usrednjena preko specificiranog tkiva ili organa, D_T, je korišćena za definisanje zaštitnih veličina (ICRP, 1991a). Kada je poznata raspodela apsorbovane doze u telu ili fantomu, proračun D_T je omogućen i dat kao (ICRU, 1993):

$$D_T = \frac{1}{m_r}\int_{mr} D dm = \frac{1}{m_r}\int_{mr} \frac{de}{dm} dm \qquad (1)$$

gde je m_T-masa tkiva ili organa i $D = d\varepsilon/dm$ je apsorbovana doza u jedinici mase dm.

RADIOLOŠKE ZAŠTITNE VELIČINE

U srhu radiološke zaštite u ICRP 60 su preporučene i definisane zaštitne veličine. U ovu grupu veličina spadaju: apsorbovana doza u organu, ekvivalentna doza u organu ili tkivu, i efektivna doza.

Apsorbovana doza u organu

Srednja apsorbovana doza, D_T, u odgovarajućem tkivu ili organu ljudskog tela, T, je data kao:

$$D_T = \frac{1}{m_r} \int_{mr} D dm \tag{2}$$

gde je m_T - masa tkiva ili organa, i D je apsorbovana doza u masi elementa dm.

Ekvivalentna doza

U tkivu ili organu, T, koji su ozračeni u radijacionom polju koje se sastoji od nekoliko vrsta zračenja sa različitim vrednostima radijacionog težinskog faktora, w_R, apsorbovana doza mora biti podeljena u blokove i pomnožena sa svojom odgovarajućom vrednošću w_R. To daje mogućnost određivanja ekvivalentne doze koja se definiše kao suma odgovarajućih proizvoda:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \tag{3}$$

gde je $D_{T,R}$ srednja apsorbovana doza za zračenje, R u tkivu T.

Efektivna doza

Efektivna doza je suma utežnjenih ekvivalentnih doza u svim tačkama i organima u telu. Ona je data izrazom:

$$E = \sum_T w_T H_T \tag{4}$$

gde je H_T ekvivalentna doza u tkivu ili organu T, i w_T težinski faktor za tkivo T. Za svrhe proračuna radiološke zaštite, ljudsko telo je definisano u ICRP 60 sa 12 određenih tkiva ili organa i ostatka koji sadrži 10 dodatnih tkiva ili organa. Preporučeni težinski faktori koji koji se primenjuju na populaciju odraslih ljudi za ova tkiva ili organe su dati i ICRP Publikaciji 60. Podaci predstavljeni u ovom izveštaju su računati sa ostatkom, definisanim u ICRP 60, koji se sastoji od 10 tkiva i organa. ICRP je preradio svoje specifikacije za ostatak i uključio samo 10 organa (ICRP, 1995a). U ICRP 71 (ICRP, 1995b) Komisija je dodala vazdušne puteve ostatku tela. Vrednost ekvivalentne doze u ostatku nije mnogo izmenjena ovim promenama i uticaj na efektivnu dozu je zanemarljiv.

Procedura sabiranja tkivnih i organskih doza

Efektivna doza je računata korišćenjem podataka ekvivalentne doze tkiva i organa za ženske i muške matematičke modele primenjujući sledeću formulu:

$$E = w_{dojke} H_{dojke,ž} + \sum_{Ta,dojke} w_T \frac{H_{T,m} + H_{T,ž}}{2} \tag{5}$$

gde simboli u relaciji imaju uobičajena značenja. Prethodna jednačina je razvijena za proračun efektivnog doznog ekvivalenta, H_E, i prerađenog da uključi nova tkiva i prerađene faktore tkiva za težinske faktore preporučene u ICRP 60 za proračun efektivne doze, E. U onim slučajevima gde publikovani podaci ne daju odvojene informacije za ženske i muške modele datih podataka koristi se jednačina 4.

RADIJACIONE OPERACIONE VELIČINE

Operacione veličine definisane u (ICRU, 1985, 1988, 1992a, 1993b) su povezane sa ICRP zaštitnim veličinama i date su sa namerom da pruže razumljivu procenu zaštitnih veličina. Operacione veličine su nastale na osnovu potrebe preporuka u ICRP Publikacija 26. Jedna važna funkcija TASK grupe je bila da odredi stepen do kojeg operacione veličune još uvek pružaju razumne procene novih specificiranih zaštitnih veličina. Za monitoring oblasti (areala) operacione veličine su ambijentalni dozni ekvivalent, H*(d), i direkcioni (upravljeni) dozni ekvivalent, H'(d, Ω). Za individualni monitoring, personalni (lični) dozni ekvivalent, $H_p(d)$, definisan u telu je operaciona veličina.

Dozni ekvivalent

Dozni ekvivalent, H, u tački je dat kao:

$$H = \int_L Q(L)\frac{dD}{dL}dL \tag{6}$$

gde je Q(L) faktor kvaliteta za čestice sa linearnim prenosom energije, L, i dD/dL, je apsorbovana doza između linearnog prenosa energije, L, i L + dL u tački.

Operacione veličine za monitoring oblasti (areala)

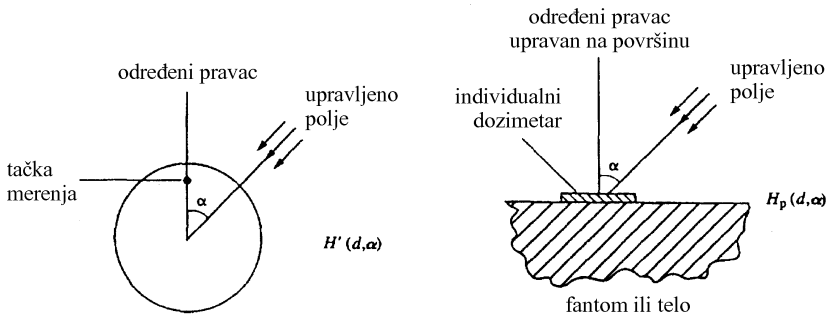
Proširena i svrstana polja – Za operacione veličine ambijentalni dozni ekvivalent, H*(d), i direkcioni (upravljeni) dozni ekvivalent, H'(d,Ω) - ICRU je uveo koncepte *svrstanog* i *proširenog* radijacionog polja. *Prošireno* radijaciono polje je definisano kao hipotetičko polje gde fluens i njegova ugaona i energetska raspodela imaju istu vrednost kroz zapreminu od interesa kao i u stvarnom polju u tački reference. *Prošireno i svrstano* polje je hipotetičko polje gde su fluens i energetska raspodela iste kao u proširenom polju, ali je fluens jednosmerni.

Ambijentalni dozni ekvivalent

Ambijentalni dozni ekvivalent, H*(d), u tački radijacionog polja je dozni ekvivalent koji će biti proizveden sa odgovarajućim proširenim i svrstanim poljem u ICRU sferi dubine, d, na radijusu suprotnom od pravca svrstanog polja. Preporučena vrednost d je 10 mm za prodorno zračenje i 0,07 mm za slabo prodorno zračenje.

Direkcioni (upravljeni) dozni ekvivalent

Direkcioni dozni ekvivalent, H'(d,Ω), u tački radijacionog polja je dozni ekvivalent koji bi bio proizveden sa odgovarajućim proširenim poljem u ICRU sferi dubine, d, na radijusu u specifiranom pravcu, Ω. Preporučena vrednost d za prodorno zračenje je 10 mm, i za slabo prodorno zračenje je 0,07 mm. Svaka izjava o direkcionom doznom ekvivalentu trebalo bi da sadrži specifikaciju referentne dubine, d, i pravca Ω. Za pojednostavljene notacije, d treba izraziti u mm. Ovaj referentni sistem može često da bude povezan sa radijacionim poljem. U posebnom slučaju upravljenog polja, pravac može da se specificira preko pojma ugla, α, između radijusa suprotnog incidentnom polju i specificiranog radijusa (slika 2). Kada je $\alpha = 0^\circ$, veličina $H'(d,0^\circ)$ sme da se piše kao H'(d) i jednaka je sa H*(d).



Slika 2. Definicija ugla α za H'(d, α) i H_p(d, α)

Operacione veličine za individualni monitoring – personalni (lični) dozni ekvivalent

Umesto dve veličine (individualni dozni ekvivalent, prodiranja; i individualni dozni ekvivalent, površinski) koje su definisane u ICRU Izveštaj 39 (ICRU, 1985), uprošćen koncept nazvan personalni (lični) dozni ekvivalent, H_p(d), je preporučen u ICRU 47 i 51 (ICRU, 1992a, 1993b). Personalni (lični) dozni ekvivalent je definisan u ljudskom telu, i zbog rasejanja i interakcije zračenja u telu (koji zavisi od materijalne kompozicije i geometrije), H_p(d) može da varira između individua i između lokacija za datu individuu. Personalni dozni ekvivalent je zato više-vrednosna veličina. Da bi se računali jedno-vrednosni koeficijenti konverzije, prvo je neophodno da se specificira tačna lokacija na ljudskom telu. Drugo, sa ciljem olakšavanja računa i kalibracije dozimetara, poželjno je da se specificiraju fantomi različitih delova tela. Generalno, sa jednim izuzetkom, takvi fantomi još nisu specificirani od ICRU. Jedan izuzetak ovog uopštenog pravila je za ljudski trup. Mogućnost da se interpretira očitavanje dozimetra nošenih na ljudskom telu preko pojmova zaštitnih veličina je od najvećeg interesa za monitoring spoljašnjih ozračivanja. Za svrhe kalibracije dozimetara fantomi su specificirani da se često uzimaju da budu surogati za ljudski torzo. Ovi pojednostavljeni fantomi zamene za tkiva su ICRU - ekvivalentna sfera (30 cm radijusa) i 30 cm×30 cm×15 cm ICRU ploče (ICRU Izveštaj 47, ICRU, 1992a, 1993b). Dok proračuni u ljudskom telu za različite geometrije ozračenja i energije radijacije ne postanu pristupačni, nije moguće oceniti tačno kako računanje koeficijenata u ploči ili sferi fantoma replicira personalni dozni ekvivalent, ali se misli da su greške male. U međuvremenu opšti zaključak o odnosu između H_p(d) i E može da se izvede iz raspoloživih podataka doza u fantomu i organu. Poređenje sme da bude napravljeno sa srednjim dozama u malim organima smeštenim blizu površine tela. Praktična realizacija personalnog doznog ekvivalrnta zahteva dogovor na pogodnoj metrološkoj proceduri.

UTEŽNJAVANJE

U proračunu zaštitnih i operacionih veličina raspodela apsorpcione doze se utežnjava da bi se uračunala biološka efektivnost bilo naelektrisanih čestica, bilo različita

osetljivost tiva (ICRP 60). U ICRP 26 preporučen je isti metod utežnjavanja za zaštitne i operacione veličine na osnovu težinskog faktor akvaliteta, Q, koji je bio određen iz Q(L) - L relacije. ICRP sada specificira nove radijacione težinske faktore, w_R, za zaštitne veličine dok metod preporučen od ICRU za operacione veličine ostaje nepromenjen (mada su specifične promene napravljene u Q(L) - L relaciji). Novi radijacioni težinski faktor je određen zračenjem incidentnim na telo i primenjuje se na srednju apsorbovanu dozu u organu ili tkivu od interesa. Faktor kvaliteta se još uvek odnosi na apsorbovanu dozu u tački interakcije.

Utežnjavanje zračenja za zaštitne veličine

Za zaštitne veličine ICRP, je definisao radijacioni težinski faktor, w_R, sa kojim se doza u organu množi da bi se uračunala relativna štetnost različitih tipova zračenja. Numeričke vrednosti, w_R, su specificirane za tip i energiju za većinu, ali ne svih, incidentnih zračenja na telu i dati su u tabeli 1 u ICRP 60. Šta više „za tipove zračenja i energije koje nisu sadržane u ovoj tablici, aproksimacija w_R, može se postići sa računanjem Q na dubini od 10 cm u ICRU sferi relacijom:

$$\overline{Q} = \frac{1}{D}\int Q(L)D(L)dL \tag{7}$$

gde je D(L) dL apsorbovana doza na 10 mm između linearnog prenosa energije, L L + dL; i Q(L) je faktor kvaliteta od L na 10 mm". Simbol D(L) se koristio od ICRP za apsorbovanu dozu između linearnog prenosa energije, L i L + dL. ICRU koristi D_L za istu veličinu. Za oba primera uobičajeniji matematički simbol je bio (dD/dL)dL , odakle je:

$$\overline{Q} = \frac{1}{D}\int Q(L)\frac{dD}{dL}dL \tag{8}$$

Važna razlika između $\overline{Q}$ i w_R je ta što je ranija ($\overline{Q}$) direktna funkcija od L, a novija w_R je povezana relativnom biološkom efektivnošću (RBE) i samo je indirektno povezana sa L.

Ako je telo ili fantom ozračeni različitim tipovima zračenja, od kojih svaki sa sopstvenim radijacionim težinskim faktorom, apsorbovane doze i ekvivalentne doze su obično računate za svako zračenje. Doprinosi svake komponente zračenja su tada sabrani.

Utežnjavanje zračenja za operacione veličine

Operacione veličine su definisane u tački tkiva ili fantoma preko faktora kvaliteta Q, i apsorbovane doze, D. Faktor kvaliteta, koji se primenjuje na apsorpcionu dozu od nataloženih naelektrisanih čestica dobijen je pretpostavljajući da je zaustavna moć u vodi numerički jednaka sa L u odgovarajućoj Q(L) - L relaciji.

Q(L) - L relacija

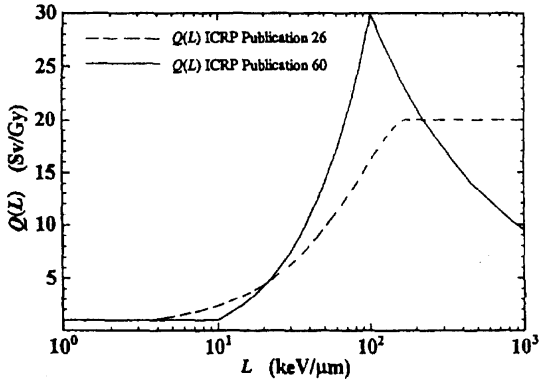
Faktor kvaliteta ima funkcionalnu zavisnost od linearnog prenosa energije, L, u vodi. Numerička veza između Q(L) i L specificirana u ICRP u tabeli A - 1 u Aneksu A Publikacije 60 a može se prikazati (kao na slici 3) sa 3 jednačine:

$$Q(L) = 1 \quad (L < 10 \text{ keV}/\mu\text{m}) \tag{9}$$

$$Q(L) = 0{,}32\,L - 2{,}2 \quad (10 < L < 100 \text{ keV}/\mu\text{m}) \tag{10}$$

$$Q(L) = 300/\sqrt{L} \quad (L > 100 \text{ keV}/\mu\text{m}) \tag{11}$$

Postoji diskontinuitet (pik) za L = 100 keV/μm, o kome treba voditi računa pri proračunima.



Slika 3. Faktor kvaliteta u funkciji LET preporučen u ICRP 26 i 60

ZAKLJUČAK

U najnovijim publikacijama ICRP-a detaljno su diskutovane nove zaštitne i operacione veličine za zaštitu od spoljašnjeg ozračivanja. Delimično je izmenjen je način utežnjavanja doza tako da se zaštitne veličine utežnjavaju na jedan način a operacione na drugi. Mišljenja smo da će se u bliskoj budućnosti izmeniti način utežnjavanja i ovih drugih veličina.

LITERATURA

[1] ICRP (1977) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26. Annals of the ICRP 1(3). Pergamon Press, Oxford.

[2] ICRP (1978) Statemant from the 1978 Stocholm of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 2(1). Pergamon Press, Oxford.

[3] ICRP (1980) Statemant and Recommendations of the International Commission on Radiological Protection from its 1980 Stocholm Meting. Annals of the ICRP 4(3/4). Pergamon Press, Oxford.

[4] ICRP (1985) Statemant from the 1985 Paris Meting of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 15(2/3). Pergamon Press, Oxford.

[5] ICRP (1987) Data for Use in Radiological Protection Against External Radiation, ICRP Publication 51. Annals of the ICRP 17(2/3). Pergamon Press, Oxford.

[6] ICRP (1991a) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 21(1-3). Pergamon Press, Oxford

[7] ICRP (1995a) Age – depedent Doses to Members of the Publik from Intake of Radionuclides: Part. 3 Ingestio Dose Coefficients. ICRP Publication 69. Annals of the ICRP 25 (1). Elsevier Science, Oxford.

[8] ICRP (1995b) Age – depedent Doses to Members of the Publik from Intake of Radionuclides: Part. 3 Ingestio Dose Coefficients. ICRP Publication 71. Annals of the ICRP 25 (3-4). Elsevier Science, Oxford.

[9] ICRP (1996) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 74, Vol.26(3/4). Pergamon Press, Oxford.

[10] ICRU (1980) Radiation quantities and units. ICRU Report 33. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, Maryland.

[11] ICRU (1985) Determination of dose equivalents resulting from external radiation sources.ICRU Report 39. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, Maryland.

[12] ICRU (1988) Determination of dose equivalents resulting from external radiation sources part 2.ICRU Report 43. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, Maryland
[13] ICRU (1992a) Measurement of dose equivalehts from external photon and elektron radiation. ICRU Report 47. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, Maryland
[14] ICRU (1993b) Quantities and units in radiation protection dosimetry.ICRU Report 51. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, Maryland

ABSTRACT

CURRENT QUANTITIES USED IN RADIOLOGICAL PROTECTION FOR EXTERNAL RADIATION

A. Janićijević, D. Nikezić[1]
Faculty of Tehnology and Metalutgy, Belgrade, Yugoslavia
[1]Faculty of Natural Sciences, Kragujevac, Yugoslavia

Brief description of ICRP 74 (Vol. 26, 3-4) is given in this report. Protection and operational quantities, as well as, their weighting is discussed.

OSVRT NA "PRAVILNIK O GRANICAMA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE ŽIVOTNE SREDINE I O NAČINU SPROVOĐENJA DEKONTAMINACIJE"

Ž.Vuković
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Ukazano je na propuste i nedostatke Pravilnika o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije a posebno na greške, nedoslednosti, a takođe zloupotrebe u njegovoj primeni.

Predlaže se preuređenje pravilnika, koji bi otklonio nedostatke i uspostavljanje sistema koji bi onemogućavao kontaminaciju životne sredine koju potencijalno nosi primena nuklearne energije.

OSVRT

Pravilnik sa gornjim nazivom donet je 19.februara 1999.g. na osnovu člana 12, stav 1 Zakona o zaštiti od jonizujućih zračenja. Ovaj pravilnik doneo je nadležni Savezni ministar na predlog komisije koja je trebalo da bude stručna za ovu oblast. Međutim kada se detaljnije pregleda Pravilnik kao i "Pravilnik o uslovima koji moraju ispunjavati pravna lica za vršenje dekontaminacije" uočavaju se krupni nedostaci koje treba otkloniti kako bi pravilnik služio nameni, a pre svega da nivoi radioaktivne kontaminacije životne sredine budu u granicama propisanih normi. Primena nuklearne energije u vojne i mirnodopske svrhe dovela je do prisustva otvorenih izvora zračenja u različitim medijima životne sredine koji mogu ali ne moraju biti kontaminanti životne sredine. Radioaktivni izotopi koji se po pravilu nalaze u mikrokoncentracijama raspodeljuju se među različitim fazama prema zakonu raspodele (Henry-jev zakon) i sa praktičnog stanovišta, nije ih moguće eliminisati. Zbog toga je neophodno da propis bude određen i razumljiv onima koji se staraju o njegovoj primeni. U tom smislu Pravilnik u prvom delu koji definiše granice radioaktivne kontaminacije i pored toga što sadrži tabele sa svim radionuklidima i njihovim dozvoljenim koncentracijama preuzetih iz preporuka IAEA sadrži niz nepreciznosti, i neodređenosti kojima nije mesto u pravilniku. Tako npr. članom 13 definiše se da se godišnje unošenje nekog radionuklida (n) inhalacijom ili ingestijom procenjuje na osnovu nivoa radioaktivne kontaminacije životne sredine i međunarodno prihvaćenih modela. Otkuda u pravilniku odredba o međunarodno priznatom modelu, kad nema odredbe ko je taj ko određuje ili arbitrira, šta je međunarodno prihvatljiv model i na osnovu kojih kriterijuma. Ovde se može postaviti i pitanje svrsishodnosti člana 13 i sličnih tako definisanih članova.

Član 15 odnosi se na kontaminaciju zemljišta. Iako je poznato da je zemljište, zbog vazduha i vode koji su prenosioci kontaminanta, medijum na kojem se reverzibilno ili ireverzibilno vežu kontaminanti, član kako je definisan nema nikakvo značenje, retoričan je i nikoga ne obavezuje. Član 17 uvodi pojam prosečnih prirodnih vrednosti kao merilo kontaminacije što sa stanovišta pravilnika nema nikakvog značaja.

Član 20 zbog svoje besmislenosti citira se u celini.

"Nivoi radioaktivne kontaminacije hrane, lekova, pomoćnih lekovitih sredstava, predmeta opšte upotrebe i drugih roba iz uvoza ne mogu biti veći od utvrđenog nivoa radioaktivne kontaminacije odgovarajućih domaćih proizvoda."

Deo pravilnika pod rednim brojem III odnosi se na način sprovođenja dekontaminacije životne sredine. Sadržaj ovog dela pravilnika ne odgovara naslovu i zato neće biti komentarisan u detaljima. Budući da je autor ovog teksta niz godina naučno i stručno rukovodio radnom grupom za radioaktivnu dekontaminaciju, koja je pored niza naučnih i stručnih radova, učestvovala u svim značajnijim operacijama vezanih za probleme kontaminacije i dekontaminacije u SFRJ i SRJ u koje spadaju dekontaminacija površina i opreme na Reaktoru RA i laboratorijama Instituta, sanacija i dekontaminacije otvorene deponije radioaktivnih otpadaka u Institutu "Vinča", dekontaminacija Reaktorskog bazena nuklearne elektrane Krško, sanacija posledica kontaminacije poreklom iz Černobila i dr. i da niko iz ovog radnog tima nije konsultovan pri izradi Pravilnika može se zaključiti da su pravilnik pravila nekompetentni stručnjaci. Radioaktivna kontaminacije i dekontaminacija su u međunarodnim razmerama posebne naučno stručne discipline a problemi koji se razmatraju su fizičko-hemijske, odnosno radiohemijske prirode. Nažalost stručnjaci takvog profila, zbog raznih razloga, u našoj zemlji mogu se izbrojati prstima jedne do dve ruke i zato je čudno što oni nisu učestvovali u izradi odgovarajućeg pravilnika. Time su narušeni uslovi da se dva važna pitanja koja proističu iz pravilnika definišu na način koji bi obezbeđivali njegovu adekvatnu primenu. To su kvalitet pravilnika i definisanje uslova koji se moraju obezbediti da bi se pravilnik na nivou države mogao primeniti. Pravilnikom treba definisati državni interes o postojanju bar referentne (nadležne) laboratorije ili ustanove koja je osposobljena da definiše neophodne metode dekontaminacije u cilju zaštite životne sredine, kao i uslove koje moraju da ispunjavaju pravna lica u pogledu stručne opreme, profesionalne osposobnosti i dokaza o kompetentnosti lica koja rade na poslovima ispitivanja radioaktivnosti kontaminacije i sprovođenja postupaka dekontaminacije, zatim uslove u pogledu tehničke osposobljenosti za obavljanje delatnosti u koje spadaju oprema, laboratorijski prostor, verifikovane metode i dr.

Bez obzira na kompleksnost problematike pravilnikom treba sistematizovati realne situacije u kojima se definišu mogući izvori radioaktivne kontaminacije životne sredine i potrebni nivo osposobljenosti za obavljanje dekontaminacije koja proističe iz primene nuklearne energije u našoj zemlji, nuklearni reaktori, odlagališta goriva i radioaktivnih otpadaka, proizvodnja i primena radioaktivnih izotopa kao i zbog primene nuklearne energije u drugim zemljama uključujući havarije i nuklearne probe. Kontaminacija životne sredine širih razmera, po pravilu je posledica nuklearnih proba koje su masovno vršene šezdesetih do osamdesetih godina i akcidenata na nuklearnim postrojenjima kao što se to dogodilo posle akcidenta na Černobilskoj nuklearnoj elektrani 1986.godine.

Obično se pri eksploataciji nuklearnih postrojenja i specijalizovanim laboratorijama događaju akcidenti u granicama odgovarajućih objekata koji su lokalnog karaktera i sem problema sa profesionalno zaposlenim i kontaminacijom opreme i zgrada ne predstavljaju opasnost za stanovništvo. Za takve situacije i u našoj zemlji i drugim zemljama unapred se pripremaju procedure i obezbeđuju drugi uslovi za blagovremenu intervenciju u

skladu sa normama. Tvorci ovog Pravilnika, isključivo iz nekompetentnosti, uneli su odredbu prema kojoj "Dekontaminacija ljudi i životne sredine vrši se po metodologiji koju je propisala Međunarodna agencija za atomsku energiju (MAAE)".

Međunarodna agencija za atomsku energiju ne propisuje procedure, zašta su nadležne nacionalne države već publikuje opšta uputstva i preporuke. Svakako da su ta uputstva i preporuke korisne za zakonodavca i stručnjake koji rade na odgovarajućim poslovima, ali sve to što se nalazi u preporukama može da posluži, pored drugih specifičnih, kao jedna od osnova za pravljenje propisa ili pravilnika. Ovakav način rada na donošenju propisa, iako za to ne postoje nikakve objektivne potrebe prenebegava već tradicionalna dostignuća i iskustva u ovoj oblasti i nacionalno zakonodavstvo stavlja u podređen polocaj, a samim tim otvara prostor da nekompetentni stručnjaci tumače pravilnik i rade na njegovoj primeni.

Sam podatak da je u pravilnik o uslovima koje moraju ispujavati pravna lica za vršenje dekontaminacije, propisao samo određene kategorije stručnosti i koji imaju iskustva na poslovima zaštite od jonizujućih zračenja je apsolutno nedovoljno i ne obezbeđuje adekvatnu primenu Pravilnika. Treba samo pogledati pravilnike o stručnoj spremi, radnom iskustvu, proveri znanja i potvrdi o ispunjavanju uslova lica koja rade na određenim poslovima u nuklearnim objektima, ili pogledati kakvi se uslovi traže od strane IAEA na konkursima za odgovarajuća radna mesta pa se uveriti da proklamovani principi IAEA koji se odnose na pravila u radu sa izvorima radioaktivnog zračenja nisu ispoštovani. Pravilnik takav kakav je u primeni je pokazao ozbiljne nedostatke. Dokumenti koji se izdaju kao sertifikati o kontroli radioaktivne kontaminacije su po pravilu izjave o izvršenoj kontroli bez dokumentovanog dokaza o izvršenoj kontroli verifikovanom metodom kontrole, a često su ga potpisivali lica koja nisu učestvovala u kontroli, ili nisu u radnom odnosu sa institucijama koja su dobila ovlašćenja za rad upravo zbog posedovanja odgovarajućih kadrova, opreme i laboratorijskog prostora za rad na odgovarajućim poslovima. Slični su problemi i sa pravilnikom kojim se propisuju uslovi koje u pogledu kadra, opreme i prostora moraju da ispunjavaju pravna lica koja vrše dekontaminaciju (Sl.list SRJ br.9 (1999 (p.1). Uočeni nedostaci u formulaciji pravilnika, nedoslednosti i nestručnosti u primeni moguće je elimisati pre svega izradom Pravilnika koji bi saglasno sadržaju precizno definisao odredbe koje će onemogućiti različita tumačenja nedoslednosti i zloupotrebe, a stručnost i kompetentnost stavio u prvi plan, uz druge uslove za funkcionisanje sistema koji će delovati u smeru eliminisanja kontaminacije životne sredine i zdravlja ljudi koje potencijalno nosi primene nuklearne energije.

LITERATURA

[1] Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije, Službeni list SRJ br.9 (199), p.2-52.

[2] IAEA, Clean up of Large Areas Contaminated as a Result of a Nuclear Accident, Technical Reports series No.300, Vienna (1989)

[3] A.D.Zimon, V.K.Pikalov, Dezaktivaciya, Izdat, Moskva (1984).

ABSTRACT

SOME ASPECTS OF REGULATORY GUIDE OF RADIOACTIVE CONTAMINATION LIMITS IN THE ENVIRONMENT AND PROCEDURE OF DECONTAMINATION

Ž.Vuković
INS "Vinča"

In this paper it is shown that there are misleadings in the regulatory guide of radioactive contamination limit in the environment as well as decontamination processes. It is proposed renovation of the regulatory guide in order to establish a system which would minimise contamination of environment in conection with application of nuclear energy.

MEDICINSKA FIZIKA I MEDICINSKI FIZIČAR
NAUČNA DISCIPLINA I/ILI PROFESIJA

G. Nišević
Institut za radiologiju VMA, Beograd

SADRŽAJ

U ovom radu posebna pažnja posvećena je medicinskim fizičarima koji rade u zdravstvenim ustanovama (klinikama, bolnicama i institutima) i koji su u indirektnom ili direktnom kontaktu sa pacijentima i samim tim direktno učestvuju na ishod terapije ili dijagnostičke procedure, što uglavnom nije slučaj kada se radi o nemedicinskom osoblju. Definisana je njihova odgovornost u svim aktivnostima koje medicinski fizičari obavljaju u okviru svojih redovnih dužnosti, a poseban osvrt je dat na njihov status u okviru VMA, koji se u osnovi ne razlikuje u odnosu na druge ustanove i institucije. Uz kraće podsećanje na razvoj medicinske fizike kod nas dat je i autorov stav po pitanju daljeg razvoja i konkretnih mera koje bi trebalo preduzeti da bi struka mogla dalje da se razvija na pravi način. Kao prepreka svim daljim koracima u tom smeru stoji činjenica da i pored uloženih napora medicinski fizičari ni do danas nisu, kao profesija, prepoznati pod tim imenom na nacionalnom nivou.

UVOD

Medicinska fizika je grana fizike koja obuhvata sve primene fizike u medicini. Glavne oblasti njene primene u medicini su sledeće: terapija malignih (i nekih nemalignih) bolesti pomoću jonizujućeg zračenja (radioterapija), kvalitet medicinske slike (midžinga) kod raznih uređaja koji se upotrebljavaju u dijagnostičke svrhe (DR, CT, MRI, US…), kvalitet medicinske slike dobijene pomoću radioaktivnih izotopa (nuklearna medicina) i zaštita od zračenja.

Navedene oblasti primene fizike u medicini nisu jedine, već se stalnim napretkom teorije i tehnologije stalno otvaraju nove mogućnosti primene fizike u medicini. Tako treba pomenuti i sledeće: upotreba toplote (grejanja) u lečenju malignih bolesti (hipertermija), bioelektrična istraživanja mozga i srca (EEG i EMG), biomagnetska istraživanja mozga, upotrba infracrvenog i UV zračenja i mnoge druge primene.

Pored gore navedenih primarnih aktivnosti, medicinski fizičari su uključeni još i u sledeće aktivnost:

1. klinički servis i konsultacije;
2. istraživanje i razvoj (dijagnostičkih i terapijskih tehnika i metoda);
3. nastava.

Ove "sporedne" aktivnosti, koje često u našim uslovima, po vremenu koje se troši na njih predstavljaju i glavne aktivnosti, uslovljene su konkretnim uslovima u kojima rade medicinski fizičari. Medicinski fizičari koji rade na Vojnomedicinskoj Akademiji imaju velikog učešća u svim gore navedenim aktivnostima.

Kao prvi medicinski fizičar, septembra 1960 godine, zaposlena je Olivera Nikolić, na Odeljenju za medicinu rada Higijenskog zavoda VMA (danas: Institut za medicinu rada, Zavod za preventivnu medicinu VMA). Avgusta 1961 godine počinje da radi Marija Rastovac na Institutu za nuklearnu medicinu VMA i ona je prvi fizičar koja je zaposlena u stalnom radnom odnosu na nuklearnoj medicini u SRJ. Od 1977. na Institutu za nuklearnu medicinu radi mr Rajko Spajić dipl. inž. el. 1980. i 1981. zaposleni su, na Odeljenju za radioterapiju Instituta za radiologiju VMA, iskusni radioterapijski fizičari Petar Stajkovic dipl. fiz. i Dr Svetlana Andrić dipl. fiz.hem., koji su dotada radili na Institutu za radiologiju i onkologiju. Sada su, na Grupi instituta za dijagnostiku i terapiju zaposlena 4 medicinska fizičara i u Zavodu za preventivnu medicinu još 4. Oni se bave svim prethodno navedenim aktivnostima i potrebno je napomenuti da su, za naše uslove, dobro opremljeni dozimetrijskom i drugim uređajima i da rade u dobrim uslovima. Mada svi oni na svojim radnim mestima obavljaju predviđene poslove, evidentno je da bi ih, u sladu sa preporukama EFOMP-a [3,4], sve trebalo povezati i organizovati u okviru jenog Odeljenja. To bi bilo Odeljenje za medicinsku fiziku, ili, zbog vrste i obima poslova koji oni inače obavljaju, Odeljenje za medicinsku fiziku i biomedicinski inžinjering. Pokretanje takve inicijative je u toku, i jedan od problema je to da na VMA medicinski fizičari nemaju odgovarajuće zvanje (već su: samostalni istraživači – fizičari i sl.). Prepoznavanje medicinskih fizičara na nacionalnom nivo je obaveza i glavni problem, kada je u pitanju afirmacija profesije i dalji razvoj medicinske fizike. Preko YUBEMP-a učinjen je, nažalost neuspešan, pokušaj da se to reguliše na nivou SR Jugolavije.

Prvi medicinski fizičar u civilnim zdravstvenim ustanovama bio je Slobodan Ignjatović, specijalista nuklearne medicinske fizike. On je 1957/58 godine nakon formiranja Odeljenja za radiološku zaštitu pri centru za profisionalne bolesti (danas: Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović") počeo sa dozimetrijskim kontrolama rendgen aparata [6]. U ovoj ustanovi, od 1960. počinje da radi mr Dragutin Križanović dipl. fizičar, a 1964. Dr Miroslav Tomašević. Kao prvi radioterapijski fizičar zaposlen je marta 1960 godine Veselin Vujnić na Radiološkom institutu (danas: Institut za radiologiju i onkologiju). U zdravstvenim ustanovama van Beograda, prvi radioterapijski fizičari bili su: Ljubiša Antić u Nišu (od 1970 godine), Aleksandar Rudić specijalista nuklearne medicinske fizike u Sremskoj Kamenici (od 1978 godine) i Mikan Vasiljević u Kragujevcu (od 1981 godine).

Kada govorimo o medicinskoj fizici i medicinskim fizičarima u svetu, stvari stoje daleko bolje nego kod nas. Potrebno je naglasiti da su posebnu ulogu u razvoju medicinske fizike odigrala nacionalna i internacionalna udruženja medicinskih fizičara.

Međunarodna organizacija medicinskih fizičara (International Organization for Medical Physics – IOMP) proglašena je 1 januara 1963 godine, sada ima 72 zemlje članice i 14962 članova [8]. Maja meseca 1980 godine u Londonu osnovana je Evropska federacija organizacija medicinskih fizičara (EFOMP), čiji članovi imaju Univerzitetsku diplomu nabrojanih fakulteta: fizika, matematika, kompjuterske nauke, fizička hemija, elektronika ili elektrotehnika i neke druge odgovarajuće prirodne nauke, i koji rade zajedno sa medicinskim osobljem u bolnicama, na institutima i Univerzitetima [8].

Kada su u pitanju nacionalna udruženja, najveća su: Američko udruženje medicinskih fizičara (AAPM), Kanadska organizacija medicinskih fizičara (COMP) [9], Nemačko udruženje medicinskih fizičara (DGMP) Septembra meseca 1997 godine

Jugoslovensko udruženje za biomedicinsko inžinjerstvo i medicinsku fiziku (YUBEMP), koje je osnovano godinu dana ranije, a zvanično registrovano aprila 1997 godine, postaje član (kao Nacionalna organizacija) EFOMP-a [10].

Medical Physics: The scientific branch of physics that is concerned with the application of the concepts and methods of physics in medicine.

(EFOMP[1])

An applied branch of physics concerned with the application of the concepts and methods of physics to the diagnosis and treatment of human disease. It is allied with medical electronics, bioengineering, and health physics.

(AAPM[2])

Medical Physicists: An individual, competent to practice independently within one or more of the sub-specialities of medical physics e.g. therapeutic radiological physics, diagnostic radiological physics, medical nuclear physics or one of the manz branches of medical physics that does not involve the use of ionising radiation.

(EFOMP[1])

Most have an MS or Ph.D. in medical physics, physics, radiation biology, or a related discipline, and training in clinical medical physics. Clinical training may be obtained through a residency traineeship or a postdoctoral program of one or two years in a hospital. Clinical medical physicists are employed in medical schools, hospitals or clinics, or are in private practice. These physicists divide their time between clinical service and consultation, research and development, and teaching. Some medical physicists work in industrial or research positions, and have no clinical responsibilities.

(AAPM [2])

ZAKLJUČAK

Potrebno je:

- učiniti sve što je moguće da medicinski fizičari budu na nacionalnom nivou prepoznati kao takvi,
- pokrenuti na svim Klinikama, Bolnicama i Institutima, gde za to postoje uslovi, inicijativu za njihovo organizovanje u okviru Odeljenja za medicinsku fiziku. Treba napomenuti da je to već, i to vrlo uspešno, urađeno na Institutu za onkologiju i radiologiju,
- objediniti zainteresovane i kompetentne kolege (u okviru radne, ekspertne ili sl. grupe) radi pronalaženja načina da bi se lakše ostvarila dva navedena cilja.

U dokumentu Evropske zajednice (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), koji vazi od 13 maja 2000. u članu 2 (definicije) stoji: ...**Medical Physics Expert**: an expert in radiation physics or radiation technology applied to exposure, within the scope of this Directive, whose training and competence to act is recognized by the competent authorities; and who, as appropriate, acts or gives advice on patient

dosimetry, on the development and use of complex techniques and equipment, on optimization, on quality assurance, including quality control, and other matters relating to radiation protection, concerning exposure within the scope of this Directive.

Kada se govori o potrebi i o zadacima koje obavlja medicinski fizičar, u članu 6 stoji: ... 3. In radiotherapeutic practices, a medical physics expert shall be closely involved. In standardized therapeutical nuclear medicine practices and in diagnostic nuclear medicine practices, a medical physics expert shall be involved, as appropriate, for consultation on optimization including patient dosimetry and quality assurance including quality control, and also to give advice on matters relating to radiation protection concerning medical exposure, as required.

LITERATURA

[1] EFOMP Policy statements No.4. Criteria for the number of physicists in a medical physics department, 1991.
[2] AAPM: http://www.aapm.org/org/aapm_fact_sheet.html
[3] EFOMP Policy statements No.5. Departments of Medical Physics – Advantages, Organization and Management. Sept. 1993 Physica Medica XI, 3 (1995) 126-128.
[4] EFOMP Policy statements No.7. Criteria for the Staffing Levels in a Medical Physics Department. Sept. 1997 Physica Medica XIII (1997) 187-194.
[5] EFOMP Policy statements No.6. Recommended quidelines of national registration schemes for medical physicists, Sept. 1994 Physica Medica XI, 4 (1995) 157-159.
[6] Tomašević M, Goldner B. Rendgensko zračenje i zaštita u medicinskoj dijagnostici. Beograd: Velarta, 1998.
[7] IOMP: //www.iomp.org/jmhistory.html
[8] EFOMP – Constitution of the Federation, June 1998.
[9] COMP: http://www.medphys.ca-index.cmf/
[10] DGMP: http://www.dgmp.de/
[11] Andrić S, Božović Z. Role of nacional society for biomedical Engineering and medical physics in education on medical physics in Yugoslavia.

ABSTRACT

MEDICAL PHYSICS AND MEDICAL PHYSICIST SCIENTIFIC DISCIPLINE AND / OR PROFESSION

G. Nišević
Institute for radiology, Medical Military Academy, Belgrade

In this paper, especial attention is dedicated at medical physicist into health institution (clinics, hospitals and institutes). Responsibility of medical physicist in framework of all activities as regular tasks is defined. Besides resume of development of medical physics in Serbia in antecedent, and author's opinion about course of development and concrete steps for promotion of this profession in future is presented. First obstruction in this direction is fact that to today, medical physicist as profession, under this name it is not recognized at national and institutional level.

PERCEPCIJA RIZIKA U SVETLU REBT TERAPIJE

S. Milanović, Z.Marić[1]
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Medicinska zaštita, Beograd
[1]RET Centar, Beograd

SADRŽAJ

Još su stari Grci i Rimski Stoici primetili da ljudi nisu uznemireni stvarima po sebi, već sopstvenim vidjenjem stvari. Oko ove konstatacije je skoncentrisano celokupno čovekovo psihičko funkcionisanje. Percepcija (opažanja) rizika je način vrednovanja rizika koji okružuju čoveka, u odnosu na njegov individualni referentni okvir. Osnovna konstatacija od koje se polazi u ispitivanju percepcije rizika je da odnos prema riziku na zavisi od veličine rizika već od individualnog odnosa pojedinaca prema riziku. Odnos prema riziku kod savremenog čoveka može bitno uticati na način njegovog funkcionisanja, odnosno na njegov psihički status. Kako REBT terapija (Racionalno Emocionalno Bihevioralna Terapija) daje sebi za zadatak da u okviru čovekovog psihičkog funkcionisanja otkriva čovekove disfunkcionalnosti, koje ne samo da otkriva i objašnjava nego i stvara uslove da ih čovek prevazilazi što uspešnije, zbog boljeg odnosa prema sebi i prema drugima, odnosno što boljeg funkcionisanja.

Ako percepciju rizika definišemo kao potencijalno moguću disfunkcionalnost, onda sa te pozicije osnove REBT terapije možemo primeniti i na analizu konstrukta "percepcija rizika".

UVOD

REBT je bazirana na odredjenim poznatim psihološkim činjenicama koje su vešto prikupljene, i usredsredjene na rešavanje problema ispitanika. Interesantno je kod ove terapije da se ispitanik uči tim odredjenim psihološkim zakonitostima, za koje se kasnije insistira da budu primenjene u ličnom obrascu ponašanja. Upravo je to razlog zašto je dobro prezentovati ova načela, jer se u skladu sa njima mogu posmatrati veoma različiti domeni čovekovog funkcionisanja, npr. ¨percepcija rizika.

Jedna od osnovnih postavki REBTa, za koju smatramo da je važna i kod percepcije rizika je stavka o interaktivnosti psiholoških procesa: mišljenje, osećanje, čulno ponašanje su neodvojivi na takav način da je nemoguće govoriti o tome koja funkcija pokreće lanac reagovanja. Njihov medjusobni odnos je preklapajući, interaktivan, cirkularan... Veoma često se u analizi konstrukta "percepcija rizika" govori o subjektivnosti u pristupu, a to je u stvari interaktivnost psihičkih procesa koji učestvuju u ovom fenomenu.

Mišljenja, osećanja i ponašanja mogu biti: samounapredjujuća (racionalna) i samoosujećujuća (iracionalna), iz prostog razloga što čovek ima kapacitet i za jedno i za drugo. U odnosu na kriterijum zdravlja, odnosno opitimalnog funkcionisanja, oni su u oponentnom odnosu, što je veoma važno u terapeutskom procesu.

A B C šema je prepoznatljiv okvir REBTa, u koji se smešta dinamika funkcionisanja čovekovog psihičkog života, kojoj se klijent uči, i preko koje nameravamo da prikažemo dinamiku percepcije rizika (ali kao disfunkcionalnost u čovekovom ponašanju):

A - Aktivirajući dogadjaj

B - Sistem uverenja

C – Posledice – konsekvence (emocionalne i bihevioralne).

Kada osoba zaključi da je aktivirajući dogadjaj (A) sprečava, ili na neki drugi način onemogućava njene ciljeve, ili utiče na njen život, ona ima izbor da na aktivirajući dogadjaj odgovori samounapredjujućim ili samoosujećujućim emotivnim i bihevioralnim reakcijama (C), u zavisnosti od toga da li se rukovodi racionalnim (samounapredjujućim) ili iracionalnim (samoosujećijućim) evaluitivnim uverenjima (B). Iracionalana uverenja su najčešće u pogledu sebe, drugih ljudi i kvaliteta života. Iracionalana uverenja nisu samo samoosujećujuće misli, već su takodje nerealne i dogmatske. Održivost uverenja se preispituje na osnovu kriterijuma realnosti i logičnosti.

Tvorac REBTa Elis je veoma davno primetio da je ispravljanje pogrešne percepcije koja je u osnovi aktivirajućeg dogadjaja¨neelegantno rešenje¨, jer ne omogućava klijentu da izadje na kraj sa emotivnom uznemirenošću, koja je deo te percepcije.

Na ovom mestu možemo početi našu priču koja se odnosi na percepciju rizika, i na značaj koji dele kognitivna i emocionalna komponenta čovekove ličnosti kako u saznavanju, tako u doživljavanju i na kraju i reagovanju u odnosu na rizike. Institucije i pojedinci koji se bave upravljanjem rizikom (risk menagement) na osnovu elemenata analize rizika (risk analysis) ovaj podatak o interaktivnosti psihičkih funkcija koriste višestruko, u procesu ocene rizika (risk assessment). Kreirajući kognitivne (saznajne) podatke koji se prezentuju gradjanstvu, a koji se odnose na aktuelne rizike o kojima se želi stvoriti što pozitivnija slika kod prosečnog stanovnika, veoma se vodi računa o emcijama koje podaci izazivaju, odnosno o tome kako se rizik opaža.

Krenimo od početka, od aktivirajućeg dogadjaja, dakle od REALNOSTI, koja može biti:

- OBJEKTIVNA REALNOST,
- OPAŽENA REALNOST koja zavisi od racionalnih i iracionalnih uverenja pojedinca
- KOMFIRMABILNA REALNOST kod koje postoji socijalni koncenzus šta se dogodilo.

Recimo da je aktivirajući dogadjaj: A – OZRAČENOST OPASNOM, NEPOZNATOM MATERIJOM, OPASNOM PO ŽIVOT.

Realnost stvara aktivirajući dogadjaj. Iz predhodnog pregleda vidimo da postoji više kriterijuma kroz koje posmatramo realnost, i to je prva stavka za diskusiju. Detaljno elaboriranje detalja o A je neophodno do nivoa definisanja problema. Fokus terapije je na B- sistemu uverenja. Do podataka o sistemu uverenja nekog pojedinca dolazimo kroz pitanja o njegovoj proceni realnosti. Ovde se ne radi o deskripciji ili predikciji realnosti, već o proceni sistema vrednosti kod ispitanika na način da shvatimo osnovna uverenja na kojima se bazira njegovo poimanje realnosti u vezi sa specifičnim dogadjajem. Već smo pomenuli da ispitanikova uverenja mogu biti racionalna i iracionalna, i to je glavna razlika

na čijoj osnovi pravimo podele, zbog strategije menjanja u funkcionisanju. Osnovni kriterijumi medjusobnog razlikovanja uverenja su: racionalna uverenja su istinita, nisu apsolutistička (bez zahteva za treba i mora u ponašanju), rezultat su umerenih emocija, i pomažu da ostvarimo svoje ciljeve. Iracionalna uverenja imaju karakteristike suprotne nabrojanim.

Percepcija aktivirajućeg stimulusa,u skladu sa sistemom uverenja pojedinca uzrokuje emotivnu reakciju. Negativne emocionalne reakcije nas upućuju na postojanja problema, a promena njihove afektivne obojenosti je jedan od glavnih idikatora uspešnosti terapeutskog procesa.

Razmotrimo glavna iracionalna uverenja koja ilustruju percepciju rizika od opasnih materija koje izazivaju zračenje.

Iraconalano uverenje koje je od značaja je: VEOMA SAM ANKSIOZAN OKO OVIH NEIZVESNIH I POTENCIJALNO OPASNIH DOGADJAJA.

Ovo iracionalano uverenje je zasnovano na zahtevu za potpunom izvesnošću u našim životima, i rezultira u neizvesnost, onda kada ne dobijemo garancije. Oni koji imaju ovo iracionalno uverenje će biti uznemireni ne samo ako se neizvestan i neželjen dogadjaj desi, nego i mnogo pre toga, iako se ne desi.

Racionalno uverenje, ka kojem pokušavamo promenu bi bilo: Bolje bi bilo suočiti se sa opasnošću i strahom, i učiniti ih bezopasnim onda kada je to moguće, a kada je nemoguće – PRIHVATITI NEIZBEŽNO.

Navešćemo još neka iracionalna uverenja koja su inače poznata kao česta kod klijenata REBT terapije, a koja su značajna u objašnjavaju percepcije rizika kao potencijalne disfunkcionalnosti psihičkog funkcionisanja: ŽIVOT BI TREBAO BITI LEP I UGODAN, BEZ BOLNIH DOŽIVLJAJA I BOLA, I TO SVE VREME.

Nelagodnosti koje se mogu tolerisati su forma niskog nivoa tolerisanja frustracije, i često vode adiktivnom ponašanju i bihevioralnim ekscesima ili bar žalbama. Diskomfor anksioznost takodje može da spreči čoveka da dostigne dugoročne ciljeve.

Racionalno uverenje bi bilo: Retko se nešto postiže bez nelagodnosti. Ja mogu tolerisati tu neugodnost, iako mi se to možda nikada neće svideti.

MORA DA POSTOJI SAVRŠENO REŠENJE OVOG PROBLEMA, MORAM BITI SIGURAN I IMATI SAVRŠENU KONTROLU NAD STVARIMA.

Racionalno uverenje: Ovaj svet je svet verovatnoće i šanse, ali u životu se može uživati i pored toga.

IRACIONALNO UVERENJE: UŽASNO JE KADA SE STVARI NE ODVIJAJU NA NAČIN NA KOJI BIH JA VOLEO DA SE ODVIJAJU.

Racionalno uverenje: Loše je da stvari često nisu onakve kakve bi čovek voleo da budu, i bilo bi dobro i preporučljivo promeniti i kontrolisati situaciju, tako da postane zadovoljavajuća. Ako je promena nemoguća, čoveku je bolje da prihvati da je situacija takva kakva je.

Prosečan stanovnik, koji ima problem straha od jonizujućih zračenja, a koji povremeno izraste u fobiju koja zahvati mase, vrlo često će negirati strah, ili će smatrati da on nije preiviše izražen kako to potenciraju prezentovana iracionalna uverenja. Medjutim, u osnovi funkcionisanja pojedinca je netolerisanje realnosti koje može da poprimi i drastične forme. Zato je neophodno da se ispitanici u našem slučaju, a klijenti u terapiji suočavaju sa iracionalnošću svojih uverenja i da ih koriguju u racionalna. Terapijske tehnike REBTa nisu tema ovog rada. Važna je činjenica da se uvidjanjem, menjaju i emocije. Promena emocija je glavni pokazetelj uspešnosti celokupnog procesa.

ZAKLJUČAK

Osnovni principi REBT terapije su logični i prepoznatljivi iz svakodnevnog života. Sistematizivani principi psihičkog funkcionisanja kroz A B C šemu omogućavaju lakše dijagnostikovanje problema a samim tim i rešavanje. Vidimo da je postavljanje problema i njegovo uvidjanje samo mali deo posla. Nepohodno je izdvojiti sistem uverenja koji kreira takav odnos prema stvarnosti i emocije koje ih prate. Menjanje ponašanja rezultuje samo po sebi kada se naprave korekcije u centarlnom delu šeme. Suština procesa je promena iracionalnih uverenja u racionalno prihvatanje realnosti onakvom kakva jeste, ako se već ne može promeniti. Na ovoj stavci počiva i osnovno ekološko načelo: načelo o održivom razvoju ekološkog sveta, ali i najpoznatija teorija percepcije rizika, a to je teorija homeostaze (ravnoteže). Ona podrazumeva potrebu organizma koji trpi promene agensa koji na njega deluje, da reaguje tako da teži ka vraćanju u ravnotežu. Ravnoteža nije ona ista od ranije i ne može biti, već je novi stadijum, koji omogućava optimalno funkcionisanje. To nam obećava i REBT.

LITERATURA

[1] Milanović S. Percepcija rizika od zračenja kod zaposlenih u INN "Vinča", Zbornik radova, XX Simpozijum JDDZ, Tara 1999,483-485

[2] Slovic P. Percepcion of risk, Science, Vol.236; 280-285, 1987.

[3] Marić Z. Uvod u teoriju i praksu REBT, RET Centar, Beograd (Skripta)

[4] Marić Z. Priručnik iz REBT, RET Centar, Beograd (Skripta)

ИЗГРАДЊА ИНФРАСТРУКТУРЕ ЗАШТИТЕ ОД ЗРАЧЕЊА У СР ЈУГОСЛАВИЈИ

С. Марковић, О. Цирај,
Институт за нуклеарне науке "ВИНЧА",
Лабораторија за заштиту од зрачења

САДРЖАЈ

Основне стожере система заштите од зрачења у једној земљи представљају:

- *закон и прописи заштите од зрачења;*
- *наука и струка;*
- *државна организација и спровођење надзора.*

Циљ овог рада је да прикаже стање заштите од зрачења у Југославији, идентификује главне проблеме и предложи начине њиховог решавања, уз посебан нагласак на активности које нас чекају у блиској будућности. Највећа пажња поклоњена је обавези хармонизације система заштите од зрачења са међународним препорукама и стандардима. Презентиран је појам и наглашен значај независног Регулаторног Тела. Разматрана су основна питања око његовог функционисања.

СТАЊЕ ЗАШТИТЕ ОД ЗРАЧЕЊА У СР ЈУГОСЛАВИЈИ ДАНАС

Садашње стање заштите од зрачења у Југославији није задовољавајуће и погоршава се. Глобално гледано у погледу степена развијености заштите од зрачења полако заостајемо за светом. Најгоре стање је у области државне организације.

Научна и стручна база заштите од зрачења – стање кадрова

У овом аспекту заштите ситуација је још понајбоља, иако је очигледно да довољно квалитетних кадрова у области заштите од зрачења у нас нема. Свет је одавно признао да је најјачи аргумент заштите од зрачења знање и да је улагање у школовање и едукацију, па и у мотивацију стручњака неспорно најисплативија инвестиција у области заштите од зрачења. Чињеница да је, код нас, научна и стручна база заштите од зрачења, како истраживачко-развојна, тако и оперативна, концентрисана углавном у Лабораторији "Заштита" Института "Винча", може представљати недостатак , али и предност у коначном устројству глобалног система заштите од зрачења у Југославији, што зависи од приступа државних органа који

доносе стратешке одлуке у овој области. Горњи коментар се односи углавном на Србију. У Црној Гори ситуација је знатно гора него у Србији.

Стање опреме

У овом сегменту заштите стање је лошије, те се поуздано може закључити да су нам кадрови бољи од опреме којом располажемо. Нажалост у земљи никада није било, а ни сада нема, тела које би одлучивало о планској набавци уређаја и инструмената заштите од зрачења, водећи рачун о општедруштвеном интересу. Набавка опреме се и данас одвија појединачним акцијама, а своди се на сукоб интереса пар већих института , уз предност онога који је ближе извору новца.

Закон и пратећи прописи заштите од зрачења

Заштита од зрачења и сигурност извора утврђени су правним системима који се састоје од закона које је прописало национално законодавство и неке комбинације прописа (правилника, уредби, одлука) и стандарда. Стандард је критеријум утврђен од стране професионалне организације и инкорпориран у пропис. Уколико није уграђен у пропис стандард се може схватити и као необавезна, маркетиншка категорија.

Наша земља је била једна од првих земаља у Европи која је направила Закон о заштити од јонизујућих зрачења и 11 пратећих прописа заштите од зрачења, као и 6 прописа из области нуклеарне сигурности /1/. Сва ова документа базирана су модерним светским принципима заштите од зрачења уграђеним у ICRP 60 /2/ и BSS (IAEA) /3/ и Лабораторија "Заштита" у оквиру ИНН "Винча", радећи по овлашћењу, већ неколико година ове принципе уграђује у радијациону праксу.

По мишљењу аутора овог текста наша регулатива заштите од зрачења је углавном добра и, што је најбитније, у садашњим друштвено економским условима, примењива у пракси, што је пракса и доказала, осим пар нејасних формулација које треба изменити, што је пракса такође показала.

Ипак, постоји један недостатак закона и прописа заштите од зрачења, уочен последњих месеци, а то је, углавном, терминолошка, а, у доброј мери и фактичка, неусклађеност наше регулативе са прописима ЕЗ и ИАЕА. Ако хоћемо да будемо део међународног ланца земаља у оквиру ИАЕА, а то хоћемо, неопходно је, што хитније, извршити ревизију постојеће легислативе и регулативе заштите од зрачења и хармонизацију са захтевима међународне заједнице. И кад то урадимо, бићемо, буквално, једна од последњих земаља која је своје прописе потпуно ускладила са стандардима ЕЗ и ИАЕА.

Конкретније речено, потребно је експлицирати појмове као што су: нотификација, ауторизација, ауторизовано правно лице, регистрација, лиценцирање и друге /4/, а најважнији предстојећи задатак је формирати НЕЗАВИСНИ РЕГУЛАТОРНИ ОРГАН – РО, односно, у ИАЕА терминологији, назван REGULATORY AUTHORITY /4/. Овај појам и његова реализација у пракси, заслужују највећу пажњу експерата заштите од зрачења и, у излагању које следи, биће детаљније описан и коментарисан.

Основна сврха система регулативе ја да кодификује и форматизује захтеве заштите и радијационе сигурности. Прописи заштите од зрачења се односе на она излагања зрачењу чију величину и вероватноћу је могуће контролисати. Они дефинишу административне мере – услове за нотификацију и ауторизацију, а такође

и све битне захтеве заштите од зрачења и сигурности становништва и околине, а, када је то потребно, и пацијената.

Прописи морају бити прецизни и недвомислени, писани лаким и разумљивим језиком. Регулаторно Тело мора успоставити једноставне, ефикасне и довољно флексибилне процедуре за успостављање, ревизију и укидање прописа. Тиме може одржати корак са променом услова и напретком технологије.

НЕЗАВИСНИ РЕГУЛАТОРНИ ОРГАН (РО)

РО је независно тело (орган, установа, институција или део институције), именован од владе државе или надлежног државног органа (министарства), са јасно и прецизно дефинисаним овлашћењима, задужењима, правима и обавезама /4/:

- РО треба да постоји као засебна целина;
- РО треба да буде именован од владе или надлежног министарства;
- Директор РО треба да буде именован од владе или надлежног министарства;
- РО представља државу према иностранству .

РО може имати разне називе и то је ствар државе која га успоставља: Управа, Завод, Дирекција, Одељење, Одсек, Центар, Агенција, Биро…У земљама ЕУ улогу РО обављају у већини случајева министарства здравља, а у неколико земаља, поред њих, и министарства екологије, енергетике, рада, пољопривреде, трговине, док се у Холандији појављује Министарство социјалног старања, здравља и културе. У другим земљама ван ЕЗ такође доминирају, углавном, министарства здравља /5/.

Један од основних атрибута РО је апсолутно овлашћење у области јонизујућих зрачења, пренето на РО од стране државе, а у циљу ефикасног функционисања. Одговарајући орган у нас, за сада, је Савезно Министарство Здравља, репрезентовано у једној личности – Савезном Инспектору за јонизујућа зрачења, који се, по сопственој изјави, осећа "као пусто острво".

Основне делатности РО су:

- припрема прописа из области заштите и радијационе сигурности:
- издавање, продужавање и одузимање одобрења за рад са изворима зрачења;
- издавање осталих одобрења (за промет, у вези РАО и друга);
- иницирање истраживања и проучавање свих аспеката радијационе сигурности;
- израда стручних основа за образовање лица која раде са изворима зрачења;
- спроводи инспекцијски надзор;
- предузима потребне акције ради присилног спровођења прописа;
- одржава међународну сарадњу;
- успоставља механизме за информисање јавности;
- обавља друге прописане послове из оквира своје надлежности.

Надзор над спровођењем закона и прописа заштите од зрачења РО врши преко својих инспектора за јонизујућа зрачења.

Посебно се инсистира на стручној и финансијској независности РО-а. Овде је посебно интересантан захтев "финансијске независности" РО-а. Мишљења смо да реч "независност" треба схватити као услов за обезбеђење "непристрасности" РО-а и, из тих разлога, а у циљу елиминације сваке могућности злоупотребе, РО мора бити потпуно независтан од свих утицаја са стране. Битно је да одговорности РО буду потпуно одвојене од било којег другог тела, тако да РО може очувати своју независност процене и доношења одлука. Из тих разлога рад и улога РО мора бити

јасно одвојена од осталих државних тела. Такође РО не сме имати никакве везе од утицаја субјеката који подлежу регулативи: власника рагистрација и лиценци, или произвођача извора зрачења. Сем тога РО треба да избегава све активности које би га могле компромитовати или изгледати да угрожавају његову независност (као што може бити пружање консултантских услуга).

Термин РО је врло широк, а , генерално, он представља ауторитет или систем ауторитета који је компетентан да обавља функције и обавезе утврђене законом. Иако је пожељно да сва регулаторна одговорност буде на једном месту, она је често подељена. Најбољи пример за ово је садашња ситуација у нашој земљи, где бар 6 министарстава (секретаријата) покрива разне сегменте примене јонизујућих зрачења (Савезна министарства (секретаријати) за здравље, екологију, привреду, ССУП и републичка : здравље, екологија, МУП).

У смислу регулативе РО може креирати прописе које доноси законодавно тело, а онда их опет имплементира РО, а могуће је да РО и доноси и имплементира прописе, након проласка кроз прописане процедуре (јавне расправе, примедбе…)

Фундаментални принцип који у легислативи заштите од зрачења мора бити потпуно јасно и прецизно исказан је факат да одговорност за заштиту од зрачења и сигурност извора лежи на регистрантима и корисницима лиценци (у садашњој нашој терминологији "корисницима извора зрачења"), као и послодавцима радника изложених зрачењу – професионално изложених лица.

Из тих разлога, пре него што се једном министарству препусти да, у оквиру свог домена, регулише неку материју, треба, са вишег државног нивоа, обезбедити јурисдикције и линије одговорности како би избегли преклапање надлежности и покрили све правне празнине, а корисницима извора зрачења јасно ставили до знања којем пропису и органу подлежу.

У области радијационе сигурности, а ради ефикасности и уштеде времена, што у појединим ситуацијама може бити одлучујуће важно, најбоље је да сам РО буде овлашћен од државе за доношење прописа.

У ванредним радијационим ситуацијама – режиму радијационог акцидента или инцидента улога РО је посебно значајна, а у озбиљнијим случајевима који могу угрозити ширу територију може бити одлучујућа.

Финансирање Регулаторног Органа – Ово је фундаментално питање које задире у саму суштину функционисања РО. Како се финансира РО? Да ли РО треба да наплаћује своје услуге крајњем кориснику приликом нотификације, регистрације или добијања лиценце? Како ће, у том случају, очувати своју независност, односно непристрасност? Не може се направити систем у којем РО кориснику изда решење у смислу: *Морате прибавити одређена документа и платити одређене таксе (казне). То кошта толико*. Онај ко наређује спровођење потребних мера, не може, приликом њихове реализације, то да наплати и оствари приход у свом буџету /4/. А шта може? Да ли уопште РО може да наплаћује своје услуге ? Одговор је: да. Наплата услуга, ако се врши, може се спроводити на нивоу државног буџета, тако да не постоји директна веза између наплаћених средстава и буџета РО. Значи, наплаћене таксе и казне треба усмерити у државну благајну. По препоруци ИАЕА то је најбољи начин за спречавање злоупотребе и одржање независности РО.

Како РО функционише код увоза извора зрачења? Све земље увозе неке изворе, а неке земље увозе већину својих извора. Законодавство земље (легислатива) треба да омогући директну везу између царинских служби и РО, како би се адекватна контрола осигурала на лицу места.

ЗАВРШНИ КОМЕНТАР О РЕГУЛАТОРНОМ ОРГАНУ

- РО је независно тело. У односу према корисницима и другим спољним субјектима РО је непристрасан;
- РО наплаћује своје услуге корисницима. Та средства не иду у буџет РО већ у буџет државе. Не постоји директна веза између прихода који РО остварује путем такси и буџета РО;
- За сада, у нас, послове РО обавља Савезно Министарство здравља, али само у смислу одобравања делатности и инспекцијске контроле. Нека озбиљнија организација као основа за успостављање РО не постоји.
- У свом саставу РО не мора да има врхунске експерте из појединих сегмената заштите од зрачења. РО не врши ескпертске послове заштите од зрачења, већ обезбеђује услове за добро функционисање система заштите. Једно од битних питања везаних за рад РО је какво и колико образовање у заштити од зрачења треба да имају кадрови у РО ?
- Кадрови у РО морају тамо бити запослени.
- Као државно тело РО је, по раду у неким сегментима, сличан Националној Комисији за заштиту од зрачења, с том битном разликом што су чланови Комисије и даље редовно запослени у својим фирмама, а улога Комисије је само саветодавна. Њени чланови су већи стручњаци заштите него кадрови у РО.
- У овом тренутку тешко је замислити РО у нашим условима, јер држава једноставно има значајнијих проблема и последице несрећене организације државе заштита од зрачења трпи више година. Илустративан доказ је чињеница да, иако је то од стране стручњака, укључујући ауторе овог текста, сигнализирано бар 10 пута у последњих 5 година, држава није покренула иницијативу за израду Националног Регистра – Базе података о изворима јонизујућих зрачењам иако је то требало само да затражи и добије, без, практично, икаквих улагања.

ШТА НАМ ВАЉА ЧИНИТИ

- Сачекати коначни расплет са устројством државе и онда на највишем нивоу одлучити да ли ће заштита од зрачења остати на савезном нивоу или прећи на Републику Србију;
- Одлучити које ће министарство (министарства) покривати област заштите од зрачења, без преклапања надлежности и без “рупа” у надлежностима.
- Уз консултацију и помоћ експерата направити Програм (или Национални Програм) заштите од зрачења, и, тиме, обезбедити услове за функционисање заштите од зрачења у пракси. Основни кораци које би, у том циљу, требало паралелно спровести, били би:
  - Измена и дорада Закона и прописа;
  - Израда флексибилне Базе података о изворима зрачења;
  - Израда програма и организовање школовања, едукације и тренинга кадрова
  - На нивоу надлежног министарства формирање РО са јасном организацијом, овлашћењима и финансирањем;

Обезбеђење услова за спровођење регулативе заштите од зрачења (примена закона, регулисање контроле извора у медицини и индустрији, систем нотификације, регистрације и добијања лиценци, инспекцијски надзор, акцидентална спремност, реализација школовања и тренинга кадрова, подршка практичној заштити кроз: персонални мониторинг, контролу околине, калибрацију, контролу квалитета).

ЛИТЕРАТУРА

[1]Закон о заштити од јонизујућих зрачења, ("Сл.лист СРЈ", бр. 46/96) и пратећи прописи (Сл.листови СРЈ, бр. 45/97, бр. 32/96 и бр. 9/99).

[2]1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP 60, Annals of the ICRP, Pergamon Press.

[3]International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, 1995.

[4]Организација и имплементација националне регулаторне инфраструктуре за обезбеђење заштите од јонизујућег зрачења и сигурности извора зрачења, Привремени извештај за коментарисање, ИАЕА, IAEA – TECDOC – 1067, Feb.1999.

[5]S.Grgić, M.Novaković and D.Kubelka, REGULATORY AUTHORITIES FOR RADIATIN PROTECTION: A COMPARISON, IRPA Regional Congress, Dubrovnik 2001.

[6]BOSNIA AND HERCEGOVINA (SERB REPUBLIC OF B&H), WORK PLAN, REP/9/62, 2001 – 2002., National Regulatory Control and Occupational Radiation Protection Programmes.

ABSTRACT

A CONSTRUCTION OF THE RADIATION PROTECTION INFRASTRUCTURE IN YUGOSLAVIA

S. Marković, O. Ciraj,
Institute for nuclear sciences "Vinča",
Laboratory for Radiation and Environmental Protection

The basic support of the radiation protection system in one country is:

- radiation protection low and regulation;
- science and profession;
- Governmental administration.

The purpose of this paper is to describe the radiation protection situation in Yugoslavia, to identify the leading problems and to prepose the way for thair solution with a consideration of the near future activities. The special attentation is paid to obligation of the harmonisation of the radiation protection system to international recommendations and standards. The concept of the Regulatory Authority is presented and his importance is emphasized. The basic questions about its function are considered.

ПРИМЕНА ГЕНЕТСКИХ АЛГОРИТАМА У ОДРЕЂИВАЊУ ПАРАМЕТАРА РАДИОЕКОЛОШКИХ МОДЕЛА

Г. Пантелић
Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Карајовић"
– предавање по позиву –

САДРЖАЈ

За одређивање биолошког времена полураспада ^{137}Cs у млеку, као и коефицијента трансфера овог радионуклида из траве у млеко после Чернобиљског акцидента, примењени су генетски алгоритми. То су оптимизациони методи који имитирају природне механизме селекције, а примењени су на двокомпонентни модел. Претпостављена решења проблема код генетских алгоритама су популације низова. Над популацијом се примењују операције селекције, избора родитеља, укрштање и мутација да би се креирала нова популација, при чему се минимизира одступање апроксимиране функције од експерименталних података. Биолошко време полураспада ^{137}Cs у млеку је (36 ± 3) дана, а коефицецјент трансфера из траве у млеко (0.0019 ± 0.005).

МОДЕЛИРАЊЕ ПРОСТИРАЊА РАДИОНУКЛИДА У ЖИВОТНОЈ СРЕДИНИ

Код акциденталног испуштања радионуклида у животну средину неопходно је брзо предвиђање резултујуће дозе за становништво, а то се може предвидети математичким моделима. Ови модели се заснивају на експерименталним резултатима, на карактеристикама испуштеног материјала и средине кроз коју се врши транспорт, путевима експозиције и ланцу исхране, као и на основу метаболизма одговарајућих радионуклида код човека.

Параметри модела су константе и независне променљиве. Параметри који се користе у моделима трансфера радиоактивности кроз животну средину треба да буду процењени или изведени из података добијених из ранијих сличних ситуација, за које ће се ови модели и примењивати.

Параметри могу бити везани за извор радиоактивности, могу бити параметри који се односе на физички транспорт, на биолошки трансфер или параметри који се односе на експозицију.

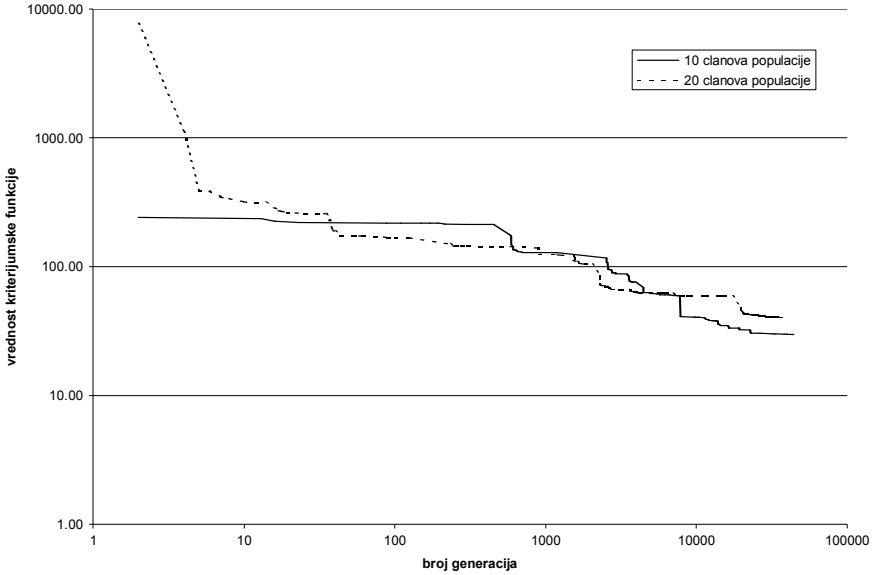
Одређивање параметара модела се врши минимизацијом одступања података рачунатих према моделу од експерименталних података. За успешну процену параметара потребно је изабрати метод оптимизације који има могућност избегавања локалних минимума, односно има велику вероватноћу налажења глобалног минимума. Веома успешан метод за оптимизацију су генетски алгоритми.

ГЕНЕТСКИ АЛГОРИТМИ

Генетски алгоритми су методи оптимизације који имитирају механизме природне селекције [1,2], не захтевају прецизне почетне услове, а користе само генерисање случајних бројева, копирање низова и делимичну размену чланова низа.

Претпостављена решења проблема се представљају векторима вредности параметара који се по аналогији називају хромозоми. Дужина хромозома је одређена бројем парамеатра модела. Појединачни параметри – елементи хромозома називају се гени. Скуп претпостављених решења проблема чини популацију, а сваки хромозом у популацији се карактерише критеријумском функцијом која се минимизира. Број чланова популације може бити по избору. Утицај броја чланова популације на смањење критеријумске функције је само у почетку (слика 1), у првим генерацијама, јер већи број чланова популације утиче само на већи број почетних комбинација.

Над популацијом се примењују операције селекције, избора родитеља, укрштање и мутација. Критеријум завршетка процеса је да средња вредност критеријумске функције достигне одређену вредност или да се та вредност не мења одређен број итерација.



Слика 1. Утицај броја чланова популације на вредност критеријумске функције

За репрезентацију параметара може се користити бинарно представљање, или, као у нашем случају, помоћу реалних бројева. Тада приликом укрштања не долази до измене самих параметара, већ се само мења комбинација параметара. У почетној популацији параметри p_i се генеришу случајно

$$p_i = p_{i1} + (p_{i2} - p_{i1}) \cdot r \tag{1}$$

тако да се налазе унутар неких заданих граница p_{i1} и p_{i2}, где је r случајан број из интервала [0,1].

Селекција обезбеђује да хромозоми са најбољим карактеристикама преживе у следећој генерацији. За избор родитеља најчешће се користи метод рулета. Код укурштања хромозома користи се уређена комбинација укрштања (у једној или две тачке) или униформна комбинација укрштања.

Мутација обезбеђује различитост хромозома у популацији. Ова измена је мале вероватноће, а спречава сувише брзу конвергенцију ка локалном минимуму.

Критеријум завршетка процеса је да се њена вредност не мења одређен број итерација или да средња вредност критеријумске функције достигне неку врдност.

ПРИМЕНА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА У РАДИОЕКОЛОШКИМ МОДЕЛИМА

Садржај радионуклида у организмима је одређен равнотежом између уношења радионуклида и њихове елиминације излучивањем из организма или радиоактивним распадом. Биолошко време полураспада радионуклида је време за које се једнократно унешена активност радионуклида сведе на половину путем биолошке леиминације.

Пошто су млеко и млечни производи веома значајни у људској исхрани, а и представљају значајан пут за унос радионуклида у људски организам у случају нуклеарних несрећа и избацивања радионуклида у животну средину, веома је значајно одредити биолошко време полураспада радионуклида који се могу тада појавити.

Активност неког радионуклида у млеку после транспорта из траве може се приказати следећом релацијом:

$$A_m = \left(A_{mo} + \frac{f_t I_t A_{to}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) e^{-\lambda_2 t} - \frac{f_t I_t A_{to}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \tag{2}$$

добијене применом двокомпонентног модела [3]. У овој релацији су:

- A_{t0} и A_{m0} почетна активност у трави и млеку (респективно),
- f_t коефицијент трансфера радиоактивности из траве у млеко,
- I_t количина унете траве,
- λ_1 и λ_2 ефективна константа распада радионуклида у трави и млеку (респективно).

Ефективне константе распада се дефинишу као збир радиоактивне константе распада λ_f и еколошке константе распада λ_e за траву:

$$\lambda_1 = \lambda_f + \lambda_e \tag{3}$$

односно збир радиоактивне константе распада λ_f и биолошке константе распада λ_b у млеку:

$$\lambda_2 = \lambda_f + \lambda_b \tag{4}$$

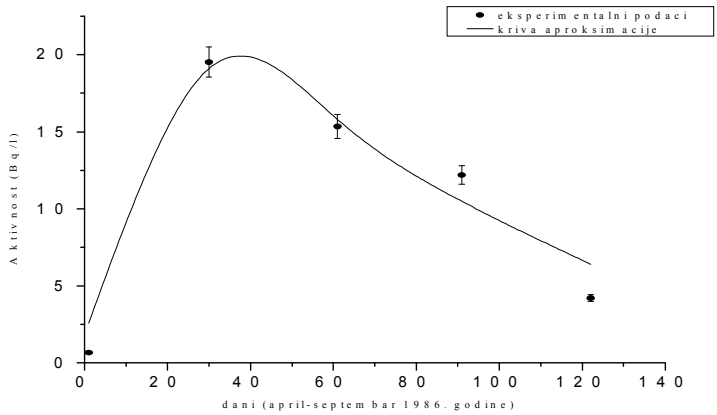
Користећи генетске алгоритме и експерименталне податке добијене мерењем активности ^{137}Cs у животној средини у 1986. години [4], након акцидента у

Чернобиљу, одређено је билошко време полураспада за овај радионуклид у млеку. Добијено биолошко време полураспада ^{137}Cs у млеку је (36 ± 3) дана,), што се слаже са вредношћу 33 дана из литературе [5]. Добијени коефицијент трансфера ^{137}Cs из траве у млеко је (0.0019 ± 0.005) и та вредност упада у интервал вредности које су добили други аутори од 0.001 до 0.027 [6].

На слици 2 су приказане измерене средње месечне вредности активности ^{137}Cs у млеку у Београду, као и апроксимиране вредности добијене применом гентских алгоритама.

ЗАКЉУЧАК

Овај рад показује да се генетски алгоритми могу успешно употребити за одређивање параметара еколошких модела, да су веома једноставни, при чему није неопходно познавати прецизне почетне услове, а да користе само генерисање случајних бројева, копирање низова и делимичну размену чланова низа.



Слика 2. Мерене и апроксимиране вредности активности ^{137}Cs у млеку у 1986. години у Београду

ЛИТЕРАТУРА

1. D.A. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison –Wesley Publishing Company, USA, 1989
2. Handbook of Genettic Algorithms, edited by L. Davis, USA, 1991
3. Shaeffer D.L., A two-compartment model for transport of ^{131}I via the pasture-cow-milk pathway, Health Physics Vol. 41, 155-164,1981
4. Радиоактивност животне средине у Србији у 1986. години, Завршни елаборат, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Карајовић", Београд, 1987
5. Muck K., Roth K., Gerzabek M.H., Oberlander H.E. ″Effective Half-lives of I- and Cs-Isotopes in Grassland Shortly After Fallout″, J. Environ. Radioactivity 24, 127-143, 1994
6. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, Technical Reports Series No. 364, IAEA, 1994

ABSTRACT

APLICATION OF GENETIC ALGORITHM IN RADIOECOLOGICAL MODELS PARAMETER DETERMINATION

G. Pantelić
Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović"

Genetic algorithms were used to determine biological half-life of ^{137}Cs and transfer coefficient in the milk, after the Chernobyl accident. These are optimization methods that imitate natural selection mechanisms and they were applied on a two-compartment linear system model. Model parameters are represented by an array of real numbers. Genetic algorithms operate on set of such arrays (populations). Reproduction, crossover and mutation are applied to successive population to create new population. Model parameter estimation is performed by minimizing square differences between fitting function and experimental data. The calculated biological half-life of ^{137}Cs in milk is (32 ± 3) days and transfer coefficient from grass to milk is (0.0019 ± 0.005).

MIGRACIJA ČESTICA URAN OKSIDA KROZ ZEMLJU

R. Antanasijević
, I. Aničin[1], R. Banjanac, V. Udovičić, A. Dragić, D. Joković
Institut za fiziku, Beograd
[1]Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

SADRŽAJ

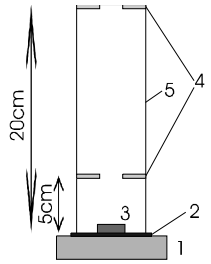
Ispitivana je migracija čestica uran oksida kroz zemlju koje potiču od sagorevanja metalnog urana. Merenja koncentracije urana na različitim dubinama u zemlji vršena su upotrebom čvrstih detektora tragova (LR-115 i CR-39) i X spektroskopijom.

UVOD

Uran oksid može biti prisutan u rudnicima urana, fabrikama za proizvodnju metalnog urana i posebno, kao produkt vojne upotrebe municije od osiromašenog urana (99.8 % U-238, 0.2 % U-235). Metalni uran sagoreva na temperaturi od 500 ^{o}C i oslobadja okside UO_2 i U_2O_3 (UO) [1]. Procenat oksidacije urana zavisi od raznih faktora, a posebno od prisustva kiseonika [2]. Najveća količina UO oslobodjena je izmedju 1991 i 1999 godine sagorevanjem municije od osiromašenog urana kojom su bile naoružane neke vojne letelice i tenkovi [3]. U ovom radu opisani su sagorevanje metalnog urana, disperzija čestica UO i njihov transport kroz zemlju.

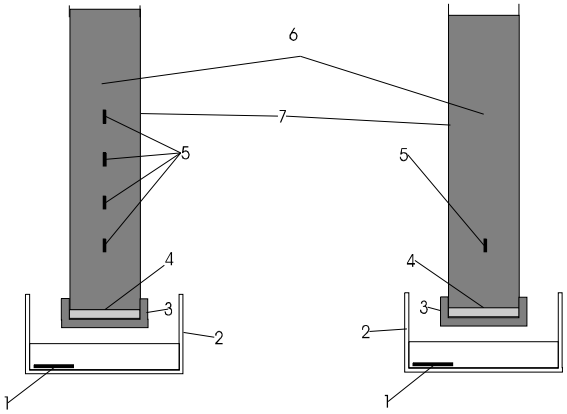
EKSPERIMENTALNI METOD

Sagorevanje metalnog urana – Način sagorevanja urana i sakupljanja čestica UO prikazani su na slici 1. Posle sagorevanja, neke čestice UO zarobljene su na filter papiru smeštenom na različitim rastojanjima od izvora. Filter papiri su zatim navlaženi kedrovim uljem i analizirani su prečnik i oblik čestica UO optičkim mikroskopom sa uvećanjem 100 puta.



Slika 1. Šematski dijagram sagorevanja urana: 1- grejač, 2- plotna od nerdjajućeg čelika, 3- metalni uran (2 grama), 4- filter papir, 5- cilindar od pireksa

Transport čestica UO kroz zemlju – Metoda kojom je ispitivana migracija UO čestica kroz zemlju prikazana je na slici 2. Dva plastična cilindra napunjena su zemljom izmerene gustine 2.7 gcm^{-3}. Detektori CR-39 smešteni su na nekoliko pozicija unutar cilindra. U prvom cilindru sloj UO (2g urana) smešten je na 5 cm ispod površine. Drugi cilindar je isti kao prvi ali bez urana i samo sa jednim detektorom CR-39 smeštenim u zemlji. Cilindri su svakog dana natapani sa 30 ml obične vode (pH=7) tako da ukupna količina vode odgovara prirodnim uslovima padavina za povrtarske kulture tokom 3 meseca.



Slika 2. Šematski dijagram metode za ispitivanje migracije UO čestica kroz zemlju:
1- LR-115 detektori, 2- posuda za vodu, 3- mrežica od nerdjajućeg čelika,
4- filter papir, 5- CR-39 detektori, 6-zemlja, 7- plastični cilindri

Detekcija uran oksida – Posle irigacije, detektori CR-39 i LR-115 hemijski su standardno tretirani i tragovi su analizirani optičkim mikroskopom sa uvećanjem 300 puta. Uzorci zemlje sa različitih pozicija, koje odgovaraju mestima gde su smešteni detektori CR-39, analizirani su spektrometrom X zračenja (Princeton gamma-tech) u niskofonskoj podzemnoj laboratoriji Instituta za fiziku [4].

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazani su veličina (prečnik **d**) i oblik analiziranih čestica uran oksida.

Tabela 1. Dimenzije i oblik UO čestica

Rastojanje do UO izvora [cm]	d < 10 μm		d ≥ 10 μm
	Oblik čestica		
	Sferni	Nepravilan	
5	1190 (35)	1280 (36)	1060 (33)
20	1610 (41)	1261 (35)	374 (19)

Dimenzije UO čestica opadaju sa rastojanjem do izvora dok su čestice sa ***d*** > 10 μm prisutnije na 5 cm rastojanja do UO izvora u odnosu na manje čestice. Oblik čestica je nezavisan od rastojanja. Fonski broj tragova, 2350 (230), dobijen je iz drugog cilindra kome odgovara prirodna koncentracija urana u zemlji. Rezultati relativne UO koncentracije merene CR-39 detektorima i metodom X spektroskopije prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Relativna koncentracija urana na različitim dubinama u zemlji

Dubina zemlje – rastojanje do UO izvora [cm]	Broj tragova [cm^{-2}]	Relativni intenzitet linije od 63.3 keV u X-spektru [min^{-1}]
5 -15	-	0.27
15	4200 (65)	-
15 -25	-	0.06
30	2550 (50)	-
25 -37	-	0.14
37 -50	-	0.01
50	2420 (49)	-

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da postoji migracija čestica uran oksida kroz zemlju pošto je detektovano prisustvo urana sa obe metode na dubini izmedju 15 i 30 cm od izvora. U slučaju kiselih kiša UO čestice bi mogle biti rastvorene i tako bi migrirale na još dublje lokacije pa se planira detaljno istraživanje tog problema.

LITERATURA

[1] Antanasijević R., Aničin I. "Moguće posledice vojne primene osiromašenog urana", Knjiga izvoda sa *III Jugoslovenskog simpozijuma HEMIJA I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE,* Vrnjačka banja 1998, p. 35

[2] Parker R. L. "Fear of flying" , Nature Vol. 336 22/23 Dec. 1988, p. 719

[3] Lightbody A., Payer J. "The complete book of U. S. Fighting Power" , p. 52, 239 Publ. International, Ltd. 1990

[4] Antanasijević R., Banjanac R., Udovičić V., Dragić A., Marić Z., Popović D., Krmpotić Dj., Bikit I., Aničin I. *Proceedings of Tenth congress of physicist of Yugoslavia,* Vrnjačka banja 2000, p. 385

ABSTRACT

MIGRATION OF U-OXIDES PARTICLES THROUGH THE GROUND

R. Antanasijević, I. Aničin[1], R. Banjanac, V. Udovičić, A. Dragić, D. Joković
Institute of Physics, Belgrade, Yugoslavia
[1]Faculty of Physics, University of Belgrade, Yugoslavia

The migration of U-oxides, originated from the combustion of metallic uranium, through the ground was investigated. The measurements of the U concentration at the different depth in the ground were performed using NTD (LR-115 and CR-39) and by the X-spectroscopic method.

ALFASPEKTROMETRIJSKA ANALIZA PROJEKTILA SA OSIROMAŠENIM URANIJUMOM I UZORAKA ZEMLJE

V. Šipka, M. Radenković, D. Paligorić, J. Đurić
INN "Vinča", Laboratorija "Zaštita"

SADRŽAJ

U radu su dati rezultati alfaspektrometrijske analize projektila korišćenih u NATO bombardovanju i kontaminiranog zemljišta. Naši rezultati su u saglasnosti sa rezultatima stranih laboratorija koje su analizirale projektile sa teritorije Kosova [1]. U projektilima pored ^{238}U, ^{235}U, i ^{234}U, identifikovani su i ^{236}U, $^{239,240}Pu$, a osim toga i ^{237}Np. U uzorcima kontaminiranog zemljišta utvrdjeno je na osnovu odnosa $^{238}U/^{234}U$ da kontaminacija potiče od korišćene municije sa osiromašenim uranijumom.

UVOD

Po završetku NATO bombardovanja naše zemlje deo sakupljenih uzoraka sa teritorije Jugoslavije, izuzev Kosova i Metohije, dostavljen je Institutu "Vinča" na analizu. U medjuvremenu sredstva informisanja u svetu počela su da izveštavaju o mogućnosti da za izradu municije nije korišćen osiromašeni prirodni uranijum, već uranijum iz prerade nuklearnog goriva. Zbog toga bi se moglo očekivati da se u analiziranim projektilima nadju i trnsuranski elementi ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{99}Te, ^{237}Np kao i ^{236}U koji se ne nalazi u prirodi.

U Institutu "Vinča" u Laboratoriji "Zaštita" grupa za kontrolu životne sredine ima već više od deset godina fomiranu radiohemijsku laboratoriju i stručan kadar, koji se bavi i alfa spektrometrijom. Posle akcidenta u Černobilju, razvili smo metode za alfaspektrometriju U, Th i Pu u zemljištu, vodi, veštačkom đubrivu i vazduhu [2, 3, 4, 5].

EKSPERIMENTALNI DEO

Metoda alfa-spektrometrijskog merenja zahteva pripremanje tankoslojnog homogenog izvora svakog radionuklida ili grupe radionuklida čije se alfa energije razlikuju dovoljno da mogu biti identifikovane. To zahteva složen radiohemijski postupak za razdvajanje elemenata.Rastvaranje uzorka metka rađeno je u skladu sa standardom ASTM C 1204 i ASTM C 1347–96a. Uzorci zemlje analizirani su u skladu sa standardnim metodama za detekciju U i Pu izotopa u zemljištu ASTM C 1000–90 i ASTM C 1001–90.

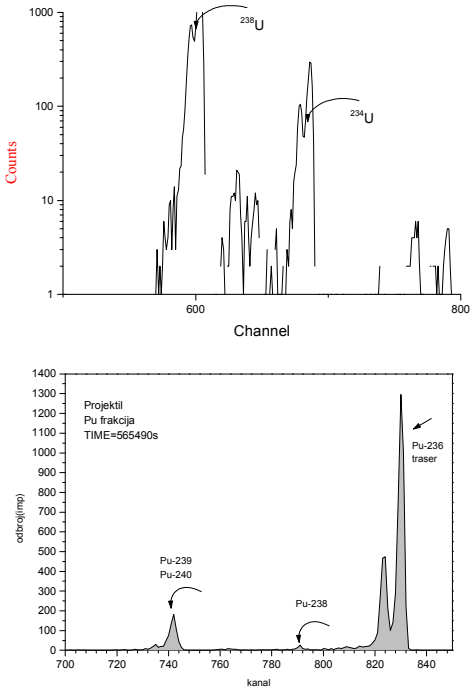
Vreme potrebno za ovakav postupak kreće se od 5 do 10 radnih dana. Za kvantitativnu analizu potebni su traseri, odnosno izotopi onih radionuklida koji se žele

odrediti a ne nalaze se u prirodi ili u analiziranom uzorku. U ovom radu korišćeni su ^{236}Pu i ^{232}U kao traseri za plutonijumove odn. uranijumova izotope.

Korišćen je alfa spektrometar Canberra 2004, koji ima sledeće karakteristike: PIPS detektor površine 100 mm^2, rezoluciju od 20 kev za alfa liniju ^{241}Am, energiju po kanalu oko 7 keV, efikasnost detekcije 7%.

REZULTATI

Uzorci koji su do sada analizirani, u našoj laboratoriji, su projektili (eksplodirani i neeksplodirani) i uzorci zemlje sa lokacija koje su bombardovane na teritoriji Južne Srbije (bez Kosova i Metohije) i Crne Gore. Tipičan alfa spektar uranijumovih i plutonijumovih izotopa u neeksplodiranom metku prikazan je na slici 1.



Slika1. a) Alfa spektar uranijumovih izotopa iz projektila
b) Alfa spektar plutonijumovih izotopa iz projektila

U spektru uranijumove frakcije metka identifikovani su ^{238}U,^{234}U,^{235}U, ^{236}U i traser ^{232}U. Odnosi aktivnosti i odnosi masa ovih izotopa prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Odnosi aktivnosti i masa uranijumovih izotopa u projektilu

	^{238}U/^{234}U	^{238}U/^{235}U	^{238}U/^{236}U
odnos aktivnosti	≈8,0	≈100	≈150
maseni odnos	1,6x10^5	≈650 (≈0,2%)	≈3x10^4

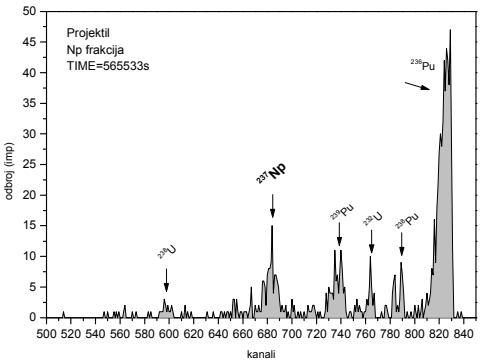
U neeksplodiranom metku našli smo da je koncentracija ^{236}U ≈80 kBq/kg (≈30 mg/kg metka). Ove vrednosti su uporedljive sa vrednostima koje je dobila AC Labor. Spiez Švajcarska tabela 2 [1, str.129].

Tabela 2. Aktivnost izotopa U i $^{239,240}Pu$ u neeksplodiranom projektilu

poreklo uzorka	laboratorija	U-238 Bq/kg	U-235 Bq/kg	U-234 Bq/kg	U-236 Bq/kg	$^{239,240}Pu$ Bq/kg
jug Srbije	INN Vinča lab.Zaštita	$11,4x10^6$	$1,14x10^5$	$1,40x10^6$	$7,70x10^4$	76
ZA/R-00-500-02 Ceja Mountain	AC Labor. Spiez Switzerland	$12,37x10^6$	$1,61x10^5$	$1,39x10^6$	$6,19x10^4$	3

Iz spektara plutonijuma separisanog iz neeksplodiranog metka (sl.1b) procenjena koncentracija $^{239,240}Pu$ iznosi ≈76 Bq/kg metka. U izveštaju UNEP [1, str.130.] navodi se da se koncentracije $^{239,240}Pu$ mogu kretati u granicama 85 Bq/kg do 130 Bq/kg projektila.

Izotop ^{237}Np nadjen je u tragovima u uzorku metka (sl.2). Za identifikaciju ovog radionuklida neophodna je dobra separacija od uranijuma jer se alfa energije ^{237}Np i ^{234}U potpuno preklapaju. Pošto se na ovom spektru, za vreme merenja od 6 dana, izotop ^{238}U nalazi u tragovima onda se sa sigurnošću može tvrditi da pik u energetskoj oblasti ^{234}U pripada ^{237}Np.

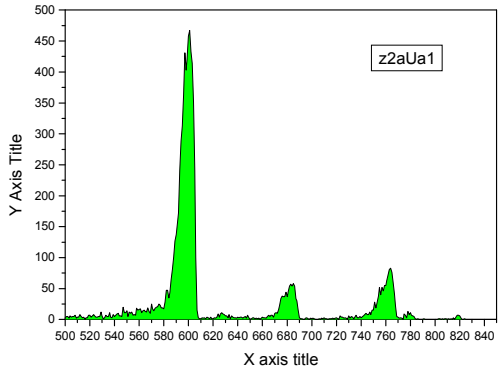


Slika 2. Alfa spektar neptunijumove frakcije separisane iz projektila

Analizom kontaminiranog zemljišta, na mestu pogotka, utvrdjeno je prisustvo izotopa ^{238}U, ^{234}U, ^{235}U i ^{236}U (sl.3) sa odnosom aktivnosti $^{238}U/^{234}U$≈8 kao i u projektilima. Za razliku od ovoga nekontaminirano zemljište pokazuje odnos aktivnosti $^{238}U/^{234}U$≈1[2] .

ZAKLJUČAK

1. Nađeni maseni odnos $^{235}U/^{238}U$≈0,2% i odnos aktivnosti $^{238}U/^{234}U$≈8 ukazuje da su, na teritoriji Južne Srbije i Crne Gore, korišćeni projektili sa osiromašenim uranijumom.
2. Prisustvo ^{236}U, $^{239,240}Pu$ i ^{237}Np potvrđuje da je za izradu projektila korišćen ”prljavi” osiromašeni uranijum čije je poreklo verovatno iz reprocesinga.



Slika3. Alfa spektar izotopa uranijuma iz uzorka zemlje sa juga Srbije

3. Kontaminacija zemljišta sa osiromašenim uranijumom nedvosmisleno je utvrđena na strogo lokalizovanom terenu, neposredno na mestu pogotka.

LITERATURA

[1] UNEP, Depleted uranijum in Kosovo, Post Conflict Environmental Assessment,2001

[2] M.Radenković, D.Vuković,V.Šipka, D.Todorović: "Ion-exhange separation of uranium, thorium and plutonium isotopes from environmental samples", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, **208(2),** (1996), 467-475.

[3] M.Radenković, D.Vuković, V.Šipka, D.Paligorić: "Radiochemical separation and quantitative determination of uranium, thorium and plutonium isotopes in the soil and fertilizer samples": in the Proceedings from the Second International Symposium and Exibition of Enveronmental Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest'94, September 20-23, 1994, Budapest, Hungary, Government Institete, Inc. Rockville, MD, USA, pp. 1030-1031, 1994.

[4] D.Vuković, M.Radenković, V.Šipka, D.Paligorić: "Metoda alfa-spektrometrijskog odredjivanja izotopa urana, torijuma i plutonijuma u uzorcima iz životne sredine", XVII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Beograd-Vinča, 25-28. maj 1993.,115-118.

[5] S.Kudra: "Odredjivanje koncentracije izotopa ^{239,240}Pu i ^{238}Pu u prizemnim slojevima vazduha u periodu Černobiljskog akcidenta na lokaciji Beograda", Magistarski rad, Univ. u Beogradu Fak. za fizičku hemiju, 1992.

ABSTRACT

DETERMINATION OF URANIUM AND PLUTONIUM ISOTOPES IN THE SOIL AND DU PENETRATORS

V. Šipka, M. Radenković, D. Paligorić, J. Đurić
Institute of nuclear sciences "Vinča"

Some results determination of U and Pu isotopes by alpha spectrometry in the soil and DU penetrators are presented in this paper. Radioisotopes ^{238}U,^{234}U,^{235}U, ^{236}U, ^{239,240}Pu and ^{237}Np have been chemically separated from DU penetrators. This indicated that some of depleted uranium came from reprocessed uranium. Some of the soil samples containing high concentrations of depleted uranium and revealed traces of ^{236}U, which is non natural uranium isotope formed.

PROCENA RASPROSTIRANJA AEROSOLA OSIROMAŠENOG URANIJUMA KROZ ATMOSFERU PRI POGOTKU U TVRDU METU

Z. Grsić, M. Jovasević-Stojanović, P. Milutinović[1]
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine , INN "Vinča"
[1]Institut za fiziku, Zemun

SADRŽAJ

U ovom radu razmatra se rasprostiranje aerosola osiromašenog uranijuma na osnovu formiranja oblaka nastalog pogotkom projektila sa OU u tvrdu metu. Za modelovanje rasprostiranja korišćen je Gausov "puff" model. Na osnovu modelovanja pokazano je da rasprostiranje u velikoj meri zavisi od meteoroloških uslova i da su bez obzira na prostornu rapodelu koncentracije OU, u najnepovoljnijoj situaciji oni ljudi koji se zateknu na rastojanju oko 200-600 metara od mete, pogodjene projektilom sa OU u toku oblačnog dana, pri slabom vetru. Količina OU uneta u organizam inhalacijiom, koji je najopasniji put unosa, može višestruko da varira usled fizičkog opterećenja čoveka sa jedne strane, i karakteritika prisutnih aerosola i pretpostavljenog meteorološkog scenarija sa druge strane.

UVOD

Rasprostiranje aerosola osiromašenog uranijuma kroz atmosferu posle pogodaka municije sa OU u tvrdu metu, na pojedinim lokacijama na jugu Srbije, na Kosovu i lokaciji Arza u Crnoj Gori za vreme konflikta sa NATO Alijansom, objektivno je bilo i ostalo misterija bar iz dva razloga:

- Mete, njihova lokacija i vreme i vrsta pogotka bili su relativno dugo nepoznati, a neke od ovih informacija i su danas dve godine posle završeka vojnog konflikta nedostupne i još dugo će, kao što to u ovakvim slučajevima obično biva, biti prekrivene velom tajne.
- Lokalni meteorološki uslovi, od kojih pre svega zavisi disperzija aerosola OU kroz atmosferu, u trenutku pogotka i nekoliko sati posle, nedostupni su široj stručnoj i naučnoj javnosti.

Dokazano je da je udisanje predstavlja najopasniji put unosa OU u organizam. Merenje rasprostiranje aerosola OU kroz atmoferu predstavlja veoma skup eksperiment, koji je prema dostupnim literaturnim podacima izvođen u SAD od 1979. do danas više puta. Nije poznato da je u vreme bombardovanja kod nas vršeno uzorkovanje iz vazduha u cilju određivanja raspodele veličina i praćenja rasprostiranja OU kroz atmosferu.

Rekonstruisanje rasprostiranja aerosola OU kroz atmosferu može se uraditi i matematičkim difuzionim modelima za raspoložive ili pretpostavljene meteorološke uslove.

Da bi se dobio precizan račun treba uključiti realne, lokalne meteorološke uslove koji se odnose na period upotrebe municije sa OU. Očigledno je da je NATO pripremao vazdušne napade, između ostalog i sondiranjem atmosfere (meteoroloske sonde su nalažene za vreme bombardovanja, takozvani "lokatori"), međutim ti podaci nisu dostupni širim stručnim i naučnim krugovima.

U ovom radu prikazani su rezultati procene rasprostiranja aerosola OU kroz atmosferu, nakon pogotka municije sa OU od 30 mm, primenom matematičkog modela i zadatih meteoroloških uslova, na osnovu kojih mogu da se daju objektivnije ocene o mogućim posledicama primene municije sa OU na ljude i uopšte na životnu sredinu. Ovi rezultati mogu da pomognu objektivnijem sagledavanju izjava o ekocidu, genocidu i slično zbog korišcenja municije sa OU na tertoriji naše zemlje.

FORMIRANJE AEROSOLA OU

U prirodi ili industrijskim procesima nije uobičajena pojava OU u obliku aerosola iz opsega veličina čestica koje se mogu putem udisanja uneti u organizam i transportovati na duža rastojanja. Dominantan mehanizam nastajnja tako malih čestica OU je oksidacija elementarnog OU.

Prilikom upotrebe municije sa OU ili vozila koja imaju oklop sa OU, dolazi do situacija u kojima može pojaviti OU u obliku oblaka aerosola, Parkhurst (1995.) :

Požar

- u tenku tenku koji sadrži municiju sa OU
- u tenku koji ima oklop od OU (kao što su američki Abrams tenkovi)
- u tenku koji sadrži oboje i municiju i oklop od OU
- u vozilu ili nečem drugom što je pogođeno municijom sa OU
- u skladištu municije gde se nalazi i municija sa OU

Pogodak/Proboj sa OU

- u metu koji ima oklop
- u metu koji sadrži municiju ili oklop sa OU
- bilo koji drugi način kada dođe do silom da razaranja oklopa sa OU koji se nalaze na tlu

Ekspolozije

- proboj projektila u vozilo, koje nosi municiju sa OU, koji dovodi do ekspozije
- eksplozije municije (sa OU ili drugog tipa) koja se nalazi u vozilu gde su prisutni ostaci OU
- eksplozije u skladištu koje sadrži municiju sa OU

Od 1979. pa do danas više puta su izvođeni eksperimenti sa različitim projektilima sa OU (25mm, 105mm, 120mm) u cilju određivanja : količine elementarnog OU koja oksidiše, hemijskog sastava nastalih jedinjenja OU, veličine čestica i frakcije čestica koja je štetna po disajne organe (respirabilni aerosoli, < 10μm). Mada postoje pokušaji (DoD, 2000.) te rezultate je veoma teško sumirati jer su kontradiktorni, na šta ukazuje u činjenica da se poslednjih godina u SAD ispitivanja intenziviraju. Fetter i Hippel (1999.) konstatuju na osnovu tri eksperimenta da se pri požaru 10 do 35 % mase OU konvertuje u okside, između 0,07-0.6% mase oksida OU predstvljaju aerosoli, od čega 0.007-0.7 % imaju prečnik manji od 10 μm, i 3-7% aerosola su rastvorljivi. Dalje

zaključuju da respirabilni aerosoli koji nastaju pri požaru predstvljaju 0.05 % ukupne mase OU. Konstatuju takođe na osnovu pet testova sa municijom sa OU pri potpunom, delimičnom prodoru i bez prodora u metu sa tvrdim oklopom da se između 3 i 70 % mase OU konvertuje u aerosole, od čega između 1-96 % u resprabilne , 17 do 43 respirabilnih aerosola su u hemijski rastvornom obliku.

Kada projektil sa OU pogodi u tvrdu metu, npr. tenk, veliki deo njegove kinetičke energije pretvara se u topolotu za manje od hiljaditog dela sekunde. Zbog brzog oslobadjanja energije zrno od OU može da se rapsrne u veliki deo malih, vrelih parčića i čestica. Ovi manji fragmenti pri tome mogu da sagore, pri čemu se oslobadjaju aerosoli oksida OU formirajući inicijalni oblak.

Ovako formiran oblak posle podizanja na odredjenu visinu, prenosi se niz vetar, a usled atmosferske turbulencije u graničnom sloju atmosfere dolazi do difuzije aerosola OU kroz atmosferu.

Koncentracija aerosola OU u inicijalnom zavisi od brzine vetra, proteklog vremena i turbulentnih uslova u graničnom sloju atmosfere

MATEMATIČKI MODEL ZA PROCENU RASPROSTIRANJA AEROSOLA OU

Prilikom pogotka u tvrdu metu, kinetička energija projektila se praktično trenutno pretvara u toplotu, zbog čega je razumno pretpostaviti da će inicijalni oblak imati približno iste karakteristike kao oblak formiran detonacijom odgovarajuće količine eksploziva (Fetter i Hippel, 1999). Church (1969.) je dao emirijske jednačine za visinu H (m) i poluprečnik R(m) oblaka koji se formira detonacijom TNT-a :

- visina centra inicijalnog oblaka $H = 76 \times W^{0.25}$
- radijus inicijalnog oblaka $R = 35 \times W^{0.375}$

gde je W (funta) količina eksploziva ekvivalentna TNT-u. Fetter i Hippel (1999.) su na osnovu kinetičke energije projektila (brzine kretanja i mase) aprokimativno odredili količinu TNT-a koja odgovara određenim projektilima sa osiromašenim uranijumom.

Za procenu rasprostiranja primenjuju se različiti modeli u zavisnosti od karakteristika pojave. Za scenario požara koristi se Gausov "plume" model, a za scenario udara, prodora ili eksplozije Gausov "puff" model. Za procenu rasprostiranja inicijalnog oblaka korišćen je Gausov model disperzije za kratkotrajne emisije, tzv. “puff” model:

$$C(x,y,z,t) = \frac{q}{\sqrt{(2\pi)}^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{ -\left[\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \right\} \times \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp\left[\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

gde je:

- ut rastojanje oblaka niz vetar od mesta pogotka posle vremena t ,
- σ_i standardne devijacije, funkcije su od ut
- H je visina centra mase inicijalnog oblaka

Na raspodelu koncentracije OU u inicijalnom oblaku na taj način utiču brzine vetra i atmosferska stabilnost.

Zbog granične brzine (V_s) aerosola , za koji je pretpostavljeno da ima uniformnu raspodelu čestica i terminalnu brzinu, visina centra mase oblaka menja se sa vremenom po zakonu:

$$H(t + \Delta t) = H(t) - (V_s \times x(t + \Delta t)) / u$$

Položaj centra oblaka i raspodela koncentracije OU računati su na svakih 60 sekundi. Krećući se kroz atmosferu takav oblak se usled turbulrncije u graničnom sloju atmosfere širi, zbog čega se sa rastojenjem od mesta formiranja smanjuju početne koncentracije aerosola OU. Njihovom smanjivanju doprinose suva i mokra depozicija ukoliko je bilo padavina.

Koliko ce vojnici i stanovništvo pri tome biti ugroženi usled inhalacije aerosola OU, zavisi od njihovog položaja u odnosu na centar oblaka i fizičkog opterećenja koji uslovljava minutni volumen. Sledeća jednačine opisuje količinu aerosola OU može biti uneta u organizam udisanjem :

$$I(\mu g) = C \times MV \times t_{exp} \times RF$$

- I - količina OU uneta u organizam inhalacijim (μg)
- C - koncentracija ((μgm^{-3})
- MV - minutni volumen m^{3}s^{-1} (Lmin^{-1})
- t_{exp} - trajanje izloženosti (min)
- RF - respirabilna frakcija aerosola

NUMERIČKI EKSPERIMENT

Za proračune rasprostiranja aerosola OU niz vetar, korišćen je meteorološki scenario za sledeće tipične vremenske uslove:

- *Jako stabilno* - Pasquill-ova kategorija stabilnosti F
  vedra noć sa slabim vetrom , 1 ms^{-1}
- *Neutralno* - Pasquill-ova kategorija stabilnosti D
  nebo potpuno pokriveno niskim oblacima, sa slabim vetrom, 1 ms^{-1}
- *Jako nestabilno* - Pasquill-ova kategorija stabilnosti A
  vedar, sunčan dan oko podne sa slabim vetrom 1 ms^{-1}

Sadržaj aerosola OU u inicijalnom oblaku formiran je uz pretpostavku najgoreg mogućeg slučaja da je 70% mase jednog projektila 30 mm (0.3 kg) pretvoreno u aerosole, a da je 96% od toga respirabilnih dimenzija, tj. dijametra manjih od 10 μm.

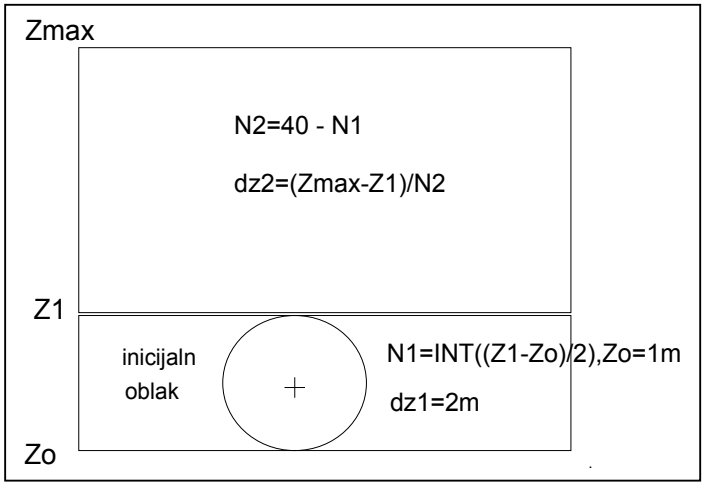
Koristeći navedeni model za proračun inicijalnog oblaka usled pogotka 30 mm projektila u tvrdu metu, formiran je oblak na visini od 43 metra dijametra 15 m.

Pretpostavljeno je da je raspodela veličina čestica uniformna, odnosno da je prečnik iz opsega najpordornijeg za disajne organe (0.3-0.5 μm) i iznosi 0.5 μm, a terminalna brzina za čestice UO_2 tog prečnika iznosi 0.0082 ms^{-1}.

Za modelovanje unete količine OU uzeto je u obzir da je minutni volumen odraslog čoveka koji odgovara lakom radu (Silverman i sar.,1951.) od 20 L min^{-}1, odnosno 3.3×10^{-4}m^{3}s^{-1} mada se minutni volumen pri izuzetno teškom radu kreće i do 75 Lmin^{-1}, pa i količina unetih aerosola u zavisnosti samo od ovog parametra može biti nekoliko puta veća.

REZULTATI

Koncentracije aerosola OU računate su u XZ ravni, na domenu 500m∗2000m, u lokalnom koordinatnom sistemu vezanom za centar inicijalnog oblaka sa korakom od 60 s.



Ukupan broj računskih tačaka u vertikalnom pravcu je fiksan Nz=40. Računski domen u vertikalnom pravcu je podeljen u dva dela od kojih se prvi prostire od visine Zo=1m do dvostruke visine centra inicijalnog oblaka (Z1), a drugi od Z1 do gornje granice računskog domena Zmax=500m. U domenu Zo-Z1 broj računskih tačaka je N1 i prostorni korak dz1, a u oblasti Z1-Zmax, odgovarajuće vrednosti su N2 i dz2 :

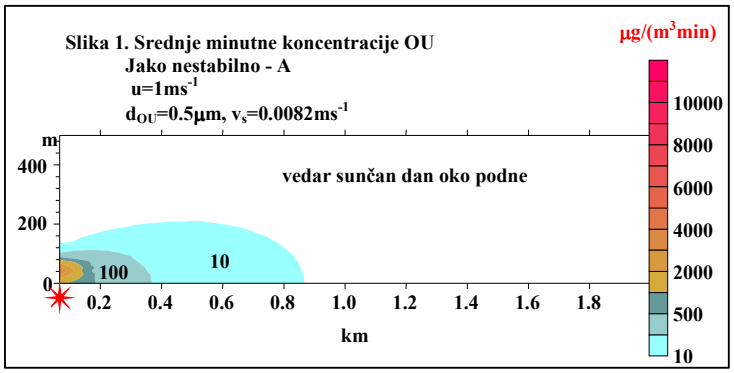
- N1 = mod ((Z1-Zo) / 2)
- dz1= 2m
- N2 = 40 – N1
- dz2 = (Zmax – Z1) / N2

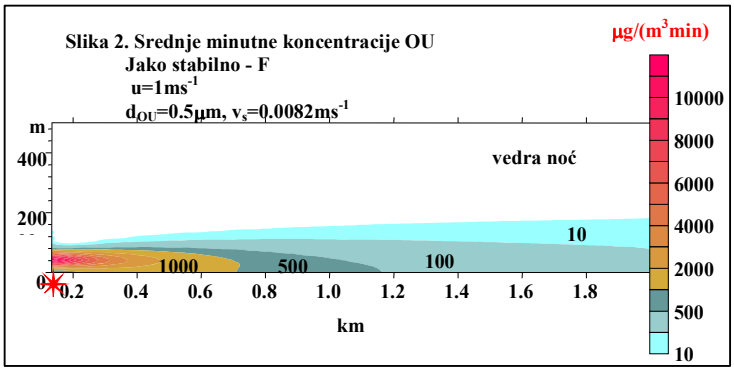
U horizontalnom pravcu, niz vetar, broj računskih tačaka Nx i njihov prostorni korak zavise od brzine vetra u i vremenskog koraka *dt*., tj. $dx = u * dt$.

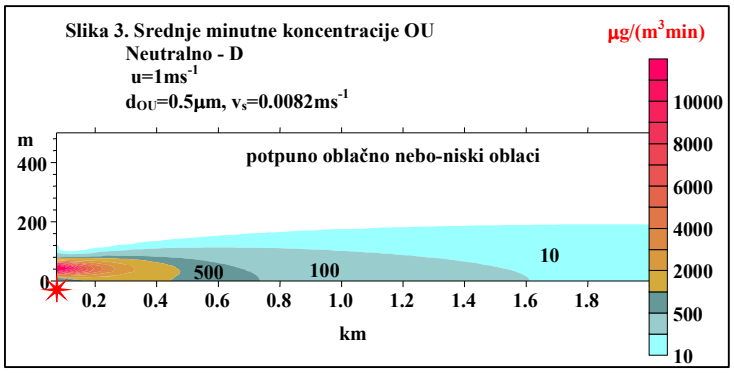
Grafički prikaz srednjih minutnih koncentracija OU u vazduhu i udisanjem unete kolicine aerosola OU prikazan je na slikama 1-6.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

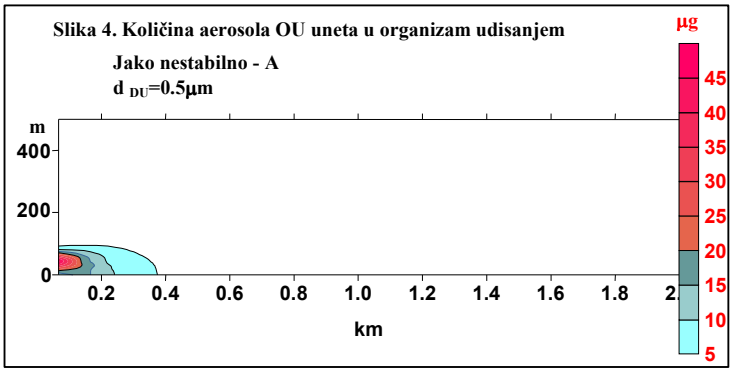
Na osnovu rezultata ovih proračuna, zone sa maksimalnim koncentracijama, zatvaraju se kao sto se i očekuje na visini centra inicijalnog oblaka, medjutim koncentracije pri tlu na visini Zo, koje su odgovorne za posledice od inhalacije aerosola OU, pokazuju nešto drugačiju sliku od one koja bi mogla da se očekuje na osnovu izveštaja o uzimanju uzoraka oko pogodjenih meta. Jedino ako su dejstva sa municijom OU bila u toku sunčanog dana oko podne maksimalne koncentracije pri tlu bile su u blizini pogodjene mete. Zbog velike brzine difuzije ove koncentracije relativno brzo opadaju sa rastojanjem. Pri neutralnoj stabilnosti (D) kada je nebo potpuno prekriveno niskim oblacima sa slabim vetrom, zona sa maksimalnim koncentracijama pri tlu prostire se na 150-450 m, a pri stabilnoj atmosferi (F) u vedroj noći sa slabim vetrom, na 200-700 m od pogođene mete.

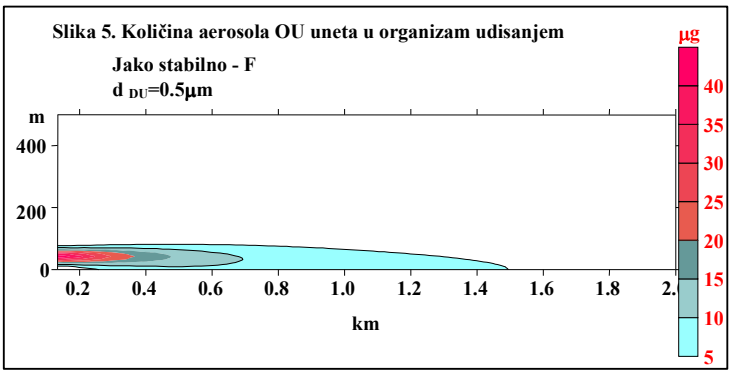


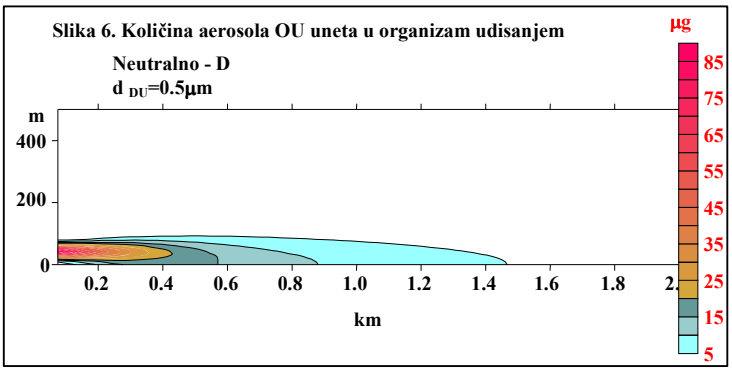




Na osnovu raspodele koncentracija OU pri tlu, očekuje se da maksimalne količine OU čovek udahne ako je municija sa OU bila upotrebljavana u toku vedrih noći. Međutim, na osnovu proračuna udahnutih količina OU, dobija se da je najnepovoljnija situacija ako su mete pogađane kada je nebo bilo prekriveno niskim oblacima.


Slika 4. Količina aerosola OU uneta u organizam udisanjem
Jako nestabilno - A
d DU=0.5µm
m
400
200
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
km
µg
45
40
35
30
25
20
15
10
5


Slika 5. Količina aerosola OU uneta u organizam udisanjem
Jako stabilno - F
d DU=0.5µm
m
400
200
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
km
µg
40
35
30
25
20
15
10
5


Slika 6. Količina aerosola OU uneta u organizam udisanjem
Neutralno - D
d DU=0.5µm
m
400
200
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
km
µg
85
75
65
55
45
35
25
15
5

Na osnovu raspodele koncentracija OU pri tlu, očekuje se da maksimalne količine OU čovek udahne ako je municija sa OU bila upotrebljavana u toku vedrih noći. Međutim, na osnovu proračuna udahnutih količina OU, dobija se da je najnepovoljnija situacija ako su mete pogađane kada je nebo bilo prekriveno niskim oblacima. Ova naizgled paradoksalna situacija, može se objasniti time što su dimenzije oblaka pri stabilnim atmosferskim uslovima, manje u odnosu na neutralne uslove stabilnosti, zbog čega oblaku sa aerosolima OU treba manje vremena da pređe preko neke tačke, pa i izloženost štetnim aerosolima DU krace traje.

Naši rezultati pokazuju da su u najnepovoljnijoj situaciji bili bi oni koji bi se zatekli na rastojanju oko 200-600 metara od mete, pogodjene u toku oblačnog dana (10/10 niske oblačnosi), pri slabom vetru.

Jedno od najčešće postavljanih pitanja u našim medijima u vezi sa korišćenjem municije sa OU na teritoriji naše zemlje, bilo je koliko daleko su mogli aerosoli OU da odu kroz atmosferu, budući da je najopasniji put unosa OU u organizam putem inhalacije.

Najčešći odgovor na ovo pitanje bio je da se aerosoli uobičajeno rasprostiru do oko 5 km od mesta pogotka, mada je pominjano da je njihov domet do 40 km od mesta pogotka Aerosoli OU mogu da oblete Zemljinu kuglu. Priča o oko 5 km je proizvoljna, a podatak o 40 km se odnosi na rastojanja od izvora na kojima su detektovani pojedinačni aerosoli osiromašenog uranijuma u mirnodopskim uslovima, što se odnosi na osetljivost metode i uređaja za detekciju, a ne u domen rasprostiranja aerosola kroz atmosferu OU.

Objektivan odgovor o posledicama primene municije sa OU na teritoriji SR Jugoslavije za vreme konflikta sa NATO-m, dobio bi se rekonstrukcijom rasprostiranja aerosola OU kroz atmosferu u fazi neposredno posle pogotka i u narednih nekoliko sati ("vruća faza"), za šta je su potrebni podaci koji su ili nedostpni ili ne postoje.

Područja na kojima je korišćena municija OU mogu se smatrati izvorom kontaminacije stanovništva, više ili manje preko lanca ishrane, ingestijim. Manje šanse za kontaminaciju su kroz vazduh udisanjem aerosola OU, koji mogu biti podignuti u vazduh vetrom, prelaskom životinja, ljudi i vozila ili zbog poljopivrednih aktivnosti na kontaminiranim lokacijama.

LITERATURA

[1] Church H.W.1969. *Cloud rise from high Explosive Detonations (*Albquerque: NM.Sandria National Laboratory, report TID-4000, UC/41)

[2] Fetter S., Hippel F., 1999. *The hazard posed by depleted uranium munitions*, Science anf Global Security, 8(2) pp.125-161

[3] Silverman L., Lee G., Plotkin T.,Yancey A.,1951. *Air Flow Measurements on Human Subjects with and without Respiratory Resisrance at Several Work Rates,* Arch.Ind.Hyg. Occup.Med., 3:461-478

[4] Parkhurst, M.A., Johnson J., Mishima J. Price J.L.,1995. *Evaluation of Depleted Uranium Aerosol Data : Its Adecquancy for Inhalation modeling*, PNL-10903, Richland, WA: Battelle Pacific Northwest Laboratory

[5] DoD, U.S. Department of Defence, 2000. Environmental Exposure report. Depleted Uranium in the Gulf (II). http://www.gulflink.osd.mil/du_ii/

RADIOAKTIVNOST U RADNOJ I ŽIVOTNOJ SREDINI TE KOSTOLAC U PERIODU 1996-2000 GODINA

M.Eremić, G. Pantelić, I. Petrović,
Lj. Javorina, I. Tanasković
KCS, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr D. Karajović", Beograd

SADRŽAJ

U radu su predstavljeni rezultati kontinuirane kontrole uzoraka radne i životne sredine termoelektrana "Kostolac I" i "Kostolac II", u periodu 1996-2000 godina. Cilj kontrole bio je procena povećanja prirodne radioaktivnosti iznad prirodnog fona neposredno i u okolini termoelektrana i procena odgovarajućeg efekta "tehnološki izmenjene prirodne radioaktivnosti" na životnu i radnu sredinu, a samimi tim i na zdravlje stanovništva. Rezultati nam ukazuju na povećan sadržaj prirodnih radionuklida u pepelu i šljaci u odnosu na prosečno zemljište, što ne utiče značajno na povećanje interne i eksterne ekspozicije. Na deponijama nisu detektovani veštački radionuklidi kratkog i srednjeg vremena poluraspada, što znači da nije bilo veštačkog izvora radioaktivnosti.

UVOD

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr Dragomir Karajović" godinama unazad vrši sistematsku kontrolu radne i životne sredine TE Kostolac I i II [1,2]. Cilj ove dugogodišnje kontrole je procena povećanja prirodne radioaktivnosti iznad prirodnog fona [3], kao posledica sagorevanja uglja koji se koristi u eksplataciji, procena odgovarajućeg uticaja "tehnološki povećane prirodne radoaktivnosti" na zdravlje stanovništva, i nalaženje i utvrdjivanje eventualnog lokalnog izvora veštačke radoiaktivnosti. U okviru zakonskih propisa uzorci se prikupljaju jednom u toku godine, a obradjuju se standardnim metodama propisanim od strane IAEA[3,4,5].

Ispitivane su sledeće vrste uzoraka: ugalj, šljaka, elektrofilterski pepeo iz procesa proizvodnje, šljaka i pepeo odloženi na deponijama, poljoprivredno zemljište u okolini TE (obradivo), biljne kulture sa odgovarajućeg zemljišta, rečne vode u neposrdnoj okolini, odpadne vode sa deponija.

METODE MERENJA

Merenje ukupne α i β aktivnosti uzoraka voda vršena su na automatskom alfa-beta brojču sa niskim fonom Countmaster (relativna greška pripreme uzoraka je $\pm 10\%$).

Gamaspektrometrijska merenja vršena su na HP Ge detektorima, rezolucije 1.95 keV, odnosno 1.85keV, relativne efikasnosti 25%, na 1.33MeV firme ORTEC (relativna greška pripreme uzoraka i merenja je ±10%). Energetska kalibracija, kao i kalibracija efikasnosti detektora obavlja se pomoću radioaktivnog standarda Amersham. Vreme merenja jednog uzorka je od 10000 s do 600000 s. Osnovno zračenje se meri 250000 s.

Merenje jačine apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu vršeno je na licu mesta dozimetrom MRK-M 87, firme " Rudi Čajevac" (relativna greška merenja je ± 20%).

REZULTATI I DISKUSIJA

Gamaspektrometrijskom analizom uzoraka u tabelama 1 i 2, obuhvaćeni su radionuklidi prirodnog porekla uranovog i torijumovog niza i ^{40}K, veštački radioniklidi poreklom iz fallout-a sa navedenim minimalnim, maksimalnim i srednjim vrednostima u periodu od 1996-2000 godine.

U uzorcima uglja,^{238}U i ^{226}Ra su u ravnoteži, a sadržaj ostalih prirodnih radionuklida odgovara vrsti uglja koja se eksploatiše. Kotlovska šljaka i pepeo u velikom stepenu obogaćeni su prirodnom radionuklidima. Sem prirodnih radionuklida na deponijama su detektovani i dugoživeći radioniklidi veštačkog porekla ^{134}Cs i ^{137}Cs. Isti se nalaze i u okolnom zemljištu i na kontrolnim lokacijama van uticaja elektrane. Podaci sadržaja radionuklida sa pasivnih i aktivnih kaseta u posmatranom periodu, pokazuju da ne postoji znatna razlika.

Tabela 1. Specifična aktivnost radionuklida sa minimalnim, maksimalnim, kao i srednjim vrednostima za period 1996-2000 godina

Vrsta uzorka	^{238}U (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)
Ugalj A	< 21	12 – 46* 31**	10 –28 20	56 -132 102	< 0.4	< 0.2
Ugalj B	1.2 - 27 20.4	13 – 42 27.4	11.6 – 28 18.7	69 - 134 99	< 0.5	< 0.3
EFP-A	24 - 212 101	49.6 - 120 87.3	33 – 66 48.9	226 - 392 296	< 1.3	< 0.7
EFP-B	62 - 118 85.4	55 – 80 64	44 – 54 48.7	258 - 334 289	< 0.9	< 0.3
Pepeo+ šljaka pasivna kas. A	16 - 88 54	39 – 95 64	27 – 58 38	133 - 327 234	< 1.7	< 0.9
Pepeo+ šljaka . aktivna kas. B	20 - 90 63.5	46 – 98 61	29 – 53 42	185 - 360 242	< 0.8	< 0.6
Šljaka-A	20 - 57 43	19 – 62 48	13 – 41 31	107 - 256 195	< 0.7	< 0.4
Šljaka-B	6.5 - 86 56	15.5 - 51 42	11 – 41 29	85 - 226 181	< 0.6	< 0.3

**minimalna - maksimalna vrednost,* ***srednja vrednost*
A - Kostolac I EFP - Elektrofilterski pepeo
B - Kostolac II

Tokom gamaspektrometrijskog merenja praćeni su i aktivacioni i fisioni radionuklidi (^{141}Ce, ^{144}Ce, ^{59}Fe, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{51}Cr, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{65}Zn, ^{60}Co, ^{54}Mn), koji nisu

detektovani, čime je potvrdjeno da nema prisustva veštačkog izvora radioaktivnosti, odnosno da nije došlo do spaljivanja radioaktivnog otpada.

Sadržaj prirodniih i veštačkih radionuklida u biljnim kulturama (Tabela 2) sa samih deponija i iz okoline termoelektrane, odgovara aktivnostima u biljnim kulturama ostalih područja naše zemlje, a praćenih monitoringom koji se sprovodi na Institutu.

Na grafiku 1 prikazane su prosečne vrednosti prirodnih radionuklida na pasivnim i aktivnim kasetama kao i na prosečnom zemljištu. Sadržaj ^{226}Ra, ^{232}Th i ^{238}U je nešto veći na pasivnom i aktivnim kasetama nego u prosečnom zemljištu, izuzev ^{40}K čija je aktivnost manja.

Tabela 2. Specifična aktivnost radionuklida sa minimalnim, maksimalnim, kao i srednjim vrednostima za period 1996-2000 godina

Vrsta uzorka	^{238}U (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)
Biljna kultura pas.kas.A	< 4.3	< 4.5	< 2.4	106 – 127* 112**	5 - 17 9.1	< 0.2
Biljna kultura iz okoline T.E.	< 19.5	< 4.6	1.5 - 4.7 2.8	135 - 192 159	< 0.6	< 0.2

*minimalna - maksimalna vrednost, **srednja vrednost

U Tabeli 3 prikazana je ukupna alfa i beta aktivnost površinskih i otpadnih voda sa deponija i u okolini termoelektrana i pijaća voda. Izmerene vrednosti u proteklom periodu pokazuju da otpadne vode nemaju uticaj na aktivnost rečnih voda, što se i očekivalo jer su radionuklidi inkorporirani uglavnom u netopivi pepeo i šljaku.

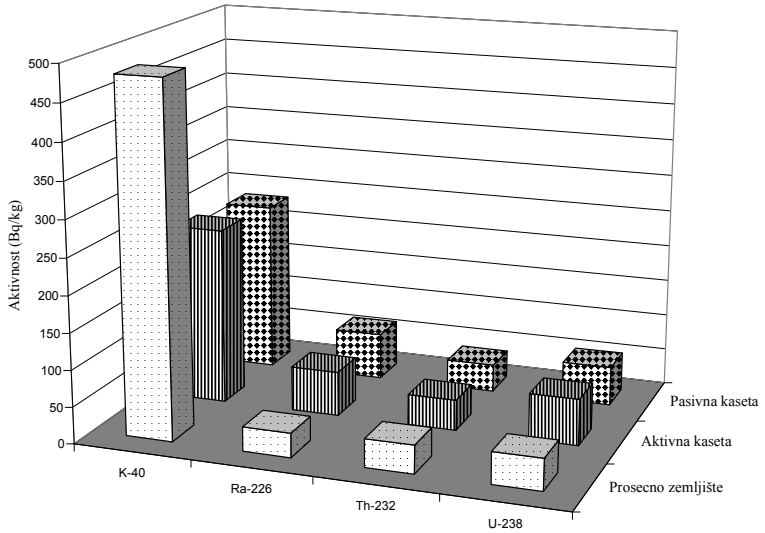
Istovremeno sa uzimanjem uzoraka, vršeno je i merenje apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu na 1 m iznad površine tla. U periodu 1996-2000 godina minimalna vrednost doze bila je 0.08 μG/h, a maksimalna je iznosila 0.17 μG/h. Ovi rezultati merenja jačine apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu u radnoj i životnoj sredini termoelektrana Kostolac I i Kostolac II, ukazuju da je jačina apsorbovane doze gama zračenja u granicama varijacije prirodnog fona.

Tabela 3. Ukupna alfa i beta aktivnost voda u radnoj i životnoj sredini termoelektrana

Lokacija	Aktivnost u (Bq/m^3)	1996	1997	1998	1999	2000
kanal tople vode	ukupna alfa aktivnost ukupna beta aktivnost	< 37 240	< 37 252	< 10 123	11.1 ± 1.7 60 ± 9	17 ± 3 < 20
drenažna voda	ukupna alfa aktivnost ukupna beta aktivnost	< 37 157	< 37 130	< 10 204	< 10 64 ± 10	40 ± 6 < 20
prelivna voda	ukupna alfa aktivnost ukupna beta aktivnost	- -	< 37 145	< 10 240	36 ± 5 121 ± 18	75 ± 11 < 20
Rečna voda-Dunav	ukupna alfa aktivnost ukupna beta aktivnost	< 37 230	< 37 245	< 10 68	< 10 83 ± 12	< 10 < 20
Rečna voda-Mlava	ukupna alfa aktivnost ukupna beta aktivnost	< 37 120	- -	< 10 83	22 ± 3 56 ± 8	22 ± 3 26 ± 4
Pijaća voda	ukupna alfa aktivnost ukupna beta aktivnost	- -	- -	- -	13 ± 2 109 ± 16	21 ± 3 388 ± 58

ZAKLJUČAK

Rezultati merenja radioaktivnosti uzoraka radne i životne sredine termoelektrana Kostolac I i II u periodu od 1996-2000 godina, pokazuju da preduzete mere zaštite funkcionišu u sprečavanju povećane kontaminacije prirodnim radionuklidima poreklom od rada TE. Veštački radionuklidi kratkog i srednjeg vremena poluraspada nisu detektovani ni u jednom uzorku, što znači da nije bilo veštačkog izvora radioaktivnosti. Povećana prirodna radioaktivnost na deponijama pri sadašnjim uslovima ne predstavlja zdravstveni rizik za radnike.



Grafik 1. Prosečne vrednosti prirodnih radionuklida na pasivnim i aktivnim kasetama u odnosu na prosečno zemljište

LITERATURA

[1] "Radionuclide transformatios", ICRP Publication 38, Oxford, 1983

[2] " Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovodjenja dekontaminacije", Sl.list SRJ br.9, 1999

[3] " Measurment of radionuclides in Food and the Enviroment", Technical Reports Series No.295, Vienna

[4] *Debertin K.,Helmer* R.G."Gama and X-ray spectrometry with semiconductor detectors" North-Holand, Amsterdam-Oxford-New York-Tokio, 1988

[5] *Pantelic G.,* "Gama spectrometar calibration with natural radioactive materials" Nuclear Instrument and Methods Physics Research, A 369, 1996, 572-573

ABSTRACT

RADIOACTIVITY IN WORKING AND GENERAL ENVIRONMENT
OF THE POWER PLANT "KOSTOLAC" IN PERIOD 1996.-2000.

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

The paper presents the results of the continius control of the radioactivity in variou samples in working and general environment of the power plants Kostolac I and Kostolac II, in period 1996-2000. Aims of the control were to asses the increas of natural radioactivity above the natural levels in the immediate and near vicinity of the power plant, to asses the corresponding effect of "the technologically changed natural radioactivity" on the healt of population. Measurment of natural radionuclide concentration in ashes and slags from coal fired plant on waste storage areas indicated the concentrations are higher than corresponding, concentrations in the earth crusts, but not so elevated to rise significantly internal and external exposure.We did not find and establish the origin of possible local source of artificial radioactivity.

RADIOAKTIVNOST POVRŠINSKIH I OTPADNIH VODA U OKOLINI TERMOELEKTRANA "NIKOLA TESLA " A I B U PERIODU OD 1990.DO 2000. GODINE

I. Tanasković, G. Pantelić, M. Eremić, Lj. Javorina,
S. Milačić, D. Jovičić, R. Kovačević
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
" Dr Dragomir Karajović", Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati ispitivanja sadržaja prirodnih i veštačkih radionuklida, ukupna alfa i beta aktivnost rečne vode Sava uzvodno i nizvodno od termoelektrana "Nikola Tesla" A i B (TE), drenažne i prelivne vode iz TE u periodu od 1990. do 2000. godine. Cilj ispitivanja je procena povećanja prirodne radioaktivnosti iznad prirodnog fona u uzorcima pomenutih voda, kao posledica efekta "tehnološki izmenjene prirodne radioaktivnosti ". Takođe i ispitivanje prisustva eventualne veštačke radioaktivnosti.

UVOD

Pri proizvodnji električne energije u TE ugalj sagoreva na temperaturi od 1200-1700 ^{0}C u višku kiseonika. Svaki ugalj kao i ostali prirodni materijali sadrži u mikro količinama radionuklide uranovog i torijumovog niza i ^{40}K. Radionuklidi vezani za mineralni deo uglja raspoređuju se i koncentrišu na šljaku i pepeo, sem gasova i isparljivih mineralnih materija. Kalijum, radijum i izotopi torijuma najvećim delom stapaju se sa alumosilikatima i padaju na dno. Uran u zavisnosti od vrste jedinjenja ostaje u vitrificiranom pepelu, ili volatizuje i u daljem procesu kondenzuje se na česticama letećeg pepela. Vrlo mali deo od ukupnog pepela (1%) ispušta se kroz dimnjak. Ostatak se odlaže hidrauličnim putem, tj. vodom na deponije - odlagalište šljake i pepela [1, 2].

METODE

Za analiziranje aktivnosti u 1990. godini uzorci voda su sakupljani tri puta godišnje, u 1991. i 1992. godini dva puta godišnje, a od 1993. do 2000. godine jedanput u toku godine. Uzorci voda su obrađivani standardnim metodama propisanim od strane IAEA [3]. Merenje ukupne alfa i beta aktivnosti vršeno je na automatskom alfa-beta brojaču sa niskim fonom COUNTMASTER. Relativna greška pripreme uzorka i merenja je ± 10%. Gamaspektrometrijska merenja prirodnih i veštačkih radionuklida vršena je na HP

Ge detektorima, rezolucije 1,95 keV , odnosno 1,85 keV, relativne efikasnosti 25 %, na 1,33 MeV firme ORTEC. Relativna greška pripreme uzorka i merenja je ± 10%.

REZULTATI I DISKUSIJA

U periodu od 1990. do 2000. godine Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" obavlja sistematsku kontrolu radioaktivnosti u radnoj i životnoj sredini termoelektrane (TE) "Nikola Tesla" A i B u Obrenovcu.

Tabela 1. Specifična aktivnost radionuklida površinskih i odpadnih voda u okolini TE "Nikola Tesla" A u periodu od 1990. do 2000. godine

Vrsta uzorka i mesto uzorkovanja	U-238 (Bq/l)	Ra-226 (Bq/l)	Th-232 (Bq/l)	K-40 (Bq/l)	Cs-134 (Bq/l)	Cs-137 (Bq/l)	Be-7 (Bq/l)
rečna voda Sava, nizvodno	< 1.7	< 0.6	< 0.08	0.38 ± 0.08	< 0.01	< 0.04	< 0.3
rečna voda Sava, uzvodno	< 1.3	< 0.7	< 0.1	0.44 ± 0.10	< 0.03	< 0.05	< 0.4
drenažna voda iz kanala	< 1.2	< 1.0	< 0.1	0.82 ± 0.08	< 0.03	< 0.05	< 0.4
prelivna voda	< 0.5	< 0.6	< 0.1	0.55 ± 0.21	< 0.02	< 0.02	< 0.2

Tabela 2. Specifična aktivnost radionuklida površinskih i odpadnih voda u okolini TE "Nikola Tesla" B u periodu od 1990. do 2000. godine

Vrsta uzorka i mesto uzorkovanja	U-238 (Bq/l)	Ra-226 (Bq/l)	Th-232 (Bq/l)	K-40 (Bq/l)	Cs-134 (Bq/l)	Cs-137 (Bq/l)	Be-7 (Bq/l)
rečna voda Sava, nizvodno	< 0.9	< 0.6	< 0.1	0.24 ± 0.03	< 0.02	< 0.03	< 0.2
rečna voda Sava, uzvodno	< 0.8	< 0.7	< 0.1	0.61 ± 0.12	< 0.02	< 0.06	< 0.3
drenažna voda iz kanala	< 0.9	< 0.5	< 0.06	0.44 ± 0.09	< 0.02	< 0.03	< 0.2
prelivna voda	<1.3	< 0.8	< 0.09	0.24 ± 0.05	< 0.03	< 0.04	< 0.4

Tabela 3. Ukupna α i β aktivnost površinskih i otpadnih voda sa deponija TE "Nikola Tesla" A u periodu od 1990. do 2000. godine

Lokacija	Ukupna α aktivnost (Bq/m^3)			Ukupna β aktivnost (Bq/m^3)		
	min. vr.	sred. vr.	max. vr.	min. vr.	sred. vr.	max. vr.
drenažna voda	< 10	27 ± 4	37 ± 6	44 ± 7	96 ± 14	295 ± 44
r.v. Sava, uzvodno	< 10	32 ± 5	46 ± 7	61 ± 9	106 ± 16	161 ± 24
r.v. Sava, nizvodno	< 10	31 ± 4	58 ± 9	52 ± 8	118 ± 17	235 ± 35
prelivna voda	< 10	32 ± 5	37 ± 6	16 ± 2	154 ± 23	206 ± 31

Tabela 4. Ukupna α i β aktivnost površinskih i otpadnih voda
sa deponija TE "Nikola Tesla" B u periodu od 1990. do 2000. godine

Lokacija	Ukupna α aktivnost (Bq/m^3)			Ukupna β aktivnost (Bq/m^3)		
	min. vr.	sred. vr.	max. vr.	min. vr.	sred. vr.	max. vr.
drenažna voda	< 10	72 ± 10	168 ± 25	70 ± 10	151 ± 22	313 ± 46
r.v. Sava, uzvodno	< 10	35 ± 5	44 ± 7	24 ± 4	114 ± 17	225 ± 33
r.v. Sava, nizvodno	< 10	33 ± 5	54 ± 8	37 ± 6	90 ± 13	197 ± 29
prelivna voda	< 10	33 ± 5	59 ± 8	121 ± 18	195 ± 30	250 ± 37

U radu je prikazan samo jedan deo istraživanja, radioaktivnost voda [4]. U tabelama 1 i 2 prikazane su srednje vrednosti specifične aktivnosti prirodnih i veštačkih radionuklida rečne vode Sava uzvodno i nizvodno od TE, drenažnoj i prelivnoj vodi sa aktivne deponije šljake i pepela iz TE "Nikola Tesla" A i B u periodu od 1990. do 2000. godine. Izmerene vrednosti pokazuju da otpadne vode, drenažna voda koja se uliva u Savu i prelivna voda iz aktivne kasete, nemaju uticaj na aktivnost podzemnih voda i rečne vode Sava. Ovo se i očekivalo, jer su radionuklidi inkorporirani uglavnom u netopivi pepeo i šljaku. U tabelama 3 i 4 prikazana je ukupna α i β aktivnost pomenutih voda. Dobijeni rezultati pokazuju da se ukupna α i β aktivnost otpadnih voda iz TE kreće u prirodnim granicama.

ZAKLJUČAK

Vrednosti koncentracija prirodnih i veštačkih radionuklida, kao i ukupne α i β aktivnosti rečne vode Sava uzvodno i nizvodno od termoelektrana, prelivnoj i drenažnoj vodi su u prirodnim granicama varijacije. Ovim se potvrđuje da otpadne vode iz termoelektrana "Nikola Tesla" A i B nemaju merljiv uticaj na radioaktivnost rečne vode Sava .

LITERATURA

[1] Mijatović LJ.: Nivi ozračenja od " tehnološki izmenjene prirodne radioaktivnosti", Zbornik radova, XXVIII preventivne medicine, Niš, 1994.

[2] Unscear Report Sources and Effects of Ionizing Radiation, 1993.

[3] Safety Series, No 90, IAEA, 1989.

[4] Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije, Sl. list SRJ, br. 9., 19. februar 1999.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF SUPERFICIAL AND EFFLUENT WATERS AROUND STEAM POWER PLANT "NIKOLA TESLA" A AND B DURING THE PERIOD 1990-2000

.

I. Tanasković, G. Pantelić, M. Eremić, Lj. Javorina,
S. Milačić, D. Jovičić, R. Kovačević
Institute for Occupational Medicine and Radiological Protection
"Dr. Dragomir Karajović", Belgrade

The study shows the test results of natural and synthetic radionuclide contents, total α and β activity in the Sava river water upstream and downstream from the "Nikola Tesla A & B" thermo-electric power plant (TEPP), drainage and over-flowing water from TEPP, the period 1990-2000 year. The aim of these tests is to evaluate the increase of natural radioactivity beyond natural phon in the samples of the above mentioned types of water, as the result of "technologically modified natural radioactivity" effect. The testing for probable induced radioactivity was also carried out.

PROCJENA AKTIVNOSTI ^{226}RA U NEURAVNOTEŽENIM UZORCIMA

T. Anđelić, P. Vukotić[1], R. Žižić, R. Zekić
Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore, Podgorica
[1]Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

SADRŽAJ

U radu je prikazana pojava povećane početne aktivnosti radioizotopa ^{214}Bi i ^{214}Pb u uzorcima neposredno poslije njihove pripreme, koja ne potiče od ^{226}Ra u uzorku. Ona je primijećena kod neuravnoteženih uzoraka različitog tipa, ali ne kod svih uzoraka, već u procentualno manjem broju njih. Kod uzoraka kod kojih postoji ona stvara lažnu predstavu o visokoj specifičnoj aktivnosti ^{226}Ra u uzorku. Uzroci nastajanja ove pojave nam još uvijek nijesu sasvim jasni.

UVOD

Radioizotop ^{226}Ra je član prirodnog uran-radijumskog niza. Vrijeme poluraspada ^{226}Ra je $T_{1/2}$=1600 godina i on ima samo jedan analitički značajan gama prelaz, energije 186.21 keV i intenziteta 3.59 %. Međutim, ta linija ^{226}Ra čini dublet sa linijom ^{235}U na energiji 185.71 keV, intenziteta 57.2 %, tako da određivanje aktivnosti ^{226}Ra preko ove linije nije moguće bez prethodnog rješavanja dubleta.

U nizu raspada poslije ^{226}Ra od posebnog interesa su izotopi ^{222}Rn, ^{214}Bi i ^{214}Pb. Gas ^{222}Rn izlazeći iz uzorka narušava radioaktivnu ravnotežu ^{226}Ra sa ^{214}Bi i ^{214}Pb u uzorku. Ravnoteža se postiže hermetičkim zatvaranjem uzorka prije mjerenja na vrijeme od oko 10 vremena poluraspada ^{222}Rn, tj. oko 40 dana. Kada se tako ostvari ravnoteža, aktivnost ^{226}Ra u uzorku se tačnije i preciznije određuje preko gama linija ^{214}Bi i ^{214}Pb [1]. U Tabeli 1 su date najintenzivnije gama linije kao i neke osnovne karakteristike radionuklida ^{214}Bi i ^{214}Pb [2].

Tabela 1. Karakteristike radionuklida ^{214}Bi i ^{214}Pb.

Radionuklid	Tip raspada	$T_{1/2}$ [min]	Eγ [keV]	Iγ (%)
^{214}Bi	β^- (99.979 %) α (0.021 %)	19.9	609.31	46.1
			1120.29	15.1
			1764.49	15.4
^{214}Pb	β^- (100 %)	26.8	295.22	19.3
			351.93	37.6

EKSPERIMENTI I DISKUSIJA REZULTATA

U Centru za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore mjerenja ^{226}Ra radimo na gama spektrometru sa niskofonskim HPGe detektorom relativne efikasnosti 40 %. Uzorci se snimaju u standardnim Marineli posudama od 1 litra.

Energetska kalibracija sistema urađena je setom tačkastih kalibracionih izvora: ^{57}Co, ^{60}Co, ^{88}Y, ^{133}Ba, ^{137}Cs, ^{152}Eu. Kalibracione krive efikasnosti su dobijene korišćenjem standarda (u Marineli posudama od 1 litra) sa miksom radionuklida: ^{241}Am, ^{109}Cd, ^{139}Ce, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{113}Sn, ^{85}Sr, ^{88}Y, ^{203}Hg. Matriks standarda je silikonska smola. Gustina jednog standarda je 1 g/cm^3, a drugog 1.22 g/cm^3.

Pojavu povećane početne aktivnosti radioizotopa ^{214}Bi i ^{214}Pb u neuravnoteženim uzorcima različitog tipa neposredno poslije njihove pripreme, a koja ne potiče od ^{226}Ra u uzorku, primijetili smo slučajno prilikom rutinskih gama-spektrometrijskih analiza roba iz uvoza.

Krajem januara 2000. godine dobili smo na analizu uzorak mlijeka u prahu. Mlijeko u prahu je nasuto u litarsku Marineli posudu i odmah nakon toga počeli smo njegovo snimanje. U tom spektru smo dobili visoke vrijednosti brzina brojanja impulsa pod pikovima na 609 keV i 352 keV. Brzini impulsa pod ovim pikovima od 10^{-3} imp/s odgovaraju aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb od po približno 1 Bq po ukupnoj masi uzorka. Uzorak smo potom hermetički zatvorili i svakih 7 dana mjerili do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže. Rezultati su dati u Tabeli 2. Iz Tabele 2 se vidi da su aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb odmah poslije pripreme uzorka oko 100 puta veće nego poslije uspostavljanja radioaktivne ravnoteže u uzorku. Prema tome, mjerenja ^{214}Bi i ^{214}Pb odmah po pripremi uzorka daju lažnu sliku o stvarnoj aktivnosti ^{226}Ra u uzorku, što je i bilo očekivano. Međutim, za nas je bilo iznenađenje da je početna aktivnost ^{214}Bi i ^{214}Pb, inače potomaka raspada ^{226}Ra sa relativno kratkim vremenima poluživota, višestruko veća od one koja odgovara ravnoteži sa ^{226}Ra u uzorku. Očekivali smo da je ona neposredno po pripremi uzorka neznatna i da zatim raste do ravnotežne vrijednosti.

Tabela 2. Promjena aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb u mlijeku u prahu do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže u uzorku.

Redni broj mjerenja	$t_{hermetizacije}$ [dan]	$t_{snimanja}$ [s]	$10^3 \cdot N_{609}$ [imp/s]	$10^3 \cdot N_{352}$ [imp/s]
1.	0	7200	212	184
2.	7	7200	13.3	11.7
3.	12	7200	5.6	7.5
4.	19	7200	4.4	6.5
5.	26	7200	1.9	4.8
6.	34	7200	1.5	3.6
7.	41	33256	2.3	1.7

Recimo ovdje i da je gama fon spektrometra mjeren tri puta tokom istog mjeseca kada je sniman i uzorak mlijeka u prahu, svaki put u trajanju oko 200000 s, a brzina fonskih impulsa u pikovima na 609 keV i 352 keV bila je u intervalima $(0.5\text{-}3.2)\cdot 10^{-3}$ imp/s i $(1.5\text{-}3.1)\cdot 10^{-3}$ imp/s respektivno. U okolinu kape detektora se električnom pumpom stalno dovodi svjež atmosferski vazduh, u cilju smanjenja fona koji potiče od radona u vazduhu prostorije. Bez toga je brzina fonskih impulsa u pikovima na 609 keV i 352 keV bila dvostruko veća. Inače, koncentracija ^{222}Rn u laboratoriji u kojoj su pripremani svi uzorci

mjerena je više puta tokom 1999. i 2000. godine monitorom radona Genitron AlphaGUARD i njena vrijednost je u svim kvartalima godine oko 85 Bq/m^3.

Prije i poslije ovog uzorka rađene su analize nekoliko drugih uzoraka mlijeka u prahu, ali pojava o kojoj se ovdje govori kod njih nije primijećena.

Da bi vidjeli da li ista pojava povećane početne aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb postoji i kod drugih praškastih materijala, pripremili smo uzorak brašna nasipanjem u Marineli posudu i odmah zatim počeli ga snimati u sukcesivnim intervalima, 4 puta po 1000s, zatim 2000 s i zatim još 4000 s. Tokom tih vremenskih intervala je brzina impulsa pod pikom na 609 keV opadala na slijedeći način: $72\cdot10^{-3}$, $56\cdot10^{-3}$, $43\cdot10^{-3}$, $37\cdot10^{-3}$, $28\cdot10^{-3}$, $6.5\cdot10^{-3}$ imp/s. Isti uzorak je i sjutradan, 20 h poslije pripreme, sniman tokom 18500 s i dobijene su brzine impulsa $N_{609}=3.4\cdot10^{-3}$ imp/s i $N_{352}=2.2\cdot10^{-3}$ imp/s, koje su praktično na nivou fona. Dakle, ista pojava povećane početne aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb konstatovana je i kod ovog uzorka brašna. I u slučaju brašna, u kasnijim analizama se pokazalo da se ova pojava javlja kod nekih uzoraka a kod nekih ne, pri čemu su ovi drugi uzorci znatno brojniji.

Dva mjeseca kasnije je došao na analizu i limun. Uzorak je pripremljen na uobičajeni način - kora je oljuštena, a jestivi dio miksovan i smješten u Marineli posudu. Odmah potom snimljen je prvi spektar u trajanju 5560 s i dobijene su visoke brzine impulsa $N_{609}=271\cdot10^{-3}$ imp/s i $N_{352}=209\cdot10^{-3}$ imp/s. Za njim je odmah snimljen drugi spektar, u istom trajanju, i dobijeno je $N_{609}=46.4\cdot10^{-3}$ imp/s i $N_{352}=19.4\cdot10^{-3}$ imp/s. Snimanje slijedećeg spektra, u trajanju od 44300 s, započeto je 8 h nakon pripreme istog tog uzorka i dobijene su fonske brzine brojanja pod pikovima ^{214}Bi i ^{214}Pb. Znači, pojava o kojoj je riječ konstatovana je i kod limuna, tj. materijala koji nije praškast.

Istu pojavu smo primijetili početkom 2001. godine i kod 3 neuravnotežena uzorka mesa, koja su pripremljena tranžiranjem i smještanjem u Marineli posudu. Spektri uzoraka su snimani po 2000 s odmah nakon njihove pripreme, a dobijene su slijedeće brzine impulsa pod pikovima ^{214}Bi i ^{214}Pb:

$$N^1_{609} = 102\cdot10^{-3}\,\mathrm{imp/s} \qquad N^1_{352} = 65.7\cdot10^{-3}\,\mathrm{imp/s}$$
$$N^2_{609} = 13.3\cdot10^{-3}\,\mathrm{imp/s} \qquad N^2_{352} = 10.7\cdot10^{-3}\,\mathrm{imp/s}$$
$$N^3_{609} = 38.0\cdot10^{-3}\,\mathrm{imp/s} \qquad N^3_{352} = 43.7\cdot10^{-3}\,\mathrm{imp/s}.$$

Međutim, uzorak mesa koji smo nedavno analizirali, a koji je pripremljen na isti način kao i prethodno navedeni uzorci, i sniman odmah nakon pripreme sukcesivno u 6 intervala po 20 minuta, nije pokazao ni u jednom njegovom spektru ništa više od fonske brzine impulsa u pikovima ^{214}Bi i ^{214}Pb. Od 5 analiziranih uzoraka šećera, pripremljenih na isti način i istog dana, povećanje početne aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb postojalo je u jednom od uzoraka, a u 4 uzorka nije. Da bi otkrili uzrok početnog porasta aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb uradili smo tokom 2 dana avgusta 2001. godine seriju od 8 mjerenja praznih Marineli posuda (zatvorenih sa vazduhom u njima). Snimajući njihove spektre po 2000 s, dobili smo brzine impulsa pod pikom na 609 keV iz intervala $(9.0\text{-}23.5)\cdot10^{-3}$ imp/s, a pod pikom na 352 keV iz intervala $(8.0\text{-}32.0)\cdot10^{-3}$ imp/s. Ovakve eksperimente namjeravamo ponoviti, jer možda u njima leži objašnjenje uzroka u ovom radu prikazane pojave.

ZAKLJUČAK

Rezultati naših eksperimenata pokazuju postojanje pojave povećane početne aktivnosti radioizotopa ^{214}Bi i ^{214}Pb u neuravnoteženim uzorcima različitog tipa neposredno

poslije njihove pripreme, a koja ne potiče od ^{226}Ra u uzorku. Pojava nije primijećena kod svih uzoraka, već u procentualno manjem broju uzoraka datoga tipa. Uzroci nastajanja ove pojave nam još uvijek nijesu sasvim jasni, ali ona kod uzoraka kod kojih postoji stvara lažnu predstavu o visokoj specifičnoj aktivnosti ^{226}Ra u uzorku.

Zbog toga u našoj Laboratoriji analizu uzoraka na sadržaj ^{226}Ra ne radimo procjenom na osnovu aktivnosti ^{214}Bi i ^{214}Pb u spektru neuravnoteženog uzorka, već koristimo slijedeći postupak:

- Jedan dio uzoraka koje dobijamo je hermetički zatvoren u posudama cilindričnog oblika. Na osnovu datuma pakovanja proizvoda lako je utvrditi da li je on u stanju radioaktivne ravnoteže, a obično jeste. U ovim slučajevima snimamo spektar zračenja uzorka u originalnom pakovanju, a program ANGLE [3] koristimo za izračunavanje efikasnosti detekcije na linijama ^{214}Bi i ^{214}Pb. Na ovaj način smo u mogućnosti da odredimo koncentraciju ^{226}Ra sa zadovoljavajućom tačnošću.
- U slučaju da dobijemo uzorak u pakovanju koje ne zadovoljava zahtjeve programa ANGLE (cilindrična ili Marineli geometrija), presipamo ga u neku od naših standardnih geometrija i zatim snimamo. Zbog nepostojanja radioaktivne ravnoteže ne možemo koristiti linije ^{214}Bi i ^{214}Pb za direktno određivanje koncentracije ^{226}Ra. Koncentraciju ^{226}Ra određujemo razdvajanjem dubleta ^{235}U+^{226}Ra na 186 keV. To činimo preko linija ^{235}U na 143 keV i 163 keV, a ako se u spektru one ne vide, tada procjenjujemo aktivnost ^{235}U metodom 3σ fona. Metod razdvajanja dubleta na 186 keV može dati samo grubu procjenu sadržaja ^{226}Ra u uzorku. Stoga u slučajevima koncentracija ^{226}Ra bliskih graničnim dozvoljenim, gdje za donošenje ispravne odluke o radiološkoj ispravnosti uzorka treba imati tačne vrijednosti aktivnosti ^{226}Ra, uzorak hermetizujemo i ponovo ga snimamo po uspostavljanju radioaktivne ravnoteže, bez obzira na zahtjev hitnosti tražene analize.

LITERATURA

[1] Jonizujuća zračenja iz prirode, Monografija Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, urednik M. Kovačević, Beograd 1995.

[2] The Lund/LBNL Nuclear Data Search, S.Y.F.Chu, L.P.Ekstrom, R.B.Firestone, Version 2.0, February 1999. http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/index.asp

[3] S. Jovanović, A. Dlabač, N. Mihaljević, P. Vukotić, "ANGLE - a PC-code for semiconductor detector efficiency calculations", J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol. 218 (1997) 13-20.

ABSTRACT

EVALUATION OF ^{226}Ra ACTIVITY IN NONEQUILIBRIUM SAMPLES

T. Anđelić, P. Vukotić[1], R. Žižić, R. Zekić
Center for Ecotoxicological Research of Montenegro, Podgorica
[1]Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

Phenomenon of the elevated ^{214}Bi and ^{214}Pb activities in a sample immediately after its preparation for counting, that is not originating from ^{226}Ra content in the sample, is described in this paper. It is observed in the samples of various types, but not in each sample, moreover in the smaller percentage of them. In a sample where it appears, the phenomenon gives a wrong idea about high specific activity of ^{226}Ra existing in the sample. Origin of this phenomenon is not quite clear to us yet.

AKTIVNOST ^{7}BE U DAGNJAMA

R. Žižić, T. Anđelić, R. Zekić, P. Vukotić[1], N. Antović[1]
Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore, Podgorica
[1]Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

SADRŽAJ

Gama-spektrometrija je pokazala prisustvo kosmogenog radioizotopa ^{7}Be u svim uzorcima dagnji analiziranih po Programu sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore. Izmjerene specifične aktivnosti ^{7}Be u dagnjama su relativno visoke u poređenju sa nivoima specifičnih aktivnosti ^{7}Be u padavinama i morskoj vodi.

UVOD

Jonizujuće zračenje je prirodna karakteristika životne sredine, koja prati živi svijet na Zemlji od njegovog nastanka.

Pod izvorima jonizujućeg zračenja prirodnog porijekla mogu se smatrati:
- kosmičko zračenje,
- radionuklidi iz zemljine kore,
- radionuklidi koji su udisanjem ili ishranom unijeti i zadržani u tijelu bića.

Neki od izvora iz prirode su praktično konstantni u vremenu i prostoru i skoro nezavisni od ljudskih aktivnosti, kao na primjer dugoživeći radioaktivni izotop ^{40}K, ili kosmogeni radionuklidi koji su relativno homogeno distribuirani po površini zemlje. Drugi, na primjer radon, značajno zavisi od ljudskih djelatnosti kojima se može uticati na stepen izloženosti. Između te dvije krajnosti, postoji i kategorija izvora čiji doprinos nje ni veoma varijabilan, ali ni konstantan, kao što je kosmičko zračenje, koje zavisi od nadmoske visine, a u manjoj mjeri i od geografske širine, ili radionuklidi u tlu, čiji doprinos zavisi od geoloških karakteristika lokaliteta [1].

Kosmogeni radionuklid ^{7}Be nastaje interakcijom kosmičkog zračenja sa kiseonikom i azotom u atmosferi. Najčešće se nalazi u obliku molekula BeO i $Be(OH)_2$. Ovi molekuli se vezuju za atmosferske aerosole, a njihovim kretanjem kroz različite slojeve atmosfere mogu dospjeti i do njenog prizemnog sloja. Oko 75 % ^{7}Be proizvodi se u stratosferi, a oko 25 % u gornjim slojevima troposfere. U stratosferi se aerosoli ^{7}Be zadržavaju oko godinu dana, dok je vrijeme zadržavanja u troposferi oko 6 sedmica. Sa kišnicom ^{7}Be dospijeva u niže slojeve, površinske vode i u morsku vodu. Radioizotop ^{7}Be se koristi kao traser pri proučavanju kretanja vazdušnih masa kroz atmosferu.

Promjene koncentracije ^{7}Be u površinskim slojevima vazduha zavise od nekoliko činilaca: promjene brzine kretanja vazdušnih masa u tropopauzi, varijacije vertikalnih

kretanja masa u troposferi, varijacija u horizontalnom transportu vazdušnih masa od srednjih geografskih širina ka polarnim područjima i od količine padavina [2].

Srednje mjesečne koncentracije ^{7}Be u prizemnom atmosferskom sloju u Beogradu su (0.8 - 10) mBq/m^3, a i drugdje u Evropi su na nivou nekoliko mBq/m^3 [3].

Radioizotop ^{7}Be ima vrijeme poluraspada 53.12 dana i emituje fotone energije 477.595 keV, sa relativnim intenzitetom 10.56 %.

Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore za potrebe Vlade Crne Gore realizuje godišnje programe sistematskog ispitivanja sadržaja radionuklida u životnoj sredini Crne Gore. Program, između ostalog, obuhvata i ispitivanje sadržaja radionuklida u padavinama, morskoj vodi i u dagnjama. Tokom tih mjerenja je zapaženo da dagnje redovno imaju relativno veliku koncentraciju ^{7}Be i to će biti prikazano u ovom radu.

METODA MJERENJA

Analiza uzoraka padavina, morske vode i dagnji rađena je na niskofonskom gamaspektrometrijskom sistemu sa HPGe detektorom efikasnosti 40%. Energetska kalibracija detektora je urađena setom tačkastih kalibracionih izvora: ^{152}Eu, ^{137}Cs, ^{133}Ba, ^{60}Co, ^{88}Y, ^{57}Co, a kalibracija efikasnosti multistandardom jedinične gustine sa miksom radioizotopa: ^{139}Ce, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{203}Hg, ^{113}Sn, ^{85}Sr, ^{88}Y (proizvođač Czech Metrological Institute). Obrada snimljenih spektara je urađena sa softverima Gamma Vision 32, Nuclide Navigator i Angle.

Uzorci dagnji pripremani su u laboratoriji odvajanjem jestivog od nejestivog dijela. Za analizu je korišćen samo jestivi dio školjki, koji je homogenizovan mljevenjem, a zatim smješten u Marineli posudu od 1 litra. Spektri su snimani od 30 000 s do 170 000 s.

Uzorkovanje morske vode se obavlja u Baru i Herceg Novom i sakupljaju se zbirni mjesečni uzorci od po 30 litara. Ispitivanje sadržaja radionuklida u padavinama obavlja se na zbirnim mjesečnim uzorcima iz Podgorice.

Zbirni mjesečni uzorci morske vode i padavina uparavaju se do zapremine od 1 litra i smještaju u Marineli posude. Spektri uzoraka padavina i morske vode snimani su od 30 000 s do 90 000 s, a dobijene vrijednosti aktivnosti se koriguju na dan uzimanja uzoraka za one radionuklide kod kojih je ova korekcija značajna.

REZULTATI

Rezultati određivanja koncentracije ^{7}Be u uzorcima dagnji i padavina su dati u tabelama 1. i 2. u vidu specifične aktivnosti u Bq/kg, odnosno Bq/l, korigovani na dan uzimanja uzorka. U uzorcima morske vode nivo aktivnosti ^{7}Be je bio ispod granice detekcije sistema, koji po metodi 3σ fona na mjestu fotopika ^{7}Be iznosi (0.04 - 0.14) Bq/l (svedeno na dan uzorkovanja morske vode), u zavisnosti od geometrije i vremena snimanja spektra.

Tabela 1. Specifične aktivnosti ^{7}Be u dagnjama

Mjesto uzimanja uzorka	Datum uzorkovanja	Asp (Bq/kg)
Kotor	maj 2000.	4.57 ± 0.46
Herceg Novi	novembar 2000.	18.63 ± 0.97
Rt Arza	jul 2001.	8.60 ± 0.37
H.N. Njivice	avgust 2001.	5.79 ± 0.28

Tabela 2. Specifične aktivnosti ^{7}Be u mjesečnim uzorcima padavina u Podgorici u toku 2000. godine.

mjesec	^{7}Be (Bq/l)
Januar	0.96 ± 0.19
Februar	1.02 ± 0.15
Mart	0.61 ± 0.02
April	0.16 ± 0.05
Maj	0.07 ± 0.03
Jun	0.32 ± 0.06
Septembar	0.37 ± 0.08
Oktobar	0.05 ± 0.02
Novembar	0.05 ± 0.01
Decembar	0.06 ± 0.01

ZAKLJUČAK

U svim uzorcima mesa dagnji detektovan je radionuklid ^{7}Be, sa relativno visokim njegovim koncentracijama, u opsegu (4.57 - 18.63) Bq/kg. Koncentracija ^{7}Be u morskoj vodi Crnogorskog primorja je, međutim, ispod nivoa 0.14 Bq/l, a u padavinama u Podgorici kreće se u granicama (0.05 - 1.02) Bq/l. Očigledno je da sama školjka na neki način vrši akumulaciju ovog radionuklida kosmogenog porijekla.

LITERATURA

[1] Jonizujuća zračenja, Monografija Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, urednik M. Kovačević, Beograd 1995.

[2] J. Paatero, J. Hatakka: Source areas of airborne ^{7}Be and ^{210}Pb in northern Finland, Health Physics, 79 (2000) 691 – 695.

[3] D. Todorović, M. Radenković: ^{7}Be u prizemnom sloju atmosfere na teritoriji grada Beograda, Zbornik radova XX Simpozijuma Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Tara (1999) 67-70.

ABSTRACT

^{7}Be ACTIVITY IN MUSSELS

R. Žižić, T. Anđelić, R. Zekić, P. Vukotić[1], N. Antović[1]

Center for ecotoxicological researches of Montenegro, Podgorica

[1]Faculty of natural sciencis, University of Montenegro, Podgorica

Presence of cosmogenic radioisotope ^{7}Be is found by gamma-spectrometry in all samples of mussels analysed within the Program of environmental radioactivity monitoring in Montenegro. The specific activities of ^{7}Be in mussels are relatively high in comparision with specific activity levels of ^{7}Be in precipitation and sea water.

DISTRIBUCIJA ^{7}BE U SLOBODNO NATALOŽENOJ PRAŠINI

D. Todorović, M.Radenković
INN "Vinča " Laboratorija za zaštitu od zračenja, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati merenja sadržaja ^{7}Be u slobodno nataloženoj prašini na meteorološkim stanicama u Institutu "Vinča" i okolini u periodu od 1994 do 2001.g. Analiza uzoraka urađena je metodom spektrometrije gama emitera. Određeni su korelacioni odnosi koji ukazuju na značajnu linearnu korelaciju, između koncentracija ^{7}Be na pojedinim stanicama.

UVOD

Kosmogeni radionuklid ^{7}Be nastaje u procesu spalacije protona i neutrona visoke energije sa azotom i kiseonikom u atmosferi. Njegovo vreme poluraspada iznosi 53.3 dana. Po svom nastanku ovaj radionuklid se vezuje za submikronske aerosolne čestice atmosfere i ulazi u atmosferski transport. Procenjuje se da je gubitak ^{7}Be u atmosferi, oko 59% usled radioaktivnog raspada, i 41% usled depozicije tj. najveći deo se gubi spiranjem mokrim padavinama [1].

Srednje mesečne koncentracije ^{7}Be u atmosferi pokazuju sezonski efekat, maksimalne vrednosti su u letnjem, a minimalne u zimskom periodu ako se posmatra severna hemisfera. Ovakav ciklus ^{7}Be predmet je izučavanja mnogih autora. Promena koncentracije ovog radionuklida može se povezati sa promenom broja sunčevih pega [2] kao i sa koncentracijom ozona [3]. Najveći uticaj na promenu koncentracije ^{7}Be u atmosferi ima strato-troposferska izmena vazdušnih masa [4].

^{7}Be u prizemni sloj atmosfere deponuje se iz njenih viših slojeva (stratosfera, troposfera).U ovom radu kao uzorak, posmatrana je slobodno nataložena prašina, koja pretstavlja sve ono što se slobodno nataloži na određenu površinu iz atmosfere. Umesto ovog termina u literaturi se često koristi termin depozit. Posmatran je period 1994 - 2001. g. na mernim stanicama u Institutu "Vinča ". Na dobijene rezultate primenjena je teorija korelacije tj. određeni su linearni koeficijenti korelacije.

METODE MERENJA

Uzorci depozita (suvi i mokri deo zajedno) sakupljeni su na stanicama "Usek" i "Institut" koje se nalaze na rastojanju 2 km od Instituta kao i u samom Institutu "Vinča". Za sakupljanje uzoraka depozita koriste se plastične tacne površine 0.16 m^2 i 0.25 m^2 koje se

nalaze 1 m iznad tla. Uzorci se uparavaju do suvog ostatka, a zatim se sagorevaju u pećima za žarenje. Od svih dnevnih uzoraka depozita pravi se zbirni mesečni uzorak koji se gama spektrometrijski analizira. Mase uzoraka su u opsegu od 0.1 do 5 g. Geometrija merenja je plastična valjkasta posuda- fiola.

Kalibracija detektora urađena je pomoću referentnog radioaktivnog materijala sa matriksom aerosolnim prahom.Vreme merenja uzoraka je 100-200 ks.

REZULTATI I DISKUSIJA

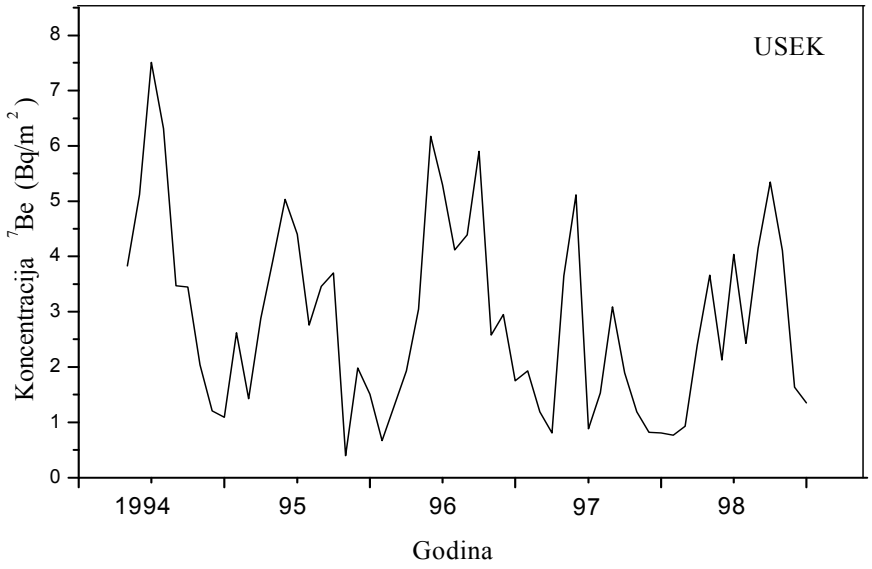
Koncentracija ^{7}Be u slobodno nataloženoj prašini (depozitu) prikazana je na slikama 1 i 2. Srednja vrednost koncentracije u ovom periodu iznosila je 2.9 Bq/m^2 na stanici USEK i 3.2 Bq/m^2 na stanici INSTITUT. Sa datih grafika se mogu uočiti maksimalne vrednosti u letnjem i minimalne u zimskom periodu.

Linearni koeficijent korelacije [5] između koncentracije ^{7}Be na ovim stanicama iznosi 0.62, a njegov test ukazuje na to, da se on značajno razlikuje od nule i statistički se beznačajno razlikuje od 0.75. Na osnovu ove linerne korelacije, linearna jednačina veze iznosi :

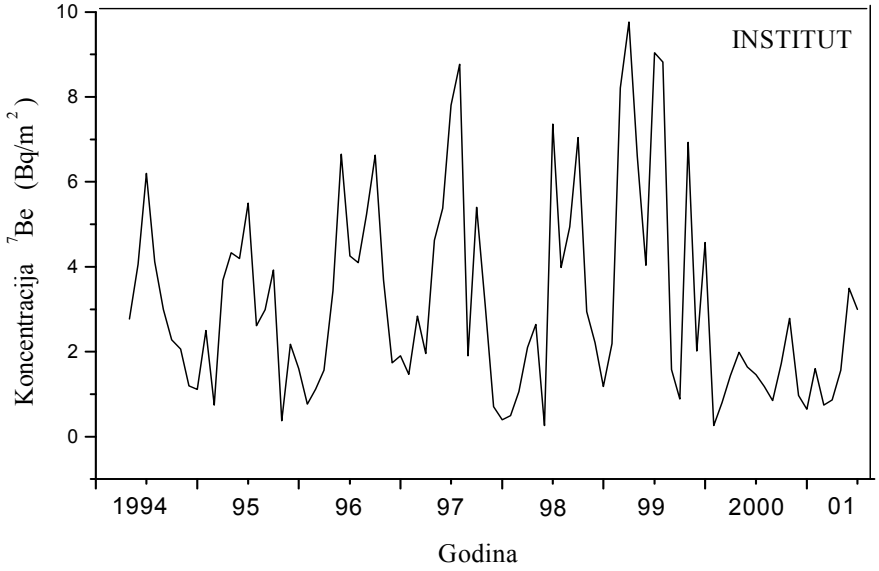
$$y = 0.51x + 1.3$$

y - koncentracija ^{7}Be na stanici USEK i x- koncentracija ^{7}Be na stanici INSTITUT.

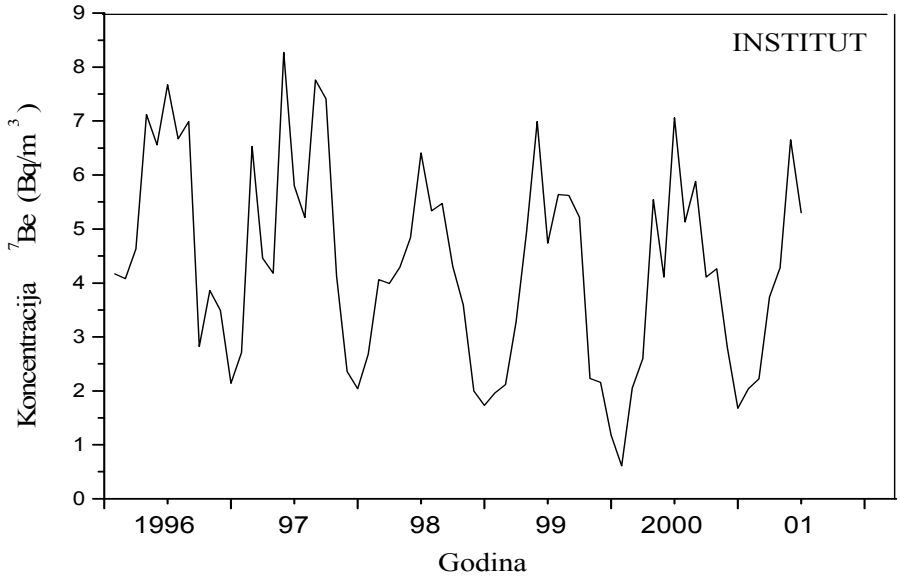
Ukoliko se posmatra koncentracija ^{7}Be u prizemnom sloju atmosfere na istoj stanici, slika 3, može se uočiti, isti raspored maksimalnih i minimalnih vrednosti. Linearni koeficijent korelacije, čija je vrednost 0.29, ukazuje da nema linearne korelacije, između koncentracije ^{7}Be, u prizemnom sloju atmosfere i depozitu, u ovom periodu.



Slika 1. Koncentracija ^{7}Be u slobodno nataloženoj prašini



Slika 2. Koncentracija ^{7}Be u slobodno nataloženoj prašini



Slika 3. Koncentracija ^{7}Be u prizemnom sloju atmosfere

LITERATURA

[1] Armengaud A., Genthon C. : Modelling global distributions of ^{222}Rn, ^{210}Pb, ^{7}Be in the atmosphere with general circulation models, Symposium Isotope techniques in the study of past and current environmental changes in the hydrosphere and the atmosphere, Vienna, 1993, 15-24.

[2] Cannizzaro F., Greco G., Raneli M. and al. : Behaviour of ^{7}Be air concentration observed during a period of 13 years and comparasion with sun activity, Nuclear geophysics, Vol.9, No.6, (1995), 597-607.

[3] Irlweck K., Hinterdorfer K., Karg V. : Beryllium-7 and Ozone correlations in surface atmosphere, Naturwissenschaften 84, (1997), 353-356.

[4] D. Todorović : Distribucija prirodnih (^{7}Be, ^{210}Pb) i proizvedenih (^{137}Cs) radionuklida u prizemnom sloju atmosfere i slobodno nataloženoj prašini u urbanim sredinama, doktorska disertacija, Beograd, 2000.

[5] Prohaska S., Ristić V. : Hidrologija - kroz teoriju i praksu, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Beograd, 1996.

ABSTRACT

DISTRIBUTION ^{7}Be IN FALLOUT

D. Todorović, M. Radenković

"Vinča" Institute, Radiation and Environmental Protection Laboratory, Belgrade

Distribution of the ^{7}Be concentration in fallout at VINCA Institute for 1994-2001. period is presented. Samples analysis has been performed by gamma spectrometry, and linear regression line obtained on the basis of the correlation theory.

RASPODELA ^{210}PB U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE

D. Todorović, M. Radenković
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja, Beograd

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati usrednjavanja, koncentracije ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere u Institutu "Vinča " u periodu od 1985-2001. g. Analiza uzoraka urađena je metodom spektrometrije gama emitera, a trend razvoja vremenskih serija dat je na osnovu usrednjavanja koncentracija primenom metode pokretnih sredina.

UVOD

Niz radioaktivnog raspada radona, završava se sa dugoživećim radionuklidom ^{210}Pb, ($t_{1/2}$ = 22.3 g) koji prilikom raspada formira novi radioaktivni niz čiji su svi članovi dugoživeći radionuklidi. ^{210}Pb se veoma brzo vezuje za neaktivne aerosole, i kao takav može da se transportuje kroz atmosferu, ili putem mokrih ili suvih padavina da se deponuje na površinu zemlje. Zbog dugog vremena poluraspada, ^{210}Pb može da omogući dobijanje veoma interesantnih meteoroloških informacija, posebno o poreklu vazdušnih masa i vremenu boravka aerosola u pojedinim delovima atmosfere [1].

Mnogi istraživači vreme boravka aerosola u atmosferi procenjuju na osnovu merenja odnosa ^{210}Bi/^{210}Pb i ^{210}Po/^{210}Pb u atmosferskim padavinama i aerosolima. Ovaj odnos ne mora uvek da pruži tačnu informaciju o vremenu boravka aerosola u atmosferi. Iz tog razloga određuje se odnos aktivnosti između aerosola i depozita, tako da se može odrediti razlika u ponašanju atmosferskih aerosola, koji su suspendovani u površinskom sloju vazduha i onih koji se nalaze u depozitu [2,3]. Vrema boravka ^{210}Pb, u atmosferi, procenjeno je da iznosi od 7 do 14 dana dok je kontinentalna depozicija procenjena na 20 mBq/cm^2 [3,4].

U ovom radu prikazana je raspodela ovog radionuklida u prizemnom sloju atmosfere, kao i rezultati userdnjavanja dobijenih koncentracija. Analiza dobijenih vremenskih serija urađena je metodom pokretnih sredina. Glavni zadatak pokretnih sredina sastoji se u tome što se redukuju postojeće varijacije i na taj način vrši aproksimacija tendencije razvoja vremenske pojave.

METODE MERENJA

Aerosoli iz prizemnog sloja atmosfere sakupljeni su na mernim stanicama "Baraka" i "Institut", koje se nalaze u Institutu "Vinča" i na mernim stanicama "Usek" i

"Zeleno brdo" koje se nalaze na rastojanju 2 km i 7 km od Instituta, na pravcu dominantnog jugoističnog vetra prema Beogradu.

Uzorkovanje se vrši prosisavanjem vazduha kroz filter papir, čija je efikasnost 80 %, na slobodno nataloženu prašinu, u toku 24 časa. Zbirni mesečni uzorak dobija se žarenjem svih dnevnih uzoraka na temperaturi ispod 400 ^{0}C.

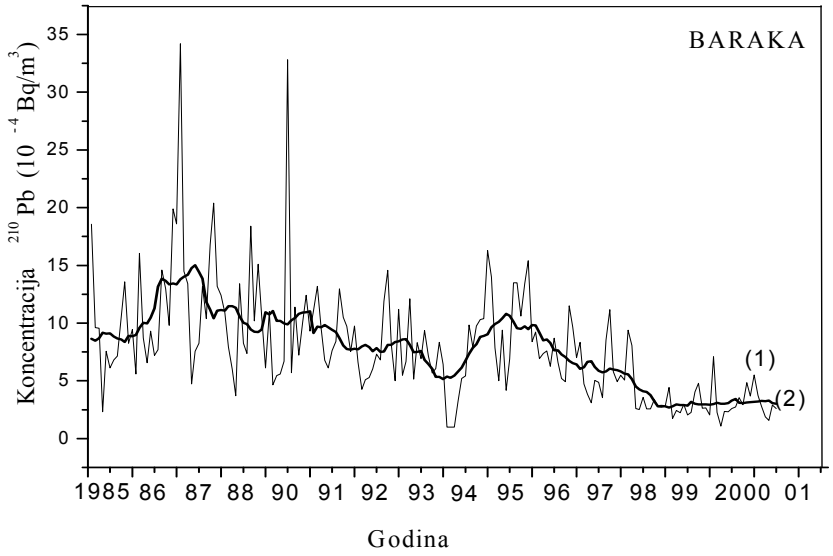
Metoda koja je korišćenja za analizu je spektrometrija gama emitera. Kalibracija detektora urađena je referentnim radioaktivnim materijalom IAEA-83, (AIR-4) sa matriksom filter papirom, na kome su nakapani ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{133}Ba, ^{137}Cs, ^{210}Pb, čija je ukupna aktivnost bila 4.4 kBq (1.01.1986. g).

Vreme merenja je bilo u intervalu od 100 do 300 ks. Maksimalna ukupna greška merenja je 36 %, dok je srednja vrednost ukupne greške merenja 21 %.

REZULTATI I DISKUSIJA

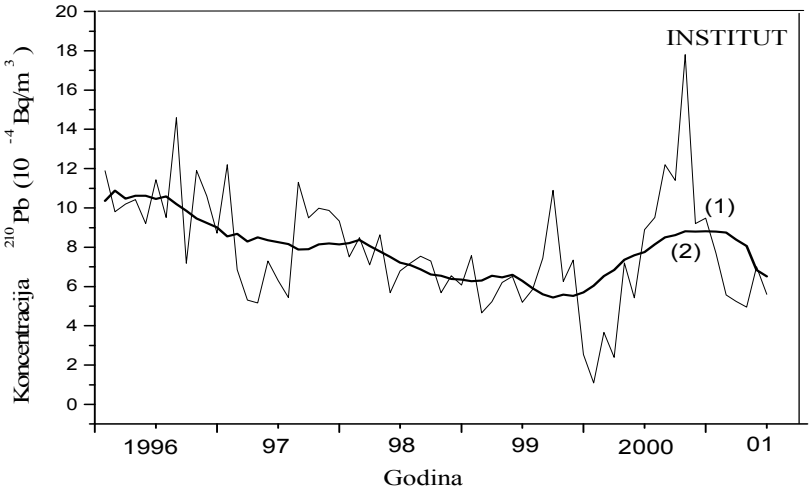
Dobijeni rezultati merenja sadržaja ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere, posmatrani su statistički, kao elementi vremenskih serija. Pokretne sredine određene su standardnim matematičkim metodama za paran broj članova , tj. N = 12 [5].

Rezultati merenja prikazani su na slikama 1, 2, 3, 4. Da bi se bolje uočila uloga pokretnih sredina u objašnjavanju toka promena koncentracije ^{210}Pb, na istim graficima prikazane su promene koncentracije (1) i pokretne sredine (2).

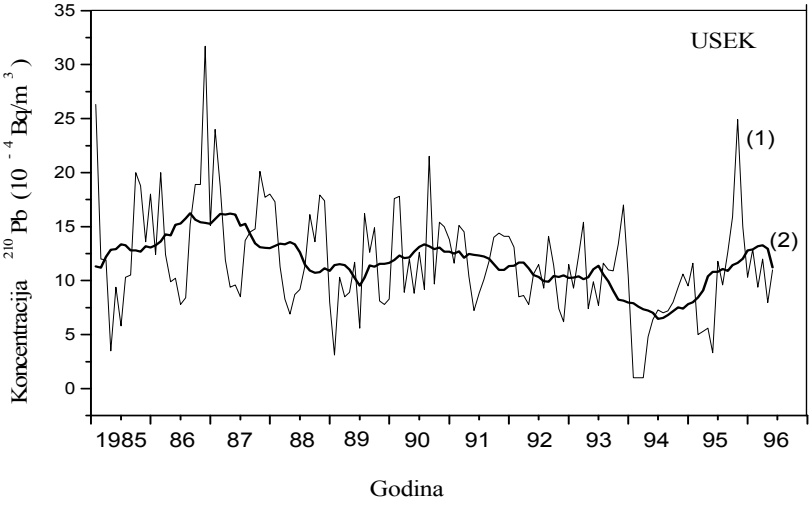


Slika 1. Koncentracija (1) i pokretne sredine (2) ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere

Srednja vrednost koncentracije ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere na stanicama Baraka, Institut, Usek, Zeleno Brdo iznosi : 7. 8, 7. 9, 11.7, 8.1 x 10^{-4} Bq/m^3. Maksimalne vrednosti su u jesenjem periodu.

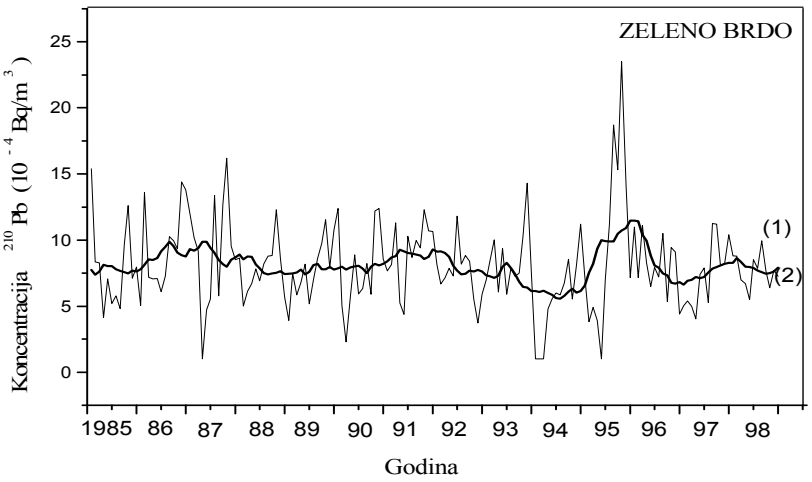


Slika 2. Koncentracija (1) i pokretne sredine (2) ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere



Slika 3. Koncentracija (1) i pokretne sredine (2) ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere

Posmatranjem pokretnih sredina na datim graficima, uočava se porast koncentracije u periodu 1986-1987. i 1994-1996, a takođe se može i sagledati uloga pokretnih sredina, koja se sastoji u tome što se anuliraju sezonske, ciklične i druge varijacije, dobijanjem linije trenda.



Slika 4. Koncentracija (1) i pokretne sredine (2) ^{210}Pb u prizemnom sloju atmosfere

LITERATURA

[1] Preiss N., Melieres M. and Pourchet.: A compilation of data on lead 210 concentration in surface air ond fluxes at the air-surface and water-sediment interfaces, Journal of geophisical research, Vol.101, No.D22, (1996), 28,847-28,862.

[2] Suzuki.T, Shiono H.: Comparison of ^{210}Po/^{210}Pb activity ratio between aerosol and deposition in the atmospheric boundary layer over the west coast of Japan, Geochemical Journal, Vol.29, (1995), 287-291.

[3] Tokeida T., Yamanaka K. and al. : Seasional variations of residence time and upper atmospheric contribution of aerosols studied with Pb-210, Bi-210, Po-210 and Be-7, Tellus, 48B, (1996), 690-702.

[4] Gaggeler H.W. : Radioactivity in the Atmosphere, Radiochimica Acta 70/701, (1995), 345-353.

[5] Spiegel M.R. : Schaum' s outline of : Theory and Problems of statistics in si units, Mc. Graw-Hill International Book Company, New Jork, 1972.

ABSTRACT

DISTRIBUTION ^{210}Pb IN GROUND LEVEL AIR

D.Todorović, M. Radenković

"Vinča" Institute, Radiation and Environmental Protection Laboratory, Belgrade

Distribution of the ^{210}Pb concentration in the ground level air at VINCA Institute for 1985-2001. period is presented. Samples analysis has been performed by gamma spectrometry and time series trend obtained on the basis of the ‘movable average’ statistic method.

KONTAMINACIJA JESTIVIH GLJIVA CEZIJUMOM-137 I MOGUĆE RADIJACIONO OPTEREĆENJE STANOVNIŠTVA

S. Dragović, S. Stanković
Institut za primenu nuklearne energije - INEP, Zemun

SADRŽAJ

Nivoi aktivnosti Cs-137 u nekim vrstama jestivih gljiva su viši nego u većini drugih namirnica. U nekim zemljama njihovo korišćenje u ishrani značajno doprinosi unošenju radiocezijuma u organizam čoveka. U toku 2000. godine prikupljeno je i analizirano 150 uzoraka jestivih šumskih gljiva koje se najčešće koriste u ishrani u našoj zemlji, a u cilju sagledavanja radijacionog opterećenja stanovništva. Dobijeni rezultati pokazuju da su nivoi aktivnosti Cs-137 u ovim namirnicama još uvek visoki, pa je potrebno njihovo kontinuirano praćenje.

UVOD

U proceni posledica akcidenta nuklearne elektrane u Černobilju 1986. godine veoma je čest pristup zasnovan na podacima o upotrebi određenih namirnica u ishrani stanovništva, koristeći pri tome statističke podatke o proizvodnji hrane, uvozu, izvozu i varijacijama u zalihama). Ipak, ljudi konzumiraju hranu iz različitih izvora i različitog porekla, koja često nije pokrivena nekom nacionalnom statistikom (posebno proizvodi malog komercijalnog značaja). Očigledan primer su divlji plodovi, gljive i šumsko voće. Iako se ovi proizvodi konzumiraju u relativno malim količinama, visok nivo aktivnosti i visok stepen transfera cezijuma-137, kao i njegovo dugo vreme poluraspada čine ih potencijalno značajnim izvorima unutrašnje kontaminacije. Posle černobiljskog akcidenta brojne studije su ukazivale na značaj ovih proizvodaza unošenje radiocezijuma kod populacije i došlo se do zaključka da ovakve proizvode treba uzimati u razmatranje pri proceni radijacionog rizika.

Još šezdesetih godina je zapažen povećan sadržaj Cs-137 u šumskim gljivama u poređenju sa drugim biljkama iz njihovog okruženja, kao rezultat atmosferskih nuklearnih proba. Novi porast aktivnosti radicezijuma u biosferi 1986. godine doveo je i do povećanja aktivnosti ovog radionuklida u gljivama. Neposredno posle akcidenta nivoi aktivnosti Cs-137 u gljivama u našoj zemlji dostizali su i nekoliko stotina $Bqkg^{-1}$, a među njima najviše je kontaminiran smrčak- do 1200 $Bqkg^{-1}$ u 1986. godini [1]. U kasnijem periodu ovi nivoi su se smanjivali, ali su još uvek visoki u odnosu na ostale prehrambene proizvode.

Podaci o upotrebi šumskih gljiva u ishrani za sve evropske zemlje su vrlo ograničeni. Prosečne vrednosti za potrošnju šumskih gljiva postoje za nordijske zemlje (Aarkrog, 1994) i nalaze se u opsegu od 50 g god^{-1} u Danskoj do 2,8 kg god^{-1} u Švedskoj.

Poslednjih godina brojna istraživanja su sprovedena u zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza da bi se odredila brzina ingestije šumskih gljiva, u cilju radijacione zaštite stanovništva [2]. Dobijene srednje vrednosti kretale su se u opsegu od 1,2 kg god^{-1} do 14,2 kg god^{-1}. Godišnja potrošnja ovih plodova u ishrani stanovnika zemalja centralne Evrope je 3 kg [3].

Godišnja efektivna ekvivalentna doza (H_E) usled ingestije izračunava se po sledećem izrazu:

$$H_E = \Sigma\, IC_i\, B_i\, DC_i$$

gde su: IC_i-integralne aktivnosti radionuklida u hrani i vodi; B_i-godišnja potrošnja hrane i vode i DC_i-odgovarajući dozni koeficijent za ingestiju kod odraslih i dece. Dozni koeficijent po ICRP br. 72 iznosi $1{,}4 \times 10^{-8}$ $SvBq^{-1}$ za odrasle i $9{,}3 \times 10^{-9}$ $SvBq^{-1}$ za decu [4].

Na teritoriji Jugoslavije može se naći 650 vrsta makromiceta (gljiva koje formiraju veća, golim okom prepoznatljiva plodonosna tela), koje su grupisane u 235 rodova i 53 familije [5]. Kako su staništa ovih vrsta gljiva uglavnom šumski ekosistemi visokoplaninskih predela, potrebna je stalna kontrola njihove radioaktivnosti.

Primenom različitih postupaka prerade (kuvanje, salamurenje, sušenje) može se značajno smanjiti nivo aktivnosti Cs-137 u gljivama (tabela 1).

Tabela 1. Redukcija nivoa aktivnosti Cs-137 u gljivama različitim postupcima prerade (Rantavara, 1987 i Jacob et al., 1995)

Način obrade	Smanjenje nivoa aktivnosti Cs-137 u odnosu na sveže sakupljene gljive (%)
Pranje	20
Kuvanje	50
Salamurenje	50
Sušenje pa natapanje	75
Prokuvavanje, sušenje pa natapanje	90

MATERIJAL I METODE RADA

U uzorcima šumskih gljiva (*Boletus edulis, Cantharellus cibarius, Cratarellus cornicopioides, Morchella conica i Marasmius oreades*) prikupljenih na teritoriji Jugoslavije određeni su nivoi aktivnosti Cs-137 gamaspektrometrijskom metodom (ORTEC-CANBERRA sa NaI detektorom rezolucije 8,7% i efikasnosti 6,8% za Cs-137 na liniji 661,6 keV i standardnom greškom manjom od 10%). Detektor je kalibrisan standardnim referentnim izvorima. Vreme merenja iznosilo je 3600 s. Rezultati merenja obrađeni su statistički, izračunavanjem srednje vrednosti i standardne devijacije.

REZULTATI

Srednje vrednosti izmerenih nivoa aktivnosti Cs-137 za različite vrste gljiva prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2. Nivoi aktivnosti Cs-137 u različitim vrstama gljiva u $Bqkg^{-1}$
(srednja vrednost ± SD)

Vrsta	Sveža	Suva	U salamuri	Zamrznuta
B. edulis	16 ± 3	90 ± 15	4 ± 1	16 ± 3
C. cibarius	19 ± 4	99 ± 68	9 ± 4	-
C. cornicopioides	-	54 ± 18	-	-
M. conica	-	230 ± 20	-	-
M. oreades	-	17 ± 3	-	-

Procenu radijacionog opterećenja stanovnika naše zemlje usled ingestije šumskih gljiva otežava činjenica da ne postoje podaci o godišnjoj potrošnji ovih namirnica. Godišnju efektivnu ekvivalentnu dozu usvojenu konzumiranjem ovih plodova možemo aproksimativno odrediti, korišćenjem podataka o potrošnji za zemlje centralne Evrope, odnosno 3 kg god^{-1}. Na ovaj način dobijena godišnja efektivna ekvivalentna doza iznosi 3,2 μSv za odrasle i 2,1 μSv za decu. Najveći doprinos ovoj dozi daju gljive iz visokoplaninskih predela Srbije i Crne Gore, s obzirom da su ti predeli predisponirani za depoziciju radionuklida zbog veće količine padavina. Visokoplaninski ekosistemi obezbeđuju relativno male količine hrane za ljude, ali ukupna doza jonizujućeg zračenja ovih oblasti za stanovništvo može biti velika. Ekološke karakteristike koje ove sisteme čine posebno podložnim zagađenju radionuklidima uključuju: (1) prisustvo zemljišta koja ne imobilizuju radiocezijum i tako omogućavaju njegovo usvajanje od strane biljaka, (2) prisustvo biljnih vrsta koje se karakterišu velikim brzinama usvajanja radiocezijuma i (3) prvenstveno korišćenje od strane malih preživara koji zadržavaju viši nivo aktivnosti u mišićnom tkivu od stoke [6].

ZAKLJUČAK

Sakupljanje šumskih plodova je tradicija u mnogim delovima Evrope, ali su informacije o njihovoj količini i konzumaciji vrlo skromne. Rezultati dobijeni u ovom radu pokazuju da šumske gljive zbog još uvek visokog nivoa aktivnosti cezijuma-137 treba uzeti u razmatranje u proračunima radijacionog opterećenja stanovništva. U prilog tome ide i činjenica da su gljive značajna namirnica u dijetalnoj ishrani. Važno je napomenuti da je većina uzoraka gljiva u ovom radu merena u sirovom (neprerađenom) stanju. Tokom prerade ovih namirnica nivo aktivnosti cezijuma-137 može se smanjiti i do 90%. Za pravilnu procenu radijacionog rizika za zdravlje populacije potrebno je raspolagati podacima o potrošnji ove vrste namirnica u ishrani.

LITERATURA

[1] Stanković, S., Stanković, A. (1998) Bioindikatori radioaktivne kontaminacije, Zbornik radova VII kongresa veterinara Jugoslavije, Beograd, 421-431.

[2] Strand, P., Howard, B. and Avertin, V. (1996) Transfer of radionuclides to animals, their comparative importance under different agricultural ecosystems and appropriate countermeasures, EUR 16539.

[3] Combris, P., Bertail, P., Boizot, C. and Poupa, J. C. (1991) La consommation alimentaire en 1991: distribution des quantités consommées à domicile. ISBN 2-7380-0628-0.

[4] ICRP (1996) ICRP No. 72. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5. Completion of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Vol. 26, 1, 91.
[5] Ivančević, B., Diverzitet makromiceta u Jugoslaviji sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja, Beograd, 1995, 141-150.
[6] Howard, B.J., Beresford, N.A., Hove, K. (1991) Transfer of radiocaesium to ruminants in unimproved natural and semi-natural ecosystems and appropriate countermeasures, Health Physics, 61, 715-725.

ABSTRACT

CONTAMINATION OF EDIBLE MUSHROOMS BY CESIUM-137 AND POSSIBLE BODY BURDEN OF INHABITANTS

S. Dragović, S. Stanković
Institute for the Application of Nuclear Energy – INEP, Zemun

Activity levels of Cs-137 in some species of edible mushrooms are higher than in many other foodstuffs. In some countries the consumption of this products contributes significantly to radiocesium intake in humans. About 150 samples of commonly eaten species of wild edible mushrooms were collected and analysed in 2000, in order to recognize the body burden of inhabitants. The results obtained in this paper show that the activity levels of Cs-137 in these foodstuffs are still high, so monitoring of these levels is necessary.

RADIOAKTIVNOST EKOSISTEMA NOVOG SADA

E.Varga, I. Bikit, J. Slivka,
M. Krmar, M. Vesković, Lj. Čonkić
Univerzitet u Novom Sadu, PMF, Institut za fiziku

SADRŽAJ

Predstavljeni su rezultati γ-spektrometrijskih merenja radioaktivnosti mulja, peska, sedimenta, riba, voda Dunava, gradskih plaža, voda iz vodovoda, javnih bunara i građevinskog zemljišta. Uzorkovanje je vršeno 1999. i 2000. godine. Izmerene koncentracije svih radionuklida su u okvirima uobičajenih vrednosti i utvrđeno je odsustvo osiromašenog urana.

UVOD

Osnovni cilj ovih istraživanja bio je dobijanje podataka o radioaktivnosti urbane sredine Novog Sada pogodnim izvorom ispitanih medijuma i ravnomernim izborom termina uzorkovanja. Izvršena su sledeća merenja radioaktivnosti: mulja i riba, voda Dunava i gradskih plaža, voda iz vodovoda 1999., pijaćih voda 2000. godine i građevinskog zemljišta.

Potencijalni zagađivači regiona Novog Sada radionuklidima su: zagađenje voda Dunava od pogona nuklearne elektrane u Pakšu i rada ostalih čiji se reaktori hlade vodama gornjeg toka reke, nagomilavanje dugoživećih fisionih produkata poreklom iz havarije nuklearne elektrane u Černobilu, nagomilavanje prirodnih radionuklida usled primene nenuklearnih tehnologija (mineralna fosforna đubriva sa visokim sadržajem urana kao i neadekvatno skladištenje i razbacivanje nusprodukata pri proizvodnji veštačkih đubriva), havarija izvora zračenja u javnom prometu (radioaktivni gromobrani, radioaktivni javljači požara, medicinski radioizotopi i sl.) i od 1999. godine usled upotrebe municije sa osiromašenim uranom pojavila se i potencijalna opasnost zagađenja tog tipa.

UZORCI I METODE MERENJA

Uzorci mulja, sedimenta i peska su uzeti sa novosadskih plaža i obala kanala DTD. Masa uzetih uzoraka je iznosila oko 0.5 kilograma i sušeni su do konstantne mase na 378 K i posle homogenizacije su prenešeni u merne posude. Uzorci dunavskih riba sa masom većom od 0.5 kilograma su usitnjeni i zatim sušeni do konstantne težine. Pre stavljanja u merne posude vršena je homogenizacija kompletnog uzorka.Uzorci dunavske vode i vode za piće su uzimani u plastične kanistre. Iz uzoraka vode zapremine oko 100

litara, prethodno filtrirane kroz filter papir Whatman 40, radioizotopi su izdvojeni postupkom koprecipitacije na MnO_2 [1]. Posle sušenja talog sa spaljenim filter papirom se mehanički homogenizuje i prenosi u posudu za merenje. Radionuklid ^{137}Cs je iz uzorka vode prethodno filtrirane radi odvajanja taloga MnO_2 izdvajan na koloni sa jonoizmenjivačkom smolom Lewatit S100 [2]. Na kraju procesa oceđena smola se kompletno prenosi u posudu za merenje.

Uzorci zemljišta su uzeti sa specijalno konstruisanom cevi prečnika 105 mm sa dubine od 60 cm. Uzorci su sušeni do konstantne mase na 378 K i posle homogenizacije su preneti u posude za merenje.

Gama-spektrometrijska merenja su se vršila pomoću visokorezolucionog HPGe γ-spektrometra proizvođača ORTEC. Detektor tipa GMX ima proširen energetski opseg merenja, te registruje i niskoenergetsko γ- i x-zračenje. Nominalna efikasnost detektora je veća od 36%, dok je moć razlaganja manja od 1,9 keV-a. Metalne komponente detektora su izrađene od materijala testirane visoke radiočistoće. Detektor je smešten u specijalnu niskofonsku zaštitnu komoru sa zidovima od gvožđa debljine 25 cm livenog pre II svetskog rata i zato ne sadrži veštačke radioaktivne primese i snižava nivo fona za oko 1000 puta. Spektri su preko lanca predpojačavača i pojačavača tipa CANBERRA dovedeni u višekanalni analizator CANBERRA Ser. 35+ sa dva analogno-digitalna konvertora i ukupne memorije od 8192 kanala. On je direktno povezan sa mikro računarom pomoću kojeg su obrađivani i storirani izmereni spektri. Za obradu spektara korišćena je modifikovana verzija programa [3] MICRO-SAMPO koja osim identifikovanih γ-linija iskazuje spektralne intenzitete za više od 20 izabranih izotopa.

Uzorci su prenešeni u cilindrične merne posude prečnika ϕ=67 mm i visine h=62 mm. Efikasnost detekcije za ovu geometriju je određena pomoću tačkastih primarnih kalibracionih izvora AMESHAM, sekundarnih voluminoznih etalona proizvođača NBS i OHM i kalibrisanog etalona fosfata. Konzistentnost kalibracionoh tehnika je proverena pomoću računarskog koda "SOLANG". Tipično vreme merenja uzoraka iznosilo je 80 ks.

Tabela1.

		UZORAK		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI [Bq/kg]					
		TERMIN	LOKACIJA	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{7}Be	^{137}Cs
MULJ		sept. '99	kanal DTD-most za Bečej	31±6	38±10	33±2	455±18	<30	21±2
		sept. '99	kanal DTD-ušće u Dunav	33±10	31.3±1.4	30±2	459±27	41±20	25.1±1.6
		sept. '99	Dunav-Subić	55±10	49±2	32±2	408±29	<30	46±2
PESAK		sept. '99	Kod Naftagasa	19±11	17±1	3±2	290±20	3±2	0.8±0.4
GRADSKE PLAŽE	SEDIMENT/MULJ	juni	Štrand	29±4	42±4	34±2	453±23		28±1
		juni	Oficirska plaža	31±4	45±6	35±2	445±21		43±2
		juli	Štrand	25±5	36±5	35±2	441±21		30±2
		juli	Oficirska plaža	42±4	55±6	44±2	540±40		330±14
		avgust	Štrand	35±4	50±9	39±3	497±24		36±2
		avgust	Oficirska plaža L 1	41±5	55±5	43±3	533±26		69±3
		avgust	Oficirska plaža L 2	27±2	38±8	26±2	358±20		26±2
		avgust	Oficirska plaža L 3	40±5	39±8	42±2	501±29		52±2
	SUVI PESAK	juni	Štrand	10±2	19±2	16±1	281±15		2.1±0.2
		juni	Oficirska plaža	5±1	14±2	10±1	255±12		1.8±0.2
		juli	Štrand	9±1	11±3	13±1	245±14		3.9±0.7
		juli	Oficirska plaža	12±2	21±4	16±1	293±13		2.7±0.3
		avgust	Štrand	17±1	19±3	17±1	302±17		2.7±0.4
		avgust	Oficirska plaža	17±1	17±3	19±2	271±14		3.5±0.6
VODA IZ DUNAVA		18.07. '00.	sa splava Cesle	5.0±2.4	0.7±0.5	<1.0	27±5		<1.2
		18.08. '00.	sa splava Cesle	4.7±2.5	<2.4	0.6±0.3	26±5		0.7±0.5
		14.09. '00.	kod Cesle	5.8±2.3	9.4±0.6	<0.8	26±5		<0.5
		29.12. '00.	kod Cesle	10±3	2.3±0.4	2.5±0.3	57±4		0.8±0.5

		UZORAK		KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI [Bq/kg]					
		TERMIN	LOKACIJA	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{7}Be	^{137}Cs
RIBE		21.05.'99.	bela,Dunav,Sr.Karlovci	<0.9	<0.8	<1.0	69±18	<0.4	<25
		09.09.'99.	babuška, Begečka jama	<1.6	4.7±0.2	<0.3	94±5	<0.4	0.3±0.1
			štuka, klen,somić,Beg.jama	<1.5	0.3±0.1	<0.2	108+4	<0.4	0.3±0.1
			kečiga,Dunav, Subić	<1.5	4.3±0.3	<0.3	70±4	<0.4	<0.3
			kečiga, Dunav, Begeč	<6	3±1	<1	252±11	<27	1.2±0.5
			šaran, Dunav, Novi Sad	<0.5	-	<0.7	259±20	<0.2	1.0±0.6
			šaran, Dunav, Novi Sad	<0.8	-	<0.6	248±19	<1.6	1.0±0.3
			šaran, Dunav, Novi Sad	<0.5	-	<0.6	191±18	<1.6	<0.4
		21.05.'99.	bela riba,Dunav,Sr. Karlovci	<0.9	<0.8	<1.0	69±18	<0.4	<25
JAVNI BUNAR		sept. '99	Jodna banja	<10	29±1	2.4±2.0	15±7		<1.0
		sept. '99	Limanski park	10±3	29±1	1.8±0.8	26±8		<0.6
		sept. '99	kod SPENSA	10±2	18±1	2.6±1.1	31±9		<1.1
VODA IZ VODOVODA 1999. GOD.		maj		6.2±2.6	<2.6	0.9±0.5	31±9		<1.4
		jun		8.2±2.7	<2.4	1.0±0.5	32±11		<1.0
		jul		6±3	<2.6	<1.6	26±7		2.1±2.0
		avgust		3.9±2.7	9.3±1.5	1.2±0.5	49±6		1.0±0.7
		septembar		<10	44±3	1.7±0.6	29±7		<1.2
		oktobar		<5	29±2	1.2±0.8	20±7		<1.1
		novembar		<10	38±3	1.3±0.6	19±7		<3.1
VODA IZ VODOVODA 2000.GOD.		januar		10±3	29±1	1.8±0.8	27±4		<0.8
		februar		<20	<2.5	0.8±0.4	41±5		0.8±0.4
		mart		7.1±2.7	<2.4	1.1±0.3	41±5		<0.8
		april		6.2±2.6	<2.6	0.9±0.3	31±5		<1.4
		maj		8.2±2.7	<2.4	1.0±0.3	32±7		<1.0
		jun		6±3	<2.6	0.7±0.3	26±4		2.1±1.2
		jul		3.9±2.7	<1.8	1.16±0.28	49±4		1.0±0.4
		avgust		<10	16.0±0.6	1.7±0.4	29±4		<1.2
		septembar		<5	8.7±0.5	1.2±0.3	20±4		<1.1
		oktobar		<4	18.6±0.6	1.3±0.4	19±4		<3.1
		novembar		5±4	10.9±0.7	1.6±0.4	28±5		<0.8
		decembar		6±4	11.6±0.6	1.6±0.4	29±4		1.3±0.4
ZEMLJIŠTE	DETELINARA		K - 13 / 1	31±1	45±7	34±2	474±20		10.5±07
			K - 13 / 2	35±1	45±4	38±2	514±27		3.3±0.4
			K - 13 / 3	29±1	34±4	40±2	589±27		2.3±0.5
			K - 13 / 4	33±1	39±6	42±2	595±26		10.9±0.8
	BISTRICA		K - 7 / 5	22±1	38±7	31±2	472±20		2.4±0.6
			K - 7 / 6	30±1	39±8	37±2	489±29		3.1±0.5
			K - 7 / 7	35±1	38±8	42±2	579±27		4.3±0.6
			K - 7 / 8	36±1	34±7	49±2	690±30		0.6±0.3
			K - 7 / 12	40±1	44±8	42±2	530±30		0.6±0.3
	SOMBORSKA PRUGA		K - 2 / 9	30±1	35±7	39±2	605±26		7.2±0.7
			K - 2 / 10	34±1	38±5	45±2	619±29		8.1±0.7
			K - 2 / 11	28±1	38±4	37±2	512±23		2.8±0.4
	STARI GRAD		K - 15 / 12	32±1	32±6	24±1	324±9		8.4±0.4
			K - 16 / 13	58±1	66±10	35±1	342±10		6.7±0.4

Greške rezultata merenja su iskazane sa nivoom poverenja od 95%, tako da je verovatnoća da se pri ponovljenom merenju istog uzorka dobije rezultat izvan granica iskazane greške manja od 5%. Rezutati su prikazani u tabelama.

ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

Radioaktivnost voda Dunava pokazuje uobičajene koncentracije prirodnih radionuklida. Tragovi ^{137}Cs su izmereni u dva uzorka, što pokazuje da su zagađivači iz akcidenta u Černobilu još uvek prisutni u vodotoku.U celom ekosistemu Dunava ^{137}Cs se distribuira u pojedine medijume i može se koncentrovati u pojedinim lokacijama, kao što su

usporeni delovi vodotoka. Rezultati merenja koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mulju pokazuju upravo ovaj efekat povećanja koncentracije u kanalu DTD. Nivo koncentracije aktivnosti ^{137}Cs u mulju novosadskih plaža je relativno visok, posebno u julskom uzorku sa Oficirske plaže. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u pesku novosadskih plaža je za red veličine manja od koncentracija u mulju. Postupci vađenja mulja iz Dunava i njegovo raspoređivanje po obali povećava radijacioni rizik za brojne kupače.

U svim uzrocima sedimenta i peska su koncentracije aktivnosti ^{238}U i ^{226}Ra skoro jednake i nije ispunjen uslov koji je indikacija za prisustvo osiromašenog uranijuma: $A(^{238}U) >> A(^{226}Ra)$.

U ribama dominira prirodna radioaktivnost ^{40}K. Koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u ribama je ispod zakonom propisane granične vrednosti (Sl. list SRJ 9/1999).

Ukupno je analizirano 22 uzoraka pijaćih voda. Kao što je uobičajeno u uzorcima dominira aktivnost ^{222}Rn gasovitog potomka ^{226}Ra člana uranovog prirodnog radioaktivnog niza. Koncentracija aktivnosti prirodnog niza torijuma je oko 1 mBq/l. U nekim uzorcima voda iz vodovoda, posebno onim iz letnjih meseci, detektovani su tragovi ^{137}Cs, ali izmerene vrednosti su oko 1000 puta manje u odnosu na zakonom propisane granice (Sl. List 9/1999). Ovaj podatak ukazuje na prodor zagađivača iz Dunava u sistem vodosnabdevanja.

Izmerene koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida u građevinskom zemljištu kreću se u okvirima uobičajenih vrednosti za okolinu Novog Sada. Nisu detektovana povećanja prirodne radioaktivnosti usled eventualnog raspoređivanja otpadnog materijala. Radionuklid ^{137}Cs je detektovan na svim lokacijama sa različitim koncentracijama što je verovatno izazvano nejednakim atmosferskim taloženjem nakon akcidenta u Černobilu.

LITERATURA

[1] Reference methods for marine radioactivity studies, IAEA, Technical Report Series **118** (1970)

[2] Lj. Čonkić, I. Bikit, J. Slivka, M. Vesković: Analiza mogućnosti brzog, preciznog određivanja ^{134}Cs i ^{137}Cs u vodama, Zbornik radova XIV jugoslovenskog simpozijuma za zaštitu od zračenja, Novi Sad, 08.-11. juna 1987. godine

[3] J. Slivka, I. Bikit, M. Vesković, Lj. Čonkić: Gama spektrometrija, specijalne metode i primene, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2000.godine

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF NOVI SAD ECOSYSTEM

E.Varga, I. Bikit, J. Slivka, M. Krmar, M. Vesković, Lj. Čonkić
University of Novi Sad, Faculty of Science and Mathematics, Institute of Physics

The results of γ-spectroscopy analysis of sediment, sand, fish, Danube water, water from water supply, and communal soil are presented. The samples have been collected during 1999 and 2000 from the sites in Novi Sad. The absence of depleted uranium from all samples is confirmed.

RADIOAKTIVNOST ZEMLJIŠTA U VOJVODINI

S. Ćurčić, I. Bikit, J. Slivka,
M. Krmar, M. Vesković, Lj. Čonkić
Institut za fiziku, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad

SADRŽAJ

Prošireno ubeđenje javnosti da je tokom bombardovanja i Vojvodina zagađena osiromašenim uranom čini sagledavanje stanja radioaktivnosti poljoprivrednog zemljišta veoma aktuelnim. Na osnovu γ-spektrometrijske analize 50 uzoraka zemljišta sa područja Vojvodine može se zaključiti da ne postoji povećanje radioaktivnosti koje bi ugrozilo proizvodnju hrane. Izmerene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs, uzimajući u obzir transfer faktore ovog izotopa u biljke, ne bi trebalo da ugroze zdravstvenu ispravnost hrane.

UVOD

Zemljište regiona Vojvodine podložno je radioaktivnoj kontaminaciji iz više izvora. Pre svega to su reaktori nuklearnih elektrana u okolini koji svojom emisijom u vodu i vazduh mogu zagaditi širu okolinu. Zatim upotreba fosfatnih đubriva sa velikim koncentracijama urana može uzrokovati postepeno povećanje koncentracije aktivnosti uranovog niza u zemljištu. Prošireno ubeđenje javnosti da je tokom bombardovanja i Vojvodina zagađena osiromašenim uranom čini sagledavanje stanja radioaktivnosti poljoprivrednog zemljišta veoma aktuelnim.

Rasprostranjenost urana i torijuma u Zemljinoj kori iznosi respektivno od 1.1 – 10 ppm [1] za uran i 10 ppm [2] za torijum što odgovara opsegu specifičnih aktivnosti od 13.5 – 123 Bq/kg za ^{238}U i 39.4 Bq/kg za ^{232}Th. Raspodela urana i torijuma u litosferi je difuzna, tj. ne postoje specifična ležišta ruda ovih radioaktivnih elemenata.

Veštački radionuklidi disperzijom dospevaju u zemljište koje kao moćan sorbens predstavlja trajni rezervoar iz kojeg se preko lanca ishrane radionuklidi ingestijom unose u ljudski organizam. Pri tome na intenzitet procesa sorpcije/desorpcije, migracije, retencije i translokacije utiču priroda radionuklida, tip zemljišta i kultura koja se na njemu uzgaja.

METODOLOGIJA MERENJA [3]

Uzorci zemljišta su sušeni na 105°C do konstantne mase i potom preneti u posude za merenje. Zbog urgentnosti ovih istraživanja nije bilo moguće uspostaviti ravnotežu radona u uzorcima. Za uspostavljanje ravnoteže potreban je vremenski period od najmanje 30 dana. Zbog primenjene metode izmerene koncentracije ^{226}Ra su umanjene za

oko 20%. Gama-spektrometrijska merenja su izvršena pomoću visokorezolucionog HPGe γ-spektrometra proizvođača ORTEC. Nominalna efikasnost detektora je veća od 36%, dok je moć razalganja manja od 1,9 keV-a. Detektor ima proširen energetski opseg merenja (tip: GMX) tako da može da registruje i niskoenergetsko γ- i x-zračenje. Metalne komponente detektora su izrađene od materijala testirane visoke radiočistoće. Detektor je bio smešten u specijalnu niskofonsku zaštitnu komoru sa gvozdenim zidovima debljine 25 cm. Komora je izrađena od gvožđa livenog pre II svetskog rata, tako da ne sadrži primese veštačke radioaktivnosti i snižava nivo zračenja za oko 1000 puta. Spektri su preko lanca predpojačavača i pojačavača tipa CANBERRA dovedeni u višekanalni analizator CANBERRA Ser. 35+ sa dva analogno-digitalna konvertora i ukupne memorije od 8192 kanala. Višekanalni analizator je direktno povezan sa PC računarom u kojem su obrađivani i storirani izmereni spektri. Za obradu spektara korišćena je modifikovana verzija programa MICRO-SAMPO koja osim identifikovanih γ-linija uvek iskazuje i njihove intenzitete i za više od 20 izabranih izotopa. Uzorci su mereni u cilindričnoj geometriji u mernim posudama prečnika ϕ=67 mm i visine od 62 mm. Efikasnost detekcije za ovu geometriju je određena pomoću tačkastih primarnih kalibracionih izvora AMESHAM, sekundarnih voluminoznih etalona proizvođala NBS i OHM, kao i kalibrisanog etalona fosfata. Konzistentnost kalibracionoh tehnika je proverena pomoću računarskog koda "SOLANG". Tipično vreme merenja uzoraka iznosilo je 80 ks. Greške rezultata merenja su iskazane sa nivoom poverenja od 95%, što znači da je verovatnoća da se pri ponovljenom merenju istog uzorka dobije rezultat izvan granica iskazane greške manja od 5%. Koncentracija aktivnosti fisionih i korozionih produkata (osim ^{137}Cs) su bili ispod granica detekcije, te su u priloženim rezultatima iskazani samo rezultati za ^{137}Cs, prirodne radioaktivne nizove ^{238}U i ^{232}Th i prirodni radionuklid ^{40}K.

Posebno razvijena merna tehnika u laboratoriji u Novom Sadu omogućava da se koncentracija aktivnosti ^{238}U odredi iz γ-linija prvog potomka ovog radionuklida iz linija ^{234}Th. Osim koncentracije aktivnosti ^{238}U određenog na ovaj način u tabelama su iskazane i koncentracije aktivnosti člana uranovog niza ^{226}Ra. Upoređenje ova dva izmerena podatka je veoma bitno za detekciju prisustva osiromašenog urana. Naime, u materijalima zagađenim osiromašenim uranom je ravnotežni odnos urana i radijuma bitno poremećen.

REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

Koncentracije svih proizvedenih radionuklida osim ^{137}Cs su ispod granice detekcije. Radionuklid ^{137}Cs je prisutan u svim uzorcima zemljišta. Ovaj radionuklid potiče iz havarije nuklearne elektrane Lenjin u Černobilu 1986.godine i nuklearnih eksplozija u vazduhu.

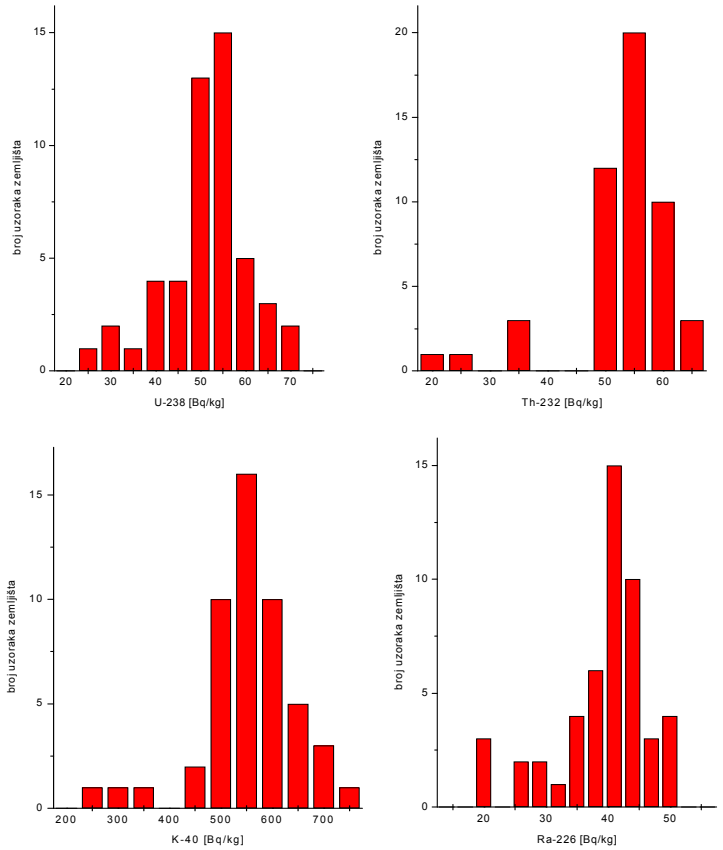
Tabela1.Aritmetičke srednje vrednosti, standardne devijacije,
minimalne i maksimalne koncentracije radionuklida za teritoriju Vojvodine

radionuklid	$\bar{A}_S$ [Bq/kg]	$\sigma\bar{A}_S$ [Bq/kg]	$A_{S(min)}$ [Bq/kg]	$A_{S(max)}$ [Bq/kg]	lokacija(min)	lokacija(max)
^{137}Cs	11.8	9.2	1.1	55.0	Horgoš	Bavanište
^{238}U	51.4	9.3	24.0	72.0	Palić	Obedska Bara
^{226}Ra	39.3	7.2	19.7	51.0	Horgoš	Višnjićevo
^{232}Th	53.2	8.3	22.0	64.0	Horgoš	Boka
^{40}K	554	92	238	730	Horgoš	Rusko Selo Vojvoda Stepa

Obzirom da je period poluraspada ovog radionuklida 30 godina procesima relokacija i ispiranja će se preraspoređivati, ali i biti prisutan još dugo vremena u ekosistemu Vojvodine.

Velika standardna devijacija i velika razlika između minimalne i maksimalne koncentracije aktivnosti ^{137}Cs pokazuju tipične osobine za zagađivač veštačkog porekla. Srednje vrednosti koncentracije radionuklida prikazane su u Tabeli 1 dok su na Slikama 1 i 2 prikazane raspodele koncentracija aktivnosti.

Kako je koncentracija ^{238}U u svim uzorcima na uobičajenom nivou i pošto se odnos $^{238}U/^{226}Ra$ ne menja bitno može se zaključiti da u izmerenim uzorcima nema indikacije za prisustvo osiromašenog urana. Koncentracije aktivnosti prirodnog radioaktivnog niza ^{232}Th kao i ^{40}K se u svim uzorcima kreću u uobičajenim granicama.

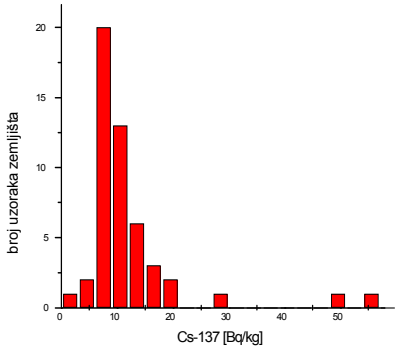


Slika1.Raspodela koncentracija aktivnosti ^{238}U, ^{226}Ra ^{232}Th i ^{40}K u 50 uzoraka zemljišta

Ako uporedimo dobijene rezultate sa dosadašnjim merenjima [4], [5], [6] i [7] uočavamo tendenciju opadanja koncentracija aktivnosti nakon 1988., dok su u regionu Vršca i Novog Sada vrednosti danas nešto više u odnosu na 1989.godinu (Tabela 2). Ova razlika može da potiče od različitih mikrolokacija uzorkovanja ranijih i ove godine. Očigledno je proces taloženja ^{137}Cs nakon akcidenta u Černobilu bio veoma nehomogen.

Tabela2.Merene koncentracije aktivnosti ^{137}Cs za regione Subotice, Vršca i Novog Sada

	koncentracija aktivnosti ^{137}Cs [Bq/kg]		
region	1988.[4]	1989.[4]	2001.
Subotica	9.0(12)	6.5(9)	4.7(25)
Vršac	44(6)	23(3)	31(13)
Novi Sad	8.7(14)	6.6(13)	8.2(7)



Slika2.Raspodela koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u 50 uzoraka zemljišta

LITERATURA

[1] О.С.Андреева, В.И.Бадьин, А.Н.Корнилов, *Природный и обогащенный уран,* Москва, Атомиздат, 1979.

[2] Таблицы физических величин, *Справочник под редакцией академика И.К.Кикоина,* Москва, Атомиздат,

[3] J.Slivka, I.Bikit, M.Vesković, Lj.Čonkić, *Gama spektrometrija*, *specijalne metode i primene*, Novi Sad, 2001.

[4] I.Bikit, J.Slivka, M.Vesković, Lj.Čonkić, M.Krmar, *Contamination of Soil and Food with Radionuclides from Chernobyl*, Post-Chernobyl Environmental Radioactivity Studies in East European Countries, Maria-Curie Sklodowska University, Lublin, Poland (1990) 34-37

[5] Manojlović S., Bikit I., Slivka J., Vesković M., Dozet D., Čonkić Lj., *The Radionuclide Content of Chernozem Type Soils,* Int.Symp."Radiation protection-selected topics", Dubrovnik (1989) 353-357

[6] I.Bikit, J.Slivka, M.Krmar, Lj.Čonkić, M.Vesković, Ž.Đurčić, N.Žikić, *Radioactivity of Soil Used for Vegetable Breeding Around Novi Sad,* Proceedings, 3rd International Symposium, Interdisciplinary Regional Research, Novi Sad (1998) 351-353

[7] I.Bikit, J.Slivka, M.Vesković, L.Marinkov, Lj.Čonkić, M.Terzić, Ž.Škrbić, *^{137}Cs and ^{134}Cs Activity Concentrations in the Environment of Vojvodina after the Chernobyl Accident,* Zbornik radova JDZZ u Kragujevcu (1986) 34-40

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF SOIL FROM VOJVODINA

S. Ćurčić, I. Bikit, J. Slivka, M. Krmar, M. Vesković, Lj. Čonkić
Institute of Physics, Faculty of Sciences, Novi Sad

After the bombardment and outspread conviction that Vojvodina is contaminated by depleted uranium, systematic analysis of radioactivity of soil is necessary. According to the results of gamma-spectrometry analysis 50 samples of soil from Vojvodina, it can be concluded that this region is not contaminated by radionuclides. Measured activity concentrations of ^{137}Cs, accomplish to transfer factors of this isotope to vegetables, could not disturb the safety of agricultural production of food.

ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA IZLOŽENOSTI STANOVNIŠTVA RADONU

Z. S. Žunić, M. Kovačević, D. Alavantić, M. B. Spasić[1]
Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd
[1]Institut za biološka istraživanja, Beograd

SADRŽAJ

U radu se analiziraju naucne osnove za sprovodjenja Nacionalnog Programa za Radon u Jugoslaviji.

ANALIZA

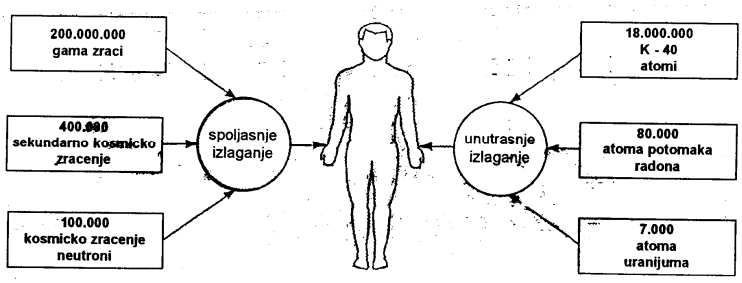
Najraniji oblici života na našoj planeti bili su izloženi dejstvu različitih vrsta zračenja, koje je poticalo od Sunca, iz kosmosa i iz tla [1]. Slični uslovi su vladali u toku čitave evolucije žive materije, pa takvi uslovi "potopljenosti" u jonizujuća zračenja iz prirode postoje i sada [2]. Izvori zračenja, radionuklidi, zapravo su pojedina radioaktivna jezgra u sastavu određenog hemijskog elementa, pored stabilnih, neradioaktivnih izotopa.

Osnovni nivoi zračenja iz prirode, uzrokovani prisutnim radionuklidima u lito, hidro i atmosferi, potiču iz zemljine kore (radionuklidi u tlu), vasione (kosmičko zračenje) i iz samih živih organizama u kojima je u najvećoj meri prisutan kalijum (^{40}K). Zbog toga se u životnoj sredini nalaze jonizujuća zračenja različitog porekla i osobina. Prema preporukama Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP) zračenje je definisano kao prenos energije kroz prostor [4]. Ukoliko se ovaj prenos energije, dovoljan da jonizuje okolnu materijalnu sredinu, vrši subatomskim česticama i elektromagnetskim putem, radi se o jonizujućim zračenjima. Premda su jonizujuća zračenja oduvek prisutna u životnoj sredini, tek u prošlom veku nakon otkrića radioaktivnosti i prirodnih radioaktivnih elemenata polonijuma i radijuma [5], čovek je postao svestan njihovog prisustva i dejstva.

Radioaktivni raspad prvi su objasnili Bor i Viler 1939 godine [3]. Radioaktivnost je osobina nekih nestabilnih jezgara da se spontano raspadaju u jezgra drugih elemenata emitujući zračenje. Radioaktivni raspad je veoma složen proces i predstavlja stanje pobuđenosti (ekscitacije) jezgra atoma praćeno emitovanjem određenih čestica odnosno zračenja, koja se međusobno razlikuju po svojoj fizičkoj prirodi i dejstvima. Posle radioaktivnog raspada jezgro određenog nuklida prelazi u nov nuklid koji takođe može biti radioaktivan. Kod elemenata sa najvećim rednim brojevima nastaju transmutacioni nizovi koji sadrže od početnog do završnog nuklida, a veći broj članova. Transmutacije u nizu završavaju se sa stabilnim izotopom.

Iako se usložnjavanjem primene izvora jonizujućih zračenja, istovremeno povećavao i stepen ukupne izloženosti, izvori jonizujućih zračenja iz prirode i dalje ostaju najznačajniji činilac u izloženosti populacije zračenju [6]. Neki od radionuklida iz prirode ozračuju čoveka doživotno, što je slučaj sa ozračivanjem od radionuklida ^{40}K, čija je prisutnost u organizmu čoveka homeostatski regulisana. Drugi primer su homogeno raspoređeni kosmogeni radionuklidi koji svoj doprinos ukupnoj dozi daju kroz osnovne puteve njihovog unošenja, udisanjem i ishranom. Najveće razlike u primljenoj dozi jonizujućih zračenja potiču od primordijalnih radionuklida, deponovanih u zemljištu, od kojih su najvažniji potomci serija uranijuma (^{238}U) i (^{232}Th), i u manjoj meri kalijuma (^{40}K) i rubidijuma (^{87}Rb). Radioaktivnim raspadom uranijuma i torijuma [7] nastaju različiti izotopi radona; najstabilniji i najrasprostranjeniji je izotop ^{222}Rn radon, koji nastaje raspadom ^{238}U, odnosno neposredno raspadom ^{226}Ra, sa vremenom poluraspada od 3.824 dana, i može značajno uticati na povišenu radioaktivnost vazduha, vode i zemljišta. Obilnost drugog radionuklida ^{220}Rn (torona) je četiri puta veća, ali kako vreme poluraspada iznosi 54 s, njegovo prisustvo u vazduhu je u manjoj koncentraciji. Treći radioniklid, aktinijum, ^{219}Rn, ima vreme poluraspada 4 s, vrlo ga malo ima u zemlji, pa se njegov uticaj na radioaktivnost vazduha može zanemariti. Raspadom jezgra radona (^{222}Rn) nastaju kratkoživeći alfa i beta radonovi potomci polonijuma (^{218}Po , ^{214}Po) i bizmut (^{214}Bi) kao i dugoživeći polonijum (^{210}Po) i olovo (^{210}Pb). Poznavanje raspodele potomaka radona u atmosferi je značajno, jer je njihov doprinos radijacionom zdravstvenom riziku znatno veći od samog radona [8]. Životna sredina kao deo prirodnih geohemijskih sredina, obuhvata granične prostore geosfere: stene, rude, zemljište, vodu, vazduh i vegetaciju kroz koju se odvijaju i rasprostiru ciklusi geohemijskih elemenata. Ovim geohemijskim procesima se, u zavisnosti od svojih geohemijskih osobenosti, rasejavaju ili koncentrišu i radionuklidi u različite delove životne sredine. Nivo osnovnog zračenja iz prirode određen je vrstom i koncentracijom radionuklida, karakterističnim geohemijskim procesima u datoj sredini i nadmorskom visinom odgovarajućeg područja [9]. Koncentrisanje radionuklida u zemlji dovodi do nastajanja zona sa anomalnim karakteristikama. Stanovništvo naseljeno u ovakvim područjima je izloženo povišenim nivoima zračenja i zato podleže radijacionom riziku. Procenjeno je da oko 85% ukupne doze zračenja koju prima svetska populacija, potiče od radionuklida iz prirode i to: od kosmičkog zračenja 13%, od gama zračenja radionuklida iz tla 15%, internih prirodnih emitera 13%, a od radona i torona oko 45% [10]. Osnova prema kojoj se utvrđuje nivo izloženosti stanovništva definisana je prosečnom godišnjom efektivnom dozom iz svih radijacionih izvora, i procenjena je na 2.2 mSv po stanovniku [11]. Poređenje sa drugim komponentama zračenja iz prirode, pokazuje da 85 % ove efektivne ekvivalentne doze potiče od inhalacije radona i torona i njihovih potomaka. Istovremeno, koncentracija radona se menja tokom dana, meseca, godišnjih doba i geoloških aktivnosti, te radon predstavlja jedan od najvarijabilnijih faktora koji utiču na ovu dozu. I pored toga u neakcidentalnim uslovima, radon daje najveći pojedinačni doprinos godišnjoj efektivnoj ekvivalentnoj dozi koju prima stanovništvo od jonizujućih zračenja iz prirode. Procenjeno je da izloženost radonu, toronu i njihovim potomcima iznosi 1.3 mSv u toku godine [6]. Da bi se preciznije ilustrovala izloženost komponentama jonizujućih zračenja iz prirode na slici 1 prikazana je izloženost čoveka u njegovom prirodnom, tj. normalnom radijacionom okruženju [12].

Uočava se da je telo prosečnog čoveka svakog sata izloženo spoljašnjem zračenju od oko 500,000 čestica kosmičkog porekla i 200,000,000 gama kvanta, emitovanih od strane radionuklida iz prirode koji se nalaze u kori zemlje. Unutrašnje izlaganje tkiva od oko 18,000,000 raspada ^{40}K, beta i gama zracima, i pluća od nekoliko desetina hiljada dezintegracija produkata raspada radona, odigrava se svakog sata [12].



Slika 1. Izloženost čoveka jonizujućim zračenjima iz prirode u normalnom okruženju u toku godine dana iznosi 2.2 mSv [12]

Radon je jedan od retkih elemenata za koga je dokazano na ljudskoj populaciji da izaziva rak pluća, pa je zbog toga 1996 godine, prema Svetskoj zdravstvenoj organiaciji (World Health Organization, WHO) radon razvrstan u klasu kancerogenih agenasa 1A [13, 14]. U ukupnoj godišnjoj efektivnoj dozi zračenja koju stanovništvo prima, učešće radona je posebno značajno u zonama sa povišenim nivoom radona i drugih jonizujućih zračenja iz prirode [14]. Zato kada se razmatra kvalitet vazduha koji se udiše u zatvorenim prostorijama, radon je pored azbesta, duvanskog dima i staklenih vlakana, četvrti agens koji se kroz zakonske propise i akta obavezno ispituje u zemljama Evropske Unije [15].

Problem delovanja izvora jonizujućih zračenja iz prirode na stanovništvo je ipak mnogo složeniji, i spada u naučnu oblast interakcije visokoenergetskog zračenja sa živom materijom i biološkog dejstva zračenja. Biološko dejstvo zračenja potiče od njihovog dejstva na najverovatnije molekule-mete i to molekule dezoksiribonukleinske kiseline (DNK) i molekule ćelijske membrane. Budući da su molekuli DNK veliki, oni predstavljaju metu velikog efikasnog preseka za interakciju sa zračenjem [16]. Stoga neka količina apsorbovane energije zračenja (doza), koja izaziva hemijski učinak, koji se najčešće ne može izmeriti današnjim analitičkim metodama, može dovesti do dramatičnog biološkog učinka tj. da neki molekul DNK pretrpi nekoliko nepopravljivih oštećenja, čime dejstvo zračenja postaje razorno za dati organizam. Model biomembranske strukture [17, 18, 19] zasniva se na hipotezi fluidniog mozaika [18, 19, 20] koja tumači da se membrana sastoji od globularnih proteina (strukturalnih I enzimskih) utisnutih u fosofolipdni sloj. Amfipatski lipidi, svojom organizacijom u mebrani, omogućavaju maksimalnu interakciju izmedju pojedinih molekula. Ovakva organizacija pogoduje grananju slobodno radikalskih procesa [20, 21, 22]. Ali letalne doze zračenja za različite organizme se razlikuju u okviru širokih granica, za nekoliko redova veličine tako da svaka biološka vrsta poseduje svoju sopstvenu osetljivost na dejstvo jonizujućih zračenja, tj. svoju karakterističnu radioosetljivost odnosno radiorezistenciju [17]. Stepen radioosetljivosti takođe uveliko varira u okviru pojedinačne vrste, kao i između jedinki u okviru date vrste, kada govorimo o individualnoj radioosetljivosti. Problem radioosetljivosti zauzima centralno mesto u radiobiologiji koja po svojoj naučnoj filozofiji obuhvata ciljnu vrednost predmeta istraživanja ovog rada, u kojoj je prva faza upravo istraživanje izloženosti stanovništva radonu i pratećim komponentama jonizujućih zračenja iz prirode.

Radioosetljivost se može shvatiti kao primer neprekidnih odgovora biološkog sistema na dejstvo različitih vrsta zračenja. Zato je sasvim logično da se radioosetljivost karakteriše pomoću bilo kog odgovora koji se može registrovati. Međutim, mnogi odgovori na ozračivanje su striktno specifični, počevši od mikroogranizama preko složenijih

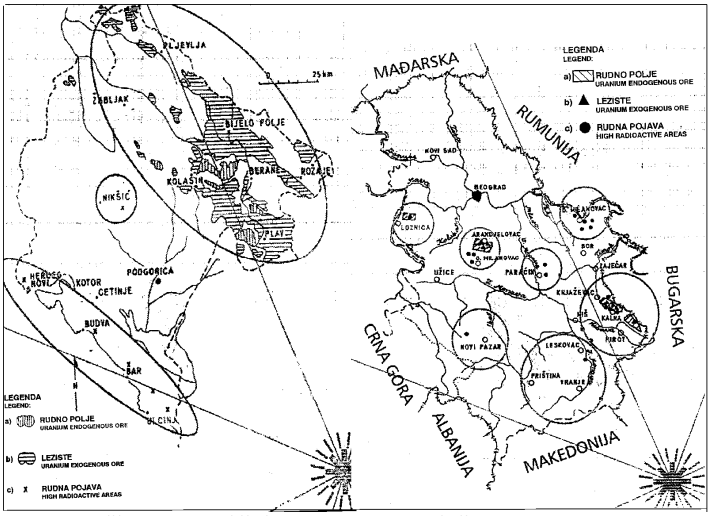
biosistema i pojedinih tkiva, ili organskih sistema. Specifičnost odgovora, na primer, može se ilustrovati ponašanjem ćelije na ozračivanje odlaganjem ćelijske deobe, koja se naročito uočava u aktivno proliferirajućem tkivu, koje se brzo deli i umnožava, dok se isti fenomen slabo primećuje u tkivima koja se jako sporo dele, kao što je, na primer, nervno tkivo. Na osnovu izloženog proizilazi da je od izuzetnog značaja za verodostojnost poređenja stepena radioosetljivosti uspostavljanje kriterijuma u primeni odgovarajućih metoda. S druge strane, saznanja o radioosetljivosti i mehanizmima koji je regulišu, nisu samo od teorijskog značaja, sa opšte biološkog stanovišta, već omogućavaju važne i izuzetno svrsishodne praktične rezultate, kao što su mogućnost korišćenja i kontrolisane upotrebe radijacionih izvora u dinamici adaptivnog odgovora organizma na dozu i to ne samo u slučaju akcidenta, već naročito u radioterapiji ili za inaktivaciju mikroorganizama u radijacionoj sterilizaciji [17]. Važeća hipoteza [18], na osnovu koje je rizik linearno proporcionalan efektu bez praga doze, znači da vrlo male primljene doze mogu uzrokovati štetne efekte, odnosno, da ne postoji "prag doze" ispod kojeg ona ne izaziva ili ne bi mogla izazvati bilo kakav štetni uticaj. Iz svega proizilazi da jonizujuća zračenja mogu da budu štetna, a to znači da i doprinos ukupne doze od zračenja iz prirode koji svetska populacija neprekidno prima, učestvuje u ukupnoj kancerogenezi. Uticaj zračenja iz prirode na zdravlje, mutagenezu i kancerogenezu nije još uvek kvantifikovan i spada u problematiku biološkog dejstva niskih doza zračenja. Sa druge strane, u oblasti niskih doza zračenja pojavljuju se fenomeni kao što je hormesis-efekat (stumulišuće delovanje zračenja) [19, 20], koji uvodi hipotezu negativnog rizika i koji su na molekulsko-fiziološkom nivou vezani za adaptivni odgovor organizma. Sva ova razmatranja daju novu dimenziju zaštiti od zračenja – problem uloge i zaštite od izvora zračenja iz prirode, koji je u osnovi čitave strategije zaštite od zračenja i radijacione fiziologije, odnosno preventivne i kurativne medicine.

Dobijanje podataka o izvorima zračenja i doprinosu ukupnoj dozi koju prosečni stanovnik u nekoj zemlji prima, omogućava se kroz istraživanja u nacionalnom programu za radon. Od 1980-tih godina, u oblasti zaštite od zračenja i opšteg zdravlja stanovništva, u zemljama zapadne i centralne Evrope, Severne Amerike i Japana, kroz nacionalne programe za radon, ostvaruju se sistematska istraživanja izloženosti radioaktivnom gasu radonu i njegovim radioaktivnim potomcima i toronu. [21, 22, 23, 24, 25, 26]. U okviru ovih istraživanja, pored nacionalnih programa, postoje i brojni istraživački projekti koje podržava i finansira Evropska Unija [27]. Ovi programi obuhvataju epidemiološke studije, dozimetriju pluća, preventivne mere i tehnologije za smanjivanje koncentracije radona, ispitivanje izloženosti stanovništva i razvoj metoda za retrospektivno merenje izloženosti radonu u zatvorenim prostorijama. Pojedini programi procenjuju radijacioni rizik koji se definiše kao verovatnoća da ozračeni subjekt pretrpi posledicu slučajnog dejstva zračenja.

Najnovija saznanja o efektima zračenja i pridruženim rizicima, unapređuju osnovni pristup zaštite od zračenja, kroz uvođenje preciznijih i zato realnijih normi za izloženost zračenju, ne samo za osobe koje profesionalno rade sa izvorima jonizujućih zračenja, već pre svega za izloženost stanovništva izvorima jonizujućih zračenja iz prirode. Godišnja prosečna doza koju stanovništvo prima veća je od do sada prihvaćene vrednosti za faktor blizu dva [28], prevashodno zato što se u novu procenu uračunava i doza od radona i torona u vazduhu. Kroz Nacionalne programe za radon u većini zemalja Evrope određene su dozvoljene koncentracije radona u zatvorenim prostorijama tako da preporučene koncentracije tj. "akcioni nivoi" za nove zgrade iznose 200 Bq/m^3 vazduha, a za stare 400 do 600 Bq/m^3 [29, 30].

U Srbiji postoje ležišta uranijuma, radioaktivne anomalije uranijuma i torijuma i rudne pojave uranijuma (slika 3.) [31]. U Crnoj Gori takođe postoje područja za istraživanje uranijuma (slika 3 [32]. Budući da je radon član niza raspada uranijuma, u Jugoslaviji

postoje realni uslovi [33] za povišenu izloženost stanovništva radonu u zatvorenim prostorijama, te otuda i osnova za pokretanje Nacionalnog programa zaštite stanovništva od radona.



Slika 2. Mape Srbije i Crne Gore sa prospekcijom urana [31, 32]

LITERATURA

[1] The Chemical Action of Ultraviolet Rays (1941) Carleton Ellias and Alfred A. Wells, Ed. Francis F. Heyroth, Reinhold Publishing Corporation, 629-693.

[2] Z. Jaworowski, (1997): "Ionizing radiation when life begun" 21st Century Science and Technology, 10 (1), 4.

[3] 3. Bohr, N., and Wheeler, J. (1939): The Mechanism of Nuclear Fission Phys.Rev., vol 56, 426-450

[4] ICRP 60 (1991), 1990 Recommendation of the International Commission on Radiological Protection , Pergamon Press, 1991

[5] S. T. Jokić., (1998): *Otkriće radioaktivnosti i hemijskih elemanata polonijuma i radijuma*, Flogiston, Vol 4, No. 8, 7-32.

[6] UNSCEAR (United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation) (1993): "Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, United Nations ed., New York, E.94.IX.2., United Nations, New York.

[7] Radon In Indoor Air., (1995), Report No 15, EUR 16 123 en, 45.

[8] NCRP (U. S. National Council on Radiation Protection and Measurement) (1988), Measurements of radon and radon daughters in air, NCRP Report No 97, ISBN 0-913392-97, Bethesda.

[9] Dangić, A., (1992): The Environmental Geochemistry and Health: Impact of ore deposit and ore usage. A. Dangic, ed., Investing, Mineral Raw, Materials and Environmental Protection, Agile 92, 19-23, SIT RGM, Belgrade.

[10] J. P. Mc Laughlin, (1998): Risk Assessment and Management of Natural Radiation Exposures, Vinca Bulletin,Vol. 3., Suppl. 1, 607-614.

[11] UNSCEAR (United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation), (Vienna, 13 January 2000),A/AC.82/R.603).

[12] Steinhausler, F., (1991): "Review of the latest findings of populations exposed to high background natural radioactivity". In: Proc. 2nd Workshop (1991): Radon monitoring in Radioprotection, Environmental Radioactivity and Earth Sciences, ICTP, Trieste, Italy, 1993, World Scientific, ISBN 98 1 02 12267, 44-54.

[13] IARC (International Agency for Research on Cancer) (1988), "Monographs on the evalution of carcinogenic risks to humans. man-made mineral fibres and radon", Volume 43, IARC, Lyon..

[14] WHO (World Health Organization) (1996), Indoor Air Quality: A Risk –Based Approach to Health Criteria For Radon Indoors (Report on a WHO Working Group Rapporteur Dr J. P. Mc Laughlin) WHO Report EUR/ICP/CEH 108 (A), Copenhagen, Denmark.
[15] WHO (World Health Organization) (1996), Updating 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.
[16] Brunjolfsson, Alice Kaprielian: Matematički Model za Inaktivaciju Mikroorganizama Zračenjem. International Symposium of Food Preservation by Irradiation , 21-25 /Nov?1977, Wageningen, Netherlands, 361-372.
[17] J. F. Ward, (1981): Molecular Mechanisms of Radiation – Induced Damage To Nucleic Acids, Adv. Radiat. Biol. 5, 221-231.
[18] L. S. Taylor, (1980): Some non-scientific influences on radiation protection standards and practice. 5th International Congress of the International Radiation Protection Association, The Israel Health Physics Society, Jerusalem, 307-319
[19] F. Atkinson, (1898): Report upon some preliminary experiments with Roentgen rays in plants, Science, 7.
[20] Roger Clarke, (1999): Control of low-level radiation exposure: time for a change?: J. Radiol. Prot., Vol. 19, No 2, 107-115.
[21] Campos Venuti, G., A. Janssens, M. Olast et al. (eds), (1994): Indoor Radon Remedial Action. The Scientific Basis and the Practical Implications. Proceedings of the First International Workshop Rimini, Italy, 1993. Radiat. Prot. Dosim. 56 (1/4): (1994)
[22] European Commission (1997) European Conference on Protection Against Radon at Home and At Work, Part II, Prague, Czech Republic, 2-6 June, 1997.
[23] Hopke, P. K. and A. A. Moghissi, (eds) (1996): The Natural Radiation Environment VI. Proceedings of the Sixth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Montreal, Canada. Environ.Int. 22, (Suppl. 1): S1-S1153, .(1996).
[24] Janssens, A., W. Lander, M. Olast et al. (eds). (1992): The Natural Radiation Environment. Proceedings of the Fifth International Radiation Environment, Salzburg 1991, Radiat. Prot. Dosim. 45 (1/4), (Suppl., 1992).
[25] Simopoulos, S. E. and Scyvier, (2000): Radon In the Living Environemnt Workshop, Proceedings, Athens Greece, April 1999. Sci. Total. Environ. (2000, biće publikovano)
[26] Katase ,A. and S. Michikuni (eds) (1998): Radon and Thoron In the Human Environment, In: Proceedings of the 7th Tohwa University International Symposium. World Scientific . Publishing Co, 1998, Tokyo, Japan
[27] European Commission (1997). Review of CEC. Radon Research EUR – 17628.
[28] Srpko Marković, (1993): *Smanjenje ozračenosti stanovništva u Rendgen dijagnostici*, Magistarski rad, Elektrotehnički Fakultet, Univerzitet u Beogradu, 5-8.
[29] ICRP (International Comission On Radiological Protection) (1984): Principles for limiting exposures of the public to natural sources of radiation, ICRP Publication 39, Annals of the ICRP 14 (1), Pergamon Press, Oxford.
[30] ICRP (International Comission on Radiological Protection) (1993): Protection against radon-222 at home and at work., ICRP Publication 65, Annals of the ICRP 23 (2), Pergamon Press, Oxford..
[31] Janković, S. (1990): *Rudna ležista Srbije*, Rudarsko Geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
[32] Janković, S. (1965): *Ležista urana u Jugoslaviji*, Tehnika 5, 877-884.
[33] Antonović, A., (1978*)*: *Ležista urana i torijuma u svetu s osvrtom na odgovarajuće tipove u Jugoslaviji*. Radovi Geoinstiotuta, Sveska 12, Beograd, 153-190.

ABSTRACT

ON A SIGNIFICANCE OF INDOOR RADON POPULATION EXPOSURE ASSESSMENT

Z. S. Žunic, M. Kovacevic, D. Alavantic, M. B. Spasic[1]
Institute of Nuclear Sciences«Vinca«, Belgrade, Yugoslavia
[1]Institute For Biological Research, Belgrade, Yugoslavia

The paper deals with the scientific arguments being essential for National Indoor Air Policy Programme to be conducted in Yugoslavia.

MJERENJA RADONA U PODGORICI 1999. I 2000. GODINE

R. Zekić, T. Anđelić, R. Žižić, P. Vukotić[1]
Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore, Podgorica
[1]Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Poidgorica

SADRŽAJ

Koncentracija radona u zatvorenom prostoru je mjerena kvartalno tokom 1999. u 33 i 2000. godine u 34 stambena i radna prostora u Podgorici. Mjerenja, svako u trajanju od 24 časa, izvršena su monitorom radona AlphaGUARD, baziranim na impulsnoj jonizacionoj komori. U četiri stambena objekta srednja godišnja koncentracija radona prekoračila je interventni nivo. Zabrinjavajuće je da je prekoračenje zabilježeno i u dva dječija vrtića i tri škole, od ukupno 15 analiziranih školskih objekata.

UVOD

U Evropskim zemljama se vrijednost medijane koncentracija radona u zatvorenim prostorima kreće u opsegu (20-120) Bq/m^3 [1]. Neki rezultati mjerenja radona su na nivou od nekoliko stotina, rijetko nekoliko hiljada Bq/m^3. Obično je koncentracija radona u individualnim stambenim zgradama veća nego u zajedničkim višespratnim zgradama. Glavni izvori radona u zgradama su tlo pod zgradom i građevinski materijal.

Jugoslavija je prihvatila preporuke Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja [2] i usvojila interventni nivo za hronično izlaganje radonu od 200 Bq/m^3 za novogradnju, 400 Bq/m^3 za postojeće stambene objekte i 1000 Bq/m^3 za radne prostorije.

Koncentracija radona u zatvorenim prostorima u Podgorici mjerena je ranije samo jednom, 1994/95. godine, integralnom metodom sa detektorima α-tragova [3]. Mjerenja su tada rađena u 110 stanova u prizemlju i dobijene su vrijednosti u opsegu (8-906) Bq/m^3, koje pripadaju log-normalnoj raspodjeli sa geometrijskom srednjom vrijednošću 43.6 Bq/m^3. Vrijednost medijane bila je 52.8 Bq/m^3. Koncentracije veće od 400 Bq/m^3 su nađene na samo dva mjerna mjesta. Najveće srednje vrijednosti radona su bile u individualnim stambenim zgradama od opeke (medijana 89 Bq/m^3), a najmanje u višespratnim zgradama izgrađenim od betona i opeke (medijana 33.2 Bq/m^3).

Područje Podgorice izgrađeno je od krečnjaka gornjokredne starosti. Preko njih leže glaciofluvijalni terasni sedimenti u vidu šljunkova i slabije vezanih konglomerata sa proslojcima i sočivima pijeska. Debljina im je do 30 m. Smeđe zemljište čini površinski dio terena. U regionu Podgorice, na osnovu geoloških podataka, pretpostavlja se da postoje dva regionalna i mnoštvo lokalnih geoloških rasjeda, međusobno povezanih.

U uzorcima gornjokrednih krečnjaka Crne Gore nađene su koncentracije urana 1.2 μg/g i vrlo niske koncentracije torijuma 0.06 μg/g [4]. U zemljištu Podgorice je sadržaj urana do 5 μg/g i srednji sadržaj torijuma 11 μg/g [5].

Na širem području grada urađeno je 1994. godine 67 mjerenja radona u zemljištu, na dubini (60-80) cm [6]. Medijana koncentracija radona je bila 34.2 kBq/m^3, a opseg izmjerenih vrijednosti (6-86) kBq/m^3.

Centar za ekotoksikološka ispitivanja Crne Gore započeo je prošle godine program redovnog praćenja radona u zatvorenim stambenim i radnim prostorima u Podgorici. Rezultati tih mjerenja su prikazani u ovom radu.

METODA MJERENJA

Koncentracije radona u vazduhu zatvorenog prostora su mjerene prenosnim sistemom AlphaGUARD PQ 2000 PRO. Detektor radona AlphaGUARD je baziran na impulsnoj jonizacionoj komori. U jonizacionu komoru, aktivne zapremine 0.56 litara, vazduh prodire difuzijom kroz filter koji sprečava prolaz potomaka raspada radona i čestica prašine. Osnovni podaci o monitoru radona su:

- osjetljivost detektora je 1 imp/min na 20 Bq/m^3,
- fon od interne kontaminacije detektora je < 1 Bq/m^3,
- opseg koncentracija radona (^{222}Rn) je (2-2·10^6) Bq/m^3,
- greška linearnosti sistema je manja od 3 % u čitavom opsegu,
- kalibraciona greška instrumenta za ^{222}Rn je 3 %.

Na svakom mjernom mjestu radon je mjeren kvartalno (I kvartal: januar-mart, II: april-jun, III: jul-septembar, IV: oktobar-decembar). Svako mjerenje je u trajanju od 24 sata, u prostorijama koje su zatvorene najmanje 12 sati prije mjerenja i tokom samog mjerenja. Monitor je postavljan 1m iznad poda i najmanje 1m udaljen od najbližeg zida.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati mjerenja radona prikazani su u tabelama 1. i 2., u vidu koncentracija ^{222}Rn u vazduhu prostorija u Bq/m^3. Statističke greške mjerenja nijesu prikazane, a one su obično na nivou do 10%.

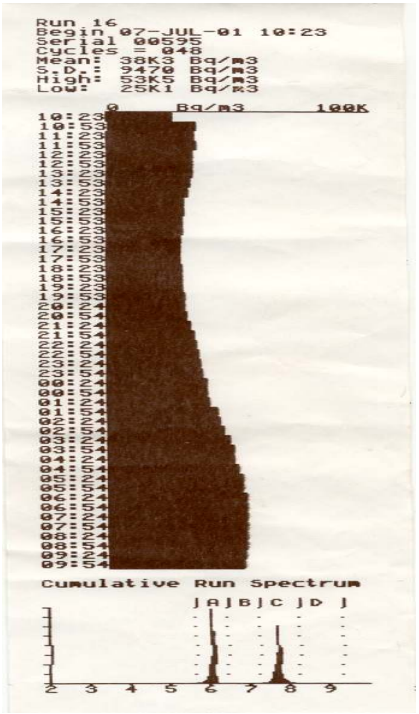
Kao što se vidi iz Tabele 1. za 1999. godinu, od pet mjerenih dječijih vrtića u jednom je nađeno prekoračenje interventnog nivoa, a od pet škola u dvije. Samo u jednom stanu srednja koncentracija radona bila je iznad interventnog nivoa. Ona iznosi 1128 Bq/m^3 i najveća je od svih srednjih vrijednosti izmjerenih u toj i narednoj godini. To je stan u individualnoj stambenoj zgradi i pretpostavljamo da je visoki nivo radona uslovljen slabim kvalitetom podne ploče u toj kući.

Tabela 2. za 2000. godinu kazuje da je od četiri mjerenjem obuhvaćena dječija vrtića u dva nađeno prekoračenje interventnog nivoa. Treba reći da je jedan od ta dva vrtića mjeren i 1999. godine i da je i tada u njemu nađena srednja vrijednost koncentracija radona iznad dozvoljene. U tri stana je takođe nađeno prekoračenje.

Izraženo u procentima, tokom navedene dvije godine, prekoračenje interventnog nivoa radona na godišnjem prosjeku koncentracija je nađeno u 13.5 % slučajeva.

Kao poseban kuriozitet navodimo jedno nedavno mjerenje radona, iz jula 2001. godine, u individualnoj stambenoj zgradi. Mjerenje je rađeno monitorom radona RAD7 (sa

planarnim jon-implantiranim silikonskim α-detektorom), u prostoriji u suterenu, u kojoj se na podu nalazi slivnik za drenažu u slučaju poplave u kući. Svi prozori i vrata na kući su od eloksirane bravarije, koja gotovo hermetizuje unutrašnji prostor, a stanari imaju naviku da ih praktično ne otvaraju ni zimi ni ljeti. Koncentracija koja je izmjerena u 24-satnom mjerenju je bila (38.30 ± 9.47) kBq/m^3, upravo na nivou medijane zimskih koncentracija radona u tlu Podgorice na dubini od 70 cm! Greška mjerenja je data sa 95% vjerovarnoće. U cilju provjere, urađeno je još nekoliko mjerenja i ona su potvrdila ovaj rezultat. Na Slici 1. je dat grafik vremenske promjene koncentracije radona tokom 24 sata, sa kojeg se lijepo vide uobičajene dnevne varijacije koncentracije radona - maksimum od 53.5 kBq/m^3 u ranim jutarnjim časovima i minimum od 25.1 kBq/m^3 u predvečerje. Iz spektra vidimo prisustvo novog radona (pik ^{218}Po na energiji 6.00 MeV) i starog radona (pik ^{214}Po na 7.69 MeV). Po veličini pika na 6.00 MeV vidi se da postoji veliki dotok novog radona u prostoriju.



Slika 1. Grafički prikaz mjerenja radona u suterenu privatne kuće.

ZAKLJUČCI

Ekspresna metoda mjerenja radona, ako se u istoj prostoriji radi kvartalno tokom godine, daje dovoljno reprezentativnu srednju godišnju koncentraciju radona za procjenu potrebe preduzimanja mjera njenog smanjivanja u cilju zaštite zdravlja korisnika tog prostora. I naša mjerenja potvrđuju činjenicu da su najveće koncentracije radona u zgradama tokom zimskog perioda, zbog potreba što ekonomičnijeg grijanja. Da savremena fobija hermetizacije boravišnog prostora može proizvesti veliku opasnost po zdravlje ljudi zbog porasta koncentracije radona u takvom prostoru, dokazuje ekskluzivni primjer nivoa radona od 38 kBq/m^3 u vazduhu suterenske prostorije u Podgorici.

Činjenica da je prekoračenje interventnog nivoa za hronično izlaganje radonu nađeno u 33 % ispitivanih vrtića i škola u Podgorici, u kojima boravi najmlađa populacija koja je i najosjetljivija na radijaciju, nalaže potrebu brze, adekvatne akcije.

LITERATURA

[1] "Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation", The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), New York, 1988.

[2] "Protection Against Radon-222 at Home and at Work", The International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 65, 1994.
[3] P.Vukotić, S.Dapčević, N.Saveljić, V.V.Uvarov, V.M.Kulakov, *Radiation Measurements*, 28 (1997), 755-758.
[4] Boreli F., Dragović D., Vukotić P., Vukčević L., Marđokić A.: Ispitivanje radioaktivnih i rijetkih elemenata u rudama i stijenama Crne Gore. Završni izvještaj o radu na istraživačkom projektu, SIZ za naučne djelatnosti Crne Gore, (1983) st.71.
[5] Pirc S., Svrkota R., Pajović M.: Regionalna geohemijska istraživanja karbonatnih stijena u Jugoslaviji. Izvještaj za 1990/91 g., (1991) st. 150 (nepublikovani materijal).
[6] Vukotić P., Dapčević S., Saveljić N., Uvarov V.V., Kulakov V.M., Antović N.,Pajović M., Svrkota R., Mirković M., *Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Glasnik odjeljenja prirodnih nauka*, 11(1997),211-226.

ABSTRACT

THE RADON MEASUREMENTS IN PODGORICA
DURING THE YEAR 1999 AND 2000

R. Zekić, T. Anđelić, R. Žižić, P. Vukotić[1]
Center for Ecotoxicological Research of Montenegro, Podgorica
[1]Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

Indor radon contentrations are measured quartely during the year 1999 in 33, and 2000 in 34 dwellings and workplaces in the town of Podgorica.The measurements, each one lasting for 24 hours, are performed by radon monitor "AlphaGUARD", based on pulsed ionization chamber. From 15 schools and kindergardens analysed, annualy averaged radon concentration exceeding the intervention level are found in 5 of them, what is the fact to worry about. Also, four dwellings are found to have radon concertrations that exceed the intervention level.

Tabela 1. Koncentracije radona u zatvorenim boravišnim prostorima u Podgorici u 1999. godini

Br	Objekat	Prostorija	Sprat	I kvartal (Bq/m^3)	II kvartal (Bq/m^3)	III kvartal (Bq/m^3)	IV kvartal (Bq/m^3)	Srednja vrij. (Bq/m^3)
	V R T I Ć I							
1	Vrtić "Osmijeh"	Ucionica	Prizemlje	29	16	57	180	70
2	Vrtić "Ljubica Popović"	Ucionica	Prizemlje	78	84	62	107	83
3	Vrtić "Đina Vrbica"	Ucionica	Prizemlje	222	49	23	115	102
4	Vrtić "Poletarac"	Ucionica	Prizemlje	294	215	68	1434	503
5	Vrtić "Bubamara"	Ucionica	Prizemlje	21	226	42	546	209
	Š K O L E							
1	OŠ "Vuk Karadžić"	Ucionica	Prizemlje	543	249	83	318	298
2	OŠ "Štampar Makarije"	Ucionica	Prizemlje	1171	1100	238	434	736
3	MTŠ "Ivan Uskoković"	Ucionica	Prizemlje	65	23	18	116	55
4	Gimnazija "S. Škerović"	Ucionica	Prizemlje	270	301	40	134	186
5	SŠC "Sergej Stanić"	Ucionica	Prizemlje	796	242	482	944	616
	S T A N O V I							
1	Zajedn. zgrada, Beogradska 7	Radna soba	Prizemlje	88	20	32	29	42
2	Zajedn. zgrada, Jola Piletića 19	Dnevna soba	Prvi sprat	112	13	17	17	40
3	Zajedn. zgrada, Balšića 36	Dnevna soba	Prizemlje	104	26	21	31	45
4	Zajedn. zgrada, Beogradska 5	Dnevna soba	Prvi sprat	25	27	39	76	42
5	Zajedn. zgrada, M. Miljanova 27	Dnevna soba	Prvi sprat	27	15	27	59	32
6	Zajedn. zgrada, B.Lenjina 33	Spavaća soba	Prvi sprat	50	55	48	36	47
7	Zajedn. zgrada, J. Tomaševića 5	Dnevna soba	Prizemlje	10	35	46	27	29
8	Zajedn. zgrada, Dalmatinska 130b	Dječija soba	Suteren	16	101	70	105	73
9	Zajedn. zgrada, M. Selimovića 8/1	Spavaća soba	Prvi sprat	20	23	20	29	23
10	Zajedn. zgrada, Mitra Bakića 68	Spavaća soba	Prvi sprat	83	33	26	11	38
11	Zajedn. zgrada, P. Matovića 230	Spavaća soba	Prizemlje	12	17	46	16	23
12	Individ. zgrada, Zelenika bb	Dnevna soba	Prizemlje	1773	406	755	1578	1128
13	Individ. zgrada, Kozaračka 130	Spavaća soba	Prizemlje	498	70	97	263	232
14	Individ. zgrada, Hercegovačka 10	Radna soba	Prizemlje	1050	97	146	189	370
15	Individ. zgrada, N. Đurkovića 37	Dnevna soba	Prizemlje	82	44	68	36	57
16	Individ. zgrada, Hercegovačka 18	Radna soba	Prvi sprat	16	65	43	108	58
	R A D N E P R O S T O R I J E							
1	Ministarstvo ekologije	Kancelarija	Prvi sprat	1513	412	138	203	566
2	Ministarstvo zdravlja	Kancelarija	Drugi sprat	26	16	71	64	44
3	Univerzitet Crne Gore	Atoms. sklon.	Podrum	386	218	157	93	213
4	Biblioteka "R. Ljumović"	Sala	Prvi sprat	101	68	52	139	90
5	Studenski dom	Kuhinja	Prizemlje	35	22	56	132	61
6	Bolnica K.B.C.C.G	Perionica	Suteren	28	34	35	22	29
7	JUCETI	Laboratorija	Suteren	84	92	70	83	82

Tabela 2. Koncentracije radona u zatvorenim boravišnim prostorima u Podgorici u 2000. godini

Br	Objekat	Prostorija	Sprat	I kvartal (Bq/m^3)	II kvartal (Bq/m^3)	III kvartal (Bq/m^3)	IV kvartal (Bq/m^3)	Srednja vrij. (Bq/m^3)
	V R T I Ć I							
1	Vrtić "Sunce"	Učionica	Prizemlje	201	96	87	411	199
2	Vrtić "Zvončić"	Učionica	Prizemlje	69	23	19	84	49
3	Vrtić "Poletarac"	Učionica	Prizemlje	737	313	266	1720	759
4	Vrtić "Pčelica"	Učionica	Prizemlje	575	189	236	882	470
	Š K O L E							
1	O.Š."Radojica Perović"	Učionica	Prizemlje	22	31	12	77	35
2	O.Š."Pavle Rovinski"	Učionica	Prizemlje	89	65	37	111	75
	S T A N O V I							
1	Zajedn. zgrada, Aerodromska 25	Spavaća soba	Prizemlje	12	26	15	27	20
2	Zajedn. zgrada, P. Matovića 112	Spavaća soba	Prizemlje	22	36	46	85	47
3	Individ. zgrada, KNOJ-a 17	Dnevna soba	Prizemlje	48	32	28	28	34
4	Zajedn. zg., Marksa i Engelsa 30	Dnevna soba	Suteren	79	108	186	35	102
5	Zajedn. zgr., B. Radičevića 137	Spavaća soba	Prizemlje	423	403	1108	854	697
6	Individ. zgrada, Matije Gupca 12	Spavaća soba	Suteren	339	514	816	839	627
7	Individ. zgrada, Zagorič 69	Dnevna soba	Prizemlje	93	64	94	147	99
8	Individ. zgrada, Skopska 2	Dnevna soba	Prizemlje	131	44	25	237	109
9	Individ. zgrada, Buta Lekića 20	Spavaća soba	Prvi sprat	117	24	175	360	169
10	Individ. zgrada, Radulović Rusa	Spavaća soba	Prizemlje	359	100	87		182
11	Individ. zgrada, Lička 49	Spavaća soba	Prizemlje	157	43	118	231	137
12	Individ. zgr., D. Milutinovića 20	Spavaća soba	Prizemlje	96	85	68	70	80
13	Individ. zgr., Vuka Mandušića 12	Dnevna soba	Prizemlje	409	165	564	528	416
14	Individ. zgrada, Kozaračka 66	Kancelarija	Prizemlje	344	99	391	374	302
15	Individ. zgrada, Bregalnička 21	Spavaća soba	Prizemlje	457	62	509	411	360
16	Individ. zgrada, Goranska 21	Spavaća soba	Prizemlje	361	162	137	41	175
17	Zajedn. zgrada, Steva Boljevića	Spavaća soba	Prizemlje	58	41	34	80	53
18	Zajedn. zgrada, 13 jul 31	Kancelarija	Prizemlje	18	42	44	60	41
19	Individ. zgrada, Vranići bb	Dnevna soba	Prizemlje	128	126	305	323	220
20	Individ. zgrada, Petra Prlje 73	Ostava	Prizemlje	298	88	156	764	326
21	Individ. zgrada, Ljubović 70	Spavaća soba	Prvi sprat	205	112	367	577	315
22	Individ. zgrada, SKOJ-a 8	Spavaća soba	Prizemlje	62	94	178	158	123
	R A D N E P R O S T O R I J E							
1	Duvanski kombinat	Kancelarija	Prizemlje	24	15	26	56	30
2	Kombinat "Radoje Dakić"	Kancelarija	Prizemlje	41	31	50	117	59
3	Plantaže-13 jul	Kancelarija	Prizemlje	31	15	60	115	55
4	Kombinat aluminijuma	Kancelarija	Prizemlje	112	231	270	410	256
5	Pumpna stanica Mareza	Kuhinja	Prizemlje	91	59	66	109	81

MERENJA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U ZATVORENOM PROSTORU NOVOG SADA I PROCENA ZDRAVSTVENOG RIZIKA

M. Vesković, M. Jevtić[1], I.Bikit, Lj.Čonkić,
J.Slivka, M. Krmar, S. Ćurčić, E. Varga
[1]Institut za fiziku, Prirodno matematički fakultet Novi Sad
Institut za zaštitu zdravlja Novi Sad

SADRŽAJ

Značajne međunarodne naučne organizacije su označile radon kao karcinogen i ozbiljan zdravstveni problem. U zatvorenom prostoru Novog Sada izvršeno je merenje koncentracije aktivnosti metodom adsorpcije na aktivnom uglju i gama spektrometrijom. Na osnovu ovih rezultata određena je srednja vrednost koncentracije aktivnosti radona i procenjene vrednosti efektivne ekvivalentne doze pluća i odgovarajući apsolutni zdravstveni rizik.

UVOD

Raspadom jezgra ^{226}Ra (člana niza ^{238}U) nastaje ^{222}Rn – radon, koji se delom raspada u materijalu u kom je stvoren, a delom prelazi u atmosferu, gde je uvek prisutan u određenoj koncentraciji, te se njegovo prisustvo može nazvati prirodnom kontaminacijom. Raspadom jezgra ^{222}Rn, nastaju kratkoživeći potomci (^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi i ^{214}Po). Radon je hemijski inertan gas, bez ukusa i mirisa, 7,5 puta teži od vazduha, koji difuzijom napušta mesto formiranja.

Izvori radona u zatvorenom prostoru su: zemljište ispod i oko objekta, građevinski materijal od kog je objekat napravljen i voda i gas koji se koriste u domaćinstvu. Radon u zatvorene prostorije dospeva emanacijom iz zidova, poda i plafona, iz tla na kom se prostorija nalazi, kao i iz predmeta ili materijala koji se nalaze u prostoriji [1]. Zemljište ispod građevinskog objekta – kuće je značajan (nekad najznačajniji) izvor radona u zatvorenim prostorijama. Građevinski materijali su jedan od dva najznačajnija izvora radona u zatvorenom prostoru, koji uz lošu ventilaciju mogu doprineti značajnim koncentracijama radona. Gama spektroskopskom analizom građevinskih materijala pre upotrebe, može se odrediti koncentracija radijuma-226, a time i mogućnost nastajanja radona.

U atmosferi je veliki deo radonovih potomaka pripojen prirodnim atmosferskim aerosolima. Karakteristike aerosola su veoma značajne pri dozimetriji. Koncentracija radona i njegovih kratkoživećih potomaka u vazduhu zavisi od jačine izvora radona,

taloženja na površinama u unutrašnjosti zatvorenog prostora, ventilacije i brojnih meteoroloških parametara, koji dovode do dnevnih i sezonskih varijacija u njihovim koncentracijama [1].
Unos radona u organizam i raspodela obavlja se putem ingestije i inhalacije. Inhalacija gasa ^{222}Rn, dovodi do njegove prilično ujednačene raspodele unutar tela. Poseban značaj, međutim, treba dati radonovim potomcima. Zbog male rastvorljivosti ovog inertnog gasa u tkivima, rezultujuća efektivna doza pri inhalaciji radona je mala u poređenju sa dozom koja potiče od inhalacijom unetih radonovih potomaka. Posebnu pažnju, dakle treba posvetiti odnosu ekspozicije i doze u plućnom tkivu, koja se javlja kao posledica inhalacije, pre svega kratkoživećih radonovih potomaka [2,3]. Osnov razvoja javne politike vezane za radon u zatvorenom prostoru, je definisanje rizika povezanog sa izloženošću opšte populacije radonu i njegovim potomcima u boravišnim prostorijama. U osnovi akcija koje imaju za cilj smanjenje koncentracije aktivnosti radona u stanovima i radnim prostorijama je formiranje nacionalnih preporuka (regulativa, direktiva ili zakona) o maksimalno dozvoljenim koncentracijama radona i građevinskoj izgradnji [4,5].

MATERIJAL I METODE

Uzorak (n=100) je prikupljen sa određenog broja lokaliteta u gradu Novom Sadu u periodu 1998-2000. godina, a potom je izvršeno grupisanje podataka o izmerenim koncentracijama aktivnosti radona. Izborom lokacija pokušalo se da prikupljeni uzorak na odgovarajući način reprezentuje strukturu boravišnih prostorija na teritoriji Novog Sada. Najpre je analiziran ukupan broj uzoraka obuhvaćenih istraživanjem, a zatim je uzorak analiziran u odnosu na vrstu objekta (predškolske ustanove (n=24), škole (n=32) i stambene prostorije (n=44). Potom je izvršena analiza rezultata merenja u odnosu na grejnu (n=68) i vangrejnu sezonu (n=32).

U istraživanju je primenjena metoda za merenje koncentracije radona aktivnim ugljem [6].

REZULTATI MERENJA KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADONA

Tabela 1. Karakteristične vrednosti raspodele izmerenih koncentracija aktivnosti radona tokom istraživanja u Bq/m^3

Broj merenja (n)	Srednja vrednost	Geom. sredina	Medijana	Stand. devijacija	Min	Max
100	47,71	23,66	23,50	74,22	1,10	490,00

Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona tokom istraživanja ukazuje na grubo lognormalnu distribuciju, sa značajnim pomeranjem ulevo (grafikon 1), što znači da je najveći broj merenja u oblasti nižih vrednosti koncentracija aktivnosti radona.

Nakon obrade i analize rezultata izvršeno je testiranje razlika između pojedinih posmatranih grupa.. Utvrđene su razlike u izmerenim vrednostima u odnosu na sezonu (grejnu i vangrejnu).

ZAKLJUČCI

Na osnovu svih izvršenih merenja utvrđena je srednja vrednost koncentracija aktivnosti radona od 47,71 Bq/m^3 u boravišnim prostorijama na teritoriji grada Novog Sada. U ovom istraživanju, u 96% merenja koncentracija aktivnosti radona je bila ispod 200 Bq/m^3, što je akcioni nivo kod nas.

Ekspozicija radonu se prema rezultatima merenja u ovom istraživanju procenjuje na 0,183 WLM. Kumulativna ekspozicija za životni vek prema rezultatima merenja u ovom istraživanju procenjuje se na 12,81 WLM.

U odnosu na srednju koncentraciju aktivnosti radona i primenjen »boravišni« faktor, ekvivalentna doza za bronhijalni epitel iznosi 18,32 mSv/a. U odnosu na srednju koncentraciju aktivnosti radona i primenjen »boravišni« faktor, ekvivalentna doza za plućno tkivo iznosi 2,28 mSv/a. U odnosu na srednju koncentraciju aktivnosti radona i primenjen »boravišni« faktor, efektivna ekvivalentna doza za celo telo iznosi 1,23 mSv/a.

Tabela 2. Ekspozicija radonu i potomcima i kumulativna ekspozicija

uzorak	Bq/m^3	WL	WLM	Kumulativna ekspozicija za životni vek (WLM)
ukupan	47,71	0,0051	0,183	12,81
predškolske ustanove	41,90	0,0045	0,162	11,34
škole	50,76	0,0054	0,194	13,58
stanovi	48,67	0,0052	0,187	13,09
grejna sezona	63,96	0,0069	0,248	17,36
vangrejna sezona	21,22	0,0022	0,079	5,53

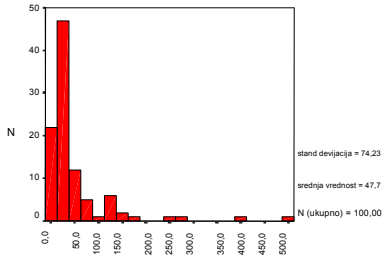
Tabela 3. Izračunate ekvivalentne doze i efektivna ekvivalentna doza u mSv/a
prema dobijenim rezultatima srednjih koncentracija aktivnosti radona u Bq/m^3 - »boravišni« faktor 0,8

uzorak	srednja vrednost (Bq/m^3)	efektivna doza za bronhijalni epitel	efektivna doza za plućno tkivo	efektivna ekvivalentna doza za celo telo
ukupan	47,71	18,32	2,28	1,23
predškolske ustanove	41,90	16,08	2,01	1,08
škole	50,76	19,49	2,43	1,31
stanovi	48,67	18,68	2,33	1,26
grejna sezona	63,96	24,56	3,07	1,65
vangrejna sezona	21,22	8,14	1,01	0,55

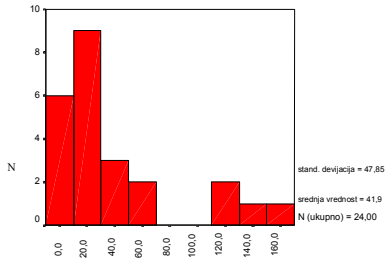
U odnosu na srednju koncentraciju aktivnosti radona i primenjen »boravišni« faktor, ekvivalentna doza za bronhijalni epitel iznosi 18,32 mSv/a. U odnosu na srednju koncentraciju aktivnosti radona i primenjen »boravišni« faktor, ekvivalentna doza za plućno tkivo iznosi 2,28 mSv/a. U odnosu na srednju koncentraciju aktivnosti radona i primenjen »boravišni« faktor, efektivna ekvivalentna doza za celo telo iznosi 1,23 mSv/a.

Procenjen apsolutni rizik za pojavu karcinoma pluća usled izloženosti radonu, na osnovu rezultata merenja u istraživanju, korišćenjem koeficijenta apsolutnog rizika za

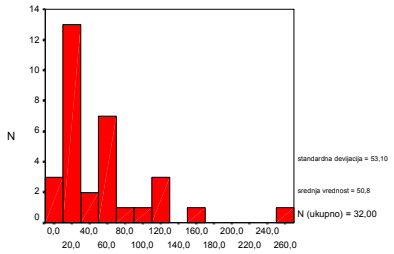
ceo životni vek od $28x10^{-5}WLM^{-1}$ prema preporuci ICRP od 1993. godine iznosi 5,12 na 100000 stanovnika u odnosu na celu populaciju grada Novog Sada.



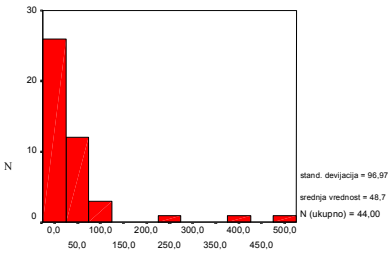
Grafikon 1. Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona (Bq/m^3) u celokupnom uzorku



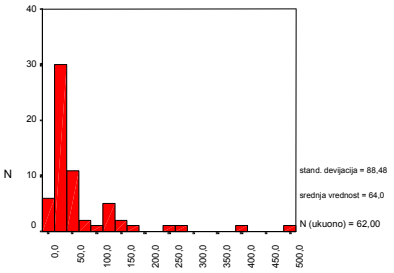
Grafikon 2. Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona (Bq/m^3) u predškolskim ustanovama



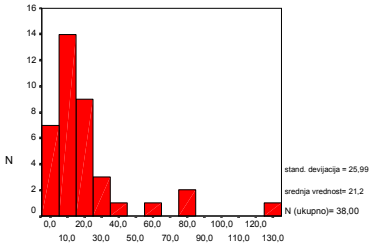
Grafikon 3. Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona (Bq/m^3) u školama



Grafikon 4. Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona (Bq/m^3) u stanovima



Grafikon 5. Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona (Bq/m^3) tokom grejne sezone



Grafikon 6. Histogram izmerenih koncentracija aktivnosti radona (Bq/m^3) tokom vangrejne sezone

Merenja koncentracija aktivnosti radona obavljena su zahvaljujući sufinansiranju JP "Zavod za izgradnju grada Novi Sad" i Gradske uprave za zaštitu životne sredine.

LITERATURA

[1] United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Ionizing radiation: Sources and biological effects. Exposures to radon and thoron and their decay products. 1982. Report to General Assembly, with annexes. 141-210

[2] NRC (National Research Council). Committee on Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI), and Commission on Life Sciences. Health Effects of Exposure to Radon in Mines and Homes. Washington, D.C. National Academy Press.1994.

[3] WHO Air Quality Guidelines for Europe. Geneva 1987.

[4] EC, 1997: Radiation Protection 88. Recommendations for implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards concerning significant increase in exposure due to natural radiation sources. European Commission. Office for Official Publications of the European Commission. Radiation Protection Series.

[5] Radon Legislation and National Guidelines. SSI report. Swedish Radiation Protection Institute. No 99:july 1999. ISSN 0282-4434

[6] U.S. Environmental Protection Agency. National Residental Radon Survey: Summary Report. EPA –402-R-9I-0III. 1992.

ABSTRACT

DETERMINATION OF INDOOR RADON ACTIVITY CONCENTRATION IN NOVI SAD AND HEALTH RISK EVALUATION

M. Vesković, M. Jevtić[1], I. Bikit, Lj. Čonkić, J. Slivka, M. Krmar, S. Ćurčić, E. Varga
Institute of Physics, Faculty of Sciences Novi Sad
[1]Institute of Public Health Novi Sad

Major international scientific organizations have concluded that radon is a human carcinogen and serious public health problem. Indoor radon activity concentration in air has been measured in Novi Sad. During the sampling by active charcoal, the room to be surveyed was closed for 48h. By measuring gamma activity of radon daughters, radon activity concentration was determined. Using these results, an average radon concentration in Novi Sad has been estimated. By using proposed values for the expected radiation dose to target tissues in the lung and for resulting effective dose-equivalent from indoor radon concentration, absolute health risk has been evaluated.

ODREĐIVANJE ZONE KOMFORA I KONCENTRACIJE RADONA U ZATVORENIM PROSTORIJAMA REAKTORA

R. Lučić , Z. Vukadin, O. Čuknić,
M. Mandić, A. Nikolić, Dj. Bek-Uzarov, J.Mc.Laughlin[1], Z.Žunić
Institut za nuklearne nauke "VINČA", Beograd, Jugoslavija
[1]University College Dublin,Belfield,Dublin 4, Ireland

SADRŽAJ

U radu se iznose rezultati ispitivanja mikroklimatskih parametara i koncentracije radona u zatvorenim nadzemnim prostorijama reaktora "RA" Instituta za nuklearne nauke "VINČA" za period 1996-1997. Minimalne i maksimalne vrednosti za korigovanu temperaturu Tk su 11,6 i 21,9 °C, pri relativnoj vlaznosti Rv 30 i 75%, minimalnoj brzini strujanja BS 0,04 i maksimalnoj 0,17 m/s. Prosečne godišnje koncentracije radona (Bq/m3), u pojedinačnim zatvorenim (radnim) prostorijama iznose: 109 (Merno mesto: MM1); 117 (MM2); 59 (MM3); 291 (MM4); 134 (MM5); 229 (MM6); 205(MM7) i 344 (MM8). Na osnovu izmerenih parametara na osam lokacija procenjene su zone komfora, koje delimično ili u potpunosti zadovoljavaju.

UVOD

Reaktor "RA" u Institutu za nuklearne nauke "VINČA" je jedan od 284 istraživačkih od ukupno 438 nuklearnih reaktora u svetu koji su u pogonu [1]. Reaktor "RA" pripada grupi teškovodnih reaktora nominalne snage 6,5MW i forsirane 10MW. Od 1959 godine, kada je počeo sa radom do 1976 godine korišćen je metalni uranijum niskog obogaćenja (2%), a od 1981 visokoobogaćeni uranijum dioksid (80%). Istraživački rad na reaktoru se odvijao od 1959-1984. Komitet za efekte od nuklearnog zračenja Ujedinjenih nacija dao je pregled izloženosti radnika na reaktorima za sve tipove reaktora u periodu 1975-1994. [2]. Prema ovom pregledu, pored drugih činilaca, na izloženost profesionalne populacije uticu veličina, starost i tip nuklearnog reaktora. Ispitani su uslovi izloženosti radnika, zone komfora i koncentracije radona u zatvorenim prostorijama reaktora "RA".

METODOLOGIJA

1. Mikroklimatski parametri. Na osam mernih tačaka unutar reaktora "RA" i na jednoj mernoj lokaciji ispred ulaza u reaktor, izvršeno je ukupno 2200 merenja mikroklimatskih parametara u toku jednogodišnjeg perioda (1996/1997), tako da su obuhvaćene 4 sezone. U zimskom periodu (novembar- februar) izvršeno je 800 merenja. U

ostalim sezonama prosečno je izvršeno po 400 merenja po svakoj sezoni. Merne tačke unutar reaktora su obuhvatile: radnu prostoriju 102 (MM1), sanitarni propusnik (MM2), halu reaktora 099(MM3), maketu (MM4), radnu prostoriju 055(MM5), radnu prostoriju 027(MM6), radnu prostoriju 034(MM7) i radnu prostoriju 214(MM8). Merno lokacija 9 se nalazila na ulazu u reaktor, radi poređenja sa parametrima spoljašnjeg vazduha. Na svih 9 mernih lokacija odredjivani su sledeći mikroklimatski parametri: temperatura suvog vazduha Ts, tempeartura vlažnog vazduha (Tv), relativna vlažnost (Rv), i brzina strujanja vazduha (BS). Za merenje mikroklimatskih parametara korišćeni su: Assmanov aspiracioni psihrometar, Hillov katatermometar i hronometar. Mereni podaci su obrađeni prilagođenim fortranskim programom. Merenja mikroklimatskih parametara obavljena su standardizovanim postupkom u skladu sa zakonskom regulativom [3,4] . Pomoću nomograma su očitane efektivne i korigovano efektivne temperature. Efektivne temperature obuhvataju slučajeve bez uticaja toplotnog efekta zračenja, dok korigovano efektivne temperature obuhvataju i dodatno toplotno zračenje u radnoj sredini. Time se postiže da toplotni indeks može realno da odrazi uticaj kombinacije temperature, vlažnosti i brzine strujanja vazduha na organizam radnika.

2. Zona komfora. Pod zonom komfora podrazumeva se efektivna temperatura u rasponu 17,2°C do 21,2°C. Na osnovu određenih efektivno korigovanih temperatura Tk za osam mernih lokacija procenjene su zone komfora, koje delimično ili u potpunosti zadovoljavaju.

3.Koncentracija radona. Merenje koncentracije radona je vršeno pomoću pasivne metode primenom čvrstih alfa trag detektora naelektrisanih čestica tip CR-39 poznatih kao polialildiglikol karbonatni PADC) detektori, engleskog proizvodjača (Pershore Mouldings Ltd. pershore, Worcestershire, Engleska) Alfa trag plastične folije su izrezane u komade od 2cm x 2 cm debljine od 0.5 – 0.6 mm i postavljene u difuzione komore »švedskog« dizajna (SSI/NRPB), visine 7 cm i precnika 5.5 cm. Detektori su dobijeni kao donacija iz Irske i nakon izlaganja, razvijeni su i očitani u Radonskoj laboratoriji Odelenja za eksperimentalnu fiziku Univerziteta u Dablinu (University College Dublin). Tragovi alfa čestica na detektoru tragova razvijani su metodom hemijskog nagrizanja u 6.25 M rastvoru NaOH pri temperaturi od 720C + 10C u trajanju od osam sati. Na taj način tragovi alfa čestica na detektoru tragova su se učinili vidljivim pod optičkim mikroskopom pomoću koga se zatim merila njihova gustina sa odredjenim uvećanjem od 500 puta (u slučaju interkalibracije) i automatskim čitačem u standardnioj proceduri. Pri navedenom režimu razvijanja tragova vrednost koeficijenta (k) korišćenog dozimetra u našim merenjima iznosio je 4.41 tr x cm^{-2} / kBq x m^{-3} h. Da bi se dobila realna vrednost srednje godišnje koncentracije radona u vazduhu u zatvorenim prostorijama serije detektora su uzastopno postavljene u sve prostorije u toku 12 meseci. Svaki detektor pojedinačno ostao je izložen u izabranoj zatvorenoj prostoriji oko tri meseca a zatim je neposredno zamenjen novim detektorom. ukupno je četiri detektora postavljeno po svakoj mernoj lokaciji, doprinoseći dobijanju sezonske i prosečne godišnje vrednosti koncentracije radona.

REZULTATI

1. Mikroklimatski parametri

1.1 Efektivna korigovana temperatura kao indeks neophodan za procenu zone komfora data je na tabelama Tab.1-Tab 8. Minimalne i maksimalne vrednosti za Tk su 11,6

i 21.9°C, za relativnu vlažnost Rv 30 i 75%, dok je brzina strujanja vazduha minimalna 0,04 a maksimalna 0,17 m/s.

1.2. Zona komfora Na osnovu parametara procenjeno je da zonu komfora u odnosu na sezonu ispunjavaju sledeća merna mesta: u zimskom periodu, merno mesto 1 (radna prostorja 102),u prolećnom, merna lokacije MM1(radna prostoirja 102), MM2(sanitarni propusnik, i MM8 (hala reaktora 099); u letnjem periodu merna mesta MM1(radna prostorija 102), MM2(sanitarni propusnik), MM3(hala reaktora 099), MM4(hala reaktora-maketa) i MM8(radna prostorija 214), a samo merno mesto (MM8-radna prostorija 214) u jesenjem periodu. (tabele 1 do 8 na kraju rada).

2. Koncentracija radona u zatvorenim prostorijama

Minimalna koncentracija (C) radona (Rn) iznosi 44 Bq/m3 i izmerena je na mernom mestu 1 (MM1)- radna prostorija 102 u prolećnom periodu (sezona II, tabela 9), dok je maksimalna koncentracija 976 Bq/m3 izmerena na mernom mestu 4 (MM4) - maketa reaktora u letnjem periodu (sezona III, tabela 9). Uočena je povisena vrednost koncentracije radona CRn od 976 (Bq/m3), u letnjem periodu na mernom mestu MM4 – maketa reaktora. U tom periodu postoji takodje povećana relativna vlažnost na svim mernim mestima (tabela 10).

Tabela 9. Prosecna godisnja koncentracija
u zatvorenim radnim prostorijama reaktora "RA"

lokacija	oznaka	CRn [Bq/m3]
MM1	102	108,75
MM2	sanit.prop	116,5
MM3	hala 099	58,5
MM4	maketa	290,5
MM5	55	133,5
MM6	27	229,25
MM7	34	204,5
MM8	214	334

Tabela 10. Relativna vlaznost RV [%]
u zatvorenim radnim prostorijama reaktora "RA

sezona	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
zimski period	39	36	48	48	49	47	53	37
prolecni period	38	34	44	44	47	45	54	30
letnji period	60	61	62	62	69	69	75	50
jesenji period	49	48	54	54	53	55	57	39

ZAKLJUČAK

Pristupajuci ispravno i na sveobuhvatan nacin istrazivanju kvaliteta vazduha koji se udiše, jedan od četiri agensa koji se moraju obavezno ispitati je koncentracija radona i njegovih potomaka.

Kvalitetna metodologija istraživanja je od krucijalne važnosti u merenju radona u vazduhu zatvorenih prostorija. Da bi se sprovelo pouzadnao istraživanje i obezbedila odgovarajuća preciznost i tačnost, potrebno je obezbediti program kvaliteta sigurnosti merenja koji obuhvata: osiguranje kvaliteta merenja radona (interkalibracija i interkomparacija detektora) i provera zavisnosti uticaja različitih činilaca koji deluju na koncentraciju radona i njegovih potomaka u zatvorenim prostorijama.

LITERATURA

[1] "Nuclear Research Reactors in the World",Reference Data Series No.3,Vienna, IAEA, 2000, p.138

[2] B.Babić-Stojić, i dr., "Nuklearni reaktor RA: revitalizacija, modernizacija, korišćenje", Beograd, Institut za nuklearne nauke"VINČA", 1999, 123str."

[3] Sources and Effects of Ionizing Radiation.United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with scientiffic annexes.United Nations,New York,2000, Annex E, p.568

[4] "Medicina rada i radioloska zastita", Medicinski fakultet Univerziteta u Beogradu,Beograd, CIBIF,1992,191str.

[5] M.Mikov, "Praktikum iz medicine rada",Beograd, Nova prosveta,1995, 261 str.

[6] International Commision on Radiological Protection, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Publication No.65, Pergamon Press, Oxford and New York (1993)

ABSTRACT

INDOOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENTS WITHIN REACTOR WORKING SPACES OF THE VINCA INSTITUTE

R. Lučić , Z. Vukadin, O. Čuknić,
M. Mandić, A. Nikolić, Dj. Bek-Uzarov, J.Mc.Laughlin[1], Z.Žunić
INS "Vinča"
[1]University College Dublin,Belfield,Dublin 4, Ireland

The paper deals with the experimental results of indoor radon concentrations measurements during the period 1966-1977. The average annual concentrations(Bq m3) were such as follows 109 (I), 117 (II), 59 (III), 291 (IV), 134 (V), 229 (VI), 205 (VII) 344 (VIII) at eight above ground indoors. In parallel there have been measured temperature of dry and humid air as well as the velocitz of the air.

SPECIFIČNA AKTIVNOST RADIONUKLIDA U MLEKU I MLEČNIM PROIZVODIMA OD 1995-2000. GODINE U REPUBLICI SRBIJI

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

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati gamaspektrometrijskog merenja ^{137}Cs i radiohemijskog određivanja ^{90}Sr u mleku i mlečnim proizvodima uzetih u različitim mestima Republike Srbije u periodu od 1995-2000. godine. Rezultati pokazuju da aktivnost uzoraka uglavnom potiče od veštačkih radionuklida koji su kao fisioni produkti putem nuklearnog akcidenta (Černobilj 1986.) dospeli u atmosferu i putem padavina kontaminirali ceo ekosistem. ^{90}Sr i ^{137}Cs će zbog svog dugog vremena poluraspada (28.8 god. i 30.2 god.) dugo biti prisutni u životnoj sredini. Njihova aktivnost u uzorcima mleka i mlečnih proizvoda vremenom značajno opada, a padavine su doprinele spiranju radionuklida u niže slojeve zemlje. Poslednjih godina aktivnost ovih radionuklida u mleku i mlečnim proizvodima je na veoma niskom nivou, kao pre akcidenta u Černobilju.

UVOD

U našoj zemlji se po monitoring programu i zakonskim propisima [1,2] već preko trideset godina vrši sistematsko ispitivanje sadržaja radionuklida u mleku i mlečnim proizvodima. Rezultati radioloških analiza ukazuju da aktivnost uzoraka iz životne sredine uglavnom potiče od veštačkih radionuklida koji su, kao fisioni produkti, putem nuklearnog akcidenta (Černobilj 1986. godine) ili nuklearnih proba (vazdušnih od 1945-78), dospeli u atmosferu, a zatim putem padavina kontaminirali ceo ekosistem. Dugo vreme poluraspada radionuklida ^{137}Cs i ^{90}Sr nam ukazuje da će ovi radionuklidi biti prisutni još veoma dugo u životnoj sredini. Hemijska analogija ^{137}Cs sa kalijumom govori o njegovom uključivanju u biološki ciklus i prisustvu u celom telu odnosno mišićnom tkivu, dok ^{90}Sr predstavlja hemijski analog kalcijuma, koji je jedan od osnovnih elemenata živih organizama, i poput kalcijuma se uključuje u biološki ciklus. Svaki deo ekološkog ciklusa poseduje karakterističan odnos Sr/Ca. Ovaj radionuklid je veoma toksičan i deponuje se u kostima, pa ga je teško izlučiti iz organizma, a naročito su ugrožena deca i mladi u pubertetu. Živ metabolizam u mladim kostima stvara pogodne uslove za intenzivnu depoziciju ^{90}Sr u njima pa, prema tome, i za znatna oštećenja koštanog tkiva i srži [3].

METODA MERENJA

Uzorci mleka uzimaju se svakodnevno, a mlečni proizvodi dva puta godišnje (proleće i jesen) u Beogradu, Nišu, Novom Sadu i Zaječaru [1,2]. Na sakupljenim uzorcima obavlja se gamaspektrometrijsko merenje ^{40}K i ^{137}Cs i radiohemijsko određivanje ^{90}Sr.

Gamaspektrometrijske analize su vršene na germanijumskom detektoru visoke čistoće (HP Ge) sa višekanalnim analizatorom firme ORTEC.

Kako je ^{90}Sr beta emiter, moraju se primeniti radiohemijske metode za njegovo izdvajanje, nakon čega se meri ukupna beta aktivnost uzorka. Radiohemijska metoda odvajanja ^{90}Sr se zasniva na oksalatnom izdvajanju Ca i Sr, žarenju do oksida i korišćenju aluminijuma kao povlačivača za ^{90}Y [4]. Ravnoteža se uspostavlja za 18 dana nakon čega se ^{90}Y izdvaja na povlačivaču $Al(OH)_3$, koji se zatim žari do oksida. Specifična aktivnost se meri na alfa, beta antikoincidentnom gasnom brojaču (COUNTMASTER) čiji je osnovni fon 1 imp/min. Prečnik planšete je 2.3 cm. Efikasnost brojača iznosi 24% i određena je pomoću standarda ^{90}Sr.

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 i 2 su prikazane srednje godišnje vrednosti za aktivnosti ^{137}Cs i ^{40}K za mleko u sakupljačkim mestima Republike Srbije u periodu od 1995. - 2000. god.

U tabeli 3 su prikazane srednje godišnje vrednosti specifičnih aktivnosti ^{90}Sr u mleku u sakupljačkim mestima Republike Srbije u istom periodu. Zbog tehničkih nemogućnosti ^{90}Sr je rađen samo za 1996, 1999, a za 2000. godinu samo za uzorke iz Beograda.

Veće vrednosti grešaka (standardna devijacija rezultata za jednu godinu) posledice su metoda sakupljanja uzoraka. Uzorci su sakupljani u različitim mestima i uslovima, što utiče na variranje rezultata. Individualna greška merenja uzoraka je 2-5%.

Pošto je ^{40}K prirodni radionuklid, njegova aktivnost je približno konstantna u svim uzorcima mleka. Zapaža se kontinuirani pad aktivnosti ^{137}Cs i ^{90}Sr (poreklom od Černobiljskih padavina 1986. god.) u uzorcima mleka za celu teritoriju Republike Srbije što je posledica normalnog ispiranja litosfere padavinama.

Iako je ispitan mali broj uzoraka mlečnih proizvoda, mala aktivnost radionuklida veštačkog porekla (^{137}Cs i ^{90}Sr) pokazuje da je efektivna doza za stanovništvo od tih radionuklida unetih ingestijom značajno ispod preporučene godišnje granice primljene doze za pojedinca iz stanovništva (1 mSv/god) [5].

Tabela 1. Srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{40}K (Bq/l) u mleku

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Beograd	43±7	41±8	46±9	53±7	34±5	49±12
Niš	43±9	42±5	45±11	76±9	30±8	40±8
Novi Sad	32±8	38±7	41±7	47±8	37±11	58±9
Zaječar	25±7	25±4	37±9	44±10	37±8	43±11

Tabela 2. Srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{137}Cs (Bq/l) u mleku

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Beograd	0.10±0.09	0.13±0.12	0.11±0.10	< 0.16	0.07±0.08	0.05±0.02
Niš	0.07±0.02	0.08±0.03	< 0.07	0.09±0.04	< 0.10	0.03±0.01
Novi Sad	< 0.04	0.05±0.02	0.04±0.01	< 0.05	< 0.03	< 0.15
Zaječar	0.05±0.02	0.07±0.05	< 0.10	< 0.07	0.05±0.02	0.07±0.03

Tabela 3. Srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{90}Sr (Bq/l) u mleku

	1996	1999	2000
Beograd	0.065±0.027	0.051±0.020	0.075±0.052
Niš	0.077±0.018	0.052±0.010	-
Novi Sad	0.046±0.022	0.025±0.021	-
Zaječar	0.086±0.044	0.037±0.030	-

Tabela 4. Srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{40}K (Bq/kg) mlečnim proizvodima

		Beograd	Niš	Novi Sad	Zaječar
1995	jogurt	66±3	32±2	44±2	57±3
	sir	27±2	51±3	6±1	34±1
1996	jogurt	49±2	-	58±3	-
	sir	-	29±2	29±2	42±3
1997	sir	183±8	-	-	-
1998	jogurt	-	-	-	54±3
1999	jogurt	-	27±1	-	40±2

Tabela 5. Srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u mlečnim proizvodima

		Beograd	Niš	Novi Sad	Zaječar
1995	jogurt	0.11±0.05	0.05±0.02	<0.07	0.10±0.04
	sir	0.40±0.09	0.11±0.05	<0.05	0.19±0.07
1996	jogurt	0.07±0.02	-	<0.11	-
	sir	-	0.12±0.03	<0.13	<0.07
1997	sir	<0.23	-	-	-
1998	jogurt	-	-	-	<0.10
1999	jogurt	-	0.05±0.01	-	0.04±0.01

ZAKLJUČAK

Prema izmerenim vrednostima i ukupnim rezultatima merenja radioaktivnosti na teritoriji Republike Srbije u periodu od 1995. do 2000. godine možemo zaključiti da su se aktivnosti, kako prirodnih, ^{40}K, tako i dugoživećih radionuklida veštačkog porekla ^{137}Cs i ^{90}Sr u mleku i mlečnim proizvodima kretale u granicama promene osnovnog fona aktivnosti.

LITERATURA

[1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, Službeni list SRJ, br. 46/96
[2] Pravilnik o sistematskom ispitivanju sadržaja radionuklida u redovnim uslovima, Službeni list SRJ, br. 45/97
[3] G. Pantelić, R. Brnović, I. Petrović, V. Radmilović, R. Maksić: "Irradiation of population in the Republic of Serbia after Chernobyl accident", International Conference: One decade after Chernobyl, Vienna, 1996
[4] R. Brnović: "Stroncijum 90 u životnoj sredini čoveka", magistarski rad, Beograd, 1972
[5] Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni list SRJ, br. 32/98

ABSTRACT

SPECIFIC ACTIVITY OF RADIONUCLIDES IN MILK AND MILK PRODUCTS

Lj. Javorina, G. Pantelić, I. Tanasković, M. Eremić, V. Vuletić
Institute for Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović" Belgrade

This study presents results of gamma spectrometric measurements of ^{137}Cs and radiochemical determination of ^{90}Sr in milk and milk products taken at various places in the Republic of Serbia from 1995 to 2000. Results show that sample activity mostly comes of radionuclides that, as fission products, in Chernobyl accident were released to atmosphere. Due to their long half-life (28.8 and 30.2 years) ^{137}Cs and ^{90}Sr will be present in our environment for a long period of time. Since there was no global atmospheric contamination after 1986, ^{137}Cs and ^{90}Sr activity significantly decreased in milk and milk products.

НЕКЕ МОГУЋНОСТИ БИОМОНИТОРА У РАДИОЕКОЛОШКИМ ИСТРАЖИВАЊИМА

М.Крмар, Д. Радновић[1], Г. Пантелић[2], М. Матавуљ[1], П. Крстоношић[3]
Институт за физику, ПМФ Нови Сад
[1]Институт за биологију, ПМФ Нови Сад
[2]Институт за медицину рада "Др. Драгомир Крајовић", Београд
[3]Студент постдипломских студија Универзитета у Београду

САДРЖАЈ

У раду је приказано како се гама спектрометријским мерењима нивоа активности узорака маховина могу лоцирати области у којима долази до повишеног емитовања радона из тла у атмосферу.

УВОД

Одређене биљне врсте, као што су то маховине и лишајеви, немају корен већ воду као и све остале елементе неопходне за живот и раст добијају из атмосфере. То се одвија на два начина: преко кише и росе у којима су растворени аеросоли (wet deposition), као и захватањем и разградњом честица прашине и аеросола који се таложе (dry deposition). На овај начин захваћени елементи бивају трајно задржани у ткивима поменутих биљака и могу послужити као основа за веома прецизна еколошка истраживања, поготово она која се баве таложењем и атмосферским депоновањем појединих загађивача [1].

Намера нам је била да у овом раду истражимо могућности детекције присутности појединих радионуклида у одређеним областима мерењем нивоа активности узорака маховина као биоиндикатора. За таложење цезијума из атмосфере су маховине до сада често коришћене [2] тако да смо нашу пажњу задржали на испитивању могућности идентификације и лоцирања области у којима се појављује радон у ваздуху у већим концентрацијама.

^{222}Rn је члан низа ^{238}U и углавном извире из тла. У мањој мери извор радона могу бити и грађевински материјали што је посебно значајно у добро развијеним и често примењиваним in-door мерењима. Да би се лоцирале целе географске области у којима је састав минерала у тлу као и дубини земљине коре такав да постоји повишен ниво емисије радона, до сада су коришћена директна мерења јонизационим коморама или детекторима трагова. Једна од могућности, до сада некоришћена, да се мапира присутност радона у ваздуху употребом биомонитора и у овом раду су приказани неки прелиминарни резултати.

ОПИС МЕТОДА

Шема распада ^{222}Rn добро је позната, напоменимо само да су за гама спектроскопију од свих потомака најзначајнији краткоживећи изотопи ^{214}Pb и ^{214}Bi који имају неколико интензивних гама прелаза од 241.9, 295.2, 352.0 и 609.3 keV. Поменуте линије су такође добро познате и углавном се користе за одређивање присутности ^{226}Ra као и ^{238}U у узорцима где постоји радиоактивна равнотежа. ^{210}Pb је дугоживећи потомак радона (период полураспада му је 22.3 године) и емитује гама зрачење енергије 46.5 keV. Будући да радон извире из тла, постоји могућност да том приликом буде захваћен у ткивима маховина. Други начин да радон доспе до маховина, заједно са својим потомцима је преко аеросола, сувим таложењем или кишом. Трећа могућност је да до маховина у честицама прашине које ветар нанесе са околног земљишта доспе и ^{238}U са свим потомцима из низа. На овај начин се добија одређени допринос укупној активности радона и његових потомака која не зависи од присутности и варијација концентрације радона у атмосфери.

Да би се установила присутност радона који је из атмосфере апсорбован у ткивима маховина, извршена су два мерења једног узорка, четири дана након узорковања а затим два месеца касније. 107 грама свежег биљног материјала је упаковано у стандардну цилиндричну геометрију пречника 7 cm, висине 5.8 cm да би током 75 ks био мерен уз помоћ extended range HPGe са берилијумским прозором дебљине 0.5 mm, релативне ефикасности 32%. Детектор је био заштићен са 25 cm гвожђа произведеног пре другог светског рата. Интензитети неколико одабраних гама линија из оба спектра, дати у броју детектованих импулса по килисекунду, приказани су у табели 1.

Табела1. Интензитети неколико карактеристичних линија из измерених гама спектара узорка маховине и фона.

	E [keV]	одброј/ks 26.09.2000.	одброј/ks 27.11.2000.	одброј/ks background
^{210}Pb	46.5	26.3(11)	24.1(8)	0.65(18)
^{214}Pb	352.0	18.1(6)	15.4(6)	6.31(24)
^{214}Bi	609.3	15.1(7)	12.7(5)	5.06(21)
^{228}Ac	911.2	1.6(2)	1.7(4)	0.68(10)
^{40}K	1460.8	12.4(5)	12.7(5)	1.81(13)

Из табеле 1 се види да су интензитети гама линија радонових краткоживећих потомака ^{214}Pb и ^{214}Bi кориговани за фон пали преко 30% током два месеца, што је директна потврда претпоставке постојања радона у свежем узорку а који није у радиоактивној равнотежи са осталим члановима низа ^{238}U. Такође је очигледно да су интензитети гама линија дугоживећег ^{40}K као и члана торијумовог низа ^{228}Ac остали непромењени у току два месеца. Између два мерења је протекло око 15 периода полураспада ^{222}Rn тако да се може тврдити како је комплетна активност радона као и његових потомака који су из ваздуха доспели до маховина прешла у активност дугоживећег ^{210}Pb. Активност ^{214}Pb и ^{214}Bi која је два месеца након узорковања измерена, потиче искључиво од присутности низа ^{238}U док један део интензитета гама линије ^{210}Pb од 46.5 keV потиче од радона и његових потомака који су доспели из ваздуха а други део је од ^{210}Pb насталог распадом ^{238}U. Из услова равнотеже ^{214}Pb и ^{210}Pb, на основу интензитета гама линије од 352.0 keV могуће је

проценити колики би допринос интензитету гама линије од 46.5 keV дао изотоп ^{210}Pb који припада низу ^{238}U:

$$N_d(46.5) = N_d(352.0)\frac{p_\gamma(46.5)}{p_\gamma(352.0)}\frac{\varepsilon(46.5)}{\varepsilon(352.0)} \quad (1)$$

где су са N_d, p_γ и ε означени одброји испод пика, квантни приноси као и тоталне ефикасности детекције наведених енергија респективно. Са вредношћу интензитета гама линије од 352.0 keV из спектра мереног два месеца након затварања узорка, коригованом за фон, добија се процена да би одброј линије од 46.5 keV од ^{210}Pb који би био у радиактивној равнотежи са осталим члановима низа ^{238}U требао бити 1.2 импулса по килосекунди. То значи да за дати узорак преко 90% активности ^{210}Pb је акумулирана од захвата радона и његових краткоживећих потомака из атмосфере. Дакле концентрација ^{210}Pb у ткивима маховина може да буде веома добар интегрални показатељ присутности радона у ваздуху у области узорковања.

МЕРЕЊА И РЕЗУЛТАТИ

Да би се уочиле евентуалне варијације концентрације ^{210}Pb у ткивима маховина, извршено је узорковоње на 7 различитих места при чему се водило рачуна да састав тла буде различит. На свим локацијама је одабран један исти тип маховина *Hypnum cupressiforme*. Узорци маховина су сушени да би шест месеци након узорковања сува биљна маса, просечно око 40 грама је пакована у стандардну геометрију. Гама спектри су регистровани германијумским детектором релативне ефикасности 25% у трајању од 86 ks. Ефикасност овог детектора је знатно слабија у области ниских енергија што је резултовало нешто већом грешком приликом одређивања интензитета посматране гама линије од 46.5 keV. У табели 2 су наведене локације са којих узорципотичу као и преовладавајући тип земљишта. Приказане су добијене вредности интензитета гама линије ^{210}Pb у мереним узорцима као и збир одброја испод пика две гама линије од 352.0 и 609.3 keV.

Табела 2. Интензитети посматраних гама линија маховина са одабраних локација.

	локација	тип земљишта	одброј/(ks kg) 46.5 keV	одброј/(ks kg) (352.0+609.3) keV
1	Хоргош	песковито	40(11)	130(14)
2	Бачки Петровац	чернозем	71(10)	151(12)
3	Лежимир	мрко планинско	42(10)	87(13)
4	Српски Итебеј	чернозем	79(20)	171(23)
5	Вршачки брег	мрко планинско	96(11)	130(16)
6	Лозница	подзол	42(14)	103(16)
7	Бор	подзол на стеновитој подлози	36(8)	110(19)

Из табеле 2 се може констентовати да постоји очигледна разлика у активности ^{210}Pb у одабраним узорцима. Најнижа и највиша вредност се разликују за

фактор 3. Такође је очигледна и варијација активности ^{214}Pb и ^{214}Bi што је приказано преко збира интензитета две најјаче линије у спектрима ова два изотопа. Шест месеци након узорковања њихова активност може да потиче једино од присутности комплетног низа ^{238}U који је путем таложења прашине доспео до маховина. Очигледно је да постоји разлика у садржају уранијума у земљишту на коме су маховине расле, али тај садржај није у корелацији са концентрацијом радона у атмосфери. Овај закључак се могао и очекивати пошто је добро позната чињеница да највећим делом радон доспева у атмосферу из дубљих делова земљине коре.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Frontasyeva M.V., Nazarov V.M., Steinnes E.: Moss as monitor of heavy metal deposition: Comparasion of different multi-elemental analytical techniques. J. Radioanal. Nucl. Chem. **181** (1994) 363-371

[2] Steinnes E. and Njastad O.: Use of mosses and lichens for regional maping of ^{137}Cs fallout from the Chernobyl accident. J. Environ. Radioact. **21** (1993) 65-73

ABSTRACT

SOME POSIBILITIES OF BIOMONITORS IN ENVIRONMENTAL STUDIES

M. Krmar, D. Radnović[1], G. Pantelić[2], M. Matavulj[1], P. Krstonošić[3]

Institute of Physics, Faculty of Sciences, Novi Sad

[1]Institute of Biology, Faculty of Sciences, Novi Sad

[2]Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović"

[3]Postgraduate, University of Belgrade

The new method for a regional mapping of radon emission from the soil is presented. It was shown that using mosses and simple gamma-spectroscopy measurements, variation of radon concentration in atmosphere could be detected.

PRENOS RADONA KROZ BETON I ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA DIFUZIJE ZA BETONE TIPIČNE ZA SRBIJU

V. Urošević, D. Nikezić[1], M. Kovačević[2], G. Pantelić[3]
Zastava Automobili dd Kragujevac
[1]Prirodno Matematički Fakultet Kragujevac
[2]INN "Vinča"
[3]Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr D. Karajović", Beograd

SADRŽAJ

U ovom rada teorijski i eksperimentalno su proučavane difuzione karakteristike betona za transport radona, kao porozne sredine. Kombinujući eksperimentalno dobijene podatke o vremenu uspostavljanja stabilnog stanja, sa podacima dobijenim simulacijom, određen je koeficijent difuzije radona u betonu koji je po svom sastavu tipičan za izgradnju stambenih i poslovnih objekata u Srbiji. Nađeno je da koeficijent difuzije iznosi $D = 4{,}3 \times 10^{-8}\ m^2 s^{-1}$.

UVOD

Beton je kompleksan heterogeni materijal, ali se pod određenim okolnostima može tretirati kao porozan homogen medijum za difuziju radona. Transport radona kroz beton, od koga su napravljeni stambeni objekti, se odvija kroz dva procesa:

advekcije, koja je uzrokovana razlikom u pritisku između gasa u tlu ispod betona i pritiska vazduha u prostoriji iznad betonske ploče,

difuzije, koja je uzrokovana gradijentom koncentracije između gasa u tlu ispod, i vazduha koji se nalazi u prostoriji iznad ploče betona.

Istraživanja mehanizma transporta radona kroz beton ukazuju da preko 80% radona koji dospe u prostoriju dospe procesom difuzije, a neznatan deo otpada na proces advekcije (Kendrick and Langner1991).

Koristeći podatke iz rada Renkena i Rosenberga (1995) za vrednosti difuzionih konstanti i poroznosti za tipične vrste betona simulirani su procesi difuzionog prenosa radona za različite vrednosti difuzione konstante. Simulacijom je ustanovljena zavisnost između vremena uspostavljanja stabilnog stanja i difuzione konstante i predstavljena difuzionom krivom. Eksperimentalno određujući vreme koje je potrebno da bi se postiglo stabilno stanje kroz uzorak i koristeći difuzionu krivu, dobijenu simulacijom, određen je koeficijent difuzije za beton koji je po svom sastavu tipičan za izgradnju stambenih i poslovnih objekata u Srbiji.

EKSPERIMENTALNO ODEREĐIVANJA
VREMENA POSTIZANJA STABILNOG STANJA
PRI DIFUZIONOM PRENOSU RADONA KROZ BETON

Da bi se eksperimentalno odredio koeficijent difuzije radona kroz datu vrstu betona potrebno je odrediti koliko se atoma radona prenese kroz uzorak od betona u toku nekog perioda vremena.

Za eksperimentalno merenje difuzionog prenosa radona kroz uzorak betona potrebno je ostvariti razliku u koncentraciji radona kroz sam uzorak od betona. Eksperiment je izveden tako što su napravljene dve komore sa različitom koncentracijom između kojih je smešten uzorak od betona. Jedna, velika komora, unu ar koje je ostvarena visoka koncentracija radona i druga mala komora, sa niskom koncentracijom. Mala komora sa niskom koncentracijom je spojena sa jednom stranom uzorka i zajedno sa njim predstavlja sondu koja se tokom eksperimenta smešta u veliku komoru čime su ostvareni traženi uslovi.

Procedura započinje smeštanjem radijumskog izvora, ^{226}Ra, u veliku komoru. Da bi se u velikoj komori ostvario konstantan nivo koncentracije radona potrebno je da njegovi atomi stupe u radioaktivnu ravnotežu sa atomima radijumaNakon ovog perioda u velikoj komori je uspostavljena ravnoteža i obezbeđen konstantan nivo koncentracije radona i može se pristupiti izvođenju kalibracije i eksperimenta.

Koncentracija radona u obe komore je određena trag detektorima CR39 smeštenim u difuzionim čašama. Gustina tragova koju formiraju radon i njegovi kratkoživeći produkti raspada na detektoru unutar komore proporcionalna je koncentraciji radona i vremenu kojem je izložen detektor.

$$C = kn \tag{1}$$

gde je :

- n broj tragova po jedinici površine u jedinici vremena izlaganja
- C koncentracija radona kojoj je izložen zatvoreni trag detektor
- k kalibracioni koeficijent koji za naše uslove eksperimenta iznosi:

$$k = 16{,}01 \ \frac{\frac{Bq}{m^3}\,dan}{\frac{trag}{cm^2}}$$

U velikoj komori koncentracija radona je jednovremeno merena i sa kanistrom sa aktivnim ugljem prema EPA protokolu. Da bi se odredilo vreme potrebno za postizanje stabilnog stanja kroz uzorke od betona pri difuzionom prenosu radona sonde sa jednakom debljinom uzorka su izlagane konstantnoj koncentraciji radona za različite periode izlaganja. U tabeli 1 su date vrednosti broja tragova na trag detektorima smeštenim u maloj i velikoj komori koji su različito vreme bili izloženi radonu. Na osnovu broja tragova i kalibracionog koeficijenta određene su koncentracije radona u maloj i velikoj komori za različito vreme izlaganja. Nakon izlaganja detektori su hemijskim putem nagrizani u 6M rastvoru NaOH na temperaturi od 70 ^{0}C u periodu od 6 sati. Nagrizanja su vršena na Institutu za Fiziku Prirodnomatematičkog Fakulteta u Kragujevcu. Pri ovim uslovima brzina nagrizanja neoštećene površine detektora približno iznosi 1μm/satu. Detektor je očitavan optičkim mikroskopom širine vidnog polja 0.295 mm.

Na osnovu izraza 1 i vrednosti kalibracionog koeficijenta *k*, određenog kalibracijom, i broja tragova po jedinici površine za jedan dan izlaganja od 2033 trag/cm^{2}dan dobijena je vrednost 32542 Bqm^{-3} , što predstavlja srednju vrednost koncentracije sa merne strane uzorka kada je osnova izložena stalnoj koncentraciji od 37000 Bqm^{-3} nakon 12 sati izlaganja. Analizirajući vrednosti koncentracije dobijene sa suprotne strane cilindričnog uzorka (u maloj komori) predstavljene u tabeli 1, i znajući da je stabilno stanje je postignuto onog trenutka kada između dva uzastopna intervala vremena nije došlo do vidnog povećanja koncentracije, odnosno, kad je postignuto 90% koncentracije kojoj je izložen uzorak od betona može se zaključiti da je stabilno stanje postignuto nakon 12 sati izlaganja.

Srednja vrednost koncentracije u velikoj komori dobijena je usrednjavanjem vrednosti koncentracija dobijenih zatvorenim trag detektorima koji su bili u velikoj komori. Ovako dobijena srednja vrednost iznosi 36894.92 Bq m^{-3}.

Tabela 1.

Uzorci iste debljine	Detektori izlagani u maloj komori			
Sonda	Vreme izlaganja (sat)	trag/cm2	tr./cm2 dan	Conc Bq/m3
1	6	389.8 ± 19.7	1559.3 ± 39.4	24949±100
2	12	1016.9 ± 31.8	2033.8 ± 45.0	32542±100
3	24	2090.3 ± 45.7	2067.7 ± 45.4	33084±100
4	30	2593.2 ± 50.9	2074.5 ± 45.5	33193±100
	Detektori izlagani u velikoj komori			
Sonda	Vreme izlaganja (sat)	trag/cm2	tr./cm2 dan	Conc Bq/m3.
A	6	576.2 ±24.0	2305.0 ±48.0	36881±100
B	12	1152.5 ±33.9	2305.0 ±48.0	36881±100
C	24	2322.0 ±48.1	2322.0 ±48.1	37152±100
D	30	2864.4 ±53.5	2291.5 ±47.8	36664±100

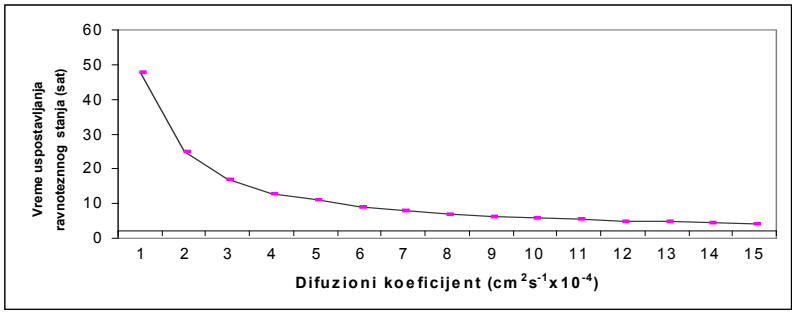
U drugom delu eksperimenta uzorci različite debljine su bili u jednakom vremenskom intervalu izloženi visokoj koncentraciji radona u velikoj komori. Tabela 2 prikazuje broj tragova zatvorenih trag detektora i odgovarajuće koncentracije dobijene u malim komorama sondi u kojima su bili smešteni uzorci od betona različite debljine. Kao i u prvom delu eksperimenta sonde sa uzorcima betona bile su izložene konstantnom nivou koncentracije radona u velikoj komori od 37000 Bqm^{-3}. Tokom rada sa zatvorenim detektorima zbog jednakih uslova izlaganja filter sa difuzionih čaša je uklanjan trenutno po završetku perioda izlaganja, a sami detektori su od daljeg izlaganja zaštićeni u aluminijumskim folijama do procesa nagrizanja.

Tabela 2 Broj tragova zatvorenih trag detektora i odgovarajuće koncentracije

Sonda	Debljina (cm)	Vreme izlaganja (sat)	trag/cm^2	tr./cm2 dan	Koncentracija Bq/m^3
5	1	12	1118.6±33.4	2237.2±47.2	35796±100
6	2	12	1067.7±32.6	2135.5±46.2	34169±100
7	3	12	1033.8±32.1	2067.7±45.7	33084±100
8	4	12	1016.9±31.8	2033.8±45.0	32542±100

U ovom radu je definisan model zasnovan na Metodi Konačnih Elemenata (MKE) kojim se simulira difuziju radona kroz cilindar u obliku diska od betona. Model tretira proces difuzije uzimajući pritom u obzir radioaktivni raspad radona u poroznom sloju. Diferencijalna jednačina, koja opisuje transport radona kroz sloj betona, se zamenjuje sistemom jednačina konačnih elemenata koje se kompjuterski rešavaju. Kao rešenje, model daje prostorno vremensku raspodelu koncentracije radona na suprotnoj površini diska od betona i ukupnu količinu radona koja se emituje sa te površine.
Simulacijom je ustanovljena zavisnost između vremena uspostavljanja ravnotežnog stanja i difuzione konstante preko difuzione krive.sl1. Kombinujući eksperimentalno dobijene podatke o vremenu uspostavljanja ravnotežnog stanja sa podacima dobijenim na modelu određen je koeficijent difuzije za beton koji je po svom sastavu tipičan za izgradnju stambenih i poslovnih objekata u Srbiji.

Nađeno je da koeficijent difuzije iznosi $D = 4{,}3 \times 10^{-8}\ m^2 s^{-1}$.



Slika 1. Zavisnost vremena uspostavljanja ravnotežnog stanja od vrednosti difuzione konstante

Za ocenu valjanosti modela izvršeno je poređenje podataka dobijenih simulacijom sa eksperimentalnim.

Dobri rezultati dobijeni simulacijom sugerišu da model adekvatno opisuje fenomen difuzionog prenosa radona kroz beton uzimajuæi u obzir i pojavu radioaktivnog raspada. Znaèi, model može poslužiti za jedan novi pristup problemu određivanja koeficijenta difuzije radona ako je poznato vreme postizanja stabilnog stanja pri difuzionom prenosu radona. Može se tretirati situacija sa konstantnim i realnija sa promenljivim nivoom radona.

ZAKLJUČAK

Poznavanje difuzionih karakteristika betona kao homogenog poroznog medija pokazuje u kojoj meri difuzija kao proces učestvuje u transportu radona i doprinosi ukupnoj koncentraciji u zatvorenom prostoru, ili, alternativno može pokazati mogućnosti betona da deluje kao barijera transportu radona iz tla.

Ovi rezultati mogu biti iskorišćeni za poboljšanje postojećih tehnologija izgradnje betonskih konstrukcija koje bi smanjile prodor radona iz tla u stambene prostorije. Optimizacija bi se sastojala u određivanju vrste, sastava i debljine betonske

ploče kojom bi se smanjio prodor radona iz tla u stambene prostorije i nivo njegove koncentracije zadržao u dozvoljenim granicama.

LITERATURA

[1] (Kendrick, D.T.;Langner, G.H. 1991) Kendrick, D.T.;Langner, G.H. Direct measurement of radon flux through structure boundaries on differential pressure.In: The 1991 International Symposium on Radon and Radon Reduction Technologu. Vol.3:V-6 Philadelphia:U.S.EPA;1991.

[2] (Kojić, M. 1996) Kojić, M., Slavković, R., Živković, M., Grujović, N., Filipović, N.1996. PAK–A General–Purpose Finite Element Program for Structural Analysis, heat Conduction, Coupled Problems and Biomechanics, Faculty of Mechanical engineering, University of Kragujevac, Serbia – Yugoslavia;.

[3] (Renken, J.K. and T. Rosenberg ,1995) Renken, J.K. and T. Rosenberg Laboratory measurements of the transport of radon gas through concrete samples. Health Phys. 68:800-808; 1995.

KOMPJUTERSKI PROGRAM ZA DOZIMETRIJSKI MODEL RESPIRATORNOG TRAKTA

D. Nikezić, D. Vučić[1] i K.N. Yu[2]
Prirodno matematički fakultet, Kragujevac
[1] Tehnološki fakultet, Leskovac
[2] City University of Hong Kong,, Department of Physics and Material Sciences
– predavanje po pozivu –

SADRŽAJ

U radu je ukratko opisan program za dozimetrijski model ljudskog respiratornog trakta. Dati su neki rezultati i poređenje sa rezultatima drugih autora.

UVOD

Dozimetrijski modeli ljudskog respiratornog trakta se razvijaju od sredine četrdesetih godina prošloga veka. Početak njihovog razvoja je iniciran potrebom zaštite ljudi koji su radili u uranskim rudnicima i u nuklearnoj industriji na preradi nuklearnog goriva i proizvodnji plutonijuma. Njihov razvoj praćen je velikim brojem neodređenosti po pitanju mnogobrojnih parametara koji ulaze u model. Ove neodređenosti su smanjivane tokom vremena, međutim mnoge od njih su preostale i danas.

Kao glavni događaj na ovom polju u protekloj deceniji smatra se pojava izveštaja Međunarodne Komisije za zaštitu od zračenja (ICRP), tzv. publikacija ICRP66 [1]. U ovom izveštaju Komisija je obavila detaljnu analizu svih "pod-modela" i parametara koji ulaze i grade dozimetrijski model ljudskog respiratornog trakta. U Anexima izveštaja su dati mnogobrojni podaci koji se odnose na depoziciju aerosola, njihovo čišćenje i translokaciju u respiratornom traktu, apsorbovanu frakciju alfa, beta i gama zračenja i dr.

Međutim, i pored tako obimnog izveštaja i velikog broja datih podataka, korišćenje modela je otežano, ako ne i skoro onemogućeno, jer zahteva određene računarske programe. Istraživači koji su bili u Komisiju i koji su pripremili ICRP66 su svojevremeno prestavili kompjuterski program LUDEP (Lung Dose Evaluation Program). Iako je ovaj program bio namenjen računanju doze u plućima, napravljen je znatno šire, tako da omogućava računanje doze prema biodozimetrijskim modelima za celo čovečje telo od raznih kontamitanata i tako je načinjen nepraktičnim za potrebe dozimetrije radona u respiratornom traktu, tj. plućima. Uvidevši ovu manjkavost LUDEP-a autori su napravili program RADEP (Radon Dose Evaluation Program) koji je namenjen za računanje doze u ljudskom respiratornom traktu od udahutih potomaka radona. Po startovanju programa RADEP otvore se dijalog boxovi u kojima se definišu parametri koji ulaze u model. Samo računanje traje veoma kratko, reda nekoliko sekundi, i kao izlazni rezultat dobija se dozni konverzioni koeficijenat tj. efektivna doza po izlaganju radonovim potomcima u

mSv/WLM. Program ne daje nikakve informacije o međurezltatima niti tok samog računanja. Pretpostavljamo da je u pozadini računanja napravljen niz tabela odakle se potrebni podaci dobijaju linearnom inteerpolacijom i da se pravi račun u stvari i ne sprovodi.

SOFTWARE ZA DOZIMETRIJSKI MODEL RESPIRATORNOG TRAKTA

I pored postojanja RADEP i LUDEP programa (koji još uvek nisu komercijalno dostupni) potreba razvoja ovakvog softvera se nametnula usled nemogućnosti dobijanja nikakvih međurezultata pri njihovom korišćenju. Ovo je bila inicijalna potrebna, a kasniji višegodišnji rad je pokazao opravdanost razvoja takvog softvera. Na primer, potrebno je računati doze, ne samo za standaradnog Caucassian čoveka, već i za mnogobrojne druge starosne i etničke grupe. Pored toga razvoj sopstvenog softvera natera istraživače na detaljno sagledavanje i razumevanje celokupne problematike.

Softver za dozimetrijski model ljudskog respiratornog trakta se sastoji od više računarskih programa. Ukupno je razvijeno 4 programa i svi su napisani u standardnom FORTRAN90 programskom jeziku. Rad na njihovom razvoju, ispitivanju i usavršavanju traje i dalje.

Prvi progam DOSE_CONV_COEF.F90 računa absorbovanu frakciju alfa čestica u osetljivim ćelijama traheobronhijalnog stabla. Detaljan opis fizičke osnove ovog programa i samog programa dat je u radu [2]. U programu se koriste zaustavne moći za alfa čestice u tkivu i u vazduhu prema podacima datim u izveštaju ICRU49 [3]. Model zida vazdušnih puteva (bronhija i bronhiola) je preuzet iz ICRP66. Ovaj program je iskorišćen za računanje absorbovane frakcije alfa čestica u osetljivim ćelijama traheobronhijalnog stabla u zavisnosti od debljine slojeva raznih ćelija koje grade zid cevi kroz koje se kreće vazduh i rezultati su dati u radu [4].

Drugi program nazvan ICRP66_DEPOS.F90 računa depoziciju aerosola u različitim regionima respiratornog trakta. Program u potpunosti prati algebarski model depozicije aerosola koji je dat u ICRP66. Program daje procenat depozicije (tzv. regionalna depoyicija) u pet različitih regiona respiratornog trakta u odnosu na udahnutu aktivnost, u zavisnosti od ekvivalentnog dijametra aerosola.

Radioaktivni aerosoli u vazduhu su raspoređeni prema lognormalnoj distribuciji sa karakterističnom medijanom i geometrijskom standaradnom devijacijom. Razlikuju se slobodna (nepripojena) frakcija sa dijametrom oko 1.1 nm i pripojena frakcija sa dijametrima od 50 nm pa sve do reda nekoliko stotina μm. Prema nekim autorima pripojena frakcija radonovih potomaka pokazuje tri-modalnu distribuciju (tri mode su nazvane: nucleation, accumulation i coarse mode), dok, opet, prema drugima, postojanje ovih frakcija u pripojenoj fazi nije potpuno sigurno dokazano. Napravljena su dva programa: LOG_NORMAL.F90 i LOG_NORMAL3.F90 za sabiranje prema log normalnoj raspodeli; prvi se odnosi na jednomodalnu i drugi se odnosi na trimodalnu raspodelu pripojenih potomaka. Ova dva programa daju ukupnu aktivnost koja se pri jednom udisaju i izdisaju nataloži u različitim regionima respiratornog trakta. Prema samim autorima ICRP66 glavni napredak u modelima respiratornog trakta u zadnjih nekoliko decenija je upravo učinjen u razumevanju i modelovanju depozicije radioaktivnih aerosola u plućima.

Četvrti program CLEARANCE.F90 računa ravnotežnu aktivnost radonovih potomaka u regionima respiratornog trakta. Uspostavlja se ravnoteža između nataložene i donete (iz drugih regiona) količine radonovih potomaka u nekom regionu sa jedne strane i

količine prenete iz tog regiona i smanjenja usled raspada sa druge strane. Balans se opisuje nizom linearnih diferencijalnih jednačina, po jedna jednačina za svaki potomak u svakom regionu. Inače, prema ICRP66 regioni čišćenja se razlikuju od regiona depozicije: ima ukupno 5 regiona za depoziciju, koji se nazivaju filteri, dok ima 17 različitih regiona za čišćenje. U kasnijim publikacijama autora ICRP66, model čišćenja je uprošćen tako što su neki regioni zanemareni ili su propojeni drugim [5].

U istom programu CLEARANCE.F90 obavljaju se i dodatni računi: ravnotežna aktivnost se množi sa vremenom izlaganja sa ciljem dobijanja broja emitovanih alfa čestica za date uslove izlaganja. Dobijeni broj alfa čestica se dalje množi sa energijom alfa čestica (6 MeV za ^{218}Po i 7.69 MeV za ^{214}Po), a potom i sa apsorbovanom frakcijom u osetljivim ćelijama. Na taj način dobija se energija apsorbovana u tim ćelijama. Deljenjem sa masom osetljivog sloja dobija se, konačno, srednja apsorbovana doza u osetljivim ćelijama za date uslove izlaganja radonovim potomcima.

Izračunavaju se apsorbovane doze u bazalnim i sekretornim ćelijama u bronhijalnom, BB, regionu ($D_{bas,BB}$ i $D_{sec,BB}$) i apsorbovana doza u sekretornim ćelijama u bronhiolarnom, bb, regionu ($D_{sec,bb}$). Nakon dobijanja srednje apsorbovane doze obavlja se utežnjavanje doza. Utežnjavanje se obavlja na sledeći način: srednja apsorbovana doza D_{BB} u BB se dobija kao $D_{BB}=0.5D_{bas,BB}+0.5D_{sec,BB}$.

Ovde je implicitno sadržana pretpostavka o jednakoj osetljivosti bazalnih i sekretornih ćelija na alfa zračenje. Dozu u bb, $D_{bb}=D_{sec,bb}$ nije potrebno utežnjavati na ovaj načine jer postoji samo jedna meta (sekretorne ćelije).

Množenjem srednjih apsorbovanih doza sa radijacionim težinskim faktorom za alfa čestice ($w_R=20$) dobijaju se ekvivalentne doze H_{BB} i H_{bb} u bronhijalnom i bronhiolarnom regionu. Ove dve doze se dalje sabiraju na sledeći način $H_{TB}=0.333H_{BB}+0.333H_{bb}$ i dobija se ekvivalenta doza u traheobronhijalnom stablu (bez alveolarnog dela). Faktor utežnjavanja 0.333 pretpostavlja jednaki rizik za nastajanje kancera u BB i bb regionima. Treća trećina od 0.333 je rezervisana za alveolarni deo. Međutim, kako je doza u ovom delu znatno manja, u našim programima je ona (za sada) izostavljena. Po našem ličnom mišljenju, čudno je da je Komisija ostavila isti težinski faktor 0.333 i za alveolarni deo kao i za BB i bb, iako je broj kancera u alveolarnom delu znatno manji. I ovo je opravdano nepostojanjem dovoljnog broja podataka o radijacionoj štetnosti da bi se izveli neki pouzdaniji težinski faktori. Na kraju se H_{TB} množi sa $w_L=0.12$, tj. tkivnim težinskim faktorom za respiratorni trakt čime se dobija efektivna doza (u mSv). Dobijena vrednost se deli sa ukupnom izloženošću radonovim potomcima koja je pretpostavljena u računanju i tako se dobija konverzioni koeficijenat.

REZULTATI

Neki rezultati programa su upoređeni sa rezultatima [5] u ICRP66 u tabeli 1.

Tabela 1. Apsorbovane doze u različitim metama ljudskog respiratornog trakta prema Marsh i Birchall (2000) i rezulati ovog rada

Tkivo meta	Marsh i Birchall (2000) [5]	Ovaj rad
Boronhijalne basalne ćelije, $D_{BB,bas}$	5.4 mGy/WLM	5.4 mGy/WLM
Bronhijalne secretorne ćelije $D_{BB,sec}$	12.4 mGy/WLM	12.5 mGy/WLM
Bronhijalna doza ($0.5D_{BB,bas}+0.5\ D_{BB,sec}$)	8.9 mGy/WLM	9.0 mGy/WLM
Bronhiolarna doza D_{bb}	9.2 mGy/WLM	10.5 mGy/WLM
Thoracic	123 mSv/WLM	130 mSv/WLM
Dozni konverzioni koeficijenat	15 mSv/WLM	16 mSv/WLM

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Software razvijen za potrebe dozimetrijskog modela respiratornog trakta daje rezultate koji su vrlo bliski rezultatima publikovanim od strane Marsha i Birchalla (2000) [5]. Izvesna razlika, oko 15 %, se pojavljuje u rezultatima za dozu u sekretornim ćelijama u bronhiolarnom delu. Poreklo ove razlike nije jasno! Ova razlika dalje uslovljava nešto veći dozni konverzioni koeficijenat od 16 mSv/WLM prema 15 mSv/WML koliko daje ICRP66, tj [5]. Ovu razliku ne smatramo numerički značajnom već je pre podstrek za dalje ispitivanje i usavršavanje naših programa.

Mišljenja smo da naš rad u stvari potvrđuje vrednost doznog konverzionog koeficijenta od 15 mSv/WML koji sledi iz dozimetrijskog modela. Ovim je jedna značajna naučna dilema ostala i dalje na snazi. Naime prema epidemiološkim studijama, vrednost doznog konverzionog koeficienta je oko 5 mSv/WML i ova vrednost (a ne 15 mSv/WML) je preporučena za korišćenje pri proračunu doza i rizika od radonovih potomaka, i to od strane same Komisije koja je razvila ICRP66. Ona značajna razlika ostaje i dalje, i pored ogromnih napora koji su učinjeni na razvijanju i usavršavanju dozimetrijskih modela. Mnogobrojne neodređenosti koje postoje u modelu nisu dovoljne da objasne ovu veliku razliku između epidemiološke i dozimetrijske vrednosti. Ova razlika je verovatno rezultat dejstva više faktora: na primer ako se doza ne računa u sloju koji sadrži osetljive ćelije (kao što to radi i predlaže ICRP66), već samo u jezgrima osetljivih ćelija koja ispunjavaju tek mali deo sloja [6] dobija se dozni koeficijenat između 10 i 11 mSv/WML.

LITERATURA

[1] ICRP66. *Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection.* Oxford Pergamon (1994)

[2] D. Nikezić, A.K.M.M.Haque and K.N.Yu. *Dose conversion coefficients of radon progeny alpha particles in sensitive cells of trachobronchial tree.* Accepted in Journal of Environmental Radioactivity. (2001)

[3] International Commission of Radiation Units and Measurements *Stopping powers and ranges for protons and alpha particles*. ICRU Report 49. International Commission of Radiation Units and Measurements, Maryland. USA (1993)

[4] D. Nikezić, K.N.Yu and D.Vučić. *Absorbed Fraction and Dose Conversion Coefficients of Alpha Particles for Radon Dosimetry*, Phys. Med. Biol. 46, (7), 1963-1973. (2001)

[5] J.W.Marsh i A. Birchall. *Sensitivity analysis of the weighted equivalent lung dose per unit exposure from radon progeny*. Radiat Prot Dosim 87, 167-178 (2000)

[6] D. Nikezić and K.N. Yu. M*icro-dosimetric calculation of absorption fraction and the resulted dose conversion factor for radon progeny*. Podneto za štampu u Radiation Environment and Biology (2001)

ABSTRACT

COMPUTER SOFTWARE FOR LUNG DOSIMETRIC MODEL

D. Nikezić, D. Vučić[1], K.N. Yu[2]

Faculty of Sciences, University of Kragujevac, Yugoslavia

[1] Faculty of Technology, University of Niš, Leskovac, Yugoslavia

[2] City University of Hong Kong, Department of Physics and Material Sciences

The brief description of the computer software for human respiratory tract dosimetric model is given. Our results were compared with those given by Marsh and Birchall [5] and good agreement was found.

ПОДЕШАВАЊЕ ФУНКЦИЈЕ КОЈА ОПИСУЈЕ КИНЕТИКУ МЕШОВИТОГ РЕДА

З. Вејновић, М. Павловић[1] и М. Давидовић[1,2]
Институт безбедности, Београд
[1]Институт за нукларне науке Винча, Београд
[2]Електротехнички факултет, Београд

САДРЖАЈ

Теоријски изведена функција која описује модел кинетике мешовитог реда је преуређена и затим су извршене одређене апрокцимације. Циљ овог поступка је добијање погодне функције која може да се користи за подешавање експериментално добијене термолуминесцентне функције са једним максимумом. Добијена функција са којом може да се врши подешавање има пет параметара од којих три могу приближно да се одреде са експерименталне криве.

УВОД

Подешавање експериментално добијених термолуминесцентних (ТЛ) кривих са одговарајућим познатим функцијама омогућава прецизније израчунавање параметара који карактеришу неки ТЛ материјал и прецизније израчунавање интеграла функције ТЛ интензитета преко кога се одређује доза зрачења [1]. Због тога се посебна пажња придаје што тачнијем и једноставнијем методу подешавања. За моделе који се могу приказати аналитичким функцијама као што су модели кинетике првог, другог и општег реда изведене су апроксимативне функције које веома прецизно приказују одговарајуће ТЛ криве [2]. Поред тога постоје и други аналитички и нумерички методи подешавања који се користе и који сваки посебно имају одговарајуће предности у односу на друге методе подешавања [3]. При сваком подешавању је веома важно постићи одговарајућу сагласност између експериментално добијене функције и модела који треба да опише ТЛ интензитет. Модели кинетике првог, другог и општег реда описују идеалне материјале који се у стварности ретко срећу и због тога имају пре свега теоријски карактер. Због тога је важно развити методе подешавања и за случајеве сложеније кинетике односно за моделе који поред концентрације трапова и центара светљења имају и друге центре захвата што је ближе реалности.

Модел кинетике мешовитог реда полази од претпоставке да на кинетичке процесе у неком ТЛ материјалу поред трапова и центра светљења утицај имају и дубоки трапови [4]. Општа карактеристика ових трапова је да се не празне у процесу релаксације, али могу да се попуњавају у процесима ретраповања. У случају када се

врши процес ретраповања таква кинетика се назива "интерактивна" а уколико процес ретраповања изостаје или је занемарљив таква кинетика се назива "неинтерактивна". Добијање функције која аналитички описује ТЛ интезитет није могућ у општем случају и тада се решења могу добити само нумеричким методама. Само за случај "неинтерактивне" кинетике мешовитог реда и то за неке одређене случајеве могуће је приказати ТЛ интензитет у аналитичком облику.

Модел кинетике мешовитиг реда важи за случај када ТЛ материјал садржи по једну врсту трапова, центара светљења, активних трапова и дубоких трапова и када нема ретраповања на дубоке трапове односно када важи било који или оба услова $\gamma_t(N\text{-}n)>>\gamma_l(H+h)$ и $\gamma_t=\gamma_l=\gamma$. У наведеним релацијама N је концентрација трапова, n је концентрација електрона у траповима, H је концентрација дубоких трапова, h је концентрација електрона у дубоким траповима, γ_t је вероватноћа ретраповања, γ_l је вероватноћа захвата електрона од стране центара светљења и γ је заједничка вероватноћа ретраповања и захвата од стране цетара светљења када су те вредности исте. За ТЛ интензитет I се добија следећа релација [4]:

$$I=\frac{s^{(h)}h\alpha\exp\left[\frac{s^{(h)}}{R}\int_0^T\exp\left(-\frac{E}{kT'}\right)dT'\right]}{\left\{\exp\left[\frac{s^{(h)}}{R}\int_0^T\exp\left(-\frac{E}{kT'}\right)dT'\right]-\alpha\right\}^2}\exp\left(-\frac{E}{kT}\right), \tag{1}$$

где су $s^{(h)}$ преекспоненцијални фактор који зависи од ТЛ материјала, E је активациона енергија активних трапова, k је вредност Болцманове константе, T је темпаратура на којој се одвија процес релаксације, R је брзина линеарне промене темпаратуре и α је константа која зависи од почетних услова и има облик $n_0/(n_0+h)$ за n_0 почетну концентрацију електрона у активним траповима.

ИЗВОЂЕЊЕ ФУНКЦИЈЕ ПОДЕШАВАЊА

Када се израчуна први извод функције (1) и изједначи са нулом добија се израз са вредностима параметара који важе за максимум ТЛ криве [6]:

$$\left[\exp(IT_m)-\alpha\right]\left[\frac{s^{(h)}}{R}\exp\left(-\frac{E}{kT_m}\right)+\frac{E}{kT_m^2}\right]=2\frac{s^{(h)}}{R}\exp(IT_m)\exp\left(-\frac{E}{kT_m}\right) \tag{2}$$

где је:

$$IT_m=\frac{s^{(h)}}{R}\int_0^{T_m}\exp\left(-\frac{E}{kT'}\right)dT'$$

Када се горњи интеграл апроксимира са приближном функцијом у облику реда и задрже се само прва два члана добија се [2]:

$$IT_m=Z_m=\frac{s^{(h)}}{R}\frac{kT_m^2}{E}\exp\left(-\frac{E}{kT_m}\right)(1-D_m)$$

где је $D_m=2kT_m/E$. Затим се врши сређивање израза тако што се поред једначине (2) користе једначина (1) за вредност T_m и релација за одређивање концентрације електрона n_m у траповима за вредност T_m:

$$n_m = \frac{h\alpha}{\exp(Z_m) - \alpha} \tag{3}$$

Да би се добијени израз поједноставио уводи се ефективна вредност дела полуширине према крају ТЛ криве односно дела полуширине од максимума до вредности темпаратуре на делу криве према већој темпаратури. Вредност овог параметра је дефинисана релацијом [7]:

$$\delta_{eff} = \frac{Rn_m}{I_m} = \int_{T_m}^{\infty} i dT \tag{4}$$

У овом изразу I_m је максимална вредност ТЛ интензитета, а i је нормализована ТЛ функција добијена експериментално односно функција која се подешава. Овде се види да се део ефективне полуширине добија интеграцијом дела нормализоване ТЛ криве од вредности темпаратуре за максимум па до краја функције. После сређивања се добија функција подешавања која има следећи облик:

$$I = \frac{2I_m\left(D_m - \frac{\delta_{eff}}{T_m}\right)\left\{\exp\left[\left(D_m \frac{T_m}{\delta_{eff}} - 1\right)(1 - D_m)\right] - \alpha\right\}}{D_m} \bullet$$

$$\bullet \frac{\exp\left\{\left(D\frac{T}{\delta_{eff}} - \frac{T^2}{T_m^2}\right)\exp\left[\left(\frac{E}{kT}\frac{\Delta T}{T_m}\right)(1 - D)\right]\right\}\exp\left(\frac{E}{kT}\frac{\Delta T}{T_m}\right)}{\left\{\left(D\frac{T}{\delta_{eff}} - \frac{T^2}{T_m^2}\right)\exp\left[\left(\frac{E}{kT}\frac{\Delta T}{T_m}\right)(1 - D)\right] - \alpha\right\}^2} \tag{5}$$

У овом изразу су $D=2kT/E$ и $\Delta T=T-T_m$.

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

За разлику од изворне функције модела кинетике мешовитог реда (1), у аналитичком изразу функције (5) са којом може да се подешава ТЛ крива са једним максимумом нема интеграла. У том смислу ова функција је поједностављења. Уместо интеграла узета су прва два члана развоја реда. Ред се развија по степенима параметра D. Пошто је ова вредност мања од нуле (максимална вредност око 0.2), а најчешће и много мања од нуле (просечна вредност око 0.06) може се закључити да је ова тачност сасвим довољна за прецизно подешавање параметара ТЛ криве исијавања која је добијена експериментално. За тачност процеса подешавања је важно да овај процес конвергира. У овом случају је то остварено. За брзину и тачност подешавања је важно изабрати приближне почетне вредности параметара који се подешавају. То су максимална вредност ТЛ криве I_m, максимална вредност темпаратуре T_m, активациона енергија E, константа α и ефективна вредност дела

полуширине δ_{eff}. Почетне вредности три параметра I_m, T_m и δ_{eff} је могуће одредити директно из криве јер су то геометријски параметри криве исијавања који је карактеришу. Параметри активационе енергије E и константе α се могу могу приближно проценити. Вредности активационе енергије се процењују у односу на ширину забрањене зоне ТЛ материјала и на енергетску дубину трапа који је приближно одређен темпаратуром максумума. Ова вредност је најчешће око 1 eV. Са друге стране вредност константе је очигледно мања или једнака 1 или већа или једнака 0. Код функције подешавања је из израза елиминисан параметар који се назива преекспоненцијални фактор који због велике вредности у односу на остале факторе може да прави потешкоће у процесу подешавања. На основу добијених вредности подешавањем преекспненцијални фактор се може израчунати на основу изведених теоријских израза [6]. Из истог разлога је и уведен фактор δ_{eff} чија вредност је у оквиру вредности и осталих фактора.

Предност овог начина одређивања ТЛ параметара у односу на остале могуће начине подешавања и израчунавања, а пре свега у односу на нумеричке методе, је у тачности што произилази из чињенице да је израз изведен из теоријског израза и у једноставности што произилази из чињенице да се користи само један аналитички израз.

За дозиметрију је значајна чињеница да је модел кинетике мешовитог реда практично значајнији од модела који су горе поменути и за које постоје одговарајуће функције подешавања. Са једне стране то би значило тачније подешавање експерименталних кривих, а са друге стране прецизније одређивање апсорбованих доза зрачења.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Sunta C.M., Kulkalni R.N., Piters T.M., Feria Ayta W.E., and Watanabe S., 1998., J.Phys.D-Appl.Phys., 31, 2074

[2] Kitis G., Gomez-Ros J.M. and Tuyn J.W.N., 1998, J.Phys. D- Appl.Phys 31, 2636

[3] Vejnovi} Z., Pavlovi} M. and Davidovi} M., 1999., J.Phys.D-Appl.Phys 32,72

[4] Chen R., Kristianpoller N., Davidson Y and Visocekas R., 1981., J.Lumin 23, 293

[5] Vejnovi} Z. i Davidovi} M., 2000, Kongres metrologa Jugoslavije 2000.-Zbornik radova na CD, br.062

[6] Shambhunath Sing W., Dorendrajit Sing S. and Mazumdar P.S., 1998, J,Phys-Condens.Matter 10, 4937

[7] Vejnovi} Z., Pavlovi} M. and Davidovi} M. and D.Ristić, 1998, J.Lumin 78, 279

ABSTRACT

FITTING THE GLOW CURVE OF MIXED ORDER KINETICS

Z. Vejnović, M. Pavlović[1], M. Davidović[1,2]

Institute of Security, Belgrade

[1]Vinca Institute of Nuclear Science, Belgrade

[2]Faculty of Electrical Engineering, Belgrade

The theoretical function of mixed order kinetics model was recomposed and some approximates were made. The result of this procedure is the function that can be used for fitting the experimental curve having only one peak. The fitting function consists five parameters and three of them can be determined from experimental curve approximately.

ODREĐIVANJE AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA NA VIŠEDETEKTORSKOM γ-KOINCIDENTNOM SPEKTROMETRU

A.V. Berestov, B.A. Marcinkevič, A.M. Hilmanovič,
S.K. Andruhovič, N. Antović[1], P. Vukotić[1]
Institut za fiziku, Akademija nauka Bjelorusije, Minsk, Bjelorusija
[1]Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

SADRŽAJ

Prikazan je metod određivanja aktivnosti radionuklida zasnovan na registraciji intenziteta kaskada γ-zraka različite višestrukosti. Ovaj metod, primjenjiv kada je poznat izotopski sastav uzorka, obezbjeđuje ekspresnost mjerenja i dovoljno visoku osjetljivost i tačnost, ne zahtijevajući pri tom amplitudnu analizu registrovanog zračenja. Dati su i primjeri mjerenja aktivnosti ^{137}Cs i ^{134}Cs u različitim uzorcima mesa i rastinja.

UVOD

Izbor adekvatnog metoda analize registrovanog zračenja uslovljen je kako apriornom informacijom o sastavu uzorka (kvalitativnom i kvantitativnom), tako i mogućnostima samog metoda. Za određivanje aktivnosti radionuklida u uzorcima koji sadrže različite izotope, najčešće se koristi amplitudna analiza spektara dobijenih na jednokristalnim scintilacionim ili poluprovodničkim spektrometrima γ-zračenja. Upotreba amlitudne analize, iako omogućava određivanje aktivnosti uzoraka nepoznatog sastava, pri identifikaciji izotopa i mjerenju niskih aktivnosti biva ograničena (energetskom rezolucijom kod scintilacionih i efikasnošću registracije kod poluprovodničkih detektora). U ovom radu se razmatra metod određivanja aktivnosti radionuklida koji se raspadaju uz emisiju kaskada fotona različite višestrukosti (u slučaju poznatog sastava uzorka).

OSNOVE METODA I NJEGOVA EKSPERIMENTALNA PROVJERA

Za primjenu ovog metoda neophodno je da mjerni uređaj može registrovati koincidencije γ-zraka različitih višestrukosti i da se radi o uzorku koji sadrži I radionuklida koji emituju kaskade γ-zraka različitih višestrukosti i intenziteta, a čije aktivnosti su A_i. Tada se broj koincidencija (S_k) višestrukosti k, registrovan za vrijeme mjerenja t, određuje preko [1]:

$$S_k = (\sum_{i=1}^{I} \varepsilon_{ik} A_i + F_k)t, \qquad k = 1, 2, ...K \tag{1}$$

gdje je F_k - brzina brojanja fona u režimu koincidencija višestrukosti k, ε_{ik} - efikasnost registracije i-tog nuklida u istom režimu mjerenja, a K - maksimalna višestrukost koincidencija. Vrijednosti ε_{ik} i F_k su karakteristike uređaja [2], i dovoljno tačno se određuju eksperimentalno, korišćenjem etalonskih izvora.
Za poznate vrijednosti veličina S_k, F_k, ε_{ik}, t, i poznate I i K, izraz (1) predstavlja sistem linearnih jednačina sa nepoznatim veličinama A_i, čije rješenje je moguće za $I \leq K$. Za procjenu disperzije A_i može se koristiti izraz [1]:

$$\sigma^2_{A_i} = (\Delta A_i)^2 = \sum_{l=1}^{L} (\frac{\partial A_i}{\partial x_l})^2 (\Delta x_l)^2, \tag{2}$$

gdje su Δx_l - apsolutne greške veličina koje određuju koeficijente sistema (1).

U cilju provjere metoda, na spektrometru ARGUS sa 32 NaI(Tl) detektora dimenzija (150 x 100) mm i mogućnošću mjerenja do petostrukih koincidencija [3], mjerene su aktivnosti radionuklida u smjesi (etalonski rastvori): ^{137}Cs (E_γ=662 keV - intenzitet 85 %), ^{134}Cs ($E_{\gamma 1}$=569 keV - intenzitet 15.4 %, $E_{\gamma 2}$=795 keV - intenzitet 85.4 % i $E_{\gamma 3}$=604 keV - intenzitet 97.5 %) i ^{106}Ru ($E_{\gamma 1}$=512 keV - intenzitet 20 % i $E_{\gamma 2}$=621 keV - intenzitet 9.8 %). Specificirane aktivnosti radionuklida u različitim etalonima, kao i njihove izmjerene vrijednosti, navedene su u Tabeli 1 i, u granicama greške, pokazuju dobru saglasnost.

Tabela 1.

etalon	t [s]	Aktivnost ($A_i \pm \Delta A_i$) u [Bq] ^{137}Cs	^{134}Cs	^{106}Ru
		Etalon		
I		7700±400	3100±160	1700±200
II		250±15	160±10	140±15
III		50±5	25±5	-
		Eksperiment		
I	100	7400±430	3000±175	2000±220
II	100	250±35	160±13	90±33
III	500	67±10	24±7	-

Za eksperimentalno određivanje efikasnosti registracije ε_{ik} korišćen je etalon I. Vrijeme mjerenja je bilo 1000 s i rezultati su prikazani u Tabeli 2. Relativno niska efikasnost detekcije ^{106}Ru je očekivan rezultat budući da je relativna greška određivanja njegove aktivnosti, za aktivnost uzorka od, na primjer, 10^2 Bq: $(\Delta A_i/A_i)$= 47 % [1].

Brzine brojanja fona u koincidentim režimima k = 1, 2, 3 bile su F_k = 480, 35 i 11 s^{-1}, respektivno, što jasno ukazuje na prednosti rada spektrometra u koincidentnom, u odnosu na integralni režim mjerenja.

Tabela 2.

Izotopi	ε_{ik} k=1	k=2	k=3
^{137}Cs	0.495	0.009	0.0005
^{134}Cs	0.436	0.256	0.0315
^{106}Ru	0.136	0.036	0.0012

MJERENJE AKTIVNOSTI ^{137}Cs i ^{134}Cs U UZORCIMA MESA I RASTINJA

Opisanim metodom su određene aktivnosti izotopa ^{137}Cs i ^{134}Cs u uzorcima biološke prirode (meso - Tabela 3, rastinje - Tabela 4). Ovi rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim pomoću Ge(Li) detektora i vidi se njihova dobra saglasnost. Važno je napomenuti da su spektri ovih uzoraka snimljeni u Laboratoriji za nuklearnu spektroskopiju Instituta za fiziku Akademije nauka Bjelorusije u Minsku, dvije godine nakon akcidenta u Černobilju.

Tabela 3.

Uzorak	Aktivnost, [Bq] (t=100 s) ^{137}Cs	^{134}Cs	Aktivnost, [Bq] Ge(Li) ^{137}Cs	^{134}Cs	t [s]
1	580(30)	220(15)	620(40)	240(20)	300
2	440(30)	160(10)	370(25)	130(15)	300
3	400(30)	150(10)	370(25)	120(10)	600
4	330(20)	130(10)	330(25)	100(10)	600
5	300(20)	120(10)	260(20)	80(10)	600
6	180(25)	70(20)	170(10)	60(5)	1200
7	120(25)	50(5)	130(10)	40(5)	1800
8	110(25)	40(10)	120(5)	40(4)	2000
9	70(20)	30(10)	70(5)	30(3)	3600
10	40(10)	16(4)	40(4)	12(4)	7200
11	30(10)	10(5)	30(5)	9(3)	7200
12	10(9)	8(7)	11(4)	8(8)	10800

Tabela 4

Uzorak	Aktivnost, [Bq](t=100 s) ^{137}Cs	^{134}Cs	Aktivnost, [Bq] Ge(Li) ^{137}Cs	^{134}Cs	t [s]
1	3500(190)	1140(60)	2800(190)	900(190)	100
2	3300(190)	1200(60)	3000(170)	940(60)	300
3	2700(150)	1000(50)	2700(180)	760(70)	100
4	2000(100)	760(40)	2000(130)	600(60)	100
5	1360(80)	470(30)	1030(80)	310(40)	100
6	720(40)	260(15)	590(30)	190(20)	300
7	640(40)	250(15)	590(35)	180(30)	3600
8	420(20)	130(10)	320(20)	100(10)	600
9	350(20)	110(6)	360(25)	110(10)	600

Napomena: U zagradama je navedena greška, izračunata po formuli (2) za rezultate dobijene koincidentnim metodom, kao i statistička greška (koja odgovara P = 68 %) za rezultate dobijene Ge(Li) detektorom.

Na kraju, može se zaključiti da opisani metod određivanja aktivnosti radionuklida, primjenjiv kada je poznat izotopski sastav uzorka, obezbjeđuje ekspresnost mjerenja pri dovoljno visokoj osjetljivosti i tačnosti analize i pri tome ne zahtijeva aparaturu koja obezbjeđuje amplitudnu analizu registrovanog zračenja.

LITERATURA

[1] A.V. Berestov, B.A. Marcinkevič, A.M. Hilmanovič. Opredelenie aktivnosti nuklidov metodom registracii intensivnostej kaskadov γ-kvantov različnoj množestvenosti. Preprint IF AN BSSR 515, Minsk (1988).

[2] Petrov B.F., Kraft O.E. Izvestija AN SSSR, Serija fizičeskaja 9, 1970 (1980).

[3] Andruhovič S.K., Berestov A.V. i dr. Avtomatizirovannaja registrirujušaja gamma-ustanovka sovpadenij. Preprint IF AN BSSR 409, Minsk (1986).

ABSTRACT

DETERMINATION OF RADIONUCLIDES ACTIVITIES BY MULTIDETECTOR γ-COINCIDENCE SPECTROMETER

A.V. Berestov , B.A. Marcynkevich , A.M. Hilmanovich,
S.K . Andrukhovich, N. Antovich[1], P. Vukotich[1]
Institute of Physics, National Academy of Sciences, Minsk, Belarus
[1]Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica

The method of the determination of radionuclides activities based on the registration of the cascades intensity of γ-rays of different multiplicity, has been shown. This method, applied when the isotop structure of the sample is known, enables and provides express measurement and sensibility high enough for this purpose, as well as the accuracy, meanwhile not requestioning and asking for the amplitude analysis of the registered radiation. Here are also given the examples of the measurements of ^{137}Cs and ^{134}Cs activities in different samples of meat and vegetation.

RELATIVNI DOPRINOSI VIŠESTRUKIH SUDARA KOEFICIJENTU REFLEKSIJE X-ZRAKA

D. Arsenović, D.M. Davidović[1], J.Vukanić[1]
Institut za fiziku, Zemun
[1]Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Kratko je prikazan postupak za izračunavanje doprinosa uzastopnih sudara koeficijentu refleksije X-zraka od beskonačnog poluprostora, zasnovan na analognom Monte Karlo pristupu. Prikazani su i analizirani numerički rezultati za koeficijente refleksije na vodi za dva, tri i četiri uzastopna sudara fotona X-zračenja, za energije koje se koriste u rendgenskoj dijagnostici i niže.

UVOD

Ukupni koeficijent refleksije X-zraka od beskonačnog poluprostora može u nekim slučajevima biti i do tri puta veći od onog izračunatog uzimanjem u obzir samo jednostrukog rasejanja [1]. Zato je važno uzeti u obzir i fotone reflektovane posle više sudara. Najčešće [1,2] se to radi tako što se doprinosu od jednostrukog rasejanja doda član koji opisuje višestruko rasejanje za koje se pretpostavlja da je izotropno. Za taj drugi član koriste se i poluempirijske formule u kojima su koeficijenti određeni na osnovu bogate teorijske i eksperimentalne prakse u toj oblasti. Energije za koje ti podaci postoje uglavnom su više od onih korišćenih u rendgen dijagnostici. U ovom radu mi smo izvršili istraživanje uticaja višestrukog rasejanja u oblasti baš tih energija i to analizirajući uticaj višestrukih rasejanja korak po korak dva sudara, tri sudara, četiri sudara i to bez uvođenja pretpostavke o izotropizaciji fotona u višestrukim sudarima.

METOD PRORAČUNA

U našim proračunima koristili smo metod analogne Monte Karlo simulacije. Suština metoda sastoji se u sledećem: Složeni statistički proces prolaska kvanta kroz supstanciju predstavlja se kao niz konačnog broja elementarnih slučajnih procesa; za naše energije to su slobodno kretanje kvanta na izvesnom putu, Komptonovo rasejanje kvanta u nekom pravcu i nestanak kvanta usled foto efekta. Kretanje jednog kvanta prati se ili dok ne izađe iz supstancije ili dok ne bude apsorbovan. Yatim se prati kretanje sledećeg kvanta. Reflektovani kvanti dele se u pet grupa, oni koji su pretrpeli 1,2,3, ili 4 sudara i one koji su

pretrpeli preko četiri sudara. Ako razmotrimo dovoljan broj trajektorija kvanata dobićemo neku raspodelu kvanata po veličini koja nas interesuje.

Razmotrimo to konkretnije. Prvo ćemo razmotriti simulaciju slabljenja snopa.

Generišu se slučajni brojevi u intervalu od 0 do 1. Svakom elementarnom intervalu slučajnih brojeva dA dodeljuje se interval dz po formuli

$$dA = \mu e^{-\mu z} dz$$

što posle integracije daje

$$A = 1 - e^{-\mu z}.$$

Tako se po ovoj formuli uspotavlja veza između slučajnog broja i dužine na kojoj se foton rasejao. (Ovakav pristup je opravdan pošto je i dubina prodiranja slučajna veličina).

Na potpuno analogan način pri rasejanju imamo formulu

$$dA = \frac{\frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega}{\int_{4\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega}$$

što posle integracije daje:

$$A(\theta) = \frac{2\pi \int_0^{\theta} \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta \, d\theta}{\int_{4\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega}.$$

Postupak je potom jednostavan. Prati se istorija fotona. Prvi slučajni broj daje dubinu na kojoj se rasejao, drugi i treći slučajni broj, ugao u koji se rasejao i tako redom.

REZULTATI I DISKUSIJA

Za svaku energiju posmatrana je sudbina 100.000 fotona. Rezultati za razne energije dati su u tabeli.

E[keV]	10	15	20	30	40	50	60
1:	1321	3049	5504	10007	12221	13283	13692
2:	57	367	1055	3836	5954	7285	8076
3:	4	51	287	1590	3476	4672	5494
4:	0	8	79	744	2134	3184	3970
>4:	0	2	29	860	4451	10435	16925
apsorb.	98618	96523	93046	82963	71764	61141	51843
μ_a(cm^{-1})	4,88	1,324	0,515	0,137	0,052	0,024	0,013
μ_R(cm^{-1})	0,428	0,319	0,274	0,233	0,212	0,198	0,191
μ_{tot}(cm^{-1})	5,31	1,64	0,789	0,370	0,264	0,222	0,204

Iz njih se stiče uvid u prirodu istorije rasejanih kvanata. Kad je apsorpcija dominantna, praktično svi reflektovani fotoni su iz jednostrukog rasejanja, dok je u suprotnom slučaju kretanje fotona u supstanciji dok ne napuste metu u primetnoj meri slično Braunovom kretanju.

Ova simulacija omogućuje da se brzo i efikasno za dati materijal izdvoje ove dve oblasti. Ona takođe omogućuje da se stekne uvid u karakteristike mete konačnih dimenzija u pogledu rasejanja, što će biti predmet daljeg istraživanja. Ima puno moćnih programa za Monte Karlo simulaciju, koji opisuju procese u velikim detaljima. Prednost našeg programa je u tome što se ograničio na samo dva procesa, što je za naš problem opravdano, pa je optimizovaniji od programa opšte namene.

LITERATURA

[1] A.B. Chilton, J.K. Shultis, R.E. Fau, Principles of Radiation Shielding, Prentice-Hall, Inc, 1984.

[2] К.Г. Гусев, В.П. Машкович, А.П. Суворов, Физические основы защити от излучений, Москва, Атомиздат, 1980.

ABSTRACT

THE RELATIVE CONTRIBUTIONS OF MULTIPLE COLLISIONS IN THE REFLECTION COEFFICIENT OF X RAYS

D. Arsenović, D.M. Davidović[1], J. Vukanić[1]

Institut za nuklearne nauke ”Vinča”, Beograd

[1]Institut za fiziku, Zemun

By using analog Monte Carlo simulation of the scattering of X-rays in a semi-infinite target, the procedure for calculation of the relative contribution of successive collisions in the reflection coefficient has been investigated. Numerical results for the reflection events on the basis of two, three, four and more successive collisions of X-rays with electrons of the target have been presented for the energies which are used in X-ray diagnostics, and lower ones.

KOEFICIJENT REFLEKSIJE X-ZRAKA U MODELU JEDNOSTRUKOG SUDARA

D. Arsenović, D.M. Davidović[1], J. Vukanić[1]
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd
[1]Institut za fiziku, Zemun

SADRŽAJ

Razvijen je jednostavan model za računanje ukupne verovatnoće da se foton iz uskog snopa koji upada upravno na beskonačni poluprostor, raseje unazad usled jednostrukog Komptonovog sudara. Dobijeni su, u okviru modela egzaktni, analitički izrazi za verovatnoću. Opšti rezultati su primenjeni na slučaj kada je rasejivač voda, pod istim fizičkim pretpostavkama verovatnoća je izračunata i analognim Monte Karlo postupkom i rezultati upoređeni sa egzaktnim.

UVOD

Izučavanje refleksije X-zraka od značaja je u mnogim primenama a posebno u procenama ozračenosti učesnika u rendgenskoj dijagnostici.

Teorijski najčistije problem je tretiran u radu [1] pod pretpostavkom da se izotropni izvor zračenja nalazi vrlo blizu granične ravni beskonačnog rasejivača i da je dominantan jednostruki sudar. U ovom radu postavku problema menjamo utoliko što posmatramo slučaj uskog paralelnog snopa zrakova koji upadaju upravno na rasejivač. Deo dobijenih rezultata može se generalisati i na slučaj širokog snopa paralelnih zrakova.

TEORIJA

Razmotrimo refleksiju fotona usled jednostrukog sudara. Osnovne geometrijske veličine koje karakterišu proces prikazane su na sl. 1.

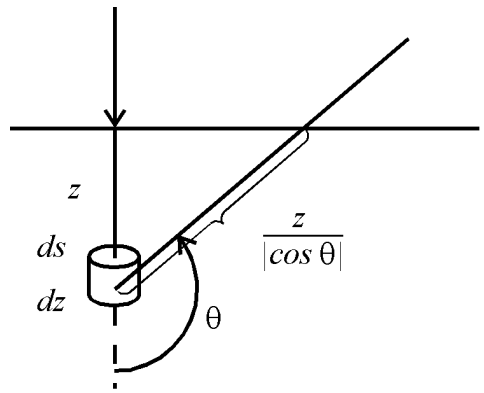
Broj fotona u jedinici vremena koji prodru do elementa zapremine dV i u njemu se raseju na elektronima u prostorni ugao $d\Omega$ oko pravca definisanog uglom θ a potom napuste rasejivač, dat je izrazom:

$$dN = n_u e^{-\mu z} n_e dV \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) e^{-\mu \frac{z}{|\cos\theta|}} d\Omega$$

gde je n_u - broj upadnih fotona u jedinici vremena po jedinici površine,

n_e - zapreminska gustina elektrona u rasejivaču.

$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)$ - diferencijalni presek rasejanja fotona na slobodnom elektronu (formula Klajna-Nišine-Tama).



Slika 1. Geometrija sudara

Dva eksponencijalna faktora u formuli opisuju slabljenje snopa u rasejivaču, prva do dostizanja mesta rasejanja a druga na putu odatle do izlaska iz rasejivača. Radi jednostavnosti uzeto je da su oba linearna koeficijenta slabljenja jednaka što je za energetski interval koji smo razmatrali, sasvim opravdano.

Pošto je $dV = dS\,dz$, uzimajući $n_u ds = 1$, gornji izraz se može interpretirati kao verovatnoća da se foton raseje sa posmatrane dubine u datom pravcu. Ukupna verovatnoća da se foton raseje unazad dobija se integracijom po z od 0 do ∞ i po $d\Omega$ u oblasti gde je $\frac{\pi}{2} < \theta \le \pi$. Integracija po z vrši se lako i kao rezultat se dobija

$$\frac{n_e}{\mu\left(1+\frac{1}{|\cos\theta|}\right)}\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)d\Omega .$$

Pošto je $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)$ racionalna funkcija po $\cos\theta$ [2], a $d\Omega = 2\pi\sin\theta\, d\theta$, integral po posmatranom uglu može se izračunati egzaktno do kraja kao integral racionalne funkcije, mada je račun dosta zametan, ukoliko se radi ručno. Krajnji rezultat je:

$$\pi r_0^2 \frac{n_e}{\mu}\left[-\frac{3+2\alpha+2(1+\alpha)\ln(1+\alpha)}{2\alpha(1+\alpha)}+\frac{1+\alpha+2\alpha^2+(2+3\alpha-2\alpha^3)\ln(1+\alpha)}{\alpha^3}+\right.$$

$$+\frac{3+9\alpha+4\alpha^2+2(1+2\alpha)^2\ln(1+2\alpha)}{2\alpha(1+2\alpha)^2}+$$

$$\left.+\frac{1}{\alpha^3}\left(-\frac{1+\alpha+\alpha^3(2+\ln(4))+\alpha^4\ln(16)}{1+2\alpha}+(-2-3\alpha+2\alpha^3)\ln(1+2\alpha)\right)\right].$$

On je funkcija od energije upadnog fotona, a sva zavisnost od materijala rasejivača sadržana je u faktoru $\frac{n_e}{\mu}$.

REZULTATI

Koristeći dobijeni opšti rezultat izračunali smo koeficijente refleksije za vodu za energije fotona od 10, 15, 20, 30, 40, 50 i 60 keV i dobili rezultate 1,317%; 3,138%; 5,534%; 9,802%; 12,222%; 13,286%; 13,664% respektivno.

Istu veličinu smo izračunali i analognim Monte Karlo postupkom [2] i to iskoristili za uzajamnu proveru oba pristupa kao i nalaženje dovoljne statistike potrebne za rezultat prihvatljive tačnosti.

Dobijeni rezultat u modelu jednostrukog rasejanja u srednjem su manji od merenih rezultata u [3].

To je i razumljivo jer nisu uzeti u obzir višestruko rasejani fotoni. Detaljnija analiza uzroka ove razlike dat je u narednom radu [4].

LITERATURA

[1] J. Seda, J. Strachota, T. Cechak, J. Kluson, The single backscattering of gamma rays, Nucl. Instr. methods **144** (1977) 557.

[2] О.И. Лейпуновский, Б.В. Новожилов, В.Н. Сахаров, Распространение гамма-квантов в веществе, ФМ, Москва 1960.

[3] Б.П. Булатов, Б.А. Ефименко, В.Г. Золотухин, В.А. Клименов, В.П. Машкович, Альбедо гамма-излучения, Атомиздат, Москва 1968

[4] D. Arsenović, D.M. Davidović, J. Vukanić, Relativni doprinosi višestrukih sudara koeficijentu refleksije X-zraka. Ovaj zbornik.

ABSTRACT

THE REFLECTION COEFFICIENT OF X RAYS IN THE SINGLE COLLISION MODEL

D. Arsenović, D.M. Davidović[1], J. Vukanić[1]
Institut of Nuclear Sciences "Vinča", Beograd
[1]Institut of physics, Zemun

The total probability of a single Compton backscattering of a photon from a narrow beam incident normally on a semi-infinite target is calculated within single-collision model. The universal analytical expression for the reflection coefficient has been derived.

For water used as the scatterer, and using the same physical assumptions, the total probability of single Compton backscattering is calculated by analog Monte Carlo procedure and results are compared with the analytical theory.

PRENOSNI MERAČ POVRŠINSKE KONTAMINACIJE

V. Drndarević, A. Popović, M. Bolić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za elektroniku

SADRŽAJ

U radu je opisan prenosni merač površinske kontaminacije beta zračenja pogodan za primenu na terenu i u laboratorijskim uslovima. Uređaj je kalibrisan za merenje površinske kontaminacije većeg broja radionuklida, a prikaz rezultata merenja vrši se u jedinicama $Bq \cdot cm^{-2}$. *Primenom savremene mikroprocesorske tehnologije u realizaciji instrumenta, omogućene su dodatne merne funkcije kao što su korekcija rezultata na fon, kompenzacija mrtvog vremena detektora i istovremena cifarska i analogna indikacija rezultata merenja.*

UVOD

Detekcija površinske kontaminacije često predstavlja neizostavnu operaciju koju je potrebno sprovesti u cilju efikasne zaštite od jonizujućeg zračenja. Ako se zahteva merenje na terenu onda je neophodno posedovati pogodan prenosni merač površinske kontaminacije sa baterijskim napajanjem. Prenosni merač kontaminacije RMK-10P, opisan u ovom radu, predstavlja tehnički usavršenu varijantu merača kontaminacije KOMO-TL [1] i pripada trećoj generaciji instrumentacije ovog tipa. Nastao je na bazi modifikacije merača kontaminacije RMK-10N [2], koji pripada grupi stonih uređaja sa mrežnim napajanjem namenjenih za rad u laboratorijskim uslovima.

Zahvaljujući baterijskom napajanju i malim dimenzijama, prenosni merač kontaminacije RMK-10P je pogodan za preciznu kontrolu kontaminacije površina i predmeta na terenu. U realizaciji uređaja korišćena je najsavremenija mikroprocesorska elektronika. Na taj način bilo je moguće ostvariti niz novih i veoma korisnih funkcija koje stariji stariji tip merača kontaminacije KOMO-TL nije posedovao.

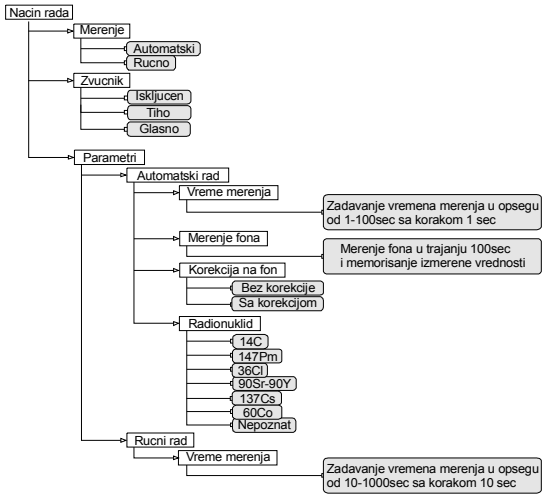
PRINCIP RADA

Za detekciju površinske kontaminacije izabran je *GM* detektor oblika *pan-cake*, velike površine prozora. Izbor detektora ovog tipa predstavlja ekonomično rešenje koje u isto vreme obezbeđuje dobre merne karakteristika instrumenta. Pri tom, korisnik se oslobađa obaveze održavanja detektora, koje su karakteristične za u novije vreme dosta korišćene detektore punjene ksenonom. Za obezbeđenje brzog odgovora instrumenta na

nagle promene kontaminacije usvojeno je da osnovno vreme merenja iznosi 1s. Za merenje niskih nivoa kontaminacije vreme merenja od 1s ne bi dalo zadovoljavajuću tačnost, te je omogućeno kontinualno podešavanje vremena merenja od 1 do 100s, u koracima od po 1s.

U cilju redukcije greške merenja korisniku stoji na raspolaganju funkcija merenja površinske kontaminacije sa automatskom korekcijom rezultata na fon. Implementirani algoritam redukcije greške merenja uz pomoć automatske korekcije rezultata na fon detaljnije je analiziran u literaturi [2].

Izbor načina rada i podešavanje parametara merača vrši se preko tekstualnog displeja uz pomoć samo četiri tastera označena opštim oznakama X, ↑ , ↓ i ✓ . Za ovakav način rada koristi se naziv na eng. *softkey operation*. Na slici 1 prikazane su funkcije i postupak podešavanja parametara rada merača kontaminacije RMK-10P.



Slika 1. Izbor načina rada i podešavanje parametara prenosnog merača kontaminacije

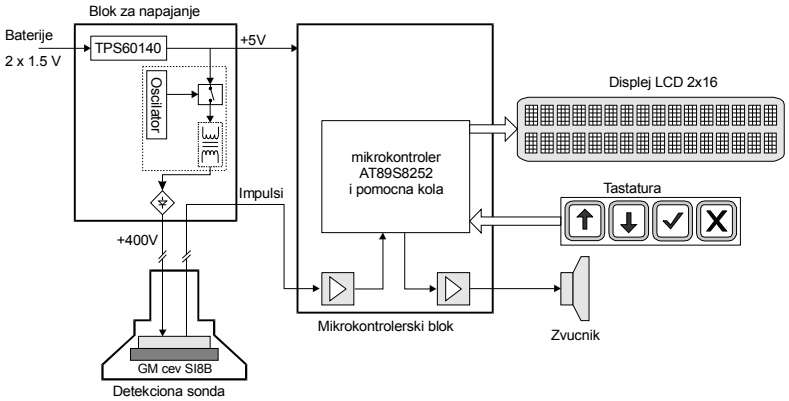
Instrument može da radi automatski ili ručno. U automatskom režimu rada rezultat se dobija kontinualno, svake sekunde. Prikazani rezultat predstavlja srednju vrednost skupa rezultata jednosekundnih merenja u zadatom vremenskom intervalu. Vreme merenja u automatskom radu može biti od 1 do 100 s. U ručnom režimu rada početak rada se inicira ručno, a rezultat merenja je broj registrovanih impulsa i prosečna brzina brojanja u predodređenom vremenskom intervalu. U ovom režimu rada vreme merenja može biti od 10 do 1000s. Izborom funkcije merenja površinske kontaminacije nepoznatog radionuklida pokazivanje instrumenta je u jedinici s^{-1}. Ako je radionuklid čija se površinska kontaminacija meri poznat, merenje se vrši sa kalibracionom konstantnom za taj radionuklid, a pokazivanje instrumenta je u jedinici $Bq{\cdot}cm^{-2}$. Instrument je kalibrisan sa izvorima površinske kontaminacije ^{14}C, ^{147}Pm, ^{36}Cl i ^{90}Sr-^{90}Y, ^{137}Cs i ^{60}Co.

KONSTRUKCIJA

Kao što je već rečeno, prenosni mereč kontaminacije RMK-10P predstavlja tehnički modifikovanu varijantu merača kontaminacije RMK-10N [2], tako da je omogućeno baterijsko napajanje (koriste se dve standardne baterije R-20 nominalnog napona 1.5 V), smanjene su dimenzije i težina instrumenta i ostvarena velika autonomija rada. Instrument RMK-10P sastoji se od detekcione sonde sa GM brojačem SI8B ruske proizvodnje i mernog dela (slika 2).

Slika 2. Izgled merača kontaminacije RMK-10P

Za napajanje detektora koriste se dve baterije R-20 napona 1.5 V. Potrebni naponi od 5 V za napajanje elektronskih kola instrumenta i radni napon od 400 V za napajanje GM brojača dobijaju se uz pomoć odgovarajućih pretvarača jednosmernog napona. Za konverziju baterijskog napajanja u napon od 5 V koristi se kapacitivni pretvarač *Texas Instruments TPS60140*. Nakon testiranja došlo se do zaključka da ovaj pretvarač ima relativno mali stepen iskorišćenja (oko 50 %) te se traži zamena ovog kola pogodnijim. Visoki napon detektora dobija se uz pomoć odgovarajućeg *dc-dc* konvertora.



Slika 3. Blok šema merača kontaminacij

Prikupljanje impulsa iz detektora, merenje vremena, prikaz rezultata merenja i upravljanje kompletnim instrumetom ostvareno je programski, korišćenjem mikrokontrolera najnovije generacije *Atmel AT89S8252*. Program instrumenta smešten je u internoj *flash* memoriji kontrolera koja ima kapacitet 8 kB. Parametri vezani za način rada instrumenta pamte se u memoriji tipa E^2PROM, koja je takođe sastavni deo kontrolera. Kontroler raspolaže brojačima-tajmerima koji su iskorišćeni za brojanje impulsa i merenje vremena. Cifarska indikacija rezultata omogućuje precizno merenje lokalizovane kontaminacije. Paralelno, rezultat merenja se prikazuje na istom displeju i u klasičnoj

analognoj formi, u vidu bar-grafa. Svaki od impulsa koje daje detektor registruje se i zvučno. Ova mogućnost može biti od pomoći pri otkrivanju odnosno lokalizaciji kontaminacije. Na slici 3. data je blok šema merača kontaminacije.

MERNE KARAKTERISTIKE

Merne karakteristike instrumenta usko su povezane sa mernim karakteristikama upotrebljenog detektora. GM brojač SI8B ima sopstveni fon manji od $2s^{-1}$, efikasnost detekcije beta zračenja od 50 do 85% i osetljivost na gama zračenje od 10 $s^{-1}/\mu Sv \cdot h^{-1}$ do 14 $s^{-1}/\mu Sv \cdot h^{-1}$. Najveća brzina brojanja detektora iznosi 4420 s^{-1}, a najveća dozvoljena brzina doze 3 $Sv \cdot h^{-1}$. Masa prozora detektora po jedinici površine iznosi 4 $mg \cdot cm^{-2}$. S obzirom da se preporučuje da debljina prozora detektora beta zračenja ne prelazi 50 $mg \cdot cm^{-2}$, a za detekciju radionuklida kao što su ^{14}C i ^{35}S debljina prozora ne sme da pređe 5 $mg \cdot cm^{-2}$ [3], izabrani detektor omogućuje detekciju beta zračenja veoma male energije.

Osetljivost merača na površinsku aktivnost za različite izotope, pri rastojanju između prozora detektora i površine izvora od 1cm, data je u tabeli 1.

Tabela 1. Osetljivost na površinsku aktivnost pri rastojanju izvor-detektor 1cm

RADIONUKLID	OSETLJIVOST $s^{-1}/Bq \cdot cm^{-2}$
^{14}C	1.57
^{147}Pm	3.19
^{36}Cl	7.30
^{90}Sr-^{90}Y	8.20
^{137}Cs	6.71
^{60}Co	4.72

LITERATURA

[1] Monitor kontaminacije KOMO-TL, Tehnička dokumentacija, Laboratorija za elektroniku, Institut za nuklearne nauke "Vinča", 1985.

[2] Vujo Drndarević, Branko Samardžić, Miodrag Bolić, Merač površinske kontaminacije beta zračenja, Zbornik radova XX Jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zračenja, Tara, 1999., str. 221-226.

[3] Alpha, beta and alpha-beta contamination meters and monitors, IEC Recommendation, Publication 325, First edition, 1970.

ABSTRACT

Portable SURFACE CONTAMINATION METER

V. Drndarević, A. Popović, M. Bolić
INS "Vinča"

New portable beta surface contamination meter convenient for field applications has been described. Instrument is calibrated for measurement of several radionuclides and the results in $Bq \cdot cm^{-2}$ are displayed. By applying modern microprocessor technology in instrument design, additional functions such as background subtraction, dead time correction and simultaneous digital and analog indication have been achieved.

PRIMENA MONTE CARLO PROGRAMA MCNP ZA OPTIMIZACIJU DETEKTORSKOG SISTEMA COMPTONOVE GAMA KAMERE

V. Ljubenov, P. Marinković[1]
Institut za nuklearne nauke "Vinča"
[1]Elektrotehnički fakultet, Beograd

SADRŽAJ

Gama kamera sa elektronskim kolimisanjem, gde su nosioci korisnih informacija gama fotoni koji dožive Comptonovo rasejanje, značajno unapređuje vizuelizaciju organa obeleženih radionuklidima u medicini i biomedicinskim istraživanjima.

U radu su razmotrene mogućnosti da se neke tehnike i alati, razvijeni za potrebe reaktorske fizike i nuklearne tehnike, primene u dizajniranju ovakvih uređaja i simulaciji procesa u njima. Na primeru idealizovanog detektorskog sistema Comptonove gama kamere u sfernoj geometriji, u cilju maksimizacije broja čestičnih istorija koje su korisne za generisanje slike, simulacijom transporta gama fotona Monte Carlo programom MCNP urađena je optimizacija debljina primarnog i sekundarnog detektora.

UVOD

U procesu medicinske vizuelizacije organa obeleženih radionuklidima u savremenoj kliničkoj praksi standardno se koriste SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) i PET (Positron Emission Tomography) sistemi.

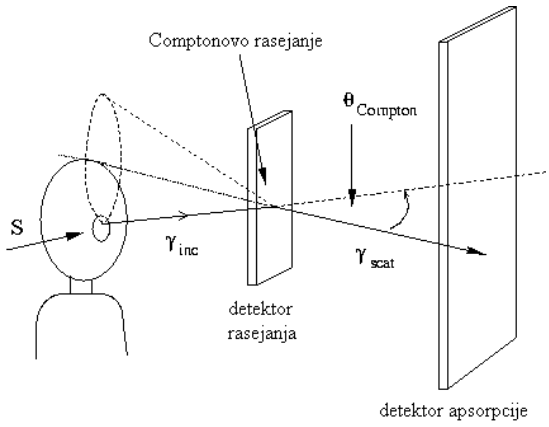
Kod SPECT sistema se 3D slika distribucije radionuklida određuje tomografskom rekonstrukcijom na osnovu većeg broja planarnih snimaka pod različitim uglovima, pri čemu se definicija pravca iz koga potiče gama foton vrši mehaničkim prostornim zasenčenjem, odnosno upotrebom kolimatora. Osnovne prednosti SPECT sistema su veliko iskustvo u primeni i prihvatljiva cena, dok su nedostaci niska efikasnost detekcije (10^{-5} - 10^{-4}) uslovljena upotrebom kolimatora, ograničena prostorna rezolucija (6-7 mm) i zamućenje slike kod primene gama emitera viših energija. Sa stanovišta zaštite od zračenja, ozbiljan nedostatak je relativno veliko radijaciono opterećenje pacijenata zbog potrebe dobijanja statistički pouzdane informacije iz velikog broja projekcija. Produženo vreme snimanja unosi smetnje usled pomeranja pacijenta, a kontrolisano i precizno kretanje glomaznog SPECT sistema je samo po sebi ozbiljan mehanički problem.

PET sistemi generišu sliku na bazi koincidentno detektovanih anihilacionih fotona, nastalih interakcijom pozitrona sa elektronima iz molekula tkiva u neposrednoj okolini mesta emitovanja. Mnogo veća efikasnost i bolja prostorna rezolucija su posledica

odsustva potrebe za mehaničkim kolimisanjem usled pogodnih geometrijskih karakteristika anihilacionih parova fotona. Ovakvi uređaji su i do deset puta skuplji od SPECT uređaja, a usled kratkog perioda poluraspada najčešće korišćenih pozitronskih emitera moraju da budu locirani u neposrednoj blizini ciklotrona gde se emiteri proizvode.

Comptonova gama kamera je noviji tip kamere [1,2], u medicinskim primenama za sada razvijen do nivoa prototipova (uređaji bazirani na ovoj tehnici se koriste u astronomiji [3] i nuklearno-energetskoj industriji), kod koga se za rekonstrukciju slike izvora koristi poznavanje kinematike Comptonovog rasejanja gama fotona, bez upotrebe mehaničkih kolimatora. Time se smanjuje masa i povećava kompaktnost uređaja, postiže se velika efikasnost, proširuje se vidno polje, dobija se 3D slika bez pomeranja kamere i značajno se skraćuje vreme snimanja, što omogućava dobijanje slike boljeg kvaliteta uz znatno manju aktivnost radioaktivnog obeleživača koja se deponuje u telo pacijenta.

PRINCIP RADA COMPTONOVE GAMA KAMERE



Slika 1. Principijelna šema Comptonove gama kamere u ravanskoj geometriji

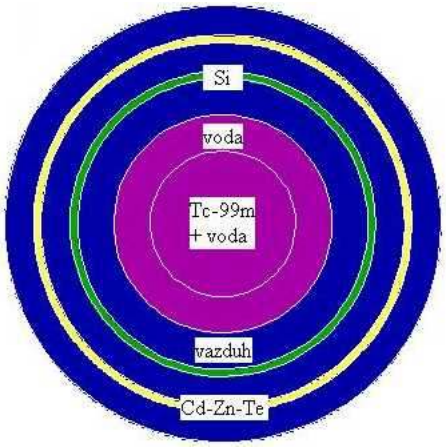
Osnovna ideja kod Comptonove kamere je zamena mehaničkih kolimatora elektronskim kolimisanjem na bazi Comptonovog efekta. Detektorski deo uređaja se sastoji od dva poziciono osetljiva detektora gama zraka. Funkcija prvog je da izazove i detektuje tačno jednu interakciju tipa Comptonovog rasejanja (detektor rasejanja).

Najviše ispitivani materijali za njegovu izradu su Si, Ge i Ar zbog velikog preseka za Comptonovo rasejanje u opsegu energija (100 - 600) keV. U drugom detektoru rasejani gama kvant treba da doživi apsorpciju bez ikakvih drugih interakcija, pri čemu se detektuju njegova pozicija i energija (detektor apsorpcije). Potreba za velikim presekom za apsorpciju nameće izbor CdZnTe, NaI, BGO ili Xe kao materijala za izradu detektora apsorpcije.

Pošto je početna energija gama fotona poznata, zbir energija deponovanih u detektoru rasejanja i detektoru apsorpcije se koristi za diskriminaciju fotonskih istorija koje ne nose korisnu informaciju usled rasejanja u telu pacijenta, višestrukog rasejanja u detektoru ili prolaza bez interakcije do detektora apsorpcije. Pozicija prve i druge interakcije i ugao rasejanja, određen gubitkom energije pri Comptonovom rasejanju, određuju jednu konusnu površinu na kojoj se nalazi moguća lokacija izvora. Projektovanjem unazad u zapreminu tela pacijenta, u presecima mnoštva konusnih površina dobija se 3D slika prostorne raspodele izvora gama zračenja. Nesigurnosti određivanja pozicija interakcije i deponovanih energija čine da konusi mogućih lokacija izvora imaju konačnu debljinu. Ovakav set informacija o mogućoj distribuciji izvora zračenja zahteva primenu specijalnih tehnika rekonstrukcije slike, što neće biti razmatrano u ovom radu.

MONTE CARLO SIMULACIJA PROCESA
U SFERNOM DETEKTORSKOM SISTEMU COMPTONOVE KAMERE

Simulacija transporta gama fotona kroz objekat snimanja, primarni (Si) i sekundarni (Cd-Zn-Te) detektor Comptonove kamere je izvršena Monte Carlo programom MCNP, verzija 4B [4]. Korišćena je standardna MCNP biblioteka energetski zavisnih preseka za interakciju gama zraka sa nuklidima MCPLIB. Model tretira sfernu geometriju sistema objekat-detektori.



Slika 2. Simulacioni MCNP model

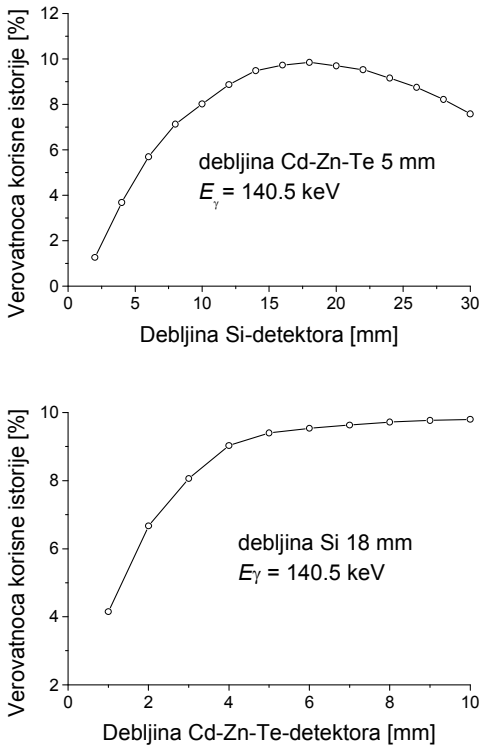
Objekat snimanja je modelovan vodenom sferom poluprečnika 15 cm, pri čemu je izvor gama zračenja ^{99m}Tc (energija gama kvanata 140.5 keV) uniformno raspodeljen po unutrašnjem delu zapremine objekta do poluprečnika 10 cm. Oko objekta se nalazi 5 cm vazduha (bez sadržaja vodene pare). Unutrašnji poluprečnik primarnog detektora (Si) iznosi 20 cm, dok je njegova debljina parametar koji se optimizuje nizom simulacija i variran je od 0.2 cm do 3.0 cm sa korakom 0.2 cm, pri debljini sekundarnog detektora od 0.5 cm. Unutrašnji poluprečnik sekundarnog detektora (Cd-Zn-Te) iznosi 25 cm, a optimalna vrednost njegove debljine je određena za fiksiranu vrednost optimalne debljine primarnog detektora variranjem od 0.1 cm naviše sa korakom 0.1 cm. Svaka simulacija je izvršena sa po 10^5 fotonskih istorija, pri čemu je prosečno trajanje jedne simulacije na računaru sa Pentium II 533 MHz procesorom iznosilo manje od 1 minuta.

U PTRAC datoteku koju generiše program MCNP zapisivane su čestične istorije koje zadovoljavaju uslov da su završene apsorpcijom u sekundarnom detektoru. Zapisi u ovoj datoteci su naknadno programski iščitavani (Fortran) i brojane su istorije kod kojih apsorpciji prethodi samo jedna interakcija posle emitovanja - Comptonovo rasejanje u primarnom detektoru. Kao optimalne debljine detektora Comptonove gama kamere odabrane su one vrednosti za koje se postiže maksimum odnosa broja "korisnih" istorija i ukupnog broja simuliranih istorija.

REZULTATI SIMULACIJE

Na slici 3 su prikazani rezultati MCNP proračuna, prema kojima optimalne debljine detektora Comptonove gama kamere za izabranu geometriju iznose 1.8 cm za primarni Si detektor rasejanja i (5-7) mm za sekundarni Cd-Zn-Te detektor apsorpcije. Zavisnost verovatnoće "korisne" istorije od debljine primarnog detektora pokazuje jasan maksimum. Za manje vrednosti debljine povećava se broj gama fotona koji prolaze kroz primarni detektor bez ijedne interakcije, a za veće debljine raste broj višestrukih rasejanja u primarnom detektoru.

Povećavanje debljine sekundarnog detektora ima uticaja do neke vrednosti debljine kada se dostiže saturacionani procenat "korisnih" istorija, posle čega dalje povećavanje nema efekta. Za male vrednosti debljine sekundarnog detektora značajan broj fotona prođe kroz njega bez interakcije.



Slika 3. Zavisnost verovatnoće korisne istorije od debljine detektora

ZAKLJUČAK

Raspoloživost programa MCNP-4B i biblioteke fotonskih preseka MCPLIB, mogućnost definisanja proizvoljne 3D konfiguracije materijalnih zona, mnogobrojne opcije programa za procenu flukseva, struja i doza, generisanja zapisa i izlaznih datoteka, kao i dosadašnje iskustvo autora u njihovom korišćenju za rešavanje problema reaktorske fizike daje mogućnost primene i kod dizajniranja i optimizacije uređaja novije generacije za nuklearno medicinsku vizuelizaciju.

LITERATURA

[1] D. B. Everett *et al.*, "Gamma-radiation imaging system based on the Compton effect," *Proc. IEEE*, vol. 124, pp. 995-1000 (1977)

[2] M. Singh, "An electronically collimated gamma camera for single photon emission computed tomography, Parts I and II," *Med. Phys*., vol. 10, no. 4, pp. 421-435 (1983)
[3] O. T. Tumer et al., "The TIGRE instrument for 0.3-100 MeV gamma-ray astronomy," *IEEE Trans. Nucl. Sci*., vol. 42, no. 4, pp. 907-916 (1995)
[4] J. J. Briesmeister (Editor), "MCNP™ - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B," LA-12625-M Report, Los Alamos National Laboratory (March 1997).

ABSTRACT

APPLICATION OF MONTE CARLO CODE MCNP FOR THE OPTIMIZATION OF COMPTON CAMERA DETECTOR SYSTEM

V. Ljubenov, P. Marinković[1]
VINČA Institute of Nuclear Sciences,
[1]Faculty of Electrical Engineering, Belgrade

Electronically collimated gamma cameras based on Compton scattering may improve imaging of radio-isotope labeled organs in medicine and bio-medical research.

Possibilities for the application of techniques and codes developed for the needs of reactor physics and nuclear engineering in design and optimization of Compton cameras were analyzed in this paper. In order to maximize number of particle histories that are important for the image reconstruction, thickness optimization of primary and secondary detector of an idealized Compton-ray imaging system in spheric geometry, based on Monte Carlo calculations, was made. Well known Monte Carlo code MCNP was used for the simulation of gamma photon transport.

PRIMENA ANALIZE KRIVE ISIJANJA TLD U LIČNOJ DOZIMETRIJI

O. Marinković, Z. Mirkov
KCS - Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr. D. Karajović", Beograd

SADRŽAJ

Obradom jednog ličnog dozimetra sa dva TL kristala određene su ekvivalentne doze H`(0.07)=0,64Gy i H(10)=1,45Gy. Analizom krive isijanja procenjeno je da je dozimetar bio izložen zračenju oko 1000 sati pre trenutka očitavanja, energijom većom od 1 MeV. Procena efektivne doze nije urađena zbog nedostatka potrebnih parametara (veličina ozračenog polja, pozicija ličnog dozimetra na telu radnika...). Sproveden je postupak ispitivanja uslova ozračivanja, posle čega je usledila izjava radnika da je dozimetar ozračen na terapijskom uređaju, nepažnjom, bez prisustva radnika.*

UVOD

Prema našim zakonskim propisima (Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja, Službeni list SRJ, broj 46/96; Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima, Službeni list SRJ, broj 32/98) lična dozimetrija je obavezna za lica profesionalno izložena jonizujućim zračenjima. Obavljaju je ovlašćene ustanove metodom termoluminescentne dozimetrije. Cilj je procena efektivne doze radnika kako bi izloženost žračenju bila u propisanim granicama i kako bi se zaštita od jonizujućih zračenja mogla poboljšavati saglasno proširenom ALARA principu, uzimajući u obzir društvene i ekonomske faktore.

METOD RADA

Laboratorija poseduje uređaj za obradu dozimetara Harshaw TLD Reader Model 6600. Lični dozimetri imaju dva kristala LiF Tip-100; nose se u kasetama sa filtrima koji omogućavaju određivanje ekvivalentnih doza H`(0.07) i H*(10).

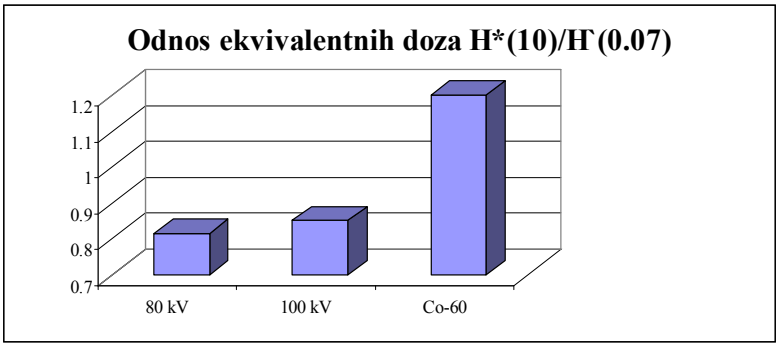
Procena efektivne doze je problem neprecizno definisan našim zakonskim normama. U svetu se koriste različiti modeli. Ova laboratorija primenjuje model koji sigurno precenjuje vrednost efektivne doze u rutinskoj obradi dozimetara. Efektivna doze se izjednačava sa ekvivalentnom dozom H*(10) određenom obradom dozimetra. U slučajevima prekoračenja gornje granice efektivne doze za procenu se uzima u obzir niz značajnih parametara: korišćenje zaštitne opreme, pozicija dozimetra u odnosu na telo i u odnosu na zaštitnu opremu (iznad/ispod kecelje)...

REZULTATI

Obradom jednog ličnog dozimetra 26.01.2001. godine u 10:07:01am dobijeni su podaci pomoću kojih je određena ekvivalentna doza H`(0.07) = 0,64 Gy i H*(10) = 1,45 Gy. Analizom (tzv. dekonvolucija) krive isijanja dobijene su vrednosti karakterističnih pikova (Slika 1) koji omogućavaju procenu trenutka ozračivanja dozimetra. Ovaj deo izračunavanja urađen je prema postojećoj kalibraciji za grupu ispitivanih dozimetara istog proizvođača i iste šarže dozimetara [1]. Na osnovu odnosa veličine trećeg i petog pika određen je vremenski interval između ozračivanja i obrade dozimetra od 1000 sati. Time je trenutak ozračivanja procenjen oko polovine meseca decembra 2000. godine.

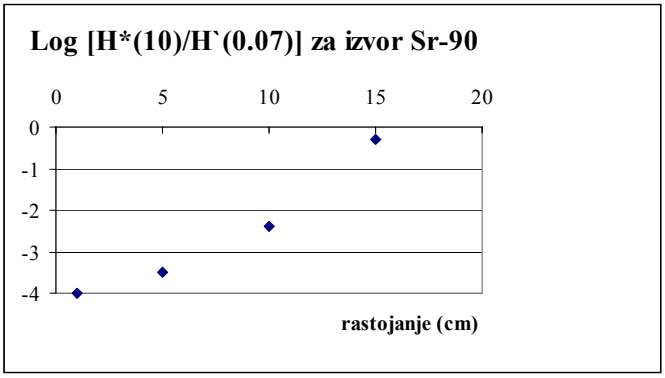
Kasete u kojima se nose lični dozimetri imaju različite filtre za dva TL kristala. To omogućava određivanje ekvivalentnih doza H`(0.07) i H*(10). Pri obradi ličnih dozimetara može se odrediti energija zračenja ispitivanjem odnosa ekvivalentnih doza H*(10)/H`(0.07). Rezultati dobijeni za potrebe radnog etalona prikazani su grafikom 1. za 80 kV, 100 kV x-zračenje i ^{60}Co.

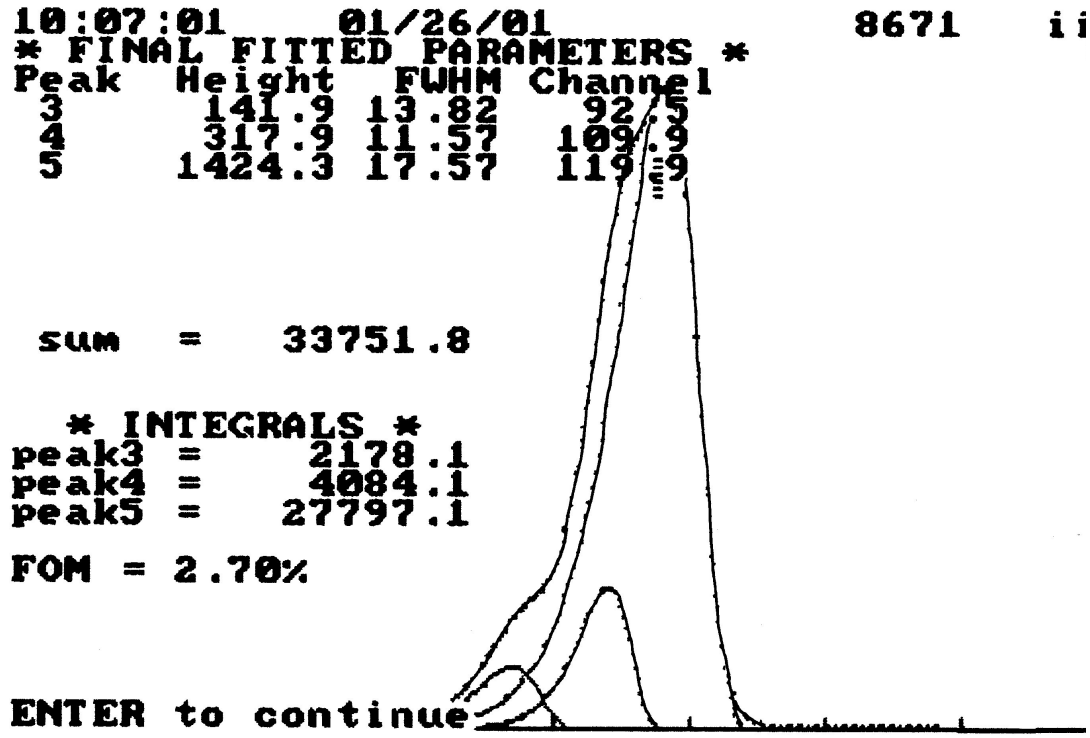
Grafik 1.



Odnos ekvivalentnih doza H*(10)/H`(0.07) za izvor $^{90}$Sr pri različitim rastojanjima ličnog dozimetra od izvora, razlikuje se za više redova veličine. Zato je na Grafiku 2. prikazana zavisnost Log [H*(10)/H`(0.07)] od rastojanja.

Grafik 2.




10:07:01 01/26/01 8671 ii
* FINAL FITTED PARAMETERS *
Peak Height FWHM Channel
3 141.9 13.82 92.5
4 317.9 11.57 109.9
5 1424.3 17.57 119.9
sum = 33751.8
* INTEGRALS *
peak3 = 2178.1
peak4 = 4084.1
peak5 = 27797.1
FOM = 2.70%
ENTER to continue

SLIKA 1.

ZAKLJUČAK

Lični dozimetar sa karakterističnim brojem 8671 bio je ozračen sredinom decembra 2000.godine visokoenergetskim fotonima. Procenjene ekvivalentne doze su bile H`(0.07)=0,64Gy i H*(10)=1,45Gy. Odnos ekvivalentnih doza H*(10)/H`(0.07) iznosi 2,26 što prema rezultatima prikazanim na graficima 1. i 2. ukazuje na energije reda veličine MeV.

Efektivna doza za lice koje je zaduženo ovim ličnim dozimetrom nije određivana. U postupku utvrđivanja uslova ozračivanja usledila je izjava radnika da je dozimetar nepažnjom ozračen bez prisustva radnika na uređaju za medicinsku terapiju (linearni akcelerator). Bez obzira na izjavu, obavljen je vanredan zdravstveni pregled radnika i nisu konstatovani efekti karakteristični za izlaganje organizma dozi reda veličine 1 Gy.

LITERATURA

[1] Marinković O.: Analiza krive isijanja za TLD tip LBG-0110 u zavisnosti od vremena posle ozračivanja, XVIII Simpozijum JDZZ, Bečići, 24-26. maj 1995, Zbornik radova, Beograd, 1995.

ABSTRACT

GLOW CURVE DECONVOLUTION APPLICATION IN PERSONAL DOSIMETRY

O. Marinković, Z. Mirkov
CCS – Institute of Occupational and Radiological Health ″Dr. D. Karajović″, Belgrade

During routine personal dosimeters reading circle at the 26th January, 2001 there was one TLD with equivalent doses H`(0.07)=0,64Gy and H*(10)=1,45Gy. The computerized glow curve deconvolution was used to determine elapsed time (1000 hours). It means that the TLD has been irradiated at the middle of the December, 2000. The ratio H*(10)/H`(0.07) indicate that using energy was above 1 MeV. It has been necessary to examine the irradiation conditions; than the worker explained that the personal dosimeter had been forgotten and irradiated at the therapeutic unit (LINAC), without the worker.

JONIZACIONA KOMORA I CT DOZIMETRIJA

M. Vukčević, S. Stanković, M. Kovačević
Laboratorija za zaštitu od zračenja, INN VINČA

SADRŽAJ

Glavni uslov za merenja sa jonizacionom komorom je da je cela komora u polju zračenja. Taj uslov nije ostvaren u polju CT. Zbog toga je potrebno korigovati rezultate odnosom ukupne i aktivne zapremine komore, tj. odnosom dužine komore i širine skena. Izbor širine skena (nominalni ili biran iz doznog profila skena) unosi notu arbitrarnosti u ovu metodu. U ovom radu je prikazan alternativni metod. Kratka jonizaciona komora je cela skenirana. Tako se dobija srednja doza po skenu uključujući i efekte preklapanja polja susednih skenova. Ova metoda je posebno pogodna za merenje doze uskih skenova, koji se koriste za snimanje hipofize i kičmenih pršljenova.

UVOD

Merenja u QA kontroli Rö-uređaja se rade u bolničkim uslovima. Zbog toga treba da su sa malom potrošnjom vremena. Merenja sa jonizacionom komorom ispunjavaju taj zahtev. Pacijentne doze su najvažniji rezultat merenja i normirane su u regulativi iz zaštite od zračenja. Treba naglasiti da je pacijentna doza u ovoj regulativi dosta neprecizan termin i ne treba ga upoređivati sa precizno definisanom veličiinom iz radioterapije, kao što je na pr. tumorska doza. Norme u zaštiti od zračenja su često vrednosti doze u nekoj referentnoj tački na fantomu, koje bi trebalo da budu dobra mera za procenu pacijentne doze ili doze u nekom organu, ili prosto doznog autputa Rö-cevi. Kod klasičnog Rö-uređaja ekspoziciona doza je vrlo dobra mera za ulaznu dozu na pacijentu, pa su granične vrednosti za ulaznu dozu i date u zakonskoj regulativi. Nije bez praktičnog značaja da se ove veličine i lako mere. Kod CT problem je složeniji. Koju veličinu treba uzeti da bude mera za pacijentnu dozu. U međunarodnim preporukama taj problem nisu razrešili. Navedene su samo granične pacijentne doze. U praksi su se ustalilo merenje u osi rotacije Rő-cevi. Pored neodređenosti u izboru veličine koju treba meriti radi procene pacijentne doze, postoji i značajan metodološki problem merenja u vrlo specifičnom polju CT. Problem uvećava i višestruko ozračivanje iste regije zbog preklapanja X-polja susednih skenova.

METODA

Kako jonizacionom komorom izmeriti dozu u polju koje je manje od komore? Postoje dve mogućnosti. Ili raditi korekciju na aktivnu zapreminu komore, za što je

potrebno odabrati širinu X- snopa (maksimalnu, nominalnu ili arbitrarnu-biranu iz doznog profila skena, što unosi notu arbitrarnosti u rezultate), ili celu komoru skenirati, čime se meri i efekat preklapanja, odnosno meri srednja doza u skeniranoj regiji.

U ovom radu su prikazane pacijentne doze na CT merene kratkom komorom. Jonizaciona komora od 1 cm^3, dužine 22 mm, prečnika 8 mm, smeštena je u fantomu u osi rotacije Rö cevi normalno na ravan skena. Regija dužine komore skenirana je sa serijom skenova bez preskoka.

REZULTATI I ZAKLJUČAK

Rezultati su dati u tabeli 1.

Tabela 1. Pacijentne doze u zavisnosti od debljine skena

Debljina skena	2 mm	3 mm	5 mm	10 mm
Doza (cGy)	12	8.8	5.4	5.6

CT PACE Gen.Electric, 120 kV, 160 mA, 2 s

Doza po jednom skenu i doza u ozračenoj regiji se razlikuju zbog efekta preklapanja x-polja susednih skenova. Što je sken uži to je dozni efekat preklapanja izraženiji. Naše je mišljenje da metoda sa skeniranjem kratke komore koja meri efekte preklapanja daje rezultate relevantne za procenu pacijentne doze, specijalno pri snimanju sa uskim skenovima koji se koriste za hipofizu i kičmene pršljenove. Kako ova metoda meri srednju dozu duž komore, u slučaju skeniranja sa razmakom,treba biti oprezan u proceni jer srednja doza ne daje dozu u skenu. Alternativna metoda sa dugačkom komorom i korekcijom na aktivnu zapreminu koja meri dozu po skenu je prikladnija za merenje doznog autputa Rő-cevi u nekoj referentnoj tački.

LITERATURA

[1] J:J. Christensen, L.C. Jensen et alt. *Dosimetric Investigation in Computed Tomography*, Radiation Protection Dosimetry vol.43No.1/4 pp.233-236 (1992)

[2] M.Vukcevic, M.Ateljevic, S.Stankovic, I.Avramovic,

ABSTRACT

IONIZATION CHAMBERS AND CT DOSIMETRY

M. Vukčević, S. Stanković, M. Kovačević
INS Vinča

The main condition for ionization chamber dose measurement is that the entire ionization chamber lies within the field of ionizing radiation . This condition can not be met in CT x-field measurement with a standard ionization chambers. Therefore it is necessary to correct the results taking into account the chamber lenght and the scan width. The choise of scan width (nominal or determined from scan dose profile) introduces an arbitrary factor.

ODREĐIVANJE SREDNJE GLANDULARNE DOZE KOD MAMOGRAFSKOG PREGLEDA

B Pantić, V Spasić[1], J Nišević[2],
V Glavičić, Z Bošković[3], G Nišević
Institut za radiologiju, VMA
[1]Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd
[2]Grupa internih klinika, VMA
[3]Zavod za preventivnu medicinu, VMA

SADRŽAJ

U radu je eksperimentalno, u mernom faktoru od akrilita pomoću komore sa ravnim zidom, određen konverzioni faktor D_{gN} na mamografu mammo DIAGNOST. Ovaj faktor služi za određivanje srednje glandularne doze (SGD).

UVOD

Mamografija je radiografsko ispitivanje projektovano specijalno za otkrivanje patoloških promena na dojkama. 1913 godine je prvi put prikazan tumor na rendgenskom snimku hiruškog preparata. To je uradio nemački hirurg Salomon [1]. U kliničku praksu ulazi od 1927 godine. Kasnih pedesetih Gershon-Cohen i Egan (USA) pokazuju da čak i klinički nepotvrđeni karcinomi mogu biti otkriveni mamografijom, i to vodi ka konceptu skrininga rizičnih grupa žena u cilju ranog otkrivanja tumora [1].

Cilj mamografije je dobiti medicinsku sliku glandularnog tkiva što veće prostorne rezolucije i kontrastnosti uz maksimalno ograničenje srednje glandularne doze (SGD). Sredinom sedamdesetih ulaze u upotrebu pojačavačke folije na bazi soli od retkih zemalja, koje znatno smanjuju dozu pri pregledu. Generatori X-zračenja ("meko" X-zračenje, generisano naponima na cevi od 25 kVp do 50 kVp), su specijalne konstrukcije. Prvi uređaj sa anodom od molibdena pojavio se 1966 godine[2]. Savremeni uređaji imaje cevi sa rotirajućom anodom, specijalne uređaje za automatsko podešavanje kondicija (mAs u zavisnosti od debljine i građe dojke), uređaj za kompresiju dojke, i td. [3]

METODA I MATERIJAL

Kada je u pitanju procena rizika pri mamografskom pregledu od posebnog je interesa srednja glandularna doza (SGD), koja se računa na sledeći način:

$$D_m = D_{gN} \cdot X_{ESE}$$

gde je:

D_{gN} – koverzioni faktor,
X_{ESE} – ulazna kožna ekspozicija.

Koverzioni faktor se može odrediti eksperimentalnim putem pomoću date jednačine, ili simulacijom na računaru. Konverzioni faktor zavisi od:

- materijala od koga je napravljena anoda (meta),
- kvaliteta snopa,
- debljine dojke, odnosno kompresije,
- sastava dojke.

U praksi se prilikom eksperimentalnog određivanja konverzionog faktora obično koriste merni fantomi poznate debljine (varira, u zavisnosti od Protokola, od 4,2 cm do 5 cm) i sastava (najčešće PMMA, koji odgovara sastavu od 50% masnog i 50% glandularnog tkiva).

Mi smo koristili merni fantom od akrilita, debljine 5 cm.

Merenja su na uređaju mammo DIAGNOST (Philips) koji je u upotrebi na Odeljenju za radioterapiju Instituta za radiologiju VMA od 1989 godine. To je savremeni uređaj sa rotirajućom anodom od molibdena i filterom od molibdena (0,03 mmMo) i aluminijuma (0,5 mmAl). Prilikom snimanja korišćen je amplimat, što znači da su kondicije automatski podešavane. Amplimat se isključivo koristi i prilikom dijagnostičkih procedura, uz jednoslojne filmove sa folijama od soli retkih zemalja značajno smanjuje SGD.

X_{ESE} i D_m su mereni pomoću komore sa ravni zidom NE 2536-3A No. 427, s tim da se njena gornja elektroda, u prvom, slučaju nalazila na površini mernog fantoma, a u drugom slučaju na dubini od 2,5 cm, odnosno na sredini mernog fantoma.

REZULTATI

Rezultati merenja prikazani su u Tabeli 1. U zadnjoj koloni dati su vrednosti u mrad/R radi lakšeg poređenja sa vrednostima iz literature.

Tabela 1 Rezuzltati merenja konverzionog faktor D_{gN}

NAPON NA CEVI (kVp)	HVL (mmAl)	X_{ESE} (nC)	D_g (mGy)	D_{gN} (mGy/nC)	D_{gN} (mrad/R)
25	0.34	0.00208	0.19	9.1346	106,5
28	0.37	0.01675	0.17	10.1493	117,8
31	-	0.01402	0.15	10.6990	124,5
35	-	0.01220	0.14	11.4754	134
40	-	0.01156	0.18	15.5709	180
50	-	0.01799	0.31	17.2318	200,6

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Dobivene vrednosti, za istu kombinaciju anoda/filter (Mo/Mo) i istu ekv. filtraciju (mmAl), odstupaju od vrednosti objavljenih u literaturi iz više razloga, od kojih su najvažnij:

- komercijalni merni fantomi su od drugog materijala
- koriste se namenske jonizacione komore.

Bez obzira na to, dobiveni rezultati pokazuju da primenjena metodologija može da se, uz odgovarajuće korekcione faktore, iskoristi u nedostatku komercijalnog mernog fantoma, kako za određivanje srednje glandularne doze, tako i u programu QC kod mamografa.

LITERATURA

[1] Milošević Z, Goldner B, Mijović Z. Mamografija na pragu dvadesetprvog veka – prednosti i ograničenja. Radiološki Arhiv Srbije, 2000: 127-134.

[2] Tomašević M. Nivo ozračivanja dojke u mamografiji. Radiološki Arhiv Srbije, 5 (9), 1996: 836-839.

[3] Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM, Boone JM. The essential physics of medical imaging. Philadelphia: Lippincott Williams&Wilkins, 1994.

ABSTRACT

Konversion factor D_{gN} for the purpose of midl glandular dose D_m determination basic to measurements in acrylic phantom with planeparallel ionisation chamber was performed for mammo DIAGNOST mammography unit.

DOZIMETRIJSKA ISKUSTVA IZ DEKONTAMINACIJE RTA ARZA OD OSIROMAŠENOG URANIJUMA

P. Vukotić, T. Anđelić[1], R. Zekić[1], M. Kovačević[2],
V. Vasić[3], N. Ristić[3], D. Fortuna[4]
Prirodnomatematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica
[1]Centar za ekotoksikološka istraživanja Crne Gore, Podgorica
[2]Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd
[3]Komanda ratne mornarice, Vojska Jugoslavije
[4]Školski centar ABHO - Kruševac, Vojska Jugoslavije
– predavanje po pozivu –

SADRŽAJ

NATO avijacija je krajem maja 1999. godine gađala sa 480 metaka od osiromašenog uranijuma rt Arza na ulazu u zaliv Boka Kotorska. Turistički najatraktivniji dio rta dekontaminirali su u prvoj polovini 2001. godine domaći stručnjaci prema programu koji finansira Vlada Crne Gore. U ovom radu su prezentirana dozimetrijska iskustva iz tog posla.

UVOD

Avioni NATO alijanse, tipa "A-10 Thunderbolt", u dva navrata su 30 maja 1999. godine dejstvovali po rtu Arza, na poluostrvu Luštica, na ulazu u zaliv Boka Kotorska. Avioni su koristili protivoklopne projektile sa penetratorima izrađenim od osiromašenog uranijuma. Broj projektila ispaljenih po Arzi je 480, prema podacima koje je objelodanio NATO [1]. Procjenjujemo da je od njih bilo 400 sa uranijumskim penetratorom, a 80 sa klasičnim punjenjem.

Dužina protivoklopnog metka je 173 mm, a njegov dijametar 30 mm. Metak je pokriven aluminijskom košuljicom, a unutar metka je konusni penetrator od osiromašenog uranijuma. Dužina samog penetratora je 95 mm, prečnik u osnovi 16 mm, a masa 292 g.

Izotopski sastav osiromašenog uranijuma je [2]: ^{238}U (99.7-99.8) %, ^{235}U (0.2-0.3) %, ^{234}U 0.001 %, i ^{234}Th, ^{234}Pa i ^{231}Th u tragovima. U tragovima se mogu naći i izotopi ^{236}U, ^{239}Pu i ^{240}Pu, koji svjedoče da je taj osiromašeni uranijum dobijen reprocesiranjem istrošenog reaktorskog goriva. Specifična aktivnost osiromašenog uranijuma je 39.42 MBq/kg, od čega najveći dio ide na ^{238}U i njegove potomke ^{234}U i ^{234}Pa koji su sa njim u ravnoteži (po 12.27 MBq/kg), a manji dio na ^{235}U i ^{231}Th (po 0.16 MBq/kg) [3], dok je specifična aktivnost ^{236}U, ^{239}Pu i ^{240}Pu manja od 100 Bq/kg osiromašenog uranijuma [4].

Dakle, aktivnost jednog čitavog penetratora od osiromašenog uranijuma je 11.51 MBq. Penetrator emituje α, β i γ-zračenje. Ukupna energija α-zračenja koju u jedinici

vremena emituje osiromašeni uranijum iznosi 11 % od odgovarajuće veličine kod ^{238}U-niza u radioaktivnoj ravnoteži. Za β-zračenje je taj odnos 42 %, a za γ-zračenje 1.4 %.

Dekontaminaciju rta Arza od osiromašenog uranijuma finansira Vlada Crne Gore. Projekt dekontaminacije je završen u decembru 2000. godine, a pripremni radovi za dekontaminaciju urađeni su tokom januara 2001. Prva faza dekontaminacije trajala je od 1 februara do sredine juna 2001. godine, uz angažovanje 10-15 članova stručnog tima i 10-tak ljudi u logistici. Dozimetrijski je pretražena površina od 31.000 m^2. Kontaminacija osiromašenim uranijumom je nađena na površini od 10.000 m^2 i ta je površina dekontaminirana do nivoa dvostrukog prirodnog fona na Arzi i niže. Ukupno je obrađeno 188 lokacija sa uranijumskom kontaminacijom. Nađena su 102 uranijumska penetratora i 28 njihovih krupnijih fragmenata, tj. oko 35 kg osiromašenog uranijuma i oko 10 kg visoko-kontaminiranog tla. Nađen je i velik broj djelimično kontaminiranih aluminijskih košuljica projektila. Dekontaminacijom je sklonjeno oko 2 tone nisko-aktivnog materijala (zemlja, kamen, površinski humusni sloj itd.). U drugoj fazi dekontaminacije rta Arza, pretražiće se još oko 30.000 m^2 terena, na dijelu kojeg je prospekcija pokazala kontaminaciju uranijumom.

MJERNI UREĐAJI

Na raspolaganju su nam bili slijedeći mjerni uređaji: Eberline-ov dozimetrijski sistem TOL/F i više domaćih mjerača kontaminacije: KOMO-TL, RMK-10 i KOMO-TM.

1. Portabl dozimetrijski sistem TOL/F LB 132 sastoji se od centralne elektronske jedinice i seta odgovarajućih sondi.

a.) Jonizaciona komora LB 1321, cilindričnog oblika, ima aktivnu zonu dužine 10 cm i prečnika 2.6 cm, koja u sebi sadrži vazdušno ekvivalentnu gasnu smješu. Energetski opseg je (relativno u odnosu na fotonsku ekvivalentnu dozu) od 10 keV-a do 7 MeV-a. Sa ovom sondom aparat radi kao dozimetar (prikaz mjerene vrijednosti u Sv/h), ili kao brojač impulsa (prikaz u imp/s). Mjerni opseg je od 0.1 μSv/h do 100 Sv/h. U niskodoznom mjernom opsegu od 0.1 μSv/h do 10 mSv/h, instrument je licenciran od strane njemačkog federalnog biroa za standarde kao njihov zvanični dozimetrijski instrument. U ovom opsegu sonda radi u proporcionalnoj oblasti. Visokodozni mjerni opseg je od 10 mSv/h da 100 Sv/h i sonda tada radi u oblasti jonizacione komore.

b.) Sonda βγ LB 1231 je proporcionalni brojač punjen ksenonom. Prozor sonde je napravljen od titanske folije gustine 5 mg/cm^2. Aktivna površina brojača je 210 cm^2. Moguć je izbor različitih režima rada. U β modu sistem registruje pojedinačno broj impulsa u jedinici vremena.

2. KOMO-TL i RMK-10 su mjerači kontaminacije prizvedeni u Institutu za nuklearne nauke "Vinča". Detektor im je GM sonda tipa S8, namijenjena registraciji mekog β-zračenja. Prozor detektora je od mike, površine 33 cm^2 i debljine (14-17) μm, a efikasna površina prozora GM brojača je 27 cm^2.

3. KOMO-TM je takođe mjerač kontaminacije prizveden u Institutu "Vinča". Detektor mu je halogena GM sonda, sa prozorom od mike površine 6 cm^2.

Provjerom ovih mjernih uređaja sa kalibracionim ravanskim izvorom β-zračenja ^{90}Sr+^{90}Y (površina 160 cm^2), kada se detektor postavi 1 cm iznad izvora, ustanovili smo da KOMO-TL i TOL/F sa βγ-sondom imaju približno jednaku efikasnost ako se izvoru zračenja otkrije samo površina koja odgovara osjetljivoj površini dozimetra KOMO-TL. KOMO-TM ima tada 2.5 do 3 puta manju efikasnost od ovih dozimetara, ali treba imati u

vidu da mu je osjetljiva površina više od 4 puta manja nego ona kod KOMO-TL. Ako je otkrivena čitava površina izvora, efikasnost TOL/F je 5 puta veća nego KOMO-TL.

Sa kvazitačkastim izvorima zračenja ^{137}Cs i ^{226}Ra, ekraniranim sa 4 mm aluminijuma, urađen je zatim i eksperiment procjene efikasnosti ovih instrumenata za registraciju γ-zračenja, sa rastojanjem izvor-detektor od 1 cm. Oba KOMO uređaja su pokazala sličnu efikasnost, a TOL/F sa βγ-sondom 2.5 do 3 puta veću efikasnost od njih.

Da bi imali orjentaciju do koje dubine u tlu Arze možemo sa navedenim instrumentima detektovati prisustvo uranijumskog penetratora, uradili smo slijedeći eksperiment. Tipična zemlja na Arzi je crvenica, gustine 1.24 g/cm^3. Na dno metalne posude dimenzija (30 x 35) cm postavili smo čitav penetrator u horizontalnom položaju. Na penetrator smo dodavali sloj po sloj zemlje, držeći njenu gustinu konstantno na 1.24 g/cm^3 i očitavali pokazivanja instrumenata čiji su detektori bili postavljeni vertikalno nad centrom penetratora. Rezultati su prikazani u Tabeli 1a. Zatim smo uradili isto, ali sa penetratorom u horizontalnom položaju, sa vrhom nadolje, što je prikazano u Tabeli 1b.

Tabela 1a. Penetrator u horizontalnom položaju.

sloj zemlje (cm)	TOL/F βγ-sonda (cps)	TOL/F γ-sonda (μSv/h)	KOMO–TL (cps)	KOMO–TM (cps)
3.5	160	0.70	30	11
8.5	75	0.46	10	8
11.5	55	0.34	8	6
13.5	43	0.30	7	5
15.5	36	0.30	6	4
16.5	36	0.26 (fon)	5	4
17.5	34		4.5	3.5
18.5	33		4 (fon)	3 (fon)
19.5	31			
21.5	27			
23.5	26			
25.5	24			
27.5	23 (fon)			

Tabela 1b. Penetrator u vertikalnom položaju, sa vrhom nadolje.

sloj zemlje (cm)	TOL/F βγ - sonda (cps)	TOL/F γ-sonda (μSv/h)	KOMO–TL (cps)	KOMO–TM (cps)
2	135	0.33*	20	11
4	92	0.40	11	8.5
6	73	0.31	9	6
8	55	0.27	7.5	5.5
10	48	0.26 (fon)	6	4
12	36		5	3.5
14	34		4.5	3.5
16	31		4 (fon)	3 (fon)
18	27			
20	25			
22	24			

* položaj sonde bio pogrešan

Tokom ovih mjerenja, sonde svih instrumenata su bile zaštićene termofolijom postavljenom preko njihovog prozora, baš kao što su i korišćeni na terenu Arze. Termofolija smanjuje efikasnost registracije β-zračenja izvora $^{90}Sr+^{90}Y$ za 20 %, ali predstavlja nužnu zaštitu prozora od kontaminacije i proboja oštrim kamenjem i ostacima posječenog žbunja. Termofolija praktično ne smanjuje efikasnost registracije γ-zračenja.

Iz tabela se vidi da TOL/F γ-sonda ima najmanju osjetljivost na uranijumski penetrator, radi čega se odustalo od njenog korišćenja za dozimetrijsku pretragu terena. KOMO-TL i KOMO-TM imaju gotovo istu osjetljivost na penetratore od osiromašenog uranijuma i sa njima se mogu otkriti penetratori do dubine (10-16) cm, zavisno od njihovog položaja u zemlji. Za dozimetrijsku pretragu terena ipak prednost ima KOMO-TL zbog veće osjetljive površine brojača. KOMO-TM, međutim, zbog male efikasne površine, pokazuje se instrumentom izbora onda kada u već otkrivenoj udarnoj rupi treba pronaći pravac prodora penetratora na osnovu uzanog radioaktivnog traga koji ovaj ostavlja za sobom. TOL/F βγ-sonda se u navedenom eksperimentu pokazala najboljom, jer omogućava otkrivanje uranijumskih penetratora do dubine (20-25) cm u zemlji i zato što ima najveću osjetljivu površinu. No ova sonda je najteža i najnepogodnija za povlačenje po terenu. Zbog toga je odlučeno da se ona koristi za verifikaciju postojanja kontaminacije na datom mjestu na terenu i na kraju za provjeru uspješnosti obavljene dekontaminacije na tom mjestu.

U laboratoriji smo uradili i eksperiment određivanja dometa β-zračenja izvora $^{90}Sr+^{90}Y$ u zemlji crvenici sa Arze. Našli smo da već pri debljini sloja zemlje crvenice od 1 cm iznad ravanskog izvora instrumenti daju brzinu impulsa koja odgovara fonskom odbroju za ovaj tip zemljišta.

Prema tome, registracija β-zračenja pri dozimetrijskoj pretrazi terena omogućava da se otkrije površinska kontaminacija oksidima uranijuma, a γ-zračenja otkrivanje penetratora i njihovih fragmenata u dubini tla.

ISKUSTVA SA ARZE

Rt Arza je kamenit, zemljište je plitko i tipa crvenice ili ponegdje smeđe ili humusno, a cijeli rt je obrastao žbunjem i niskim rastinjem, sa rijetkim drvećem. Teren je blago izdignut (0 do 13 m) u odnosu na nivo mora, a u zaleđu rta prelazi u brdo sa gustom i gotovo neprohodnom vegetacijom. Na Arzi i neposrednoj okolini nema izvorišta, a sve padavine i vodeni rastvori odlaze u more. Rt Arza je turističko područje, bez bilo kakve poljoprivredne ili stočarske djelatnosti.

Prilikom prvog obilaska rta, stručni tim je konstatovao da je, zbog vremena proteklog od dana dejstva NATO avijacije (20 mjeseci), kao i ukupnih padavina u tom periodu (preko 1000 litar/m^2), veoma teško vizuelno prepoznati mjesta udara uranskih metaka, a time otkriti i pravce rafalnih dejstava. Radi toga je jedan od starešina jedinice ABHO VJ, koji je izviđao teren na Arzi i neposredno poslije njenog mitraljiranja, povremeno dobijao zadatak dozimetriste-izviđača i ulazio sa aparatom u neraskrčen teren u cilju pronalaženja mjesta sa udarnim rupama i pravaca dejstva aviona. To se pokazalo vrlo korisnim jer smo na osnovu njegovih nalaza mogli racionalnije planirati i obavljati sve poslove neophodne za uspješnu dozimetrijsku pretragu i dekontaminaciju terena.

Da bi se mogla voditi detaljna evidencija i kontrola urađenog posla, teren rta Arza je podijeljen na sekcije. Sekcije su bile približno pravougaonog oblika, širine 10 m, a dužine od 10 do 80 m. Pošto je teren obrastao gustim rastinjem koje onemogućava detaljnu

dozimetrijsku pretragu, ostalima je prethodila ekipa za krčenje terena, koja je sjekla i iznosila žbunasto rastinje, a svo postojeće izraslo drveće je potkresano i sačuvano.

Kako bi izbjegli mogućnost da neki dio sekcije bude slučajno preskočen ili površnije dozimetrijski pretražen, prilikom pretrage su sve sekcije kanapom dijeljene na poprečne staze. Znači, staza je bila dužine 10 m, a njena širina je bila 0.7 m. Članovi ekipe za dozimetriju, kojih je zavisno od potreba organizacije ukupnog posla bilo 2 do 6, prvo su vršili vizuelnu pretragu staze, pa tek poslije toga detaljnu pretragu dozimetrima. Dozimetristi su se kretali u liniji, jedan pored drugoga. Pretraga je vršena aparatima KOMO-TL i RMK-10. U toku rada na Arzi smo od kolega iz Vinče dobili na korišćenje i dva improvizovana detektorska sistema, koja su imala 3 odnosno 5 halogenih GM-cijevi, koja su nam i pored mana njihove elektronike veoma korisno poslužila zbog njihove velike efikasne površine. Sonda je tokom pretrage terena držana nad zemljom najviše do visine od 5 cm, a brzina pomjeranja sondi je bila (5–7) cm/s, naravno uz zadržavanje na mjestima sa kontaminacijom, a posebno dugo na onim mjestima gdje je brzina impulsa bila oko ili malo iznad gornje granice fona. Brzina kretanja dozimetriste duž staze bila je u prosjeku oko 20 m/h. Kanapi se poslije pretrage staza paralelno prenose za istu širinu na slijedeći dio sekcije.

Zona krčenja rastinja i detaljne dozimetrijske kontrole je proširivana sve dotle dok se oko područja sa detektovanom kontaminacijom osiromašenim uranijumom nije dobio pojas širine oko 30 m u kojem nije otkrivena nikakva kontaminacija, uključujući i rikošetirane fragmente penetratora. Na taj način je obrađena površina od oko 10.000 m^2. I izvan te zone je rađena dozimetrijska pretraga. Na pjeskovitoj plaži na rtu je rađena detaljna dozimetrijska pretraga po kolonama {irine 0.7 m, a na stjenovitoj obali vizuelna i gdje je bilo moguće mjestimična dozimetrijska pretraga. I sav preostali dio rta je dozimetrijski pregledan najdetaljnije što je bilo moguće bez krčenja terena. Tako je ukupno dozimetrijski pretražena površina od 31.000 m^2, tj. turistički najatraktivniji dio rta Arza.

Prirodni fon na Arzi KOMO-TL registruje sa 2 do 4 imp/s. Na svakoj lokaciji gdje instrument pokaže brzinu brojanja iznad 4 imp/s, dozimetrista pobada zastavicu, da bi ekipa za dekontaminaciju kasnije provjerila da li se radi o varijaciji fona ili je u pitanju stvarno kontaminacija osiromašenim uranijumom.

Provjera ovih lokacija je rađena sa TOL/F $\beta\gamma$-sondom - najosjetljivijim instrumentom koji nam je bio na raspolaganju. Brzina fonskih impulsa na ovom instrumentu se na Arzi kreće u relativno širokom opsegu (15-25) imp/s, zavisno od toga da li se instrument nalazi nad kamenjarom, smeđim ili humusnim zemljištem ili nad crvenicom.

Dok je nad ostalim tipovima terena pokazivanje ovog instrumenta od (20-25) imp/s sigurno označavalo mjesto sa kontaminacijom, nad crvenicom je ono bilo rezultat vrlo visokog prirodnog sadržaja uranijuma u njoj, koji može biti do 200 Bq/kg [5]. Ne oslanjajući se samo na vizuelno prepoznavanje vrste tla u konkretnom slučaju, dalja provjera da li se radi o fonu ili kontaminaciji rađena je tako što je na tom mjestu skidan sloj po sloj zemljišta uz stalna mjerenja brzine impulsa sa TOL/F. Ako je mjesto kontaminirano sa osiromašenim uranijumom brzina impulsa raste sa dubinom, a ako se radi o nekontaminiranoj crvenici brzina impulsa ostaje nepromijenjena i nakon kopanja rupe dubine 10 do 20 cm.

Prisustvo površinske kontaminacije fragmentima ili oksidima uranijumskih penetratora se veoma lako otkriva visokom brzinom impulsa i pratećim zvučnim signalom TOL/F. Prisustvo penetratora, ili krupnijeg njegovog fragmenta, u dubini tla se otkriva na osnovu bržeg ili sporijeg rasta brzine impulsa koje registruje TOL/F na datoj lokaciji nakon

pažljivog skidanja slojeva zemljišta prema dubini. Instrumentom KOMO-TM se najpreciznije lokalizuje pravac prodora penetratora u tlo, ili njegovo skretanje sa tog pravca uzrokovano kamenjem i stijenama ispod površine tla. Zbog strukture terena na Arzi, obično već na maloj dubini u tlu, od nekoliko santimetara, penetrator naiđe na kamen, koji se pokaže u cjelini razdrobljen od siline udara metka. Takav kamen dobije sivu boju od oksida uranijuma i jako je radioaktivan. Ako penetrator naiđe na stijenu, on klizi po njoj, ili prodire u nju kroz pukotine, ostavljajući za sobom sivo-crni trag od uranijumskih oksida koji je obično lako pratiti instrumentima. Međutim, ponekad treba puno upornosti i iskustvene vještine traganja sa instrumentima KOMO-TM i TOL/F da bi se otkrilo gdje je to nestao penetrator poslije prodora u neku stijenu ili između dvije stijene. Ponekad oksidni trag pokaže da se penetrator po stijeni u zemlji kretao kao po toboganu i izašao iz tla. Zahvaljujući upravo tim tragovima od uranijumskih oksida na kamenju i stijenama u tlu, uspijevali smo da pronađemo penetratore ili njihove krupnije fragmente i na 90 cm dubine.

Za međusobni položaj uranijumskih penetratora i njihovih aluminijumskih košuljica nijesmo uočili neke pravilnosti. Negdje su jedni uz druge, a negdje jedni bez drugih, što je uslovljeno njihovom bitno različitom prodornošću i kamenitošu terena. Naravno da su košuljice nalažene, čitave ili u djelovima, pliće u kamenitoj zemlji, obično do dubine od oko 20 cm. Međutim, na jednom mjestu, gdje je zemlja bila bez kamenja u njoj, našli smo košuljicu na dubini od 50 cm.

ZAKLJUČAK

Organizacija radiološkog izviđanja bitno zavisi od konfiguracije terena, tipa tla i vrste kontaminacije. Na rtu Arza koristili smo i vizuelne pretrage terena i prospekcijski i izviđački metod dozimetrijske pretrage radi otkrivanja pojedinačnih udarnih mjesta i pravaca udara uranijumskih metaka, a na širem području od onog gdje je na taj način pronađena kontaminacija rađena je spora i detaljna dozimetrijska pretraga po označenim stazama širine 0.7 m. Kada su u pitanju penetratori od osiromašenog uranijuma, pokazalo se da su mogućnosti njihovog otkrivanja u dubini tla čak i veće nego što se dalo zaključiti na osnovu prethodnih laboratorijskih ispitivanja. U laboratoriji smo ih mogli detektovati do dubine od 20 do 25 cm, a na terenu, zahvaljujući oksidnim tragovima koji ostavljaju za sobom na mjestima prodora u tlo i na kamenju pod površinom, sve do dubine od 90 cm.

Mjerači kontaminacije KOMO-TL i KOMO-TM, domaće proizvodnje, pokazali su visoku upotrebnu vrijednost u slučaju osiromašenog uranijuma, prvi posebno u otkrivanju kontaminiranih mjesta, a drugi u traganju za uranijumskim penetratorima u dubini tla. Međutim, proporcionalni brojač punjen ksenonom, kao što je TOL/F sa $\beta\gamma$-sondom, sa njegovom velikom efikasnom površinom i visokom osjetljivošću, pokazao se kao ključni instrument u verifikaciji postojanja penetratora na većim dubinama u tlu i provjeri kvaliteta obavljene dekontaminacije. Sve u svemu, naše dozimetrijske performanse sa ova tri tipa instrumenata, kada je u pitanju kontaminacija terena osiromašenim uranijumom, nijesu bile lošije od onih UNEP-ovog tima na Kosovu [4], koji je imao na raspolaganju svu najsavremeniju opremu za otkrivanje radioaktivne kontaminacije terena.

LITERATURA

[1] www.nato.int/du/reldocs.htm
[2] N.H. Harley, E.C. Foulkes, L.H. Hilborne, A. Hudson, C.R. Anthony: "A review of the scientific literature as it pertains to Gulf war illnesses - Vol. 7 Depleted Uranium", RAND, Washington, 1999.
[3] "The potentials effects on human health and the environment arising from possible use of depleted uranium during the 1999 Kosovo conflict", UNEP/UNCHS Balkans Task Force, Geneva, October 1999.
[4] "Depleted uranium in Kosovo - Post-conflict environmental assessment", UNEP Scientific Mission to Kosovo, 5 - 19 November 2000, UNEP 2001.
[5] P. Vukotić, G.I. Borisov, V.V. Kuzmič, V.M. Kulakov, N. Antović, S. Dapčević, M. Mirković, M. Pajović, R. Svrkota, B. Fuštić, G. Đuretić: "Background gamma- radiation in Montenegro", Proceedings of The IRPA Regional Symposium on Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe, Prague, Czech Republic, September 8-12, 1997, 477-479.

ABSTRACT

DOSIMETRIC EXPERIENCE FROM WORK ON DEPLETED URANIUM DECONTAMINATION AT CAPE ARZA

P. Vukotić, T. Anđelić[1], R. Zekić[1], M. Kovačević[2],
V. Vasić[3], N. Ristić[3], D. Fortuna[4]
Faculty of Sciences, University of Montenegro, Podgorica
[1]Center for Ecotoxicological Research of Montenegro, Podgorica
[2]Institute of Nuclear Sciences VINČA, Belgrade
[3]Navy Command, Yugoslav Army
[4]School Center ABCD - Kruševac, Yugoslav Army

By the end of May 1999, NATO-aviation struck the Cape Arza, at the entrance of Boka Kotorska bay, with 480 bullets made of depleted uranium. During the first half of year 2001, the domestic professionals decontaminated the most attractive part of this tourist area. Dosimetric experience from this work, which was financed by the Government of Montenegro, is presented in this paper.

PRIMENA IMPULSNOG UGLJENDIOKSIDNOG LASERA ZA RADIOLOŠKU DEKONTAMINACIJU BAKARNIH POVRŠINA

N. Stjepanović, M. Trtica[1], Š. Miljanić[2]
Vojnotehnički institut VJ,
[1]Institut za nuklearne nauke "Vinča",
[2]Fakultet za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu

SADRŽAJ

Ispitana je mogućnost upotrebe impulsnog TEA CO_2 lasera za radiološku dekontaminaciju bakarnih površina koje su kontaminirane izotopom ^{56}Mn. Dekontaminacija je vršena snažnim laserskim snopom fokusiranim pomoću KBr sočiva, koji je usmeravan na kontaminiranu površinu. Dobijeni su dobri faktori dekontaminacije. Zbog mnogih prednosti laserske dekontaminacije nad standardnim dekontaminacionim metodama, kao što su: eliminacija tečnih reagenasa za dekontaminaciju, redukcija sekundarnog otpada, reciklaža otpada, mogućnost prenošenja laserskog snopa optičkim vlaknom itd., postoji potreba za razvojem ove metode.

UVOD

Princip metode dekontaminacije laserom je *ablacija* – trenutno otparavanje površinskog sloja materijala sa neke površine pod dejstvom intenzivnog laserskog snopa, pri čemu se udalji i kontaminirani sloj. Da bi lasersko zračenje izazvalo ablaciju potrebno je: da poseduje dovoljnu energiju, da bi moglo da izazove trenutno isparavanje materijala, bez njegovog nepotrebnog zagrevanja ili topljenja i da obezbedi odgovarajuću gustinu upadne površinske snage. Poželjno je da površina koja se dekontaminira dovoljno dobro apsorbuje lasersku svetlost odgovarajuće talasne dužine [1]. Metali dobro reflektuju elektromagnetno zračenje u optičkoj i infracrvenoj oblasti i dobri su provodnici toplote. Međutim, apsorbovana energija je u velikoj meri uvećana zbog činjenice da površine metala nikad nisu homogene, tj. nisu idealno polirane, sadrže razne defekte (fizičke, hemijske i indukovane), često su oksidovane ili se oksiduju u procesu ozračivanja itd. Prisustvo kontaminacije ili nečistoća takođe povećava apsorpciju energije. Kada se površina jednom »načne«, tj. nastane prvi krater, on se ponaša kao crno telo, i apsorpcija zračenja se znatno uvećava.

Prednosti ove metode nad standardnim dekontaminacionim tehnikama su: nema sekundarnog otpada, koji nastaje primenom tečnih reagenasa za dekontaminaciju, eliminišu se tečni reagensi, koji uglavnom korozivno deluju na metale, i omogućava se reciklaža i ponovna upotreba kontaminiranih materijala. "Dekontaminacija na daljinu" je takođe očigledna prednost ove metode, a sastoji se u mogućnosti prenošenja laserskog snopa

optičkim vlaknom, što obezbeđuje visoku sigurnost osoblja, koje nije u direktnom kontaktu sa kontaminiranom površinom. Takođe, skupa oprema za dekontaminaciju nije izložena kontaminaciji.

Prvi radovi iz ove oblasti potiču iz Ames laboratorije, pri čemu je korišćen KrF ekscimerni laser (λ=248 nm) sa vremenom trajanja impulsa od 27 ns i učestanošću ponavljanja impulsa od 300 Hz [2,3]. Laserska dekontaminaciona tehnika, razvijena od strane Edelsona, Homing Panga (Ames laboratorija) i Fergusona (Martin Idaho kompanija), je realizovana u ZawTech (Zero Added Waste Technology) kompaniji u vidu komercijalnog uređaja pod nazivom Laser ZAWCAD sistem [4], koji omogućava primenu tehnologije optičkih vlakana za transport laserskog zračenja u cilju bezbedne dekontaminacije površina sa Nd:YAG laserom.

Upotreba ugljendioksidnog lasera u ove svrhe nije ozbiljno razmatrana najviše zbog toga što metali slabo apsorbuju infracrveno zračenje, pa se smatralo da bi njegova primena bila neefikasna. Ipak, postoje izvesne nedovoljno uočene mogućnosti ovih lasera koje treba razmatrati. S tim ciljem je i napravljeno ovo istraživanje.

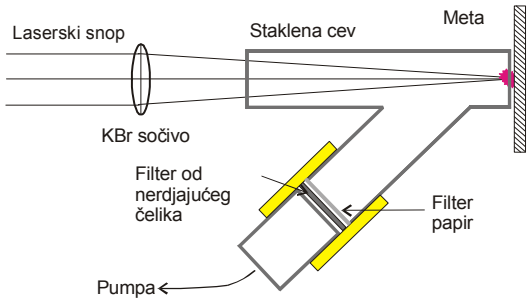
EKSPERIMENT

Uzorci namenjeni za eksperimente određivanja efikasnosti metode dekontaminacije primenom TEA CO_2 lasera su mete od bakarnog lima debljine 0,5 mm, koji je kontaminiran sa ^{56}Mn. Kontaminacija je lokalizovana na površine pravougaonih dimenzija 10mm$\times$1mm (uzorak Cu-1) i 10mm$\times$5mm (uzorak Cu-2). Izotop ^{56}Mn spada u aktivacione produkte ($T_{1/2}$ = 2,58 h) i on je beta (E_β = 1,04 MeV, 28%, i E_β = 2,85 MeV, 56%) i gama emiter (E_γ = 846,75 keV, 99%).

Priprema uzoraka za dekontaminaciju kontaminiranih sa ^{56}Mn je izvršena u dve etape. Prvo je elektrolitički nanesen ^{55}Mn, a zatim je ovakav uzorak - bakar sa slojem neaktivnog mangana aktiviran u polju neutronskog izvora ^{252}Cf, pri čemu je dobijen ^{56}Mn u (n,γ) nuklearnoj reakciji. Neaktivni ^{55}Mn je na bakar elekrolitički nanesen u elektrolitičkoj ćeliji u kojoj je anoda bila od grafita, a katoda od bakra (40 g mangana, 150 g amonijum sulfata i 0,1-0,2 g natrijum-selenita po litru elektrolitičkog rastvora) pri gustini struje od 400-500 A/cm^2. Ovako pripremljeni uzorci su ozračivani fluksom neutrona iz izvora ^{252}Cf. U (n,γ) reakciji od ^{55}Mn dobijen je ^{56}Mn, pri fluksu termalnih neutrona reda veličine 10^5 n/cm^{2}s. Efikasni presek za reakciju ^{55}Mn (n,γ) ^{56}Mn je 13,3 barna.

Merenje radioaktivnosti uzoraka kontaminiranih sa ^{56}Mn vršeno je gamaspektrometrijskim sistemom Canberra S100 sa germanijumskim detektorom visoke čistoće HPGe, koji ima relativnu efikasnost 20 %.

Aparatura za dekontaminaciju koja je korišćena u eksperimentu prikazana je na slici 1. Laserski snop je prolazio kroz staklenu cev unutrašnjeg dijametra 7 mm otvorenu sa obe strane. Druga cev istog dijametra je spojena sa tom cevi pod uglom od 45^0 i vezana za ulaz u vakuum pumpu. Pumpa usisava vazduh i ispareni materijal sa mete prenosi u filter, pri čemu se on taloži na filter papiru. Kontaminirana oblast uzorka, koji je pričvršćen na *x-y* nosač, je skenirana ručno tačku po tačku sa korakom od 0,5 mm. Svaka tačka je gađana sa po 60 impulsa. Svi eksperimenti su rađeni na sobnoj temperaturi. Ozračivanje meta laserskim zračenjem vršeno je u atmosferi vazduha pri normalnom atmosferskom pritisku 1013 mbar, pri čemu je vlažnost vazduha bila oko 60%. Lasersko zračenje je fokusirano pomoću KBr sočiva žižne daljine 65 mm. Padalo je na metu pod pravim uglom (slika 1), pri čemu je površina fokalne oblasti iznosila 0,005 cm^2.



Slika 1. Shematski prikaz aparature korišćene pri dekontaminaciji

Laser korišćen u eksperimentu je impulsni TEA (Transversely Excited Atmospheric) ugljendioksidni laser. Impulsni TEA CO_2 laser je izvor zračenja koji emituje svetlost talasne dužine od 10,6 μm u vidu kratkih impulsa, visoke izlazne snage i visoke impulsne energije. Učestanost ponavljanja impulsa je iznosila 2 Hz, a divergencija snopa 10 mrad, pri čemu je poluširina maksimuma impulsa bila 120 ns, a rep impulsa 2 μs. Gasna smeša lasera koji je korišćen u eksperimentu je netipična smeša $CO_2/N_2/H_2$ (1/1,6/1,4). Prisustvo vodonika povećava efikasnost sistema [5].

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobijeni pri dekontaminaciji uzoraka bakra kontaminiranih sa ^{56}Mn, pri energijama impulsa E = 135 mJ, gustinama impulsne energije Φ = 28 J/cm^2 i gustinama impulsne snage P = 94 MW/cm^2, dati su u tabeli 1. Faktor dekontaminacije F_d je definisan jednačinom $F_d = A_0/A_s$, gde je A_0 početna aktivnost, a A_s aktivnost zaostala posle izvršene dekontaminacije. Efikasnost transfera radioaktivnosti i njenog sakupljanja na filteru je izražena pomoću faktora prikupljanja S_f, koji je definisan jednačinom $S_f = A_f/A_0$, gde je A_f aktivnost zadržana na filteru.

Tabela 1. Faktori dekontaminacije i faktori prikupljanja dobijeni pri dekontaminaciji uzoraka bakra kontaminiranih sa ^{56}Mn

uzorak	debljina sloja mangana μm)	ρ (%)	A_0 (Bq/cm^2)	A_s (Bq/cm^2)	A_f (Bq/cm^2)	S_f	F_d
Cu -1	26	77	69,8	41,7	8,2	0,12	1,67
Cu -2	1,5	67,2	42,2	15,8	3,6	0,09	2,67

Dobijeni rezultati pokazuju da su ostvareni vrlo dobri faktori dekontaminacije u oba prikazana slučaja. Ovaj faktor je nešto veći za uzorak sa tanjim slojem mangana, kod kojeg je nađeno da ima manju reflektivnost (ρ), tj. pokazuje veću apsorpciju na talasnoj dužini CO_2 lasera. Reflektivnosti su određivane spektrofotometrijski. Takođe, dobijeni faktori dekontaminacije odgovaraju procentima skinute aktivnosti od 40% i 62%, što je manje od očekivanog, s obzirom na dovoljno visoke vrednosti upadne površinske energije i površinske snage primenjenog laserskog zračenja. Razlog je u tome što je skeniranje

laserskog snopa po kontaminiranoj površini vršeno ručno, tj. tačku po tačku na rastojanju 0,5 mm, pri čemu su zaostali kontaminirani međuprostori između tačaka koje je pogađao laser. Ovaj problem bi se rešio upotrebom kompjuterski kontrolisanog *x-y* stola [6]. Niski faktori prikupljanja su verovatno posledica nedovoljno brzog otpumpavanja.

ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se pokaže da se i ugljendioksidni laser može upotrebiti za dekontaminaciju, bez obzira na to što njegovu svetlost metali slabije apsorbuju od svetlosti manjih talasnih dužina. Pokazano je da se njegovom primenom mogu dobiti relativno dobri faktori dekontaminacije, čak i sa niskim izlaznim impulsnim energijama [7]. Zbog mogućnosti ostvarivanja visoke snage, visokog koeficijenta korisnog dejstva i relativno niske cene koštanja, a uzimajući u obzir prednosti dekontaminacije laserom nad standardnim metodama, potrebno je i dalje razmatrati mogućnost njegove primene.

LITERATURA

[1] Miljanić Š., Lasersko zračenje - Primena kod dekontaminacije površina, XX Simpozijum Jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Tara, 3-5. novembar, 1999, Zbornik radova, str. 391-402.

[2] Pang H. M., Lipert R. J., Hamrick Y. M., Suna Bayrakal, Gaul K., Davis B., Boldwin D. P., Edelson M. C., Laser Decontamination: A New Strategy For Facility Decommissioning, Ames Laboratory, Ames IA 50011, operated for the DOE by Iowa State University under Contract W-7405-eng-82, 1992.

[3] Edelson M. C., Ho-ming Pang, Ferguson R. L., A Laser-Based Solution to Industrial Decontamination Problems, Proceedings of the Laser Materials Processing Conference "ICALEO 95", 1995. pp. 768-777

[4] Enginering News, Engineers Keep Things Green-Lasers and Fiberoptic Technology Help Engineers Identify and Decontaminate Hazardous Wastes, November 2, 1998.

[5] Trtica M. S., Ribnikar S. V., Optics Commun. 67, 133 (1988).

[6] Kincade K., Laser Focus World 51, 57 (1995).

[7] Miljanić Š. S., Stjepanović N. N., Trtica M. S., SPIE Proc. 3887, 353-359 (2000).

ABSTRACT

APPLICATION OF THE PULSED CARBON DIOXIDE LASER FOR RADIOACTIVE DECONTAMINATION OF COPPER SURFACES

N. Stjepanović, M. Trtica[1], Š. Miljanić[2]
Military Technical Institute,
[1]Vinča Institute of Nuclear Science,
[2]Faculty of Physical Chemistry University of Belgrade

The efficiency of decontamination of a metal surface with pulsed the CO_2 TEA laser was examined. The experiments were performed with the copper surface contaminated by the ^{56}Mn isotope. The laser beam was focused onto the contaminated surface using a KBr lens in order to cause its ablation. Calculated decontamination factors have shown that ablation takes place with relatively high decontamination efficiency.

SELEKCIJA MATRICA ZA IMOBILIZACIJU URANIJUMA: ANALIZA STABILNOSTI PRIRODNIH MATRICA

S. Raičević, I. Plećaš
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja "Zaštita"

SADRŽAJ

U radu je razmatrana stabilnost uranil fosfata kao prirodnih analoga za potencijalne matrice za imobilizaciju uranijuma. Kao osnova ove studije korišćen je teorijski kriterijum za utvrđivanje stabilnosti sistema matrica/primesa zasnovan na izučavanju potencijala jon-jon interakcije kao dominantne komponente kohezione energije sistema. Izračunat je potencijal jon-jon interakcije za seriju uranil fosfata. Na osnovu ovih rezultata autunit je izabran kao najstabilniji uranil fosfatni mineral. Dobijeni rezultati, koji su u potpunosti saglasni sa procenama drugih istraživača, dobijenim korišćenjem kompleksnih fizičko-hemijskih i kristalo-hemijskih merenja, potvrđuju da autunit predstavlja adekvatnu matricu za praktičnu imobilizaciju uranijuma.

UVOD

Kontaminacija značajnog dela Kosova [1] kao i nekih područja južne Srbije [2] osiromašenim uranijumom (DU) nameće urgentnu potrebu iznalaženja nejefikasnijih i najekonomičnijih postupaka za njegovo uklanjanje kako bi se sprečio njegov ulazak u podzemne vode i lanac ishrane. Imobilizacija uranijuma u čvrstu matricu predstavlja jedan od retkih raspoloživih postupaka koji se mogu primentiti u dekontaminaciji velikih geografskih lokacija [3]. Jedan od osnovnih problema u ovom pristupu dekontaminacije *in situ* predstavlja adekvatan izbor čvrste matrice koja će omogućiti efikasnu i stabilnu inkorporaciju uranijuma [4, 5]. Cilj ove studije bio je ispitivanje stabilnosti prirodnih minerala uranijuma (kao prirodnih analoga) kako bi se odredila čvrsta matrica najpogodnija za njegovo uklanjanje iz kontaminirane sredine.

STABILNOST PRIRODNIH MINERALA URANIJUMA

Uranijum se u prirodi pojavljuje u U^{+4} i U^{+6} valentnom stanju. Postoji samo mali broj U^{+4} minerala od kojih je najpoznatiji i najvažniji uraninit (UO_2). Prirodni uraninit je retko stehiometrijski tako da se pravilnije opisuje kao UO_{2+x} gde x varira izmedju 0 i 0.25. U redukcionim uslovima ovaj mineral je vrlo stabilan i kada bi mogao da zadrži U^{+4} stanje bio bi dobra matrica za imobilizaciju uranijuma. Nažalost, u oksidacionim uslovima lako se

transformiše u U^{+6} koji može odmah da se fiksira u novi mineral ali najčešće daleko migrira kontaminirajući podzemne vode.

Uranijum kao U^{+6} formira veliku grupu oksida, hidratisanih oksida i uranata. Uranati formiraju jedinjenja sa Na, K, Mg, Ca, Ba i Pb. Postoje mnoge kristalne modifikacije UO_3 ali se nijedna ne pojavljuje prirodno. Najčešće se formira hidratisani schoepite $UO_3 \cdot 2H_2O$ ili njegova polimorfna modifikacija. Uranati se rastvaraju i formiraju uranil jedinjenja u oksidacionoj zoni.

Svaki uranijum koji stigne do podzemnih voda migrira kao uranil jon UO_2^{+2} ili kao neki kompleks koji obuhvata uranil jon. Uranil jon je linearni molekul sa uranijumom u sredini i jonima kiseonika na krajevima. Zbog ove jedinstvene geometrije uranil jedinjenja u prirodi formiraju svoju sopstvenu seriju jedinjenja sa vrlo malo zamene drugih jona. Uranil formira kompleksne strukture sa gotovo svim oksi-anjonima, karbonatima, sulfatima, fosfatima, arsenatima, molibdatima, selenatima, vanadatima i silikatima. Medjutim najveći broj karbonata, sulfata, molibdata i selenata pa čak i silikata je relativno rastvoran tako da će sa promenom uslova uranijum "iscureti" i kontaminirati okolinu. Sa druge strane, fosfati, arsenati i vanadati su vrlo nerastvorni i mogu biti pogodni kao jedinjenja za odlaganje. Zbog toksičnosti arsena i relativno retkog pojavljivanja vanadata uranil fosfati izbijaju na prvo mesto kao potencijalno najbolji kandidati za imobilizaciju uranijuma [4].

METODA TEORIJSKE ANALIZE STABILNOSTI SISTEMA

Analiza stabilnosti uranil fosfata vršena je korišćenjem teorijskog kriterijuma koji je originalno razvijen u Institutu za nuklearne nauke u Vinči [6]. Prema ovom kriterijumu osnovni parametar koji definiše stabilnost sistema je potencijala jon-jon interakcije $V(r_0)$, koji predstavlja dominantan deo kohezione energije sistema.

Tabela 1. Potencijal jon-jon interakcije $V(r_0)$ za seriju uranil fosfata

$UO_2 : PO_4$	Hemijska formula	Uranil fosfati	r_0 [a.u.]	$V(r_0)$ 10^{-2} [Ry]
4 : 2	$Ba(UO_2)_4(PO_4)_2(OH)_4$	bergenit	1.12	-0.331
	$Pb(UO_2)_4(PO_4)_2(OH)_4$	renardit	1.07	-11.588
3 : 2	$Ca(UO_2)_3(PO_4)_2(OH)_4$	fosfouranilit	1.09	-0.914
	$Pb_2(UO_2)_3(PO_4)_2(OH)_4$	dumontit	1.07	-27.003
2 : 2	$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2$	autunit	1.17	-41.479
	$Pb(UO_2)_2(PO_4)_2$	divindit	1.11	-4.109
2 : 3	$Fe_2Al_2(UO_2)_2(PO_4)_2(SO_4)(OH)_2$	kokoninoit	1.10	-36.703
2 : 4	$Pb_4(UO_2)_2(PO_4)_2$	parsonsit	1.18	-11.852
	$Pb(UO_2)_2(PO_4)_4$	przevalskit	1.05	-0.854
	$(H_3O)_4Ca_2(UO_2)_2(PO_4)_4$	pseudoautunit	1.04	-14.925

Odredjivanje potencijala jon-jon interakcije u okviru teorije pseudopotencijala i pseudoatomske aproksimacije detaljno je objašnjen u radovima [7-9]. Izračunavanje parametra $V(r_0)$ za konkretne sisteme uradjeno je pomoću softvera VINMATRIX 1.0 koji je namenski razvijen za ovu namenu u Institutu u Vinči. Algoritam softvera dat je u radu [10].

ANALIZA STABILNOSTI URANIL FOSFATA

Analiza stabilnosti jedinjenja uranil fosfata vršena je korišćenjem predloženog teorijskog kriterijuma prema kome minimalna vrednost potencijala jon-jon interakcije odgovara najstabilnijem sistemu. Rezultati izračunavanja $V(r_0)$ za seriju uranil fosfata prikazani su u Tabeli 1.

Iz Tabele 1. se vidi da minimalnu vrednost potencijala jon-jon interakcije $V(r_0) = -41.479 \cdot 10^{-2}$ Ry ima autunit $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2$ kod koga je odnos $UO_2 : PO_4 = 2 : 2$. Autunit minerale sačinjavaju tri grupe minerala: autunit, meta-autunit I i meta-autunit II, zavisno od broja molekula vode koji ulaze u sastav minerala. Različit broj molekula vode je uobičajen unutar grupe ali pošto ne utiče bitno na stabilnost prirodnog minerala [4] analiza je urađena za čisto jedinjenje. Izuzetno niska vrednost $V(r_0)$ za autunit, čak za red veličine niža od nekih uranil fosfata (Tabela 1.) ukazuje na veliku stabilnost ovog sistema i na njegovu pogodnost kao matrice za imobilizaciju uranijuma.

Selekcija autunita kao dobre potencijalne matrice za imobilizaciju uranijuma, koja je izvršena na osnovu teorijskog kriterijuma zasnovanog na potencijalu jon-jon interakcije u potpunosti se poklapa sa selekcijom koja je izvršena na osnovu kompleksnih eksperimentalnih istraživanja, u kojima se dodatkom apatita, u procesu *in situ* remedijacije formira autunit [11, 12].

ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u ovom radu, koji su u potpunosti u saglasnosti sa procenama drugih autora, dobijenim na bazi eksperimentalnih fizičko-hemijskih i kristalo-hemijskih kriterijuma, ukazuju na prirodni analog autunit kao optimalnu čvrstu matricu za imobilizaciju uranijuma u praksi.

LITERATURA

[1] Depleted Uranium in Kosovo, Post-Conflict Environmental Assessment, UNEP, Switzerland, 2001.
[2] S. Pavlović, R. Pavlović, S. Marković, I. Plećaš, XX Simpozijum JDZZ, Tara, 1999, 45.
[3] S. Raičević, Chem. Ind., 55 (2001) 277.
[4] R. Roy, Radioactive waste disposal, Pergamon Press, New York, 1982.
[5] J. L. Conca, N. Lu, G. Parker, B. Moore, A. Adams, J. Wright, P. Heller, Second International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, May 2000 with an Addendum from ICAM 2000.
[6] V. Veljković, D. I. Lalović, Phys. Rev., B11 (1975) 4242.
[7] M. Blažon, B. Veljković, J. Mat. Sci., 14 (1979) 228.
[8] S. Raičević, I. Plećaš, D. I. Lalović, V. Veljković, Mat. Res. Soc. Szmp. Proc., 556 (1999) 135.
[9] S. Raičević, I. Plećaš, 3rd International Yugoslav Nuclear Conference (YUNSC-2000), Belgrade, 2000.
[10] J. Lazović, N. Škrbić, S. Raičević, XX Simpozijum JDZZ, Tara, 1999, 431.
[11] J. S. Arey, J. C. Seaman, P. M. Bertsch, Environ. Sci. Technol., 33 (1999) 337.
[12] X. Chen, J. V. Wright, J. L. Conca, L. M. Peurrung, Environ. Sci. Technol., 31 (1997) 624.

ABSTRACT

SELECTION OF MATRIX FOR URANIUM IMMOBILIZATION: ANALYSIS OF THE STABILITY OF NATURAL MATRIX

S. Raičević, I. Plećaš
VINCA Institute of Nuclear Sciences,
Radiation and Environmental Protection Laboratory

In this paper, the stability of different uranil phosphates as natural analogues of matrix materials for immobilization of uranium was investigated. For estimation of the stability of the solid matrix/impurity system theoretical criterion based on the calculation of the ion-ion interaction potential, as the dominant component of the cohesion energy of the system, was used. The ion-ion interaction potential of series of uranil phosphates was calculated. Based on these results autunite was selected as the most stable uranil phosphate. The obtained results are in complete accordance with the estimates of other researchers obtained by using complex physico-chemical and crystalo-chemical measurements, which confirm that autunite presents an adequate matrix for the practical immobilization of uranium.

SELEKCIJA MATRICA ZA IMOBILIZACIJU URANIJUMA: ANALIZA STABILNOSTI AUTUNITNIH FAZA

S. Raičević, M. Mandić
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja "Zaštita"

SADRŽAJ

Jedno od osnovnih pitanja od čijeg odgovora zavisi primenjivost određenog postupka in situ remediacije je: koliko je stabilna dobijena čvrsta faza u koju je inkorporiran polutant. Da bi odgovorili na ovo pitanje u slučaju kada se za remedijaciju zemljišta kontaminiranog uranijumom koristi apatit izvršeno je poredjenje stabilnosti autunita koji nastaje kao produkt ove remedijacije i ostalih autunitnih formi koje ovaj element formira u prirodi. Dobijeni rezultati pokazuju da prema korišćenom teorijskom kriterijumu stabilnosti, autunit predstavlja jednu od najstabilnijih autunitnih mineralnih formi urana. Na osnovu ovog rezulta se može zaključiti da je primena apatitne tehnologije u in situ remedijaciji zemljišta potpuno opravdana pošto za rezultat ima prevodjenje uranijuma u veoma stabilnu formu autunita čime se sprečava dalja mobilnost ovog polutanta odnosno njegov kontakt sa podzemnim vodama kao i ulazak u lanac ishrane.

UVOD

Tretman zemljišta kontaminiranog depletiranim uranijumom (DU) moguće je izvršiti postupkom *in situ* remedijacije ili uklanjanjem zemljišta, ispiranjem i imobilizacijom u neaktivnu matricu. *In situ* remedijacija kontaminiranog zemljišta manje razara ekosistem i hidrologiju nego iskopavanje, smanjuje rizik po radnike za vreme tretmana i značajno je jeftinija nego druge metode [1, 2]. In situ tretman zemljišta kontaminiranog uranijumom zahteva razumevanje hemijskih i fizičkih odnosa uranijuma sa kritičnim komponentama sedimenta. Stabilnost uranijuma u odredjenoj matrici zajedno sa kinetičkim faktorima koji su definisani za specifične fizičko-hemijske uslove na pojedinoj lokaciji odredjuju efikasnost postupka remedijacije.

Stabilnost uranijuma u pojedinim matricama moguće je proceniti na osnovu potencijala jon-jon interakcije. Koristeći ovaj kriterijum u prethodnom radu ovog zbornika izvršili smo selekciju autunita kao najstabilnije faze uranil fosfata. Utvrdjeno je da je potencijal jon-jon interakcije autunita značajno niži od ostalih faza što ukazuje na maksimalnu stabilnost sistema. Ovaj rezultat je u potpunoj saglasnosti sa fizičko-hemijskim i kristalo-hemijskim ispitivanjima [3, 4]. U ovom radu detaljno je ispitana stabilnost pojedinih autunitnih faza.

METODA TEORIJSKE ANALIZE STABILNOSTI SISTEMA

Analiza stabilnosti autunitnih faza vršena je korišćenjem teorijskog kriterijuma koji je originalno razvijen u Institutu za nuklearne nauke u Vinči [5]. Prema ovom kriterijumu osnovni parametar koji definiše stabilnost sistema je potencijala jon-jon interakcije $V(r_0)$, koji predstavlja dominantan deo kohezione energije sistema. Odredjivanje potencijala jon-jon interakcije u okviru teorije pseudopotencijala i pseudoatomske aproksimacije detaljno je objašnjen u radovima [5-8]. Izračunavanje parametra $V(r_0)$ za konkretne sisteme uradjeno je pomoću softvera VINMATRIX 1.0 koji je namenski razvijen za ovu namenu u Institutu u Vinči. Algoritam softvera dat je u radu [9].

ANALIZA STABILNOSTI AUTUNITA

Autunit minerali imaju opštu formulu $R_{1-2}(UO_2)_2(PO_4)_2$ i stalan odnos $UO_2 : PO_4 = 2 : 2$. Autuniti formiraju jedinjenja sa Ca, Mg, Ba, Na, Cu, Fe^{2+}, K, Zn, Mn, Co, Pb, NH_4, Al i H_2O. Mnogi sintetički analozi mogu lako da se naprave uključujući Sr pa čak i Li. Uključeni katjon se lako izmenjuje u kiseloj sredini ali i posle mnogih zamena autunitna struktura ostaje netaknuta. Autunit minerale sačinjavaju tri grupe minerala: autunit, meta-autunit I i meta-autunit II, zavisno od broja molekula vode koji ulaze u sastav minerala. Različit broj molekula vode je uobičajen unutar grupe ali pošto ne utiče bitno na stabilnost prirodnog minerala [3] analiza je urađena za čista jedinjenja. Analiza stabilnosti autunit vršena je korišćenjem predloženog teorijskog kriterijuma prema kome minimalna vrednost potencijala jon-jon interakcije odgovara najstabilnijem sistemu. Rezultati izračunavanja $V(r_0)$ za seriju autunit minerala prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Potencijal jon-jon interakcije $V(r_0)$
za seriju autunitnih minerala $R_{1-2}(UO_2)_2(PO_4)_2$

Autunit minerali	Hemijska formula	r_0 [a.u.]	$V(r_0)$ 10^{-2} [Ry]
autunit	$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.17	-41.479
natrijum autunit	$Na_2(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.25	-13.758
saleit	$Mg(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.14	-39.571
uranocircit	$Ba(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.19	-42.492
torbernit	$Cu(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.09	-23.950
sabugalit	$HAl(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.11	-23.547
meta-ankoleit	$K_2(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.31	-15.040
basetit	$Fe(UO_2)_2(PO_4)_2$	1.09	-6.631

Na osnovu podataka prikazanih u Tabeli 1. može se zaključiti da Ca-autunit $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2$ predstavlja jednu od najstabilnijih kristalnih formi medju analiziranim mineralima (prema korišćenom kriterijumu stabilniji je samo uranocircit). Ovaj rezultat nedvosmisleno ukazuju da autunit kao produkt remediacije zemljišta kontaminiranog uranijumom predstavlja dovoljno stabilnu fazu koja može da spreči dalji ulazak ovog polutanta u podzemne vode i lanac ishrane.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata prezentovanih u ovom radu, kao i rezultata predhodnog rada iz ovog zbornika u kome je izvršena analiza različitih mineralnih čvrstih matrica, može se zaključiti da primena apatitne tehnologije u remediaciji površina kontaminiranih uranijumom, koja za rezultat ima prevodjenje ovog polutanta u stabilnu formu autunita, predstavlja kako sa stanovišta efikasnosti tako i sa stanovišta cene prihvatljivo rešenje za *in situ* remediaciju.

LITERATURA

[13] J. S. Arey, J. C. Seaman, P. M. Bertsch, Environ. Sci. Technol., **33** (1999) 337.
[14] J. L. Conca, N. Lu, G. Parker, B. Moore, A. Adams, J. Wright, P. Heller, Second International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, May 2000 with an Addendum from ICAM 2000.
[15] R. Roy, Radioactive waste disposal, Pergamon Press, New York, 1982.
[16] X. Chen, J. V. Wright, J. L. Conca, L. M. Peurrung, Environ. Sci. Technol., 31 (1997) 624.
[17] V. Veljković, D. I. Lalović, Phys. Rev., B11 (1975) 4242.
[18] M. Blažon, B. Veljković, J. Mat. Sci., 14 (1979) 228.
[19] S. Raičević, I. Plećaš, D. I. Lalović, V. Veljković, Mat. Res. Soc. Szmp. Proc., 556 (1999) 135.
[20] S. Raičević, I. Plećaš, 3rd International Yugoslav Nuclear Conference (YUNSC-2000), Belgrade, 2000.
[21] J. Lazović, N. Škrbić, S. Raičević, XX Simpozijum JDZZ, Tara, 1999, 431.

ABSTRACT

SELECTION OF MATRIX FOR URANIUM IMMOBILIZATION: ANALYSIS OF THE STABILITY OF AUTINITE MINERALS

S. Raičević, M. Mandić
VINCA Institute of Nuclear Sciences,
Radiation and Environmental Protection Laboratory

One of the basic questions on which depends the application of a specific method of *in situ* remediation is: how stable is the obtained solid phase into which the pollutant is incorporated. To answer this question in the case when apatite is used for remediation of the soil contaminated by uranium, the stability of autunite which is formed as a product of this remediation is compared to other autunite forms which this element creates in nature. The obtained results show that according to the used theoretical criteria the stability of autunite represents one of the most stable autunite mineral forms of uranium. Based on this result we can conclude that the application of apatite technology for *in situ* remediation of soil is completely justifiable because it results in the transformation of uranium into a very stable form of autunite and thus preventing the further mobility of this pollutant preventing contamination of groundwater and the food chain.

ZNAČAJ REFERENTNIH NIVOA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI

O. Ciraj, D. Košutić, S. Marković
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja

SADRŽAJ

Referentne doze predstavljaju okvir za smanjenje varijacija i optimizaciju zaštite od zračenja u dijagnostičkoj radiologiji. U radu je dat pregled najnovijih međunarodnih i evropskih preporuka koje se odnose na referentne nivoe u dijagnostičkoj radiologiji.

UVOD

Prema podacima UNSCEAR-a iz 2000. godine broj rendgendijagnostičkih pregleda na 1000 stanovnika kreće se od preko 1400 do svega nekoliko desetina, u zavisnosti od razvijentosti zemlje. Za celokupnu svetsku populaciju, broj pregleda na godišnjem nivou iznosi 1, 9 milijardi. Ukupna godišnja kolektivna doza procenjena je na oko 2,22 miliona čovek Sv, što odgovara prosečnoj dozi od oko 0,4 mSv *per capita*. Na osnovu brojnih istraživanja, utvrđene su velike varijacije u dozama za iste dijagnostičke preglede što daje i zančajne mogućnosti za smanjenje doza[1].

DIJAGNOSTIČKI REFERENTNI NIVOI

ICRP definiše dijagnostičke referentne nivoe (DRL) za pacijente, koji predstavljaju oblik nivoa proveravanja, primenjenih na veličinu koja se jednostavno može izmeriti (kerma u vazduhu ili apsorbovana doza u tkivnoekvivalentnom materijalu na površini standardnog fantoma ili referentnog pacijenta)[1]. DRL se odnose na medicinska izlaganja i predstavljaju rezultat optimizacije zaštite od zračenja. U praksi, ovakav pristup se konkretizuje odabirom inicijalnih vrednosti statističke veličine iz populacije izmerenih vrednosti doza za pacijente. Ove vrednosti biraju profesionalna tela, a povremeno ih treba proveravati kao rezultat kompromisa između neophodne stabilnosti i promene u distribuciji doza. Publikacija ICRP 73 predstvlja izvesno proširenje Publikacije ICRP 60 u smislu definisanja DRL i njihovog povezivanja sa konceptom zaštite od zračenja koji predlaže ICRP[2]. Postoji nekoliko pristupa u određivanju DRL (Tabela 1). Iako se DRL odnosi na određenu dijagnostičku proceduru, klinički i tehnički uslovi nisu uvek precizno definisani. U zavisnosti od potpunosti definicije parametara razlikuju se namene određenih DRL[1]:

– određivanje distribucije doza na nacionalnom ili regionalnom nivou za datu dijagnostičku proceduru u opštem slučaju, sa ciljem da se smanji broj neporavdano niskih ili visokih vrednosti u distribuciji;

– ukazivanje na dobru kliničku praksu, tj. sužavanje distribucije za one vrednosti koje predstavljaju dobru kliničku praksi za datu proceduru;
– optimizacija protokola za datu dijagnostički proceduru;

U poslednjih nekoliko godina Evropska Komisija (EC) kroz nekoliko različitih publikacija promovisala je dobru kliničku praksu u dijagnostičkoj radiologiji (Slika 1). Ovi dokumenti dati su u formi smernica i protokola. Direktiva 97/43 EUROATOM u članu 4(2), sadrži jasnu definiciju DRL, koji se određuju merenjem različitih dozimetrijskih veličina u zavisnosti od tipa kliničke procedure. Pomoću njih se ostvaruje kontola medicinskog izlaganja na nivo koji je u skladu sa klničkim zahtevima koji se odnose na datu proceduru. Koncept DRL dopušta fleksibilnost u izboru dozimetrijskih veličina, numeričkih vrednosti i tehničkih i kliničkih faktora, u cilju prilagođavanja potrebama u datim okolnostima. Za identifikaciju nepotrebno niskih ili visokih vrednosti u distribuciji izmerene veličine, na nacionalnom ili regionalnom nivou za datu proceduru, u opštem slučaju koriste se [3,4,5,6]:

– kerma u vazduhu ili doza na površini pacijenta za datu dijagnostičku proceduru;
– proizvod doze i površine pri prosvetljavanju date anantomske regije tokom dijagnostičke procedure.

ICRP 60 1990	
ICRP 73 1996	
Direktiva 96/29 Euroatm	Direktiva 97/43Euroatm
EUR	
Quality criteria 1996	Quality criteria for CT 1996
Quality criteria in pediatrics 1996	TLD service for patient dosimetry 1999
Dosimetry in mammography 1996	Guidance on DRL 1999

Slika 1. Međunarodne i evropske preporuke [2,5,6]

Tretiranje DRL kao integralnog dela regulative iz oblasti zaštite od zračenja, zahteva i pripremu protokola u kome su precizno navedeni ciljevi, procedure za koje se DRL utvrđuju, merilo koje se koristi, metod merenja za svaki tip procedure (snimanje, prosvetljavanje, KT), način beleženja rezultata, nivoi tolerancije, odgovornost i akcije koje se preduzimaju u slučaju konstantnog prekoračenja DRL. U osmišljavanju protokola u obzir treba uzeti sledeće faktore: tip procedure, dozimetrijske veličine, dozimetrijski metod, postupke kontrole kvaliteta. Protokolima je utvrđen metod za monitoring pacijentnih doza tokom rutinskih rendgendijagnostičkih pregleda. Koncipirani su tako da ih mogu sprovoditi radiološki tehničari, uz pomoć fizičara i predstavljaju osnovu za određivanje referentnih doza, koje se porede sa aktuelnim nacionalnim i internacionalnim vrednostima. Dozimetrijska veličina treba da zadovolji sledeće kriterijume: da ima jasnu definiciju, da omogući jednostavno merenje dozimetrima zadovoljavajuće preciznosti i tačnosti i poređenje sa prethodnim merenjima ili merenjima u drugim bolnicama i da obezbedi merenje doza koje prime pacijenti tokom pojedninačnog snimanja i celokupnog pregeleda.
DRL se utvrđuju na nacionalnom nivou, za svaki tip dijagnostičke procedure, uzimajući u obzir sve individualne nacionalne i regionalne karakteristike koje se, pre svega, odnose na opremu i osposobljenost. DRL su od posebnog značaja u oblastima u kojima je moguće ostvariti značajno smanjenje individualne ili kolektivne doze i rizika:
procedure koje se često izvode;

procedure za koje su karakteristične visoke doze (CT, interventna radiologija);
u slučaju radiosenzitivnih pacijenata (deca).
Ljudski faktor, takođe, ima značajnog uticaja na pacijentnu dozu. Doze mogu biti neopravdano visoke usled nepažnje, neznanja, nezainteresovanosti ili velikog opterećenja ali i nespremnosti pojedinaca da prihvate usvojene standarne sprocedure. DRL treba da podstaknu modifikaciju protokola u cilju optimizacije zaštite od zračenja.

Tabela 1.Pristupi rreferentnim nivoima[2,3,4,5,6,10]

Dokument	Termin	Veličina	Kriterijum
ICRP 73 (1996)	»diagnostic reference level«	apsorbovana doza u vazduhu ili TE materijalu na površini fanatoma ili pacijenta	verednost koja deli distribuciju u odgovarajućim procentima
IPSM (1992)	»reference dose levels«	ESD/DAP (za min 10 odraslih pacijenata 70±10 kg	treći kvartil distribucije Q_3
IAEA (1994)	»guidance level«	ESD/MSAD/ AGD/ ESD rate	
NRPB (1999)	»reference doses«, »achievable doses«	ESD/MGD/PED/ DWP/DAP/CTDI	Q_3
EC (1999) EUR general 16260 mammo 16263 pediatric 16261 CT 16262	DRL	ESD / DAP (za min 10 odraslih pacijenata 70±10 kg	Q_3 za skrining na evropskom nivou

ESD-entrance surface dose
DAP-dose area product
MSAD-multiple scan average dose
AGD-average glandular dose
PED-patient entrance dose
DWP-dose width product
CTDI-CT dose index
MGD-mean glandular dose

ZAKLJUČAK

Osnovni principi DRL su [1]:
referentni nivoi nisu granice doza;
referentni nivoi predstavljaju nivoe ispitivanja;
ne primenjuju se na pojedinačne pacijente;
fizičke veličine preko kojih se definišu DRL moraju biti jednostavne i lako merljive;
DRL moraju biti komplementarni sa kvalitetom slike;
DRL mogu imati više oblika: vreme, doza , broj snimaka;
DRL treba da budu fleksibilni i dinamični – proces optimizacije je kontinualan.
U Jugoslaviji ne postoji dobro utemeljen sistem kontrole kvaliteta u dijagnostičkoj radiologiji iako se prijemna ispitivanja i ispitivanja stalnosti opreme izvode gotovo rutinski. Merenja pacijentnih doza gotovo da nikada nisu uključena u ispitivanja rendgen-aparata, tako da kvantitativnih podataka o pacijntnim dozama gotovo i da nema. Konkretizacija navedenih preporuka znači sledeće:
– Svako odeljenje za rendgendijagnostiku treba da poseduje mehanizam za redovna merenja pacijentnih doza. Merenje pacijentnih doza postala je i zakonska obaveza. Na

osnovu merenja u pojedinim bolnicama, formira se nacionalna baza podataka koja omogućava monitoring prakse i perodičnu reviziju mera zaštite pacijenata.

– Praksa po pojedinim bolnicama ocenjuje se na osnovu monitoringa nekoliko najfrekventnijih procedura.

– Referentne doze jesu primarni cilj za sve bolnice sa dozama iznad aktuelnih referentnih nivoa. Bolnice kod kojih su doze ispod vrednosti referentnih doza, u cilju optimizacije zaštite pacijenata, teže ka dosegljivim (*achievable*) dozama, zasnovanim na operativnim i tehnološkim faktorima.

LITERATURA

[1] ERPET, Course book on Training Course on Estabilishemnt of Reference Levels in Diagnostic Radiology, Passau, Germany, 1999.

[2] Radiation Protection and Safety in Medicine. ICRP Publication 73.The International Commission on Radiological Protection, 1996.

[3] Wall B F, Hart D, Revised radiation doses for typical X-ray examinations. Br J Radiol 1997; 70:437-439.

[4] Faulkner K, Corbett R, Reference doses and quality in medical imaging. Br J Radiol 1998; 71:1001-1002.

[5] European Union.Council Directive 97/43/Euratom on Health Protection of Individuals against the Dangers of Ionising Radiation in Relation to Medical Exposure.Official Journal of the European Communities No.L180/22-9.9.07.97,1997.

[6] European Commission.Guidance on diagnostic reference levels (DRLs)for medical

[7] exposures.European Commission,Radiation Protection 109,Luxembourg,1999.

[8] NRPB.Guidlines on Patient Dose to Promote the Optimisation of Protection for diagnostic Medical Exposures.Doc NRPB Vol.10 No.1,Chilton,1999.

[9] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources,Safety Series No.115-I,Vienna 1994.

[10] NRPB,IPSM,CoR.National Protocol for Patient Dose Measurements in Diagnostic Radiology.NRPB,Chilton,1992.Dosimetry in Diagnostic Radiology,Rad.Prot.Dosim., Vol 43 Nos.1-3,1992.

[11] European Commission.European Guidlines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images.EUR 16260 EN,Luxembourg,1996.

ABSTRACT

THE SIGNIFICANCE OF REFERENCE LEVELS IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

O. Ciraj, D. Košutić, S. Marković

Institute of Nuclear Sciences “Vinča”

Radiation and Environmantal Protection Laboratory

Reference dose levels provide a framework to reduce the variability and aid in the optimization of radiation protection in diagnostic radiology. In the paper, the review of recent international and european recommendations concerning reference levels in diagnostic radiology is persented.

PROIZVODNJA RADIONUKLIDA ZA TERAPIJU U NUKLEARNOM REAKTORU

J.Vučina, Lj.Vuksanović, R.Dobrijević
Laboratorija za radioizotope, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Savremena nuklearna medicina za terapiju koristi alfa, beta i beta/gama emitere. Osnovne oblasti primene su onkologija i reumatologija. Glavni izvori radionuklida za terapiju su nuklearne reakcije u reaktorima. Date su najvažnije karakteristike ^{153}Sm, ^{166}Dy i ^{186}Re. Posebno je obrađen ^{188}Re. Ovaj važni terapijski radionuklid nastaje beta raspadom ^{188}W koji se dobija dvostrukim neutronskim zahvatom na meti od ^{186}W. Prikazane su najvažnije karakteristike generatora ^{188}W/^{188}Re koji se koristi za komercijalno dobijanje ^{188}Re.

UVOD

U nuklearnomedicinskoj terapiji doze jonizujućeg zračenja deponuju se direktno u tkivima tumora ili organa koji se tretiraju. Ova terapija može se, s obzirom na ograničnu toksičnost i dugoročne efekte, porediti sa hemioterapijom i radioterapijom zatvorenim izvorima zračenja. Glavne prednosti su joj što je selektivna (kao brahiterapija ili teleterapija) i sistemska (kao hemioterapija). Pod odredjenm uslovima, u slučaju nekih malignih ili benignih promena, može predstavljati alternativu hirurškom ili nekom drugom medicinskom načinu lečenja.

Prva terapijska primena radionuklida zabeležena je dvadestih godina prošlog veka pomoću ^{226}Ra. Puštanjem u rad ciklotrona tridesetih godina počinje primena radionuklida joda i ^{32}P. Krajem četrdesetih godina nuklearni reaktori postaju dostupni za mirnodopske namene i od tada ove dve nuklearne mašine predstavljaju izvor velikog broja dijagnostičkih i terapijskih radionuklida.

Za razliku od dijagnostike gde je ^{99m}Tc praktično neprikosnoven, primena radionuklida u terapiji ima više ograničenja. Uspešnost primene ne zavisi samo od fizičkih, hemijskih i biohemijskih osobina radionuklida već i od prirode i lokacije tumora. Ograničenja postoje i u pogledu mogućnosti komercijalne proizvodnje kako samih radionuklida tako i obeleženih jedinjenja.

U radu su prikazane mogućnosti proizvodnje ^{153}Sm, ^{166}Dy, ^{186}Re i ^{188}Re u nuklearnom reaktoru. U jugoslovenskoj nuklearnoj medicini postoji potreba i interes za razvoj preparata na bazi radionuklida renijuma za primenu u onkologiji i reumatologiji.

Tako je u narednom periodu u Laboratoriji za radioizotope Instituta za nuklearne nauke Vinča predvidjen razvoj generatora $^{188}W/^{188}Re$.

DOBIJANJE RADIONUKLIDA Sm-153, Dy-166 i Re-186,188
U NUKLEARNOM REAKTORU

U nuklearnom reaktoru za dobijanje radionuklida koriste se reakcije zahvata neutrona. Najčešće su (n,γ) reakcije. U principu na ovaj način dobijaju se proizvodi niskih specifičnih aktivnosti što u odredjenim slučajevima može ograničiti primenu dobijenog radionuklida. Specifična aktivnost može se u izvesnim slučajevima povećati, na primer, promenom nuklearne reakcije. Reakcijom $^{51}P(n,\gamma)$ dobija se ^{32}P sa, a reakcijom $^{32}S(n,p)$ bez nosača [1]. Poznat je primer ^{131}I koji se komercijalno dobija sa visokom specifičnom aktivnošću po reakciji $^{130}Te(n,\gamma,\beta^-)$. U Tabeli 3 prikazan je slučaj ^{153}Sm. Korišćenjem obogaćene mete mogu se i na relativno niskom fluksu postići mnogo bolji prinosi i visoka specifična aktivnost.

Radionuklidi ^{153}Sm, ^{166}Dy i $^{186,188}Re$ koriste se za komercijalno dobijanje radiofarmaceutika koji se primenjuju u terapiji. U Tabeli 1 dato je nekoliko primena radiofarmaceutika obeleženih ovim radionuklidima i njihove osnovne primene. Podaci su dati na osnovu referenci [3-5]. U Tabeli 2 date su osnovne fizičke karakteristike ovih radionuklida [2].

Tabela 1. Radionuklidi ^{153}Sm, ^{166}Dy i $^{186,188}Re$ i radiofarmaceutici i glavne indikacije za primenu u terapiji

Radionuklid	Radiofarmaceutik	Indikacije
^{153}Sm	EDTMP (etilendiamintetrametilenfosfonat)	Palijativna terapija bolova
^{166}Dy	FHMA (ferihidroksid makroagregat)	Synovectomia
$^{186,188}Re$	Sulfid DMSA (dimerkaptoćilibarna kiselina) HEDP (hidroksietanfosfonat)	Synovectomia Medulski karcinom štitaste žlezde Palijativna terapija bolova

Tabela 2. Osnovne fizičke karakteristike ^{153}Sm, ^{166}Dy i $^{186,188}Re$ [6]

Radionuklid ($T_{1/2}$)	$E_{\beta max}$ (MeV)	Eγ MeV, (Prinos,%)	Meta	Efikasni presek (barn)
^{153}Sm (46,8 h)	0,80	0,103(28,2)	^{152}Sm	210
^{166}Dy (81,5 h)	1.34	0,082(12)	^{164}Dy	1697
^{186}Re (90,0 h)	1,07	0,137(12)	^{185}Re	105
^{188}Re (16,8 h)	1,95; 2,11	0,155(21)		Generator $^{188}W/^{188}Re$

U svetu se intenzivno radi na komercijalnoj proizvodnji ovih radionuklida. Neki od novijih rezultata prikazani su u Tabeli 3 [7]

Tabela 3. Eksperimentalni rezultati pri dobijanju ^{153}Sm, ^{166}Dy i $^{186,}Re$ u nuklearnom reaktoru. Gustina neutronskog fluksa: $1\text{-}5\times10^{13}$ n cm^{-2} sec^{-1} [6]

Element	Hemijski oblik mete	Obogaćenje mete (%)	Količina mete (mg)	Vreme ozračivanja (dani)	Spec.akt. (GBq/mg)
Samarijum	$Sm(NO_3)_3$ Sm_2O_3	Prirodna smeša 99	7 6,2	3 3	3,32 37811

Renijum	Re metal	Prirodna smeša	5	3	4,7

Specifična aktivnost ^{186}Re najčešće nije dovoljno visoka za obeležavanje MoAb ali se može koristiti za obeležavanje difosfonata za palijativnu terapiju bolova pri metastazama u kostima. Viša specifična aktivnost ^{186}Re dobija se u reaktorima sa većim gustinama flukseva neutrona. Knapp i sar. [7] su pri ozračivanjima na fluksu $2x10^{15}$ n cm^{-2} sec^{-1} dobili ^{186}Re specifične aktivnosti veće od 370 GBq/mg.

GENERATOR W-188/Re-188

Re-188 predstavlja radionuklid budućnosti u terapijskoj nuklearnoj medicini te je poslednjih godina predmet intenzivnih istraživanja. Ona se odnose naročito na dobijanje radionuklida a i na obeležavanja radiofarmaceutika ovim radionuklidom.

Radionuklid ^{188}W se dobija po sledećoj reakciji:

$$^{186}W(n,\gamma)^{187}W(n,\gamma)^{188}W$$

Tabela 4: Fizičke karakteristike radionuklida volframa nastalih ozračivanjem mete u prirodnoj smeši neutronima po reakciji (n,γ) [2]

Radionuklid ($T_{1/2}$)	Tip raspada	E_{β^-} (max.) (MeV)	Glavne E_γ MeV; (Prinos, %)
^{181}W (140 d)	EC		0,056 (22): 0,057 (40)
^{185}W (74 d)	β^-	0,4	0,012 (0,016)
^{185m}W (1,6 m)	IT		0,066 (6,6); 0,131 (4,3)
^{187}W (24 h)	β^-	1,3	0,134 (10,1); 0,479 (26,6); 0,685(32)

Nastali ^{188}W beta raspadom sa vremenom poluraspada od 69 d prelazi u ^{188}Re koji β^- raspadom sa vremenom poluraspada od 16,8 h daje stabilni ^{188}Os. U Tabeli 4 prikazane su najvažnije fizičke karakteristike radionuklida koji nastaju pri ozračivanju mete od volframa u prirodnoj smeši. Karakteristike nastalog ^{188}W date su u Tabeli 2. Ovi podaci koriste se i pri proračunima zaštite.

Dobijanje generatora ^{188}W/^{188}Re može se podeliti u nekoliko faza:

Faza 1: Priprema mete i ozračivanje – Meta je oksid volframa sa ^{186}W u prirodnoj smeši (28,4%) ili obogaćena u ^{186}W do 99%. Na primer Knapp i sar. [7] su ozračivanjem 100 mg volframa obogaćenog u ^{186}W do 99% u toku 42 dana dobili preko 185 GBq ^{188}W po šarži. Specifična aktivnost je 37-44,4 MBq/mg ^{186}W.

Faza 2: Hemijska obrada ozračene mete – Nakon završenog ozračivanja meta se uz dodatak H_2O_2 rastvara u NaOH i propušta kroz kolonu generatora gde se ^{188}W adsorbuje.

Faza 3: Priprema kolone generatora i eluiranje ^{188}W – Prvi generatori sadržavali su kolonu od jonoizmenjivačke smole Dowex 1 dok je eluiranje ^{118}W vršeno eluensom $HClO_4$ [8,9]. Nedostatak ovakvog rešenja je mala stabilnost smole prema zračenju. Intenzivno se radi na razvoju generatorske kolone na bazi Al_2O_3 gde bi se eluiranje vršilo rastvorom NaCl ili nekim sredstvom koje se hemijski lako razlaže [10]. Jedno od relativno novih rešenja je tandem generator. ^{188}W se adsorbuje na koloni od Al_2O_3 i ^{188}Re eluira sa NH_4NO_3. Eluat se zatim propušta kroz kolonu od anjonskoizmenjivačke smole sa koje se ^{188}Re eluira azotnom kiselinom. Ovo rešenje ne samo da omogućuje

dobijanje ^{188}Re visoke radionuklidne čistoće već i koncentrisanje odnosno dobijanje visoke radioaktivne koncentracije renijuma [11].

ZAKLJUČAK

Nuklearni reaktori omogućuju dobijanje terapeutskih radionuklida ^{153}Sm, ^{166}Dy i ^{186}Re na komercijalnoj osnovi. Korišćenjem obogaćenih meta se i na relativno niskim gustinama flukseva neutrona mogu dobiti znatne količine visokih specifičnih aktivnosti. Ozračivanja traju nekoliko dana. Za nuklearnomedicinsku praksu posebno je interesantan ^{188}Re. Razvoj domaćeg ^{188}W/^{188}Re omogućiće širu primenu ovog radionuklida za čim postoji interes i potreba. Renijum je hemijski analog tehnecijuma i iskustva pri razvoju radiofarmaceutika se u velikoj meri mogu primeniti i u slučaju ^{188}W. Potrebna su medjutim duga vremena ozračivanja.

LITERATURA

[1] Jovanović-Kovačević, O., Separation of carrier-free ^{32}P from elementary sulphur on a scilence gel column, Bull.Inst.Nucl.Sci."Boris Kidrič", Vol,10, pp.51-55, 1960

[2] Erdtman, G., Soyka, W., The gamma-ray lines of radionuclides, ordered by atomic and mass number, J.Radioanal.Chem., Vol.26, pp.275-495, 1975

[3] Shrivastava, S.C., Criteria for the selection, production and use of radionuclides for diagnosis and therapy, in Technetium, rhenium and other metals in chemistry and nuclear medicine
(M.Nicolini, U.Mazzi, eds), SGEditorialy, Padova, Italy, pp.381-391, 1999

[4] Stoecklin, G., Qaim. S.M., Roesch, F., The impact of radioactivity on medicine, Radiochim.Acta, Vol.70/71, pp.249-272, 1995

[5]Vučina, J., Han, R., Medicinski pregled (u štampi), 2001

[6] Isfaq, M.M.,Mushtag, A., Jawaid, M., Preparation and evaluation of radioisotopes for therapeutic applications, in Optimization of production and quality control od therapeutic radionuclides and radiopharmaceuticals, IAEA-TECDOC-1114, pp.65-69, 1999

[7] Knapp, F.F. (Russ), Jr., Mirzadeh, S., Beets, A.L., J.Radioanal.Nucl.Chem., Articles, Vol.205, pp.93-100, 1996

[8] Blachot, J., Herment, J., Moussa, A., Int.J.Appl.Radiat.Isotopes, Vol. 20, pp.467-470, 1969

[9] Lin, C.P., B.T.Hsieh, Ting, G., Yeh, S.J., J.Radioanal.Nucl.Chem., Vol. 236, pp.165-168, 1998

[10] Lambrecht, R., Tomiyoshi, K., Sekine, T., Radiochim.Acta, Vol.77, pp.103-123, 1997

[11] Kamioki, K., Mirzadeh, S., Lambrecht, R., Knapp, F.F., Jr., Dadachova, K., Radiochim.Acta, Vol.65, pp.39-46, 1994

ABSTRACT

PRODUCTION OF THERAPEUTIC RADIONUCLIDES IN NUCLEAR REACTOR

J.Vučina, Lj.Vuksanović, R.Dobrijević
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Laboratory for Radioisotopes, Belgrade

Modern therapeutic nuclear medicine applies alpha, beta/gamma and electron-emitting radionuclides particularly in oncology and reumathology. These radionuclides are produced mainly in nuclear reactors. In the paper covered are ^{153}Sm and ^{186}Re which are produced by (n,γ) reactions. ^{166}Dy is obtained by the double neutron capture Emphasized is the development of ^{188}W/^{188}Re generator which is used for the commercial production of ^{188}Re.

ISPITIVANJE RADIONUKLIDNE ČISTOĆE RADIOFARMACEUTSKIH PREPARATA PREMA ZAHTEVIMA EVROPSKE FARMAKOPEJE 1997

M. S. Jovanović, M. Orlić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

U radu su analizirani zahtevi koje Evropska farmakopeja 1997 postavlja u pogledu ispitivanja radionuklidne čistoće u okviru ispitivanja kvaliteta radiofarmaceutskih preparata. Pored toga prikazane su savremene merne metode i potrebna oprema za merenje radionuklidne čistoće.

UVOD

Radiofarmaceutski preparati su preparati koji sadrže jedan ili više radionuklida, a primenjuju se u medicini za dijagnostičke i terapijske svrhe. Ispitivanje kvaliteta radiofarmaceutika, kao i drugih lekova, regulisano je propisima različitih nacionalnih farmakopeja. Većina evropskih zemalja u okviru ispitivanja lekova pridržava se zahteva Evropske farmakopeje 1997 [1] i njenih dodataka [2,3,4]. U Evropskoj farmakopeji 1997. radiofarmaceutski preparati su izdvojeni kao posebna monografija u kojoj su date definicije pojedinih pojmova koji se odnose samo na radiofarmaceutike, a ne i na ostale lekove, i navedena opšta ispitivanja predviđena za sve radiofarmaceutike: merenje radioaktivnosti, radionuklidna čistoća, radiohemijska čistoća, specifična radioaktivnost, sterilnost, pirogeni. Navedeni su i uslovi čuvanja i označavanja radiofarmaceutika. Pored ove opšte monografije Evropska farmakopeja 1997. sadrži i monografije pojedinačnih radiofarmaceutskih preparata gde su detaljno opisana predviđena ispitivanja za svaki radiofarmaceutik posebno i prikazani zahtevi koje preparat treba da ispuni u pogledu specifične radioaktivnosti, pH, čistoće, sterilnosti, bakterijskih endotoksina i pirogena. Za sve radiofarmaceutske preparate predviđeno je ispitivanje radionuklidne čistoće. U ovom radu prikazani su metode, potrebna oprema i propisani zahtevi za ispitivanje radionuklidne čistoće radiofarmaceutskih preparata koje vodi Evropska farmakopeja 1997.

RADIONUKLIDNA ČISTOĆA

U Evropskoj farmakopeji 1997, radionuklidna čistoća se definiše kao ″odnos radioaktivnosti datog radionuklida prema ukupnoj radioaktivnosti izvora, izražen u procentima″. Ovaj odnos može se opisati i terminima ″radioaktivna čistoća″ i

″radioizotopska čistoća″. Ispitivanje radionuklidne čistoće je od izuzetnog značaja za kvalitet radiofarmaceutika. Prisustvo drugih radioizotopa, osim onog koji je potrebnan za medicinsku primenu, nepoželjno je jer nepotrebno povećava ozračenost (izloženost) pacijenta, a može da dovede i do pogrešne interpretacije rezultata, zbog različitog biodistribucijskog puta. Različite energije gama kvanata neželjenih radioizotopa takođe smanjuju kvalitet i oštrinu dobijenih slika.

Radionuklidne nečistoće nastaju u toku proizvodnje radioizotpa i mogu da potiču od nečistoća materijala meta koje se koriste za nuklearne reakcije, kao i od produkata nuklearnih reakcija.

Za utvrđivanje radionuklidne čistoće potrebno je znati radioaktivnost i identitet svakog prisutnog radioizotopa. Metoda ispitivanja radionuklidne čistoće zavisi od vrste čestica koje emituju nečistoće. Ukoliko dolazi do emisije beta i gama, odnosno X zračenja, a to je najčešći slučaj, najbolja metoda ispitivanja radionuklidne čistoće je gama, odnosno X spektrometrija. Ukoliko su nečistoće čisti beta emiteri (^{32}P, ^{90}Sr, ^{89m}Sr i ^{3}H) koristi se beta spektrometrija ili analiza na osnovu krivih slabljenja.

Danas se pri gama spektrometriji najviše koriste dve vrste detektora: scintilacioni i poluprovodnički. U prvoj grupi najznačajniji je NaI(Tl) detektor koji ima veliku osetljivost i jeftin je, ali mu je rezolucija slaba (oko 50 keV). Pogodan je samo kod malog broja poznatih primesa. Ukoliko ima više primesa, dolazi do preklapanja pikova i teškoća pri identifikaciji i određivanju aktivnosti. Postoji više tipova poluprovodničkih detektora. Do skora je u ovoj oblasti Si(Li) detektor (silicijumski detektor sa driftom litijuma) bio referentni. Sada se najviše koristi HPGe detektor (germanijumski detektor visoke čistoće), kojim se ostvaruje rezolucija oko 2 keV ili manje, što omogućuje preciznu identifikaciju nečistoća. Osim detektora, gama spektrometar sadrži i sledeće elektronske blokove: izvor visokog napona (oko 800 VDC za scintilacioni i 5000 VDC), predpojačavač, pojačavač, analogno-digitalni konvertor i višekanalni analizator. Višekanalni analizator se danas uglavnom realizuje softverski u sklopu PC računara, što obezbeđuje veliku udobnost rada. Od velikog značaja za dobijijanje dobrih rezultata pri gama spektrometriji, pored kvalitetne opreme, važna je i kvalitetno urađena kalibracija spektrometra po energiji (radi preciznog utvrđivanja identiteta nečistoće) i po efikasnosti (radi tačnijeg utvrđivanja radioaktivnosti datog nuklida). Ovi postupci se izvode rutinski pomoću odgovarajućih kalibracionih izvora.

U pojedinim monografijama propisani su zahtevi za radionuklidnu čistoću (kao: ″spektar gama zraka ne treba da bude značajno različit od spektra standardnog preparata″), a mogu da budu postavljena i ograničenja za pojedine radionuklidne nečistoće. U tabeli 1 navedeni su radioizotopi kojima su obeleženi radiofarmaceutski preparati navedeni u Evropskoj farmakopeji 1997, kao i radionuklidne nečistoće koje mogu biti prisutne u preparatima sa dozvoljenim granicama. U tabeli 2 date su najvažnije karakteristike radionuklida koji se javljaju kao nečistoće.

ZAKLJUČAK

Većina radionuklida koji se nalaze u radiofarmaceutskim preparatima, kao i prisutne nečistoće su γ ili β-γ emiteri. Utvrđivanje njihovog identiteta i aktivnosti najefikasnije se radi pomoću gama spektrometrije sa HPGe detektorom. Kod čistih β emitera, pored beta spektrometrije, koriste se i analitičke metode.

Tabela 1. Pregled radioizotopa kojima su obeleženi radiofarmaceutski preparati navedeni u Evropskoj farmakopeji 1997

Radio-nuklid	$T_{1/2}$	E, MeV γ β	Prinos %	Sadržaj aktivnosti	Nečistoće
^{51}Cr	27,7 dan	0,320	9,38	90-110%	-
^{57}Co	271 dan	0,122	85,6	90-110%	$^{56}Co + ^{58}Co \leq 0.1\%$
^{58}Co	70,8 dana	0,511 0,811	30 [b] 99,4	90-110%	$^{60}Co + ^{57}Co \leq 2.0\%$, $^{60}Co(\leq 1.0\%)$
^{67}Ga	3,26 dan	0,093 0,185 0,300	38,5 22 16,5	90-110%	^{66}Ga ($\leq 0.2\%$)
^{111}In	2,8 dan	0,171 0,245	90,9 94,2	90-110%	^{114m}In + ost.$\leq 0.25\%$, $^{114m}In \leq 0.2\%$
^{123}I	13,2 h	0,159	83,4	90-110%	$^{125}I + ^{121}Te \leq 0.35\%$
^{125}I	60,1 dan	0,027	114	85-115%	^{126}I ($\leq 1.0\%$)
^{131}I	8,04 dan	0,365	81,2	90-110%	$^{133}I + ^{135}I \leq 0.1\%$
^{32}P	14.3 dan	1,71[a]	100		
^{99m}Tc	6,02 h	0,140	89,3	90-110%	*
^{201}Tl	3,05 dan	0,069-0,071 0,079-0,083 0,166-0,167	75 21 10,7	90-110%	^{202}Tl ($\leq 2.0\%$), ^{200}Tl, ^{201}Pb, ^{203}Pb
^{3}H	12,3 god	0,019[a]	100		Bilo koji gama emiter
^{133}Xe	5,29 dan	0,030-0,035 0,081	47 37	80-130%	^{131m}Xe, ^{133m}Xe

* 1. $^{99}Mo(\leq 0.1\%)$, ostale ($\leq 0.01\%$) – nefisioni
2. $^{99}Mo(\leq 0.1\%)$, $^{131}I(\leq 5\cdot 10^{-3}\%)$, $^{103}Ru(\leq 5\cdot 10^{-3}\%)$, $^{89}Sr(\leq 6\cdot 10^{-5}\%)$, $^{90}Sr(\leq 6\cdot 10^{-6}\%)$, ostale γ ($\leq 0.01\%$), ostale α ($\leq \cdot 10^{-7}\%$)– fisioni

Tabela 2. Pregled radionuklidnih nečistoća prisutnih u radiofarmaceutskim preparatima navedenim u Evropskoj farmakopeji 1997

Radionuklid	$T_{1/2}$	E, MeV γ β	Prinos, %
^{137}Cs (^{137m}Ba)	30,2 god (2,55 min)	0,661	85,4
^{60}Co	5,27 god	1,173 1,332	99,9 100
^{66}Ga	9,4 h	1,039	38
^{198}Au	2,70 dana	0,412	95,6
^{199}Au	3,14 dan	0,158	36,9
^{114m}In (^{114}In)	49,5 dan (72s)	0,558 0,725	4,6 4,6
^{124}I	4,2 dan	1,691	10,5
^{125}I	60,1 dan	0,027 0,035	114 6,7
^{126}I	13,0 dan	0,388 0,666	34 33
^{85}Kr	10,7 god	0,514	0,43
^{201}Pb	9,4 h	0,331	79

Radionuklid	$T_{1/2}$	E, MeV γ β	Prinos, %
^{203}Pb	2,17 dan	0,279	80
^{197m}Hg	23,8 h	0,134	34
^{197}Hg	64,1 h	0,077	18,9
^{203}Hg	46,8 dan	0,279	81,4
^{99}Mo	66,0 h	0,181 0,740 0,778	6 12,3 4,4
^{32}P	14,3 dan	$1,71^a$	100
^{103}Ru (^{103m}Rh)	39,3 dan (56,1 min)	0,497	89,7
^{75}Se	118,5 dan	0,265	59,4
^{89}Sr	50,5 dan	$1,492^a$	100
^{90}Sr	29,1 god	$0,564^a$	100
$^{99}Sr/^{99}Y$	29,1 god (64,0 h)	$0,564^a$ $2,284^a$	100 100
^{99}Tc	$2,14 \cdot 10^5$ god	$0,29^a$	100
^{200}Tl	1,09 dan	0,368 0,579 0,828 1,206	88,4 14 11 30,0
^{202}Tl	12,2 dan	0,440	95
^{131m}Xe	11,9 dan	0,164	1,92
^{133m}Xe	2,19 dan	0,233	10,3
^{65}Zn	243,9 dan	1,115	50,75

LITERATURA

[1] European Pharmacopoeia, Third Edition, 1997.
[2] European Pharmacopoeia, Third Edition, 1997 - Supplement 1998
[3] European Pharmacopoeia, Third Edition, 1997 - Supplement 1999
[4] European Pharmacopoeia, Third Edition, 1997 - Supplement 2000

ABSTRACT

RADIONUCLIDIC PURITY INVESTIGATION OF RADIOPHARMACEUTICAL PREPARATIONS ACCORDING TO REQUIREMENTS OF EUROPEAN PHARMACOPOEIA 1997

M. S. Jovanović, M. Orlić
"Vinča" Institute for Nuclear Sciences, Belgrade

In this paper the European Pharmacopoeia 1997 requirements by testing of radiopharmaceutical preparations concerning radionuclidic purity have been analysed. Beside, novel mesurement methods as well as appropriate measurement equipment have been presented.

MERENJE DISTRIBUCIJE RADIOFARMACEUTIKA U TELU EKSPERIMENTALNIH ŽIVOTINJA

D. Janković, D.Djokić
, M. Orlić, T. Maksin
Laboratorija za radioizotope,
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Radiofarmaceutici se prave u cilju nakupljanja u specifičnom organu ili tkivu. Kada se injiciraju čoveku pojedini organi primaju različite doze. Na umanjenje rizika od ozračivanja okolnih organa kod ljudi utiče se upotrebom visoko selektivnih radiofarmaceutika za neki dati ciljni organ ili tkivo, tako da se samo specifičan organ ozrači a ne okolni organi ili cello telo.

UVOD

Radiofarmaceutici su radionuklidi i supstance obeležene radionuklidima koji se upotrebljavaju za različita funkcionalna i morfološka ispitivanja i lečenje [1, 2].

Pored specifičnih zahteva koji zavise od prirode fiziološke funkcije koja se želi ispitati, idealni radiofarmaceutik bi trebalo da ispunjava i sledeće uslove: da se dobija jednostavno, da je jeftin, da ima što kraći efektivni poluživot, da je vezani radionuklid čisti monoenergetski gama emiter, a da je količnik radioaktivnosti u ciljnom organu / radioaktivnost okolnog tkiva što veći, pri čemu bi takvo jedinjenje trebalo da je metabolički inertno [3].

Za ispitivanje funkcija određenih organskih sistema koriste se različiti radiofarmaceutici i obeleživači, a u zavisnosti od specifične funkcije koja se želi ispitati: radioaktivni gasovi, pravi rastvori, koloidi, suspenzije i kapsule.

Izbor radiofarmaceutika zavisi od mnogih faktora. Radionuklidi za obeležavanje jedinjenja ili bioloških elemenata treba da budu lako dostupni, priprema radiofarmaceutika brza i jednostavna, a nastala hemijska veza stabilna. Na izbor radionuklida i radiofarmaceutika u velikoj meri utiče njihova namena. U dijagnostičke svrhe koriste se gama emiteri koji emituju fotone energije 100-200 keV-a i efektivnim vremenom poluraspada koje odgovara trajanju testa, dok se za terapijsku primenu upotrebljavaju beta emiteri sa dužim periodom poluraspada. Od velikog broja veštačkih radionuklida samo mali broj zadovoljava kriterijume za kliničku primenu. Zbog skoro idealnih fizičkih karakteristika, ^{99m}Tc ima najširu *in vivo* primenu. On omogućava, uz relativno nisko

izlaganje zračenju, jasnu vizualizaciju unutrašnjih anatomskih struktura i organa i procenu njihove funkcije [4].

Biodistribucija radiofarmaceutika u organizmu zavisi od faktora kao što su: radiohemijska čistoća, valenca radionuklida, pH radiofarmaceutika, veličine molekula, afinitet vezivanja za proteine plazme, vrste rastvorljivosti i mogućnosti vezivanja radiofarmaceutika za ćelijske receptore. Samo radiohemijski čist i homogen radiofarmaceutik će imati kvantitativno i kvalitativno određene i reproducibilne puteve biodistribucije. Različiti hemijski oblici radiofarmaceutika imaju različite puteve biodistribucije [5].

Novi kompleksi tehnecijuma-99m dobijaju se namenski, na osnovu ispitivanja nizova analogih liganada i na osnovu unapred određenih fizičko-hemijskih karakteristika kompleksa sa afinitetom prema određenom organu ili tkivu. Visoko specifični ligandi treba da imaju moć vezivanja kako tehnecijuma-99m, tako i nekih biološki aktivnih molekula i da budu u stanju da ceo konjugat usmere na specifična vezujuća mesta *in vivo*.

Receptori na površini ćelija, koji mogu da prepoznaju i vežu određene molekule, imaju veliku ulogu u nakupljanju radiofarmaceutika u određenom tkivu i na taj način određuju biodistribuciju, kinetiku i pravac klirensa unetih radiofarmaceutika.

Može se reći da su ključni uslovi za biodistribuciju radiofarmaceutika stepen liposolubilnosti, jačina vezivanja za proteine, kao i postojanje membranskih receptora.

U preparatima obeleženim sa ^{99m}Tc mogu da budu prisutna tri oblika radioobeleženog jedinjenja, i to:

- "slobodni" - nevezani ^{99m}Tc u vidu pertehnetatnog anjona, koji nije redukovan kalaj(II)hloridom;
- "hidrolizovani" redukovani ^{99m}Tc koji nije izreagovao sa ligandom, već reaguje sa vodom i stvara TcO_2 (ovaj deo rastvora uključuje i redukovani tehnecijum koji je vezan za hidrilizovani kalaj);
- "vezani" ^{99m}Tc, koji je i cilj obeležavanja (poželjna komponenta), nastao je vezivanjem redukovanog pertehnetatnog anjona za supstancu koja se obeležava. U nekim radiofarmaceutskim rastvorima mogu se identifikovati i dva kompleksa.

Slobodni i hidrolizovani ^{99m}Tc u preparatima predstavljaju nečistoće i trebalo bi da su zastupljeni u što manjim koncentracijama. Oni umanjuju kvalitet nuklearno medicinskih dijagnostičkih studija, pogotovu kad se radi o kvantitativnim merenjima, jer se $^{99m}TcO_4^-$ akumulira u nekim žlezdanim tkivima i sluznici želudca, a $^{99m}TcO_2$ u jetri.

METODE

Biološka raspodela (biodistribucija) – Biodistribucija radiofarmaceutika praćena je po organima oglednih životinja (Wistar beli pacovi, četiri nedelje stari, 100g). U dorzalnu repnu venu pacova aplicira se 0.1 ml preparata (15 kBq–7.4 MBq). Životinje se zatim žrtvuju u različitim vremenskim intervalima od iniciranja, u zavisnosti od radiofarmaceutika, dislokacijom kičmenog stuba. Žrtvovanim životinjama se vade organi od interesa. Radioaktivnost po organima merena je na pogodnom brojačkom sistemu. Procenti radioaktivnog privhvata u organima se računaju u odnosu na standard. Ista zapremina preparata koja se inicira životinjama, se stavi u kivetu za brojač i to predstavlja standard (izmerena vrednost impulsa predstavlja 100%). Za svaki rezultat se koriste tri ogledne životinje.

Brojački sistem – Brojački sistem koji je pogodan za ovakve vrste eksperimenata treba da je osetljiv i da omogući merenje većeg broja uzoraka. Takve zahteve zadovoljava brojač Gamma 3.3, INN Vinča. Kao detektor koristi se scintilacioni brojač sa kristalom NaI(Tl) bunarastog tipa. Brojač ima podesivi jednokanalni analizator čiji prozor se podesi oko pika ^{99m}Tc, energije 140 keV. Vreme merenja svakog uzorka je jedan minut. Izmerene aktivnosti se izražavaju kao broj impulsa radioaktivnosti u minuti.

REZULTATI SA DISKUSIJOM

Kontrola kvaliteta obuhvata niz specifičnih testova i merenja za ispitivanje fizičko-hemijskih, bioloških i farmakoloških osobina radiofarmaceutika. Propisi koji regulišu kontrolu radiofarmaceutika koji se unose u ljudski organizam dati su u farmakopeji [6], kao i u aktima organizacije International Organisation for Standardization (ISO). Kontrola kvaliteta se vrši za sve proizvedene serije svakog radiofarmaceutika[7].

Radiohemijska čistoća je veoma važan faktor za primenu radiofarmaceutika u nuklearnoj medicini, jer se na osnovu nje može zakjučiti koji je dominantni oblik tehnecijuma-99m prisutan u rastvoru. Visoka radiohemijska čistoća (>95%) je samo jedan od parametara za primenu radiofarmaceutika u nuklearnoj medicini. Na osnovu niskih vrednosti procenata vezivanja za proteine, kao i izrazito hidrofilnog ili lipofilnog karaktera radiofarmaceutika može se predvideti njegovo nakupljanje u određenim organima, kao i put eliminacije iz organizma. Međutim, prava procena mogućnosti za primenu radiofarmaceutika u nuklearnoj medicini, dobija se praćenjem biodistribucije obeleženog jedinjenja na eksperimentalnim životinjama.

Biološko ponašanje najčešće korišćenih radiofarmaceutika praćeno je na oglednim životinjama. Analizirani su organi od interesa za dati radiofarmaceutik. Dobijeni rezultati prikazani su u tabelama 1, 2 i 3.

Tabela 1. Biodistribucija radiokoloida po organima oglednih životinja (% primenjene doze)

Organ / Radiofarmak	Pluća	Jetra	Slezina	Bubrezi
S-koloid	<5%	>90%	<1%	<1%
Sn-koloid	<5%	>90%	<1%	<1%
Fitat	<1%	>90%	<5%	<1%
Antimonsulfid	<1%	>90%	<5%	<1%
EHIDA	<1%	>28%	<1%	<5%
MAA	>90%	<5%	<1%	<1%

Tabela 2. Biodistribucija renalnih radiofarmaceutika po organima oglednih životinja (% primenjene doze)

Organ / Radiofarmak	Jetra	Bubrezi	Creva
DMS	<5%	>40%	<10%
DTPA	<5%	>10%	<10%
PAH	<5%	>10%	<10%
MAG_3	<10%	>30%	<10%

Tabela 3. Biodistribucija radiofarmaceutika za ispitivanje koštanog sistema po organima oglednih životinja (% primenjene doze)

Organ / Radiofarmak	Jetra	Kost/g	Meko tkivo	Bubrezi	Odnos kost/ meko tkivo
DPD	<5%	>2%	<0.1%	<1%	>160%
MDP	<5%	>2%	<0.1%	<1%	>160%
PyP	<10%	>2%	<0.1%	<1%	-

ZAKLJUČAK

Kod istraživanja vezanih za razvoj novih, kao i postojećih radiofarmaceutika među najznačajnija pitanja spadaju biološke osobine deponovanja u različitim organima, kao i brzina eliminacije iz organizma. Biodistribucija preparata po organima oglednih životinja je veoma važan pokazatelj kvaliteta radiofarmaceutika. Posebno kod radiofarmaceutika na bazi ^{99m}Tc, neophodno je ispitati biološko ponašanje preparata i njegovu organo-specifičnost. Osim saznanja o prihvatu radiofarmaceutika u ciljnom organu, veoma je važno ispitati i prihvat u ostalim organima i tkivima. Naročito su od interesa okolni organi, čija bi radioaktivnost ometala dijagnostički postupak.

LITERATURA

[1] Saha B.G., *Fundamental of nuclear pharmacy*. Springer-Verlag New York Inc. str. 65-154, 1979.

[2] Sampson B.C., Textbook of radiopharmacy. Theory and Practice, II Ed., Gordon and Breach Science Publishers, USA, 1994.

[3] Sedlak-Vadoc V., *Osnovi farmakologije obeleženih jedinjenja,* u: Borota R., Stefanović Lj., Nuklearna medicina. Medicinski fakultet, Novi Sad, str. 149-179, 1992.

[4] ICRP Publication 53., *Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals*. Annals of the ICRP. Pergamon press, Oxford-NewYork-Beijing-Frankfurt-SaoPaulo-Sydney-Tokyo-Toronto. 18 (1-4): 105-311, 1987.

[5] Bogićević M., Ilić S., *Radionuklid,i* u: Bogićević M., Ilić S., *Nuklearna medicina*. Studentski informativno izdavački centar, Niš, str. 1-18, 1998.

[6] European Pharmacopoeia, Third Edition, 1997.

[7] Vanlić-Razumenić N., *Kontrole radiofarmaceutskih preparata* u: Vanlić-Razumenić N., Radiofarmaceutici - sinteza, osobine i primena. Velarta, Beograd, str. 115-152, 1998.

ABSTRACT

MEASUREMENTS RADIOPHARMACEUTICAL DISTRIBUTIONS IN BODY OF THE EXPERIMENTAL ANIMALS

D. Janković, D. Djokić, M. Orlić, T. Maksin
VINČA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Yugoslavia

The radiopharmaceuticals are made in purpose to accumulate in specific organ or tissue. After injection to the man specific organs receive different doses. By using the high specificity radiopharmaceuticals the target organ or tissue dose is high enough, and other organ or tissue doses are smaller, the risk of irradiations of external organs is lower.

PRIMENA α I β EMITERA U RADIOIMUNOTERAPIJI TUMORA

S. Vranješ-Đurić, J. J. Čomor[1], M. Orlić,
M. Miederer[2], D. Soloviev[3], G. J. Beyer[3]
Laboratorija za radioizotope INN Vinča, Beograd
[1]Laboratorija za fiziku INN Vinča, Beograd,
[2]Nuklearmedizinische Klinik München, Germany,
[3]Division of Nuclear Medicine, University Hospital Geneva, Switzerland

SADRŽAJ

Radioimunoterapija predstavlja noviji pristup u terapiji karcinoma. Prednost ove metode nad klasičnom radioterapijom je u tome što se radionuklidi pogodnih radiofizičkih karakteristika dopremaju do tumorskog tkiva vezani za visoko specifična jedinjenja, rezultirajući u većem letalnom efektu na tumorske ćelije i minimalnom ozračivanju zdravog tkiva. Pojedini α i β emiteri, zbog svojih povoljnih fizičko-hemijskih karakteristika, sve više nalaze primenu u radioimunoterapiji različitih oblika karcinoma. Cilj naših eksperimenata bio je obeležavanje monoklonskih antitela HuM195 sa α emiterom ^{149}Tb, i in vitro ispitivanje mogućnosti primene u radioimunoterapiji leukemije.

RADIOIMUNOTERAPIJA

Kancer je veoma raširen oboljenje današnjice a terapija zračenjem predstavlja osnovni tretman protiv već nastale bolesti. Korišćenjem obeleženih antitela u radioimunoterapiji karcinoma postiže se visoka selektivnost za ciljane tumorske ćelije jer antitela obeležena radionuklidom prepoznaju antigene na površini ćelija tumora. Radioimunoterapija je metoda izbora u terapiji različitih oblika radiosenzitivnih hematoloških maligniteta, jer se obeležena monoklonska antitela vezuju za pojedinačne ćelije, a vezani radionuklidi imaju letalni efekat na njih.

Najvažniji zahtev pri obeležavanju antitela je dobijanje antitela visoke specifične aktivnosti, odnosno neophodnost da ciljno tumorsko tkivo primi maksimalnu radijacionu dozu. Osnovni problem predstavlja mali procenat vezivanja antitela za tumorske ćelije. Nakon intravenske aplikacije, zavisno od veličine tumora, akumulacija antitela po tumoru je između 0.01 % i 0.0001 % od aplicirane doze po gramu tumora. Akumulacija antitela u tumoru mora preći 0.05 % po gramu tumora da bi se postigao odgovarajući efekat, što znači da je neophodno injicirati 370-1110 MBq ^{131}I-MoAbs što bi rezultovalo u apsorbovanoj dozi u tumoru od 10-40 Gy. Pretpostavka je da je doza od 60-70 Gy dovoljna za izlečenje tumora veličine do 3 cm tako da bi manje doze imale slab tumorocidni efekat za većinu solidnih tumora, ali bi imala efektivno dejstvo na radiosenzitivne hematološke

malignitete [1]. Međutim, injiciranje ekstremno visokih doza, radi postizanja terapeutskog efekta, prati povećanje radioaktivnosti u krvi što dovodi do nepotrebnog ozračivanja zdravog tkiva. Zbog toga je neophodno pravilno planiranje svakog pojedinačnog tretmana pri radioimunoterapiji karcinoma. Radioimunoterapija je zavisna od više faktora, kao što su brzina dopremanja antitela do ciljnog tkiva, način i procenat vezivanja antitela ili fragmenata antitela za ciljano tkivo, prostorna i vremenska nehomogenost distribucije radioaktivnosti u telu, subćelijska distribucija i brojni drugi faktori.

Da bi se minimizirali štetni efekti tretmana na zdravo tkivo neophodan je pravi izbor radionuklida kojim se obeležava antitelo. α i β emiteri, zahvaljujući velikim energijama i malom dometu (mikrometarski odnosno milimetarski za β čestice) imaju visok (α) odnosno srednji (β) LET (linearna predaja energije), čime se postiže veća predaja energije na ciljne tumorske ćelije i minimalno ozračivanje zdravog okolnog tkiva. Teorijski, radionuklidi kojima se obeležavaju antitela mogu biti izabrani na osnovu veličine i prirode tretiranog tumora. Radionuklidi kratkog dometa nemaju primenu u terapiji solidnih karcinoma, ali su svoje mesto našli u terapiji leukemije. Primena radionuklida koji imaju propratno γ zračenje dovodi do oštećenja zdravog tkiva, ali omogućava vizuelno praćenje radioimunoterapije [2].

U tabeli 1. prikazane su najvažnije karakteristike radionuklida koji se koriste u radioimunoterapiji.

Tabela 1. Radionuklidi koji se koriste u radioimunoterapiji

Radio nuklid	$T_{1/2}$	α			β			γ	
		E (keV)	Prinos (%)	Domet u mekom tkivu (μm)	Emax (keV)	Prinos (%)	Domet u mekom tkivu (mm)	E (keV)	Prinos (%)
^{131}I	8.0 d				600	89	2.0	364	81
^{90}Y	2.7 d				2280	99	12.0		
^{186}Re	3.8 d				1080	71	5.0	137	9
^{188}Re	17.0 h				2100	71	11.0	155	150
^{153}Sm	1.9 d				810	44	3.0	103	28
^{105}Rh	1.5 d				600	75	1.9	319	19
^{67}Cu	2.6 d				580	57	1.8	184	49
^{213}Bi	45.6 min	5870	2	70	1400	64		440	17
^{212}Bi	1.0 h	7800	36	85	2200	48		727	12
^{211}At	7.2 h	5780	42	65				79	21
^{225}Ac	10.0 d	5830	52	48					
^{223}Ra	11.4 d	5720	52	43				84 270	25 14
^{149}Tb	4.2 h	4000	17	28				43 165	61 28

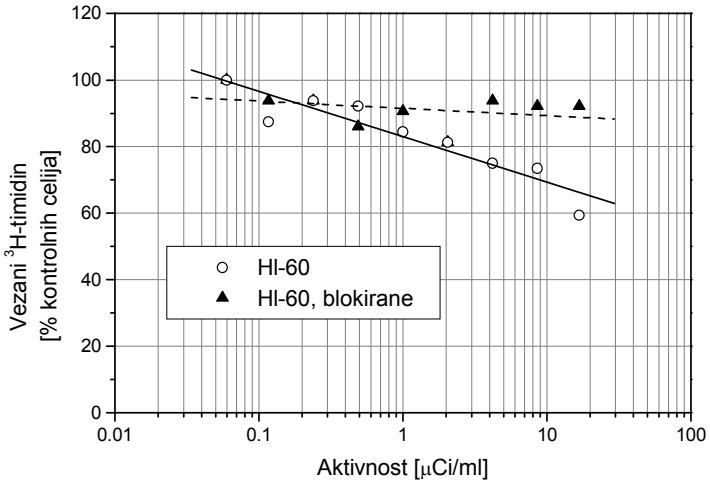
Najčešće korišćeni radionuklid u radioimunoterapiji karcinoma je ^{131}I zahvaljujući pre svega dobro utvrđenim metodama obeležavanja proteina ^{131}I, lakoj

dostupnosti i maloj ceni. Analogno radioterapiji diferenciranih tiroidnih karcinoma korišćenjem ^{131}I, prvi put su u radioimunoterapiji različitih oblika karcinoma intravenski aplicirana ^{131}I-obeležena antitela. Međutim, velika energija γ zračenja i mali domet β čestica utiče na njegovo nedovoljno korišćenje. Iako je ^{90}Y sa velikim dometom β emitujućih čestica idealan za radioimunoterapiju solidnih tumora, nedostatak propratnog γ zračenja sprečava praćenje njegove akumulacije u tumorskom tkivu. ^{186}Re i ^{153}Sm nalaze sve širu primenu u radioimunoterapiji usled visoke energije β čestica, kratkog dometa i povoljne propratne energije γ zraka.

α čestice imaju oko 100 puta veći LET od β čestica i zahvaljujući tome znatno kraći domet u tkivu. Međutim, zbog kratkog vremena poluraspada za većinu od njih, neophodno je pronaći brz metod prečišćavanja i obeležavanja proteina kao i metod "brzog dopremanja" radionuklida do ciljnog tumorskog tkiva. Upravo iz tog razloga sve više se obeležavaju fragmenti antitela i peptidi koji zbog svoje manje molekulske mase brže dospevaju do ćelija tumora. ^{211}At je zbog svog povoljnog vremena poluraspada od 7.2h veoma atraktivan radionuklid za primenu u radioimunoterapiji, ali je njegov najveći nedostatak, kao i za drugi α emiter ^{149}Tb, mogućnost proizvodnje samo u nekoliko naučno-istraživačkih centara u svetu. Za razliku od ova dva radionuklida, ^{213}Bi je moguće distribuirati u obliku radioizotopnog generatora ^{225}Ac/^{213}Bi. Glavni nedostatak ovog generatora je visoka radijaciona osetljivost i kratko vreme (45.6 min) poluraspada ^{213}Bi [3].

EKSPERIMENTI

Cilj naših eksperimenata urađenih u Kantonalnoj bolnici u Ženevi, u saradnji sa ISOLDE instalacijom u CERN-u, bio je obeležavanje antitela HuM195 sa α emiterom ^{149}Tb, veoma povoljnih fizičko-hemijskih karakteristika za primenu u radioimunoterapiji leukemije[4]. Eksperimenti su uključivali ispitivanje uslova obeležavanja antitela sa ^{149}Tb, ispitivanje *in vitro* stabilnosti obeleženog antitela, kao i njihovo *in vitro* delovanje na ćelije leukemije Hl-60, za koje su antitela HuM195 specifična.



Slika 1. Uticaj koncentracije ^{149}Tb-CHX-A-DTPA-HuM195 na preživljavanje ćelija Hl-60.

Specifična aktivnost obeleženih antitela HuM195 bila je 307 GBq/g. Rezultati pokazuju da je HuM195 konjugovan sa ^{149}Tb korišćenjem bifunkcionalnog helata CHX-A-DTPA (cikloheksil-dietilenaminopentasirćetna kiselina) *in vitro* stabilan više od 10 dana. Na slici 1. prikazana je zavisnost rasta ćelija od aktivnosti ^{149}Tb vezanog za antitelo. Povećanjem koncentracije antitela kao i povećanjem aktivnosti ^{149}Tb dolazi do smanjenja rasta ćelija leukemije Hl-60 do 40% u odnosu na kontrolne ćelije, 4 dana od početka delovanja. Ćelije Hl-60 blokirane neobeleženim antitelima nisu reagovale na radioimunoterapiju. Kako su ovo prvi eksperimentalni rezultati dobijeni korišćenjem antitela obeleženih sa ^{149}Tb, sledeći korak bio bi njihovo dalje ispitivanje *in vivo* kao i poređenje sa rezultatima dobijenim primenom ostalih α emitera.

LITERATURA

[1] S. Potamianos, A.D. Varvarigou, S.C. Archimandritis, Radioimmunoscintigraphy and Radioimmunotherapy in Cancer, Anticancer research 20, 925-948 (2000).

[2] G. Paganelli, M. Chinol, H. S. Stoldt, "Radioimmunological therapy" u "Clinical Nuclear Medecine", London, Chapman and Hall, 1998, 39-52.

[3] M. Mc Devitt, G. Sgouros, R. D. Finn, et al., "Radioimmunotherapy with alpha emitting nuclides", Eur. J. Nucl. Med., 25, 1341-1351 (1998).

[4] S.D. Vranješ, M. Miederer, J.J. Čomor, D. Soloviev, G.-J. Beyer and the ISOLDE Collaboration, „Labeling of antibodies with ^{149}Tb for targeted alpha therapy", J. Labelled Cpd. Radiopharm., 44, S718-S720 (2001).

ABSTRACT

APPLICATION OF α AND β EMMITERS IN RADIOIMMUNOTHERAPY OF TUMORS

S. Vranješ-Đurić, J. J. Čomor[1], M. Orlić, M. Miederer[2], D. Solovie[3], G.-J. Beyer[3]
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Radioisotopes, Belgrade, Yugoslavia
[1]Vinča Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Physics, Belgrade, Yugoslavia
[2]Nuklearmedizinische Klinik, München, Germany
[3]Division of Nuclear Medicine, University Hospital, Geneva, Switzerland

Radioimmunotherapy is a recent approach for cancer treatment. The advantage of this method over the classical radiotherapy approach is that radionuclides of suitable radiophysical properties are deployed to the targeted tumor tissue attached to highly specific compounds. This results with efficient tumor cell killing with minimal nonspecific irradiation on healthy tissue. There are several α and β emitters with appropriate physico-chemical properties, suitable for labeling of monoclonal antibodies and use for radioimmunotherapy of different types of carcinoma. The aim of these experiments was to label the HuM195 monoclonal antibody with the α–emitting radionuclide ^{149}Tb and to investigate *in vitro* the possibility of its use for radioimmunotherapy of leukemia.

UPOTREBA CT PODATAKA ZA MONTE KARLO SIMULACIJE TRANSPORTA ELEKTRONA I PROTONA U VOKSELIZOVANOJ GEOMETRIJI

Ilić R. D. i Lalić D.[1]
INN "Vinča", Laboratorija za fiziku (010), Beograd
[1]Vojnomedicinska akademija , Radioterapija, Beograd
Email: rasa@vin.bg.ac.yu

SADRŽAJ

Monte Karlo simulacija transporta fotona, elektrona i pozitrona, odnosno protona, u složenim geometrijskim formama različitih materiajla ostvarena je programskim paketima FOTELP i SRNA. Dobro slaganje simulacijom dobijenih rezultata sa eksperimentalnim i opsta teznja da se izgrade programski paketi pogodni za planiranje radioterapije, podstakli su usmerenje razvoja tih paketa ka upotrebi CT podataka za opis geometrije pacijenta i vokselizove geometrije za simulaciju transporta cestica. Razvijeni i testirani paketi FOTELP-VOX i SRNA-VOX već sada mogu da posluze za razvoj sistema za planiranje radioterapije elektronima, odnosno protonima.

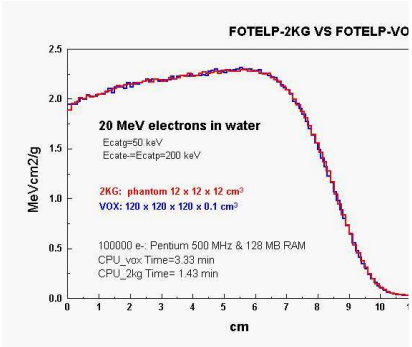
UVOD

Poslednjih godina gomilaju se dokazi da su programi na bazi tehnike Monte Karlo dominantni alati u numeričkim eksperimentima u kojima se simuliraju polja zračenja, a posebno u planiranju radioterapije [1,2,3]. Pošto te tehnika mogu da prate primarne i sekundarne čestice sa predikcijom fizičke slike svih interakcija i da tu sliku simuliraju sa kontrolisanom greškom, one su postale još primanjivije kako je rasla moć računara. Takvi uslovi pogodovali su da pristupimo razvoju Monte Karlo programa za simulaciju transporta fotona, elektrona i pozitrona, odnosno protona [4] u raznim oblastima primene snopova tih cestica proizvednih akceleratorima [5]. Problemi simulacije transporta čestica mogu se grupisati u dve teme. Prvoj temi pripadaju one simulacije u kojima je geometrija ozračene sredine dobijena tehničkom konstrukcijom uz upotrebu standardnih geometrijskih oblika (ploče, diskovi, sfere, cilindri i td.). Organi živih organizama čine skup geometrijskih oblika za drugu temu simulacije transporta. Zato su naši programi FOTELP i SRNA razvijeni u dve verzije. Prve verzije FOTELP-2KG i SRNA-2KG su Monte Karlo programi opšte namene. Njima se simuliraju problemi iz prve teme u oblastima tzv. tehničkih sistema. Druge verzije FOTELP-VOX i SRNA-VOX su Monte Karlo programi transporta u vokselizovanoj geometriji na bazi CT podataka. Numerički eksperimenti koji su pokazani u ovom radu ispunjavaju očekivanje da naši programu pomognu ostvarenju upotrebe tehnika Monte Karlo u kliničkoj praksi.

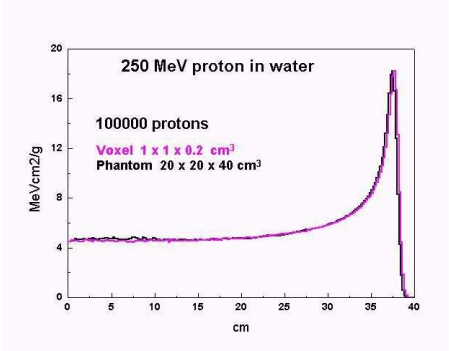
UPOTREBA CT PODATAKA

U veoma informativnom članku [6] prezentirani su glavni problemi pripreme CT brojeva za njihovu upotrebu u Monte Karlo simulacijama u radioterapiji. CT skan daje anatomsku sliku organa pacijenta sa koje se mogu uočiti nagle promene CT brojeva. Metod za steheometrijsku kalibraciju i veza između CT brojeva omogućavaju da se za svaki voksel dobije gustina tkiva i uspostavi veza sa sastavom tog tkiva. Za isto tkivo sa istim sastavom CT skan daje fino diskretizovane CT brojeve. Ako se ti brojevi direktno prevedu u gustine, nije moguće svim tim gustinama asocirati prirodan sastav tkiva. Zato je potrebno da tkivo zadrži prirodan sastav, a da se gustina menja u skladu sa CT brojevima. Uprošćeniji model je da se za jedno tkivo uzme interval CT brojeva, tom intervalu dodeli prirodni sastav i za taj sastav usvoji srednja gustina ili prirodna gustina.

U našem algoritmu za upotrebu CT brojeva koristimo DICOM standard za čitanje CT podataka: (i) iz zaglavlja uzimamo podatke o dimenzijama *Dx, Dy* i *Dz* voksela duz koordinatnih osa za pacijenta fiksiranog koordinatnog sistema *(X,O,Y,Z);* (ii) broj piksela *Jx* i *Jy* u slajsu, broj slajsova *Jz* i bazu CT brojeva prevedenu u cele brojeve $N_{cr}(i,j,k)$. Tkivu pacijenta dodeljujemo prirodan sastav, a zatim $N_{ct}(i,j,k)$ prevodimo u gustine $M_{dn}(i,j,k)$. Posle prevođenja CT brojeva u gustine za svako tkivo odaberemo srednju gustinu $K_d(m)$ i prirodan elementarni sastav $Q(g_n,Z_n)$, gde je *n* broj elemenata u tkivu. Svakom vokselu u matrici gustina $M_{dn}(i,j,k)$ dodeljujemo korespodentne odabrane gustine $K_d(m)$, gde indeks *m* odgovara rednom broju intervala gustina. Posle ovih operacija raspoložive su srednje gustine tkiva i njima korespodentan elementarni sastav. To je deo ulaznih podataka za programe FEPDAT i SRNADAT za pripremi verovatnoće prelaza za kasniju simulaciju. Kao početni korak u ispitivanju kvaliteta modela i drugih osobina simulacije transporta elektrona i protona napravili smo dva numerička eksperimenta u vodenom fantomu. Prvi eksperiment bio je sa programima FOTELP-2KG i SRNA-2KG, a drugi sa vokselizovanom geometrijom programima FOTELP-VOX i SRNA-VOX. Na Slici 1 i 2 dati su rezultati oba ova eksperimenta. Na taj način ostvareni su neophodni uslovi za primenu programa FOTELP-VOX i SRNA-VOX na vokselizovanu geometriju sa CT podacima.



Slika1. Simulacija transporta elektrona 20 MeV u vodenom fantomu sa običnom i voksel geometrijom programima FOTELP-2KG i FOTELP-VOX.



Slika 2. Simulacija transporta protona 250 MeV u vodenom fantomu sa običnom i voksel geometrijom programima SRNA-2KG i SRNA-VOX.

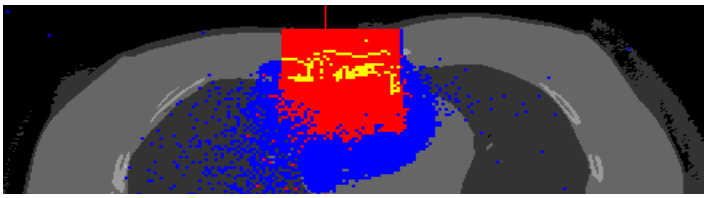
VOKSELIZOVANA GEOMETRIJA

Programi FOTELP-VOX i SRNA-VOX imaju rutinu u kojoj se za svaki voksel, čije su dimenzije *Dx, Dy* i *Dz*, računaju geometrijski podaci: indeksi *Jx=Xp/Dx*, *Jy=Yp/Dy* i *Jz=Zp/Dz* voksela, indeks materijala voksela *Jm* i rastojanje *Lv* od mesta čestice u vokselu *(Xp,Yp,Zp)* do tačke prodora čestice kroz jednu od 6 površina ortogonalnog voksela. Kada je $Lv > \Delta s$, cestica sa odgovarajućim verovatnoćama interaguje na putu Δs i na njegovom kraju sa smanjenom energijom i promenjenim smerom ona započinje novi korak Δs. Ako je $Lv < \Delta s$, znači da će cestica preći barem iz prethodnog u naredni voksel, a možda i još nekoliko. U tom slučaju cestica se premešta u tačku prodora, računaju novi indeksi *Jx, Jy* i *Jz* i proverava da li je naredni voksel popunjen materijalom prethodnog voksela. Ako je ovaj uslov ispunjen i za sve sledeće voksele do poslednjeg u kome se nalazi kraj puta Δs, čestica će sa odgovarajućim verovatnoćama interagovati na putu Δs i na njegovom kraju sa smanjenom energijom i promenjenim smerom započeti novi korak Δs. Kada na putu Δs cestica naiđe na voksel različitog materijala od do tada pređenih voksela, sve reakcije se odigravaju na putu do te promene, ali ponderisane odnosom $\sum Lv / \Delta s$. Testovi naše rutine GEMVOX dali su vrlo dobre rezultate u pogledu numeričke jednostavnosti i brzine rada.

Kao ilustraciju upotrebe CT podataka za simulaciju transporta programima FOTELP-VOX i SRNA-VOX u vokselizovanoj geometriji uzeli smo CT podatke dva pacijenta: predeo dojke i oko. Dijagnostikovani tumori su precnika oko 2 cm, odnosno oko 1 cm. CT podaci dobijeni su u slajsovima 0.5 cm duz Z-ose pacijenta, a svakom slajsu odabran je predeo oko tumora u potrebnom broju piksela dimenzija 0.081 cm. Snop elektrona energije 12 MeV u smeru Z-ose pacijenta uniformno ozracava polje 4 x 4 cm. Snop protona energije 65 MeV i radijusa 1.2 cm usmeren je na tumor oka pod uglom $\vartheta = 90^0$ i $\varphi = 35^0$ tako da ne dodiruje zenicu oka. Numerički eksperimenti izvedeni su na PC Pentium II, 500 MHz, 256 MB RAM sa 10^6 cestica. Rezultati numeričkih eksperimenta prikazani su na Sl. 3 i Sl.4. na kojima se mogu uočiti na maksimalnu normalizovana deponovana energija u svakom slajsu.

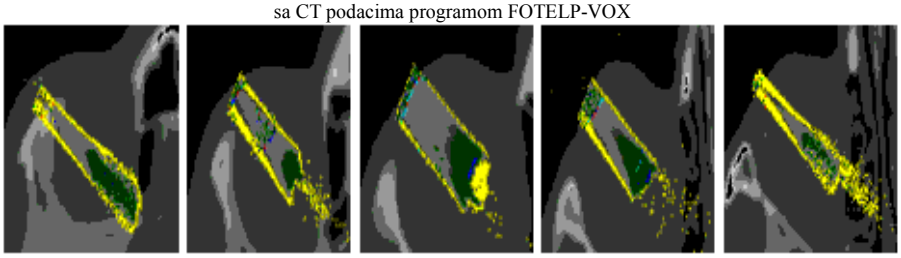
ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati numeričkih eksperimenata programima FOTELP-VOX i SRNA-VOX potkrepljuju ocekivanja da će uskoro tehnike Monte Karlo ući u kliničku praksu za planiranje terapije elektronima i protonima.



Slika 3. Na maksimum normalizovana deponovana energija energija elektrona 12 MeV

u centralnom slajsu grudnog koša dobijena u vokselizovanoj geometriji
sa CT podacima programom FOTELP-VOX



Slika 4. Na maksimum normalizovane deponovane energije protona 65 MeV u svakom slajsu oka dobijene u vokselizovanoj geometriji sa CT podacima programom SRNA-VOX

LITERATURA

[1] Hartmann-Siantar et al Lawrence Livermore National Laboratory's PEREGRINE project *Proc. of the 12th Conf. on the Use of Computers in Radiotheray* (Medison, WI; Medical Physics Publ.) (1997) 19-22

[2] Medin J. and Andreo P. PETRA - A Monte Carlo Code for the Simulation of Proton and Electron in Water, Internal report MSF 1997-1, Karolinska Institutet, Stokholm Univ

[3] Sempau J. et all DPM, a fast, accurate Monte Carlo code optimized for photon and electron radiotherapy treatment planning dose calculation, *Phys. Med. Biol*. 45 (2000) 2263-2291.

[4] Ilic R.D. http://www.vin.bg.ac.yu/črasa/hopa.htm, februar 2001.

[5] Lalic D., Ilic R. D. and Stankovic J. S. Comparation of measured and Monte Carlo calculated electron beam central axis depth dose in water, Archive of Oncology, Vol.9, Num 4 (2001) u stampi.

[6] Schneider W, Bortfeld T and Schlegel W Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulation of clinical dose distribution *Phys. Med. Biol*. **45** (2000) 459-478

ABSTRACT

ELECTRON AND PROTON MONTE CARLO TRANSPORT SIMULATION IN VOXELIZED GEOMETRY USING CT DATA

Ilić R. D, Lalić D.,
Institute of nuclear sciences, INN "Vinca"
[1]Military Medical Academy, Beograd

Monte Carlo simulation of photon, electron and positron transport in complex geometry shapes with different material composition is realized by FOTELP and SRNA software packages. Regular accordance between experimental results and simulations, and general aspiration for creation of software packages suitable for radiotherapy 3D planning, has given the intention of package development toward application computer tomography (CT) data against description of patient geometry, and voxelized geometry for transport particles simulation. Developed and tested packages FOTELP-VOX and SRNA-VOX could serve now for development of radiotherapy planning system for electron and proton.

RADIJACIONI AKCIDENTI PRI KORIŠĆENJU DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA

Duško Košutić, Željka Ilić
Institut za nuklearne nauke "Vinča"

SADRŽAJ

Tokom perioda od 1995 do 2000 godine zabeleženo je 5 slučajeva za koje možemo reći da predstavljaju određenu vrstu radijacionog akcidenta. U radu dajemo osvrt na uzroke i moguće posledice.

UVOD

Radijacioni akcident predstavlja neplanirano ozračivanje lica ili kontaminaciju lica, radnih površina i vazduha. Pri radu sa zatvorenim izvorima ili uređajima koji proizvode jonizujuća zračenja kao što su rendgen aparati postoji opasnost od spoljašnjeg ozračivanja. Kod rendgen aparata do akcidenta dolazi nepotrebnim boravkom lica u polju X-zračenja. Po pravilu lice i ne zna da je bilo izloženo neželjenom i neplaniranom izlaganju.

U objavljenim izveštajima o radijacionim akcidentima za period 1945-1997 u nuklearnoj industriji, naučnoistrživačkim i medicinskim ustanovama vidi se da je najmamnji broj akcidenata bio u radijacionim jedinicama u medicinskoj dijagnostici. Najdrastičniji slučaj je zabeležen u SSSR gde je 1967 godine došlo do nekontrolisanog izlaganja jednog lica koje je u predelu ruku i lokalno primilo dozu od oko 50 Gy. Posle sedam godina to lice je preminulo. Tokom 1980 godine lice koje je radilo u radijacionoj jedinici u Nemačkoj primilo je u predelu ruku dozu od oko 23 Gy.

Radijacioni akcidenti u jedinicama za rendgen dijagnostiku su retki, ali nisu i nemogući. Navedeni primeri su ekstremni slučajevi, ali postoji i veći broj akcidenata gde su primljene doze u granicama dozvoljenih za profesionalno izložena lica ili nešto iznad. Neophodan uslov za intervenciju kod svakog radijacionog akcidenta je adekvatna procena ozračenosti izloženih osoba. Za adekvatnu procenu ozračenosti potrebno je posedovati rezultate očitanih vrednosti sa TLD-a koje su zaposlena lica obavezna da nose, laboratorijske i biodozimetrijske rezultate kao i rezultate dozimetrijskih merenja pri pokušaju rekonstrukcije događaja. Nedostatak bilo kog podatka dovodi do povećanja greške pri proceni doze.

Do sada u našoj Zemlji nisu zvanično objavljivani izveštaji o nekontrolisanom ozračivanju lica, što ne znači da takvih slučajeva nije bilo. Pri očitavanju TLD-a dešavalo se da su očitane vrednosti više od graničnih i za čitav red veličine, ali su to u najvećem broju slučajeva bile zloupotrebe i takvi slučajevi se ne mogu smatrati akcidentima. Tokom

perioda od 1995 do 2000 godine zabeleženo je 5 slučajeva za koje možemo reći da predstavljaju određenu vrstu radijacionog akcidenta.

SLUČAJ 1.

Prilikom redovne, godišnje, dozimetrijske kontrole u radijacionoj jedinici za snimanje zuba ustanovljeno je da stomatološki rendgen aparat emituje zračenje čim se uključi u struju. Lice koje je radilo nije posedovalo lični dozimetar, nije došlo na zdravstvenu kontrolu. Rendgen aparat je bio stavljen van upotrebe do popravke. Nije se mogla izvršiti procena primljene doze jer lice nije bilo voljno da sarađuje.

SLUČAJ 2.

Lica koja su radila u radijacionoj jedinici za prosvetljavanje došla su na zdravstvenu kontrolu sa izjavom da su bila neplanirano izložena dejstvu X-zračenja usled toga što je preklopnik kojim se uključuje prosvetljavanje na rendgen aparatu ostao u položaju "uključeno" i posle radiološkog pregleda pacijenta. Očitavanje ličnih dozimetara je radila jedna ustanova, dozimetrijske merenja druga, a zdravstvene kontrole treća. Zbog nemogućnosti dolaska do pravih informacija o očitanim vrednostima sa TLD i apsorbovanih doza jonizujućih zračenja na radnim mestima ovih lica izostala je procena primljenih doza.

SLUČAJ 3.

Tokom redovne dozimetrijske kontrole na rendgen aparatu ustanovljeno je pri merenju curećeg zračenja, znatno rasipanje pri određenim uglovima. Detaljnijim merenjima je ustanovljeno da rendgenska cev nije adekvatno zaštićena i da na pojedinim mestima nedostaju čitavi delovi olovne folije. U ovom slučaju lice koje radi nije bilo izloženo nepotrebnom zračenju ali su zato pacijenti koji su dolazili u kontakt sa ovim aparatom bili nepotrebno izlagani višestruko većim dozama od potrebnih. Nije utvrđen broj tih lica i doze koje su oni nepotrebno primili.

SLUČAJ 4.

Više meseci uzastopno su očitavane doze sa ličnog dozimetra istog lica bile u intervala od (7-10) mSv. Tokom redovne, godišnje dozimetrijske kontrole ustanovljeno je da lice koje je rukovalo aparatom posle okretanja preklopnika u položaj za snimanje nije vraćalo preklopnik u neutralan položaj već jedan okret dalje u položaj za uključivanje skopije. Na taj način su i zaposleno lice i pacijenti bili nepotrebno izlagani X-zračenju. Za lice koje je radilo procenjeno je da je tokom 4 meseca moglo da apsorbuje oko 36 mGy, a za pacijente nije utvrđen ni broj ni doza.

Iz ova četiri slučaja vidimo da je bilo propusta i pri rukovanju sa rendgen aparatima, kao i kasnije tokom postupka procena doza izlaganja. Ono što je zajedničko za sve slučajeve je :

- Nepotrebno izlaganje je izazvano nepravilnim rukovanjem ili nepoznavanjem elementarnog načina rada uređaja
- Nesinhronizovan rad službi za očitavanje ličnih dozimetara, za medicinsku zaštitu i za dozimetrijsku kontrolu.
- Nedovoljno angažovanje i lica koja su nepotrebno izlagana X-zračenju i službi koje se bave poslovima zaštite od jonizujućih zračenja.

SLUČAJ 5.

Lice zaduženo za poslove zaštite od jonizujućih zračenja u jednoj medicinskoj ustanovi telefonom je obavestilo lice koje vrši dozimetrijsku kontrolu izvora jonizujućih zračenja da postoji mogućnost da je u toj ustanovi došlo do neplaniranog izlaganja X-zračenju nekoliko zaposlenih u toj ustanovi. Ustanovljeno je da nijedno lice nije posedovalo lični dozimetar koji bi se poslao na očitavanje. Preduzete su sledeće mere:

- Dogovoreno je da lica koja su se nalazila u prostoriji u tom vremenskom intervalu dođu narednog dana na vanrednu zdravstvenu kontrolu.
- Da se narednog dana izvrše vanredna dozimetrijska merenja i obavi rekonstrukcija događaja.

ŠTA JE PROUZROKOVALO AKCIDENT?

Tokom rada sa rendgen aparatom došlo je do oštećenja na papučici kojom se uspostavlja kontakt za skopiranje, tako da je rendgen stalno emitovao X-zračenje, a niko od prisutnih lica nije to primećivao. Nijedno lice koje se nalazilo u prostoriji nije bilo osposobljeno za rad sa rendgen aparatom i sprovođenje mera zaštite od jonizujućih zračenja. Nisu korišćeni lični dozimetri ni zaštitna sredstva.

PROCENA OZRAČENOSTI NA OSNOVU DOZIMETRIJSKIH MERENJA

Na osnovu izvršenih dozimetrijskih merenja moglo se zaključiti da su prisutna lica primila dozu u rasponu (0.03 – 0.1) mSv, što predstavlja manje od 1% godišnje granice za profesionalno izložena lica. Ova doza daje zanemarljivu verovatnoću da može doći do nekog poremećaja u ćeliji i tkivu.

Medicinskim pregledom, laboratorijskim i biodozimetrijskim rezultatima ustanovljeno je da dve osobe imaju promene ne nivou ćelije, izazvane jonizujućim zračenjem.

Šta se nameće kao zaključak posle kompletne analize ovog slučaja?

- Do akcidenta je došlo usled neznanja i nepoštovanja postupka
- Nije ispoštovana zakonska procedura
- Rendgen aparatom su rukovala nestručna lica
- Lica koja su se nalazila u kontrolisanoj zoni nisu koristila lične dozimetre
- Nijedno lice nije bilo upoznato sa pravilima o zaštiti od jonizujućih zračenja
- Nisu korišćena zaštitna sredstva
- Lica nisu podvrgnuta prethodnim zdravstvenim pregledima
- Procenjene doze koje su lica primila tokom nekontrolisanog izlaganja X-zračenju praktično ne mogu izazvati nikakve štetne efekte.

- Zdravstvenim pregledom i laboratorijskim analizama ustanovljeno je da su dva lica tokom dužeg vremenskog perioda (nezavisno od navedenog slučaja) bila izložena povećanoj dozi X-zračenja koja izaziva promenu u ćelijskoj strukturi.

Uzrok akcidenata u rendgen dijagnostici po pravilu je loše sprovođenje dijagnostičkog postupka kao i nepoštovanje zakonskih propisa zaštite od jonizujućih zračenja. Najvažniji faktor dobre zaštite od jonizujućih zračenja za prevenciju radijacionog akcidenta je ZNANJE profesionalno izloženih lica – izvršioca procedure.

LITERATURA:

[1] Planning the medical response to radiological accidents/jointly sponsored by IAEA and WHO – Vienna IAEA 1998

[2] ICRP PUBLIKACIJA 60, 1991.

[3] Službeni List SRJ br. 45/97

[4] Službeni List SRJ br. 32/98

ABSTRACT

ACCIDENTS IN X-RAY FACILITIES IN REPUBLIC OF SERBIA

D. Košutić, Ž. Ilić

Institute of Nuclear Sciences "Vinča"

Working with radiation sources is always connected with certain amount of risk. Reasons for that are misalignment of the beam, pour beam profile, unstable generator, blurred focus, inappropriate protection devices, luck of local rules…The cases which are consequences of the luck or unrespect of local rules, are reported in the paper. The cases in which the local rules are not respected are more often. During last few years, officially, five accidental situations have been reported: three with stationary X-ray units, one with dental and one with mobile X-ray unit. It is worth mentioning that in only single case, a complete procedure with all measures has been proceeded.

REVITALIZACIJE RENDGEN DIJAGNOSTIČKE OPREME U REPUBLICI SRBIJI

D. Košutić, O. Ciraj
Institut za nuklearne nauke "Vinča"

SADRŽAJ

Tokom1996.godine urađena je analiza starosti dijagnostičkih generatora rendgenskog zračenja za teritoriju Republike Srbije. Tada dobijeni rezultati vrede i posle 5 godina, jer se malo toga promenilo.

UVOD

Broj rendgen aparata koji su u ovom periodu nabavljeni i postavljeni je oko 3 %, ali je i to uslovno, jer se radi o jednom broju repariranih (uglavnom se takvi uređaji nabavljaju za kompjuterizovanu tomografiju).

U proteklom periodu jedini napredak u oblasti zaštite u rendgen dijagnostici ostvaren je nabavkom određenog broja kaseta sa pojačavačkim folijama na bazi retkih zemalja i filmova odgovarajućeg kvaliteta. Zakon (Sl. List SRJ br.32/98) obavezuje da se snimanja u pedijatriji i snimanja dojki obavljaju samo uz primenu navedenih folija. Oko jedne četvrtine ustanova to koristi.

Tabela 1. Broj stacionarnih rendgen aparata u Republici Srbiji

PERIOD	VOJVODINA	KOSOVO	OSTALO	UKUPNO
1960 - 1969	9 (5%)	4 (8%)	31 (6%)	44 (6%)
1970 - 1979	61 (37%)	11 (22%)	168 (34%)	240 (34%)
1980 - 1984	39 (24%)	16 (33%)	140 (28%)	195 (28%)
1985 - 1990	26 (16%)	11 (22%)	81 (17%)	118 (17%)
1991 - 1996	23 (14%)	7 (15%)	54 (12%)	84 (12%)
1997 - 2000	7 (4%)		15 (3%)	22 (3%)
Σ	165	49	489	703

Da li kvalitet snopa rendgenskog zračenja zavisi od starosti generatora? Nakon dužeg ispitivanja ova veza je potvrđena.

Kod dijagnostičkih generatora rendgenskog zračenja mereni su parametri koji određuju kvalitet snopa. To su:

- pouzdanost visokog napona
- pouzdanost i reproducibilnost vremena
- reproducibilnost doze
- kongruencija

Od 106 dijagnostičkih rendgen aparata kod kojih je kvalitet snopa takav da je odstupanje veće od 10 %, 89 uređaja je postavljeno pre 1984. godine. Ovo postaje očigledno iz sledećih podataka:

od 479 generatora rendgenskog zračenja koji su u upotrebu stavljeni pre 1984. godine 89 ili 18.5 % nemaju kvalitet snopa koji bi zadovoljio njihov dalji rad, a od 202 rendgena postavljenih posle 1984. godine 17 odnosno 8%.

Posle ovih činjenica ne bi više moglo biti dileme oko povezanosti starosti rendgen aparata sa njihovim kvalitetom.

Tabela 2. Rezultati merenja kvaliteta snopa

PERIOD	BROJ RENDGEN UREĐAJA	LOŠ KVALITET SNOPA	(%)
DO 1984.	479	89	18.5
POSLE 1984.	202	17	8

Postojeća oprema više se ne može adekvatno ni servisirati, jer uglavnom ne postoje novi delovi, tako da se vrši ugradnja starih, često i neodgovarajućih za tip aparata u koji se ugrađuju, pa je onda i normalno da nije moguće izvršiti podešavanje uređaja kako bi parametri koji određuju kvalitet snopa rendgenskog zračenja bili u skladu sa važećim standardima.

Ovakav način rada izlazi van zakonskih propisa, ali je mnogo bitnije da dovodi do povećanog izlaganja X-zračenju pacijenata i zaposlenih lica. To uslovljava znatno veće troškove zbog ponavljanja ekspozicija, dužeg zadržavanja pacijenata, čestih popravki i, opet, dobijanja nezadovoljavajuće radiografske informacije.

O kakvom neskladu Zakonskih propisa i realnog stanja se radi neka posluži sledeći primer. U Pravilniku o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uređaja koji proizvode jonizujuća zračenja (Sl. List SRJ br. 32/98), piše da se ne mogu koristiti stomatološki rendgen aparati kod kojih je napon rendgenske cevi niži od 50 kV i bez tubusa koji odgovara važećem standardu. Od oko 480 stomatoloških rendgen aparata i dalje je u upotrebi oko 40 sa naponom nižim od 50kV i preko 140 bez odgovarajućeg tubusa.

Kao što se može videti razloga za zanavljanje i revitalizovanje rendgen dijagnostičke opreme ima puno i oni su i zakonski i praktični.

Na osnovu raspoloživih podataka plan zanavljanja bi obuhvatio oko 600 stacionarnih, 80 pokretnih, 250 stomatoloških i jedan manji broj mamografskih i fluorografskih rendgen aparata. Zanavljanje bi se vršilo u etepama u periodu od tri do pet godina s tim što deo tog plana već postoji i uz manje izmene se može koristiti. Njime su obuhvaćeni i velike naučno zdravstvene ustanove kao čto su klinički i kliničko bolnički centri Beograda, Novog Sada, Niša, Kragujevca, ali i najmanje zdravstvene ustanove kao što su Domovi zdravlja u Crnoj Travi, Vlasotincu, Kniću, Žitištu i drugim manjim mestima.

LITERATURA

1. Službeni List SRJ br. 32/98
2. D. Košutić, O. Ciraj, "Starost dijagnostičih generatora rendgenskog zračenja na području Republike Srbije", Zbornik radova XIX jugoslovenskog simpozijuma zaštite od zračenja, Golubac, str.67-70, 1997.
3. Ciraj O., Košutić D., "Ponovljivost apsorbovane doze rendgenskog zračenja kod dijagnostičkih generatora", Zbornik radova XX simpozijuma jugoslovenskog društva za zaštitu od zračenja, Tara, str. 273-276, 1999.

ABSTRACT

REASONS AND MEANS FOR THE RENEWAL OD THE DIAGNOSTIC X-RAY EQUIPMENT IN REPUBLIC OF SERBIA

D. Košutić, O. Ciraj
Institute of Nuclear Sciences "Vinča",
Radiation and Environmental Protection Laboratory

X-ray generators in diagnostic X-ray facilities are in average 25 years old. It is not the only, but is one of the most significant reasons for renewal. As s concequence, fault values of the parameters leading to unnecessary exposure of patients, staff and incereesed costs of obtaining diagnostic image, are reported. Judging by the screening results, it necessarz to renew almost 600 stationary X-ray units, 80 mobile X-ray units and 250 dental X-ray units. Also, it is necessary to purchase mammographic X-ray and CT units as well, for those departments wich are not equiped with them.

IZLOŽENOST OČNIH SOČIVA PROFESIONALNO IZLOŽENIH LICA U INTERVENTNOJ RADIOLOGIJI

O. Ciraj, D. Košutić, S. Marković
INN ”Vinča”, Laboratorija ”Zaštita”

SADRŽAJ

Tokom izvođenja procedura u interventnoj radiologiji, izloženost lekara i radioloških tehničara je veoma neuniformna a nezaštićeni organi u regionu vrata i glave zahtevaju posebnu pažnju. Situacije u kojima se sistemi sa rendgenskom cevi iznad stativa koriste za metode interventne radiologije zahtevaju posebnu pažnju. Procenjene vrednosti ekvivalentne doze za očna sočiva lekara i radiološkog tehničara u ovim slučajevima kreću se 0,9-6,7 mSv i 0,2-1,8 mSv, respektivno. U radu je dat i predlog mera za smanjenje doza profesionalno izloženih lica u interventnoj radiologiji.

UVOD

Metode interventne radiologije (IR) i interventne kardiologije (IC) se izvode kao alternativa hiruškim metodama, i u najvećem broju slučajeva, opravdane su kada je zaštita pacijenata u pitanju. Opravdanost, sa aspekta zaštite profesionalno izloženih lica, zahteva dublje razmatranje. Rizik za profesionalno izložena lica u interventnoj radiologiji je tema veoma često zastupljena u literaturi, imajući u vidu evidentan porast broja procedura iz godine u godinu, nedovoljan broj lekara odgovarajućih specijalnosti i nedostatak finansijskih resursa za pravilno opremanje rendgen-kabineta. U rutinskoj kliničkoj praksi doze za profesionalno izložena lica procenjuju se na osnovu jednog dozimetra, a da pri tome pozicija tog dozimetra na telu načešće nije poznata. Usled velike prostorne varijacije jačine kerme u vazduhu, precizna procena doza za očna sočiva profesionalno izloženoh lica moguća je samo na osnovu odgovarajućeg monitoringa. Dostupni dozimetrijski podaci nisu uvek relevantan pokazatelj mogućih radijacionih oštećenja, posebno u neodgovarajućim radnim uslovima tokom više godina [1].

PROCENA DOZE ZA OČNA SOČIVA

Sa aspekta zaštite od zračenja poseban problem predstavljaju sistemi sa rendgenskom cevi iznad stativa na kojima se izvode procedure IR, prema našim merenjima i podacima iz literature. Nivoi rasejanog zračenja u okolini pacijenta u slučaju sistema sa rendgenskom cevi iznad stativa su nekoliko puta veći u odnosu na sisteme sa rendgenskom cevi ispod stativa. Činjenica da su sistemi sa rendgenskom cevi iznad stativa u osnovi

namenjeni za rad sa daljinskim komandama i da u najvećem broju slučajeva nisu opremljeni dodatnim zaštitnim sredstvima, nameće pitanje opravdanosti upotrebe ovakvih rendgen-aparata u IR. Velike prostorne varijacije doza ukazuju na potrebu za uvođenjem sistematičnog pristupa i metodologije za pouzdano utvrđivanje korelacije između procenjene doze i faktora koji na nju utiču.

Eksperimentalnim putem utvrđena je prostorna raspodela rasejanog zračenja u okolini pacijenta. Napon na rendgenskoj cevi je proveren instrumentom KEITHLEY Digital kVp Meter 35075, jačina doze na površini fantoma KEITHLEY Digital Dosimeter 35065. Kao rasejivač korišćen je fantom zaobljenih ivica i standardnih dimanzija 25 cm x25 cm x15 cm. Merenje jačine kerme u vazduhu u značajnim zonama zadržavanja izvršeno je instrumentom VA-J-15A, na originalnom postolju. Za proveru rezultata merenja korišćena je tkivnoekvivalentna jonizaciona komora Babyline 31.

Svi instrumenti kalibrisani su u Sekundarnoj Standardnoj Dozimetrijskoj Laboratoriji (SSDL) Instututa za nuklearne nauke "Vinča".

Merenjem su utvrđene velike prostorne varijacije jačine kerme u vazduhu, posebno u regionu glave. Za slučaj rendgen-aparata sa cevi iznad stativa izmerene vrednosti iznose i do 0,88 mGy/h. Uočeno je da su vrednosti za red veličine manje u slučaju primene zavesica od olovne gume. Ipak, treba imati na umu da takva zaštitna sredstva često ometaju izvođenje metoda IR pa je potrebno tragati za drugim rešenjima.

U Tabeli 1 su prikazane procenjene vrednosti ekvivalentne doze za očna sočiva po jednoj proceduri. Procena je izvedena na osnovu izmerene jačine kerme u vazduhu za srednje vrednosti faktora opterećenja radiologa i radiološkog tehničara. Iako je oko izloženo visokim dozama, primena zaštitnih naočara u našoj kliničkoj praksi je veoma retka. Na osnovu prosečnih vrednosti ekvivalentne doze po jednoj proceduri, procenjen je i maksimalni broj procedura koje se mogu sprovesti za godinu dana, da se ne premaši granica izlaganja za očno sočivo od 150 mSv[2]. Procenjene vrednosti za radiološkog tehničara iznose 20-40 % vrednosti za lekara. Iz procenjenih vrednosti proističe i potreba za upotrebom zaštitnih naočara u slučaju cevi iznad stativa.

Tabela 1. Procenjene vrednosti ekvivalentne doze za očna sočiva po jednoj proceduri u μSv (srednja, minimalna i maksimalna) za radiologa i radiološkog tehničara.

	μSv	N	$N_{3/10}$	μSv	N	$N_{3/10}$
	literatura			*anketa*		
RADIOLOG						
cev iznad stativa bez zaštite	3241 (372-7096)	46	13	2844 (850-6670)	52	15
cev iznad stativa sa zaštitom	228 (26-556)	657	197	200 (60-470)	750	225
RADIOLOŠKI TEHNIČAR						
cev iznad stativa bez zaštite	884 (101-2153)	169	50	776 (232-1819)	193	57
cev iznad stativa sa zaštitom	74 (8-179)	2027	608	65 (19-152)	2308	692

N je maksimalni broj procedura za godinu dana na osnovu granice od 150 mSv,
$N_{3/10}$ maksimalni broj za 3/10 ove vrednosti

Osnovni problem pri proceni doze tokom procedura IR potiče iz velike varijabilnosti parametara, individualnih karakteristika pacijenta i različitih tehnika koje

primenjuju lekari. Procena je izvedena na osnovu parametara utvrđenih anketom, kao i na osnovu podataka iz literature. Tipičan klinički protokol, na osnovu ankete na terenu, sastoji se od 6 (4-8) snimaka po proceduri pri prosečnom opterećenju od 82 (64-100) mAs po snimku, napona od 95 (85-105) kV i opterećenja pri prosvetljavanju od 30 (10-60) mAmin po jednoj proceduri. Prema podacima iz literature tipični parametri pregleda su: 90 (70-110) kV, 10 (1,2-25) mAmin po proceduri, 14 (6-21) snimaka pri opterećenju od 165 (80-150) mAs po snimku. Podaci iz Tabele 1 ukazuju da u pojedinim situacijama doze mogu dostići i nekoliko mSv po proceduri, tj. prag za determinističke efekte prema ICRP 60 [2].

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Dozimetrijski podaci koji se odnose na izloženost očnih sočiva retko su dostupni u literaturi, usled teškoća koje se odnose na veliki gradijent jačine kerme, filtraciju zračnika, faktore opterećnja, veličinu polja, položaj preteće opreme, redovnost upotrebe zaštitnih sredstava. Neki od publikovanih rezultata su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Doze za profesionalo izložena lica, referisane od strane raznih autora

Autor	mSv/procedura	Rendgen-aparat	Relevantni parametri	Zaštitna sredstva
Steffino *et al*[3]	0,215-0,370	Philips Polydiagnost C	2,8-3,4 min 637-1058 slika	PP*
Pratt and Shaw[4]	0,008-0,113	pet rendgen-aparata u tri centra za IC	2-3 min 500-2000 slika 4400 cGycm^2	Naočare, PP
Marshall *et al* [5]	0,014	CGR DG 300	4850 cGy cm^2 12220 cGy cm^2	Štitnik za tireoidnu žledzdu
Axelsson *et al*[6]	0,08-0,31		150 00 mAs	PP, naočare
McParland *et al*[7]	0,08-0,22		140-312 mAmin	Zaštitni vizir
Jeans *et al*[8]	0,05-1,04		1-7 mA 2,5-69,5 min	
Vano *et al*[9]	0,04 –2 (levo) 0,04-1,7 (desno)	Siemes Polydoros 100		PP, naočare

*PP – pokretni paravan

Gotovo svi rezultati prikazani u Tabeli 2 potiču iz laboratorija koje poseduju opremu za IR i pokretne zaštitne paravane. ICRP Report 41 naglašava da podaci o efektima zračenja niskog LET za doze 1,5-4 Gy, akumilirane tokom perioda 10-20 godina, nisu dostupni[1]. S obzirom da se procenjene doze, pri dugotrajnom izlaganju u IR, pri neoptimalnim uslovima, nalaze u ovom intervalu, efekti takvih doza nisu opisani, ali se tvrdi da mikroskopska oštećenja mogu nastati pri dozama zračenja niskog LET od oko 1 Gy. Stoga je precizna detekcija oštećenja očnih sočiva kod profesionalno izloženih lica u IR veoma značajna. Prema važećoj *Odluci o stručnoj spremi*...[10], oftalmološki pregled za profesionalno izložena lica obavlja se pre stupanja na rad, i kasnije, svake tri godine[10]. Potreban je poseban monitoring doza za očna sočiva, za lica iz klase A profesionalno izloženih lica. Situacije u kojima su očna sočiva lekara izložena dozama reda veličine mGy/h referisane su i u radovima koji se bave drugim metodama koje koriste prosvetljavanje na rendgen-aparatima sa cevi iznad stativa. Važno je napomenuti da te doze

nisu tipične za situacije u kojima se koristi oprema i zaštitna sredstva namenjena za IR. Kao posebno kritične, izdvajaju se situacije u kojima se oprema namenjena za klasične dijagnostičke metode i rad sa daljinskim komandama koristi za IR. Velika radna opterećenja i nedostatak dobrih obrazovnih programa iz oblasti zaštite od zračenja u IR, može prouzrokovati porast broja incidenata u ovoj oblasti. U cilju prevencije incidenata, veoma je značajna primena pokretnih zaštitnih paravana i zaštitnih naočara, a zatim i planska zamena starih sistema sa cevi iznad stativa. Oftalmološki pregledi, kao sastavni deo redovnih zdravstvenih kontrola profesionalno izloženih lica, omogućavaju otkrivanje oštećenja očnih sočiva. Pored toga, veoma je važan i dodatni monitornig doza za očna sočiva profesionalno izloženih lica u IR. Od izuzetne važnosti je i edukacija profesionalno izloženih lica u IR koja moraju imati sigurne predstave o riziku i merama zaštite od zračenja, u funkciji pravilog postavljanja zahteva za optimalna rešenja radnih uslova.

LITERATURA

[1] Vano E, Gonzales L, Beneztez F, Moreno F. Lens Injuries Induced by Occupational Exposure in Non-optimized Interventional Radiology Laboratories. Br. J. Radiol. 71(1998), 728-733.

[2] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the Radiological Protection, ICRP Publication 60. Ann ICRP 1991: 21, No 1-3.

[3] Steffino G, et al. Staff dose reduction during coronary angiography using low framing seed. Br J Radiol 1996; 69:860-4.

[4] Pratt TA, Shaw AJ, Factors affectingthe radiation dose to lensof the eye during cardiac catheterization procedure. Br J Radiol 1993; 66: 364-50.

[5] Marshall NW, Noble J, Faulkner K. Patient and staff dosimetry in neuroradiological procedures. Br J Radiol 1995; 68:495-501

[6] Axelsson B, Cederlund T, Svene B. Evaluation of radation exposure to personnel in cardiac angiography. Rad Prot Dosim Vol 57, No1-4, 433-6, 1995.

[7] Mc Parland B, et al. A survey of the radiation exposure received by the staff at two cardiac catheterization laboratories. Br J Radiol, 63, 885-888, 1990.

[8] Jeans S.P. Faulkner F. An investigation of the radiation dose to staff during cardiac radiological studies. Br J Radiol, 58, 419-428, 1985.

[9] Vano, et al. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. Br J Radiol, 71, 954-960, 1998.

[10] Odluka o stručnoj spremi i zdravstvenim uslovima lica koja rade sa izvorima zračenja. Sl. list SRJ 45/97.

ABSTRACT

LENS EXPOSURE FOR THE STAFF IN INTERVANIONAL RADIOLOGY LABORATORIES

O. Ciraj, D. Košutić, S. Marković

INS “Vinča”, Radiation and Environmantal Protection Laboratory

During examinations in interventional radiology, staff body exposure is extremely non-uniform. The doses for unshielded organs in the head and neck region are especially critical. Situations in wich are used overcouch X-ray systems not designed for interventional radiology were considered. For typical workloads, estimates for the dose to eye lens ranged from 0.9 to 6.7 mSv per procedure for radiologist, and from 0.2 to 1.8 mSv for radiographer. Mesures to avoid lens injuries by occupational exposure in interventional radiology were discussed.

KALIBRACIJA BRAHITERAPIJSKOG IZVORA ^{192}IR : UTICAJ ATENUACIJE U KATETERU

N. Milošević, S. Vučković[1], G. Apostolidis[1], J. Stanković[1]
Institut za biofiziku, Medicinski Fakultet, Beograd
[1] Institut za onkologiju i radiologiju Srbije, Beograd

SADRŽAJ

U brahiterapiji izvori zračenja dovode se u kontakt ili u neposrednu blizinu tumora, pri čemu se upotrebljavaju različite vrste aplikatora (plastični kateter, vaginalni aplikator, igle, itd.).[7] Primena različitih aplikatora u brahiterapiji ima uticaja na isporučenu terapijsku dozu zračenja. U radu je ispitivana atenuacija (slabljenje) zračenja u različitim vrstama aplikatora (plastični kateter, metalna igla i vaginalni aplikator) preko merenja jačine KERMA-e u vazduhu. Merenja u vazduhu su pokazala da su jačine KERMA-e kada se izvor nalazi u vaginalnom aplikatoru i metalnoj igli, manje od onih u slučaju plastičnog katetera i to: za vaginalni aplikator oko 4,7 % i metalnu iglu oko 2,7 %. Pri kalibraciji izvora zračenja neophodno je algoritme izračunavanja jačine KERMA-e korigovati faktorom korekcije za atenuaciju u kateteru/aplikatoru/igli. Isto važi i ako je aktivnost izvora zračenja u pitanju. Vrednost faktora korekcije atenuacije zavisiće od izbora referentog aplikatora.

UVOD

U brahiterapiji izvori zračenja dovode se u kontakt ili u neposrednu blizinu tumora, pri čemu se u terapijskoj proceduri upotrebljavaju različite vrste aplikatora (za terapiju karcinoma pluća – plastični kateter, za terapiju karcinoma ginekološke regije – vaginalni aplikator, igle ili plastični kateteri kod tumora mekih tkiva, itd.).[7] Primena različitih aplikatora u brahiterapiji ima uticaja na isporučenu terapijsku dozu zračenja, posebno u slučajevima kada se u terapiji korišćeni aplikator razlikuje od onoga koji se koristio u toku kalibracije brahiterapijskog izvora zračenja, jer kompjuterski program koji se koristi za doziranje u brahiterapiji (NPS-BPS; PLATO, Nucletron, Holandija) poseduje samo jedan *file* (Customizing file) koji sadrži sve podatke o korišćenom izvoru zračenja, a koji se generiše unošenjem standardnih uslova za terapiju među kojima su i aktivnosti/jačine KERMA-e. Uobičajno je da se generisanje ovog *file*-a vrši pri instalaciji novog izvora zračenja i da se tako generisani *file* koristi u toku celokupne eksploatacije izvora zračenja. Sličan je slučaj i sa drugim programima za izračunavanja doza u brahiterapiji.

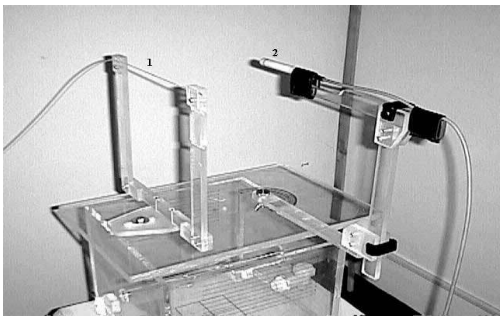
Kalibracija brahiterapijskog izvora zračenja, u radioterapijskim centrima SR Jugoslavije, izvodi se različitim metodama, a najčešće kalibracijom u vodi i/ili kalibracijom u vazduhu.[3] Na Institutu za onkologiju i radiologiju Srbije brahiterapijski izvor zračenja

^{192}Ir kalibriše se obema metodama. U svakoj od metoda izvor zračenja nalazi se u različitim vrstama aplikatora, tako da je pri kalibraciji u vodi aplikator metalna igla, dok se pri kalibraciji u vazduhu kao aplikator koristi plastični kateter. Rezultati kalibracije u vazduhu i u vodi se razlikuju međusobno i preko 3 %.[5]. Uzrok ovakvog odstupanja je nejednaka atenuacija zračenja u plastičnom kateteru i metalnoj igli.

Cilj ovog rada je da se ispita atenuacija zračenja u različitim vrstama aplikatora (plastični kateter, metalna igla i vaginalni aplikator) i da se odredi vrednost odgovarajućeg faktora korekcije za aktivnost izvora zračenja tj. jačinu KERMA-e u vazduhu i time izbegne unošenje sistematske greške pri isporuci "brahiterapijskog leka". [6]

MATERIJALI I METODE

Merenja su izvedena u vazduhu, na uređaju Microselectron HDR (Nucletron, Holandija) sa ^{192}Ir izvorom zračenja aktivnosti deklarisane na dan instalacije od 370,7 GBq, uz upotrebu kalibracionog fiksatora, prikazanog na slici 1.[4] Dozimetrijski komplet sastojao se od naprstak jonizacione komore (Farmer NE 2571, Bicron, Engleska) i pripadajućeg elektrometra (Farmer NE 2670, Bicron, Engleska).

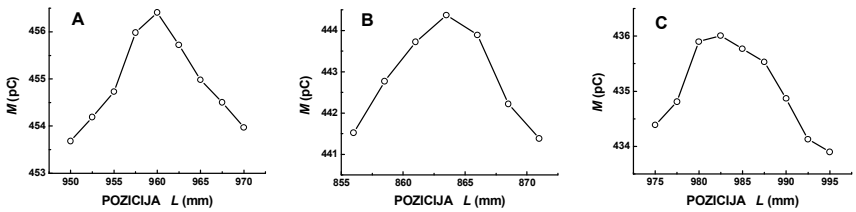


Slika 1. Kalibracioni fiksator za merenja u vazduhu
(1 – bronhijalni kateter, 2 – jonizaciona komora)

Ispitivanje uticaja vrste korišćenog aplikatora na određenu aktivnost izvora zračenja tj. jačinu KERMA-e u vazduhu izvedeno je tako što je bronhijalni kateter (Lumencath 6F l = 100 cm, kat br. 089.075, Nucletron, Holandija) prvo zamenjen metalnom iglom (Trocar needle, 1.9 mm x 200 mm, kat. br. 083.062, Nucletron, Holandija), a zatim i vaginalnom tubom (Central tube, kat. br. 084.321, Nucletron, Holandija).

Merenja u vazduhu vršena su direktnom metodom sa tri pozicije zračenja u kateteru/aplikatoru/igli, a prema metodi opisanoj u literaturi. [5]

Radi eliminisanja moguće sistematske greške, koja se javlja pri izboru optimalne pozicije izvora zračenja, merenja su vršena u tri pozicije (u poziciji u kojoj je postojalo maksimalno registrovanje detektora i u dve najbliže pozicije koje su simetrične u odnosu na prvu poziciju (slika 2). Za izračunavanja korišćena je srednja vrednost monitorskih jednica iz sve tri pozicije izvora zračenja.



Slika 2. Izbor optimalne pozicije izvora zračenja u a) kateteru, b) igli i c) aplikatoru

Jačina KERMA-e u vazduhu $(K/t)_m$ na referentnom rastojanju (r_{ref} = 1 m), prema preporukama IAEA dozimetrijskog protokola [2], izračunata je pomoću jednačine

$$(K/t)_m = \frac{M_{s1} - M_{s2}}{t_1 - t_2} \cdot N_K \cdot (\frac{r_m}{r_{ref}})^2 \cdot \prod_i k_i \qquad (1)$$

gde je M_s – srednja vrednost očitavanja elektrometra (nC), t – vreme merenja, N_K – kalibracioni faktor KERME komore za dati izvor zračenja, r_m – rastojanje izvor-detektor i Πk_i – proizvod upotrebljenih faktora korekcije (u ovom slučaju: faktor korekcije aklimatizacije ($k_{p,T}$), faktor korekcije povratnog zračenja od zidova prostorije (k_{room}) i faktor korekcije na radioaktivni raspad (k_d)).

Relativna greška određivanja jačine KERME u vazduhu izračunata je pomoću jednačine

$$\delta(K/t)_m = \delta(M_{s1} - M_{s2}) + \delta(t_1 - t_2) + \delta(N_K) + \delta(r_m^{-2}) + \delta(\prod_i k_i) \qquad (2)$$

Apsolutne greške tabelarnih podataka i veličina uzete su kao polovina najmanje cifre na poslednjem decimalnom mestu. [1]

REZULTATI I DISKUSIJA

Jačine KERMA-e u vazduhu i relativne greške merenja za kateter/aplikator/iglu prikazane su u tabeli 1. (kolona 2).

Tabela 1. Izmerena jačina KERMA-e $(K/t)_m$ (cGy·h^{-1}·m^{-2}) u vazduhu i relativna greška merenja.

	$(K/t)_m$ (cGy·h^{-1}·m^{-2})	$\delta(K/t)_m$ (%)
KATETER	4,293	0,4
APLIKATOR	4,100	0,4
IGLA	4,180	0,4

Merenja u vazduhu su pokazala da su jačine KERMA-e (Tabela 1), kada se izvor nalazi u vaginalnom aplikatoru i metalnoj igli, manje od onih u slučaju plastičnog katetera i

to: za vaginalni aplikator od oko 4,7 % i metalnu iglu od oko 2,7 %, što je daleko veća razlika od greške merenja (Tabela 1: kolona 3).

ZAKLJUČAK

U cilju pravilnog planiranja brahiterapije i povećanja njenog kvaliteta, pri kalibraciji izvora zračenja neophodno je algoritme izračunavanja jačine KERMA-e korigovati faktorom korekcije atenuacije u kateteru/aplikatoru/igli. Isto važi i ako je aktivnost izvora zračenja u pitanju. Vrednost faktora korekcije atenuacije zavisiće od izbora referentog aplikatora (za kalibraciju u vodu – metalna igla, za kalibraciju u vazduhu – plastični kateter).

LITERATURA

[1] Aničin I.V., Obrada rezultata merenja (kompendijum fizičke propedevtike), Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Beograd, 1990

[2] International Atomic Energy Agency, Calibration of Brachytherapy Sources, IAEA TECDOC-1079, Vienna, Austria, 1999.

[3] Milošević N. et al., Development of a national protocol for a high activity ^{192}Ir brachytherapy source calibration, u pripremi

[4] Milošević N. et al., Kalibracija brahiterapijskih izvora zračenja visokih aktivnosti, Zbornik radova XX simpozijum JDZZ, Tara 99, 3-5. Nov. 1999., str.181-184.

[5] Milošević N., Multiparametarska kalibracija brahiterpijskih izvora zračenja visokih aktivnosti (magistarska teza), Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Jugoslavija, 2000.

[6] Stankovic J., Radiotherapy drug quality (teaching lecture), Proc. On 3rd Balkan Congress of Oncology, Poiana Brasov, Romania, 2000.

[7] Stanković J., Osnovi radiološke fizike u radioterapiji, Fakultet za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu, Beograd, Jugoslavija, 1997.

ABSTRACT

^{192}Ir BRACHYTHERAPY SOURCE CALIBRATION: IMAPCT OF THE CATHETER ATTENUATION

N. T. Milošević, S. Vučković[1], G. Apostolidis[1], J. Stanković[1]
Institute of Biophysics, Medical School, University of Belgrade
[1] Institute for oncology and radiology of Serbia, Belgrade

In contemporary brachytherapy, radioactive sources are placed in contact or in vicinity of a tumor tissue by afterloading technique that assumes pre-application of various catheter types. Application of particular catheter could have impact on the therapy dose applied. In this paper, effect of the catheter (plastic, steel, metal alloy) attenuation is investigated by measuring of the air KERMA rate for different catheter applied. The measured air KERMA rate differs about –4.7% and –2.7% when vaginal tube (metal alloy) and stainless steel needle replace plastic catheter, respectively. It points out that the attenuation correction factors have to be applied during a brachytherapy source calibration.

ODREĐIVANJE MAKSIMALNE ENERGIJE ZAKOČNOG ZRAČENJA TERAPIJSKOG SNOPA AKTIVACIONOM TEHNIKOM

M. Krmar, G. Pantelić[1], P. Krstonošić[2]
Institut za fiziku, PMF Novi Sad
[1]Institut za medicinu rada "Dr Dragomir Karajović" Beograd
[2]Student postdiplomskih studija Univerziteta u Beogradu

SADRŽAJ

Na osnovu fotoaktivacionih merenja određena je maksimalna energija snopa zakočnog zračenja terapijskog linearnog akceleratora. Posebno su analizirana dva slučaja: kada se fotonsko zračenje dobija konverzijom energije monoenergetskih elektrona i slučaj kada se energetski spektar upadnih elektrona može predstaviti Gausovom distribucijom.

UVOD

Maksimalna energija terapijskog snopa zakočnog zračenja je parametar kojega specificira proizvođač. Obaveza je korisnika da se maksimalna energija i dubinska doza kao osnovni parametri kvaliteta terapijskog snopa zračenja redovno kontrolišu propisanim metodom [1]. Metod je jednostavan, reproducibilan u kliničkim uslovima, ali što se tiče maksimalne energije snopa zračenja veoma neprecizan [2]. Kod akceleratora kome je ubrzavajući potencijal dovoljno visok da proizvede fotonsko zračenje energije iznad praga za fotonuklearne reakcije (odprilike 8 do 9 MeV), jedan od najjednostavnijih načina da se proveri maksimalna energija je putem fotoaktivacionih merenja.

OPIS METODA

Prilikom izlaganja nekog nuklida fluksu visokoenergetskih fotona, najverovatnija od svih fotonuklearnih reakcija je (γ,n). Ukoliko je izotop koji je tom prilikom nastao nestabilan, na osnovu intenziteta odabrane linije njegovog γ - spektra moguće je izračunati saturacionu aktivnost kao:

$$R = \frac{N_\gamma \lambda M}{m N_{av} \eta p_\gamma e^{-\lambda \Delta t} (1 - e^{-\lambda t_{zr}})(1 - e^{-\lambda t_{mer}})} \tag{1}$$

gde je N_γ broj detektovanih fotona posmatrane energije, λ konstanta radioaktivnog raspada proizvoda fotonuklearne reakcije, M njegova atomska masa, m masa ozračenog elementa, N_{av} Avogardrov broj, η procentualni udeo zračenog izotopa u prirodnom elementu, p_γ kvantni prinos fotona posmatrane energije, dok su Δt, t_{zr} i t_{mer} vreme hlađenja, zračenja i merenja uzorka. Budući da je saturaciona aktivnost po definiciji:

$$R = \int_{E_{pr}}^{E_{\max}} \sigma(E)\Phi(E)dE \tag{2}$$

očigledno je da aktivnost koja se dobija za odabranu količinu izotopa isključivo zavisi od tajminga, fluksa visokoenergetskih fotona $\Phi(E)$ kao i njihove maksimalne energije E_{max}. Diferencijalni efikasni presek $\sigma(E)$ kao i energetski prag za nuklearnu reakciju E_{pr} su karakteristika samog izotopa. Postoji bogata sistematika vrednosti diferencijalnih efikasnih preseka za (γ,n) nuklearnu reakciju tako da je saturacionu aktivnost za neki izotop moguće dobiti i računskim putem, uz predpostavku o obliku fotonskog spektra. Upoređivanjem izračunate vrednosti saturacione aktivnosti sa eksperimentalno ustanovljenom, moguće je proveriti koliko je pretpostavka o maksimalnoj energiji spektra zakočnog zračenja, kao gornjoj granici integracije u izrazu (2) bila ispravna. Najveći doprinos neodređenosti prilikom eksperimentalnog određivanja saturacione aktivnosti potiče od efikasnosti detekcije, pošto izvor obično uvek ima konačne dimenzije. Prilikom izračunavanja teorijske vrednosti saturacione aktivnosti najbolja procena za oblik fotonskog fluksa je Šifova formula [3] ali postoje teškoće prilikom njenog normiranja za slučaj konkretnog akceleratora. Da bi se prilikom procene maksimalne energije snopa izbegle greške zbog nedovoljno tačnog poznavanja pomenute dve veličine, kao i zbog još nekih mogućih sistematskih grešaka, formiran je funkcional:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\left(\frac{R_i^t}{R_{ref}^t} - \frac{R_i^{\exp}}{R_{ref}^{\exp}}\right)\frac{1}{\sigma_i}\right)^2 \tag{3}$$

gde su sa R_i^t i $R_i^{\exp}$ označene teorijska i eksperimentalna vrednost saturacione aktivnosti nekog i-tog izotopa, dok su sa R_{ref}^t i $R_{ref}^{\exp}$ označene teorijska i eksperimentalna saturaciona aktivnost nekog referentnog izotopa čijim vrednostima je izvršeno normiranje. Sa σ_i označena je statistička greška imenioca u gornjem izrazu. Na ovaj način u funkcionalu (3) figurišu relativne efikasnosti i nema potrebe za normiranjem vrednosti fotonskog fluksa. Procedura procene maksimalne energije fotona u terapijskom snopu bi bila sledeća: izračuna se za izvestan broj različitih vrednosti E_{max} saturaciona aktivnost za svaki od upotrebljenih n izotopa kao i za referentni, pronađu se odgovarajući odnosi, a zatim se sa eksperimentalno ustanovljenim odnosima odredi vrednost cele sume. Na ovaj način se dobija zavisnost vrednosti funkcionala od odabrane vrednosti maksimalne energije. Može se očekivati da će ova zavisnost pokazati minimum na stvarnoj vrednosti E_{max}.

Uobičajeno je bilo do sada da se kao $\Phi(E)$ upotrebi Šifova formula, gde je spektar funkcija kako energije E tako i maksimalne enrgije E_{max} koje je određena energijom

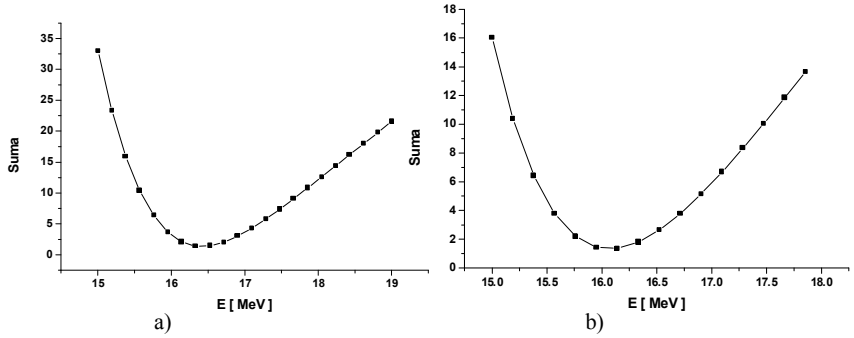
ubrzanih elektrona koji padaju na akceleratorsku metu. Osnovni koncept rada svih terapijskih akceleratora koji imaju skretanje elektronskog snopa od 270° je da se na metu puštaju elektroni u određenom opsegu energija. Od nekih proizvođača se može doznati da elektroni imaju energetsku distribuciju koja se može opisati Gausovom sa poluširinom od 14% (A. Siochi, Siemens Corporation, privatni kontakt). U tom slučaji se jednačina (2) može napisati u malo drugačijem obliku:

$$R = \int_{E_{pr}}^{E_c+3s} \sigma(E)\left(\int_{E_c-3s}^{E_c+3s} F_{Sciff}(E, E_{\max}) G(E_{\max}) dE_{\max}\right) dE \qquad (4)$$

gde je sa E_c označena energija centroide Gausove raspodele $G(E_{max})$, s je standardna disperzija raspodele a F_{Sciff} je Šifova funkcija.

MERENJA I REZULTATI

Kao aktivacioni detektori odabrani su ^{127}I, ^{64}Zn, ^{75}As, ^{133}Cs i ^{55}Mn u obliku hemijskih jedinjenja: I_2, ZnO, As_2O_3, $CsCl_2$ i $KMnO_4$.Mase hemikalija su bile 12.92g, 22.12 g, 1.01 g, 17.16 g i 31.09 g respektivno. Prva dva jedinjenja su upkovana u prvu kutijicu cilindrične geometrije (D=6.5 cm i h=1.3 cm) dok su ostala tri upakovana u drugu kutijicu identicnog oblika. Upakovane hemikalije su eksponirane u snopu terapijskog akceleratora od 18 MeV tokom 300 s, veličina polja je bila 10x10 cm^2 a fokusna distanca 100 cm. Nakon vremena hlađenja od samo nekoliko minuta vršeno je merenje gama spektara. Tajming merenja je bio prilagođen vremenima polužvota dobijenih potomaka (γ,n) nuklearne reakcije. Najintenzivnija linija u spektru je iskorišćena da se izračuna saturaciona aktivnost za svaki od dobijenih radioaktivnih izotopa. Relativna efikasnost za upotrebljenu geometriju merenja u energetskom intervalu u kome su se nalazile sve upotrebljene energije je određena na osnovu intenziteta gama linija ^{126}I. S obzirom da gustine uzoraka nisu bile jednake, prilikom izračunavanja relativne efikasnosti za izotope iz druge kutijice uzeta je u obzir i njihova transparencija [4] za merene energije.



Slika 1. Zavisnost funkcionala (3) od maksimalne energije zakočnog zračenja terapijskog snopa:
a) za slučaj monoenergetskih upadnih elektrona,
b) b) za slučaj kada elektroni imaju Gausovu distribuciju energija. Za poluširinu distribucije je uzeto 14%.

Minimum funkcionala za slučaj kada se izračunavanja vrše sa Šifovim spektrom koji nastaje od monoenergetskih neutrona se dobija na energiji od 16.4 MeV. Za slučaj kada fotonski spektar potiče od zakočnog zračenja upadnih elektrona koji imaju Gausovu distribuciju energija, dobije se da je centroida distribucije na 16.1 MeV.

Procenjeno je da je greška maksimalne energije, određene na ovakav način, manja od 1.2 MeV.

LITERATURA

[1] Depth dose tables for use in radiotherapy, B.J.Radiology (Suppl. 17) (1983)
[2] M. Krmar, J. Slivka, I. Bikit, A. Rudić, Lj. Čonkić, NIM A 416 (1998) 182-185
[3] L.I. Schiff, Phys. Rev. 83 (1951) 252-253
[4] S.N. Kaplanis, Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33 (1982) 605-612
[5] B.L. Berman, Atomic Data and Nuclear Data Tables 15 (1975) 319-352

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE BREMSSTRAHLUNG ENDPOINT ENERGY OF THERAPY BEAM USING ACTIVATION TECHNIQUE

M. Krmar, G. Pantelić[1], P. Krstonošić[2]
Institut za fiziku, PMF Novi Sad
[1]Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović"
[2]Postgraduate, University of Belgrade

End-point energy of linear therapy accelerator beam was determined using photoactivation measurements. Two different cases were analized: when the bremsstrahlung is result of interaction of monoenergetic electrons and when energy spectrum of incident electrons can be described by Gaus distribution.

NOVE MOGUĆNOSTI ATENUACIONE TEHNIKE U ODREĐIVANJU ENERGETSKOG SPEKTRA ZAKOČNOG ZRAČENJA TERAPIJSKIH UREĐAJA

M. Krmar, D. Nikolić, P. Krstonošić[1], A. Rudić[2], S. Cora[3], P. Franceskon[3]
Institut za Fiziku, PMF Novi Sad
[1]Student postdiplomskih studija Univerziteta u Beogradu
[2]Institut za onkologiju, Sremska Kamenica
[3]Fisica Sanitaria Vicenza, Vicenza, Italy

SADRŽAJ

U radu je opisan nov metod za rekonstrukciju spektra iz atenuacionih merenja. Učinjen je pokušaj da se neke dobro poznate činjenice o prirodi zakočnog zračenja debele mete a-priori uključe u proračun. Metod je preliminarno testiran na 6 MeV-skom snopu linearnog terapijskog akcelertora a dobijeni rezultati upoređeni sa Monte-Karlo simulacijom.

UVOD

U radioterapijskoj dozimetriji poznavanje energetskog spektra zakočnog zračenja terapijskih uređaja može biti veoma korisna informacija u čitavom nizu praktičnih operacija. Pomenimo ovde samo da je energetski spektar fotona koji dospevaju do pacijenta početna tačka za sve nove metode računskog planiranja radioterapije[1]. S obzirom da su intenzitet i energija zračenja veoma visoki, direktno merenje spektra je nemoguće pa je razvijeno nekoliko indirektnih metoda od kojih atenuaciona analiza ne zahteva nikakvu opremu osim one koja postoji u kliničkim uslovima. Iz atenuacione krive se spektar zračenja može odrediti tehnikom Laplasovih parova [2] ili numeričkim iterativnim metodama [3]. U ovom radu je razvijen nov numerički metod koji a-priori uključuje neke dobro poznate činjenice o prirodi zakočnog zračenja dbele mete.

OPIS METODA

Relativna transmisija *T(x)* dobro kolimisanog snopa zračenja u odabranom materijalu de bljine *x* se može izraziti kao:

$$T(x) = \frac{1}{D(0)} \int_0^{E_0} \mu_{en}(E) E \Phi(E) R(E) \exp(-\mu(E)x) dE \qquad (1)$$

gde je $D(0)$ doza merena u vazduhu bez atenuatora, $\mu_{en}(E)$ je maseni koeficijent apsorpcije energije u vazduhu, $\Phi(E)$ je diferencijalni po energiji fotonski fluks (fotonski spektar), $R(E)$ je energetski odgovor jonizacione komore, $\mu(E)$ je linearni atenuacioni koeficient izabranog materijala a E_0 je maksimalna fotonska energija u spektru.

Podsetimo se nekoliko dobro znanih činjenica o spektru zakočnog zračenja akcelertora:

-energetski spektar fotona zakočnog zračenje može se opisati funkcijom koja je proporcionalna efikasnom preseku (verovatnoći) stvaranja fotona posmatrane energije u interakciji ubrzanog elektrona sa jezgrima atoma mete

-diferencijalni efikasni presek za emisiju fotona zakočnog zračenja prilikom radijativne interakcije relativističkog elektrona na zadovoljavajući način je opisan Šifovom formulom [4] za slučaj tanke mete

-ne postoji analitički izraz za energetski spektar debele mete. Kao gruba aproksimacija može poslužiti izraz za spektar tanke mete korigovan za atenuaciju u celokupnoj debljini mete. Merenja [5] i proračuni [6] su pokazali da bi broj visokoenergetskih fotona emitivan iz debele mete trebao biti manji od odgovarajućeg broja fotona tanke mete, dok bi na niskoenergetskom delu to bilo suprotno

-na izlazni spektar akceleratora značajan uticaj imaju i filtri kojima je zadatak da fotonski snop prilagode terapijskim potrebama

Na osnovu izloženih činjenica energetski spektar fotonskog snopa može se pretstaviti kao:

$$\Phi(E) = [NF_{Schiff}(E)\exp(-\mu_t(E)t_t)]C(E;a,b,c...)\exp(-\sum_i \mu_i(E)t_i) \quad (2)$$

gde je N normalizaciona konstanta, $F_{Schiff}(E)$ je energetski zavisni deo Šifove formule, $\mu_t(E)$ je linearni atenuacioni koeficient materijala mete debljine t_t, $\mu_i(E)$ i t_i su atenuacioni koeficienti i debljine svih filtara u akceleratorskoj glavi dok je $C(E;a,b,c...)$ funkcija koja transformiše Šifov spektar tanke mete u realan slučaj debele mete. Ova funkcija je određena do na nekoliko parametara *a. b, c...* i problem pronalaženja energetskog spektra debele mete se svodi na pravilan izbor oblika korekcione funkcije i određivanje ovih parametara. Neke pretpostavke o obliku ove korekcine funkcije se mogu dobiti poznavanjem mehanizma višestruke interakcije elektrona u debeloj meti tako da se može tvrditi kako se radi o ravnomerno opadajućoj funkciji, koja je na nižim energijama veća od 1, da bi na visokoenergetskom delu njena vrednost pala ispod jedinice. Blizu maksimalne energije funkcija ima brz skok tako da joj je na E_{max} vrednost jednaka jedinici.

MERENJA I REZULTATI

Fotonski snop linearnog akceleratora Siemens Mevatron MD7445 sa energijom od 6 MeV je atenuiran kroz čisti elektrolitički bakar a jačina doze je merena PTW jonizacionom komorom sa build-up kapicom od pleksiglasa debljine 1.5 cm i Teradosovim elektrometrom. Distanca između fokusa i jonizacione komore je bila 150 cm, veličina polja 4x4 cm^2, atenuatori su bili na 58 cm od fokusa a maksimalna debljina im je bila 10 cm. transmisiona kriva se u ovom slučaju može pretstaviti kao:

$$T(x) = \frac{\int_0^{E_0} \mu_{en}(E) E F_{Schiff}(E) \exp(-\mu_t(E) t_t) C(E;a,b,c...) \exp(-\sum_i \mu_i(E) t_i) \exp(-\mu(E) x) dE}{\int_0^{E_0} \mu_{en}(E) E F_{Schiff}(E) \exp(-\mu_t(E) t_t) C(E;a,b,c...) \exp(-\sum_i \mu_i(E) t_i) dE}$$

Upotrebljeni akcelerator ima metu od zlata debljine 0.0965 cm, filtar od ugljenika debljine 1.016 cm i kompenzacioni filtar od čelika kupastog oblika, makcimalne debljine 2.093 cm.

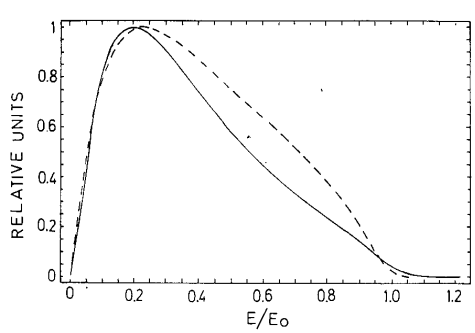
Od proizvođača (A. Siochi, Siemens Corporation, privatna komunikacija) je dobijena informacija da bi se energetski spektar upadnih elektrona mogao opisati Gausovom distribucijom, poluširine 14%, dok je medijana ma 6.7 MeV. U tom slučaju Šifov spektar se dobija kao superpozicija velikog broja pojedinačnih komponenti od kojih svaka odgovara jednoj od upadnih elektronskih energija:

$$\langle F_{Schiff}(E,T) \rangle_T = \int_0^{T_{\max}} F_{Schiiff}(E,T) \frac{2\sqrt{\ln 2/\pi}}{0.14 T_0} \exp(-\frac{4 \ln 2}{0.14^2} \frac{(T-T_0)^2}{T_0^2}) dT \qquad (3)$$

Izvršena je Monte-Karlo simulacija spektra akceleratora i upoređivanjem dobijenog rezultata sa Šifovim spektrom tanke mete odlučeno je da bi najbolji oblik korekcione funkcije mogao da se pretstavi kao kombinacija racionalne i sigmoidalne funkcije:

$$C(\xi;\alpha,\beta,\gamma,n,d) = \frac{\alpha}{\beta + \xi^n} \left(1 + \frac{\gamma}{1 + \exp(-d(\xi - 1))} \right) \qquad (4)$$

gde je $\xi = E/E_0$ novi argument. Uslov kontinuiteta funkcije kao i zahtev da je $C(\xi,a,b,c..)=1$ za maksimalnu fotonsku energiju ($\xi=1$) smanjuje broj parametara na četiri. Skup parametara u korekcionoj funkciji koji daje najbolje slaganje između merenih i računatih vrednosti za transmisiju određen je Levenberg-Marquardt-ovim metodom u programskom kodu pisanom u Mathematica 3.0. Oblik energetskog spektra dobijen na ovaj način prikazan je na slici 1 i upoređen sa oblikom spektra dobijenog Monte-Karlo simulacijom koja je izvedena upotrebom BEAM programskog koda [7] i detaljne šeme akceleratorske glave dobijene od proizvođača (A. Siochi, Siemens Corporation, privatna komunikacija).



Slika1. Energetski spektar linearnog terapijskog akceleratora.
Isprekidanom linijom je prikazana Monte-Karlo simulacija
dok puna linija predstavlja rezultat dobijen novim metodom opisanom u radu

ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da se metod procene spektra zakočnog zračenja terapijskih uređaja atenuacionom tehnikom može znatno pojednostaviti i svesti na određivanje nekoliko parametara korekcione funkcije. Sam izbor oblika korekcione funkcije je veoma osetljiv, i na prikazanom primeru je očigledno da kombinacija racionalne i sigmoidalne funkcije daje dobro slaganje u niskoenergetskom delu sa Monte-Karlo simulacijom, dok na visokoenergetskom dolazi do izvesnih odstupanja. Metod ima velike mogućnosti da se razvija u smeru odabira oblika korekcione funkcije pri čemu postoji jedino ograničenje u broju parametara čije se vrednosti određuju fitovanjem na atenuacine podatke.

LITERATURA

[1] R. Mohan and C. Chui, Med. Phys. 13, 64-71 (1986)
[2] B.R. Archer, P.R. Almond and L.K. Wagner, Med. Phys. 12, 630-634 (1985)
[3] P.H. Huang, K.R. Kase and B.E. Bj□rngard, Med. Phys. 9, 695-702 (1982)
[4] L. I. Schiff, Phys. Rev. 83, 252-253 (1951)
[5] B. A. Faddegon, C. K. Ross and D. W. O. Rogers, Med. Phys. 18, 727-739 (1991)
[6] G. E. Desobry and A. L. Boyer, Med. Phys. 18, 497-505 (1991)
[7] D.W.Rogers, B.AFaddegon, G.XDing,C.M. Ma,J.We, Med. Phys. 22,503-5244 (1995).

ABSTRACT

NEW POSSIBILITIES OF ATENUATION TECHNIQUE IN DETERMINATION OF THERAPY UNIT BREMSSTRAHLUNG ENERGY SPECTRA

M. Krmar, D. Nikolić, P. Krstonošić[1], A. Rudić[2], S. Cora[3], P. Franceskon[3]
Institute of Physics, Faculty of Sciences, Novi Sad, Yugoslavia
[1]Postgraduate, University of Belgrade, Yugoslavia
[2]Oncology Institute, Sremska Kamenica, Yugoslavia
[3]Fisica Sanitaria Vicenza, Vicenza, Italy

A new method for evaluation of bremsstrahlung spectra from transmission measurements has been developed. In this method some very well known facts related to thick target bremsstrahlung spectra are a-priory included in calculation procedure. Some characteristics of the method are preliminary illustrated on a 6 MV therapy linear accelerator.

ODREĐIVANJE FILTERSKE POLUDEBLJINE ZA 300 KV RADIOTERAPIJSKI RENDGEN APARAT

G. Milić, V. Spasić Jokić[1], G. Nišević[2]
Fakultet veterinarske medicine, Beograd
[1]Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd
[2]Vojnomedicinska akademija, Beograd

SADRŽAJ

U radu je prikazano određivanje filterske poludebljine za 300 kV radioterapijski rendgen uređaj, što predstavlja jedan od osnovnih zadataka kontrole kvaliteta randgenskog aparata u okviru Programa osiguranja kvaliteta u radioterapiji. Sopstvena filtracija rendgenskog aparata je važna jer eliminiše "meke" komponente zračenja koje nepotrebno opterećuju površinske slojeve kože.

Za kilovoltažno zračenje prihvaćeno je da se kvalitet snopa izražava preko prve filterske poludebljine koja je definisana kao debljina određenog apsorbera koji smanjuje intezitet zračenja na pola od njegove početne vrednosti [1].

UVOD

Ortovoltažna terapija ("dubinska" terapija) je terapija čije X – zrake generišu potencijali između 150 i 500 kV. Većina kliničkih uređaja radi sa 200 do 300 kV. Sa dodatnom filtracijom omogućen je rad zracima čija je filterska poludebljina od 1 do 4 mmCu.

Pošto ovaj parametar opisuje mogućnost zraka da prodire u materijal to je on vrlo značajan za kliničku primenu.

MATERIJALI I METODOLOGIJA

Filterska poludebljina se određuje poznavanjem apsorpcione krive radijacije u određenom materijalu i interpolacijom debljine koja odgovara 50% apsorpciji [2].

Merenje je izvršeno na Odeljenju za radioterapiju Instituta za radiologiju Vojnomedicinske akademije u Beogradu, na radioterapijskom uređaju Philips RT–305 sa rendgenskom cevi TRC 300, čija je inherentna filtracija 1.5 mmCu.

Apsorpciona kriva radijacije je snimljena metodom zasnovanom na merenju cilindričnom jonizacionom komorom. Jonizaciona komora za elektrone od 300 kV treba da ima energetsku zavisnost u okviru 5%. Debljina zida treba da je manja od 0.5 mm (50

mg/cm^2) kako sekundarni elektroni nastali van komore ne bi ušli u mernu zapreminu. Ove uslove zadovoljavaju mnoge komercijalne jonizacione komore, ali na klinikama se najčešće koristi cilindrična jonizaciona komora NE 2571 (Nuclear Enterprises limited) zapremine 0.69 cm^3, koja zadovoljava sve potrebne uslove. U radu je korišćena cilindrična jonizaciona komora NE 2571 koja je kalibrisana od strane Saveznog zavoda za mere i dragocene metale u Beogradu.

Uobičajeni materijal za specifikaciju filterske poludebljine za zrake koji se koriste za ortovoltažnu terapiju je bakar [3]. Na 50 cm od rendgenske cevi postavljane su bakarne pločice, vrlo visoke čisotoće (99.999) i različite debljine.
Prateći elektrometar je bio Farmer NE 2570.

REZULTATI

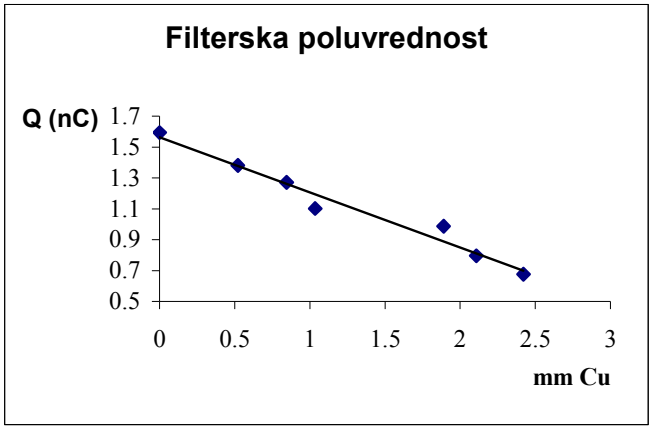
Pri merenju nisu korišćeni aplikatori, koji se koriste pri tretmanu i imaju sopstvenu vrednost filterske poludebljine, jer je cilj rada bio provera filterske poludebljine same rendgenske cevi.

Na osnovu izvršene tri grupe merenja za različite debljine slojeva bakarnih pločica dobijeni su sledeći rezultati prikazani u tebeli 1.

Tabela 1.

mm Cu	0	0.520	0.845	1.035	1.890
Q (nC)	1.5925	1.3803	1.2701	1.1007	0.9868

Dobijena kriva prikazana je na slici 1.



Slika1.

Na osnovu dobijenog grafika, ekstrapolacijom, određena je filterska poludebljina koja iznosi 2.1 mm Cu. Vrednost za datu rendgensku cev je 2.2 mm Cu.

ZAKLJUČAK

Poređenjem sa datom tabličnom vrednošću dobija se odstupanje Δ=4.5%, što je dozvoljeno odstupanje, tako da je moguće normalno korišćenje rendgenskog aparata.

LITERATURA

[1] Khan FM. The Physics of Radiation Therapy. Baltimore: Williams & Wilkins, 1984.

[2] Johns HE, Cunningham JR. The Phisics of Radiology. Springfield: Charls C. Thomas, 1983.

[3] Klevenhagen SC, Thwaites DI. Kilovolage X-rays. In: Radiotherapy Phisics in Practice, Williams JR., Thwaites DI, editors, Oxford: Oxford University Press, 1993.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE HALF-VALUE LAYER FOR 300 kV RADIOTHERAPY X-RAY MACHINE

G. Milić, V. Spasić Jokić[1], G. Nišević[2]

Faculty of Veterinarian Medicine, Belgrade

[1]Federal Bureau of Measure and Precious Metals, Belgrade

[2]Military Medical Academy, Belgrade

This study shows how to determine the half-value layer for 300 kV radiotherapy X-ray machine that represents one of the basic tasks of the quality control. Elementary filtration of the X-ray machine is important because it eliminates "soft" components of radiation that unnecessarily damages the skin surface.

It has been accepted about kilovoltage radiation that the ray quality is expressed through the first half-value layer that is defined as thickness of certain absorber that reduces the ray intensity by one half of its original value [1].

RADIOBIOLOGIJA U ZAŠTITI OD ZRAČENJA

G. Joksić
INN "Vinča",
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju
– predavanje po pozivu –

SADRŽAJ

U radu je prikazan doprinos radiobiologije zaštiti od zračenja u poslednje tri decenije. Najvažnija otkrića prikazana su hronološki, kometarisana su aktuelna dostignuića iz ove oblasti i njhov mogući uticaj na zaštitu od zračenja.

UVOD

Efekte dejstva jonizujućeg zračenja na ljudski organizam zapazili su pioniri u primeni jonizujućeg zračenja, krajem prošlog veka, svega šest meseci nakon Röntgenovog otkrića [1]. Više od jednog veka istraživanja u ovoj oblasti nije dalo odgovor na neka osnovna pitanja; postavljeno je mnogo novih. Iskusni radiobiolozi često napominju da su fenomeni u radiobiologiji uočeni pre 30 godina još uvek u žiži interesovanja nauke, ne skrivajući pri tome čežnju za vremenom kada je u nauci sve bilo jednostavnije, a u radiobiologiji postojalo par pravolinijskih hipoteza koje su trebale u potpunosti da objasne biološke efekte zračenja.

RANE TEORIJE RADIOSETLJIVOSTI

Jedna od prvih teorija je pretpostavljala da zračenje ubija ćelije zagrevajući ih. Kada je bilo moguće meriti energiju u ćelijama, ustanovljeno je da se vrlo malo toplotne energije oslobodi čak i kod letalnih doza; npr. doza od 4 Gy poveća temperaturu u ćeliji tek za 0.001^{o}C. Imajući na umu letalne efekte zračenja, biolozi nisu odustajali; tvrdili su da je ipak na mestu primarnog dogadjaja, lokalno, energija veoma visoka, da se na samom mestu delovanja jonizujućeg zračenja odvijaju važne hemijske reakcije koje za posledicu imaju ćelijsku smrt. Tako je nastala teorija mete. Gotovo istovremeno razvija se hipoteza "otpuštanja enzima" postulirajući da je na delovanje jonizujućeg zračenja najosetljivija ćelijska membrana, posebno membrana lizozoma, koja, kada je oštećena, ispušta proteolitičke enzime u ćelijski matriks, degradira skeletne i funkcionalne proteine usled čega ćelija ugine [2]. Deceniju kasnije ustanovljeno je da većina membranskih funkcija, posebno transport Na i K, rezistentan na zračenje sa donjim pragom osetljivosti od nekoliko Gy. Tek je nedavno sagledana uloga signala koji se emituju sa membrana ozračenih ćelija (plazma, nukleolarne i mitohondrijalne) u aktiviranju čitavih ćelijskih programa [3]. Danas

se zna da je jonizujuće zračenje snažan oroz koji pokreće niz bioloških programa istovremeno, od kojih se mnogi medjusobno preklapaju, nadovezuju ili su čak u suprotnosti jedan sa drugim. Aktiviranje tih programa čini odgovor na zračenje kompleksnim i često nepredvidivim.

Još su prvi *in vitro* radiobiološki eksperimenti [4] pokazali su složenost i višestepenost ćelijskog odgovora na ozračivanje: akutnim ozračivanjem kulture ćelija terapijskom dozom (2Gy gama zračenja) jedan broj ćelija ugine odmah, dok se druge naizgled normalno razvijaju, uspešno prodju 5 deoba, kada počinju da se manifestuju anomalije, dostižući maksimum nakon 6-7 deoba. Deset godina kasnije dokazano je da umiranje ćelija ćerki ozračene ćelije može da traje i 20 ćelijskih ciklusa [5,6].

ĆELIJSKI CIKLUS

Proučavanje ćelijskog ciklusa pružilo je dodatne informacije radiobiolozima: kada se jednom ćelija podeli, njena DNK se ne replicira kontinuirano u pripremi za sledeću ćelijsku deobu, već se sinteza odvija deo po deo u sintetskoj fazi ćelijskog ciklusa, kojoj prethodi G_1 faza a sledi je G_2 faza mirovanja, nakon čega se dvostruki komplement DNK rasporedjuje u dve ćelije. U ispitivanju ponašanja ozračenih ćelija vrlo rano je zapažen zadržavanje ćelija u G_2 fazi. Kasnije je zapaženo da ozračivanje malim dozama zračenja može da zadrži ćelijski ciklusa u oba "check-point"-a (G_1 ili G_2), čak i sama sinteza DNK može biti usporena. Npr. ozračivanje dozom 0.1 Gy zadržava ćelije u G_1 fazi nekoliko sati, dok doze od 3 do10 Gy zaustavljaju ćelije nekoliko dana. Danas se zna da je zadržavanje u G_1 fazi posledica ekspresije p53 tumor supresor gena popularno nazvanog "gardian of the genome". p53 je regulator transkripcije reparativnih gena zbog čega je najčešće i potrebno zaržavanje u G_1 ili G_2 fazi ćelijskog ciklusa. Regulacija transkripcije ostvaruje se vezivanjem p53 proteina za promotorska mesta gena čija aktivnost je potrebna što aktivira njihovo očitavanje [7]. Produkti aktiviranih gena (WAF1, CDK PCNA) medjusobno grade komplekse koji zadržavaju ćelije u G_1 fazi. Reper genetičkog materijala ozračenih ćelija traje dok postoje kompleksi; degradacijom kompleksa ćelije nastavljaju ulazak u S-fazu. Zadržavanje u G_1 fazi omogućava dvojaku selekciju ćelija: aktiviranjem repera genom odredjenog broja ćelija biće popravljen pre nego što počne udvajanje DNK, dok jedan broj ćelija biva eliminisan iz ćelijske populacije (interfazna ćelijska smrt) iz čega se može zaključiti da p53 ima ključnu ulogu u radioosetljivosti i proliferaciji [8,9]. Ukoliko postoje mutacije u p53 vezujućoj oblasti target gena onemogućeno je vezivanje p53 proteina za te gene i njegova uloga se ne ostvaruje. Ispitivanje funkcionalnosti p53 proteina kod mnogih sindroma, poput Li-Fraumen, pokazalo je heterozigotnost lokusa za p53 što za posledicu ima oslabljenu funkciju p53 proteina. Ukoliko se Li-Fraumen ćelije ozrače nema zadržavanja u G_1 fazi, ozlede DNK se popravljaju pogrešno, proliferacija teče bez kontrole i ćelije brzo dobijaju odlike malignih.

OPORAVAK I POPRAVKA DNK LEZIJA

Paralelno sa ispitivanjem ćelijskog ciklusa, ispitivani su procesi ćelijskog oporavka. Istraživanja su započeli Elkind i saradnici [10] šezdesetih godina a i danas na tome radi veliki broj naučnika. Prvo je uočen ekscizioni reper pirimidinskih dimera indukovanih UV zračenjem [11,12]. Ubrzo nakon otkrića ekscizionog repera u bakterijskim sistemima,

otkriveni su slični reparativni mehanizmi i u sisarskim ćelijama. Smatralo se da biološki efekti predstavljaju posledicu zaostalih nerepariranih lezija, te se gotovo celokupna naučna javnost krajem sedamdesetih godina, usredsredila na otkrivanje prirode DNK lezija i mehanizma njihovog oporavka. Sećanje na to vreme često je propraćeno je uzdahom "life was looking pretty simple".

Dolaskom osamdesetih godina stvari su počele da se komplikuju. Sve je više bilo eksperimentalnih dokaza da direktni efekti zračenja nisu jedini, da mnoge anomalije u ćelijskoj funkciji ne nastaju kao direktna posledica DNK oštećenja. Eksperimenti u kojima se transformacija mišjih fibroblasta u kulturi u malignu formu sprovodila ozračivanjem pokazali su da će se u organizmu domaćina razviti fibrosarkom bez obzira na broj injeciranih ćelija. Izračunato je da je verovatnoća transformacije samo jedne ozračene ćelije veoma visoka (do 80%). Postalo je jasno da jonizujuće zračenje indukuje specifičnu vrstu genetičke nestabilnosti, usled čega će odredjeni broj potomaka ozračene ćelije postati transformisan nakon mnogo ćelijskih replikacija. Taj ključni dogadjaj se odvija u jednoj od milion ćelija. Istraživanja kinetike transformacije pokazala su da "transforming event" ima sve odlike mutacije i nastaje sa jednakom verovatnoćom po ćelijskoj generaciji u toku ćelijskog rasta.

Mehanizmi nastajanja ovih kasnih efekata jonizujućeg zračenja dugo su bili predmet naučne rasprave; postojale su dve hipoteze: po klasičnom direktnom mehanizmu delovanja, DNK oštećenje u target genu še u većini ozračenih ćelija biti popravljeno ali će u pojedinačnim ćelijama (jednoj od milion) pogešnom popravkom nastati mutacija. Po drugoj hipotezi jonizujuće zračenje generalno indukuje odredjeni tip genetičke nestabilnosti koji se prenosi iz ćelijske generacije u generaciju. U svakoj narednoj generaciji raste verovatnoća da će jedna ili više ćelija ćerki postati mutant. Eksperimentalno su testirane obe hipoteze, potvrdjena je druga (mutanti su se javili posle mnogo generacija replikacije i tip mutacija je identičan u svim ćelijskim kolonijama) [13]. Genetička nestabilnost manifestuje se oslabljenim "mismatch" reperom usled čega nastaju tačkaste mutacije na više lokusa istovremeno [14]. Slični rezultati dobijeni su proučavanjem klonova hematopoetskih ćelija mnogo generacija nakon ozračivanja matične ćelije hematopoeze [15].

Pored direktnog dejstva jonizujućeg zračenja, dugo proučavanog analizom hromozomskih aberacija u metafaznim i interfaznim jedrima, najrazličitijim citogenetskim tehnikama, sve je više eksperimentalnih dokaza o citološki vidljivom indirektnom dejstvu zračenja. Savremene metode omogućile su ozračivanje samo 1 odabrane ćelije u monolejeru. U jednom takvom eksperimentu korišćene su doze 0.03 i 0.25 mGy alfa zračenja. Zapaženo je da iako je ozračena samo jedna ćelija 50% ćelija u okruženju reaguje povećanom aktivnošću postreplikativnog repera merljivog učestalošću izmena sestrinskih hromatida [16]. Posredan, genotoksični efekat zračenja posledica je prenosa signala sa membrane ozračene ćelije na one u okruženju. Toksični efekti zračenja na ćelije u okruženju zajednički su nazvani "by stander effects" i proučavaju se u mnogim svetskim laboratorijama.

ŠTA SE SVE NE ZNA?

Tri decenije intenzivnog istraživanja u radiobiologiji i zaštiti od zračenja nije donelo odgovor na osnovno pitanje, a to je relacija doza-efekat na malim dozama zračenja, odnosno udeo malih doza u indukciji radiogenenih karcinoma. Ne zna se na koji način genomska i fenotipska konstitucija individue može da izmeni radiobiološki odgovor. Ne

zna se ni koliko mutiranih tumorogenih ćelija je neophodno da bi se razvio karcinom *in vivo*. Nije sasvim jasno zašto u jednom istom organizmu pojedina tkiva se višestruko razlikuju u osetljivosti na zračenje. Ne zna ni koji korekcioni faktor bi adekvatno opisao ulogu reparativnih ćelijskih mehanizama u proceni radiogenog rizika bilo koje vrste. Takodje je potpuno nepoznato da li i kako adaptivni odgovor, zapažen u pojedinačnim ćelijama utiče na radiajcioni rizik. Iako je poznato da se pojedine vrste jonizujućeg zračenja (gama, alfa, beta, neutroni) značajno razlikuju u indukovanju bioloških efekata, mehanizmi koji to omogućavaju nisu sasvim poznati. Istraživači širom sveta su jedinstveni u stanovištu da je kancerogeneza višestepeni proces, da počinje mutacionim dogadjajem na kritičnom genskom lokusu, razvija se u zavisnosti od funkcije imunog sistema, hormonskog statusa, starosnog doba i sl., ali uticaj zračenja na pojedine faze kancerogeneze je potpuno nepoznat.

ŠTA SE SIGURNO ZNA?

Za sada sigurno se zna da je jonizujuće zračenje u opsegu doza od interesa za radiološku zaštitu slab kancerogen, da se ozračivanjem dozama većim od 500 mSv klinički manifestuju deterministički efekti; eritem, katarakta, infertilnost. Zna se da se radiogeni karcinomi mogu indukovati akutnim ozračivanjem terapijskim dozama zračenja. Nisu zapaženi nikakvi pozitivni efekti kod ljudi akutno ozračenih bilo kojom dozom jonizujućeg zračenja. Zna se da jedno isto tkivo zdravih odraslih ljudi pokazuje veliku varijabilnost u osetljivosti na zračenje. Dobro je poznata i razlika u osetljivosti na zračenje u zavisnosti od starosnog doba (najosetljiviji je fetalni i period ranog detinjstva). Pored konstitutivnih faktora (starosno doba, pol, genetska predispozicija), proteklo vreme od momenta ozračivanja, faktori životne sredine (posebno virusne infekcije), navike u ishrani značajno modifikuju rizik oboljevanja od radiogenog karcinoma. Često se ćelijskim reparativnim mehanizmima pripisuje gotovo čarobna moć popravke; pri tom se zaboravlja da postoje rezidualna DNK oštećenja čije su fenotipske posledice nepredvidive. Zna se da učestalost mogih primarnih molekularnih i ćelijskih dogadjaja pokazuje linearnu zavisnost u funkciji apsorbovane energije, ali veliku nedoumicu unosi činjenica da su biološki procesi po svojoj prirodi višestepeni, te ne daju linearnu matematičku zavisnost u funkciji apsorbovane doze. Epidemiološke studije nisu dokazale ali ni opovrgle postojanje rizika od radiogenog karcinoma pri izlaganju malim dozama zračenja. Za sada ne postoje metode kojima bi se ustanovio uzrok nastajanja karcinoma. Zato se za svaku procenu rizika u obzir moraju uzeti svi raspoloživi podaci i preduzeti sve preventivne mere kako bi se kompenzovao mogući rizik koji je procenjen na osnovu epidemioloških studija.

SPECIFIČNI BIOMARKERI

Nekoliko decenija eksperti zaštite od zračenja pokušavaju da odrede da li se poreklo pojedinih tipova solidnih tumora iili leukemija može identifikovati kao radiogeno. Aktuelna ispitivanja u svetu u osnovi su na molelularno-epidemiološka. Trenutna znanja su da biomarkeri koji bi bili sigurni pokazatelj da je solidni tumor ili leukemija radiogenog porekla još uvek nisu prepoznatljivi ali većina tumora koji nastaju “spontano”, izuzev hronične limfatične leukemije, mogu biti radiogenog porekla. Još uvek nisu identifikovani biološki dozimetri koji su verodostojni pokazatelj izloženosti na malim dozama jonizujućeg zračenja i pri malim brzinama doza, koje su od najvećeg interesa za zaštitu od zračenja.

Hromozomske aberacije jesu pouzdani biomarker radiogenog efekta, reflektuju izloženost zračenju, ali se na osnovu njih ne mogu sa sigurnošću proceniti posledice po zdravlje. U proceni posledica po zdravlje interakcija jonizujućeg zračenja i drugih agenasa, fizičkih, hemijskih i bioloških predstavlja poseban problem jer svi navedeni egensi u znatnoj meri mogu da modifikuju tok biološkog odgovora indukovanog zračenjem. Izloženost različitim agensima u sebi krije opasnost da svaki od njih pojedinačno aktivira bar po jedan složeni proces u ćeliji i učini da oni budu aktivni istovremeno, za šta u normalnim uslovima postoji jako mala verovatnoća. Najkritičnija je interakcija dva "multi-step" procesa, kada udruženo delovanje može da postigne snažno sinergetsko dejstvo. Osim toga predispozicija prema jednom agensu, npr.izmenjena senzitivnost može izmeniti konačni efekat od aditivnosti, preko sinergizma do antagonizma. Fundamentalna istraživanja u ovoj oblasti su veoma složena, ali neophodna jer će dati nezamenljiv doprinos proceni radiogenog efekta.

UMESTO ZAKLJUČKA

Iako dosadašnja istraživanja nisu dala odgovor na mnoga pitanja, sagledana je izuzetna složenost interakcije organizma i jonizujućeg zračenja. Od bioloških indikatora, koji su sada na raspolaganju medicinskoj praksi najuspešniji su genetički. Razvoj ćelijske radiobiologije pružiće nove metode identifikacije izloženosti jonizujućem zračenju. Molekularna epidemiologija je budućnost, a zadatak biologa u zaštiti od zračenja je da kvantifikuju već poznate fenomene, precizno definišu relacije doza-biološki odgovor, i sagledaju radijacioni rizik uvažavanjem genetske predispozicije i individualne osetljivosti.

LITERATURA

[1] Fush, W. (1896) Simple recommendations on how to avoid radiation harm. German Medical Weekly, No 6.

[2] Bacq,Z.M., Alexander, P (1961) Fundaments of Radiobiology, Chapter 10,pp263-279, Pergamon Press, New York.

[3] Gadbois, D.M. Crissman, H.A. Tobey, R.A., Bradbury, E.M.(1992) Multiple kinase arrest points in the G_2 phase of nontransformed mammalian cells are absent in transformed cells. Proc Natl Acad Sci USA 89:8626-8630.

[4] Puck, T.T., Marcus, P.I (1956) Action of X-rays on mammalian cells. J Exp Med, 103; 273-284.

[5] Seymour, C.B., Mothersill. C., Alper, T. (1986) High yields of letal mutations in somatic mammalian cells that survive ionizing radiation. Int J Radiat Biol 50, 167-179.

[6] Chang, W.P., Little, J.B. (1991) Delayed reproductive death in X-irradiated Chinese hamster ovary cells. Int J Radiat Biol 60: 483-496.

[7] Kuerbitz, S.J., Plunkett, B.S., Walsh,W.V., Kastan, M.B.(1992) Wild type p53 in a cell cycle checkpoint determining following iradiation. Proc Natl Acad Sci USA 89, 7491-7495.

[8] Kastan, M.B., Oneykwere, O., Sidransky, D. Vogelstein, B., Craig, R.W. (1991) Participation of p53 protein in the cellular response to DNA damage. Cancer Res 51:6304-6311.

[9] Su, L.N., Little, J.B. (1992) Transformation and radiosensitivity of human diploid skin fibroblast transfected with activated RAS oncogene and SV40 T-antigen. Int J Radiat Biol 62, 201-210.

[10] Elkind, M.M., Sutton, H.(1959) X-ray damage and recovery in mammalian cells in culture. Nature 184:1293-1295.

[11] Setlow, R.B., Carrier, W.L.(1964) The disapperance of thymidine dimers from DNA: An error correcting mechanisma. Proc Natl Acad Sci, USA, 51:226-231.

[12] Boyce,R.P., Howard-Flanders, P.(1964) The realase of UV-induced thymine dimers from DNA in E.coli K-12. Proc Natl Acad Sci, USA,51: 293-300.

[13] Little, J.B (1994) Changing views of Cellular Radiosensitivity. Radiat Res 140:299-311.

[14] Bronner, C.E., Barker,S.M.., Morrison, P.T., Warren, G., Smith, L.G.(1994) Mutations in the DNA mismatch repair gene homologue hMLH1 is associated with hereditary nonpoloposis colon cancer. Nature 368:258-261.
[15] Kadhim, M.A., MacDonald, D.A., Goodhead, D.T., Lorimore, S.A, Marsden, S.J., Wright, E.G. (1992) Transmision of chromosomal instability after plutonium alpha particles. Nature 355:738-740.
[16] Nagasawa, H., Litlle, J.B.(1992) Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha particles. Cancer Res 52:6394-6396.

ABSTRACT

RADIATION BIOLOGY IN RADIATION PROTECTION

G.Joksić
Institute of Nuclear Sciences "Vinča",
Laboratory of molecular biology and endocrinology

The paper presented the contribution of radiation biology to radiation protection in last three decades. The most important biological discoveries are presented chronologically, current status of knowledge and their impact on radiation protection are discussed.

BIOLOŠKA DOZIMETRIJA KOD OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

I. Rajačić, D. Jovičić, S. Milačić,
R. Kovačević, M. Pavlović, I. Knežević
KCS, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu
"Dr Dragomir Karajović ", Beograd

SADRŽAJ

Cilj ovog rada bio je detekcija mogućih hromozomskih aberacija kod lica koja su profesionalno izložena dejstvu jonizujućeg zračenja.

U ovom radu su predstavljeni rezultati petogodišnjih analiza hromozomskog statusa 852 ispitanika, profesionalno izložena dejstvu jonizujućeg zračenja. U periodu od 1996. do 2000. god., zapažen je porast ukupnog broja ispitanika sa hromozomskim aberacijama (9,0-24,1%). Posebna pažnja je usmerena na 3 grupe ispitanika: radiologe, rendgen tehničare i zaposlene u nuklearnoj medicini. Kod rendgen tehničara i zaposlenih u nuklearnoj medicini, u ovom periodu, konstatovano je da dolazi do porasta, a kod radiologa do pada broja lica sa hromozomskim aberacijama.

Visok broj ispitanika sa hromozomskim aberacijama nađen je kod zaposlenih u nuklearnoj medicini i predstavlja posledicu spoljašnjeg ozračivanja i unutrašnje kontaminacije. Posebnu pažnju treba obratiti na poboljšanje uslova rada na rizičnim radnim mestima i ukazati na značaj adekvatne primene mera zaštite na radu. Osim toga potrebno je stalno pratiti zdravstveno stanje lica profesionalno izloženih jonizujućem zračenju i vršiti sistematsku edukaciju.

UVOD

Interakcija zračenja sa biološkim materijalom je veoma složena i može dovesti do različitih oštećenja tkiva, ćelija ili molekula koji ulaze u sastav ćelija, pa i do smrti ćelija. Takođe treba znati da stepen biološkog oštećenja živog sistema [1], zavisi od karakteristika zračenja, kao što su doza, topografska distribucija doze, vrsta izvora i vrsta zračenja, kao i od karakteristika ozračenog organizma

Radiobiološki efekti na ćelijama najuočljiviji su prilikom ćelijske deobe. Ozračena ćelija može biti tako oštećena da se ne može podeliti, te će doći do ćelijske smrti, ili radijaciona oštećenja mogu biti takva da će dovesti do poremećaja regulacije ćelijske deobe ili čak maligne transformacije. Ove promene su posledica oštećenja molekula DNK i uočavaju se kao hromozomske aberacije ili genske mutacije. Za analizu hromozomskog

statusa kod lica izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja, koriste se kulture limfocita periferne krvi. T- limfociti predstavljaju biološke dozimetre organizma, jer kao recirkulirajući krvni elementi dospevaju do različitih delova tela. Osim toga, oni su i dugoživeće ćelije koje u in vivo uslovima ulaze u mitozu tek pod uticajem nekog antigena. Stoga, kad su ove ćelije u in vitro uslovima stimulisane na deobu nekim mitogenom, već u prvoj mitozi je moguće uočiti hromozomske aberacije nastale pod uticajem jonizujućeg zračenja u poslednjih nekoliko meseci ekspozicije.

U literaturi postoje podaci o sposobnosti jonizujućeg zračenja da indukuje pojavu raznovrsnih numeričkih i strukturnih hromozomskih aberacija, bilo da su one izazvane direktnim dejstvom jonizujućeg zračenja na molekul DNK kao metu udara, bilo indirektnim dejstvom putem jonizacije tkivnih tečnosti i tako nastalih slobodnih radikala. Ukoliko jonizujuće zračenje deluje na DNK u G_0 ili G_1 fazi ćelijskog ciklusa, može izazvati prekide oba lanca molekula DNK. Ovako nastale radiolezije na molekulu DNK, dupliraju se u S fazi ćelijskog ciklusa, te dolazi do prekida u kontinuitetu hromozoma i ukoliko ih ćelijski reparacioni mehanizmi ne poprave ili eliminišu, ova oštećenja se mogu registrovati kao strukturne hromozomske aberacije [3]. Pažnja nije usmerena na hromatidne aberacije, jer one mogu nastati pod uticajem drugih genotoksičnih agenasa, ili kao artefakt u tehničkom postupku.

U ovom radu praćeno je kretanje učestalosti hromozomskih aberacija u periodu od 1996. do 2000. godine, kod lica koja su profesionalno izložena dejstvu radioaktivnog zračenja. Pažnja je usmerena na 3 grupe ispitanika koji rade sa zatvorenim i otvorenim izvorima zračenja: radiolozi, rendgen tehničari i zaposleni u nuklearnoj medicini.

MATERIJAL I METODE

Cilj analiza koje se rade u laboratoriji za radijacionu citogenetiku je utvrđivanje hromozomskog statusa lica koja su profesionalno izložena dejstvu jonizujućeg zračenja.
Za analizu indukovanih hromozomskih aberacija u ćelijama limfocita periferne krvi čoveka, korišćena je modifikovana Moorhead-ova mikrometoda [2] i klasična citogeneticka tehnika. Analizirano je 200 metafaza po ispitaniku.

REZULTATI I DISKUSIJA

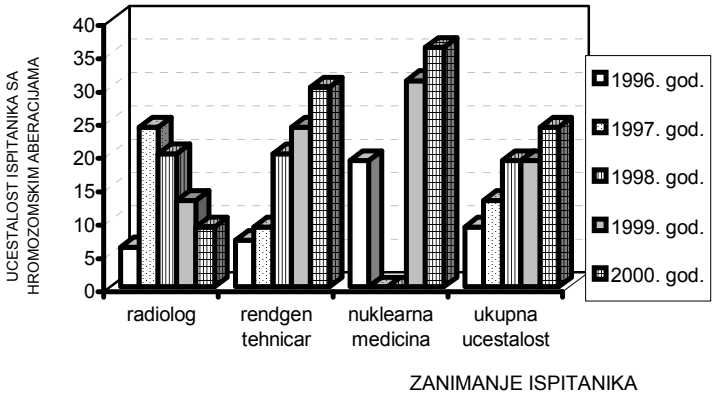
Rezultati citogenetičkih istraživanja su predstavljeni tabelama 1 i 2. Grafikom 1 je predstavljeno uporedno kretanje učestalosti ispitanika sa strukturnim hromozomskim aberacijama u okviru 3 grupe ispitanika, u toku 5 godina. Analizirane su nestabilne (dicentrik, ring hromozom i acentrični fragment) i stabilne (translokacije i pericentrične inverzije) hromozomske aberacije. Zapaženo je da postoji konstantan rast učestalosti tokom perioda od 1996. do 2000. god., kada su u pitanju rendgen tehničari (7,40-29,82%) i zaposleni u nuklearnoj medicini (19,10-36,36%). U grupi radiologa konstatovan je nagli porast učestalosti ispitanika sa hromozomskim aberacijama u 1997-oj u odnosu na 1996. god. da bi u narednom periodu ona stalno opadala. Na osnovu iznetih podataka u ovom radu, uočeno je da ukupna učestalost ispitanika sa hromozomskim aberacijama pokazuje konstantan rast.

Tabela 1. Rezultati citogenetičkih ispitivanja u periodu od 1996-1998. godine

zanimanje ispitanika	broj ispitanika			hromozomske aberacije %					
				povećana učestalost			nema		
godina	1996	1997	1998	1996	1997	1998	1996	1997	1998
radiolog	35	17	51	5,7	23,5	19,6	94,3	76,5	80,4
r. tehničar	108	75	108	7,4	9,3	19,6	92,6	90.7	80,4
n. medicina	47	7	3	19,1	0	0	80,9	100	100
ostalo	21	9	17	0	33,3	17,7	100	66,7	82,3
ukupno	211	108	179	9,0	13,0	19,0	91,0	87,0	81,0

Tabela 2. Rezultati citogenetičkih ispitivanja u periodu od 1999-2000. godine

zanimanje ispitanika	broj ispitanika		hromozomske aberacije %			
			povećana učestalost		nema	
godina	1999	2000	1999	2000	1999	2000
radiolog	16	33	12,5	9,1	87,5	90,9
r. tehničar	54	57	24,1	29,8	75,9	70,2
n. medicina	13	33	30,8	36,4	69,2	63,6
ostalo	105	43	15,2	18,6	84,8	81,4
ukupno	188	166	18,6	24,1	81,4	75,9



Grafik 1. Uporedni prikaz kretanja učestalosti ispitanika sa strukturnim hromozomskim aberacijama, po zanimanjima, tokom 5 godina

ZAKLJUČAK

- U periodu od 1996. do 2000. god. uočen je porast broja ispitanika sa strukturnim hromozomskim aberacijama u grupi rendgen tehničara kao i u grupi zaposlenih u nuklearnoj medicini, iz godine u godinu. U grupi radiologa konstatovano je opadanje broja ispitanika sa strukturnim hromozomskim aberacijama.

- Najviše ispitanika sa strukturnim hromozomskim aberacijama uočeno je kod zaposlenih u nuklearnoj medicini zbog spoljašnjeg ozračivanja i unutrašnje kontaminacije[4].
- Ukupan broj ispitanika sa strukturnim hromozomskim aberacijama pokazuje porast u periodu od 1996. do 2000. god.
- Pored nestabilnih hromozomskih aberacija tipa dicentrik, ring hromozom i acentrični fragment, kod nekih su uočene i stabilne, kao što su translokacije i inverzije.
- Razloge ovakvog kretanja učestalosti hromozomskih aberacija treba tražiti u uslovima rada na ovim radnim mestima, u neadekvatnoj primeni mera zaštite na radu, kao i u pogoršanim uslovima života. Nameće se potreba stalnog, sistematskog praćenja zdravstvenog stanja osoba koje su profesionalno izložene dejstvu jonizujućeg zračenja. Takođe postoje Odluke o stručnoj spremi i zdravstvenim uslovima koje lica zaposlena u zoni zračenja moraju zadovoljiti. Osim toga predviđene su i mere medicinske pomoći u slučaju akcidentalnog ozračenja ili kontaminacije radioaktivnim materijama.

LITERATURA

[1] Đurović B. (2000). Efekti malih doza na organizam. Kongres metrologa Jugoslavije, zbornik radova 15-20.

[2] Moorchead P.S. et all. (1960). Chromosome preparation of leukocytes cultured from human peripheral blood. Exp. cell. RES, 20: 613 - 616.

[3] Pfeiffer P, Goedecke W, Obe G. (2000). Mechanisms of DNA double-strand break repair and their potential to induce chromosomal aberrations. Mutagenesis 15(4):289-302

[4] Joksić G, Nikolić V. (1995) Hromozomske aberacije pri profesionalnoj ekspoziciji radionuklidima. Zbornik radova XVIII jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja 48-52.

[5] Jovičić D, Milačić S, Knežević I. (1998). Citogenetički efekti pri profesionalnoj ekspoziciji radionuklidima. RAS 7,2: 223 - 225.

ABSTRACT

BIOLOGICAL DOSIMETRY IN SUBJECTS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING RADIATION

I. Rajačić, D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević, M. Pavlović, I. Knežević
Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational Medicine and Radiological Protection Dr Dragomir Karajović, Belgrade

The aim of this study was to detect possible chromosomal aberrations in subjects occupationally exposed to ionizing radiation. The results of five-year analyses of chromosomal status of 852 subjects occupationally exposed to ionizing radiation are presented in this study. In the period 1996-2000 rise of overall incidence of subjects with chromosomal aberrations was (9.0-24.1%). Special attention was focused to three groups of subjects: radiologists, x-ray technicians and professionals in nuclear medicine. Overt this period professionals in nuclear medicine and x-ray technicians showed the rise, while radiologists showed a fall in the incidence of chromosomal aberrations. High values of the incidence of subjects with chromosomal aberrations were recorded in professionals in nuclear medicine result from external radiation and internal contamination. Special care should be focused at improvement of working conditions and highlight the importance of adequate occupational protection measures. Besides, health check ups of professionals occupationally exposed to ionizing radiation and their systematic education should be improved.

ISPITIVANJE ZDRAVSTVENOG STANJA STANOVNIŠTVA SA PODRUČJA KOJA SU KONTAMINIRANA URANIJUMOM

S. Milačić, R. Kovačević, M. Pavlović,
D. Jovičić, R. Krstić[1]
KCS Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr D. Karajović",
[1]KCS Institut za digestivne bolesti, Beograd

SADRŽAJ

Napravljena je analiza specifičnih parametara za internu kontaminaciju u 21 stanovnika sa Kosova i Metohije i u 15 stanovnika sa juga Srbije koji su u ovim područijima proveli neprekidno poslednje 2 godine. Samo u nekoliko slučajeva broj krvnih ćelija je umereno snižen, dok su morfološke promene i jedra i citoplazme izrazite. Znaci povećane apsorbovane doze usled interne kontaminacije konstatovani su kod 5 stanovnika Kosmeta, dok su ostale, manje specifične promene na DNK materijalu u 50% ispitanika. Ostali elementi pregleda potencijalno izloženih ispitanika, a prema usvojenom programu ciljanog pregleda, su u fiziološkim okvirima.

UVOD

Sve učinke uranijuma na živu ćeliju objašnjavaju dva toksikokinetska mehanizma, prvi je hemijski, koji karakteriše teške metale, a drugi je jonizacioni, usled radioaktivne emisije i brojni toksodinamski mehanizmi koji se uzajamno prepliću, interponiraju i favorizuju. Najbrojnija istraživanja o toksičnom dejstvu uranijuma pri hroničnoj ekspoziciji potiču iz 1956. godine u SAD-u, a u našoj praksi su potvrđena 1961. Ljudi se kontaminiraju uranijumom-238 (osiromašenim) pri boravku na lokalitetima u blizini ratnih dejstava i naknadnom kontaminacijom usled boravka na kontaminiranom području, kada uranijum dospe u lanac ishrane (1). Kasne posledice ekspozicije uranu su maligni tumori različitih lokalizacija i genetske malformacije u potomstvu (2). Neposredni efekti malih doza kod stanovništva ne mogu dati evidentnu kliničku sliku. Medjutim, bolest se može predvideti i na vreme lečiti, zdravstvenom kontrolom potencijalno izloženih, praćenjem specifičnih parametara. Najosetljiviji organi i tkiva na uticaj uranijuma su: bubrezi-proksimalni tubuli, hematopoezni sistem, kosti, pluća i jetra (1,2).

METODOLOGIJA

Napravljen je program ispitivanja i praćenja posledica efekata uranijuma na zdravlje ljudi. Elementi programa su: upitnik o (mestu i vremenu boravka na odredjenom

području, prethodnom zdravstvenom stanju, izloženosti drugim toksičnim materijama i načinu ishrane); opšti klinički pregled; celokupna krvna slika, morfološke promene krvnih ćelija u obojenim kapilarnim razmazima posmatranim pod mikroskopom, prisustvo blasta i aktivnost enzima u granulocitima (3); radioaktivnost urina, hromozomske aberacije u limfocitima na 200 mitoza i ultrazvuk abdomena. Pregledane su odabrane grupe stanovnika: 21 stanovnik jedne Srpske enklave na Kosovu i Metohiji koji su sve vreme u tom području, 15 stanovnika Južne Srbije iz okoline Vranja i 10 stanovnika sa područja Beograda i Vojvodine.

REZULTATI I DISKUSIJA

Opšte zdravstveno stanje svih ispitanika je dobro, a elementi krvne slike su bez varijacija i značajno se ne razlikuju. Karakteristične su promene kod stanovnika Kosmeta u leukocitarnoj formuli, odnosno u kapilarnom razmazu (u 18 ispitanika ili preko 80%, tabela 1).

Tabela 1. Kapilarni razmaz i hromozomske aberacije u lica jedne srpske enklave na Kosovu i Metohiji

Red. br. lica	Kapilarni razmaz			Le-formula (%)					HA
	normalan	morfolo. promene		NG	Ly	Mo	Eo	Bz	
		g.l.	i.l.						
1.		*		53	44	3	0	0	*
2.		*	*	49	44	4	3	0	**
3.		**	*	62	34	2	2	0	**
4.		***		58	36	4	2	0	***
5.		***	*	54	40	4	1	1	***
6.		**	**	54	39	5	1	1	***
7.		**	*	52	44	3	1	0	***
8.		**	*	54	40	5	1	0	**
9.		***	*	62	35	1	2	0	0
10.		**		58	36	3	2	1	0
11.		*		59	37	3	1	0	0
12.		***		64	32	3	1	0	0
13.		*	**	55	41	3	1	0	0
14.		*	*	55	42	2	1	0	0
15.		*	*	50	45	5	0	0	0
16.		*	*	53	43	2	2	0	0
17.		*		53	43	2	2	0	0
18.		*		57	39	4	0	0	0
19.				59	34	5	2	0	0
20.				56	37	4	3	0	0
21.				55	41	1	2	1	0

g.l. - granulocitna loza
* promene u citoplazmi
** promene u jedru i citoplazmi
*** multipne promene

i.l.- imunocitna loza
* pojava "velikih" Ly
** pojava "velikih" Ly i virocita
*** multipne promene

HA-hromozomske aberacije
* ne karakteristične promene
** specifične promene
*** multipne promene

Prisutne su toksične granulacije u neutrofilnim granulocitima, degranulacija citoplazme neutrofilnih i eozinofilnih granulocita, poremećaji segmentacije jedra, istovremeno promene jedra, granula, citoplazme (pojava vakuola). Samo u 3 ispitanika krvne ćelije izgledaju normalno (tabela 1). Pojava morfoloških promena granulocita ukazuje na toksično ili radioaktivno dejstvo na perifernu krv, a naročito na sazrevanje u koštanoj srži (degranulacija citoplazme i nesegmentovana jedra). Denaturacija granula izazvala je inhibiciju enzima od značaja za odbrambene aktivnosti. Da je kompromitovan imunitet, ukazuje i pojava stimulisanih »velikih« limfocita kao i pojava virocita, tj. velikih monocita sa jedarcetom kao i monocita sa velikim i slivenim granulama. Tipični blasti, koji bi ukazivali na preleukemijski sindrom, nisu viđeni. Pojavljuju se bazofili u sporadičnim slučajevima. Promene na DNK materijalu prisutne su u 8 (38,1%) ispitanika sa Kosova i Metohije. Karakteristične hromozomske aberacije koje mogu biti posledica dejstva jonizujućih zračenja, prisutne su u 5 ispitanika sa Kosova i Metohije (tabela 1), dok su u stanovnika Juga Srbije samo u 1 slučaju. U stanovnika ostalih područja nisu konstatovane promene. U gotovo polovine preostalih ispitanika sa Kosmeta, takođe postoje promene u kariotipu limfocita, koje mogu biti posledica uticaja i drugih toksičnih materija.

ZAKLJUČAK

Iako se radi o malom broju ispitanika koji su nam bili dostupni, očigledno je da je ekspozicija osiromašenom uranijumu na najugroženijim područjima imala izvesnog uticaja na najosetljivijim ćelijama. To ukazuje na značaj praćenja celokupnog stanovništva sa ugroženih područja i evidentiranje onih koji imaju promene na radiosenzitivnim tkivima, radi daljeg praćenja njihovog zdravstvenog stanja (po programu za lica profesionalno izložena jonizjućim zračenjima), jer u takvim slučajevima nisu isključene kasne posledice. To bi omogućilo blagovremeno dijagnostikovanje bolesti i lečenje koje bi uticalo na dužinu životnog veka.

LITERATURA

[1] Dodić S., Milačić S. Učinci urana na ljudsko zdravlje. U: Uticaj upotrebe fosfornih đubriva na kontaminaciju uranom. SANU, knj. LXXII, Odeljenje prirodnomatematčkih nauka knj.5; Beograd 1 993.,75-81

[2] ICRP. Uranium in: Individual monitoring for intekes of radionuclidex by workers: desingua and interpretation, Annals of the ICRP, Vol.19,No3,1996.,141-154

[3] Milačić S. Citološke i citohemijske promene leukocita pod uticajem interne radioaktivne kontaminacije ljudskog organizma, doktorska disertacija, Medicinski fakultet, Beograd, 1992.

ABSTRACT

EXAMINATION OF HEALTH STATUS OF POPULATION FROM URANIUM-CONTAAMINATED REGIONS

Milačić S., Kovačević R., Pavlović M., Jovičić D., Krstić R

Institute for Occupational Medicine and Radiological Protection "Dr. D. Karajović",Belgrade

Analysis of the specific parameters of internal contamination was performed in 21 residents of Kosovo and 15 residents of Southern Serbia who had spent last two years in the regions.

Blood cell count was moderately reduced only in several cases, while morphological changes, both nuclear and cytoplasmatic were prominent. Signs of the increased absorbed dose due to the internal contamination were evidenced in 5 residents of Kosovo, while other less specific DNA changes were recorded in 50% of the subjects. Other elements of the examination of the potentially exposed subjects, according to the adopted program of the targeted examination, ranged within the physiological cutoff values.

REZULTATI CILJANOG PREGLEDA UČESNIKA U DEKONTAMINACIJI TERENA KONTAMINIRANOG URANIJUMOM

R. Kovačević, S. Milačić, D. Jovičić, M. Pavlović,
O. Marinković, I. Tanaskovic, I. Rajačić
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr D. Karajović",Beograd

SADRŽAJ

Prikazani su rezultati ciljanih i ponovnih pregleda 11 lica koja su 4 meseca radila na dekontaminaciji terena kontaminiranog uranijumskom municijom. Termoluminiscentnim dozimetrima nisu registrovane povećane doze, a gama aktivnost urina, takođe, nije povećana. U kapilarnom razmazu prisutne su toksične granulacije i deformacije jedra leukocita u dva slučaja, kao i stimulisani limfociti i virociti (monociti) u ostalih. U 50% ispitanika posle izvršene dekontaminacije detektovane su promene na hromozomima. Nema značajnih promena numeričkih vrednosti krvnih ćelija .

UVOD

Tokom januara 2001. godine oformljena je stručna ekipa sa osnovnim zadatkom dekontaminacije terena na poluostrvu Luštica bombardovanog u agresiji NATO Alijanse 1999. godine. Od početka februara do kraja maja 2001. godine odabrana lica izvršila su dekontaminaciju rta Arza. Sakupljeno je oko 39 kilograma uranijuma 238, poreklom iz radioaktivne municije.

Svi učesnici u dekontaminaciji podvrgnuti su zdravstvenoj kontroli po programu predviđenom za ciljani pregled lica u zoni jonizujućih zračenja prema Zakonu o zaštiti od jonizujućih zračenja (1). Ciljani pregled obuhvatio je prethodni i ponovni zdravstveni pregled neposredno po završenom poslu učesnika koji su bili aktivno angažovani. U toku rada nosili su odgovarajuću zaštitnu opremu i lične termoluminiscentne dozimetre (TLD). Tokom rada u ekipi je izbila lakša epidemija nejasne virusne etiologije.

METODOLOGIJA

U 11 lica urađeni su pre i posle dekontaminacije: opšti klinički pregled, celokupna krvna slika i kariotip. Mikroskopirane su krvne ćelije u obojenim kapilarnim razmazima, radi morfološke analize i detekcije nezrelih formi. Posmatran je kariotip limfocita koji su izdvojeni iz krvi i preparirani uobičajenom metodom za analizu hromozomskih aberacija.

Izmerena je radioaktivnost 24-ročasovnog urina gamaspektrometrijskom metodom (2). Očitani su TL dozimetri na TLD čitaču.

REZULTATI I DISKUSIJA

Opšte zdravstveno stanje svih ispitanika na osnovu kliničkog pregleda bilo je normalno. Nalazi su bili u granicama fizioloških vrednosti tako da su svi bili sposobni za poslove koji su planirani. Svi rezultati ponovnog pregleda upoređeni su sa prethodnim i prikazani u tabeli 1.

U krvnoj slici nije bilo varijacija u broju elemenata niti značajnih razlika pre i posle dekontaminacije. U Le-formuli povećan je procenat limfocita u 8 od 11 slučajeva, a monocita u 7. Limfomonocitoza sa pojavom virocita verovatno je posledica verifikovane virusne infekcije. U 3 slučaja povećava se procenat eozinofila a u 2 od njih prisutna je laka eozinofilija. Procenat eozinofila posle dekontaminacije se više od dva puta povećao (2.27±2.49) u odnosu na stanje pre dekontaminacije (0.82±1.17), međutim ta razlika nije statistički značajna (t=2.02, p=0.07).

Tabela 1. Rezultati ispitivanja pre i posle dekontaminacije

Red. br. lica	Kapilarni razmaz			Le-formula (%)					HA	MN	TLD (mSv)
	normalan	morfolo. promene		NG	Ly	Mo	Eo	Bz			
		g.l.	i.l.								
1. I			*	59	35	5	1	0	0		
II			**	66	27	7	0	0	*	11	0.48
2. I	da			60	38	2	0	0	0		
II		**		54	41	5	0	0	**	11	0.28
3. I	da			70	25	5	0	0	0		
II		*	*	61	34	5	0	0	*	9	0.25
4. I	da			57	38	2	3	0	0		
II		**		53	37	4	6	0	0	9	0.55
5. I	da			64	35	1	0	0	0		
II	da			52	40	6	2	0	0	4	0.37
6. I	da			61	36	2	1	0	0		
II		*	*	57	42	1	0	0	0	8	0.40
7. I			*	58	37	2	3	0	0		
II			*	47	46	4	3	0	0	8	0.48
8. I	da			59	35	6	0	0	*		
II		*	*	43	40	11	6	0	0	9	0.26
9. I	da			64	35	1	0	0	0		
II		*		55	36	4	5	0	0	11	0.31
10. I	da			52	40	7	1	0	0		
II		*		50	43	4	3	0	*	8	0.38
11. I			*	63	30	7	0	0	*		
II		*	*	50	43	7	0	0	*	13	0.40

g.l. - granulocitna loza
* promene u citoplazmi
** promene u jedru i citoplazmi
MN- mikronukleusi

i.l.- imunocitna loza
* pojava "velikih" Ly
** pojava "velikih" Ly i virocita

HA-hromozomske aberacije
* ne karakteristične promene
** specifične promene

Ne može se sa sigurnošću reći da li je i ona u vezi sa infekcijom ili je posledica uticaja radioaktivnosti. Opšte je poznato da kod ekspozicije malim dozama ili usled lakše kontaminacije može doći do umerene, čak dugotrajne eozinofilije. Bazofili nisu viđeni, kao ni nezrele forme ni blasti. Izloženost uranijumu pri ovom poslu nije imala uticaja na sazrevanje u koštanoj srži. U 6 ispitanika postoje toksične granulacije u citoplazmi neutrofilnih granulocita a u 2 slučaja i kariošizmi – nepravilnosti oblika jedra. To odgovara nespecifičnim toksičnim promenama i ne može se smatrati isključivom posledicom uticaja uranijuma.

U šestoro pregledanih, što je 50% ispitanih, utvrđene su promene na genetičkom materijalu kojih nije bilo na prethodnom pregledu a struktura i morfologija anomalija nije specifična samo za izloženost izvorima jonizujućih zračenja nego identične promene izazivaju i brojne hemijske materije sa radiomimetskim svojstvima a veoma često se i spontano događaju u organizmu bez dejstva poznatog spoljašnjeg ksenobiotika. Samo u jednom slučaju postoji karakterističan nalaz što nije statistički značajno. Uglavnom se radi o hromatidnim prekidima i u 2 slučaja o acentričnim fragmentima. Pogoršan je nalaz hromozomskih aberacija u odnosu na prethodni kod istog ispitanika u 4 slučaja. Ukupan broja hromozomskih aberacija posle dekontaminacije se povećao ali ne i statistički značajno (Mc Nemar's parni test=0.64, p=0.42, 95% interval poverenja 0.55-6.16). Takođe, nema statistički značajnih razlika kada se posmatraju odvojeno specifične od nespecifičnih promena na hromozomima. Nađene hromatidne lezije koje nisu viđene na 200 limfocita pre kontaminacije, ne znače da je to neizostavan efekat obavljenog posla, tj. alfa radioaktivne emisije iz municije, ali se ne može ni potpuno isključiti. Broj mikronukleusa ne je u granicama referentnih vrednosti.

Termoluminiscentnim dozimetrima nisu registrovane doze jonizujućih zračenja veće od prirodnog fona što se može objasniti tipom radioaktivne emisije kojoj su bili izloženi u toku dekontaminacije kao i udaljenošću i mestom aplikacije dozimetara.

Gama aktivnost urina nije povećana. Ona koja je izmerena potiče od radiocezijuma i drugih radionuklida a ne od urana, a to se od ove metode i ne očekuje ukoliko se ne radi o velikim količinama i neposrednoj velikoj internoj kontaminaciji.

ZAKLJUČAK

Detektovane promene u krvnim ćelijama i na hromozomima nisu specifične samo za jonizujuća zračenja već su moguće i pod uticajem raznih toksičnih materija, pa se zato mogu naći i u ostaloj populaciji, ali s obzirom da nisu postojale pre, predstavljaju pozitivan nalaz. Ne mogu se isključiti kasne posledice. Za dalje praćenje potrebno je ispitati uranijum u urinu fluorimetrijski ili alfaspektrometrijski u narednom periodu kao i izračunavanje efektivne ekvivalentne doze.

LITERATURA

[1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja. Sl. list SRJ br. 46/96
[2] Odluka o sistematskom ispitivanju sadržaja radionuklida u životnoj sredini. Sl. list SRJ br 45/97

ABSTRACT

RESULTS OF THE TARGETED EXAMINATION OF DECONTAMINATION PARTICIPANTS

R. Kovačević, S. Milačić, D. Jovičić, M. Pavlović,
O. Marinković, I. Tanaskovic, I. Rajačić
Institute for Occupational Medicine and Radiological Protection
"Dr. Dragomir Karajović", Belgrade

The results of targeted and repeated examinations of 11 individuals who had worked for four months on decontamination of the uranim ammunition-contaminated areas are presented. The increased doses were not recorded by termoluminiscent dosimeters, and urine gamma activity was not increased. Capillary smears evidenced toxic granulations and leukocytic nuclei dformities in 2 cases, as well as stimulated lymphocytes and virocytes (monocytes) in the others. Examinations performed after completion of decontamination evidenced chromosomal aberrations in 50% subjects. Significant alternations of the numeric blood cell values were not recorded.

UČESTALOST HROMOZOMSKIH ABERACIJA KOD LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH OTVORENIM I ZATVORENIM IZVORIMA ZRAČENJA

S. Tomanović, D. Mirković, B. Đurović, M. Mišović, Z. Bošković
Institut za medicinu rada, Zavod za preventivnu medicinu, VMA

SADRŽAJ

Medicinski radnici čine najbrojniju grupu lica profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima u našoj zemlji. Cilj ovog rada je da se prikažu rezultati ispitivanja učestalosti hromozomskih aberacija ispitanika zaposlenih u Institutima za nuklearnu medicinu i radiologiju u našoj zdravstvenoj ustanovi. Konstatovana je veća učestalost hromozomskih aberacija kod osoba eksponiranih zračenju iz otvorenih izvora (16, 67%) u odnosu na lica eksponirana zračenju iz zatvorenih izvora (8,54%). Primećeno je i da ne postoji razlika u učestalosti hromozomskih aberacija kod ispitanika različite stručne spreme, bez obzira na vrstu izvora.

UVOD

Čovek je kontinuirano izložen jonizujućim zračenjima koja potiču iz prirodnih izvora (kosmičko zračenje i zračenje poreklom iz prirodnih radioaktivnih izotopa iz zemlje, vode i vazduha). Međutim, daleko veću pažnju privlače veštački izvori jonizujućih zračenja, jer njihovo prisustvo i upotreba zavise isključivo od ljudske delatnosti i kao takvi su prisutni u prirodi tek u novije vreme.

Procenjuje se da je čak 80-90% ukupne doze jonizujućih zračenja, koje potiču iz veštačkih izvora, poreklom iz medicinskih izvora. Rentgen dijagnostika je svakako najznačajniji medicinski izvor jonizujućih zračenja i smatra se da u ukupnom ozračivanju iz medicinskih izvora, rentgen dijagnostika učestvuje sa 90-95%, dok nuklearna medicina, stomatologija i radioterapija učestvuju sa 5% [1]. Pored pacijenata, pri svakoj upotrebi jonizujućih zračenja u medicinske svrhe, zračenju su izloženi i medicinski radnici, koji čine najbrojniju grupu lica profesionalno eksponiranih jonizujućim zračenjima. Oni su stoga podvrgnuti periodičnim zdravstvenim pregledima koji uključuju i analizu hromozomskih aberacija [2].

Hromozomske aberacije su mikroskopski vidljive promene na hromozomima koje nastaju, između ostalog, i kao posledica dejstva jonizujućih zračenja na naslednu osnovu živih bića, molekul DNK. Njihova analiza daje informaciju o biološkim efektima i odgovoru organizma na dejstvo zračenja.

MATERIJAL I METODE

Za analizu hromozomskih aberacija korišćena je modifikovana Moorhaed-ova metoda za kultivisanje limfocita periferne krvi i mikroskopska analiza 200 metafaza po ispitaniku [3]. Kulture ćelija su kultivisane u RPMI medijumu uz dodatak PHA. Inkubacija traje 48 sati na temperaturi od 37°C, uz dodatak kolhicina u poslednja 3 sata inkubacije, nakon čega se vrši fiksacija i preparacija hromozoma.

Cilj ovog rada je da se prikažu rezultati ispitivanja učestalosti hromozomskih aberacija ispitanika zaposlenih u institutima za nuklearnu medicinu i radiologiju u našoj zdravstvenoj ustanovi. Ispitanici nisu bili pod dejstvom medikamenata, narkotičkih sredstava niti pod terapijskim dejstvom jonizujućih zračenja u periodu od prethodnog sistematskog pregleda.

REZULTATI I DISKUSIJA

Među osobama profesionalno eksponiranim jonizujućim zračenjima smatra se da su najvećem riziku izložena lica zaposlena u nuklearnoj medicini koja su u kontaktu sa otvorenim izvorima zračenja. Kod njih je uočena i najveća učestalost hromozomskih aberacija koje su posledica spoljašnjeg ozračenja i unutrašnje kontaminacije [4]. Kod zaposlenih u rentgen dijagnostici, koji su izloženi zatvorenim izvorima zračenja, radijacioni rizik je nešto manji tako da je i učestalost hromozomskih aberacija nešto manja.
Rezultati lične dozimetrije, kod ispitanika kod kojih je konstatovana povećana učestalost hromozomskih aberacija, pokazuju vrednosti doza koje su daleko ispod graničnih za profesionalnu ekspoziciju (20 mSv/god). Budući da je u pitanju dejstvo malih doza jonizujućih zračenja, koje se uglavnom sreće pri profesionalnoj ekspoziciji, veoma je važno u procenu ukupne primljene doze uključiti i analizu efekata zračenja na biološki materijal. Na ovaj način moguće je potpunije sagledati kumulativne efekte malih doza.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija za period od 1997-1999.

Radno mesto	Prosečni ekspozicioni staž	Broj ispitanika	Hromozomske aberacije	
			sa hromozomskim aberacijama	bez hromozomskih aberacija
Nuklearna medicina	10,2 godina	24	16,67%	83,33%
Radiologija	11,6 godina	82	8,54%	91,46%

U tabeli 1. dati su rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija kod ispitanika u periodu od 1997-1999. godine. Zapaženo je da je procenat ispitanika sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija veći među zaposlenima u Institutu za nuklearnu medicinu (16,67%) u odnosu na zaposlene u Institutu za radiologiju (8,54%). Ovakvi rezultati su i očekivani budući da su ispitanici prve grupe izloženi većem radijacionom riziku koji je posledica izlaganja otvorenim izvorima zračenja.

Tabela 2. Tip hromozomskih aberacija kod posmatranih ispitanika

Radno mesto	Broj ispitanika sa:			
	dicentrični hromozom	tricentrični hromozom	acentrični fragment	translokacije i inverzije
Nuklearna medicina	3 (12,5%)	/ (0%)	/ (0%)	2 (8,3%)
Radiologija	5 (6,1%)	1 (1,2%)	5 (6,1%)	3 (3,7%)

U tabeli 2. prikazan je tip hromozomskih aberacija kod ispitanika. Među zaposlenima u Institutu za nuklearnu medicinu konstatovan je veći procenat osoba sa dicentričnim hromozomima koji predstavljaju najpouzdaniji pokazatelj ozračivanja. Pored nestabilnih hromozomskih aberacija citogenetskim ispitivanjima uočene su i stabilne hromozomske aberacije tipa translokacija i inverzija. Kod jednog ispitanika zaposlenog u Institutu za nuklearnu medicinu konstatovane su multipne promene, a isti slučaj je bio i kod tri ispitanika Instituta za radiologiju.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja učestalosti
hromozomskih aberacija na Institututu za nuklearnu medicinu

Zanimanje	Broj ispitanika	sa hromozomskim aberacijama	bez hromozomskih aberacija
Perači laboratorijskog posuđa	2	50%	50%
Medicinski tehničari i viši medicinski tehničari	12	16,67%	83,33%
Lekari, fizičari, biolozi...	9	11,11%	88,89%

Tabela 4. Rezultati ispitivanja učestalosti
hromozomskih aberacija na Institututu za radiologiju

Zanimanje	Broj ispitanika	**Hromozomske aberacije**	
		sa hromozomskim aberacijama	bez hromozomskih aberacija
Medicinski tehničari i viši medicinski tehničari	39	7,69%	92,31%
Lekari	41	9,76%	90,24%

U tabelama 3 i 4. prikazani su rezultati ispitivanja učestalosti hromozomskih aberacija kod osoba različite stručne spreme pri čemu nije konstatovana razlika među njima. Kod osoba koji rade na poslovima odrzavanja higijene Instituta za nuklearnu medicinu kod jedne od dve osobe konstatovane su stabilne hromozomske aberacije tipa translokacija koje nisu pokazatelj svežeg ozračavanja [5], tako da se visok procenat promena ne može smatrati relevantnim zbog malog broja ispitanika.

ZAKLJUČAK

Kod lica zaposlenih u Institutu za nuklearnu medicinu, a zbog rada sa otvorenim izvorima jonizujućih zračenja, konstatovana je povećana učestalost hromozomskih

aberacija u poređenju sa zaposlenima u Institutu za radiologiju. Nije uočena značajna razlika učestalosti hromozomskih aberacija kod lica sa različitom stručnom spremom.
Male doze u profesionalnoj ekspoziciji kao i manja učestalost citogenetskih oštećenja naših ispitanika rezultat su specifične organizacije rada, stalne edukacije zaposlenih i poštovanja propisanih mera radiološke zaštite.

LITERATURA

[1] Marković, S. Smanjenje ozračenosti stanovništva u rentgen dijagnostici. Magistarski rad. Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1993.

[2] Đurović, B. Komparativna studija efekata malih doza jonizujućeg zračenja nastalih u profesionalnoj ekspoziciji medicinskih radnika otvorenim i zatvorenim izvorima jonizujućeg zračenja. Magistarski rad. Vojnomedicinska akademija, Beograd, 1997

[3] Moorhaed P.S: et all. Chromosome preparation of leukocytes cultured from human peripheral blood. Exp. cell. RES, 20: 613-616.

[4] Jovičić, D., Milačić, S., Knežević, I. Višegodišnja citogenetička istraživanja pri profesionalnoj ekspoziciji radionuklidima. Zbornik radova. XIX Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja. 273-275.

[5] Joksić, G. Limfociti periferne krvi-biološki dozimetri. Bilten Instituta za nulearne nauke Vinča 5/'97. 249-256.

ABSTRACT

CHROMOSOME ABERATIONS FREQUENCY FOR MEDICAL STAFF EXPOSED TO IONIZING RADIATION FROM OPEN AND CLOSE SOURCES

S. Tomanović, D. Mirković, B. Đurović, M. Mišović, Z. Bošković
Institute of Occupationa Health, MilitaryMedical Academy, Belgrade

Medical staff is the most numerous group professionaly exposed to ionizing radiation in our country. The aim of this paper was to show the results of chromosome aberrations frequency analyses for medical staff in Institutes of Nuclear Medicine and Radiology in our hospital. The results of cytogenetic examination showed that chromosome aberrations frequency were higher for nuclear medicine staff (16,67%) than for the radiology staff. There were no differences in chromosome aberration frequency for different professions in any Institute.

SPECIFIČNOSTI ZDRAVSTVENOG STANJA ZDRAVSTVENIH RADNIKA U ZONI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA

R. Kovačević, S. Milačić, M. Pavlović, D. Jovičić, V. Glišić[1]
Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu " Dr D. Karajović", Beograd
[1]Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika ¨Zastava¨, Kragujevac

SADRŽAJ

Analizirano je zdravstveno stanje zdravstvenih radnika u zoni jonizujućih zračenja u Srbiji, u periodu 1999-2000. godina posle agresije NATO alijanse na Jugoslaviju 1999. godine. Obavljeno je ukupno 1253 periodična pregleda. Povećanu apsorbovanu dozu imalo je 2-4% ispitanika, što se ne razlikuje od prethodnih godina. Procenat leukopenija je veći u 1999. , dog su leukocitoze brojnije u 2000. U 2,1 % radioloških tehničara javila se katarakta. Nema povećane incidence malignih obolenja.

UVOD

Zdravstveni radnici izloženi su jonizujućim zračenjima iz različitih izvora otvorenog i zatvorenog tipa koji emituju X, gama, beta i druga zračenja u dijagnostici, terapiji i laboratorijama. Zato se nalaze na radnim mestima pod posebnim uslovima rada i pod specifičnom medicinskom zaštitom u vidu periodičnih pregleda po programu koji je predviđen Zakonom o zaštiti od jonizjućih zračenja (1). U profesionalnim, strogo kontrolisanim uslovima, ne mogu se eliminisati male doze kao ni rizik od akcidenta, a i minimalne doze mogu izazvati kasne posledice zbog stohastičkih efekata na radiosenzitivnim tkivima i organima.

METODOLOGIJA

Analizirani su rezultati elementa periodičnih pregleda u 1253 zdravstvena radnika iz zone jonizujućih zračenja u Srbiji obavljenih tokom 1999. i 2000. godine.
U 1999. godini pregledano je 708 ranika a u 2000.-545. Po stručnom profilu najbrojniji su radiološki tehničari: 405 (57.2%) i 392 (71.9%). Program pregleda sastojao se od kliničkog pregleda i laboratorijskih nalaza, sa ciljem detekcije oštećenja radiosenzitivnih tkiva: hematopoeznog (krvna slika), očnog sočiva, štitne i limfnih žljezda i genetskog materijala (hromozoma).

REZULTATI I DISKUSIJA

Varijacije broja leukocita u zdravstvenih radnika izloženih jonizujućim zračenjima prikazane su na tabeli 2. Leukopenija je izraženija u 1999. i to podjednako kod radiologa i radioloških tehničara, dok je leukocitoza, nađena u 5% kod radioloških tehničara i češće se javlja u 2000. godini. U odnosu na prethodne godine, pre agresije NATO alijanse na Jugoslaviju 1999. godine, to nije bitna razlika (2). Leukocitoza je značajno češća u rendgen tehničara nego u radiologa u obe posmatrane godine (p=0.02 i p=0.03). Raniji radovi pokazali su da su promene bile u beloj lozi, bez obzira da li je broj leukocita snižen ili povećan. Svi elementi leukocitne loze su bitno sniženi u zdravstvenih radnika u zoni zračenja u Banjaluci u 2000. godini, 4 godine nakon ratnih dejstava (3).

Hemoglobin je snižen u 1,3%, a retikulociti u 3,1% radioloških tehničara u 2000. godini. Trombocitopenije su prisutne u 3,3% radiologa u 1999. godini. (tabela 3)

Promene na genetičkom materijalu su u 1999. godini nađene u 4%, što je više nego prethodnih godina (do 2%) i nego u opštoj populaciji (oko 1%). U 2000. godini ove promene su ponovo nađene u 2% što je u odnosu na prethodnu godinu statistički značajno manji procenat (x2=4.3, p=0.038). Međutim, ove godine pregledani su i radnici nuklearne medicine koji nisu pregledani prethodne godine a koji su u većem riziku zbog rada sa otvorenim izvorima. Poznato je iz literature da rad sa otvorenim izvorima, zbog mogućnosti interne kontaminacije, izaziva povećanu apsorpciju energije jonizujućih zračenja (tabela 1). Za razliku od Srbije, u analognih ispitanika Banjaluke povećana učestalost hromozomskih aberacija prisutna je u 40% i u odnosu na kontrolu to je statistički značajno više.

U 2,1% radiolških tehničara javila se katarakta (tabela 4). Nema povećane incidence malignih oboljenja u odnosu na ranije godine i nema statistički značajnih razlika u njihovoj incidenci između radiologa i rendgen tehničara (tabela 5).

Tabela 1. Zdravstveni radnici u zoni jonizujućih zračenja

Zanimanje	Broj pregledanih radnika (N)		Učestalost hromozomskih aberacija (%)	
	1999	2000	1999	2000
Radiolozi	120	128	1.6	1.5
Ren.tehničari	465	392	3.2	3.3
Ostala lica	123	25	7.4	0.9
Ukupno	708	545	4.0	2.0

Tabela 2. Varijacije broja leukocita u zdravstvenih radnika izloženih jonizujućim zračenjima

Zanimanje	Le < 4 x 10^9 / l				Le > 9 x 10^9 / l			
	1999		2000		1999		2000	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Radiolozi	5	4.1	3	2.3	3	2.5	4	3.1
Ren. tehničari	19	4.0	6	1.5	24	5.0	21	5.4
Ostala lica u zoni zr.	2	1.4	1	4.0	0	0	4	16.0

Tabela 3.Varijacije hemoglobina, retikulocita i trombocita

u zdravstvenih radnika izloženih jonizujućim zračenjima

Zanim	Hb < 100g/ l				Rtc < 0.5				Tr < 150 x 10^9 / l			
	1999		2000		1999		2000		1999		2000	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Radio.	0	0	0	0	0	0	6	4.7	4	3.3	1	0.8
Ren.te.	0	0	5	1.3	0	0	12	3.1	5	1	0	0
Ostali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4. Stečena katarakta u zdravstvenih radnika izložnih jonizujućim zračenjima

Zanimanje	1999		2000	
	N	%	N	%
Radiolozi	1	0.8	2	1.6
Ren.tehni.	3	0.6	8	2.1
Ostala lica	0	0	0	0

Tabela 5 . Maligna obolenja u zdravstvenih radnika izloženih jonizujućim zračenjima

Zanimanje	1999			2000		
	N	%	Prof.	N	%	Prof.
Radiolozi	2	1.6	1	1	0.7	1
Ren.tehni.	3	0.6	1	1	0.2	1
Ostala lica	2	1	2	0	0	0

ZAKLJUČAK

U Srbiji posle rata u lica u zoni jonizujućih zračenja nije bilo promena iznad očekivanih koje su mogle biti konstatovane pri periodičnim pregledima.

LITERATURA

[1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja. Sl. list SRJ br. 46/96

[2] Engelman Ž, Milačić S. Hematopoeza u radnika na rendgenu. XVIII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja. Zbornik radova, 1995., 327-331

[3] Vešović D, Milačić S. Neki hematološki i biohemijski parametri kod medicinskog osoblja profesionalno izloženog jonizujućim zračenjima. Deseti kongres medicine rada Jugoslavije s međunarodnim učešćem. Revija rada, specijalni broj , 2001.,122

ABSTRACT

HEALTH PROFESSIONALS IN IONIZING RADIATION ZONE

R. Kovačević, S. Milačić, M. Pavlović, D. Jovičić, V. Glišić[1]

Institute for Occupational Medicine and Radiological Protection
"Dr. D. Karajović", Belgrade

Health status of the health professionals working in the ionizing radiation zone after bombing was analyzed during 1999 and 2000. The total of 1253 periodical examinations were performed. Increased absorbed dose was recorded in 2-4% of the subjects, which is similar as observed earlier. The percent of leukopenia was higher in 1999 while the number of leukocytosis cases was greater in 2000 . The total of 2.1% of radiological technicians developed cataract. The incidence of the malignant diseases has remained the same.

INHIBICIJA RASTA ĆELIJA HUMANOG MELANOMA PROTONSKIM ZRAČENJEM

A. Ristić, I. Petrović, G. Cuttone[1], D. Todorović,
M. Vujčić, L. Korićanac, S. Ruždijić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, Jugoslavija.
[1] Istituto Nazionale di Phisica Nucleare, LNS, Catania, Italy.

SADRŽAJ

Cilj ovog rada je in vitro izučavanje uticaja protonskog zračenja na rast ćelija humanog melanoma. Konfluentne ćelije melanoma su jednokratno ozračene protonima (doze u opsegu 1 do 20 Gy, energija snopa na meti 22.6 MeV). 48 časova posle ozračivanja praćene su promene ćelijskog rasta, analizirane faze ćelijskog ciklusa i detektovne ćelije kod kojih je indukovana programirana ćelijska smrt. Jednokratano ozračivanje dozama od 12 i 16 Gy dovodi do značajne inhibicije ćelijskog rasta. Analiza faza ćelijskog ciklusa posle jednokratnog ozračivanja protonima ukazuje na zaustavljanje ćelija u G2/M fazi ciklusa. Ovaj blok je direktno dozno zavisan. Flow-citometrijska analiza ozračenih uzoraka pokazuje prisustvo apoptotičnih ćelija (11-15%) u poređenju sa neozračenim kontrolama.

UVOD

Značajnu oblast u izučavanju kancerogeneze čine istraživanja mehanizama koji regulišu proliferaciju ćelija. Od posebnog je značaja upoznavanje mehanizama nastanka programirane ćelijske smrti, usled čije deregulacije dolazi do nastanka mnogih patofizioloških poremećaja (neurodegenerativna i autoimuna obolenja i kancer).

Iako se protoni još od sredine 50-tih godina koriste u istraživanjima, tokom poslednje dekade dolazi do povećanja primene ovog tipa zračenja u radioterapiji. Prednost primene protonskih zraka u poređenju sa konvencionalnim terapijama, fotonima i elektronima ogleda se u njihovim fizičkim svojstvima: dobro definisan opseg, relativno malo bočno rasejavanje i velika depozicija energije ili doze na samom kraju opsega. Postoji blago povećanje doze u regionu platoa, praćeno povećanjem doze do dobro definisanog maksimuma na mestu Bragg-ovog "pika". Iza Bragg-ovog "pika" doza naglo pada na nulu. Ova osobina omogućava dobru lokalizaciju doze u dubinu. Maksimum doze biva predat u okviru uskog pika na samom kraju opsega, na mestu koje može da bude vrlo precizno određeno i kontrolisano. Variranjem ulazne energije protona dolazi do promene položaja Bragg-ovog

"pika" u dubinu, što ukazuje da su protoni većih energija (50-250 MeV) neophodni da bi ostvarili željeni efekat u tkivima tumora koji su duboko lokalizovani [1].

Programirana ćelijska smrt (apoptoza) predstavlja proces neophodan za održavanje homeostaze u normalnom organizmu. Poremećaj u aktivaciji ovog procesa je uključen u patogenezu mnogih obolenja, a naročito nedostatak apoptoze ima ulogu u malignoj transformaciji i rastu tumora. Veliki broj unutarćelijskih i vanćelijskih stimulusa utiče na aktivaciju programirane ćelijske smri. Apoptozu izazivaju hemoterapeutici, zračenje, glukokortikoidi, hipertermija, nedostatak faktora rasta i seruma. Sposobnost zračenja da indukuje apoptozu zapažena je u mnogim tipovima ćelija. Međutim, postoje ćelije koje su rezistentne na indukciju apoptoze zračenjem i zato umiru nekrotskom smrću ili "stare" ili kod njih dolazi do zaustavljanja ćelijskog ciklusa.

Tokom poslednjih godina, posebna pažnja je usmerena na izučavanje molekularnih mehanizama uključenih u regulaciju ćelijskog ciklusa [2]. Istraživanja u molekularnoj biologiji pružaju informacije o ključnim tačkama ćelijskog ciklusa u kojima ćelije izložene dejstvu agenasa koji prave oštećenja na DNK (jonizujuće zračenje) privremeno bivaju zaustavljene. Proces maligne transformacije uključuje deregulaciju faza ćelijkog ciklusa [3]. Zahvaljujući specifičnim mutacijama ćelije kancera nisu u stanju da odgovore na normalne homeostatske signale. Kod transformisanih ćelijskih linija i primarnih humanih kancera usled mutacija često dolazi do gubitka gena koji kontrolišu ćelijski ciklus (npr. p53). Odgovor maligne ćelije na oštećenja DNK izazvana jonizujućim zračenjem ili lekovima može da se razlikuje od odgovora normalne ćelije. Kada su normalna tkiva izložena delovanju ovih agenasa, dolazi do aktivacije p53 i ćelija biva zaustavljena u G1 fazi ciklusa. Većina tumorskih ćelija, koje nose mutaciju u genu za p53 ili ga uopšte nemaju, su znatno radiorezistentnije od p53 "wild-type" ćelija. Najčešći poremećaj faza ćelijskog ciklusa, u slučaju kada se ćelije tumora izlažu dejstvu zračenja, je kašnjenje u prelasku iz G2 u M fazu ciklusa.

REZULTATI I DISKUSIJA

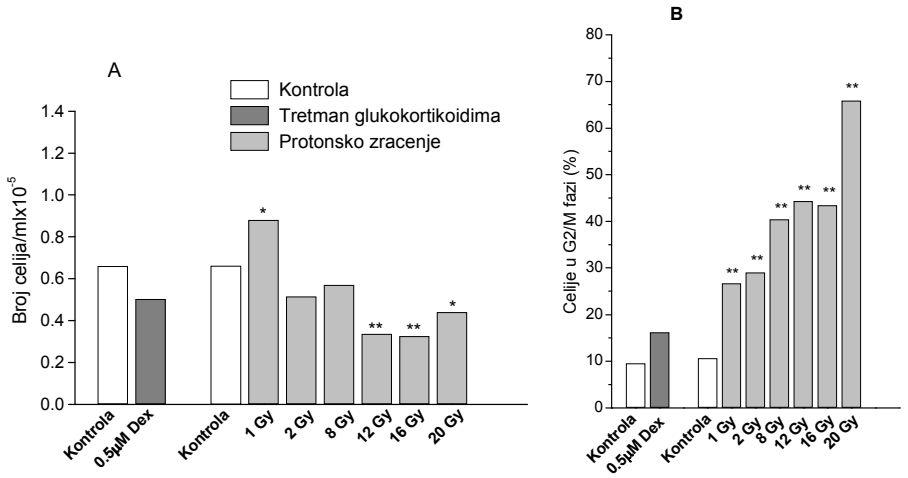
Maligni melanom je često izučavan oblik kancera. Iako se radi o vrlo malignom i visoko metastatičnom tumoru koji ima lošu prognozu, poznato je da se neki oblici melanoma, koji su posebno lokalizovani, kao što je npr. uvealni melanom i drugi tipovi tumora oka (konjuktivni melanom, melanom irisa, horoidalni melanom ili retinoblastom) danas uspešno leče. Ozračivanje uvealnog melanoma protonskim zracima je dalo dobre rezultate.

Fizičke karakteristike protonskog zračenja ukazuju na njihovu pogodnost u tretmanu tumora koji su specifično locirani ili se nalaze u blizini kritičnih organa, kada je neophodno dobrom distribucijom doze minimizovati oštećenja okolnog tkiva. Potrebno je naglasiti da će mala fluktuacija absorbovane doze izazvati relativno mnogo značajniju promenu verovatnoće kontrolisanja (eliminacije) tumora ili pojave komplikacija. Ovo proizilazi iz činjenice da su grafici doza-odgovor (rezultujući efekat), za kontrolu tumora, i doza-komplikacije, za okolno zdravo tkivo, vrlo strmi, odnosno da su njihove zavisnosti izrazito osetljive.

Međutim, s biološkog aspekta, ne postoji bitna razlika između protona i fotona ili elektrona. Relativna biološka efikasnost (RBE) protona delimično zavisi od njihove energije, povećava se s opadanjem energije do vrednosti od oko 1 MeV. Ispod ove energije dolazi do opadanja zahvaljujući eliminaciji ćelija. Zapaženo je da različiti tipovi ćelija različito reaguju na promenu linearnog transfera energije (LET), a samim tim i na različite vrednosti energija. RBE vrednosti za protonsku terapiju se obično kreću u opsegu od 1.1 do

1.2, mada je pokazano da se primenom protona energije oko 1 MeV mogu postići RBE vrednosti i do 2.

Prethodne studuje su pokazale da glukokortikoidni hormoni inhibiraju rast ćelija melanoma u kulturi [4, 5]. Oba tipa ćelijske smrti, apoptoza i nekroza, su takođe detektovane posle tretmana glukokortikoidima (elektronska mikroskopija, analiza DNK na agaroznim gel elektroforezama, flow citometrija) [6]. Eksperimenti u kojima su praćeni efekti protonskog zračenja ostvareni su na HTB63 ćelijama humanog melanoma u *in vitro* uslovima. Praćen je antiproliferativni i citotoksični efekat protona, kao i nastanak ćelijske smrti (apoptoze ili nekroze) posle zračenja. Posle ozračivanja HTB63 ćelija protonima zapažena je inhibicija ćelijskog rasta. Najizrazitiji efekat protona je zapažen posle jednokratne primene doza od 12 Gy i 16 Gy. Pri primeni tih doza inhibicija ćelijskog rasta je dostigla i do 50% (Slika 1A).



Slika 1: Inhibicija rasta (A) i modulacija ćelijskog ciklusa (B) HTB63 ćelija melanoma posle jednokratnog ozračivanja protonima i tretmana glukokortikoidnim hormonom (*p<0.05, **p<0.01).

Analiza ćelijskog ciklusa i vijabilnosti ćelija, posle jednokratne primene protona, pokazala je zaustavljanje ozračenih ćelija u G2/M fazi ciklusa. (Slika 1B). Konstantan porast broja ćelija u G2/M fazi poklapa se sa povećanjem primenjene doze. Čak i posle ozračivanja dozama od 1 i 2 Gy dolazi do G2/M bloka. Posle jednokratnog ozračivanja dozama od 8, 12 i 16 Gy približno 50% ćelija je zaustavljeno u G2/M fazi. Jednokratno ozračivanje dozom od 20 Gy dovodi do izrazito snažnog G2/M bloka (oko 70% ćelija). Procenat HTB63 ćelija melanoma u G2/M fazi kod neozračenih kontrola bio je oko 10% (Slika 1B).

Tabela 1. Procenat apoptotičnih HTB63 ćelija melanoma, 48 h posle ozračivanja protonima.

HTB63	Neozračene kontrole	1 Gy	2 Gy	8 Gy	12 Gy	16 Gy	20 Gy
Apoptoza %	4,59±1,57*	9,6±1,56	9,7±0,56	14,22±0,74	10,84±1,43	13,93±1,84	8,59±1,00

* Srednja vrednost ±SD (podaci iz dva eksperimanta rađena u duplikatu)

Dobijeni rezultati su takođe pokazali promene na nivou ćelijske membrane koje vode do apoptotske ćelijske smrti. Korišćenjem FITC-annexin V konjugata detektovano je

prisustvo fosfatidilserina (PS) na površini ćelija. Poznato je da pri nastanku apoptoze eksternalizacija PS nastaje pre nuklearnih promena. Bojenje DNK propidijum jodidom (PI) kao i flow citometrijska analiza uzoraka je pokazala prisustvo apoptotskih ćelija (9-15% apoptoza) (Tabela I). Analizom kontrolnih i ozračenih uzoraka na agaroznoj gel elektroforezi nije detektovano postojanje lestvičastih prekida DNK. Posle glukokortikoidnog tretmana (0.5μM deksametazon) pokazano je prisustvo internukleozomalnih prekide na HTB63 ćelijama [7]. Dobijeni rezultati predstavljaju početak studije efekata protonskog zračenja na rast malignog melanoma u *in vitro* i *in vivo* uslovima. Upoznavanje molekularnih mehanizama uključenih u nastanak apoptoza i u regulaciju ćelijskog ciklusa, mogu da doprinesu poboljšanju pristupa u protonskoj terapiji humanih melanoma.

LITERATURA

[1] A. Ristić-Fira and I. Petrović, (2000). Efficiency of proton irradiation in killing malignant cells, Arch. Biol. Sci., 52 (3): 123-132.

[2] K.R. Blank, M.S. Rudoltz, G.D. Kao, R.J. Muschel and W. Gillies McKenna "The molecular regulation of apoptosis and implication for radiation oncology". Int. J. Radiat. Biol. 1997, 71, 455-466.

[3] G. Iliakis, Cell cycle regulation in irradiated and nonirradiated cells. Seminars in Oncology, 1997, 24, 602-615.

[4] A. Ristić, R. Djordjević-Marković, M. Pavlović, V. Krsmanović and D.T. Kanazir. "The Effect of Glucocorticoid and Antiglucocorticoid Hormones on the Growth of Mouse Melanoma Cells". Anticarcinogenesis and Radiation Protection 2, O.F. Nygaard and A.C. Upton eds., Plenum Press, New York, 1991, pp. 401-403.

[5] A. Ristić-Fira, M. Vujčić, M. Krstić-Demonacos, D. Kanazir: (1999) Identification and characterization of glucocorticoid receptors in B16 mouse melanoma cells. Endocrine Regulations, 33: 109-115.5.

[6] Aleksandra Ristić-Fira "Glucocortocid induced apoptosis of melanoma cells", In: "Molecular Mechanisms of Cell Function" (Eds. Lj. Rakić, N. Ribarac-Stepić and D. Simić), pp 167-174, Serbian Acad. Sci. Art, Belgrade, 1997.

[7] A. Ristić-Fira, D. Nikolić, I. Petrović, S. Ruždijić, L. Raffaele, M.G. Sabini, G.A.P. Cirrone, G. Cuttone, G. Farruggia, L. Masotti, D. T. Kanazir, (2001) The late effects of proton irradiation on cell growth, cell cycle arrest and apoptosis in a human melanoma cell line. Journal of Experimental and Clinical Cancer Research, 20 (1): 525-533.

ABSTRACT

INHIBITION OF HUMAN MELANOMA CELL GROWTH BY PROTON IRRADIATION

A. Ristić, I. Petrović, G. Cuttone[1], D. Todorović,
M. Vujčić, L. Korićanac, S. Ruždijić
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Yugoslavia.
[1] Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy.

The aim of this work is the *in vitro* study of human melanoma cell growth modulation after irradiation with protons. Confluent cell monolayers were irradiated with single doses ranging from 1 to 20 Gy, using proton beams having energy of 22.6 MeV at the target. 48 hours after irradiation, cell growth, cell cycle analyses and initiation of cell death, were followed. The inhibition of melanoma cell growth was observed, especially after single application of 12 and 16 Gy. Cell cycle analyses of melanomas after proton irradiation, have shown the G2/M arrest of irradiated cells corresponding with the increase of applied dose. The flow cytometric analysis has shown presence of apoptotic nuclei (11–15%) compared to non-irradiated controls.

PROTEKTIVNI EFEKAT CRNOG VINA NA GENOM HUMANIH LIMFOCITA OZRAČENIH *IN VITRO*

M.Stanković, G.Joksić
Institut za Nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju

SADRŽAJ

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja efekata crnog vina "Cabernet Sauvignon" na učestalost mikronukleusa (MN) u humanim limfocitima periferne krvi, ozračenim in vitro. Za ozračivanje je korišćen izvor γ zračenja (^{60}Co), doza 2Gy. Dobijeni rezultati pokazuju da u ozračenim, netretiranim kulturama nalazimo najveću učestalost mikronukleusa 193/1000 binuklearnih ćelija, kao i najveći procenat ćelija sa mikronukleusima (14,8%). Dodavanjem kopmleksa flavonoida crnog vina u kulture učestalost mikronukleusa kao i procenat binuklearnih ćelija sa mikronukleusima značajno opada (114/1000 MN, odnosno 9,03% binuklearnih ćelija sa mikronukleusima). I u neozračenim kontrolnim kompleksi flavonoida crnog vina značajano smanjuju učestalost spontanih mikronukleusa. Statističkom analizom dobijenih rezultata dokazan je snažan radioprotektivan efekat crnog vina.

UVOD

Osnovni princip delovanja jonizujućeg zračenja pri prolasku kroz materiju je izbacivanje elektrona iz atoma koji mu se nalazi na putu. Ovakav atom postaje jonizovan i ima za posledicu različite hemijske promene čitavog molekula u kome se atom nalazi. Jonizujuće zračenje na taj način generiše slobodne radikale koji reaktivni i nestabilni, te hemijskom reakcijom sa molekulima u neposrednom okruženju često stvaraju hemijski stabilne DNK lezije [1]. Flavonoidi crnog vina imaju antioksidativna svojstva [2-4] a njihov protektivni efekat ogleda se sposobnosti da apsorbuju slobodne radikale. Pored toga flavonoidi crnog vina često se hemijski vezuju za u ćelijske enzime menjajući njihovu aktivnost. Najzastupljeniji flavonoidi koji se nalaze u vinu su: luteolin, kvercetin, kemferol, rutin, floretin. Protektivni efekat crnog vina ispitivan je citohalazin B mikronukleusnim testom, koji se već dugo koristi u biodozimetriji jonizujućih zračenja i ispitivanju genotoksičnosti [5-6].

MATERIJAL I METODE

Za ovaj eksperiment je uzeto po 5ml heparinizirane venske krvi od 12 zdravih odraslih muškaraca odabranih po principu slučajnosti. Alikvoti heparinizirane krvi, su ozračeni in vitro izvorom ^{60}Co γ -zraka, dozom od 2Gy akutno. Dva sata nakon ozračivanja postavljene su kulture limfocita ozračenih i neozračenih alikvota. Po jedna kultura svakog alikvota nije tretirana vinom i ona je služila kao kontrola. Sve kulture su inkubirane u termostatu na 37°C. Tretman flavonoidima vina traje 18 sati, zatim su sve kulture ispirane u čistom medijumu i ponovo inkubirane. Posle 48 sati inkubacije dodat je citohalazin B i inkubacija je nastavljena još 24 sata. Preparacija je obavljena po metodi Fenech and Morely [7]. Za analizu mikronokleusa korišćeni su kriterijumi Countryman and Heddle [8], pregledano je 1000 binuklearnih ćelija po uzorku.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na tabeli 1, su dati rezultati ispitivanja u ozračenim kulturama, a na tabeli 2 u neozračenim kontrolama. Dodavanjem kompleksa flavonoida crnog vina u ćelijske kulture opada kako procenat binuklearnih ćelija koje sadrže mikronukleuse, tako i broj mikronukleusa na 1000 binuklearnih ćelija u odnosu na netretirane kulture (Tabela 1.)

Tabela 1: Učestalost i distribucija mikronukleusa u ozračenim kulturama nakon dodavanja crnog vina (Cabernet Sauvignon)

koncen. crnog vina	Br. BN ćel.	PRI *	% BN sa MN	MN/1000 BN ćel.	MN / BN ćel.	DISTRIBUCIJA MN u %				
						0	**1**	**2**	**3**	**4**
kontrola	1054	1,66	14,80	192,60	1,30	82,50	11,01	3,13	0,66	
100 µl	1034	1,61	10,54	118,95	1,13	89,46	9,19	1,35		
200 µl	1131	1,69	10,43	131,74	1,26	89,57	7,78	2,56	0,09	
300 µl	1141	1,62	9,03	113,93	1,26	90,97	7,19	1,40	0,35	0,09
400 µl	1130	1,64	9,47	114,16	1,19	90,53	7,79	1,42	0,26	
500 µl	1211	1,66	14,37	165,15	1,15	85,63	12,39	1,82	0,16	

Br. BN ćel.- broj pregledanih binuklearnih ćelija
*PRI- proliferacioni indeks
% BN sa MN- procenat binuklearnih ćelija sa mikronukleusima
MN/1000 BN ćel- broj mikronukleusa na 1000 pregledanih binuklearnih ćelija
MN/BN ćel.- broj mikronukleusa po binuklearnoj ćeliji

Najmanji procenat binuklearnih ćelija sa mikronukleusima (9,03%) zapažen je u ozračeniama kulturi kojima je dodato 300µl flavonoida vina, na istoj koncentraciji imamo i najmanju učestalosit mikronukleusa (113,93). Povećavanjem koncentracije flavonoida crnog vina smanjuje se protektivni efekat te se broj mikronukleusa približava vrednostima u netretiranim uzorcima: pri koncentraciji od 500µl, procenat binuklearnih ćelija sa mikronukleusima iznosi 14,37%, gotovo isti kao u netretiranoj kontroli (14,80%). Učestalost mikronukleusa u ozračenim uzorcima takođe se približava kontrolnim vrednostima. Distribucija mikronukleusa se kreće od 1 do 3 mikronukleusa po binuklearnoj ćeliji; samo u jednom slučaju nalazimo na ćeliju sa 4 mikronukleusa. Najmanji procenat

binuklearnih ćelija sa mikronukleusima (0,94%), kao i najmanju učestalost mikronukleusa (10,33) u neozračenim kulturama nalazimo pri koncentraciji od 200µl u kulturi (Tabela:2). Povećavanjem koncentracije kompleksa flavonoida (od 400-500µl) slabi protektivno dejstvo te učestalost mikronukleusa se približava vrednostima u netretiranim uzorcima. Distribucija mikronukleusa se kreće od 1 do 2 mikronukleusa po binuklearnoj ćeliji, samo u jednom slučaju imamo ćeliju sa 3 mikronukleusa.

Tabela 2: Učestalost i distribucija mikronukleusa u neozračenim kulturama nakon dodavanja crnog vina (Cabernet Sauvignon)

Konc. vina	Br. BN ćelija	PRI *	% BN ćel. sa MN	MN /1000 BN ćel.	MN / BN Ćel.	DISTRIBUCIJA MN %			
						0	1	2	3
Kontrola	1025	1,69	2,34	27,32	1,16	97,66	1,95	0,39	
100 µl	1027	1,71	1,46	14,60	1,00	98,54	1,46		
200 µl	1064	1,70	0,94	10,33	1,10	99,06	0,85	0,09	
300 µl	1087	1,67	1,10	11,04	1,30	99,17	0,64	0,09	0,09
400 µl	1026	1,65	1,17	13,64	1,16	98,83	0,98	0,19	
500 µl	1029	1,70	1,65	20,40	1,23	98,35	1,26	0,39	

Br. BN ćel.- broj pregledanih binuklearnih ćelija
*PRI- proliferacioni indeks
% BN ćel. sa MN- procenat binuklearnih ćelija sa mikronukleusima
MN/1000 BN ćel.- broj mikronukleusa na 1000 pregledanih binuklearnih ćelija
MN/BN ćel.- broj mikronukleusa po binuklearnoj ćeliji

Dobijeni rezultati pokazuju da flavonoidi iz crnog vina imaju snažan radioprotektivni efekat na limfocite ozračene *in vitro*, što se manifestuje smanjenjem učestalosti mikronukleusa i smanjenjem broja binuklearnih ćelija sa mikronukleusima. Protektivni efekat se ispoljava u koncentracijama od 200-300µl na milion ćelija u kulturi, zatim nastaje zasićenje, a daljim povećanjem koncentracije crnog vina ne zapažamo protektivni efekat. Učestalosti mikronukleusa u ozračenim uzorcima zavisi od koncentracije flavonoida a protektivni efekat se postiže samo na optimalnoj koncentraciji. Iako se do sada protektivni efekat mnogih flavonoida objašnjavao njihovom sposobnošću da uklanjaju slobodne radikala iz organizma [9], sve je više podataka koji govore o antimutagenim svostvima flavonoida. [10]. Flavonoidi vina imaju veliki afinitet i prema DNA polimerazama, ublažavaju neželjeni efekat "miss-repair-a" favorizovanjem legitimnog repera koji na taj način uspeva da uspešno popravi veći deo oštećenja na molekulu DNA.

U zaključku možemo reći, da crno vino "Cabernet Sauvignon" poseduje snažno radioprotektivno svojstvo i da naši rezultati pokazuju neophodnost korišćenja u ljudskoj ishrani biljnih proizvoda bogatih flavonoidima, uključujući i crno vino.

LITERATURA

[1] Ward, J.F., The Complexity of DNA Damage: Relevance to Biological Consequences, Int. J. Radiat. Biol., 66(1994), 5, 427-432.

[2] Shimoi, K., S. Masuda, M. Furugori, S. Esaki and N. Kinae: Radioprotektive effect of antiohidative flavonoids in y-ray iradiated mice, Carcinogenesis, 15 (1994b), 2669-2672.

[3] Yang, C. S. and Z-Y. Wang : Tea and Cancer. J. Natl. Cancer Inst., 85(1993), 1038-1049.

[4] Riley, P. A. : Free radicals in biology : oxidative stress and the effects of ionizing radiation, Int. J. Radiat. Biol., 65(1994), 27-33.
[5] Joksić, G., Nikolić, M., Spasojević-Tišma, V. : Radiosensitivity of different aged human lymphocytes following electron irradiation in vitro, Neoplasma, 442(1997), pp. 117-121.
[6] Joksić, G., Petrović-Novak, A., Stanković, M., Kovačević, M. : Radiosensitivity of human lymphocytes in vitro correlates more with proliferative ability of cells than with the incidence of radiation-induced damages of the genome, Neoplasma, 461(1999), pp.
[7] Fenech, M., and Morley, A.A., : Measurement of micronuclei in lymphocytes, Mutat. Res. 147(1985), 29-36
[8] Counryman, P.J., Heddle, J.A. : The production of micronuclei from chromosome aberrations in irradiated cultures of human lymphocytes, Mutat. Res., 41(1976), 321-332.
[9] Middleton, E. and Kandaswami, C. : Effects of flavonoids on immune and inflammatory cell functions, Biochem. Pharmacol., 43(1992), 1167-1179.
[10] Kuroda, Y., Hara,Y. :Antimutagenic and anticarcinogenic activity of tea polyphenols, Mutat. Res. 436(1999), 69-97.

ABSTRACT

PROTECTIVE EFFECT OF RED WINE ON THE GENOME OF HUMAN LYMPHOCYTES IRRADIATED *IN VITRO*

M.Stanković, G.Joksić
Institute of Nuclear Sciences "Vinča",
Laboratory of molecular biology and endocrinology

The present investigation was undertaken to study the effect of red wine "Cabernet Sauvignon" on the micronuclei formation in human lymphocytes. Blood samples of healthy volunteers wend irradiated in vitro using ^{60}Co as a source of radiation, dose of 2Gy. Irradiated samples, as well as unirradiated controls, were treated with concentration of red wine ranged from 100-500μl/2x10^{6} cells. Obtained results demonstrated significant decrease of the micronuclei frequency (t=9,13; p<0,05) in treated samples versus untreated controls. The results of our study demonstrated radioprotective effect of red wine.

RADIOSENZITIVNOST LIMFOCITA PROFESIONALNO IZLOŽENIH LICA

S. Radovanović, M. Stanković, Ž. Ilić[1], G. Joksić
INN "Vinča",Laboratorija za molekularnu biologiju
i endokrinologiju,
[1]Centar za medicinsku zaštitu

SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati ispitivanja radiosenzitivnosti humanih limfocita nakon ozračivanja in vitro, izvorom γ zračenja (^{60}Co) dozom 2Gy. Analizom su obuhvaćene dve grupe ispitanika: jednu čine lica profesionalno izložena jonizujućem zračenju na ortopedskim odelenjima, a drugu, kontrolnu, zdrave osobe koje profesionalno nisu izložene dejstvu mutagenih agenasa U spontanoj učestalosti mikronukleusa postoji statistički značajna razlika između kontrolne i izložene grupe ($t=-9.84$, $p<0.000$). Za razliku od spontane, učestalost zračenjem indukovanih mikronukleusa ne pokazuje statističku značajnost ($t=0.49$, $p<0.626$). Dobijeni rezultati ukazuju da u uslovima in vivo izloženosti malim dozama jonizujućeg zračenja ne dolazi do indukcije adaptivnog odgovora koji bi se ogledao u povećanoj otpornosti na ozračivanje "challenge" dozom.

UVOD

U svetskim naučnim krugovima već duže vreme traje debata o posledicama po zdravlje ljudi izloženih malim dozama jonizujućeg zračenja. Jedan deo istraživača podržava linearnu “no-treshold” hipotezu, a drugi hipotezu adaptivnog odgovora. Adaptivni odgovor je fenomen prema kome ćelije izložene malim dozama jonizujućeg zračenja (tzv. “adaptivnim” dozama) postaju otporne (manje osetljive) na efekte narednog izlaganja velikim dozama [1]. Hipotezu potkrepljuju eksperimentalni rezultati kao što su smanjenje učestalosti hromozomskih aberacija, mikronukleusa ili mutacija kod ćelija tretiranih na pomenuti način. Fenomen se objašnjava povećanom aktivnošću repera i promenama u nivou nekih citoplazmatskih i jedarnih proteina koji mogu inicirati zadržavanje ćelijskog ciklusa u G_1 fazi, što bi dozvolilo popravku ozleda nanetih jonizujućim zračenjem. Prema podacima iz literature, na indukciju adaptivnog odgovora utiče nekoliko faktora i to: vremenski interval između adaptivne i “challenge” doze, faza ćelijskog ciklusa na kojoj je ćelija izložena adaptivnoj dozi kao i vrsta zračenja (kod zračenja visokog LET-a, fenomen se ne uočava) [2,3]. Rezultati *in vitro* ispitivanja humanih ćelija pokazuju da u pogledu ispoljavanja ovog fenomena možemo razlikovati dve

grupe individua: one kod kojih se indukuje adaptivni odgovor (tzv. “responders”) i individue kod kojih se fenomen ne uočava (tzv. “non-responders”).

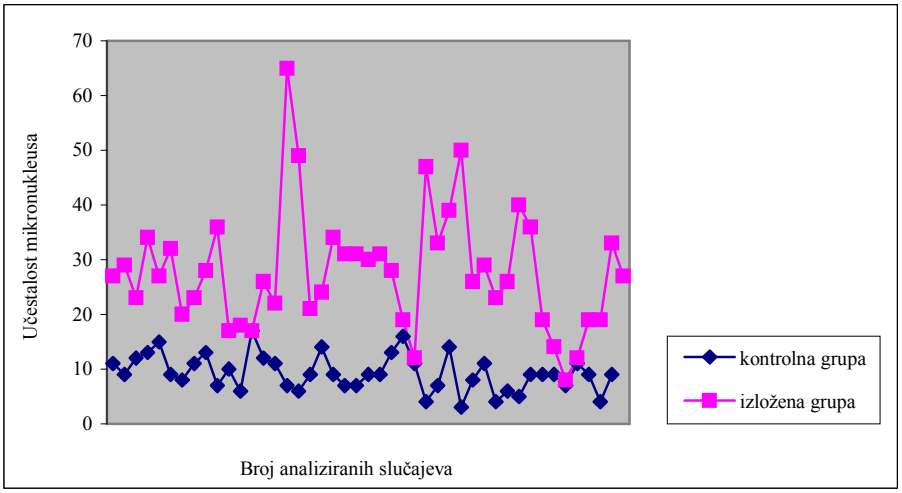
Cilj naših istraživanja je utvrđivanje da li se fenomen adaptivnog odgovora može indukovati u uslovima *in vivo* izloženosti malim dozama jonizujućeg zračenja.

MATERIJAL I METODE

Analizom je obuhvaćeno 45 osoba profesionalno izloženih jonizujućem zračenju, starosne dobi od 35-45 godina. Kontrolnu grupu čine 44 osobe starosti od 30-48 godina koje profesionalno nisu izložene dejstvu poznatih mutagenih agenasa. Za procenu radiosenzitivnosti *in* vitro korišćen je CB mikronukleusni test [4,5,6]. Uzorci heparinizirane krvi svih osoba su podeljeni na alikvote, od kojih je po jedan ozračen izvorom γ zračenja, ^{60}Co, dozom 2 Gy. Svi uzorci su gajeni u hranljivom medijumu za limfocite (RPMI-1640) uz dodatak 15% inaktiviranog telećeg seruma i fitohemaglutinina i inkubirani u termostatu na 37^{0}C 72 časa uz dodatak citohalazina B 48-og sata inkubacije. Preparacija je urađena po preporukama za mikronukleusni test [7,8].

REZULTATI

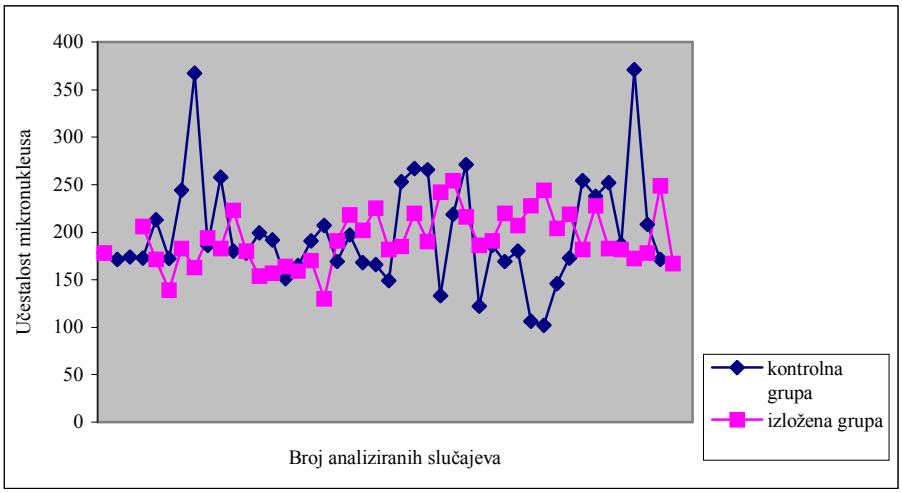
Učestalosti mikronukleusa kod kontrolne i izložene grupe prikazane su na grafiku 1. Prosečna učestalost mikronukleusa kod profesionalno izloženih lica iznosi 28±11, a u kontrolnoj grupi ispitanika 9±3.



Grafik 1. Spontana učestalost mikronukleusa u kontrolnoj i izloženoj grupi

Statističkom analizom dobijenih rezultata (t-testom) utvrđena je statistički visoko značajna razlika u srednjim vrednostima spontanih mikronukleusa između dve

ispitivane grupe (t=-9.84, p<0.000). Prosečna učestalost mikronukleusa indukovanih "challenge" dozom jonizujućeg zračenja u grupi izloženih lica iznosi 194±29, a u kontrolnoj grupi 198±56. Statističkom analizom (t-testom) utvrđeno je da između kontrolne i izložene grupe ispitanika ne postoji statistički značajna razlika u prinosu mikronukleusa indukovanih jonizujućim zračenjem (t=0.49, p<0.626)-grafik 2.



Grafik 2. Prinos mikronukleusa indukovan "challenge" dozom jonizujućeg zračenja u kontrolnoj i izloženoj grupi

DISKUSIJA

Rezultati naših ispitivanja pokazuju da je prosečna učestalost mikronukleusa kod profesionalno izloženih lica trostruko veća (28±11) od vrednosti dobijene za kontrolnu grupu ispitanika (9±3). Povećana učestalost mikronukleusa u limfocitima periferne krvi kod izložene grupe posledica je dejstva jonizujućeg zračenja kojem su ovi ispitanici u toku svog rada izloženi. Podaci iz literature su vrlo kontradiktorni u pogledu efekata malih doza jonizujućeg zračenja na procese repera u humanim ćelijama [9,10]. U grupi profesionalno izloženih lica nismo detektovali značajno smanjenje prinosa mikronukleusa indukovanih "chalenge" dozom jonizujućeg zračenja (t=0.49, p<0.626),što ne potkrepljuje hipotezu adaptivnog odgovora. Može se zaključiti da u uslovima *in vivo* izloženosti malim dozama jonizujućeg zračenja ne dolazi do indukcije adaptivnog odgovora koji bi se manifestovao povećanom otpornošću na ozračivanje "challenge" dozom jonizujućeg zračenja.

LITERATURA

[1] Olivieri, G., Bodycote, J., Wolff, S.: Adaptive response of human lymphocytes to low concentrations of radioactive thymidine, Science, 223, (1984) 594-597.

[2] *Wiencke, J.A., Shadley, J.D., Kelsey, K.T., Kronenberg, A., Little, J.B., Failure of high intensity X-ray treatments or densely ionizing fast neutrons to induce the adaptive response in human lymphocytes, (1987), In: Proc.VIII Internatl. Congr. Radiat. Res., Fielden, E.M., Fowler, J.F., Hendry, J.H., Scott, D. (Eds.), Taylor and Francis, 1, 212.*

[3] Vijayalaxmi, Leal, B.Z., Deahl, T.S., Meltz, M.L.,Variability in adaptive response to low dose radiation in human blood lymphocytes: consistent results from chromosome aberrations and micronuclei, Mutat Res, 348, (1995) 45-50

[4] Joksić, G., Nikolić, M., Spasojević-Tišma, V.: Radiosensitivity of different aged human lymphocytes following electron irradiation in vitro, Neoplasma, 442 (1997), pp. 117-121.

[5] Joksić,G., Spasojević-Tišma, V., Chromosome analysis of lymphocites from radiation workers in tritium-applying industry, Int Arch Occup Environ Health (1998) 71: 213-220

[6] Joksić, G., Petrović-Novak, A., Stanković, M., Kovaćević, M., Radiosensitivity of human lymphocytes *in vitro* correlates more with proliferative ability of cells than with the incidence of radiation-induced damages of the genome, Neoplasma, 46, 1, (1999), 40-46

[7] Countryman, P.J., Heddle, J.A.: The production of micronuclei from chromosome aberrations in irradiated cultures of human lymphocytes, Mutat Res, 41, (1976), 321-332

[8] Fenech, M., Morley, A.A.: Measurement of micronuclei in lymphocytes. Mutat. Res., 147, (1985), 29-36.

[9] Joiner, M.C.: Evidence for induced radioresistance from survival and other end points: an introduction, Radiation Research, 138, (1994), S5-S8.

[10] Shadley, J.D.: Chromosomal adaptive response in human lymphocytes, Radiation Research, 138, (1994), S9-S12.

ABSTRACT

RADIOSENSITIVITY OF LYMPHOCYTES FROM RADIATION WORKERS

S. Radovanović, M. Stanković, Ž. Ilić[1], G. Joksić
"Vinča", Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Molecular Biology and Endocrinology,
[1]Medical Protection Centre

The main purpose of this study was to investigate whether or not low doses of ionizing radiation can induce an adaptive response in the blood lymphocytes from radiation workers.Irradiation of blood samples was performed by the most explored therapeutical gamma dose of 2 Gy (^{60}Co). The induction of micronuclei in circulating lymphocytes was used as indicator of radiation sensitivity *in vitro*. Radiosensitivity was examined in two groups: the first group consists of 45 individuals occupationally exposed to ionizing radiation, and the second-control group consists of 44 healthy individuals occupationally unexposed to known mutagenic agents. The results of our examination demonstrated no statistically significant difference between controls and exposures in the yield of radiation induced micronuclei ($t=0.49$, $p<0.626$). Adaptive response of human blood lymphocytes was not observed.

DENSITY OF RAT LOWER JAW BONE IN FULL DENTAL OCCLUSION AFTER IRRADIATION WITH X-RAYS

M. Demajo, M. Petković[1], O. Ivanisević-Milovanović
INS "Vinča", Laboratory for Molecular Biology and Endocrinology, Belgrade
[1]Institut fűr Medizinische Physik und Biophysik, Medizinische Fakultät,
Universität Leipzig, Germany

ABSTRACT

When the head region of rats is irradiated with a single high dose of X-rays at the age of 8 days and the bone densities of the lower jaws of these rats are measured at the age of 57 days and compared to corresponding lower jaws of nonirradiated rats, in all five regions in which bone density of the lower jaw was measured, the irradiated rats have a higher bone density when compared to the corresponding nonirradiated control animals.

INTRODUCTION

Irradiating the head region of 8-days -old rats with a single high dose of X-rays, leads to retarded jaw growth and undeveloped third molar and roots of the other molars [1, 2], see also Fig.1 and 2 in this report. In our previous reports [3, 4], we showed that at the age of 26 days, the bone densitiy of the irradiated lower jaw bone of irradiated rats is higher in the region of the third molar and capitulum mandibulae-angulus mandibulae as compared to the corresponding nonirradiated controls. At the age of 42 days, the bone density of the irradiated rat was higher only in the region of the third molar as compared to the nonirradiated controls of the same age.
In this study, the bone density of the lower jaw was measured in rats irradiated with a single high dose of X-rays at the age of 8 days and sacrificed at 57 days in order to evaluate and compare the lower jaw bone density of these animals with those of corresponding nonirradiated animals, having in mind that in the nonirradiated controls, at this age, the jaw bones are fully formed, the dentition achieving the characteristic dental formula for the rat (1003/1003), the teeth being in full occlusion.

MATERIALS AND METHODS

The head region of 8-days-old female rats of a Wistar strain were irradiated with a single dose of 9.6 Gy of X-rays. The jaws were after sacrifice at the age of 57 days cleaned of soft tissue and filmed on dental film. The density of the lower jaw bones was determined

by the use of a densitometer (LKB 2222 ultrascan XL). All details of the irradiation procedure and densitometry may be found in reference [3].

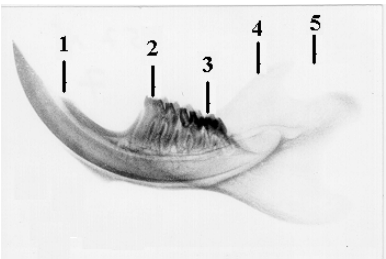


Fig. 1. Position of lanes selected for densitometric analysis of the lower jaw bone.
Jaw of nonirradiated rat aged 57 days shown. (x 1.75)

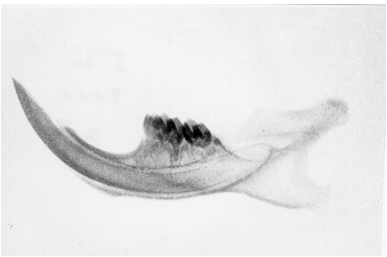


Fig. 2. Lower jaw of rat irradiated at the age of 8 days
and sacrificed at the age of 57 days. (x 1.75)

The lanes scanned for densitometric analysis as shown in Fig.1, may be anatomically defined as:

Lane 1. From the upper incisor alveolus vertically down to the lower edge of the mandibular bone.
Lane 2. From the upper surface of the crown of the first molar vertically down following the mesial root and ending at the lower edge of the mandibular bone.
Lane 3. From the middle of the upper surface of the crown of the third molar vertically down to the lower edge of the mandibular bone.
Lane 4. Vertically through the anterior part of capitulum mandibulae, passing through the odontogenic epithelium of the incisor and ending at the lower edge of the mandibular bone.
Lane 5. Vertically through the region just anteriorly of the capitulum mandibulae and angulus mandibulae.
The Student-t test was used to compare the groups. Level of significance set at $p<0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

From Table 1 it is evident that the masses of the lower jaws of the irradiated rats aged 57 days are significantly lower as compared to the lower jaws of corresponding nonirradiated rats.

Table 1. Masses of lower jaws of control and irradiated rats aged 57 days. (Gr)

Nonirradiated animals	Animals irradiated with 9.6 Gy of X-rays
0.676±0.03 * (10)	0.362±0.03 (6) p<0.0001

*Mean±S.E.M., ( ) No of animals, p-level of significant difference compared to controls.

In Table 2 one may see that in all lanes analysed for lower jaw bone density of the irradiated animals, the bone density is significantly higher as compared to the corresponding nonirradiated controls. (Note that the higher optical density shown, bone density is lower due to the method of density evaluation used in this study).

Table 2. Optical densities of lower jaw bones in specified lanes (relative values)

Lanes for densitometry	Optical density Nonirradiated animals	Optical density Animals irradiated with 9.6 Gy of X-rays
Lane 1.	8.601±0.59* (5)	6.588±0.32 (6) p<0.001
Lane 2.	22.582±0.19 (5)	13.919±1.48 (6) p<0.0001
Lane 3.	18.748±0.14 (5)	12.560±1.07 (6) p<0.001
Lane 4.	13.075±0.09 (5)	7.840±0.74 (6) p<0.001
Lane 5.	9.896±0.28 (5)	4.136±1.08 (6) p<0.00001

*Mean ± S.E.M., ( ) No of animals, p-level of significant difference compared to controls

It is of interest that in the lower jaws of irradiated rats aged 57 days, the bone density is higher in all lanes measured compared to the corresponding nonirradiated controls. In the irradiated rats aged 26 and 42 days, differences in bone densities between the irradiated and nonirradiated animals were not observed in all 5 lanes at the same time [3,4]. One should bear in mind that a dose of 9.6 Gy of X rays applied to the head region of infantile rats reduces for instance selenium concentration in the lower jaw [5] at the age of 42 days. On the other hand, in the case of magnesium, a dose of 8.64 Gy of X-rays even increases the concentration of this element in the lower jaws of irradiated rats in relation to the nonirradiated animals, while a dose of 3.84 Gy reduces magnesium concentration [6]. As we irradiated our animals in this report with a high dose of X-rays, the higher bone density in the irradiated animals may be partly explained by the above mentioned status of magnesium in the lower jaw of animals irradiated with high doses of X-rays. It should be also pointed out that the roots of the molars in the irradiated animals aged 57 days are poorly developed and as seen from Fig. 2, the tissue is more dense in the irradiated animals which also contributes to differences in bone density between the irradiated and nonirradiated animals. One should also mention the fact that irradiating the head region of the animals affects the functioning of the pituitary gland [2] which has an effect on normal growth and development of the bone tissue, in this case, the lower jaw of the irradiated rats.

REFERENCES

[1] Karadzov O., Sedlecki-Gvozdenovic S.D., Demajo M., Milovanovic O.: The effects of X-ray irradiation of the head region of eight-day-old rats on the development of molar and incisor teeth. Strahlentherapie, 161, 448-452, 1985.
[2] Demajo M.: The effect of X-irradiation on the development of rat jaws and tooth tissues. PhD. Thesis, Faculty of Biology, University of Belgrade, 1994.
[3] Demajo M., Petkovic M., Ivanisevic-Milovanovic O.: Densitometry of lower rat jaws irradiated with X-rays. Proceed. Yug. Soc. Radiat. Prot. Tara, 3-5 November 1999, pp.351-354.
[4] Demajo M.A., Petkovic M.Z., Ivanisevic-Milovanovic O.K.: Lower jaw bone density in rats irradiated with X-rays at the age of 8 days. 3rd Int. Yug. Nucl. Soc. Conf. Belgrade, October 2-5, 2000, Book of Abstracts, p. 118/3.
[5] Demajo M., Djujic I., Ivanisevic-Milovanovic O.: Effect of X-rays on selenium content in rat jaws. J. Env. Pathol. Toxicol. and Oncol. Vol. 17. No 3 and 4, 301-304, 1998.
[6] Demajo M., Jozanov-Stankov O., Djermanovic V., Ivanisevic-Milovanovic O.: Concentrations of magnesium (Mg^{2+}) in the lower jaw of rats irradiated with X-rays. Proceed. Magnesium in the environment and in organisms, Serb. Acad. Sci and Arts, pp. 103-110, 1999.

SADRŽAJ

GUSTINA KOSTIJU DONJE VILICE PACOVA
U PUNOJ DENTALNOJ OKLUZIJI
NAKON OZRAČIVANJA SA X-ZRACIMA

M. Demajo, M. Petković[1], O. Ivanišević-Milovanović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Lab. za molekularnu
biologiju i endokrinologiju, Beograd, Jugoslavija
[1]Institut za medicinsku fiziku i biofiziku, Medicinski fakultet,
Univerzitet u Lajpcigu, Nemačka

Kada se region glave 8 dana starih pacova ozrači sa jednokratnom, visokom dozom X-zraka i izmeri gustina kostiju donjih vilica ovih pacova, kod ozračenih životinja u svih pet regiona u kojima je merena gustina kostiju donjih vilica, gustina kostiju je veća u odnosu na kosti neozračenih životinja iste starosti.

EFEKAT γ-ZRAČENJA NA AKTIVNOST SUPEROKSID DISMUTAZA I KATALAZE U HIPOKAMPUSU PACOVA

A. Todorović, J. Kasapović, S. Pejić, S. B. Pajović
Laboratorija za molekularnu biologiju i endokrinologiju, INN "Vinča", Beograd

SADRŽAJ

Uloga antioksidativnih (AO) enzima u radijacionom odgovoru na γ-zračenje ispitivana je u hipokampusu pacova. U ovom radu prikazani su efekti doza od 2 Gy i 3 Gy na aktivnost mitohondrijalne superoksid dismutaze (MnSOD), citosolne superoksid dismutaze (CuZnSOD) i katalaze (CAT), izmerene 24 h nakon ozračivanja. Rezultati pokazuju da doza od 2 Gy γ-zračenja značajno suprimira aktivnost CuZnSOD, dok na aktivnost MnSOD i CAT nema efekta. Aktivnost ovih enzima posle ozračivanja dozom od 3 Gy nije bila značajno promenjena u odnosu na kontrolne vrednosti. S obzirom da se 24 h nakon ozračivanja uočava jedino efekat doze od 2 Gy, neophodna su dalja izučavanja dozne i vremenske zavisnosti aktivnosti AO enzima u radijacionom odgovoru.

UVOD

Izlaganje ćelija jonizujućem zračenju izaziva povećanu produkciju superoksid anjon radikala (O_2^-) i H_2O_2, medijatora mnogih radijacionih oštećenja. Ove reaktivne vrste kiseonika (ROS) indukuju prekide na DNA, lipidnu peroksidaciju i hemijsku modifikaciju proteina, uzrokujući time disfunkciju različitih bioloških molekula. Enzimi AO sistema, SOD i CAT, konvertuju O_2^- i H_2O_2 u netoksične produkte, doprinoseći efikasnoj zaštiti ćelije od radijacionih oštećenja. Ovi enzimi predmet su mnogih istraživanja vezanih za biologiju kancera i radiobiologiju. Poznato je da su uključeni u proces maligne transformacije ćelije i u određenim tipovima kancera mogu se koristiti kao pouzdani dijagnostički i prognostički markeri. Takođe, enzimi AO odbrane uključeni su u mehanizme radiosenzitivnosti, odnosno radiorezistencije u radijacionom odgovoru zdravih i tumorskih ćelija, te su od značaja u ispitivanju radiosenzitizacije u kliničkoj praksi. Pored toga, deo istraživanja usmeren je i na radioprotektivna svojstva AO enzima u cilju zaštite zdravog tkiva od neželjenih efekata indukovanih konvencionalnom radioterapijom.

MATERIJAL I METODE

Eksperimenti su rađeni na ženkama pacova soja Wistar starim 4 dana. Glave životinja ozračivane su snopom γ-zračenja iz izvora ^{60}Co, dozama od 2 Gy i 3 Gy (jačina

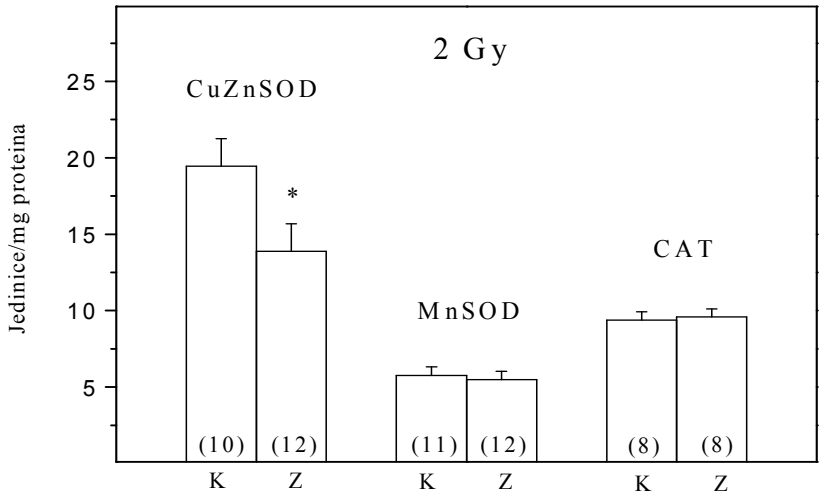
doze 8 Gy/h). Ostatak tela životinje bio je zaštićen olovnom pločom debljine 55 mm. Kontrolne životinje bile su izložene istom eksperimentalnom postupku, osim ozračivanja. Životinje su žrtvovane dekapitacijom 24 h nakon ozračivanja i od 10 pulovanih hipokampusa u 1.5 ml PBS-a pripremani su homogenati. Nakon centrifugiranja od 15 min na 8500 rpm izdvojeni su citosoli u kojima je merena aktivnost SOD metodom Misra i Fridovich-a [1] pre i posle inhibicije CuZnSOD sa KCN [2], i aktivnost CAT metodom Beutler-a [3]. Koncentracija proteina određivana je metodom Lowry-a i sar. [4]. Aktivnost SOD i CAT je izražavana u jedinicama/mg proteina. Jedna jedinica aktivnosti SOD definisana je kao količina proteina koja inhibira 50% auto-oksidacije adrenalina u adrenohrom. Jedna jedinica aktivnosti CAT definisana je kao 1 μmol H_2O_2 koji se razgradi u toku 1 minute. Rezultati su analizirani Studentovim t-testom. Razlike između srednjih vrednosti prihvatane su kao značajne na nivou od 5%.

REZULTATI

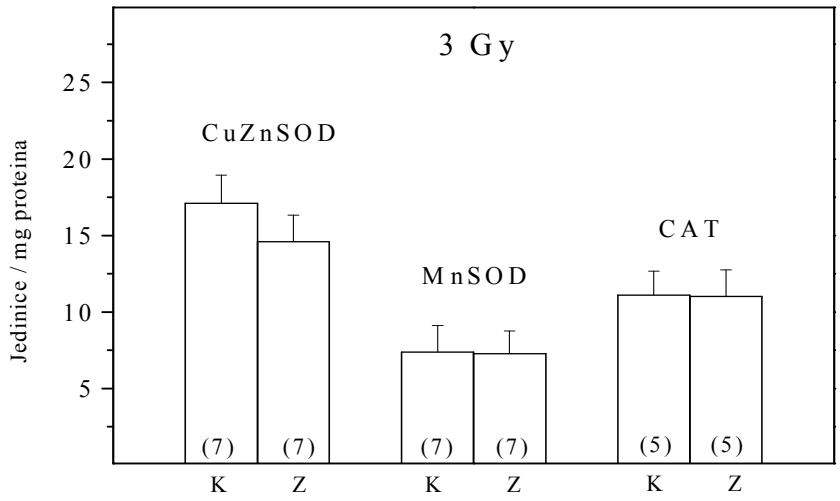
Aktivnost CuZnSOD značajno je snižena nakon ozračivanja dozom od 2 Gy (zračene: 13.9±1.8 vs. kontrolne: 19.5±1.8; t_{20}=2.18, $p<0.05$) i ne menja se značajno posle doze od 3 Gy (zračene: 14.6±1.7 vs. kontrolne: 17.1±1.8; t_{12}=1.00, $p>0.05$), (slika 1 i 2).

Aktivnost MnSOD u hipokampusu ostaje nepromenjena nakon ozračivanja dozom od 2 Gy (zračene: 5.5±0.5 vs. kontrolne: 5.8±0.6; t_{21}=0.33, $p>0.05$), kao i dozom od 3 Gy (zračene: 7.3±1.5 vs. kontrolne: 7.4±1.8; t_{12}=0.05, $p>0.05$), (slika 1 i 2).

Aktivnost CAT takođe ostaje nepromenjena nakon ozračivanja dozom od 2 Gy (zračene: 9.6±0.5 vs. kontrolne: 9.4±0.5; t_{14}=0.28, $p>0.05$), kao i dozom od 3 Gy (zračene: 11.0±1.7 vs. kontrolne: 11.1±1.6; t_8=0.04, $p>0.05$), (slika 1 i 2).



Slika 1. Aktivnost antioksidativnih enzima u hipokampusu pacova
24 h nakon ozračivanja dozom od 2 Gy,
K-kontrolne životinje, Z-ozračene životinje; ( )-broj životinja; *-t-test ($p<0.05$)



Slika 2. Aktivnost antioksidativnih enzima u hipokampusu pacova
24 h nakon ozračivanja dozom od 3 Gy,
K-kontrolne životinje, Z-ozračene životinje; ( )-broj životinja

DISKUSIJA

Naši prethodni rezultati pokazuju da oksidativni stres indukovan radijacijom izaziva promenu aktivnosti SOD koja je specifična za vrstu zračenja i primenjenu dozu. U ćelijama humane krvi ispitivan je dozno-zavisni efekat x- i protonskog zračenja (0.5-4 Gy). Pokazana je inverzna korelacija između učestalosti hromozomskih aberacija indukovanih protonima i aktivnosti obe vrste SOD, dok u slučaju x- zračenja korelacija između ispitivanih parametara nije uočena [5].

Takođe, inverzna korelacija pokazana je između aktivnosti MnSOD i broja mikronukleusa nakon doze od 2 Gy γ-zračenja [6]. Ovi podaci ukazuju na značajnu ulogu SOD, posebno MnSOD u zaštiti DNA od radijacionih oštećenja posredovanih povećanom produkcijom ROS-a. Ispitivanje radijacionog doznog odgovora (1-4 Gy) na zračenje visokog i niskog LET-a pokazalo je da protoni suprimiraju aktivnost SOD na značajno nižim dozama u poređenju sa x- i γ- zračenjem [7].

Aktivnost AO enzima u odgovoru na γ-ozračivanje dozama od 2 i 3 Gy ispitivana je i u korteksu mozga pacova [8]. U korteksu je, kao i u hipokampusu, detektovana supresija aktivnosti CuZnSOD, i to u odgovoru na dozu od 3 Gy, dok doza od 2 Gy nije imala efekta na aktivnost SOD i CAT. Ovi podaci ukazuju na različitu regionalnu anmtioksidativnu osetljivost mozga na zračenje.

S obzirom na specifičnost AO odgovora u pogledu doze i tipa radijacije, kao i vrste tkiva, neophodno je ustanoviti vremensku i doznu zavisnost aktivnosti AO enzima ispitivanjem efekata većeg broja doza u različitim vremenskim intervalima (0 – 24 h) nakon ozračivanja. Ovi podaci bi doprineli boljem razumevanju uloge AO enzima u radijacionom odgovoru, što bi omogućilo njihovu primenu u kliničkoj praksi u okviru predikcionih i radioprotektivnih metoda.

LITERATURA

[1] Misra, H.P. and Fridovich, I. (1972): The role of superoxide anion in the autooxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. J. Biol.Chem. 247, 3170-3175

[2] Geller, B.L. and Winge, D.R. (1983): A method for distinguishing Cu,Zn- and Mn-containing superoxide dismutases. Anal. Biochem. 128, 86-92

[3] Beutler E. (1982): Catalase, In: Red Cell Metabolism, a Manual of Biochemical Methods, E. Beutler (ed.) Grune and Stratton, New York, 105-106

[4] Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J.J. (1951): Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193, 265-275

[5] G. Joksić, S.B. Pajović, M. Stanković, S. Pejć, J. Kasapovićć, G. Cuttone, N. Calonghi, L. Masotti, D. T. Kanazir (2000): Chromosome aberrations, micronuclei, and activity of superoxide dismutases in human lymphocytes after irradiation in vitro, Cell Molec Life Sci 57, 842-850

[6] Pajović B.Snežana, Joksić Gordana, Kasapović Jelena, Pejić Snežana, Kanazir T. Dušan (2000): Role of antioxidant enzymes in radiosensitivity of human blood cells. J Environ Pathol Toxicol Oncol 19, 325-331

[7] S.B. Pajović, G. Joksić, S. Pejić, J. Kasapović, G. Cuttone, L. Masotti (2001): Antioxidant dose response in human blood cells exposed to different types of irradiation. The Sciences (in press)

[8] A. Todorović, J. Kasapović, S. Pejić, S.B.Pajović (2001): Antioxidant radiation response in rat brain after exposure to γ-rays. 31st Annual Meeting of the Europian Society for Radiation Biology (ESRB), Dresden, Germany, September 1-5, Book of Abstracts, (in press)

ABSTRACT

EFFECTS OF γ-RADIATION ON SUPEROXIDE DISMUTASE AND CATALASE ACTIVITIES IN HIPPOCAMPUS OF RATS

A. Todorović, J. Kasapović, S. Pejić, S. B. Pajović
Laboratory for Molecular Biology and Endocrinology,
"Vinča" Institute for Nuclear Sciences, Belgrade

The role of antioxidative (AO) enzymes in γ-radiation response was investigated in rat hippocampus. Dose effects of 2 Gy and 3 Gy on mitochondrial superoxide dismutase (MnSOD), cytosol superoxide dismutase (CuZnSOD) and catalase (CAT) activities, measured 24h after irradiation were presented in this work. The results show that dose of 2 Gy of γ-radiation significantly suppressed CuZnSOD activity, while it had no effect on MnSOD and CAT activities. The activity of these enzymes after irradiation with 3 Gy was not significantly changed in comparison to control values. Since only the effect of 2 Gy was observed 24 h after irradiation, further investigation of dose- and time- dependence of antioxidant radiation response is necessary.

UČESTALOST MIKRONUKLEUSA (MN) KOD LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH RADIONUKLIDIMA

D. Jovičić, S. Milačić, R. Kovačević,
M. Pavlović, I. Rajačić, I. Knežević
Klinički centar Srbije, Institut za medicinu rada
i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", Beograd

SADRŽAJ

U ovom radu prikazane su mogućnosti za procenu radijacionih oštećenja pri ekspoziciji radionuklidima. Genetički monitoring sproveden je CB (citohalazin-blok) mikronukleus testom kod ispitanika koji rade sa otvorenim izvorima zračenja (nuklearna medicina). Ispitivanjem je pored izložene obuhvaćena i kontrolna grupa ispitanika. Prosečna učestalost mikronukleusa (MN) na 1000 CB ćelija u grupi ispitanika koji su bili izloženi radionuklidima, iznosila je 13,7±1,5 , dok je u kontrolnoj grupi prosečna učestalost MN po binuklearnoj ćeliji iznosila 6,0±0,6. Prilikom poređenja eksponirane i kontrolne grupe konstatovano je da između ove dve grupe postoji statistički značajna razlika u broju MN ($p<0,05$). Rezultati istraživanja su pokazali da broj MN kod izloženih osoba pozitivno korelira sa dužinom ekspozicionog radnog staža (R= 0,290).

Nastale promene u genetičkom materijalu ispitanika izložene grupe mogu se dovesti u vezu sa ekspozicijom jonizujućem zračenju, neadekvetnim merama zaštite, slabom edukacijom osoblja, individualnom osetljivošću na zračenje.

UVOD

Nesumnjvo je dokazano, da jonizujuća zračenja indukuju određene promene u hemijskim konstituentima ćelije. Osetljivost ćelija na zračenje je različita i značajno je zavisna od vrste, starosti, stepena diferentovanosti, metabolizma i intenziteta deobnih procesa. Najviši stepen osetljivosti na zračenje od svih ćelijskih konstituenata, pokazuje DNK. Da li će zračenje izazvati smrt ćelije, ili ce zaustaviti proces obnavljanja ćelijskog ciklusa, zavisi od faze mitoze u kojoj je došlo do ozračivanja. Ako je do toga došlo u poznoj profazi, mitoza će se nastaviti i obaviti bez poremećaja.

Zračenje ne uspostavlja nove funkcije. Ono menja postojeće, ili u krajnjem slučaju, čini da se ispolje neka svojstva, koja su ranije bila latentna. Kod ozračenja malim dozama utvrđena je linearno kvadratna zavisnost hromozomskih aberacija od primljene doze. Pri istoj dozi velike su razlike u efikasnosti između zračenja visokog i niskog LET-a.

Pored zračenja, do razvoja hromozomskih aberacija mogu dovesti razne hemijske supstance, virusi, nagle promene temperature i drugo. Ispitivanje hromozomskih promena može se izvršiti u svim ćelijama u proliferaciji, ali se T–limfociti periferne krvi

smatraju najpodesnijim. Oni su najdostupniji, nalaze se u presintetskoj fazi ćelijskog ciklusa (G_0 ili mirujućoj G_1 fazi), uglavnom su dugoživeće ćelije koje poseduju sposobnost recirkulacije, te se smatraju idealnim biološkim dozimetrom. Da bi se povećala pouzdanost rezultata kod profesionalne ekspozicije, vezane za male doze zračenja, pored analize hromozomskih aberacija, radi se i analiza mikronukleusa binuklearnih limfoblasta CB (citohalazin blok) metodom. Mikronukleus–test se zasniva na analizi broja ekstranuklearnih telašaca u ćelijskoj citoplazmi. Mikronukleusi predstavljaju posledicu citogenetskih oštećenja, a potiču od celih hromozoma zaostalih u anafazi, ili od acentričnih hromozomskih fragmenata. Ono što ovu metodu čini naročito pogodnom je što se iz jednog uzorka može analizirati više hiljada limfoblasta, a samim tim se može dobiti objektivnija slika radiobioloških oštećenja kod interne kontaminacije radionuklidima.

Profesionalna ekspozicija je posebno delikatna zbog hroničnog izlaganja malim dozama jonizujućeg zračenja, gde je zbog kumulativnog efekta zračenja važno sagledati biološki odgovor organizma na date uslove ekspozicije. Od svih radnika profesionalno izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja, radnici koji rade sa otvorenim izvorima zračenja-radionuklidima imaju najveći procenat lica sa povećanom učestalošću hromozomskih aberacija. Kod ovih ispitanika često nije dovoljna analiza 200 ćelija po osobi, pa je u tom pogledu analiza mikronukleusa najbolje rešenje jer se, kako je već istaknuto, može analizirati više hiljada ćelija.

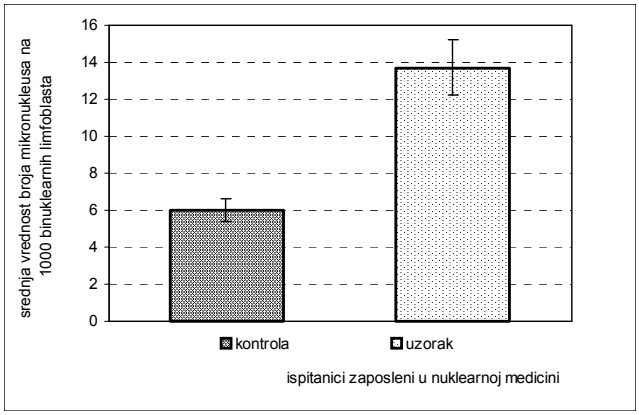
MATERIJAL I METODE

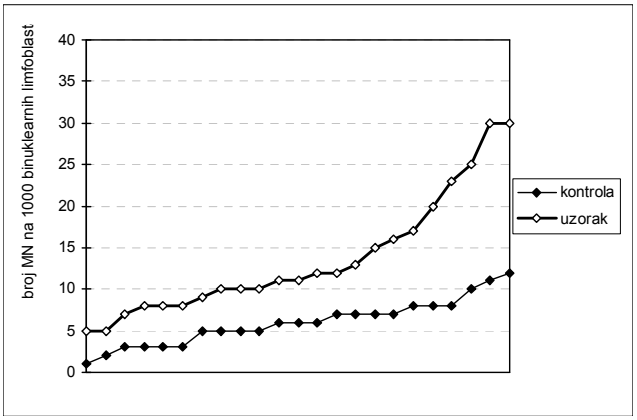
Analiza je obuhvatila 23 osobe koje su bile profesionalno eksponirane radionuklidima (20 osoba ženskog pola i 3 osobe muškog pola). Starost ispitanika se kretala od 23–54 godine, a ekspozicioni radni staž je bio od 1–26 godina. Kontrolna grupa obuhvatila je 23 osobe muškog pola koje nisu bile izložene delovanju genotoksičnih agenasa. Starosna struktura ovih ispitanika se kretala od 24–51 godine. Za CB mikronukleusni-test [1] postave se kulture limfocita kao za konvenconalnu citogenetsku metodu. Posle 44-tog sata inkubacije kulturama se dodaje 0,1 ml rastvora citohalazina B. Zatim se nastavi sa inkubacijom kultura još 24 sata. Nakon toga sledi preparacija kultura koja se sastoji u ispiranju fiziološkim rastvorom, a nakon toga se kulture tretiraju hladnim hipotoničnim rastvorom (0,56% KCl). Posle toga sledi fiksacija metanolom i sirćetnom kiselinom u promeru 3:1. Zatim se u svaku kulturu doda po 50µl formaldehida. Fiksiranje kultura se ponovi nekoliko puta, nakon čega se prave preparati stavljanjem ćelijske suspenzije na predmetno staklo. Preparati se boje u 2% Gimza boji, isperu u destilovanoj vodi i suše na vazduhu.

REZULTATI I DISKUSIJA

Razultati ispitivanja učestalosti mikronukleusa prikazani su na graficima 1 i 2. Kod ispitanika izloženih radionuklidima prosečna učestalost MN na 1000 CB ćelija je bila 13,7±1,5, što je u saglasnosti sa literaturnim podacima [2]. Broj MN na 1000 CB ćelija je iznosio od 5 do 30. Kod dva ispitanika učestalost MN na 1000 CB ćelija je bila 15, a kod šest se kretala od 17 do 30. Kod 16 osoba distribucija mikronukleusa se kretala od 1 do 2 mikronukleusa po binuklearnoj ćeliji, dok je sedam ispitanika imalo limfoblaste sa 3 mikronukleusa. Naši rezultati ukazuju da je samo jedan ispitanik imao limfoblast sa 4

mikronukleusa. MN se javljaju i kod neeksponiranih osoba sa učestalošću od 0 do 15 na 1000 CB ćelija i delimično zavise od starosti osobe i njenih navika, naročito pušenja. U kontrolnoj grupi prosečna učestalost MN na 1000 CB ćelija iznosila je 6,0±0,6, a distribucija MN je kod većine ispitanika bila 1 mikronukleus po binuklearnoj ćeliji. Nema nikakve sumnje u komparabilnost literaturnih podataka [3, 4] i naših rezultata. Na osnovu iznetih podataka, iz grafika 1 se vidi da je učestalost mikronukleusa u eksponiranoj grupi mnogo veća nego u grupi ispitanika koji nisu bili izloženi genotoksicnim agensima. Razlika u učestalosti MN izložene i kontrolne grupe prikazana je na grafiku 2. Poređenjem kontrolne i eksponirane grupe nađena statistički značajna razlika u broju MN ($p<0,05$). Pored navedenih podataka konstatovali smo da broj mikronukleusa kod eksponiranih ispitanika pozitivno korelira sa dužinom ekspoziconog radnog staža ($R = 0,290$).





Grafik 1 i 2. Učestalost MN kod ispitanika zaposlenih u nuklearnoj medicini

ZAKLJUČAK

Analiziranjem podataka u ovom radu mogu se doneti validni odgovori na prvobitno postavljene ciljeve u ovom radu. Prezentovani podaci bezrezervno ukazuju na povećanje učestalosti mikronukleusa u grupi profesionalno izloženih lica usled ekspozicije radionuklidima kojima su ovi ispitanici izloženi. Mikronukleus test je veoma važan biološki marker u proceni izloženosti malim dozama jonizujućeg zračenja. Da bi se povećala njegova preciznost na malim dozama, neophodno je da se koristi u kombinaciji sa fluorescentnom in situ hibridizacijom (FISH)[5].

Obzirom na iznete činjenice, ne smemo zaboraviti da je neophodna odgovarajuća edukacija i adekvatna zaštita od zračenja, koja je najbolja prevencija kako za rane poremećaje tako i kasne posledice uticaja zračenja na čoveka.

LITERATURA

[1] Fenech M ,Morley A.A. Measurement of micronuclei in lzmphocytes.Mutation Res.147, –36.

[2] Tung –Kwang Lee, Wiley L, Ensinhart J,Blackburn L. (1994) Radiation Dose – Dependent Variations of Micronuclei Production in Citochalasin B- Blocked Human Lymphocytes.Terat.Carcin.MUT. Vol (14)

[3] Nikolić M, Joksić G. (1997) Učestalost mikronukleusa u humanim limfocitima osoba kod profesionalno eksponiranih radionuklidima. Zbornik radova.XIX jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja. 18 – 20 juna. Golubac, 265–268.

[4] DiGeorgio M, Nasazzi N, Heredia LM. (1996) Influence of Age, "Sex and Life Style Factors on the Spontaneous and Radiation Induced Micronuclei Frequences ".Proceedings of Ninth International Congress of the International Radiation Protection Association: 14 –19, april Vienna, 1996 Vol (3) 89–91.

[5] Joksić G, Petrović-Novak A. (1999) Procena genotoksičnosti jonizujućeg zračenja FISH-mikronukleus testom. Zbornik radova XX simpozijuma JDZZ. Tara, 307-311

ABSTRACT

THE INCIDENCE OF MICRONUCLEI (MN) IN SUBJECTS OCUPPATIONALLY EXPOSED TO RADIONUCLIDES

D. Jovičić, S. Milačić,R. Kovačević, M. Pavlović, I. Rajačić, I. Knežević
CCS, Institute of Occupational Medicine and Radiological Protection, Belgrade

This study presents possibilities for evaluation of radiation lesions induced by exposure to radionuclides. Genetic monitoring was conducted by CB micronucleus test in subjects working with open source of radiation (nuclear medicine). The study comprised two groups of subjects: one was composed of subjects occupationally exposed to radionuclides, and to controls were those free from exposure to mutagenic agents The average incidence of number of micronuclei (MN) per 1000 CB cells in the exposed subjects was 13.7±1.5, while the respective value was 6.0±0.6 in controls. Comparison of the exposed and control groups revealed significant difference ($p<0.05$) between them. The results have also shown that the MN count in the exposed subjects correlated with duration of exposure ($R=0.290$) positively. The changes in the genetic material of occupationally exposed subjects, can be correlated with exposure to ionizing radiation, inadequate occupational protection, poor education and individual sensitivity to radiation.

BIOLOŠKE METODE U DETEKCIJI KLASTOGENIH EFEKATA U LICA PROFESIONALNO EKSPONIRANIH DEJSTVU RADIONUKLIDA

D. Mirković, S. Tomanović, B. Đurović,
M. Mišović, Z. Bošković
Institut za medicinu rada, Zavoda za preventivnu medicinu, VMA

SADRŽAJ

Među osobama profesionalno eksponiranim jonizujućim zračenjima u zdravstvu, smatra se da su najvećem radijacionom riziku izložena lica zaposlena u nuklearnoj medicini jer su u direktnom kontaktu sa otvorenim izvorima zračenja. Cilj rada je bio da se prikažu rezultati fizičkih i bioloških metoda detekcije klastogenih efekata dejstva radionuklida kod zaposlenih u Institutu za nuklearnu medicinu. Kao što je i očekivano, konstatovano je povećano prisustvo učestalosti hromozomskih aberacija (16.67%) kod ispitanika.

UVOD

Lica profesionalno eksponirana jonizujućim zračenjima čine 0.45 % populacije i ovu grupu dobrim delom obuhvataju zdravstveni radnici koji svakodnevno u dijagnostičke i terapeutske svrhe koriste izvore jonizujućih zračenja. Najvećem radijacionom riziku su izložena lica zaposlena u nuklearnoj medicini, što je i očekivano obzirom da se radi o otvorenim izvorima jonizujućih zračenja. Posledica primene ovih izvora je spoljašnja i unutrašnja kontaminacija. Ovi uslovi rada iziskuju kontinuiranu kontrolu lične dozimetrije i zakonom propisan zdravstveni nadzor zaposlenih, koji između ostalog uključuje i citogenetske analize učestalosti hromozomskih aberacija i mikronukleus test[1].

Zbog velikih razlika u individualnoj osetljivosti nezamenljiv dodatak metodama fizičke dozimetrije predstavlja biodozimetrija. Biodozimetrija je zasnovana na činjenici da se biološki odgovor ćelije in vitro na delovanje jonizujućih zračenja poklapa sa in vivo biološkim odgovorom. Jonizujuća zračenja u živoj materiji izazivaju određene radiobiološke efekte čiji stepen zavisi kako od absorbovane doze, tako i od radioosetljivosti izloženog tkiva.

Kao jedan od najagresivnijih fizičkih agenasa, jonizujuća zračenja deluju direktno na esencijalni biološki supstrat, nosioca naslednih informacija-molekul DNK, izazivajući promene hromozomskih figura koje se mogu mikroskopski detektovati, a koje nisu zastupljene u normalnom humanom kariotipu. Nastale promene se iskazuju kao promene u broju i kao promene strukture hromozoma[2].

Cilj rada je da se prikažu rezultati fizičkih i bioloških metoda detekcije klastogenih efekata dejstva radionuklida kod zaposlenih u Institutu za nuklearnu medicinu.

MATERIJAL I METODE

Zaposleni u Institutu u cilju kontrole ekspozicije, nose kalibrisane termoluminiscentne dozimetre, tip CaF_2:Mn, tkivu neekvivalentne. Lični dozimetri su kalibrisani i verifikovani preko SZDM.

Hromozomske aberacije se sa velikom sigurnošću mogu mikroskopski analizirati u kulturi stimulisanih limfocita periferne krvi. Kultivacija traje 45 sati, uz PHA kada se dodaje citostatik i nastavlja kultivacija do 48 časova. Kultura tada podleže tretmanu preparacije. Nakon sušenja preparati se boje 3% rastvorom po Gimsa-i nakon čega se mikroskopski posmatraju oblici hromozomskih figura 200 ćelija u metafazi mitoze[3]. Nalaz dicentričnog hromozoma uz acentrični fragment ukazuje na povećanu učestalost hromozomskih aberacija.

REZULTATI I DISKUSIJA

Obrađene su 24 osobe u profesionalnom radu sa otvorenim izvorima zračenja, 7 lekara, fizičar, biolog, 12 medicinskih tehničara, 2 perača laboratorijskog posuđa i 1 administrator, sa prosečnom profesionalnom ekspozicijom 10.2 godine.

Na osnovu analize ličnih kartona doza ozračenja utvrđeno je da su radnici INM primili prosečnu pojedinačnu dozu od 1.32±1.19 mSv godišnje (od 0.32-3.74 mSv). Iz rezultata se vidi da su najvećim dozama zračenja izloženi radnici pri uzimanju radioaktivnog materijala iz kontejnera i pri merenju radioaktivnosti na kalibratoru doza. Na drugom mestu su tehničari pri pripremi rastvora, merenju aktivnosti na kalibratoru doza i aplikaciji doza. Navedene vrednosti ne prelaze propisane granične vrednosti za profesionalnu ekspoziciju (20mSv) [4].

Od ukupnog broja pacijenata, kod njih četvoro (16,67%) uočena je povećana učestalost hromozomskih aberacija. Kod ovih osoba nije bilo neprofesionalne ekspozicije. Kod malih doza prisutna je povezanost malih doza i tipa, tj. vrste hromozomskih aberacija. Najčešće su aberacije tipa asimetrične inter- i intra-izmene (dicentrik i "ring" hromozom), koje se analiziraju sa najviše uspeha, te se kao takve koriste za procenu apsorbovane doze.

Kod jednog fizičara u kariotipu su viđene stabilne i nestabilne strukturne promene (dicentrični hromozom i translokacija), dok su kod dva medicinska tehničara viđene nestabilne hromozomske aberacije (dicentrični hromozom). Stabilne hromozomske aberacije tipa translokacija viđene su kod jednog perača laboratorijskog posuđa.

Tabela 1. Učestanost različitih tipova hromozomskih aberacija kod ispitanika

Zanimanje	Broj ispitanika sa:		
	dicentrični hromozom	acentrični fragment	translokacija
lekari, fizičar, biolog	1 (4.35%)	/ (0%)	1 (4.35%)
medicinski tehničari	2 (8.70%)	/ (0%)	/ (0%)
perači lab. posuđa	/ (0%)	/ (0%)	1 (50%)

Kao što je i očekivano, kod zaposlenih na ovom Institutu uočeno je prisustvo hromozomskih aberacija, koje se javljaju kao posledica izloženosti ispitanika jonizujućim zračenjima iz otvorenih izvora.

Vidljivo je da su češće zastupljene nestabilne aberacije koje se sa uspehom repariraju već posle nekoliko meseci. Pošto se kod ekponiranih primljene doze veoma malo razlikuju, razlike u nalazu tumače se značajnim odstupanjem u individualnoj osetljivosti, a naročito u efikasnosti DNK-reparativnih procesa.

ZAKLJUČAK

Fizička dozimetrijska kontrola i biomedicinski monitoring značajni su faktori u prevenciji radijacionih oštećenja. Kod eksponiranih radnika Instituta nuklearne medicine uočena je povećana učestalost hromozomskih aberacija, ali je visok kvalitet radiološke zaštite rezultirao znatno manjim brojem promena u odnosu na druge ustanove u našoj zemlji. Radijacioni rizik za nastanak uočenih promena može se dodatno smanjiti redovnom primenom svih raspoloživih sredstava lične zaštite.

LITERATURA

[1] Ilić Ž., Košutić D., Ciraj O. Promene u leukocitarnoj formuli kod profesionalno eksponiranih lica. Zbornik radova. XIX Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja. 277-281.

[2] Kljajić R. Biološki efekti jonizujućih zračenja. Zbornik radova. XIX Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja. 241-256.

[3] Moorhaed P.S: et all. Chromosome preparation of leukocytes cultured from human peripheral blood. Exp. cell. RES, 20: 613-616.

[4] Đurović B. Komparativna studija efekata malih doza jonizujućeg zračenja nastalih u profesionalnoj ekspoziciji medicinskih radnika otvorenim i zatvorenim izvorima jonizujućeg zračenja. Magistarski rad. Vojnomedicinska akademija, Beograd, 1997

[5] Marković B., Joksić G. Hromozomske aberacije u uslovima profesionalne ekspozicije jonizujućem zračenju. U: Zborniku XVI Jugoslovenskog simpozijuma o zaštiti od zračenja; 1991: 410-413.

ABSTRACT

BIOLOGICAL METHODS FOR CLASTOGENIC EFFECTS DETECTION IN PERSONS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO RADIONUCLIDES

D. Mirković, S. Tomanović, B. Đurović, M. Mišović, Z. Bošković
Institute of Occupational Health, Military Medical Academy, Belgrade

Nuclear medicine medical staff have the higher radiation risk due to their direct contact with radionuclides.

The aim of this paper was to show the results of physical and biological methods for clastogenic effects detection in persons occupationally exposed to radionuclides.

The results showed that chromosome aberrations frequency were increased for nuclear medicine staff (16,67%), but lower then in other Yugoslav hospitals. We considered this as a radiation protection measurements consequence. We also belive that radiation risk could be decreased in regulary using radiation protection equpement.

BIOLOŠKI ODZIV ORGANIZMA PROFESIONALNO IZLOŽENOG NISKIM DOZAMA X–ZRAČENJA

Ž. Ilić, V. Spasojević, O. Ciraj[1], G. Joksić [2]
Institut za nuklearne nauke Vinča, Medicinska zaštita,
[1]Laboratorija "Zaštita",
[2]Laboratorija za molekularnu biologiju i endikrinologiju

SADRŽAJ

Najveći broj profesionalno izloženih lica radi u zoni gde su doze u nivou dozvoljenih, dok se samo manja grupa od oko 4% profesionalaca izvodeći interventne tehnike izlaže dodatnom riziku prekoračenja dozvoljenih doza. Ovoj grupi pripadaju i profesionalno izložena lica iz oblasti interventne ortopedske radiologije. Dozimerijska merenja u Institutu za ortopedske bolesti na Banjici pokazala su da se jačina kerme u vazduhu u salama za interventne radiološke intervencije kreće i do 700 mGy/s. Očitavanjem TLD nalazimo prosečne pojedinačne mesečne doze u ortopedskom timu profesionalno izloženih lica od 0,53 mSv do 0,81 mSv za sestre instrumentarke, dok najviše pojedinačne godišnje doze primaju opet sestre instrumentarke i one iznose 22, 58 mSv , prekoračujući dozvoljenu dozu od 20 mSv. Ove doze desetostruko su više od doza izmerenih u kontrolnoj grupi. Sve ukazuje na to da interventne metode moraju biti strogo indikovane, uz obaveznu primenu ličnih zaštitnih sredstava (od kecelje do paravana), obavezno nošenje i redovnu kontrolu dozimetara, i redovne zdravstvene kontrole prema važećim zakonskim propisima.

UVOD

Trećina ukupne doze za stanovništvo pripada primeni jonizujućih zračenja u medicini. Posebno mesto tu pripada licima profesionalno izloženim jonizujućim zračenjima, koja ih primenjuju u dijagnostičke ili terapeutske svrhe. Najinteresantniju grupu među njima čine profesionalci iz oblasti interventne radiologije u ortopediji i kardiologiji, zbog specifičnosti profesionalnog izlaganja jonizujućim zračenjima. Za razliku od standardne primene dijagnostičkih procedura u radiologiji, gde je na polju zaštite profesionalno izloženih lica učinjeno veoma mnogo i profesionalni rizik sveden na minimum, u oblasti interventne radiologije zaštita se nalazi na veoma niskom nivou, uz visok rizik od nekontrolisanog izlaganja zračenju ove grupe profesionalaca.

CILJ RADA

Uvođenje interventne radiologije u ortopedsko- hiruršku praksu širom je otvorilo vrata unapređenju dijagnostike i terapije, omogućujući efikasniju sanaciju fraktura, tumora, implantaciju fiksatora i slično. Doza koja prati ovakve manipulacije, kao i njeni radiobiološki efekti u profesionalno izloženih lica, predmet su ovog istraživanja. Cilj rada je na bazi izmerenih vrednosti doza profesionalno izloženih lica, analize bioloških pokazatelja (hematoloških i biodozimetrijskih, pre svega učestalosti hromozomskih aberacija- CA), izvrši procena radijacionog rizika, odnosno verovatnoća zdravstvenog oštećenja profesionalno izloženih lica i na osnovu toga predlože konkretne mere zaštite.

METODOLOGIJA RADA

Ispitivanje je rađeno u dve grupe od po dvadesetpet ispitanika, i to u grupi profesionalno izloženih lica uiz Ortopedske bolnice na Banjici i kontrolnoj grupi profesionalaca iz klasične radiološke službe Instituta za majku i dete na Novom Beogradu.

Za merenje rasejanog zračenja za rendgen- aparat tipa SuperX- 1250 korištena je PTW jonizaciona komora sa greškom ispod 3% (Laboratorija Zaštita). Pojedinačne efektivne doze očitane su sa individualnih TL- dozimetara na čitaču iste Laboratorije.

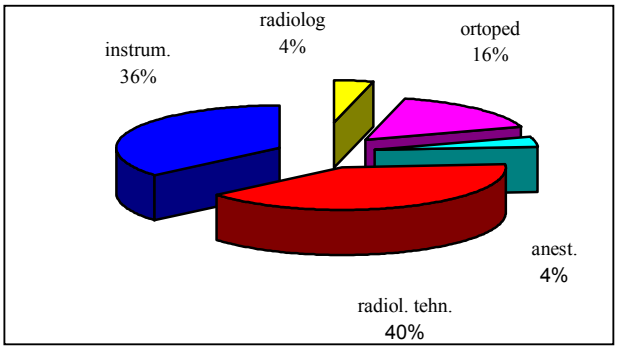
Medicinski deo istraživanja obuhvatio je laboratorijske analize iz uzoraka krvi ispitanika(ukupan broj leukocita i leukocitna formula, analizu hromozomskih aberacija - CA (rađeno modifikovanom Moorhaed-ovom miktometodom iz limfocita periferne krvi i klasičnom citogenetskom tehnikom-analiza 200 metafaza po ispitaniku. Kulture ćelija kultivisane su u medijumu RPMI, uz dodatak 0,1% hemaglutinina, inkubirane 48h na 37^0 C),dok je u okviru klasičnog kliničkog pregleda uzeta detaljnom lična i porodična anamneza, fokusirana na pojavu malignih i hereditarniih oboljenja u ispitanika i njihovih porodica. Iz porodične anamneze ispitanika dobijeni su podaci o incidenci malignih oboljenja u porodicama ispitanika, a od samih ispitanika nije dobijena pozitivna anamneza na pojavu malignih oboljenja. Dobijeni podaci za ispitivanu grupu poređeni su sa podacima kontrolne grupe, svi podaci su statistički obrađeni .

REZULTATI RADA

Istraživanje je obuhvatilo grupu od ukupno 25 zaposlenih u Institutu za ortopedsko- hirurške bolesti Banjica, profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima na poslovima interventne radiologije u ortopediji, od čega 10 žena i 15 muškaraca.

Kontrolnu grupu čini 25 zaposlenih na Instututu za majku i dete na Novom Beogradu, profesionalno izloženih jonizujućim zračenjima na poslovima klasične radiologije, i to 11 žena i 14 muškaraca. Odnos polova u obe grupe, ispitivanoj i kontrolnoj približno isti, što se odnosi i na njihovu starosnu strukturu. Prosečna starost ispitanika je 33,6 godina, i to prosečna starost žena 35,8 godina, a prosečna starost muškaraca 32,8 godina. Ovo je veoma jznačajno se zna da je ovo najfertilniji period života u kome se stvara potomstvo. U kontrolnoj grupi prosečna starost ispitanika je 43,4 godine, i to žena 43,9 godina, a muškaraca 39,7. Struktura ispitanika prema zanimanju, obuhvata od ukupno 25 ispitanika, 6 lekara, 10 radioloških tehničara, i 9 sestara instrumentarki (Grafik 1)

Grafik 1: Struktura ispitanika prema zanimanju



Struktura ispitanika kontrolne grupe prema zanimanju prati navedeno, pa tako od ukupno 25 ispitanika imamo 7 lekara, 12 radioloških tehničara i 6 medicinskih tehničara.

Posmatrajući ispitanike prema dužini profesionalne ekspozicije odnosno ekspozicionog radnog staža, vinajbrojniji su oni sa svega do deset godina ERS, njih ukupno 14 ili 56% ukupno ispitanih, što je veoma značajno, ako se uzme u obzir očekivani visoki fertilitet ove grupe ispitanika.

Podaci o ličnoj dozimetriji, očitani sa TL- dozimetara pokazuju da, najviše pojedinačne mesečne doze u interventnoj ortopedskoj radiologiji primaju radiološki tehničari i sestre instrumentarke (Tabela 1).

Tabela 1: Prikaz prosečnih pojedinačnih mesečnih doza za ispitanike prema zanimanju

zanimanje	1 lekar radiolog	2 lekar anesteziolog	3 lekar ortoped	4 radiološki tehničar	5 sestra instrument.
doza u mSv	0,53	0,60	0,71	0,77	0,81

Distribucija doza pokazuje da su najviše prosečne pojedinačne doze u grupi sestara instrumentarki i iznose prosečno 8,95 mSv, a najniže u grupi lekara radiologa, i iznose 5, 90 mSv. Godišnje doze pokazuju da lekar ortoped prima prosečno 7,90 mSv godišnje. Ovakav odnos doza može se objasniti mestom i položajem koji ova profesionalno izložena lica zauzimaju u odnosu na izvor jonizujućih zračenja. Naime, položaj koji sestra instrumentarka zauzima u toku intervencije, uzrok je ovako visoke prosečne godišnje doze (Tabela 2).

Tabela 2: Prikaz najviših pojedinačnih godišnjih doza za ispitanike prema zanimanju

zanimanje	lekar radiolog	lekar anesteziolog	lekar ortoped	radiološki tehničar	sestra instrument.
doza u mSv	10,40	14,48	18,60	21,22	22,58

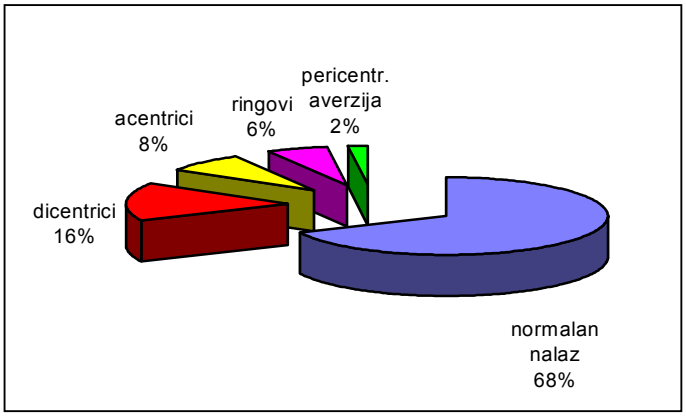
Najviše pojedinačne primljene doze su u grupi sestara instrumentarki i radioloških tehničara,i prelaze dozvoljenu dozu od 20 mSv godišnje za profesionaIno izložena lica prema ICRP-u 60, ali ne i maksimalno dozvoljenu dozu od 50 mSv. Indirektnu dozimetrijske procenu dobijamo iz hematoloških podataka, gde se najčešći patološki nalaz odnosi na leukocitozu (6 slučajeva) i limfocitozu (5 slučajeva),i to najčešće kod radioloških tehničara i lekara radiologa(Tabela 3).

Tabela 3: Normalni i patološki nalaz u leukocitnoj formuli
u ispitanika prema zanimanju

zanimanje ispitanika	tip ćelije bele loze						broj ukupno ispitanih
	leukociti		neut. gran.		Limfocit		
	norm	pat	norm	pat	norm	pat	
lekar radiolog	0	1	0	0	0	0	1
lekar ortoped	3	1	4	0	2	2	4
lekar anesteziolog	1	0	0	0	0	0	1
radiološki tehničar	7	3	10	0	7	3	10
med. tehničar	8	1	8	1	9	0	9

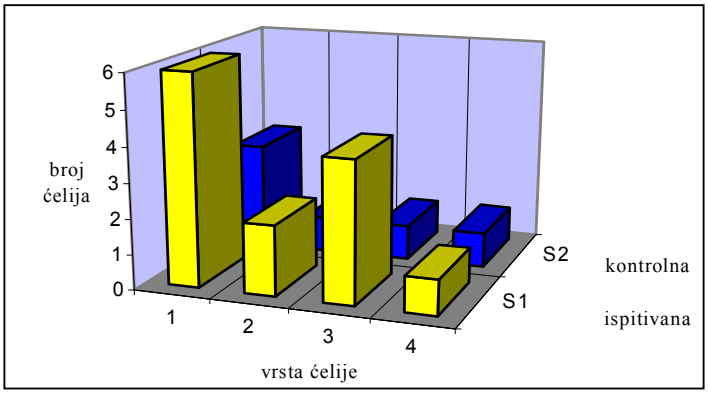
Analizom učestalosti hromozomskih aberacija i prinosa mikronukleusa (MN) za grupu ispitanika iz oblasti interventne radiologije nađene su aberacije u ukupno 8 ispitanika, i to kod dva lekara, radiologa i anesteziologa, kod 3 radiološka tehničara i kod 3 medicinske sestre, procenat ispitanika sa prisutnim aberantnim ćelijama jerelativno visok (32%), a najzastupljeniji su dicentrici (16%), zatim acentrični fragmenti (8%), ringovi (6%) i samo jedna pericentrična averzija (1 ili 2%) (Grafik 2).

Grafik 2: Najčešće aberacije u ispitivanoj grupi



Kada ovo posmatramo u kontrolnoj grupi, vidimo da je ovde nešto manji procenat ispitanika sa aberantnim ćelijama, njih 24%, dok kod preostalih 76 % ovakvih ćelija nema. Poređenjem nalaza aberantnih ćelija iz obe grupe ispitanika,dobijamo sledeću sliku.

Grafik 3: Distribucija učestalosti najčešćih tipova aberacija u ispitivanoj i kontrolnoj grupi ispitanika



1-dicentrik, 2-acentrik, 3- ring, 4- pericentrična averzija

ZAKLJUČCI

1- Analizom rezultata dozimetrijskih merenja i podataka o dinamici i uslovima rada profesionalno izloženih lica u interventnoj ortopedskoj radiologiji dobijene su pojedinačne prosečne i najviše pojedinačne doze. Prosečne pojedinačne mesečne doze u ispitivanoj grupi kreću se od 0,53 mSv do 0,81 mSv, zavisno od zanimanja, pa najviše doze primaju sestre instrumentarke (22, 58 mSv), a najniže lekari radiolozi, jer mogu da se povuku iz zone u velikom broju slučajeva. Poređenje sa kontrolnom grupom ispitanika upotpunjuje sliku, tu se najviše pojedinačne doze kreću od 1,30 mSv do 2, 20 mSv, odnosno one su skoro desetostruko niže.

2- Analizom hematoloških pokazatelja kao što su ukupni broj leukocita i limfocita kod profesionalno izloženih lica u oblasti ortopedske interventne radiologije nalazimo patološki hematološkog nalaz u ukupno 48% ispitanika, i to leukocitozu u 6 ispitanika (24%), granulocitopeniju u 1 ispitanika (4%) i limfocitozu u 5 ispitanika (20%). Kontrolna grupa ispitanika pokazuje patološki hematološki nalaz u ukupno 40% ispitanika, nije statistički značajno, i poređenje hematoloških pokazatelja ne može se smatrati dovoljno osetljivim i pouzdanim činiocem u analizi zdravstvenog stanja profesionalno izloženih lica. Vrednost hematoloških parametra ima pre svega orijentacioni značaj u procenama stepena ozračenosti profesionalno izloženih lica, te da su mnogo validnije analize koje se odnose na učestalost hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi.

3- Analizom biodozimetrijskih pokazatelja ozračenosti profesionalno izloženih lica, odnosno učestalosti hromozomskih aberacija (HA), u ispitivanoj grupi uočavamo povećanu učestalost HA u ukupno 8 ispitanika, (uz dicentrične hromozome, nalazimo i ring-hromozome, acentrične fragmente i pericentrične inverzije). Povećanu učestalost HA uočavamo u ukupno 32% ispitivanih profesionalaca u oblasti interventne radiologije. Što se kontrolne grupe tiče, tu hromozomske aberacije nalazimo u ukupno 6 ispitanika. Kako se

iz navedenog vidi, hromozomske aberacije češće se javljaju u grupi interventnih radiologa, iako ni ova razlika nije statistički značajna.

4- Zaštita od zračenja za profesionalno izložena lica u oblasti ortopedske interventne radiologije može se poboljšati primenom adekvatne lične zaštite tamo gde je to moguće (naočari, štitnici za tireoidnu žlezdu, rukavice, zaštitni paravani i slično). Ali, mnogo bolja zaštita se može postići uvođenjem u primenu savremenih rendgen aparata sa najmanjom mogućom verovatnoćom pojave rasipnog zračenja, kao i adekvatnom edukacijom profesionalaca koji se bave interventnom radiologijom.

5- Uzimajući u obzir poznatu činjenicu da ekstremna radioosetljivost i radorezistentnost mogu pouzdano prepoznati mikrunukleusnim (MN) testom, u zaštiti od zračenja profesionalno izloženih lica bilo bi izuzetno značajno na tzv. ″nultom″ zdravstvenom pregledu uraditi procenu radioosetljivosti i osobama loše genetske predispozicije savetovati posao sa najmanjim radijacionim rizikom.

LITERATURA

[1] IAEA, Biological Dosimetry Chromosomal Aberrations Analysis for Dose Assesment, Technical Reports Series, No. 260, Wienna, 1986, pp 100-187

[2] IAEA, Radiation, Health and Society, Wienna, 1997, pp 338-342

[3] Koteles,G.J., Biological Dosimetry, IRPA 9, 1996, pp 230-242

[4] Joksić, G., Limfociti periferne krvi- biološki dozimetri, Bilten INN Vinča, 5/97, str 249-256

[5] Ciraj, O.,Procena stepena izloženostimedicinskog tima u kontrastnim tehnikama dijagnostičke radiologije, Magistarski rad, Univerzitet u Novom sadu, CIMSI, 2000

[6] Ilić, Ž., Procena doze za profesionalno izložena lica u oblasti invazivne kardiološke radiodijagnostike, Zbornik radova, XX simpozijum zaštite od zračenja, Tara, 1999, str 261-264

ABSTRACT

BIOLOGICAL RESPONSE TO LOW DOSES OF IONIZING RADIATION IN OCCUPATIONAL EXPOSURE

Ž. Ilić, V. Spasojević, O. Ciraj, G. Joksić
INS Vinča

Irradiation of greatist number of personal in diagnostic and interventional radiology is in level on recommandiations of ICRP 60. But, about 4% of these personal stuff accept effective doses much larger than thes, specially in interventional radiology in otrhopedic hospitals. We discrabed biological respons of human organism on that doses, and suggest what to do to make this annual income of irradiation decrease.

UTICAJ GLADOVANJA U POSTRADIJACIONOM PERIODU NA ISPOLJAVANJE ŠTETNIH EFEKATA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA KOD PACOVA

S. Dobrić, D. Bokonjić, M. Popović[1], Z. Milovanović
Nacionalni centar za kontrolu trovanja, VMA, Beograd
[1]Departamento de Ciencias Morfologicas y Psicobiologia,
Facultad de Medicina, Campus Universitario de Espinardo,
Universidad de Murcia, Murcia, Spain

ZDRAVSTVENO STANJE MEDICINSKIH RADNIKA U OPERACIONOJ SALI

V. Spasojević-Tišma, S. Ilić[1], D. Košutić, V. Pavelkić, S. Milanović
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd
[1] KCS, Institut za kardiovaskularna oboljenja i metabolizam

SADRŽAJ

U ovom radu prikazani su laboratorijski i biodozimetrijski rezultati osoba koji su u toku svog profesionalnog rada u operacionoj sali bili izloženi nekontrolisanom dejstvu jonizujućih zračenja zbog kvara na Rtg aparatu. Od svakog pacijenta su uzeti detaljni anamnestički podaci, urađen im je klasični klinički pregled, analiza hematološko-biohemijskih parametara, psihološko testiranje i biodozimetrijsko ispitivanje – hromozomske aberacije. Pacijenti nisu bili pod dozimetrijskom kontrolom i nisu nosili dozimetar.

Promene su analizirane neposredno nakon akcidenta i šest meseci kasnije.

UVOD

Jonizujuće zračenje svojim delovanjem menja postojeće funkcije izloženog biološkog sistema. Profesionalna ekspozicija je posebno značajna zbog hroničnog izlaganja malim dozama jonizujućeg zračenja jer se zbog kumulativnog efekta može sagledati i biološki odgovor organizma. Svi zreli oblici ćelija u perifernoj krvi (eritrociti, leukociti, monociti i trombociti), su relativno radiorezinstentni, isključujući limfocite koji su veoma radioosetljivi. Zavisno od jačine apsorbovanog zračenja ali i individualne osetljivosti organizma, dolazi do oštećenja ćelija hematopoeznog tkiva što se ispoljava promenom broja zrelih ćelija u perifernoj krvi.

Imajući u vidu da pacijenti nisu bili pod medicinskom i dozimetrijskom kontrolom bilo je neophodno praćenje zdravstvenog stanja svakog izloženog pacienta u određenom vremenskom periodu. Takođe je urađena rekonstrukcija događaja u operacionoj sali u približno istim uslovima, a na osnovu izjava lica prisutnih u sali u trenutku akcidenta.

MATERIJAL I METODE

Ispitivanu grupu čini ukupno 7 zdravstvenih radnika, i to 3 lekara (hirurg-ortoped i dva anesteziologa, dve sestre instrumentarke i dve medicinske sestre-anestetičara). Nakon klasičnog kliničkog pregleda i psihološkog testiranja, pristupilo se

laboratorijskom ispitivanju. Ispitivani su hematološki parametri: eritrociti, leukociti sa leukocitarnom formulom (granulociti, limfociti, monociti) trombociti i hemoglobin. Za analizu hromozomskih aberacija korišćena je modifikovana klasična metoda po Morhaed-u.

REZULTATI I DISKUSIJA

U okviru ispitivanja navedenih hematoloških parametara za ispitivanu grupu prikazane su u tabeli utvrđene su hematološke promene kod jednog pacijenta u vidu leukopenije praćene limfocitozom i neutropenijom, a kod tri pacijenta limfociti su na granici dozvoljenih vrednosti propisanih za profesionalno izložena lica (Tabela 1).

Tabela 1. Hematološki parametri ispitivanih osoba

Hematološki parametri	1	2	3	4	5	6	7
Eritrociti x 10^{12}/l	4,46	4,92	4,84	4,19	4,19	3,83	4,38
Hemoglobin g/l	117	138	141	122	120	112	126
Trombociti x 10^9/l	220	199	291	174	195	163	181
Leukociti x 10^9/l	6,1	5,8	8,5	4,9	8,8	3,5	5,2
Granulociti	4,3	4,2	6,1	3,2	6,4	1,5	2,7
Limfociti x 10^9/l	1,6	1,4	2,2	1,6	2,1	1,8	2,3
Monociti x 10^9/l	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2

Ostali hematološki parametri su bili u granicama dozvoljenih vrednosti (Sl. List 45/97). Psihološko testiranje pokazalo je da kod ispitanika ne postoje kontraindikacije za rad na predviđenom radnom mestu.

Biodozimetrijske analize pokazuju da je kod dve osobe nađena povećana učestalost hromozomskih aberacija i to kod jedne osobe su nađena dva acentrična fragmenta i marker metacentrik veličine hromozoma grupe F, a kod druge jedan prstenasti hromozom; kod druge osobe učestalost promena je u granicama dozvoljenih vrednosti za profesionalno izložena lica.

Na osnovu izvršenih dozimetrijskih merenja u približno ponovljenim uslovima može se zaključiti da su lica prisutna u operacionoj sali primila dozu u rasponu o,o3-o,1 mSv što predstavlja manje od 1% godišnje granice za profesionalno izložena lica. Granica efektivne doze za profesionalno izložena lica iznosi 2omSv godišnje. Nakon šest meseci urađen je kontrolni pregled kod svih eksponiranih osoba. Dobijene vrednosti hematoloških parametara i biodozimetrijskih analiza su bili u granicama dozvoljenih vrednosti.

ZAKLJUČAK

Za sva lica koja su zaposlena u zoni jonizujućih zračenja, prema važećoj zakonskoj regulativi predviđen je prethodni i periodični zdravstveni pregled jednom godišnje, kao i redovno nošenje i kontrola ličnih dozimetara. Svrha zdravstvenog pregleda je da se utvrde i preduprede eventuaulna oštećenja usled dejstva jonizujućeg zračenja u cilju pravovremenog lečenja, prevencije i utvrđivanja kontraindikacija za rad, kao i ocene radne sposobnosti. Svrha nošenja dozimetara je praćenje kretanja efektivne doze i primena eventualnih dodatnih mera zaštite.

Iz ovde prikazanog slučaja vidi se nedostatak adekvatne zaštite i upotrebu ličnih zaštitnih sredstava i TL- dozimetara, što je ovde i bio razlog za pokretanje postupka analize događaja. Takođe, jasno se uočava neophodnost racioanalizacije čitavog sistema kontrole, odnosno obavljanje zdravstvene, dozimetrijiske i kontrole TLD-a u istoj referentnoj kući.

LITERATURA:

[1] Zakon o zaštiti od jonizujućih zaračenja (Sl. List SRJ 46/96, 45/ 97)
[2] Vidaković, A.: Medicina rada II, Beograd, 1997.
[3] George, V. Ionizing radiation. In: Yens C, Diserson OB, Horvat EP, editors. Occupational Medicine. St Louis: Mosby 1994; 939-428

ABSTRACT

HEALTH DISORDERS IN MEDICAL WORKERS IN SURGERY BLOCK

V. Spasojević-Tišma, S. Ilić[1], D. Košutić, V. Pavelkić, S. Milanović
Institut za nuklearne nauke “Vinča”, Beograd
[1] KCS, Institut za kardiovaskularna oboljenja i metabolizam

This case demonstrate the importance of medical examinations at the beginning of the work in sphere of ionizing radiation, importance of continuing health control and personal dosimetry data control at the same time and in the same institution. Only in that case the undesirable consequences of occupational exposure can be prevented on time.

METODA ZA ODREĐIVANJE OPTIČKE GUSTINE LASERSKIH ZAŠTITNIH NAOČARA

D. Živković, M. Hrnjak
Institut za medicinu rada Zavoda za preventivnu medicinu VMA, Beograd

SADRŽAJ

Zbog sve intenzivnije primene laserskih uređaja neophodno je posvetiti odgovarajuću pažnju sredstvima zaštite od laserskog zračenja. U radu je opisana merna metoda za proveru optičke gustine laserskih zaštitnih naočara za zračenje iz bliskog infracrvenog dela spektra (Nd-YAG laseri). Ovom metodom su određene optičke gustine kod osam uzoraka zaštitnih naočara, a dobijene vrednosti su u saglasnosti sa vrednostima iz atesta proizvođača. Ova se metoda može koristiti i za određivanje ugaone zavisnosti slabljenja laserskog zračenja pomoću naočara.

UVOD

Neodijumski laseri na itrijum aluminijum granatu (Nd-YAG) se koriste kao izvori zračenja u velikom broju uređaja u oblasti telekomunikacija, merne tehnike i drugim granama nauke. Ogromna je primena ovih lasera u vojne svrhe, gde se koriste u okviru laserskih merača daljine, laserskih uređaja za noćno izviđanje, osmatranje i ozračavanje ciljeva i dr. Zračenje ovih lasera je velikog intenziteta, visoke koherencije i usmerenosti što omogućava da se zračenje velike snage fokusira na male površine od nekoliko desetina kvadratnih mikrometara. Takvo lasersko zračenje (direktno ili indirektno-reflektovano) može biti opasno za oko kao najosetljiviji deo tela. Povrede oka nastaju na mestu apsorpcije laserskog zračenja, dok providne sredine oka propuštaju lasersko zračenje. Oko kroz svoje providne sredine propušta deo optičkog zračenja – vidljivo i blisko infracrveno zračenje (IC) talasnih dužina od 400 nm do 1400 nm. IC zračenje talasnih dužina većih od 1400 nm apsorbovaće se u rožnjači, što može da izazove oštećenje rožnjače. Sočivo apsorbuje blisko ultravioletno zračenje i zračenje talasnih dužina od 900 nm do 1400 nm, tj. blisko IC zračenje. Staklasto telo pokazuje osobinu dobre apsorbcije za IC zračenje talasnih dužina 860-1350 nm. Očno dno ili mrežnjača oka dobro apsorbuje uglavnom sve talasne dužine optičkog zračenja koje dopiru do nje prolazeći kroz providne sredine oka. IC zračenje od Nd:YAG (1064 nm) uglavnom ne daje oštećenje rožnjače, jer je ona transparentna za talasne dužine ovog zračenja, ali može da prouzrokuje oštećenje sočiva i staklastog tela, pa i drugih delova oka. Lasersko zračenje ovih talasnih dužina uglavnom izaziva termičko oštećenje sočiva i kataraktu (zamućenje sočiva), a na očnom dnu daje termičku i mehaničku povredu mrežnjače. Nastala termička ozleda ispoljava se u vidu prave opekotine na očnom dnu sa kasnijom pojavom ožiljka.

Za zaštitu očiju od laserskog zračenja koriste se tehnička sredstva: zaštitne naočari i optički zaštitni filteri. Kada se propisuju zaštitne naočari uzima se u obzir sledeće: radna talasna dužina, energetska ozračenost ili iradijansa, najveće dozvoljeno izlaganje (MPE), optička gustina zaštitnih naočara na talasnoj dužini izlaza lasera, zahtevi za prenos vidljive svetlosti, energetska ozračenost ili iradijansa pri kojoj dolazi do oštećenja naočara, potreba za korektivnim staklima, udobnost i provetravanje, degradacija ili promena apsorbujuće sredine, otpornost materijala (otpornost na udare), zahtevi za periferno viđenje i odgovarajući nacionalni propis. Nedostatak naočara je u tome što kod visokih energija može doći do njihovog razaranja, a vremenom i do "starenja" slojeva. To "starenje" je praćeno promenom karakteristika sa vremenom[1-3].

Cilj rada je da prikaže metodu određivanja optičke gustine kod osam uzoraka zaštitnih naočara za talasne dužine zračenja Nd:YAG lasera (1064 nm), a to su kompaktne plastične naočari prevučene sa specijalnom film folijom od polivinil hlorida debljine od 0,125 mm.

METODE

Optička gustina zaštitnih naočara (definisana formulom 1) proveravana je na osnovu merenja njihove propustljivosti pri ozračavanju Nd:YAG laserom.

$$D = -\log\frac{1}{A} = -\log\frac{P_1}{P_L} \tag{1}$$

gde su: D –optička gustina, A – slabljenje uzorka, P_1 – snaga zračenja iza uzorka i P_L – snaga zračenja lasera ispred uzorka.

Na ovaj način se atenuacija laserskog zračenje pomoću zaštitnih naočari dobija merenjem impulsne snage zračenja lasera ispred i iza uzorka filtra zaštitnih naočara.Kao izvor impulsnog zračenja korišćen je Nd:YAG laser koji zrači snažne impulse određenog trajanja i frekvencije ponavljanja. Ove karakteristike su date u Tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike zračenja Nd:YAG lasera

Karakteristike lasera	Oznaka	Vrednosti veličina
Snaga u impulsu	P_L	$4x10^5$ MW
Talasna dužina	λ	1064 nm
Vreme trajanja impulsa	τ	25 ns
Frekvencija ponavljanja impulsa	f_p	20 Hz
Ugao zračenja	Ω	4 mrad

Za merenje impulsne snage zračenja Nd:YAG lasera korišćen je kalibrisani silicijumski fotodetektor (SGD - 40 V) sa otpornošću opterećenja Ro (5 kΩ). Izlaz iz fotodetektora je meren na osciloskopu, a vrednosti su prikazane u voltima u zavisnosti od snage zračenja (V/W). Osetljivost fotodetektora $S_{\lambda d}$ je poznata za talasnu dužinu zračenja lasera. Ispred fotodetektora je postavljen uskopojasni filter proverene transmisije - S_f. Ovaj filter eliminiše smetnje od drugih izvora svetlosti (osvetljenje u laboratoriji), propuštajući zračenje odgovarajućeg lasera. Pri merenju velikih snaga na izlazu iz lasera postavlja se atenuator (adapter sonde) poznate transmisije $S_{\lambda a}$.

Izlaz iz detektora je uključen i na osciloskop radi određivanja frekvencije ponavljanja impulsa (f_p) i trajanja impulsa (τ).

Impulsna snaga zračenja se izračunava po sledećoj formuli

$$P_L = \frac{U_d}{S_f \times S_{\lambda k} \times R_0} \tag{2}$$

gde su: U_d – napon na izlazu detektora, R_o – otpornost opterećenja detektora, $S_{\lambda k}$ ($S_{\lambda k}=S_{\lambda d}xS_{\lambda a}$) – kombinovana osetljivost, $S_{\lambda d}$ – osetljivost fotodetektora, $S_{\lambda a}$ – transmisija atenuatora i S_f- transmisija filtera [3-5].

Za merenje niskih nivoa zračenja posle slabljenja kroz uzorak filtra iz zaštitnih naočara korišćena je ista aparatura, samo bez atenuatora poznatog slabljenja. Impulsna snaga zračenja (P_i) iza uzorka se izračunava po sledećoj formuli

$$P_i = \frac{U_d}{S_f \times S_{\lambda d} \times R_0} \tag{3}$$

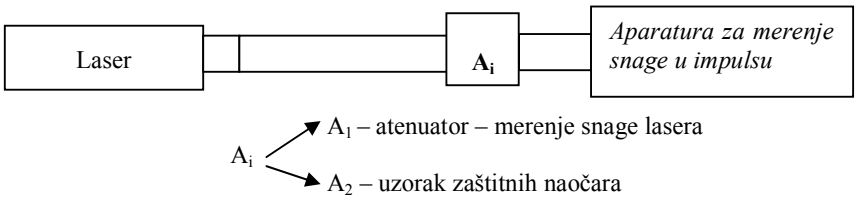
Vrednosti navedenih parametara prijemnika (atenuatora, filtera i detektora) su dati u Tabeli 2, a šema merenja na Slici 1.

Tabela 2. Vrednosti osnovnih parametara prijemnika

Naziv veličine	Oznaka veličine	Vrednosti veličina
Osetljivost fotodetektora	$S_{\lambda d}$	$4{,}55 \times 10^{-4}$ A/W
Transmisija adaptera (atenuatora)	$S_{\lambda a}$	$1{,}12 \times 10^{-5}$
Kombinovana osetljivost	$S_{\lambda k}$	$5{,}1 \times 10^{-9}$ A/W
Uskopojasni filter (propusni opseg)	$\Delta\lambda$	10 nm
Transmisija filtera	S_f	0,75 A/W
Otpornost opterećenja	R_o	5 kΩ

Kako je očitavanje na osciloskopu pri merenju bez uzorka bilo 34, 43 V, to se dobija da je impulsna snaga zračenja korišćenog Nd:YAG lasera P_L = 1, 8 MW.

Za uzorke je korišćeno osam uzoraka zaštitnih naočara firme Glendale Optical Co. (SAD). Ozračivanje uzoraka je vršeno u periodu od 10 s, a merenja su ponavljana više puta radi provere pouzdanosti izmerenih veličina.



Slika 1. Blok šema za merenje impulsne snage zračenja Nd:YAG lasera

Rezultati merenja optičke gustine uzoraka zaštitnih naočara za Nd:YAG laser su dati u narednoj tabeli.

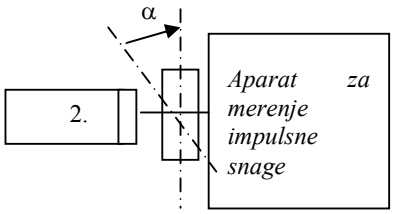
Tabela 3. Rezultati merenja

Merena veličina	Oznaka	Redni broj ispitivanog uzorka							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Detektovani napon iza uzorka	Ud (mV)	1,7	1,3	0,7	1,0	1,2	1,0	1,1	1,0
Impulsna snaga iza uzorka	Pi (mW)	1,00	0,75	0,41	0,56	0,70	0,58	0,64	0,59
Slabljenje uzorka	A (x 10^9)	1,8	2,4	4,4	3,2	2,6	3,1	2,8	3,1
Transmisija uzorka	T (x 10^{-9})	0,6	4,0	2,8	3	3,9	3,2	3,6	3,2
Optička gustina	D	9,2	9,3	9,6	9,5	9,4	9,5	9,4	9,5

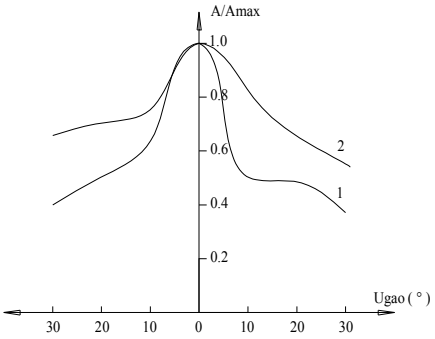
Proizvođač garantuje optičku gustinu 9 za talasnu dužinu Nd:YAG lasera, pa se može zaključiti da izračunate optičke gustine odgovaraju atestima proizvođača.

METODA ZA UTVRĐIVANJE UGAONE ZAVISNOSTI SLABLJENJA ZAŠTITNIH NAOČARA

Ugaona zavisnost slabljenja uzoraka je određena za zračenje pomenutog Nd:YAG lasera, a šematski način prikazivanja je dat na Slici 2. Uzorak je ugaono pomeran u odnosu na ravan normalnu na pravac zračenja lasera. Aktivna površina fotodetektora je normalna na pravac zračenja lasera, čime se eliminiše ugaona zavisnost istog. Rezultati ispitivanja su dati na Slici 3.



Slika 2. Blok šema određivanja ugaone zavisnosti slabljenja uzoraka



Slika 3. Ugaona zavisnost slabljenja uzoraka (A/A_{max})
1-prvi uzorak, 2 –šesti uzorak

ZAKLJUČAK

Prikazana merna metoda za proveru optičke gustine laserskih zaštitnih naočara za zračenje Nd:YAG lasera pokazala je da dobijene vrednosti odgovaraju vrednostima koje je proklamovao proizvođač. Ova se metoda može koristiti i za određivanje ugaone

zavisnosti slabljenja laserskog zračenja pomoću naočara, kao i za određivanje transmisije i drugih elektrooptičkih materijala.

LITERATURA

[1] Wolbarsht ML, Welch AJ. Evaluation of ocular protection filters in field situations. Health Physics 1989; 56 (5): 729-739.

[2] Sliney DH, Wolbarsht ML. Safety with Lasers and Other Optical Sources. New York: Plenum Press, 1985.

[3] JUS IEC 825-1:1995 - Bezbednost laserskih proizvoda - Deo 1: Klasifikacija opreme, zahtevi i uputstvo za korisnike.

[4] EN 207: 1993 – Personal Eye Protection – Filters and and eye protection against laser radiation.

[5] EN 208: 1993 – Personal Eye Protection – Eye protectors for adjustment work on lasers and laser systems.

ABSTRACT

METHOD FOR ESTIMATION OF LASER GOGGLES OPTICAL DENSITY

D. Živković, M. Hrnjak
Institute of Occupational Health,
Military Medical Academy, Belgrade

Because of intensive applications of lasers systems, it is necessary to dedicate the attention of laser protective goggle. This paper gives the review of the method for estimation of laser goggles optical density for Nd:YAG laser radiation. It was applied on eight samples of laser goggles. The results were in accordance with values from product attests. This method could be applied for estimation of angle dependence for laser radiation attenuation by goggles.

HIPERFUNKCIJA ŠTITNE ŽLEZDE KAO POSLEDICA PRIMENE SOFT LASERSKOG ZRAČENJA U MEDICINI I STOMATOLOGIJI

B. Živković, [1]M. Miljković, [2]I. Gligorov
Institut za biofiziku Medicinskog fakulteta u Nišu
[1]Institut za biomedicinska istraživanja Medicinskog fakulteta u Nišu
[2]Stomatološka klinika Medicinskog fakulteta u Nišu

SADRŽAJ

Poznato je da soft (meko) lasersko zračenje ima niz pozitivnih terapijskih efekata kod odgovarajućih patoloških stanja i zato je našlo adekvatnu primenu u medicini i stomatologiji.

Međutim, kod nekih pacijenata laseroterapija se ne sme sprovoditi jer može izazvati kontraproduktivne efekte. U ovom radu autori ukazuju na bazi eksperimentalnih istraživanja na primeru štitne žlezde pacova na opasnost od soft laserskog zračenja.

UVOD

Brzi razvoj kvantne elektronike omogućio je primenu različitih tipova lasera u mnogim granama medicine i stomatologije. Terapijske indikacije su poslednjih godina znatno proširene, pa je i interes za laseroterapiju sve veći.

Sa gledišta kliničkih primena važne su dve vrste laserskih uredjaja. To su: hard (snažni) laseri koji se primenjuju u hirurgiji za precizno rezanje, isparavanje i koagulaciju tkiva i soft laseri (laseri male snage) čija je osnovna namena za stimulaciju ćelijske aktivnosti [1, 2].

O pozitivnim biostimulativnim efektima soft laserskog zračenja objavljen je veliki broj radova [3, 4, 5, 6], dok o mogućim kontraproduktivnim pojavama ima manje podataka [7, 8, 9].

Obzirom na to da danas veliki broj privatnih klinika i ordinacija sve više primenjuje soft laseroterapiju, a da je obučenost osoblja koje radi sa laserima nedovoljna ili nikakva, ovim radom autori žele da upozore na opasnost, tj. mogućnost indukeije tireotoksikoze (povećane funkcije štitne žlezde) kao jedne od kontraindikacija za neadekvatnu primenu soft laseroterapije u predelu glave i vrata.

EKSPERIMENT

Eksperimentalna istraživanja su vršena na belim pacovima Wistar-soja, starosti 3 meseca, muškog pola. Upotrebljene su eksperimentalna-E i kontrolna-K grupa od po 5 životinja u grupi. Životinje iz E-grupe su ozračivane u predelu vrata HeNe soft laserskim zračenjem, a kontrolna grupa-K nije tretirana. Korišćen je laser PL-9 klase II. Vrednosti fizičkih parametara laserskog zračenja date su u tabeli 1.

Tabela l. Vrednosti fizičkih parametara laserskog zračenja HeNe soft lasera za ozračivanje eksperimentalnih životinja.

Talasna dužina zračenja	632,8 nm
Izlazna snaga laserskog sistema	1 mW
Dijametar snopa	2-3 mm
Režim rada lasera	CW
Vreme izlaganja po tretmanu	5 min na dan
Broj tretmana	8
Radna distanca	l0-15 cm
Način primene lasera	Kružnim pokretima u predelu vrata

Po završetku eksperimenta izvršena je tireoidektomija kod svih životinja, a zatim je tkivo obradjivano standardnim patohistološkim metodama. Takodje su odredjivani RIA metodom nivoi hormona T_3 i T_4 u krvnom serumu kako bi se kvantitativno odredili parametri promena funkcije štitne žlezde.

REZULTATI I DISKUSIJA

Patohistološka analiza je pokazala markantnu razliku izmedju E i K-grupe u morfologiji i funkciji štitne žlezde (sl.1 i 2). Značajna razlika u nivoima hormona T_3 i T_4 u krvnom serumu odredjenih RIA metodom takodje je konstatovana što se može videti iz tabele 2.

Tabela 2. Nivoi tiroidnih hormona T_3 i T_4 u E i K- grupi

Hormon	Eksperimentalna E-grupa	Kontrolna K-grupa
T_3(nmol/l)	95	50
T_4(nmol/l)	2,7	1,2

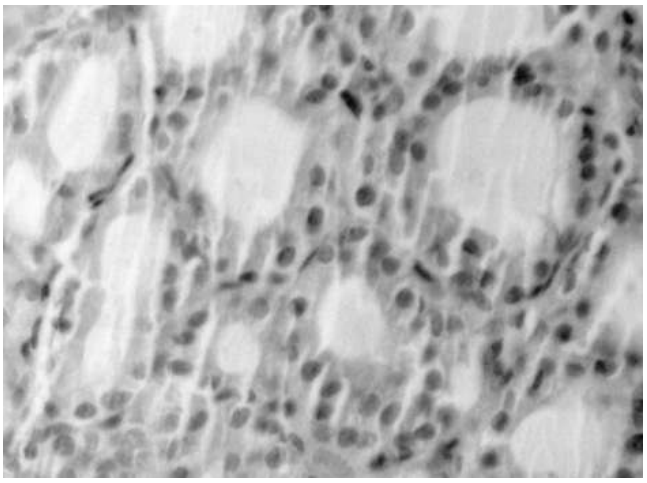
Navedeni rezultati ukazuju na hiperfunkciju štitne žlezde što je posledica biostimulativnog dejstva soft lasera koje je opisano u literaturi [10 - 14].

Dakle, primena soft lasera u terapijske svrhe u predelu glave i vrata nosi odredjenu dozu rizika i tireotoksikoza je jedna od kontraindikacija za ovu vrstu terapije.

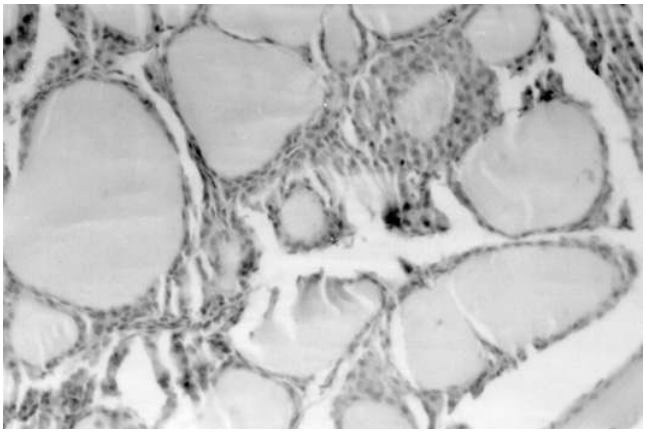
ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da laseroterapija zbog biostimulativnih karakteristika soft laserskog zračenja i u kratkom vremenskom intervalu (8 dana) kod neadekvatne primene

pokazuje tireostimulativan efekat. Zato kliničari, koji primenjuju ovu vrstu terapije, moraju strogo voditi računa o načinu i mestu aplikacije soft laserskog zračenja [15].



Slika 1. Patohistološki presek u K-grupi.



Slika 2. Patohistološki presek u E-grupi.

LITERATURA

[1] Midda M., Renton-Harper P.: Laser in Dentistry, Br. Dent. J., 170, 343-346, 1991.

[2] Mitrović M., Džinović M.: Laseri u medicini, Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb, 1983.

[3] Mester E., Nagy E.J.: The Effects of Laser Radiation on Wound Healing and Collagen Synthesis, Stud. Bioph., 35, 227-230, 1973.

[4] Živković B., Katić V.: Biostimulation of Wound Healing by HeNe Laser- Exsperimental Study, Path. Res. Pract., 187, 793, 1991.

[5] Živković B., Katić V.: Ultrastrukturna studija soft laserske biostimulacije zarastanja rana, Knjiga radova I Kongresa *elektronske mikroskopije, Novi Sad, 55-56, 1994.*
[6] Pletnev S.D.: Lazeri v kliničeskoi medicine, Medicina, Moskva, 1981.
[7] Bakalska M. et al.: The Effects of Laser on Rat Thyroid Gland Morphology, Ann. Anat., 179, 179, 1997.
[8] Sorokina E.I.: Fizičeskie metodi lečenia v kardiologii, Medicina, Moskva, 1989.
[9] Živković B. et al.: Chronic Soft Laser Effect on Thyroid Gland-Experimental Study, Path. Res. Pract., 193, 386, 1997.
[10] Prohončukov A.A.: Mehanizmi terapevtičeskogo deistvija izlučenija gelii- neonovogo lazera, Stomatologija, 59, 80-84, 1980.
[11] Radulović S. i sar.: Laserski stimulatori u medicini, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 1990.
[12] Živković B. et al.: The Optimal Values of Laser Parameters for Some Applications in Clinical Practice, Facta Universitatis, Series: Physics, Chemistry and Technology, 1, 36-40, 1994.
[13] Živković B., Katić V.: Enzimohistohemijska studija soft laserske terapije kod zarastanja rana, Zbornik radova 6. Kongresa patologa Jugoslavije, Zlatibor, 14-15, 1994.
[14] Strang R. et al.: Soft Laser-Have They a Place in Dentistry?, Br. Dent. J.,165, 221-225, 1988.
[15] Živković B. et al.: The Level of Thyroid Hormones (T_3 and T_4) in RIA Serum After Soft Laser Treatment, 9th Conference on Laser Optics, 25, 1998.

ABSTRACT

THYROTOXICOSIS AS RISK OF SOFT LASER RADIATION IN MEDICAL AND DENTAL APPLICATION

B. Živković, [1]M. Miljković, [2]I. Gligorov
Institute of Biophysics, Faculty of Medicine, Niš
[1]Institute for Electron Microscopy, Faculty of Medicine, Niš
[2]Dental Clinic, Faculty of Medicine, Niš

Having in the mind that thyrotoxicosis is contraindicated for soft laser therapy in neck region, it has undertaken the following study: The influence of the HeNe soft laser on both morphology and function of the rat thyroid gland. The observed results in this study confirm suggested data that thyrotoxicisis is one of possible contraindication (risks) for soft laser therapy in head and neck region.

KARAKTERISTIKE INSTRUMENTACIJE ZA RADIOMETRIJU ULTRAVIOLETNOG ZRAČENJA

S. Stanković, S. Janković
Elektrotehnički Fakultet u Beogradu

SADRŽAJ

Dat je pregled najvažnijih karakteristika instrumentacije za radiometriju ultravioletnog zračenja, posebno onih koje su značajne sa aspekta korisnika, uz navođenje pojedinih proizvođača opisane opreme. Predstavljena su tri osnovna tipa instrumenata: spektroradiometri, širokopojasni radiometri i pasivni dozimetri.

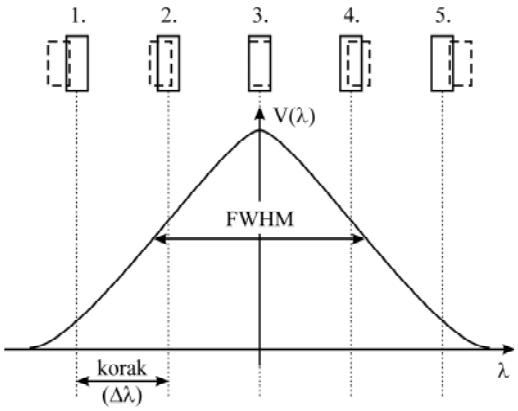
UVOD

Radiometrija se bavi merenjem ukupne izračene elektromagnetske energije, spektroradiometrija spektralnim sadržajem zračenja, dok se fotometrija bavi isključivo vidljivim delom elektromagnetskog spektra (380 nm do 780 nm). U okviru svake od ovih disciplina definisan je niz veličina koje se mogu meriti i izračunavati [1]. Za potrebe radiometrije ultravioletnog (UV) zračenja, mogu se koristiti tri tipa instrumenata: UV-spektroradiometri, širokopojasni UV radiometri i UV-dozimetri [2].

UV-SPEKTRORADIOMETRI

Obzirom da je za potrebe određivanja biološkog dejstva UV zračenja uveden pojam biološki efektivne iradijanse, najznačajniji instrumenti za UV radiometriju su spektroradiometri. Biološki efektivna iradijansa se dobija polazeći od izmerene objektivne iradijanse tako što se svaka spektralna komponenta pomnoži težinskim faktorom koji opisuje njen uticaj na izazivanje posmatranog biološkog efekta. Raspodela ovih težinskih faktora (tzv. spektralnih efikasnosti) po talasnim dužinama predstavlja tzv. akcioni spektar za dati biološki efekat. Odatle, poznavanje raspodele spektralnih komponenata UV zračenja omogućava precizno nalaženje biološki efektivne iradijanse, što nije moguće izvesti drugim vrstama instrumenata.
Spektroradiometrijska merenja su pouzdanija od merenja vršenih drugim vrstama radiometara, jer se spektroradiometri mogu kalibrisati na osnovu standarda. Kao standard se može koristiti "crno telo", ali se zbog cene instrumenata koji ga simuliraju najčešće definišu i koriste jednostavniji standardi. U te svrhe se koriste specijalno dizajnirane lampe sa poznatom raspodelom intenziteta po talasnim dužinama.

Proizvođači spektroradiometara često isporučuju ovakve kalibracione izvore prilagođene za laku montažu u cilju periodične kalibracije instrumenta.
Kada se koristi monohromatski izvor, monohromator formira sliku ulaznog proreza (engl. "slit") na izlaznom prorezu (Slika 1). Kako monohromator menja talasnu dužinu, ova se slika pomera i time se menja osvetljaj detektora, čiji izlaz onda prati funkciju prikazanu na Slici 1. Najmanji korak promene talasne dužine predstavlja rezoluciju sistema, dok se širina dobijene tzv. "funkcije proreza" (engl. "slit function") na polovini visine (engl. "full width at half maximum, FWHM") naziva još i propusnim opsegom (engl. "bandpass"). Najčešće se sreću instrumenti čiji je propusni opseg 1 nm, a manje vrednosti od 0,5 nm su veoma retke. Da bi se precizno izmerilo zračenje monohromatskog izvora, npr. fluorescentne lampe, potrebno je njenu spektralnu liniju skenirati u najmanje dve, a poželjno u pet ili više tačaka, što podrazumeva rezoluciju koja to može podržati. Zato je za merenje monohromatskih izvora potrebna bolja rezolucija (manja vrednost koraka talasne dužine) nego za širokopojasne izvore.



Slika 1. Formiranje funkcije proreza

Greška talasne dužine ne bi trebalo da bude veća od ±0,2 nm u opštem slučaju. Ponovljivost je takođe značajan parametar i podrazumeva sposobnost instrumenta da istu stvarnu talasnu dužinu, u ponovljenom merenju, detektuje na istom mestu u spektru. Jedan od najkritičnijih parametara je dinamički opseg koji se definiše kao odnos najvećeg i najmanjeg merljivog signala. Pošto se izlazni signal u zavisnosti od talasne dužine često menja za više od 6 dekada (npr. kod spektra sunčevog zračenja), 10^6 je minimalan potreban dinamički opseg. Kako je najmanji merljivi signal najčešće određen šumom elektronike, često se prikazuje preko šumu ekvivalentne iradijanse (engl. "noise equivalent irradiance, NEI"), snage ili radijanse. Parazitna svetlost (engl. "stray light") predstavlja svetlost koja prolazi kroz monohromator i dopire do detektora a nije one talasne dužine koju monohromator u datom trenutku bira. Njome je, dakle, određena granica merljivosti slabih spektralnih komponenata u prisustvu jakih. Na primer, u slučaju sunčevog zračenja, odnos iradijanse na 295 nm (na opsegu širine 1 nm) prema ukupnoj iradijansi u opsegu od 295 nm do 800 nm je reda 10^{-7} [3], što znači da se, uz faktor potiskivanja parazitne svetlosti (engl.

"stray light rejection") od 10^7, dobija greška reda 100%, te je potrebno još bolje potiskivanje. Veći faktori potiskivanja obično se dobijaju dvostrukim monohromatorima.
Tip detektora i realizacija sistema za skeniranje određuju princip rada i cenu instrumenta. Od detektora, u osetljivim sistemima se koristi fotomultiplikatorska cev (PMT) a za manje precizne, u slučaju jačeg zračenja, jeftiniji poluprovodnički, najčešće silicijumski. Firma Optronic Laboratories Inc. (4632 36th Street, Orlando, Florida 32811, USA) proizvodi precizne i kvalitetne spektroradiometrijske sisteme bazirane na PMT-u i dvostrukom monohromatoru, ali je cena ovakvih instrumenata veoma visoka – ukupan sistem košta preko 50,000 američkih dolara. Firma Macam Photometrics Ltd. (10 Kelvin Square, Livingstone EH54 5PF, Scotland, UK) nudi sisteme solidnih performansi koje karakteriše velika brzina skeniranja (vreme skeniranja spektra je 80 ms, prema specifikacijama), ali je cena punog sistema i dalje visoka, pošto prevazilazi 16,000 britanskih funti. Posebno robustni su spektroradiometri firme StellarNet Inc. (612 Shore Drive East, Oldsmar, Florida 34677, USA) jer su visokointegrisani i nemaju pokretnih delova, usled čega im je cena znatno niža – oko 4000 američkih dolara.
Za potrebe precizne UV-spektroradiometrije, sistem mora sadržavati ulaznu optiku sa difuzorom ili integracionom sferom, monohromator, detektor, pojačavač i kontrolno-akvizicionu jedinicu [2]. Rezolucija treba da bude 1 nm ili bolja, uz osetljivost od 0,1 $\mu W/cm^2$ na 300 nm, veliko potiskivanje parazitne svetlosti i veliki dinamički opseg, te visoku stabilnost. Ukoliko se meri spektar sunčevog zračenja, sistem mora imati još i kosinusni detektor, brzo skeniranje i temperatursku kompenzaciju. Kosinusni detektor prihvata zračenje iz čitave hemisfere (prostornog ugla 2π sr), pri čemu je odziv povezan sa uglom incidencije zraka po kosinusnom zakonu.

ŠIROKOPOJASNI RADIOMETRI

Širokopojasni (engl. "broadband") radiometri se najčešće označavaju kao UV-A, UV-B i UV-C, prema opsegu talasnih dužina za koji su namenjeni. Oni prikazuju ukupnu iradijansu u datom opsegu i njihova cena je znatno niža od cene spektroradiometara, tipično nekoliko stotina dolara. Potrebno ih je kalibrisati najmanje dva puta godišnje, što se najčešće vrši pomoću preciznog spektroradiometra. Pojedini širokopojasni radiometri su projektovani tako da njihov spektralni odziv prati akcioni spektar za neki od bioloških efekata. Najčešće je to eritem, crvenilo kože koje nastaje usled preteranog izlaganja UV zračenju npr. pri sunčanju, pa se takvi instrumenti mogu direktno koristiti za procenu biološkog efekta UV zračenja. Međutim, pošto je nemoguće ostvariti tačno poklapanje akcionog spektra sa odzivom, moguće su velike greške ili, zbog dodatnih filtara, znatno viša cena instrumenta sa boljim slaganjem spektara.
Jedan od najčešćih instrumenata iz ove klase je Robertson-Bergerov (RB) eritemni radiometar. Firma Solar Light Co. (721. Oak Lane, Philadelphia, PA 19126, USA) proizvodi nekoliko varijanti ovog instrumenta, osetljivosti oko 0,56 $\mu W/cm^2$. Mnogi drugi proizvođači nude razne varijante širokopojasnih radiometara, npr. International Light, 17 Graf Road, Newburyport, Mass. 01950-4092, USA; Monitor Sensors, 7-9 Industry Drive, Caboolture, Queensland, Australia; zatim Extech Instruments, Biospherical Instruments, itd.
Glavna prednost ove klase aparata je jednostavna upotreba uz nisku cenu, brzo merenje i robustnost, što omogućava terensku primenu u dužem vremenskom periodu i akviziciju

podataka sa više lokacija. Merna nesigurnost rezultata kod širokopojasnih radiometara i pasivnih dozimetara uglavnom ne može biti niža od 20%.

PASIVNI DOZIMETRI

Ova klasa instrumenata je bazirana na supstancama koje fotohemijski reaguju u prisustvu UV zračenja. Tipičan primer je polisulfonski materijal koji registruje doze veće od 2 mJ/cm^2. Od ovakvih dozimetara zahtevaju se kosinusni odziv, spektralna karakteristika koja prati akcioni spektar biološkog procesa od interesa, relativna neosetljivost na sporedne ambijentalne uslove (temperatura, pritisak, vlažnost), male dimenzije i robustnost. Mogu se staviti u većem broju na istu osobu u cilju procene izloženosti različitih delova tela UV-zračenju, mada je uobičajeno staviti ih na delove tela koji su najviše izloženi (delovi glave, zadnji deo vrata...). Najčešće prate akcioni spektar eritema. Među poznatije, pored polisulfonskih, spadaju i *Viospor* za UVA i UVB (Biosense, Lab. for Biol. Sensory Systems, Quintern&Holtschmidt GbR, Mornesrstr. 4, D-533332, Bornheim, Deutschland) i *CR-39* za UVB (Pershore Moulding Co., UK).

ZAKLJUČAK

Svaka od navedenih klasa instrumenata ima svoju oblast primene. Za precizna laboratorijska merenja i sekundarnu kalibraciju, najpogodniji su spektroradiometri čija cena je suviše visoka da bi se koristili za uobičajena terenska merenja. Za merenje spektralne karakteristike emisionih elemenata u medicinskim ili kozmetičkim primenama su nezamenljivi, jer se često ovakvi aparati podešavaju tako da emituju relativno visoke doze UVB zračenja u kratkom vremenu, pa je veoma značajno da njihov emisioni spektar bude precizno utvrđen. Za terenske procene sunčevog zračenja i slične primene, u dužem vremenskom periodu, pogodni su širokopojasni radiometri, dok su za procenu rizika i izloženosti pojedinačnih osoba najadekvatniji UV-dozimetri.

LITERATURA

[1] Schneider W.E., Young R., "Spectroradiometry Methods – A Guide to Photometry and Visible Radiometry", www.olinet.com/library/A14.PDF

[2] Wong J.C.F., Parisi A.V., "Assessment of ultraviolet radiation exposures in photobiological experiments", www.photobiology.com/UVR98/wongrev/index.htm

[3] Optronic Laboratories Inc. 1990, *The Measurement of Solar Ultraviolet Spectral Irradiance Problems and Solutions - Application Note (A1)*, Optronic Laboratories Inc., Orlando, Florida, USA

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF ULTRAVIOLET RADIOMETRY INSTRUMENTATION

S. Stanković, S. Janković
Faculty of Electrical Engineering, Belgrade

An overview of the most important characteristics of ultraviolet radiometry instrumentation, particularly those critical for the user, is presented, citing some of the equipment manufacturers. The three basic instrument types, namely spectroradiometers, broadband radiometers and passive dosimeters are presented.

ODREĐIVANJE REFLEKSIVNOSTI RAZLIČITIH PODLOGA ZA UV-A ZRAČENJE

S. Janković, S. Stanković
Elektrotehnički fakultet u Beogradu

SADRŽAJ

Predložen je metod za brzo i jednostavno određivanje zbirne refleksivnosti ultravioletnog zračenja za različite podloge radi komparativnih studija i/ili procene ukupne apsorbovane doze. Izvršena su merenja za nekoliko različitih vrsta podloga.

UVOD

Ljudska populacija, a naročito osobe koje dugo borave na otvorenom, u poslednje vreme su sve više izloženi potencijalno opasnom dejstvu ultravioletnog (UV) zračenja. Smanjivanje debljine ozonskog omotača uslovilo je povećanje ukupne snage ultravioletnog zračenja koje dopire do površine Zemlje i to u onoj oblasti UV spektra koja obuhvata veće energije. Iako ultravioletni zraci čine svega oko 5% Sunčevog zračenja koje stigne do površine Zemlje, oni zahtevaju posebnu pažnju jer pojedinačni fotoni imaju energije dovoljne za pokretanje biohemijskih procesa koje fotoni manjih energija ne mogu aktivirati. Kvanti ovih energija povezani su sa pojavom brojnih poremećaja i oboljenja uključujući kancer kože, kataraktu i imunodeficijenciju [1].

Većina ljudi je slabo informisana o dokazanim štetnim efektima ovog zračenja. Izlaganje Suncu (sunčanje) i ostale slične aktivnosti su često uzrokovane pogrešnim uverenjem da UV zračenje ima samo pozitivne efekte na zdravlje. Međutim, osim estetskih efekata, poboljšanja kod nekih kožnih bolesti i potpomaganja proizvodnje vitamina D, do danas nisu sa sigurnošću ustanovljeni drugi pozitivni efekti UV zračenja. Posebnu opasnost predstavlja činjenica da je njihovom dejstvu nesvesno izložena celokupna populacija tokom boravka na suncu, što nije slučaj sa izlaganjem jonizujućem zračenju koje se veoma retko dešava osobama iz opšte populacije, pri čemu je to izlaganje najčešće svesno.

U svrhe informisanja i zaštite od Sunčevog UV zračenja uveden je tzv. solarni UV indeks koji se definiše za horizontalnu površinu i ima svrhu da opštoj populaciji učini dostupnim podatke o nivou UV zračenja koje potiče od Sunca radi preduzimanja potrebnih zaštitnih mera [2]. Međutim, pored direktnog, postoji i difuzno UV zračenje koje u hladu može činiti i 60% doprinosa ukupnoj dozi i biti izvor veoma velike UV iradijanse [3]. Ovo je, jednim delom, posledica Rayleigh-ovog rasejanja koje je utoliko intenzivnije ukoliko je talasna dužina kraća, ali i reflektovanog zračenja koje nastaje kao posledica refleksije UV zraka od površina raznih materijala na zemlji i od kojeg sredstva poput šešira i suncobrana

ne mogu pružiti adekvatnu zaštitu. Pojedini poremećaji, npr. snežno slepilo, javljaju se usled refleksije UV zračenja od površine snega, a slični poremećaji mogu nastati i usled refleksije od drugih materijala. Zbog toga je značajno oceniti refleksivnost različitih materijala koji se često koriste za prekrivanje površina na otvorenom, kako bi se ustanovilo koliki je udeo reflektovanog UV zračenja u ukupnoj dozi koju osoba primi.

METODE

Da bi se procenila refleksivnost površine, potrebno je definisati zbirni koeficijent refleksije podloge. Pošto su materijali od interesa (beton, betonske ploče, pesak i sl.) uglavnom neravni i nehomogeni, nije moguće koristiti definiciju koeficijenta refleksije kakva se sreće u geometrijskoj optici. Takva definicija nije pogodna ni zato što ne postoji jedinstveni izvor zračenja, već ono dolazi u formi direktnog i difuznog. Zbog toga je potrebno uvesti zbirni koeficijent refleksije R_z, koji se može definisati kao odnos pokazivanja instrumenta sa horizontalno postavljenim kosinusnim detektorom orijentisanim najpre vertikalno naviše (I_g) a zatim vertikalno naniže (I_d): $R_z=I_d/I_g$. Podrazumeva se da je podloga horizontalna. Pri tome se prethodno mora usvojiti visina postavljanja detektora, odnosno udaljenost od njega do površine čija se refleksivnost meri. Ako je ona dovoljno velika, očekuje se da očitani rezultati budu stabilni. Dovoljno velika visina podrazumeva:

- da se u vidnom polju određenom uglom poluosetljivosti detektora nalazi isključivo podloga od interesa;
- da su geometrijske dimenzije ovog vidnog polja značajno veće od geometrijskih dimenzija neravnina na podlozi od interesa;
- da je površina senke koju detektor formira na podlozi značajno manja od ukupne površine ovog vidnog polja;
- da u okolini ovog vidnog polja ne postoje materijali čija je refleksivnost za UV zračenje značajno veća od refleksivnosti podloge od interesa.

Zbirni koeficijent refleksije može se koristiti za relativno grubu procenu refleksivnosti neravnih i nehomogenih površina. Komponenta koja potiče od Rayleigh-ovog rasejanja je potpuno eliminisana pri orijentaciji detektora vertikalno naniže. Za merenja se koriste širokopojasni UV radiometri sa kosinusnim detektorom, poput instrumenata za merenje ukupne UV-A ili UV-B iradijanse, eritemnih UV radiometara i sl. Metod je ekonomičan kako u pogledu potrebne opreme, tako i procedure samog merenja. Dobijeni rezultati su posebno korisni za komparativne analize, npr. poređenje refleksivnosti različitih površina, kao i procene ukupne primljene doze usled reflektovanog zračenja.

U ovom radu korišćen je terenski instrument proizvođača Extech Instruments, model 40736A, koji meri ukupnu iradijansu UV-A zračenja u opsegu talasnih dužina od 320 nm do 390 nm. Visina postavljanja detektora bila je 1,2 m. Merenja su vršena u Beogradu, u periodima najintenzivnijeg Sunčevog zračenja, između 11 h i 13 h, od 1.7.2001. do 15.7.2001. Nad svakom podlogom vršeno je po 30 merenja, u tri serije od po 10, različitim danima, po sunčanom vremenu bez oblaka.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja za 12 različitih podloga prikazani su u Tabeli 1. Za rečnu vodu (reka Sava) data je samo ocena, usled velikih varijacija signala.

Tabela 1. Zbirni koeficijent refleksije za različite podloge
sa odgovarajućim standardnim devijacijama i koeficijentima varijacije

Podloga	R_z [%]	σ [%]	CV [%]
Asfalt (beton) – kolovozna površina	5,31	0,20	3,77
Bela betonska ploča za pešačku stazu (40 x 40 cm)	9,59	0,55	5,77
Pesak	4,90	0,25	5,14
Nasip obložen betonskim pločama (40 x 20 cm)	5,68	0,31	5,51
Sitnozrni liveni asfalt (biciklistička staza)	5,34	0,22	4,13
Niska trava	1,37	0,11	7,94
Visoka trava	0,80	0,16	19,87
Armirano-betonska ploča	6,37	0,19	3,05
Suva zemlja	4,17	0,36	8,72
Tucanik (kolosečni zastor)	5,09	0,32	6,32
Sitan šljunak	4,19	0,10	2,49
Rečna voda	3,2–4,6	–	–

Uočava se da je za većinu podloga zbirni koeficijent refleksije oko 5%. Relativno male vrednosti standardne devijacije ukazuju na dobru reproducibilnost rezultata imajući u vidu prilično jednostavan postupak merenja. Time je pokazano da je predloženi metod sasvim adekvatan za poređenja refleksivnosti različitih podloga i pored njihove nehomogenosti i geometrijske nepravilnosti. Najmanje vrednosti koeficijenta varijacije dobijaju se na onim podlogama čija je površina dovoljno velika da zauzme najveći deo vidnog polja detektora, što je bio slučaj sa sitnim šljunkom. Pojedine podloge kao što je trava, podložne su fizičkim i hemijskim promenama tako da se, u zavisnosti od vremena merenja, mogu dobiti prilično različiti rezultati, što za posledicu ima velik koeficijent varijacije. U slučaju visoke trave, ovaj koeficijent je još veći, zbog velikih razlika u geometrijskim osobinama podloge na različitim mestima.

Najmanje vrednosti R_z dobijaju se za travu, što se može objasniti kako dobrim apsorptivnim osobinama, tako i višestrukim refleksijama koje za posledicu imaju veći broj interakcija incidentnog zračenja sa materijalom. Nasuprot tome, pojedine podloge, kao što su bele betonske ploče za pešačku stazu, reflektuju UV-A zračenje za red veličine bolje.

ZAKLJUČAK

Predloženi metod omogućuje brzo i jednostavno određivanje zbirne refleksivnosti različitih podloga radi komparativnih studija i/ili procene ukupne apsorbovane doze UV zračenja. Ispitivanja se mogu vršiti pomoću bilo kog širokopojasnog UV radiometra (UV-A, UV-B, eritemni i sl.) sa kosinusnim detektorom. Kao mera valjanosti rezultata merenja može se koristiti koeficijent varijacije.

Podaci o reflektovanom UV zračenju su od interesa ukoliko su osobe izložene dejstvu jakog sunca (najčešće od 10 h do 16 h) uz primenjene zaštitne mere (npr. šešir za sunce). U takvoj situaciji veliki deo apsorbovane doze potiče od reflektovanog zračenja, a pojedini osetljivi organi (npr. oči) su posebno izloženi. Na osnovu obavljenih merenja se može zaključiti da je najbezbednija podloga, u smislu UV-A refleksivnosti, visoka trava, dok su bele betonske ploče potencijalno opasne.

LITERATURA

[1] IRPA (International Radiation Protection Association) 1985, "IRPA Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation)", *Health Physics* 49(2) (August), pp. 331-340

[2] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 1995, *Global Solar UV-Index. A joint recommendation of WHO, WMO, UNEP and ICNIRP*

[3] A. V. Parisi, M. G. Kimlin, J. C. F. Wong and M. Wilson 1999, "Diffuse component of the solar ultraviolet radiation in tree shade", http://www.photobiology.com/photobiology99/contrib/alfio/index.htm

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF UV-A REFLECTANCE

FOR VARIOUS GROUND SURFACES

S. Janković, S. Stanković
Faculty of Electrical Engineering, Belgrade

A method was proposed for quick and simple assessment of the total ultraviolet reflectance for various ground surfaces, for the purpose of comparative studies and/or assessment of the total absorbed dose. The measurements were conducted for several different types of ground surfaces.

UTICAJ DUGOTRAJNOG IZLAGANJA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA EKSTREMNO NISKE FREKFENCIJE NA MASTOCITE TIREOIDNE ŽLEZDE PACOVA

M. Matavulj, V. Rajković, I. Grahek
Institut za biologiju, Univerzitet u Novom Sadu

SADRŽAJ

Ispitivan je uticaj ekstremno niskofrekventnog elektromagnetnog polja (50 Hz) na morfologiju i brojnost mastocita u tireoidnoj žlezdi pacova. Dobijeni stereološki rezultati ukazuju na heterogenost u odgovoru mastocita na ENF-EMP-a u zavisnosti od dužine izlaganja, intenziteta polja kao i pola žvotinja.

UVOD

Uprkos činjenici da je do danas objavljen veliki broj rezultata kako eksperimentalnih tako i epidemioloških istraživanja, mehanizam delovanja ekstremno niskofrekventnih elektromagnetnih polja (ENF-EMP-a) na žive organizme još uvek nije otkriven. U traganju za mogućim ciljnim ćelijama koje pokazuju najveću reaktivnost na ENF-EMP-a u poslednjih nekoliko godina posebno se izdvajaju mastociti. To su granulirane ćelije vezivnog tkiva koje vode poreklo iz kostne srži. Prisutne su u gotovo svim organima i predstavljaju glavno mesto sinteze histamina u organizmu. Pokazano je da su ove ćelije senzitivne na uticaj kako ENF-EMP-a [1] tako i na visoko frekventna EMP-a [2] zbog čega neki autori [3] ukazuju na mogućnost da ove ćelije budu upotrebljene kao testne ćelije za telesnu reaktivnost i adaptaciju na ovaj fizički agens.

Tireoidee pacova se karakterišu prisustvom velikog broja mastocita koji su lokalizovani u interfolikularnom vezivnom tkivu najčešće perifolikularno i perivaskularno. Njihov broj je u direktnoj pozitivnoj korelaciji sa nivoom tireostimulirajućeg hormona (TSH) u krvi [4]. Mastociti imaju važnu ulogu u fiziologiji tireoidee, budući da utiču na regulaciju njenog krvotoka, kao i na sintezu i sekreciju njenih hormona [5]. U ovom radu ispitivali smo delovanje ENF-EMP-a (50 Hz) različitog intenziteta na morfologiju i brojnost mastocita tireoidne žlezde pacova u oba pola.

MATERIJAL I METODE

Ispitivanje uticaja ENF-EMP-a na tireoidnu žlezdu sprovedeno je na mužjacima i ženkama laboratorijskih pacova soja Mill Hill. Mužjaci su izlagani polju 7 h na dan, 5

dana u nedelji počevši od 24 h nakon koćenja u trajanju od tri (n=7), četiri (n=6) i pet meseci (n=8), dok su ženke (n=5) izlagane u periodu laktacije počevši od 4. meseca postnatalnog života u trajanju od mesec dana. Odgovarajuće kontrolne grupe mužjaka (n=20) i kontrolna grupa ženki (n=5) držane su u istovetnim laboratorijskim uslovima, izuzev ENF-EMP-a.

Aparaturu pomoću koje je dobijeno ENF-EMP-e sačinjavao je kalem od žice debljine 2,5 mm namotane na drvene ramove. Kavezi sa životinjama su bili postavljeni sa obe strane kalema priključenog na strujnu mrežu. Frekvencija produkovanog polja iznosila je 50 Hz, dok se intenzitet kretao od 500 μT (na strani kaveza bliže kalemu) do 50 μT (na suprotnoj strani kaveza), osim za životinje podvrgnute petomesečnom istraživanju koje su izlagane polju većeg intenziteta i to od 1000 μT do 60 μT.

Nakon žrtvovanja životinja, tireoidne žlezde su podvrgnute standardnoj histološkoj proceduri za dobijanje parafinskih kalupa, koji su potom sečeni na mikrotomu u preseke debljine 5 μm i bojeni toluidinskim plavim i Dominici metodom. Stereološka analiza je izvršena na 140 vidnih polja po uzorku mnogonamenskim testnim sistemom sa 42 tačke, koja je obuhvatila volumensku (Vvm) i numeričku gustinu (Nvm) ukupnih mastocita kao i tri morfološka podtipa mastocita: tip A, tip B i tip C (po Banni-Sacchi-evoj klasifikaciji)[6].

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati koje smo dobili pokazuju da izlaganje ekstremno niskofrekventnom magnetnom polju ima uticaja na morfologiju i brojnost mastocita u tireoidnoj žlezdi pacova. Rezultati stereoroloških merenja ukazuju na heterogenost u odgovoru mastocita na ENF-EMP-e u zavisnosti od dužine izlaganja, intenziteta polja kao i pola žvotinja (Tab. 1). Međutim, histološka analiza daje nešto ujednačeniju sliku. Naime, u svim tretiranim grupama životinja retki su intratireoidni mastociti u kojima dominiraju purpurno obojene granule, što je povezano sa povećanim prisustvom N-sulfatizovanih glikozaminoglikana kao što je heparin. Ovde preovladavaju granulacije koje se boje plavo što je znak da u njima preovladava histamin. Pokazano je da heparin u mastocitima vezuje neke faktore rasta koji se nazivaju heparin vezujući faktori rasta (HBGFS) [7] tako da po svemu sudeći mastociti produkujući heparin ubrzavaju svoje sopstveno sazrevanje i diferencijaciju. Kako naši rezultati pokazuju, EMP-e povećava broj plavo obojenih granula nakon mesec dana (kod ženki) i nakon 5 meseci (kod mužjaka) što se manifestovalo povećanjem volumena mastocita tipa A i tipa B. Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost da izlaganje ENF-EMP-a može uzrokovati smanjenu sintezu heparina, a verovatno povećan sadržaj histamina u ovim ćelijama. Međutim, kako do sada nema literaturnih podataka o delovanju EMP-a na mastocite tireoidne žležde, dobijene rezultate možemo komparirati samo sa promenama konstatovanim na mastocitima nekih drugih organa ili sa onim dobijenim ispitivanjima mastocita u uslovima *in vitro.* Rezultati slični našim su dobijeni pri ispitivanju mastocita u spinalnom ganglionu pacova gde je ENF-EMP-e magnetne indukcije od 100 mT imalo za posledicu ne samo promenu nivoa kateholamina, serotonina i histamina, već i promenu odnosa histamin/serotonin [8]. Ovo bi ukazivalo da histamin može biti odbrambeni medijator kojim organizam reaguje na izlaganje EMP-u, što se dešava i pri izlaganju nekim stresnim situacijama [9].

Stimulacija različitim egzogenim i endogenim faktorima izaziva degranulaciju mastocita i ona se odigrava kao odgovor na promenu koncentracije jona. Pokazano je da

izlaganje EMP-u, u zavisnosti od njegove dužine, ima uticaja na koncentraciju jona Na, K i Cl u serumu što takođe dovodi do degranulacije mastocita [10]. Ovo bi mogao biti uzrok i signifikantnog povećanja broja degranulisanih mastocita u našem eksperimentu koji smo zapazili nakon mesec dana izlaganja ENF-EMP-u kod ženki i nakon pet meseci izlaganja kod mužjaka. Ovi nalazi idu u prilog činjenici da je proliferacija mastocita i njihov fenotip uključujući njihovu morfologiju, sadržaj različitih medijatora, način degranulacije i njihov proliferativni potencijal regulisan prvenstveno njihovim mikrookruženjem [11].

Tabela 1. Volumenska i numerička gustina ukupnih mastocita i pojedinih njihovih podtipova u kontrolnih životinja i životinja izlaganih ENF-EMP-u (x±SE).

Dužina trajanja eksperimenta		1 mesec		3 meseca		4 meseca		5 meseci	
Stereološki parametri		kontrolne životinje	životinje izlagane EMP-u	kontrolne životinje	životinje izlagane EMP-u	kontrolne životinje	životinje izlagane EMP-u	kontrolne životinje	životinje izlagane EMP-u
Ukupni mastociti	Vvm	0,39 ± 0,016	0,45 ± 0,03	0,42 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,012 ± 0,002	0,009 ± 0,0007	0,50 ± 0,03	0,53 ± 0,03
	Nvm	6290,33 ± 217,39	7225,1** ± 21,19	14005 ± 579,46	12935 ± 787,11	4725,58 ± 265,69	2958,1** ± 172,69	9215,45 ± 285,42	8704,87 ± 517,69
Vvm tip A		0,037 ± 0,004	0,028 ± 0,006	0,09 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,39 ± 0,014	0,25** ± 0,023	0,09 ± 0,009	0,08 ± 0,007
Vvm tip B		0,15 ± 0,016	0,2* ± 0,008	0,24 ± 0,02	0,29 ± 0,03	0,53 ± 0,047	0,35** ± 0,019	0,09 ± 0,01	0,14* ± 0,018
Vvm tip C		0,025 ± 0,002	0,032 ± 0,005	0,10 ± 0,008	0,15* ± 0,017	0,33 ± 0,035	0,27 ± 0,017	0,01 ± 0,004	0,02* ± 0,001
Nvm tip A		2194,78 ± 63,07	1113,1** ± 35,56	2469,5 ± 490,82	2758,7 ± 493,73	9208,99 ± 973,78	5095,9** ± 385,84	2729,54 ± 162,26	2793,34 ± 147,33
Nvm tip B		1929,73 ± 25,74	6247,5** ± 132,33	8609,1 ± 642,21	7873,2 ± 627,01	11878,34 ± 109,06	4614,3** ± 425,58	2268,61 ± 115,37	3801,5** ± 120,23

Nvm tip C	477,05 ± 62,88	988,8** ± 57,96	4963,7 ± 511,82	5264,0 ± 560,55	10491,54 ± 887,52	7388,98 ± 3286,83	248,29 ± 117,61	356,66 ± 99,91

P<0,05, **P<0,01

LITERATURA

[1] Turieva-Dzodzikova M.E., Salbiev K.D., Kokabadze S.A. 1995. The tissue basophils of the rat mesentery under the influence of a permanent magnetic field. Morfologiia 108: 46-49.

[2] Donellan M., McKenzie D.R., French P.W. 1997. Effects of exposure to electromagnetic radiation at 835 MHz on growth, morphology and secretory characteristics of a mast cell analogue, RBL-2H3. Cell Biol Internat 21: 427-439.

[3] Iurina N.A., Radostina A.I., Savin B.M., Remizova V.A., Kosova I.P. 1997. Mast cells as a test of body state during electromagnetic exposure of varying intensity. Aviokosm Ekolog Med 31(2): 43-47.

[4] Melander A. 1977. Aminergic regulation of thyroid activity: importance of the sympathetic innervation of the mast cells of the thyroid gland. Acta Med Scand 201: 257-262.

[5] Melander A., Ericson L., Sundler F., Westgren U. 1975. Intrathyroidal amines in the regulation of thyroid activity. Rev Physiol Biochem Pharmacol 73: 39-45.

[6] Bani-Sacchi T. 1966. Sul numero e la distribuzione delle mastzellen nell'omento del rato albino in rapporto all'eta ed al sesso. Arch It Anat Embriol 71: 91-98.

[7] Brigstock R.D., Heap B.R., Barker J.P. 1990. Purification and characterization of heparin-binding growth factors from porcine uterus. Biochem J 266: 273-282.

[8] Merkulova L.M. 1990. The effect on an impulse electromagnetic field on the bioamine allowance of the spinal ganglion in rats under whole-body exposure. Radiobiologiia 30: 252-255.

[9] Ray A., Puri S., Chakravarty A.K., Sen P. 1992. Central histaminergic involvement during stress in rats. Ind J Biol 30: 724-728.

[10] Gorczynska E., Wegrzynowicy R. 1986. Effect of chronic exposure to static magnetic field upon the K+, Na+ and chlorides concentrations in the serum of ginea pigs. J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol 30: 121-126.

[11] Gali S.J. 1993. New concepts about the mast cells. N Engl J Med 328: 257-265.

ABSTRACT

INFLUENCE OF LONG TERM-EXPOSURE TO EXTREMELY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS ON MAST CELLS OF RAT THYROID GLAND

M. Matavulj, V. Rajković, I. Grahek
Intitute of Biology, University of Novi Sad

The influence of extremely low frequency electromagnetic field (50 Hz) on the morphology and number of rat thyroidal mast cells was investigated. Obtained stereological results pointed out the heterogenity of mast cell response to the ELF-EMF effect regarding to the duration of exposure, EMF intensity and the animal gender.

VARIJACIJA NIVOA ELEKTROMAGNETSKOG POLJA U OKOLINI MONITORA VIEW SONIC E651-3

M. Ranisavljević
INN "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja

SADRŽAJ

U radu su prikazane varijacije nivoa elektromagnetskog polja u okolini monitora Obrađeno je ukupno 100 monitora istog tipa. Na osnovu izmerenih vrednosti određena je srednja vrednost jačine električnog polja i magnetske indukcije, standardna devijacija kao i opseg u kome se kreću izmerene vrednosti.

UVOD

Monitor u toku rada stvara elektromagnetsko polje u tri različita opsega učestanosti. Kalem za horizontalno skretanje elektronskog mlaza stvara elektromagnetsko polje u VLF opsegu i to uglavnom u opsegu od 15kHz do 35kHz. U ELF opsegu, elektromagnetsko polje potiče od transformatora i od kalema za vertikalno skretanje elektronskog mlaza. Elektromagnetsko polje u RF opsegu potiče od elektronskih kola koja se nalaze u unutrašnjosti monitora. Takođe, monitor je izvor X zračenja niskih energija. Međutim, staklo ekrana je dovoljne debljine da u potpunosti apsorbuje X zračenje, tako da ono ne može biti detektovano van monitora[1]. U ovom radu su prikazani rezultati merenja nivoa elektromagnetskog polja u VLF opsegu. Autor je po prvi put imao priliku da na jednom mestu obradi veliki broj (preko 100) monitora istog tipa, koji imaju istu zemlju porekla (Tajland) i praktično isti datum proizvodnje (Septembar 2000.)

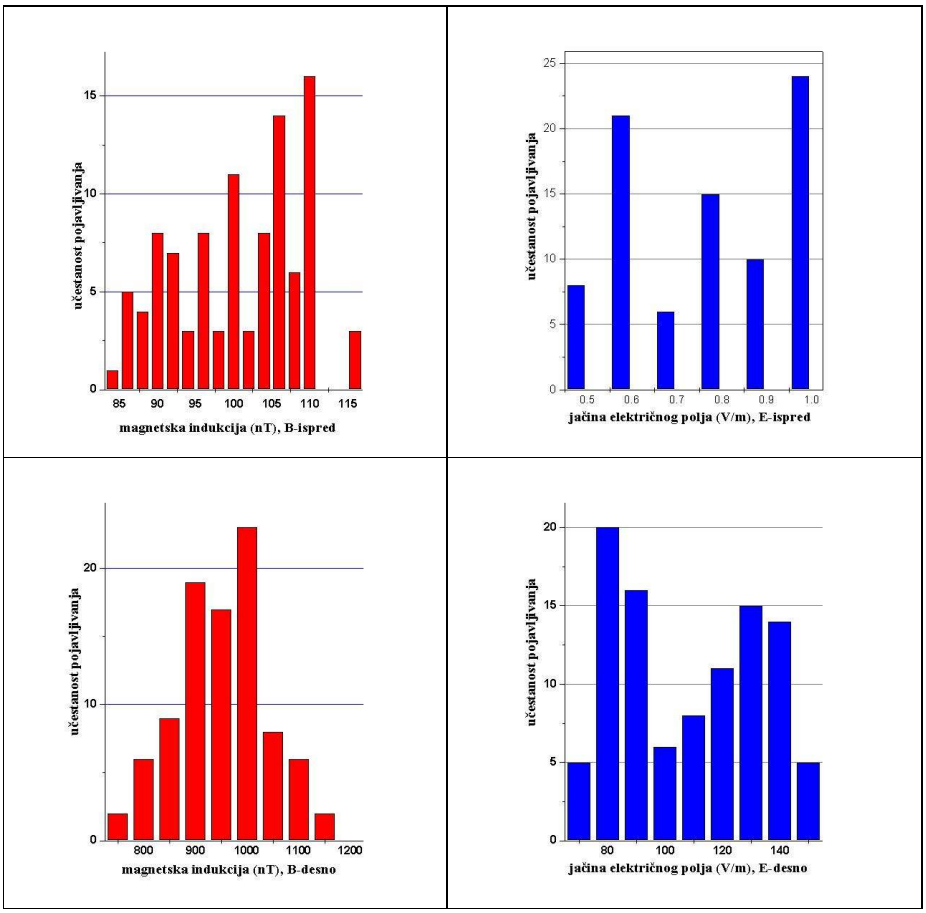
METOD MERENJA

Merenje je izvršeno instrumentom HI-3603 koji meri jačinu električnog polja u opsegu učestanosti od 2kHz do 300kHz i magnetsku indukciju u opsegu učestanosti od 8kHz do 300kHz. Uređaj meri efektivnu vrednost pomenutih veličina. Nivo elektromagnetskog polja je određen odvojenim merenjem jačine električnog polja (E) i magnetske indukcije (B).Merenje za svaki monitor je izvedeno u 5 mernih tačaka (ispred na 30cm, kontaktno levo, kontaktno desno, kontaktno iza, kontaktno iznad). Za merna mesta kontaktno levo, desno, iza i iznad, korišćen je metod "njuškanja" radi određivanja maksimalnih vrednosti za E i B. Upotrebom specijalnog odstojnika, omogućeno je da se za merno mesto ispred postigne da centar sonde uvek bude 30cm udaljen od centra ekrana.

Rastojanje od 30cm je izabrano zbog toga što je to praktično najkraće rastojanje od monitora na kom se korisnik računara može naći u toku rada. Monitori su bili raspoređeni po principu "ostrva". Ostrvo je radna površina kružnog oblika na kojoj se nalaze čine 4 monitora koji su svojom zadnjom stranom okrenuti ka centru ostrva, a susedni monitori zaklapaju ugao od 90°. Prilikom merenja, svi monitori koji se nalaze na istom ostrvu, bili su uključeni. Najbliža merna mesta susednih monitora udaljena su oko 50 cm.

REZULTATI MERENJA

Rezultati merenja su grafički prikazani i statistički obrađeni korišćenjem programa Origin 5.0. Učestanosti pojavljivanja izmerenih vrednosti, za svako merno mesto, prikazane su na graficima, a statističke vrednosti za E i B u tabelama.



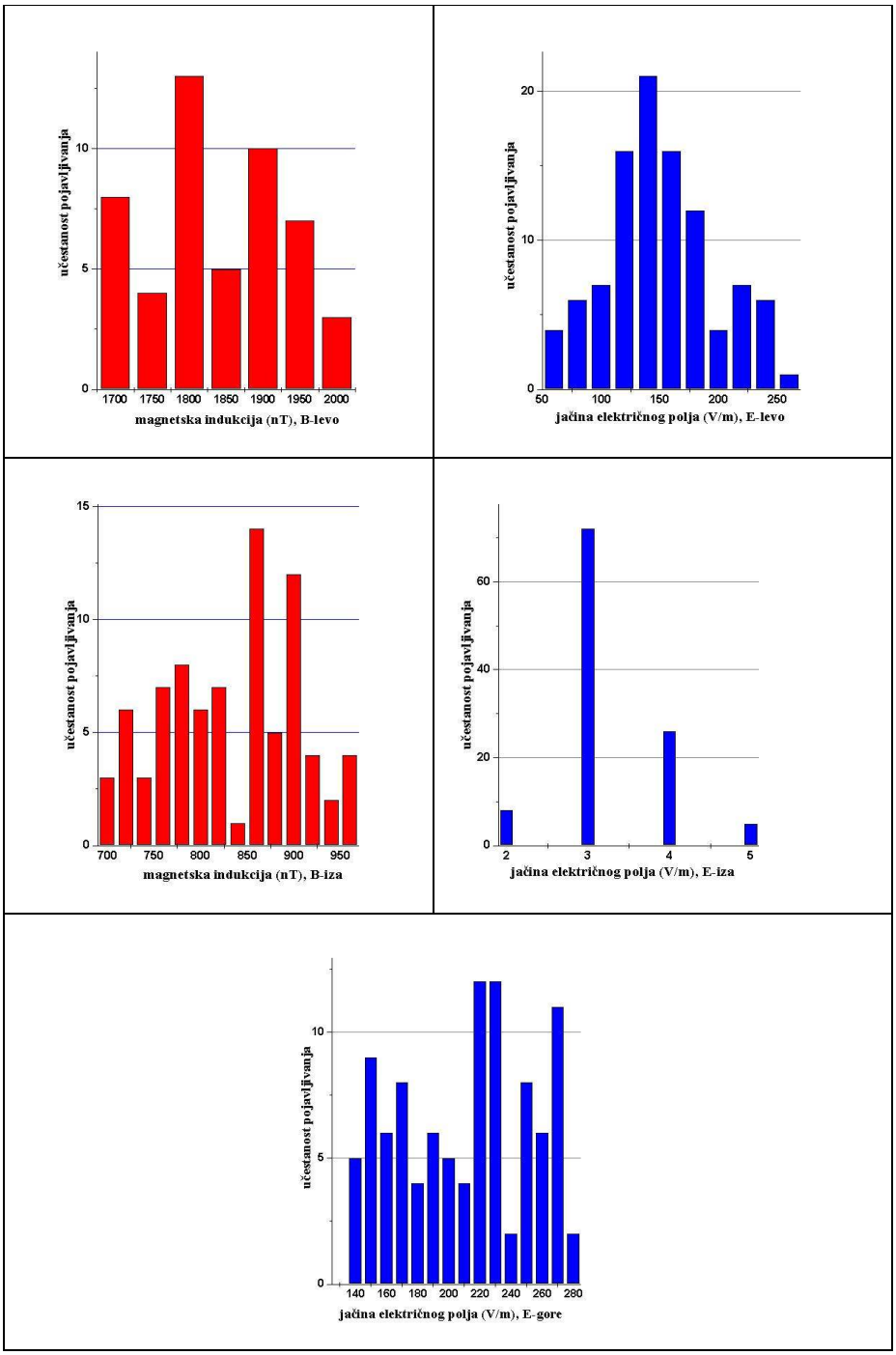

učestanost pojavljivanja
magnetska indukcija (nT), B-levo
jačina električnog polja (V/m), E-levo
magnetska indukcija (nT), B-iza
jačina električnog polja (V/m), E-iza
jačina električnog polja (V/m), E-gore

Tabela1. Jačina električnog polja

veličina / merno mesto	Emax (V/m)	Emin (V/m)	Esr (V/m)	st.dev.	opseg (%)
ispred(30cm)	1	0.5	0.8	0.2	-35÷+25
k.desno	145	127	107	24	-20÷+35
k.levo	250	61	147	45	-60÷+70
k.iza	5	2	3.3	0.7	-40÷+50
k.iznad	275	135	209	43	-40÷+30

Tabela2. Magnetska indukcija

veličina / merno mesto	Bmax (nT)	Bmin (nT)	Bsr (nT)	st.dev.	opseg (%)
ispred(30cm)	115	84	100	8	-15÷+15
k.desno	1170	750	952	88	-20÷+20
k.levo	1980	1700	1838	89	-10÷+10
k.iza	950	700	827	71	-15÷+15
k.iznad	*Izvan mernog opsega uređaja HI-3603*				

KOMENTAR

U tabelama 1 i 2 date su maksimalna i minimalna vrednost, srednja vrednost, standardna devijacija kao i opseg oko srednje vrednosti u kome se nalaze izmerene vrednosti jačine električnog polja odnosno magnetske indukcije za 5 mernih mesta (ispred 30cm, kontaktno desno,levo, iza i iznad). Za sve obrađene monitore magnetska indukcija, na mernom mestu kontaktno gore, bila je izvan mernog opsega korišćenog mernog uređaja. Takođe, za oko 50% obrađenih monitora magnetska indukcija na mernom mestu kontaktno levo je bila izvan mernog opsega uređaja (veća od 2000 nT), a vrednosti date u vrsti k.levo tabela 2, su određene na osnovu vrednosti koje su bile unutar mernog opsega.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se najveće vrednosti jačine električnog polja i magnetske indukcije nalaze na mernom mestu kontaktno iznad. To je povoljna okolnost, s obzirom da se u tom prostoru (iznad monitora) praktično nikad ne može naći korisnik računara ili neko drugo lice koje ima radno mesto u blizini monitora.

Što se tiče varijacije izmerenih vrednosti, uočava se da su one mnogo izraženije kod električnog polja i da se međusobno razlikuju od jednog do drugog mernog mesta, dok je za magnetsku indukciju opseg varijacija manji i skoro konstantan za sva merna mesta.

Treba istaći da su sve izmerene vrednosti (E i B) u saglasnosti sa referentnim nivoima za izlaganje ljudi u VLF opsegu spektra nejonizujućeg zračenja. Kao nastavak rada, trebalo bi ponoviti ova merenja posle određenog vremenskog perioda (1 godina, na

primer), da bi se utvrdilo ima li promena nivoa izmerenih vrednosti i da li se menja opseg varijacije tih vrednosti.

LITERATURA

[1] Video Display Units and Human Health, Fact Sheet No 201, July 1998.
[2] HI-3603 VDT/VLF Survey Meter User's Manual, Holaday Industries, Inc., 1992.

ABSTRACT

ELECTROMAGNETIC FIELD LEVEL VARIATION
OF MONITORS VIEW SONIC E651-3

M.Ranisavljević
Institute of Nuclear Sciences ″Vinča″, Radiation and Environmental Protection Department

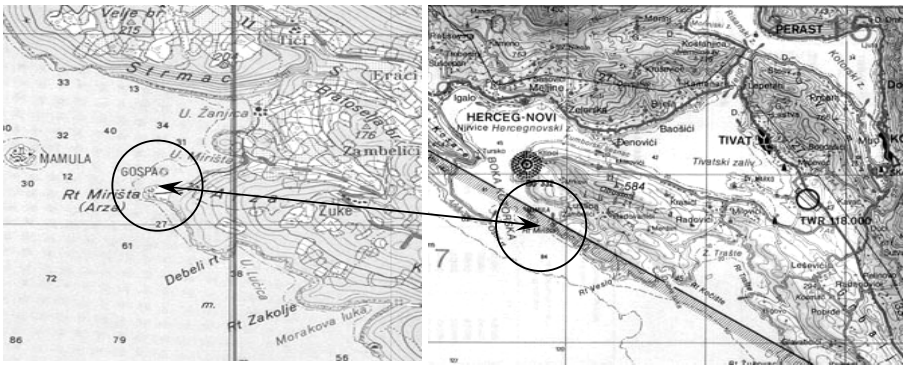
Variation of electromagnetic field level in vicinity of monitor is presented in this paper. 100 monitors of same type were inspected. Measured data were statisticaly arranged using Origin 5.0.

DOZIMETRIJSKA KONTROLA GRANATA PGU-14/B API SA PENETRATOROM OD OSIROMAŠENOG URANIJUMA

G. Kolarević, G. Pantelić[1], Z. Ivković
Zavod za preventivnu medicinsku zaštitu, Beograd
[1]Institut za medicinu rada i ″Dr Dragomir Karajović″, Beograd

SADRŽAJ

U toku vazdušnih napada NATO-a na SR Jugoslaviju (1999. god.), na više lokaliteta (južno od 43. paralele u ″užoj″ Srbiji, Kosovu i Crnoj Gori) dejstvovano je 30 mm granatama PGU-14/B (iz aviona A-10) sa penetratorom od osiromašenog uranijuma (OU). Municija je prvi put primenjena u ″pustinjskoj oluji″ i pokazala se najefikasnijom za sve oklopne ciljeve uključujući tenkove i oklopna vozila. Juna 2000. godine urađena je kontrola radiološke kontaminacije lokaliteta Arza (Rt Mirišta) na poluostrvu Luštica (Slika 1.), po kome je dejstvovano granatama PGU-14/B.



Slika 1. Rt Mirišta po kojem je dejstvovano granatama PGU-14/B od OU

KARAKTERISTIKE GRANATE PGU-14/B

Granata ima telo koje sadrži potkalibarni penetrator (zrno) od OU koji je prirodni pirogeni materijal (teški metal) velike gustine (18.95 gr/cm^3).

PGU-14/B je 30 mm granata čiji penetrator sadrži 299.371 grama (0.66 pound) OU legiran sa 0.75% titanijuma koji obezbeđuje bolju čvrstinu i smanjuje pirogenost. Penetrator (L=114 mm) je zaštićen sa 0.8 mm Al sa kojim se smešta u čauru (Slika 2.).

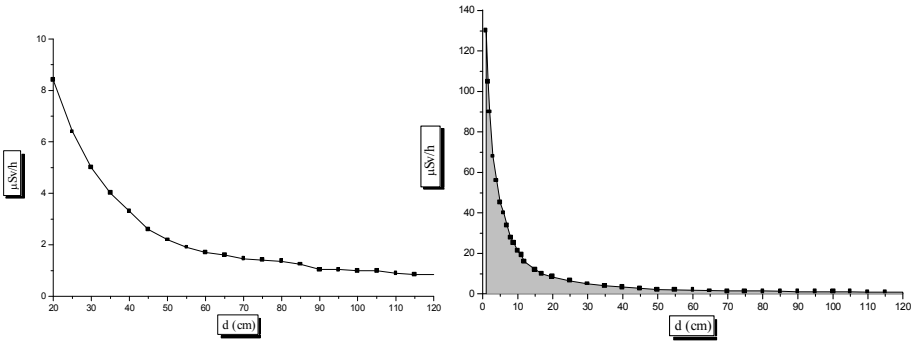
Slika 2. Granata PGU-14/B

Na osnovu velike gustine (mase) i velike brzine na izlazu iz cevi mitraljeza, penetratoru se saopštava velika energija, dovoljna da sa 500 metara probije 70 mm oklopa. Zato je OU svoju primenu pored u zaštiti od zračenja, brodogradnji i avioindustriji (kontrategovi), našao i u vojnoj industriji. Procenjuje se da se samo u Velikoj Britaniji u civilnim ustanovama nalazi nekoliko desetina hiljada tona OU.

DOZIMETRIJSKA KONTROLA PENETRATORA GRANATE PGU-14/B

Penetrator od OU je mnogo opasniji kao kontaminant nego kao ozračivač. U toku leta i pri udaru u čvrstu metu (oklopno vozilo) do 10% njegove mase sagori (metalni uran gori na 700 ^{o}C) i prelazi u UO_2, UO_3 i U_3O_8 dok do 70% pređe u aerosole različitih dimenzija.

Urađena je dozimetrijska kontrola penetratora (izveđenog iz zemlje sa 20 cm dubine, mase 276.51 gr, dužine 92.1 mm i prečnika 15.9-16.1 mm. Izmerene jačine ekvivalentne doze u funkciji rastojanja od površine penetratora prikazan je na Grafiku 1.



Grafik 1. Jačina ekvivalentne doze u funkciji rastojanja od površine penetratora

Dozimetrijska kontrola je urađena Jonizacionom komorom Victoreen Model 440RF/C (nisko energetska, RF zaštićena, namenjena za merenje niskih doza, detektuje: β>150 keV, γ i X>12.5 keV, merni opsezi: 0-10, 0-30, 0-100, 0-300 i 0-1000 µSv/h).

Penetrator koji je prodro u zemlju nije lako pronaći (detektovati) jer se nalazi na dubinama od 20-100 cm (u zavisnosti od sastava-gustine tla). Ulazne rupe (krateri prečnika oko 10 cm) su se vremenom poravnale sa okolnim terenom tako da je vizuelno lociranje otežano. Jačine apsorbovanih doza na površini kratera (ulazu penetratora u zemlju) se kreću do 0.5 µGy/h, tako da bi najefikasnije lociranje penetratora u zemlji bilo uz kombinovano korišćenje osetljivijih detektora za metal i detektora jonizujućih zračenja.

GAMASPEKTROMETRIJSKA MERENJA

Gamaspektrometrijska merenja vršena su na čistom germanijumskom detektoru firme EG&G ″ORTEC″, efikasnosti 25% i energetske rezolucije 1.75 keV (1332.5 keV, ^{60}Co). Detektor je povezan sa višekanalnim analizatorom istog proizvođača i sa odgovarajućom računarskom opremom. Energetska kalibracija obavlja se pomoću radioaktivnog standarda firme Amersham u Marinelli posudi, a kalibracija efikasnosti detektora vršena je uzorkom zemlje poznate aktivnosti [1].

Vreme merenja jednog uzorka zemljišta je 15000-60000 s, a osnovno zračenje se meri 250000 s. Projektili su zbog visoke aktivnosti mereni mnogo kraće (1200 s).

Mereni su sledeći uzorci:

1– penetrator granate PGU-14/B mase 276.51 gr (izgubio 7.64% mase).
2– odlomljeni vrh penetratora mase 21.22 gr.
3– tlo (zemlja i kamenje) sa površine gde je projektil udario u zemlju–krater.
4– tlo (zemlja i kamenje) oko projektila, na oko 20 cm ispod površine zemlje.
5– tlo (zemlja i kamenje) sa površine gde je pronađen vrh projektila sa sitnim komadima.
6– tlo (zemlja i kamenje) sa površine na oko 25 cm od pronađenog vrha projektila.

Rezultati merenja penetratora i vrha istog se slažu sa teorijski izračunatim vrednostima.

Uzorak 1 i 2 – penetrator i odlomljeni vrh istog – A_s (^{238}U) = (12600±14) $\cdot 10^3$ Bq/kg (teorijsko: A_s (^{238}U)=12400 $\cdot 10^3$ Bq/kg). Rezultati merenja aktivnosti zemljišta pokazuju da je ono veoma kontaminirano osiromašenim uranijumom. Dobijene vrednosti aktivnosti ^{235}U i ^{238}U (Tabela 1.) daleko premašuju tipične vrednosti aktivnosti ovih radionuklida u prosečnom zemljištu [2].

Tabela 1. Rezultati gamaspektrometrijskih merenja uzoraka tla

Radionuklid	Uzorak 3 Bq/kg	Uzorak 4 Bq/kg	Uzorak 5 Bq/kg	Uzorak 6 Bq/kg
U-238	109000±5000	15870±800	45000±2000	15400±300
U-235	1400±100	200±20	590±20	200±30
Th-232	58±9	24±8	60±5	47±8
Ra-226	140±20	81±7	176±15	174±10
K-40	590±35	185±11	403±16	404±12
Cs-137	511±5	330±3	260±3	108±2
Masa Uzorka	42.56 gr	43.3 gr	54.9 gr	62.28 gr

Takođe odnos aktivnosti ^{238}U i ^{235}U, koji je za ove uzorke od 76.3 do 79.3, potvrđuje da je u pitanju osiromašeni uranijum. Kod prirodnog uranijuma ovaj je odnos 21.4.

Rezultati gamaspektrometrijskih merenja zavise od načina prikupljanja uzoraka (da li se uzima uzorak samo sa površine zemljišta, uzorak oko projektila, na samom mestu udara ili dalje od kratera), kao i od pripreme uzorka za merenje. Rezultati merenja uzorka broj 3 prikazani u Tabeli 2 pokazuju velike razlike u određivanju aktivnosti ^{235}U i ^{238}U u slučaju kad je iz uzorka odstranjeno kamenje. Međutim, bez obzira na način prikupljanja uzoraka sa terena i način pripreme uzoraka za merenje, očigledno je da postoji kontaminacija ovog zemljišta osiromašenim uranijumom.

Tabela 2. Rezultati gamaspektrometrijskog merenja uzorka tla sa i bez kamenja

Radionuklid	Uzorak 3 Bq/kg	Uzorak 3 Bq/kg
U-238	109000±5000	25000±800
U-235	1400±100	256±10
masa uzorka	42.56 gr	166 gr
komentar	izbačeno kamenje	ceo uzorak

ZAKLJUČAK

Rezultati merenja ukazuju da se radi o visoko kontaminiranim mikro-lokalitetima (i to ne samo oko ulaznog kratera), koji su od strane ABHO roda VJ, obeleženi-označeni. Za sada se u SR Jugoslaviji još uvek nije pristupilo dekontaminaciji lokaliteta gađanih 30 mm granatama sa penetratorom od OU (sem navedenog lokaliteta na Arzi). Penetrator sam po sebi ne pretstavlja veliku opasnost po okolinu kao potencijalni ozračivač (130 μSv/h na 1 cm) ali je kao kontaminant izuzetno radio-hemo toksičan.

Svi ispitivani uzorci po važećem Pravilniku [5] se smatraju radioaktivnim materijalom (granica specifične aktivnosti ^{238}U iznad koje se materijal smatra radioaktivnim je 10^4 Bq/kg) a ujedno i otpadom.

LITERATURA

[1] Gordana Pantelić, Irena Petrović: "Međunarodna gamaspektrometrijska interkomparacija", Zbornik radova XX Simpozijuma JDZZ, Tara, 1999, 117-120.

[2] Gordana Pantelić, Irena Petrović: "Koliko su nas obogatili osiromašenim uranom", Zbornik radova 10. kongresa fizičara Jugoslavije, Vrnjačka Banja, 2000, 519-522.

[3] Milan Orlić, Nada Miljević: "Posledice NATO bombardovanja Jugoslavije vezane za osiromašeni uran", Dani zavoda 99, Beograd oktobar 1999, 263-271.

[4] Goran Kolarević, Zoran Ivković, "Kontrola radioaktivne kontaminacije na lokalitetima po kojima su dejstvovale NATO snage", Zbornik radova XX JDZZ, Tara, novembar 1999, 51-55.

[5] Pravilnik o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uređaja koji proizvode jonizujuća zračenja ("Službeni list SRJ", broj 32/98).

ABSTRACT

DOSIMETRIC CONTROL OF PGU-14/B API AMMUNITION

G. Kolarević, G. Pantelić[1], Z. Ivković

Institution of preventiv medical care, Belgrade

[1]Institute of Occupational and Radiological Health "Dr. Dragomir Karajović", Belgrade

This document describes the control of R-contamination of Arza locality (cape Mirišta) on the Luštica peninsula, which was fired at with armour-piercing-incendiary, 30 mm NATO ammunition PGU-14/B with depleted uranium penetrator (DU).

The dosimetric control of the penetrator and gammaspectrometric analyses of the ground around it were carried out.

The results indicate that the locality was spottedly contaminated by DU and that risk of irradiation on the sight is minimal.

DOZIMETRIJSKA MERENJA AVIO MOTORA WIPER MK 632-41 I 632-46

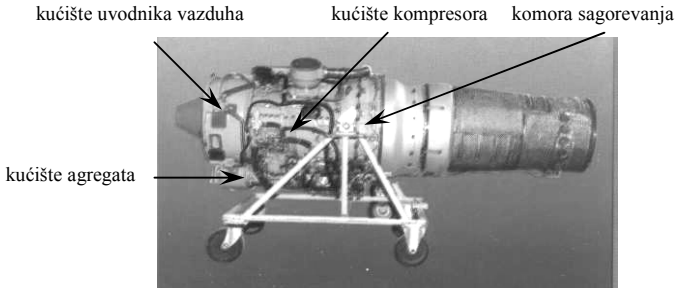
G. Kolarević, [1]M. Eremić, [2]D. Mirković,
[2]S. Tomanović, [3]M. Matović
Zavod za preventivnu medicinsku zaštitu Beograd
[1]Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu ″Dr Dragomir Karajović″
[2]Institut za medicinu rada ZPM VMA,
[3]Komanda RV i PVO VJ

SADRŽAJ

Od ranije je poznato da pojedini delovi avio motora proizvedenih u kompaniji Rolls-Royce, sadrže radioizotop ^{232}Th, tako da je cilj ovoga rada procena izloženosti jonizujućem zračenju osoba koje rade sa motorom Wiper 632. Prilikom rutinske dozimetrijske kontrole avio motora raznih proizvođača, koji se koriste u RV VJ, na spoljašnjoj površini Wiper 632, detektovana je jačina apsorbovane doze do 250 puta veća od fona prirodnog zračenja. To nas je navelo da detaljnije dozimetrijski ispitamo navedeni motor i saznamo pomoću gamaspektrometrijske analize radioizotopski sastav materijala.

UVOD

Pogonsku grupu ″Orla″ sačinjavaju dva turbomlazna motora 632-41 sa dopunskim sagorevanjem a Supergaleba G4 jedan motor 632-46. Pri maksimalnom broju obrta od 13760 o/min, motor razvija potisak od 16.9 kN (dužina–2433 mm, prečnik–600 mm i masa motora–378 kg).



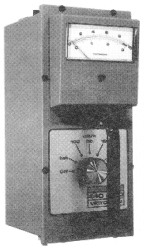
Slika1. Avio motor Wiper MK 632

REZULTATI DOZIMETRIJSKIH MERENJA

Demontirani motori se, u toku kontrole tehničke ispravnosti, nalaze na pokretnim kolicima i pri tom izmerene vrednosti jačina ambijentalnih ekvivalentnih doza na spoljašnjim površinama date su u Tabeli 1. Nema razlike u izmerenim vrednostima na motorima MK 632-41 i MK 632-46.

Tabela 1.

Mesto merenja	Jačina ekvivalentne doze [μSv/h]
kućišta uvodnika vazduha	15-25
kućišta kompresora (gornja i donja polutka)	13-22
komore sagorevanja	15-18
kućišta agregata	12-16
na oko 1 m od kućišta motora	oko 0.6
metalnog kontejnera sa motorom	do 2.5
mereno u nivou grudi-vrata na radnom mestu ispred motora	3.9
mereno u nivou gonada na oko 30 cm od kućišta motora	7.5-9.0



Slika 2.Victoreen 440RF/C

Iz navedenih rezultata nije teško zaključiti da će doza u kabini pilota biti u nivou prirodnog fona obzirom na njegovu udaljenost od motora i brojne prepreke koje se nalaze između njih.

Nivo jačine ambijentalne ekvivalentne doze prirodnog zračenja (fon) je na teritoriji SR Jugoslavije u opsegu 0.07-0.15 μSv/h, što znači da su izmerene vrednosti u proseku 5 do 250 puta veće od fona. Merenja su izvršena jonizacionom komorom Victoreen Model 440RF/C (nisko energetska, RF zaštićena, namenjena za merenje niskih doza, detektuje: β>150 keV, γ i X>12.5 keV.

GAMASPEKTROMETRIJSKA MERENJA DELOVA MOTORA

Tabela 2. Hemijski sastav kućišta uvodnika vazduha

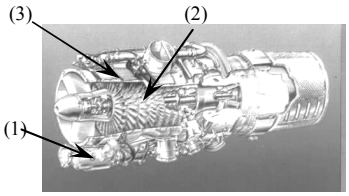
Element	Minimum [%]	Maksimum[%]
Si	-	0.01
Mn	-	0.15
Cu	-	0.03
Fe	-	0.01
Ni	-	0.005
Th	**2.5**	**4.0**
Zn	2.2	4.7
Retke zemlje	-	0.10
Mg	Ostatak do 100%	Ostatak do 100%

Gamaspektrometrijska merenja uzoraka delova motora vršena su na čistom germanijumskom detektoru firme EG&″ORTEC″, efikasnosti 25% i energetske rezolucije 1.75 keV (1332.5 keV, ^{60}Co). Detektor je povezan sa višekanalnim analizatorom istog proizvođača i sa odgovarajućom računarskom opremom. Energetska kalibracija efikasnosti detektora vršena je uzorkom poznate aktivnosti, istih dimenzija, a napravljenim u laboratoriji Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu ″Dr Dragomir Karajović″. Vreme merenja jednog uzorka je 10000 s, a osnovno zračenje se meri 250000 s.

Tabela 3. Rezultati gamaspektrometrijskih analiza delova motora

	Kućište uvodnika vazduha (1)	Statorske lopatice turbine (2)	Ploča za gornji nosač motora (na kućištu uvodnika) (3)
	Specifična Aktivnost [Bq/kg]		
Th-234	<1400	<16	<980
Th-232	**(68.8±2) 10^3**	**<1**	**(29.8±0.86) 10^3**
Ra-226	<790	<17	<450
Masa uzorka	100.95 gr.	186.27 gr.	99.57 gr.

Prema navedenom Pravilniku [1] iz oblasti zaštite od jonizujućih zračenja i Međunarodnim Standardima u ovoj oblasti, izmerene specifične aktivnosti su iznad granica izuzeća za radioaktivni ^{232}Th (granica specifične aktivnosti ^{232}Th iznad koje se materijal smatra radioaktivnim je 1 kBq/kg), pa se kućište navedenog motora mora smatrati izvorom jonizujućeg zračenja-radioaktivnim materijalom (otpadom), te sa njim treba u skladu sa tim i postupadi. Funkcija navedenog radioizotopa je poboljšanje mehaničkih osobina delova i livkosti legure (legure koje u velikom procentu sadrže Mg su poznate kao ″krte″).



Slika 3. Uzdužni presek motora Wiper 632

DEJSTVO JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA BIOLOŠKI MATERIJAL

U savremenoj radiobiologiji prihvaćen je postulat po kome je DNK molekul kao esencijalni biološki supstrat najznačajnija meta jonizujućeg zračenja. Interakcija jonizujućeg zračenja i genetskog materijala rezultira stvaranjem hromozomskih aberacija i genskih mutacija. Imajući u vidu veliku prijemčivost jonizujućeg zračenja prema biološkom materijalu nameće se potreba kontinuiranog sistematskog praćenja zdravstvenog stanja osoba profesionalno eksponiranih zračenju. Radiološka zaštita radnika izloženih dejstvu jonizujućeg zračenja regulisana je Zakonom o zaštiti od zračenja, pratećim Pravilnicima i Odluci o stručnoj spremi, zdravstvenim pregledima i zdravstvenim uslovima lica koja mogu raditi sa izvorima jonizujućeg zračenja. Kao najosetljivija test metoda za procenu dejstva jonizujućeg zračenja na biološki materijal korišćena je mikroskopska analiza hromozomskih aberacija u stimulisanim limfocitima periferne krvi. Preparati su dobijeni

korišćenjem modifikovane Moorhaed-ove metode kultivisanjem tkiva u RPMY medijumu uz PHA 48 sati. Analizirano je 200 ćelija (u metafazi mitoze) po ispitaniku.

Posmatrane su 4 osobe profesionalno eksponirane dejstvu ^{232}Th koje rade na redovnoj i vanrednoj kontroli tehničke ispravnosti navedenih motora. Prosečni ekspozicioni staž kod ispitanika je 7 godina (od 5-10 godina), prosečna starost 40.25 godina, svi ispitanici su muškog pola. Nije utvrđena povećana učestalost hromozomskih aberacija.

ZAKLJUČAK

Izmerene vrednosti jačina ambijentalnih ekvivalentnih doza zračenja u neposrednoj okolini navedenih avio-motora i gamaspektrometrijska analiza dela kućišta motora, ukazuju da rad na mašinskoj obradi, generalnom remontu i perodičnoj kontroli tehničke ispravnosti motora predstavlja rad u polju jonizujućih zračenja, pa bi osobe koje rade na tim poslovima, prema našim i međunarodnim propisima, morale biti tretirane kao lica profesionalno izložena jonizujućim zračenjima.

LITERATURA

[1] Pravilnik o uslovima za promet i korišćenje radioaktivnih materijala, rendgen aparata i drugih uređaja koji proizvode jonizujuća zračenja (″Službeni list SRJ″, broj 32/98),

[2] Odluka o stručnoj spremi i zdravstvenim uslovima lica koja rade sa izvorima jonizujućih zračenja (″Službeni list SRJ″, broj 45/97),

[3] B. Đurović, ″Higijenski uslovi radne sredine i zdravstveno stanje radnika Instituta za nuklearnu medicinu″, Specijalistički ispitni rad, Beograd, 1992,

[4] D. Zimonjić, N. Savković, M. Anđelković, ″Genotoksični agensi″, Naučna knjiga Beograd, 1990.

ABSTRACT

DOSIMETRY CONTROL OF WIPER MK 632-41 AND MK 632-41 AIRCRAFT ENGINE

G. Kolarević, [1]M. Eremić, [2]D. Mirković, [2]S. Tomanović, [3]M. Matović

Institution of preventiv medical care Belgrade

[1]Institute og Occupational and Radiological Health ″Dr. Dragomir Karajovic″ Belgrade

[2]Institute of Occupational Health, Military Medical Academy Belgrade

[3]Yugoslav Air Force and Air Defence Belgrade

Within this paper are presented dosimetry control and gamaspectrometric analysis of parts of Wiper (Rolls-Royce) MK 632-46 aircraft engine fitted on ″Super-sea-gull″ G4 trainer-combat aircraft and Wiper MK 632-41 fitted on J-22 (″Eagle″) bomber-fighter aircraft. On the external surfaces of the stated engines (air intake casing, compressor casing, combustion chamber and accessory casing) were detected strengths of the absorbed doses up to 250 times greater than the natural radioactivity, whilst the gammaspectrometric analyses (air intake casing) indicated the specific activity ^{232}Th of 68.8 kBq/kg, so that the specified engine parts must be considered as radioactive material (sources of ionizing radiation) [1], and the personnel engaged in works on machining, overhauling and periodic inspections of tehnical service-ability of subject items, as persons professionally exposed to ionizing radiation.

PROMENE GUSTINE FLUKSA TERMIČKIH NEUTRONA NA DUŽINI BF_3 JONIZACIONE KOMORE UZ ZID SUDA NUKLEARNOG REAKTORA "RB"

S. J. Stanković, M. S. Kovačević, M. V. Vukčević,
B. B. Lončar[1], P. Osmokrović[2]
Institut za nuklearne nauke "VINČA", Beograd
[1]Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
[2]Elektrotehnički fakultet, Beograd

SADRŽAJ

U ovom radu su data uvodna razmatranja iz teorije ravnoteže naelektrisanih čestica i mogućnosti određivanja gustine fluksa termičkih neutrona, kao i jačine apsorbovane i ekvivalentne doze sa BF_3 jonizacionom komorom. Kao kriterijum za pozicioniranje BF_3 jonizacione komore je uzeta najmanja vrednost promene gustine fluksa termičkih neutrona na dužini jonizacione komore u aksijalnom ili radijalnom pravcu. Pokazano je da prema tom kriterijumu treba koristiti pozicioniranje BF_3 jonizacione komore prema zidu reaktorskog suda u aksijalnom pravcu.

UVOD

Pored referentnog polja ^{252}Cf sa poznatim spektrom energija neutrona, za kalibraciju mernih uređaja u dozimetriji, zaštiti od zračenja i nuklearnoj tehnici koriste se i polja nuklearnog reaktora i akceleratora sa strogo definisanim vrednostima gustine neutronskog fluksa za poznati uski energetski opseg. Isto tako, ovim izvorima zračenja može da se određuje zavisnost odgovora mernog uređaja u funkciji jačine ekvivalentne doze, kao i ugaona zavisnost uređaja. Polazeći od poznate gustine fluksa termičkih neutrona (tj. jačine fluensa termičkih neutrona) i konverzionih faktora $h_\phi(E_{th})$ i $d_\phi(E_{th})$ [1], [2], [3], [4] može se proračunati jačina ekvivalentne i apsorbovane doze termičkih neutrona. Gustina fluksa termičkih neutrona se određuje iz spektralne jačine fluensa neutronskog polja korišćenjem aktuelnih metoda spektrometrije [5]. Za monitoring fisione snage nuklearnog reaktora, kao i za procenu gustine neutronskog fluksa termičkih neutrona, jačine apsorbovane i ekvivalentne doze na dostignutom stacionarnom nivou fisione snage, često se može koristiti BF_3 nekompenzovana jonizaciona komora. Promena snage reaktora u realnom vremenu kontroliše se preko promene izlaznog signala iz sistema za monitoring snage. Ovaj sistem kao element detekcije koristi BF_3 proporcionalni brojač, dok se n/gama diskriminacija ostvaruje preko postavljanja praga za registrovanje impulsa koji potiču samo od neutrona. Sistem sa BF_3 brojačem omogućava da se integracijom trenutnih vrednosti

snaga u intervalu vremena kada postoji neutronsko polje odredi efektivna fisiona snaga. Vrednosti gustine fluksa termičkih neutrona se procenjuju merenjem struje BF_3 jonizacione komore i pritom se referišu u odnosu na nominalne nivoe snage na kojoj operatori održavaju fisionu snagu tokom zahtevanog vremenskog intervala. U dosadašnjoj praksi nekompenzovana jonizaciona komora RSN-337 (dužine 33 cm, dijametra 8 cm) postavlja se pomoću nosača na proizvoljno izabranu visinu van reaktorskog suda tako da joj je aksijalna osa normalna na aksijalnu osu reaktorskog suda. Pritom je baza komore prislonjena na zid suda i to tako da je u odnosu na aksijalnu osu suda simetrično postavljena prema BF_3 brojaču kojim se prati promena snage reaktora. Kako se u radijalnom pravcu u odnosu na osu reaktorskog suda, na dužini jonizacione komore očekuju značajne promene gustine neutronskog fluksa u ovom radu su razmatrana dva pitanja od interesa:

1) kada i gde postoji ravnoteža naelektrisanih čestica i kakva je mogućnost određivanja jačine apsorbovane i ekvivalentne doze;

2) kako jonizacionu komoru treba postaviti u odnosu na zid reaktorskog suda uzimajući u obzir promene gustine neutronskog fluksa duž radijalnog i aksijalnog pravca.

RAVNOTEŽA NAELEKTRISANIH ČESTICA

U dozimetriji neutrona i gama zračenja koristi se Brag-Grejova teorema koja u opštoj formi prezentuje vezu između jonizacije u šupljini jonizacione komore ispunjene gasom i absorbovane doze u okolnom medijumu (vrlo često u vazduhu) [6], [7], [8], [9]. Za slučaj transporta neutrona odnosi srednjih masenih zaustavnih moći za medijum i zid komore, odnosno za zid komore i gas, a potom i srednja energija potrebna za formiranje jonskog para su značajno promenljive veličine u opsegu energija svih nastalih naelektrisanih čestica. Nasuprot tome, kod incidentnog gama i X zračenja ove zavisnosti su veoma malo varijabilne za širok opseg energija elektrona nastalih u procesima jonizacije. Kada je gas BF_3 izložen neutronskom zračenju dešava se indirektna jonizacija u dvostepenom procesu.

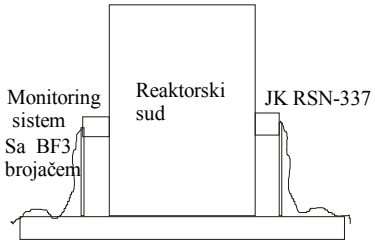
Prvo se kao produkti nuklearne reakcije na boru pojavljuju naelektrisana alfa čestica i jezgro litijuma, koji jonizuju sredinu dok se ne zaustave, odnosno dok se ne izvrši totalna depozicija njihove kinetičke energije. Drugo, kao posledica transporta teških čestica pojavljuju se sekundarni elektroni i atomska jezgra koji takođe vrše jonizaciju sredine na konačnoj dužini svog dometa [10]. Pri svemu tome, pojavljuje se razlika između absorbovane doze i KERMA-e u različitim tačkama sredine BF_3 koje se nalaze na rastojanju od diskontinuiteta sa aluminijumskim omotačem komore, kraćem od maksimalnog dometa sekundarnih naelektrisanih čestica. Ipak u svim tačkama koje su na rastojanjima većim od maksimalnog dometa postoji mogućnost da se ostvari ravnoteža naelektrisanih čestica. To znači, da u svim tačkama izvan oblasti koja je uz sam zid omotača komore, fluens naelektrisanih čestica je konstantan na dužini maksimalnog dometa, pa je KERMA konstantna na istom rastojanju i jednaka apsorbovanoj dozi [11].

Slično, i u slučaju gama zračenja kao komponente mešovitog polja, u vazduhu je moguće ostvariti ravnotežu naelektrisanih čestica, odnosno odrediti ekspozicionu dozu ali samo za fotone sa energijama do 3 MeV-a. Naravno, apsorbovanu dozu i KERMA-u je moguće odrediti i za energije veće od 3 MeV-a, što je od značaja za spektar fotona u okolini reaktorskog suda. Pri tome elektronska ravnoteža u medijumu postoji samo ako je atenuacija primarnog snopa fotona zanemarljiva ili dovoljno mala na rastojanju jednakom

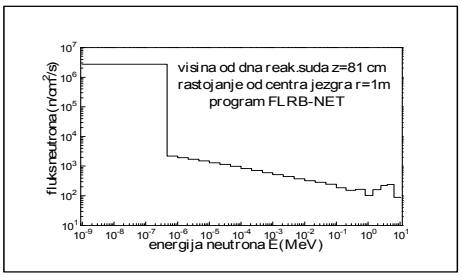
srednjem dometu elektrona. Drugim rečima, ukoliko postoji značajna promena prostorne distribucije fotonskog fluensa u zapremini jonizacione komore mora se, kao i za slučaj prostorne promene neutronskog fluensa, odrediti nivo vrednosti gradijenta fluensa incidentnih čestica u odnosu na koji se definiše posebna metodologija numeričkog određivanja apsorbovane doze [8], [12], [13].

PRORAČUN GUSTINE FLUKSA NEUTRONA SOFTVEROM FLRB

Kompletan naziv konfiguracije istraživačkog reaktora nulte snage "RB" je hibridni spregnuti brzo-termički sistem HERBE [14], [15]. Procena vrednosti gustine fluksa, jačine apsorbovane i ekvivalentne doze termičkih neutrona na "mestu jonizacione komore" za različite nivoe snage reaktora RB urađena je tako što su korišćene vrednosti gustine neutronskog fluksa iz programa FLRB [16],[17]. "Mestu jonizacione komore" odgovara pozicioniranje nekompenzovane jonizacione komore, za monitoring snage reaktora i određivanje gustine neutronskog fluksa, jačine apsorbovane i ekvivalentne neutronske doze, upravno na zid reaktorskog suda (r = 100 cm) na visini z = 81 cm od dna suda (slika 1).



Slika 1. Šematski prikaz pozicioniranja jonizacione komore.



Slika 2. Zavisnost gustine fluksa neutrona od energije, proračunato za P_F=8,56 W.

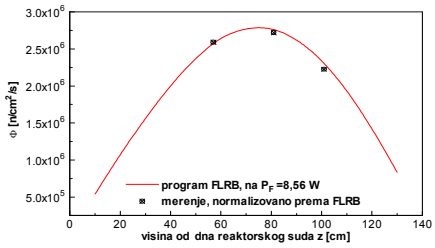
Na osnovu proračuna pomoću softvera FLRB u koordinati (r=100cm, z=81cm) dobijena je vrednost gustine termičkog fluksa je ϕ_{th}=2,76 10^6 n/cm^2/s za fisionu snagu P_F=8,56 W. Kada se pomenuta vrednosti gustine fluksa normalizuju na snagu od 1 W dobija se vrednost gustine fluksa ϕ_{th1}(100,81)=3,22 10^5 n/cm^2/s. Kao rezultat višegrupnog proračuna u okviru softvera FLRB za fisionu snagu od P_F = 8,56 W, na slici 2. prikazana je spektralna raspodela gustine fluksa neutrona za poziciju na kojoj je bila jonizaciona komora. Sobzirom da softver FLRB daje rezultate samo za prostor unutar reaktorskog suda, kao i za sam zid suda, a komora ima značajne konačne dimenzije (L=33 cm) u odnosu na prečnik reaktorskog suda (D_{RB}=200 cm), to se ovi rezultati mogu uzeti kao grubo procenjene vrednosti na "mestu jonizacione komore".

REZULTATI EKSPERIMENTA

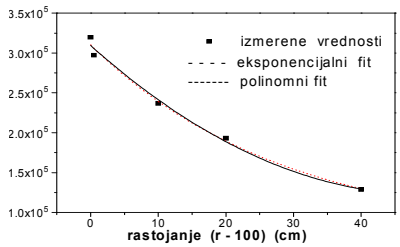
Da bi dobili što tačniju predstavu u vezi aksijalne i radijalne promene gustine fluksa termičkih neutrona u okolini reaktorskog suda, izvršena su posebna eksperimentalna merenja aktivacionim detektorima na bazi nuklearne reakcije $Au^{197}(n,\gamma)Au^{198}$ bez i sa kadmijumskim filtrom. Eksperiment je izvršen na stacionarnom nivou fisione snage P_F = 20 W u vremenskom periodu od 32 min. U dosta dobar kvalitet procene fluksa termičkih neutrona pomoću softvera FLRB na zidu reaktorskog suda (r=100 cm) možemo se uveriti ukoliko je uporedimo sa vrednostima linearne interpolacije rezultata merenja za snagu P_F=8,56 W, što je prikazano na slici 3. Istaknimo da je za promenu gustine fluksa po z osi na dužini jonizacione komore L pomoću softvera FLRB proračunat procentualni iznos od 12 %. Na sličan način, na osnovu rezultata merenja dobijena je radijalna promena fluksa termičkih neutrona na dužini jonizacione komore na fisionoj snazi 1 W koja je data na slici 4. Na osnovu dostupnih vrednosti prostorno perturbovanog fluksa u vazduhu u radijalnom pravcu proračunata je normalizovana efektivna gustina termičkog fluksa na "mestu jonizacione komore". Do ove vrednosti gustine termičkog fluksa došlo se tako što je za fiksnu visinu z=81 cm na snazi P_F =1 W izvršeno eksponencijalno i polinomno fitovanje vrednosti gustine fluksa termičkih neutrona u radijalnom pravcu kako bi se definisala podintegralna funkcija ϕ_{th1} u relaciji:

$$\phi_{eft1} = \frac{1}{L}\int_0^L \phi_{th1}(x)dx \qquad (1)$$

Konačno, rezultati integracije obe interpolacione funkcije, za vrednosti na dužini komore L, su približno jednaki i iznose ϕ_{eft1}=2,13 10^5 n/s/cm^2. U ovom razmatranju nije uzeta u obzir perturbacija prostorne raspodele gustine termičkog fluksa koja će nastati samim postavljanjem BF_3 jonizacione komore. Uprkos tome, u prvoj aproksimaciji, ovako procenjena vrednost može se operativno koristiti u praksi.



Slika 3. Aksijalna promena gustine fluksa termičkih neutrona na zidu reaktorskog suda RB pri fisionoj snazi 8,56 W.



Slika 4. Radijalna promena gustine fluksa termičkih neutrona van suda reaktora RB pri fisionoj snazi 1 W.

ZAKLJUČAK

Kada se uporede rezultati merenja gustine fluksa termičkih neutrona u aksijalnom pravcu na zidu reaktorskog suda i proračuna pomoću programa FLRB uočava

se veoma dobro slaganje. Najmanja relativna promena gustine fluksa termičkih neutrona po jedinici dužine u aksijalnom pravcu iznosi $2 \cdot 10^{-3}$ cm^{-1}, dok u radijalnom pravcu iznosi $30 \cdot 10^{-3}$ cm^{-1}. Uzimajući u obzir razmatranje teorijskih uslova za ostvarenje ravnoteže naelektrisanih čestica u BF_3 jonizacionoj komori zaključuje se da komoru treba ubuduće postaviti kolinearno sa aksijalnim pravcem u odnosu na zid reaktorskog suda, umesto u radijalnom pravcu kao što je do sada bila pozicionirana.

LITERATURA

[1] Petrović M. et all., "Mean neutron fluence to dose equivalent conversion factors for Cf-252 and Am-Be neutron sources", Inter.Conference YUNSC'96, Belgrade, p.657-660, 1996.

[2] Siebert B.R., Schuhmacher H.,"Calculated fluence-to-directional and personal dose equivalent conversion coefficients for neutrons",Rad.Prot.Dos.,Vol.54,No.3/4, p. 231-238, 1994.

[3] Siebert B.R., Schuhmacher H.,"Quality factors, ambient and personal dose equivqlent for neutrons, based on the new ICRU stopping power data for protons and alpha particles", Rad.Prot.Dos., Vol.58, p. 177-183, 1995.

[4] Schwartz B. R. et all., The response of neutron personel dosimeters and neutron measuring instruments to the D_2O-moderated ^{252}Cf source, NBS/NUREG/CR-2233, Washington, p. 2.1-2.14, 1982.

[5] Scott A. S., Monitoring Reactor Power by N-17 Neutron Decay, Trans. of the Am.Nucl.Soc., Vol.8(1), p. 70, 1965.

[6] Attix F. H., Roesch W. C., Burlin T. E., Radiation Dosimetry, Acad. Press, N.York, Vol.1, p.378-382., 1968.

[7] Attix F. H., Roesch W. C., Myers T., Radiation Dosimetry-Ionization, Ac.Press, N.York, Vol.2, p. 317-328, 1968.

[8] Johns H. E., The Physics of Radiology – Absorbed dose,C.C.Thomas, Springfield, p.272-305., 1966.

[9] Kase K.R., Nelson W.R., "Concepts of radiation dosimetry", Pergamon Press, New York, p.145-170, 1978.

[10] NBS 577, Energy Loss and Range of Electrons and Positrons, Washington, 1956.

[11] ICRU 26, Neutron Dosimetry for Biology and Medicine, Washington, p.8-11, 57-60., 1977.

[12] Orton K. G., Radiation Dosimetry, Physical and Biological Aspects, Plenum Press, New York, p.110, 1986

[13] Johns H. E., The Physics of Radilogy, C.C.Thomas, Springfield, p.217-270,1983

[14] ISO 8529, "Neutron reference radiations for calibrating neutron-measuring devices for radiation protection purposes and for determining their response as a function of neutron energy",Geneve, 1989.

[15] Stefanović D., Pešić M., "Od kritičnog sistema teška voda-prirodni uranijum do brzo-termičkog istraživačkog reaktora u "VINČI", monografija, Beograd, 1995.

[16] Milošević M., Avdić S., Pešić M.,"Eksperimentalna verifikacija proračuna neutronskih doza u sistemu HERBE", XVII Yug.Symp. on Rad.Prot., Beograd, pp. 147-151,1993.

[17] Milovanović S., Pešić M., "Merenje spektra i brzine apsorbovane doze gama zračenja u centru sistema HERBE",INN Vinča-NET-85,Beograd,1995.

ABSTRACT

THERMAL NEUTRON FLUX DENSITY VARIATIONS AT LENGTH BF_3 IONIZATION CHAMBER AGAINST WALL OF THE "RB" NUCLEAR REACTOR VESSEL

S. J. Stanković, M. S. Kovačević, M. V. Vukčević,
B. B. Lončar[1], P. Osmokrović[2]
Institute of Nuclear Sciences "VINČA", Belgrade, Yugoslavia
[1]Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade
[2]Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade

Introductory considerations of charged particles equilibrium and possibility for determination of termal neutron flux density, absorbed and equivalent dose with BF_3

ionizating chamber are presented in this paper. As a criterion for the positioning, the smallest variation of the thermal neutron flux density at length of the BF_3 ionization chambers in axial or radial direction is taken. According to this criterion, the axial direction to the wall of reactor vessel is recommended for the BF_3 ionization chamber positioning.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA PRI RADIOGRAFSKOJ KONTROLI SA IZVORIMA ^{192}IR I ^{75}SE

R. Dobrijević, J. Vučina, M. Orlić
Institut za nuklearne nauke " Vinča "

SADRŽAJ

U ovom radu je data uporedna analiza mera zaštite od zračenja za stalne ili povremene poslove vezane za radiografsku kontrolu. Različiti nivoi zaštite od zračenja proističu iz radijacionih karakteristika ova dva radioizotopa, njhovih fiziko-hemijskih osobina i gabarita radioaktivnih izvora. Analiza je data za transportno-radne kontejnere (defektoskope), za radijacione zone prilikom ekspozicije na otvorenom prostoru ili u halama, za mogućnost korišćenja zaštitnih paravana, za sanaciju akcidentalnog slučaja i za odlaganje isluženih izvora u radioaktivni otpad.

UVOD

Zatvoreni izvori radioaktivnog zračenja ^{192}Ir i ^{75}Se koriste se u industrijskoj radiografiji radi kontrole kvaliteta zavarenih spojeva i za ispitivanje homogenosti materijala različitih gustina. U našoj zemlji se za ovu vrstu kontrole uglavnom koriste radioaktivni izvori ^{192}Ir i industrijski rentgen uredjaji. U poslednje vreme se za kontrolu materijala manje gustine i za kontrolu tanjih materijala veće gustine koriste izvori ^{75}Se. Do sada su se za tu namenu koristili radiografski izvori ^{192}Ir i pored toga što je kvalitet dobijenog radiograma bio slabiji. Osvajanjem tehnološkog postupka proizvodnje visokoaktivnih izvora ^{75}Se omogućena je njegova masovnija primena u industrijskoj radiografiji.

U ovom radu je tretiran problem zaštite od zračenja prilikom upotrebe ova dva izvora u radiografskoj kontroli. Ova problematika je prikazana paralelno za oba izvora tako da se lako mogu uočiti prednosti jednog izvora u odnosu na drugi, naravno samo u domenu zaštite od zračenja. Uporedno su prikazane mere zaštite kod radno-transportnih kontejnera, zaštitnih radijacionih zona prilikom ekspozicije na otvorenom prostoru i u hali, prilikom saniranja akcidenta, kod odlaganja isluženih izvora i sl. Većina razlika u merama zaštite od zračenja proističe iz različitih radijacionih osobina, fiziko-hemijskih osobina i različitih gabarita izvora. Iz tog razloga u ovom radu su delimično prikazane i te karakteristike.

OSNOVNE KARAKTERISTIKE IZVORA ^{192}Ir i ^{75}Se

Radioaktivni izotopi ^{192}Ir i ^{75}Se dobijaju se ozračivanjem metalnih meta u nuklearnom reaktoru (n, γ) nuklearnom reakcijom. Za radiografske izvore u slučaju ^{192}Ir ozračuje se prirodni Ir u metalnom obliku a u slučaju ^{75}Se ozračuje se metalni Se obogaćen na ^{74}Se – $^{74}Se(n,\gamma)$ ^{75}Se. Nestabilni izotopi ^{192}Ir i ^{75}Se transformišu se u stabilne izotope elektronskim zahvatom pri čemu se , u oba slučaja, emituje više β čestica i fotona različitih energija. U tabeli 1. su prikazane osnovne karakteristike radiografskih izvora ^{192}Ir i ^{75}Se.

Prikazane su samo najzastupljenije energije zračenja. Sve razlike izmedju ova dva izvora proističu iz različitih energija zračenja, vremena poluraspada, dimenzija aktivnog dela i spoljne kapsule i različitih fiziko-hemijskih osobina. Ipak, prve dve karakteristike su najznačajnije kod donošenja odluke koji izvor će se primeniti u konkretnom slučaju. Što se tiče problema vezanih za zaštitu od zračenja prilikom izvodjenja radiografije presudni uticaj ima energija zračenja ovih izotopa.

Tabela 1. Osnovne karakteristike radiografskih izvora ^{192}Ir i ^{75}Se

Izvor	E_γ, MeV	$T_{1/2}$, dana	Γ, $\mu Gym^2 h^{-1}GBq^{-1}$	Dimenzije izvora, mm	
				aktivni deo	spoljna kapsula
^{192}Ir	**0,31** 0,47 0,60	74,3	125,8	2x2	4x5
^{75}Se	0,136 0,265 0,280	119,73	54,1	3x3	6x12,5

RADNO-TRANSPORTNI KONTEJNERI

Za izvodjenje radiografije koristi se specijalna oprema čiji je osnovni deo defektoskop tj. zaštitni kontejner u koji se smešta radioaktivni izvor. On se koristi za smeštaj izvora prilikom transporta i prilikom rada sa izvorom, odnosno prilikom dovodjenja izvora u radni ili zaštitni položaj. Komercijalni uredjaji koji su namenjeni za rad u terenskim uslovima su predvidjeni za izvore maksimalne aktivnost 3.7 TBq. Za tu aktivnost efektivna doza zračenja na površini defektoskopa je nešto manja ili jednaka maksimalno dozvoljenoj dozi za ovu vrstu uredjaja. U cilju poboljšanja njihove manipulativnosti, odnosno smanjenja mase na minimum oni se uglavnom izradjuju od osiromašenog urana. Masa radiografskog uredjaja namenjenog za rad sa izvorima ^{192}Ir iznosi oko 16 kg. Konstruktivno sličan uredjaj za rad sa izvorima ^{75}Se ima masu oko 7,2 kg.

Zbog dvostruko manje mase rad sa defektoskopom namenjenim za izvore ^{75}Se je mnogo lakši. To se naročito odnosi na terenske uslove gde je uredjaj potrebno postaviti na visoka često teško pristupačna mesta. Iz tog razloga njih je lakše fiksirati u random položaju. Samim tim sklonost ka akcidentu je mnogo manja. Jedna od prednosti primene radioaktivnih izvora ^{75}Se je ta što se zakonski nivo zaštite od zračenja može ostvariti korišćenjem materijala manje gustine (npr. olovo) za izradu radiografskog uredjaja. Takav uredjaj bi imao približnu masu kao uredjaj koji koristi izvore ^{192}Ir. Time se mogu izbeći neželjeni efekti, sa aspekta zaštite od zračenja, koji proističu iz korišćenja osiromašenog urana za izradu defektoskopa.

RADIJACIONE ZONE

U radiografskoj praksi prilikom izvodjenja radiografskih snimanja često se susrećemo sa problemom obeležavanja i kontrole boravka operatera i drugog osoblja u zonama koje su pod uticajem radioaktivnog zračenja. Okolni prostor se iz tog razloga deli na nekoliko radijacionih zona: zabranjena radijaciona zona, kontrolisana radijaciona zona, nadgledana radijaciona zona i slobodan prostor. Zakonski propisi ne daju brojne vrednosti za jačinu doze zračenja na granicama tih zona. Uzimajući u obzir propise gde se reguliše izloženost stanovništva i profesionalno izloženih lica u polju zračenja mogu se usvojiti sledeće brojne vrednosti:

TABELA 2. GRANICE RADIJACIONIH ZONA [1]

Zona	Efektivna doza, μSv/h
Zabranjena zona	> 1000
Kontrolisana zona	1-1000
Nadgledana zona	0,1-1
Slobodan prostor	<0,1

Prilikom rada u namenski uradjenim prostorijama granice zona su zidovi i druge konstruktivne barijere. Sa druge strane kod rada na otvorenom prostoru ili kod rada u fabričkim halama odredjivanje i obeležavanje radijacionih zona je najznačajnija mera zaštite od zračenja.

Polazeći od gornjih vrednosti i od predpostavke da je izlaganje najveće kad je izvor na vrhu creva bez bilo kakve zaštitite (paravana) u polju zračenja za izvor ^{192}Ir i ^{75}Se aktivnosti 1,85 TBq granice radijacionih zona su date u tabeli 3. Evidentno je da su poluprečnici radijacionih zona pri radiografiji sa izvorom ^{75}Se za trećinu manji u odnosu na izvor ^{192}Ir za identične uslove radiografske kontrole. U praktičnim uslovima, naročito prilikom rada na gradilištima i halama uže radijacione zone znatno olakšavaju sprovodjenje mera zaštite i u manjoj meri ometaju process rada ostalih radnika. Efekat smanjenja radijacionih zona je još veći ukoliko se koriste razne vrste blendi za usmerenje snopa zračena na objekat kontrole i drugi priručni ili namenski uradjeni zaštitni paravani.

TABELA 3. GRANICE RADIJACIONIH ZONA U METRIMA ZA AKTIVNOST IZVORA 1,85 TBQ

Izvor	Zabranjena zona	Kontrolisana zona	Nadgledana zona
^{192}Ir	15,5	480	1540
^{75}Se	10	310	1000

Ukoliko se radiografsko snimanje izvodi u uslovima gde se u zaštiti od zračenja mogu koristiti postojeći objekti ili predmeti od materijala različite gustine, tada se veličina i oblik radijacione zone menjaju. Te promene zone su mnogo izraženije prilikom snimanj a sa izvorima ^{75}Se. Širina zone u oba slačaja zavisi od vrste (gustine) materijala koji se koristi kao zaštitni paravan. U radiografiji se vrlo često za zaštitu od zračenja koriste razna priručna sredstva koja se mogu naći na samom objektu gde se vrši snimajne. Ukoliko se koriste takva sredstva zaštitni efekat je znatno izraženiji kod snimanja sa ^{75}Se. Za radiografsku kontrolu kvaliteta predmeta koji se serijski proizvode snimanje se izvodi u posebnoj prostoriji (hali). Spoljni zidovi hale su najčešće granica zabranjene i kontrolisane radijacione zone. Za istu halu doza zračenja na granici zona je za oko deset puta manja.

AKCIDENTALNI SLUČAJEVI

Akcidentalni slučajevi u radiografskoj kontroli sa raznim izvorima zračenja su se dešavali i oni su realnost. Uzrok tome su česte promene položaja izvora, promena lokacije snimanja, neispravna oprema, nepravilan rad operatera i sl. Ne ulazeći u suštinu i uzrok samog akcidenta može se dati uopštena analiza mera zaštite za oba izvora prilikom saniranja akcidenta. Pored utvrdjivanja uzroka akcidenta mora se utvrditi položaj radiografskog izvora i redosled mera za otklanjanje istog. Preduzete mere moraju obezbediti najbolju moguću zaštitu za profesionalce koji se bave otklanjanjem datog akcidenta. Drugim rečima tri osnovna principa tehničke zaštite od zračenja moraju biti ispoštovani na najoptimalniji način.

Rastojanje izvor zračenja-operater se može povećati korišćenjem odgovarajućih priručnih ili specijalno uradjenih pomagala. Doza zračenja koju će operater primiti prilikom otklanjanja identičnog slučaja sa ^{192}Ir i ^{75}Se je za oko 3,5 puta manja u slučaju saniranja akcidenta sa ^{75}Se.

Zaštitni paravani se često koriste prilikom otklanjanja akcidenta. To su najčešće razna priručna ili namenski uradjena sredstva u vidu ploča, zidova, kontejnera i sl. od materijala poznate gustine. Upotreba ovih sredstava daje mnogo veće zaštitne efekte u slučaju akcidenta sa ^{75}Se.

Vreme provedeno u zabranjenoj zoni zračenja pri saniranju akcidenta zavisi od kvaliteta korišćene opreme i obučenosti ekipe koja radi na sanaciji. Iz tog razloga za najefikasnije otklanjanje akcidenta sva tri navedena parametra bitna u zaštiti od zračenja moraju biti maksimalno ukomponovana.

RADIOAKTIVNI OTPAD

Posle isteka upotrebne vrednosti, obično nakon 4 do 5 vremena poluraspada radiografski izvori ^{192}Ir i ^{75}Se se zamenjuju. Stari izvori se odlažu u specijalne kontejnere koji se nalaze unutar olovnih boksova koji služe za manipulaciju sa njima. Oni se tu drže dok im aktivnost ne opadne na beznačajnu vrednost. Posle toga se odlažu izvan radnog boksa u olovne kontejnere i tretiraju kao radioaktivni otpad. Zbog kraćeg vremena poluraspada, manjih gabarita spoljne kapsula i boljih fiziko-hemijskih osobina (plemenit metal i visoka tačka topljenja) izvore ^{192}Ir je mnogo lakše uskladištiti nego izvore ^{75}Se.

ZAKLJUČAK

Sa aspekta radiološke zaštite mnogo je jednostavniji i lakši rad pri radiografskoj kontroli sa izvorima ^{75}Se nego sa izvorima ^{192}Ir. To se odnosi na sprovodjenje mera zaštite od zračenja prilikom transporta uredjaja sa izvorom, prilikom rada u halama i na otvorenim prostorima, kod korišćenja zaštitnih paravana i sl. Radno-transportni kontejner je kod ^{75}Se mnogo lakši a time i manipulativniji. Iz tog razloga je verovatnoća akcidenta manja. Otklanjanje akcidenta je jednostavnije i bezbednije po operatera. Prednost kod korišćenja ^{192}Ir je očigledna jedino prilikom odlaganja starih izvora u radioaktivni otpad.

LITERATURA

[1] *S. Marković, R. Pavlović; Novi propisi zaštite od zračenja u radiografskoj praksi; Savetovanje sa medjunarodnim učešćem- IBR 2000, Zlatibor, decembar 2000.*

[2] R. Dobrijević, M. Orlić; Radiografski izvori ^{75}Se, Savetovanje sa medjunarodnim učešćem- IBR 2000, Zlatibor, decembar 2000.

[3] I. Aničin i ost., Radiografija, Teorijske osnove i radne tehnike, Univerzitet u Beogradu, INN Vinča, Beograd 1981.

[4] R. Dobrijević, J. Vučina; Radiografska oprema u Jugoslaviji-Sigurnost u radu i zaštita od zračenja, Savetovanje-IBR u funkciji obezbedjenja kvaliteta, Bečići, 1998.

ABSTRACT

RADIATION PROTECTION AT RADIOGRAPHYC CONTROL WITH ^{192}Ir AND ^{75}Se SOURCES

R. Dobrijević, J. Vučina, M. Orlić
Nuclear Sciences Institute “ Vinča “

In this paper radiation protection problems during radiographic control with sources ^{192}Ir and ^{75}Se have been analysed and compared. In the case of ^{75}Se these problems are lower because of lower gamma energy, physical-chemical characteristics and container sizes. The analysis is given for containers, radiation zones at open air or workshops, accidents and waste disposal.

КЛАСИФИКАЦИЈА РЕНДГЕНСКИХ УРЕЂАЈА НАМЕЊЕНИХ ЗА ПРОТИВДИВЕРЗИОНУ И АНТИТЕРОРИСТИЧКУ КОНТРОЛУ

З. Вејновић, Р. Бендерић
Институт безбедности, Београд

САДРЖАЈ

Дата је кратка анализа примене рендгенских уређаја у противдиверзионој заштити и предложена је њихова класификација. Она има циљ да помогне корисницима у избору адекватне опреме, да омогући ефикасну едукацију особља које се бави противдиверзионом заштитом и да законски јасније дефинише област заштите људи од јонизујућег зрачења које производе ти уређаји.

УВОД

Од времена открића рендгенског или X зрачења повећавао се интерес за њиховим комерцијалним коришћењем. Основни разлог за то је могућност испитивања оних делова физичких тела који нису визуелно доступни. Рендгенска контрола је неинвазивна и недеструктивна метода испитивања и због тога је привлачна за многа испитивања где без оштећења није могућ или није дозвољен физички приступ у унутрашњост предмета контроле. Данас постоје три велике групе примена рендгенских уређаја у комерцијалне сврхе. То су примене у медицини, дефектоскопији и за контролу предмета опште намене. Као што је случај код сваке комерцијалне употребе уређаја, тржиште рендгенских уређаја који се користе у противдиверзионој заштити је прилично велико и није ограничено [1], уређаји су доступни свим могућим корисницима, њихова могућност коришћења је значајно поједностављена да би могли да их користе и лица која нису специјалисти у области јонизујућих зрачења и они се због широке употребе често налазе у непосредној људској околини [2,3].

Погодном класификацијом рендгенских уређаја би се знатно редуковала потреба за специфичним и појединачним нормирањем њихове употребе и могла би бити обухваћена и употреба оних уређаја који ће се временом тек појавити у продаји. Са становишта могућих корисника класификација уређаја омогућава једноставнији и прецизнији избор врсте уређаја која ће одговарати предвиђеној намени и избор најефективније пратеће опреме за квалитетно коришћење уређаја. У области едукације корисника ваљана класификација би омогућила јасније раздвајање општих

од појединачних знања и усмеравање према најбитнијим елементима употребе и рада са уређајима и анализе добијених резултата.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОДЕЛЕ РЕНДГЕНСКИХ УРЕЂАЈА

Историјски је рендгенска контрола предмета опште намене много млађа од примене рендгенске контроле у медицини и индустрији [4]. Због тога је било потребно извесно време да се искристалишу и уобличе сви типови рендгенских уређаја који ће наћи оправдање и стално место у процесу примене за наведену област контроле. Прву поделу ових рендгенских уређаја су направили произвођачи конструкцијом различитих врста рендгенских уређаја који су одговарали појединачним класама предмета контроле. То су рендгенски уређаји за контролу пртљага, писмоносних пошиљки, поштанских врећа, ручних торби и малих пакета, великих робних пошиљки итд [5]. У суштини то су све били исти уређаји по типу са малим модификацијама да би били погодни за намењену област контроле. Временом су на тржишту опстајали само неки од тих уређаја док су се други показали као комерцијално неисплативи. Најважнији захтеви рендгенске контроле предмета опште намене је да контрола буде брза да би могао да се прегледа велики број предмета, да буде поуздана да би таквом контролом са сигурношћу испитао садржај сваког предмета од интереса и да буде безбедна односно да омогући заштиту оператора-аналитичара и лица у околини током процеса контроле. Решавајући ове као и друге захтеве рендгенске контроле техничка и конструкциона решења рендгенских уређаја за контролу предмета опште намене су стално унапређивана. Свако такво унапређење рада рендгенских уређаја било да је последица научног односно техничко-технолошког развоја рендгенских уређаја било пратеће опреме било да је последица унапређења организације контроле и увођења нове додатне опреме се класификује као нова генерација рендгенских уређаја. У том смислу сваки произвођач јасно раздваја текућу од предходне генерације рендгенских уређаја [6]. Ако је унапређење уређаја значајно и ако не постоји нека ограничења у његовој примени убрзо га и остали произвођачи прихватају. У зависности од типа уређаја сва ова унапређења се обично примењују и на друге типова рендгенских уређаја, али се ретко примењују на све. Начини поделе и класификације рендгенских уређаја који дају произвођачи се међусобно преклапају, њихово коришћење је временски ограничена и због тога оваква подела није функционална у дужем временско периоду. Слично се догађа са класификацијама рендгенских уређаја по техници рада и по сложености рачунарских система и коришћеног софтвера. У историјском развоју примене рендгенских уређаја у противдиверзионој и антитерористичкој заштити може се у појединим фазама запазити преовлађујућа примена неколико техника рада рендгенских уређаја: континуална, импулсна и скенирајућа.

Техника скенирања [7] је најновија примењена техника која је временом постала доминантна код скоро свих рендгенских уређаја за контролу предмета опште намене. Пошто је примена ове технике директно повезана са дигиталном техником и сложеном рачунарском обрадом података она није могла да обухвати баш све типове рендгенских уређаја, али је несумњиво показала значајне предности и пут којим ће се развијати рендгенски уређаји и системи ове намене. Са друге стране примена скенирајуће технике је смањила релативан утицај снаге извора рендгенског зрачења на његову конструкцију. Она је приближила постојећу разлику коришћених извора зрачења код различитих типова рендгенских уређаја тако да је она постала незнатна и да је подела по тој основи нецелисходна. Уобичајени распони високих напона

рендгенских уређаја за највећи број уређаја рендгенских уређаја за контролу рендгенских уређаја за контролу предмета опште намене се креће у опсегу од 90 до 160 kV [5,8]. Изузетак су специјални системи за контролу великих објеката као што су камиони и контејнери.

Са становишта корисника рендгенских уређаја који служе за рендгенску контролу важне су карактеристике у погледу коришћења уређаја. За противдиверзиону и антитерористичку контролу потребно је имати на располагању мултифункционалну и флексибилну опрему. Рендгенски уређаји у највећој мери испуњавају ове захтеве. Највећи број ових уређаја који се прави за ове намене је преносив. У оквиру преносивих уређаја могу се уочити различите врсте преносивости. Једна врста преносивих уређаја се лако преноси што значи могу да их носе један или два лица и да се превозе у путничком аутомобилу. Код друге врсте уређаја се користе машине за утовар и истовар и превозе се у теретном возилу. Трећа врста уређаја су уграђена у приколицу или возило и са њима се превозе до места употребе. Поред преносивих рендгенских уређаја постоји и стационарна рендгенска опрема. Она се уграђује у одговарајуће контролне или неке друге системе или објекте. Оваква опрема је везана за редовне противдиверзионе прегледе чије су карактеристике сталност места и процедуре контроле. У последње време се покушава и са применом рендгенске контроле људи у сврху откривања предмета који се могу носити сакривени у одећи или испод одеће. Овакви уређаји представљају посебну класу уређаја. Увођење оваквих уређаја у систем противдиверзионе контроле захтева да се изврши општа подела на две групе рендгенских уређаја за наведену контролу: рендгенски уређаји за противдиверзиону контролу предмета опште намене и рендгенски уређаји за противдиверзиону контролу људи.

Класификација рендгенских уређаја који се користе у протвдиверзионој и антитерористичкој заштити би имала следећи изглед:

I Рендгенски уређаји за противдиверзиону контролу предмета и објеката

1. Преносиви рендгенски уређаји
- портабл или ручни рендгенски уређаји
    рендгенски уређаји са континуалном техником
    рендгенски уређаји са импулсном техником
- компактни или самостални рендгенски уређаји
    рендгенски уређаји за контролу писама
    рендгенски уређаји за контролу ручних торби и мањих пакета
    рендгенски уређаји за контролу пртљага

рендгенски уређаји за контролу робе
- мобилни рендгенски уређаји
    рендгенски уређаји уграђени у возило за контролу пртљага
    рендгенски уређаји уграђени у приколицу за контролу пртљага
    рендгенски уређаји уграђени у возило за контролу возила

2. Стационарни рендгенски уређаји
- рендгенски уређаји уграђени у шалтере за регистрацију
- рендгенски уређаји за контролу возила и камиона
- рендгенски уређаји за контролу контејнера
- рендгенски уређаји за контролу поштанских врећа и робе

ЗАКЉУЧАК

За једноставији избор уређаја жељених карактеристика и за одговарајућу примену законских прописа много би помогла класификација свих типова рендгенских уређаја према заједничким општим карактеристикама које опредељују њихове техничке карактеристике, намену и начин коришћења. За израду законских прописа би са тог становишта било важно уједначавање терминологије која се односи на област заштите од X зрачења. Ово је важно због могућности обједињавања неких делова прописа за различите области коришћења, када је посебно важно користити јединствену терминологију или када неки коришћени термин треба да има јединствено значење. У том смислу и предложена класификација рендгенских уређаја пружа могућност јединственог коришћења неких термина док би друге требало подвести под исти садржај са оним терминима који се већ користе у медицини и у дефектоскопији. У последње време су се појавили и рендгенски уређаји за контролу људи, односно за прегледе људи у функцији заштите од могућих диверзантских или терористичких акција. Они захтевају посебну пажњу зато што различити аспекти њихове примене нису у потпуности разјашњени. Ту се пре свега мисли на заштиту од јонизујућих зрачења и на заштиту приватности људи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Big Market Seen for Bomb Detectors, Los Angelos Times, August 15. 1989., p.7
[2] Europe to Screen All Baggage, Jane`s Airport Review, June 1992., p.29
[3] BAA Explains Screening Strategy, Airports International, May 1994., p.18
[4] Security Screening Systems - Airport Applications, Philips, Eindhoven, 1979.
[5] Security Systems, Philips, Eindhoven, 1979.
[6] BAA Explains Screening Strategy, Airports International, May 1994., p.18
[7] H.Linkenbach, K.U.Stein Luggage Control with X-Ray Eyes, Siemens Review, Vol.48, No.6 November/December 1981., (reprint) p.2
[8] In-Vision Technologies Inc. (USA), Installation of an EDS must be well planned to meet the needs of each particular airport, ICAO Journal, December 1995.

ABSTRACT

CLASSIFICATION OF X RAY SECURITY SCREENING SYSTEMS

Z. Vejnović, R. Benderać
Institute of Security, Belgrade

The brief analyses of X ray security screening systems usage were shown and the classification was suggested. The aim of this classification is to help the users to choose the appropriate equipment and enable the more quality education of the personal security and the regulations of radiation protection could be clearly defined.

i. INDEX AUTORA

INDEX AUTORA

Alavantić, D., 119
Anđelić, T., 91, 95, 201, 125
Andruhovič, S. K., 167
Aničin, I., 65
Antanasijević, R., 65
Antović, N., 95, 167
Apostolidis, G., 259
Arsenović, D., 171, 175

Banjanac, R., 65
Bek-Uzarov, Đ., 137
Benderać, R., 395
Berestov, A. V., 167
Beyer, G. J., 239
Bikit, I., 111, 115, 131
Bokonjić, Д., 337
Bolić, M., 179
Bošković, Z., 195, 295, 327

Ciraj, O., 51, 223, 251, 255, 331
Čomor, J. J., 239
Čonkić, Lj., 111, 115, 131
Cora, S., 267
Čuknić, O., 9, 137
Ćurčić, S., 115, 131
Cuttone, G., 303

Davidović, D. M., 171, 175
Davidović, M., 163
Demajo, M., 315
Dobrić, S., 337
Dobrijević, R., 227, 389
Đokić, D., 235
Dragić, A., 65
Dragović, S., 107
Drndarević, V., 179
Đurić, J., 69
Đurović, B., 295, 327

Eremić, M., 81, 87, 143, 379

Fortuna, D., 201
Franceskon, P., 267

Glavičić, V., 195
Gligorov, I., 351
Glišić, V., 299
Grahek, I., 363
Grsić, Z., 73

Hilmanovič, A. M., 167
Hrnjak, M., 345

Ilić, R., 243
Ilić, S., 341
Ilić, Ž., 9, 247, 311, 331
Ivanišević-Milovanović, O., 315
Ivković, Z., 375

Janićijević, A., 29
Janković, S., 355, 359
Janković, D., 235
Javorina, Lj., 81, 87, 143
Jevtić, M., 131
Joković, D., 65
Joksić, G., 277, 307, 311, 331
Jovanović, M. S., 231
Jovašević-Stojanović, M., 73
Jovičić, D., 283, 287, 291, 299, 323

Kasapović, J., 319
Kljajić, R., 15
Knežević, I., 283, 323
Kolarević, G., 375, 379
Korićanac, L., 303
Košutić, D., 223, 247, 251, 255, 341
Kovačević, M., 15, 119, 151, 193, 201, 383
Kovačević, R., 283, 287, 291, 299, 323
Krmar, M., 111, 115, 131, 147, 263, 267
Krstić, R., 287
Krstonošić, P., 147, 263, 267

Lalić, D., 243
Ljubenov, V., 183
Lončar, B., 383
Lučić, R., 137

Maksin, T., 235
Mandić, M, 137, 217
Marcinkevič, B. A., 167
Marić, Z., 47
Marinković, O., 189, 291
Marinković, P., 183

Marković, S., 51, 223, 255
Mašić, Z., 15
Mataušek, M., 25
Matavulj, M., 147, 363
Matović, M., 379
Mc.Laughlin, J., 137
Miederer, M., 239
Milačić, S., 283, 287, 291, 299, 323
Milanović, S., 47, 341
Milić, G., 271
Miljanić, M., 209
Miljković, M., 351
Milošević, N., 259
Milovanović, Z., 337
Milutinović, P., 73
Mirkov, Z., 189
Mirković, D., 295, 327, 379
Mišović, M., 295, 327
Mitrović, R., 15

Nikezić, D., 29, 151, 159
Nikolić, A., 137
Nikolić, D., 267
Nišević, G., 43, 195, 271
Nišević, J., 195

Orlić, M., 9, 231, 235, 239, 389
Osmokrović, P., 383

Pajović, S. B., 319
Paligorić, D., 69
Pantelić, G., 59, 81, 87, 143, 147, 151, 263, 375
Pantić, B., 195
Pavelkić, V., 341
Pavlović, M., 163, 283, 287, 291, 299, 323
Pavlović, R., 25
Pejić, S., 319
Pešić, M., 25
Petković, M., 315
Petrović, I., 81, 303
Plećaš, I., 25, 213
Popović, A., 179
Popović, M., 337

Radenković, M., 69, 99, 103
Radnović, D., 147
Radovanović, S., 311
Raičević, S., 213, 217
Rajačić, I., 283, 291, 323
Rajković, V., 363
Ranisavljević, M., 367
Ristić, A., 303
Ristić, N., 201
Rudić, A., 267
Ruždijić, S., 303

Šipka, V., 69
Slivka, J., 111, 115, 131
Soloviev, D., 239
Spasić Jokić, V., 195, 271
Spasić, M. B., 119
Spasojević-Tišma, V., 331, 341
Stanković, J., 259
Stanković, M., 307, 311
Stanković, S., 107
Stanković, S. (ETF), 355, 359
Stanković, S. J., 193, 383
Stjepanović, N., 209

Tanasković, I., 81, 87, 143, 291
Todorović, A., 319
Todorović, D., 99, 103, 303
Tomanović, S., 295, 327, 379
Trtica, M., 209

Udovičić, V., 65
Urošević, V., 151

Varga, E., 111, 131
Vasić, V., 201
Vejnović, Z., 163, 395
Vesković, M., 111, 115, 131
Vranješ-Đurić, S., 239
Vučić, D., 159
Vučina, J., 227, 389
Vučković, S., 259
Vujčić, M., 303
Vukadin, Z., 137
Vukanić, J., 171, 175
Vukčević, M., 193, 383
Vukotić, P., 91, 95, 125, 167, 201
Vuković, Ž., 39
Vuksanović, Lj., 227
Vuletić, V., 143

Yu, K. N., 159

Zekić, R., 91, 95, 125, 201
Živković, B., 351
Živković, D., 345
Žižić, R., 91, 95, 125
Žunić, Z., 119, 137

SADRŽAJ

A. OPŠTI PROBLEMI
AGENCIJA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA (AZZ) 9
MEĐUNARODNI STANDARDI U OBLASTI ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA 15
ARGUMENTI ZA FORMIRANJE PROGRAMA NUKLEARNI REAKTORI I RADIOAKTIVNI OTPAD . 25
AKTUELNE ICRP I ICRU VELIČINE U RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI OD SPOLJAŠNJEG ZRAČENJA 29
OSVRT NA "PRAVILNIK O GRANICAMA RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE 39
MEDICINSKA FIZIKA I MEDICINSKI FIZIČAR NAUČNA DISCIPLINA I/ILI PROFESIJA 43
PERCEPCIJA RIZIKA U SVETLU REBT TERAPIJE 47
ИЗГРАДЊА ИНФРАСТРУКТУРЕ ЗАШТИТЕ ОД ЗРАЧЕЊА У СР ЈУГОСЛАВИЈИ 51

B. RADIOEKOLOGIJA
ПРИМЕНА ГЕНЕТСКИХ АЛГОРИТАМА У ОДРЕЂИВАЊУ ПАРАМЕТАРА РАДИОЕКОЛОШКИХ МОДЕЛА 59
MIGRACIJA ČESTICA URAN OKSIDA KROZ ZEMLJU 65
ALFASPEKTROMETRIJSKA ANALIZA PROJEKTILA SA OSIROMAŠENIM URANIJUMOM I UZORAKA ZEMLJE 69
PROCENA RASPROSTIRANJA AEROSOLA OSIROMAŠENOG URANIJUMA KROZ ATMOSFERU PRI POGOTKU U TVRDU METU 73
RADIOAKTIVNOST U RADNOJ I ŽIVOTNOJ SREDINI TE KOSTOLAC U PERIODU 1996-2000 81
RADIOAKTIVNOST POVRŠINSKIH I OTPADNIH VODA U OKOLINI TERMOELEKTRANA "NIKOLA TESLA " A I B U PERIODU OD 1990.DO 2000. GODINE 87
PROCJENA AKTIVNOSTI ^{226}RA U NEURAVNOTEŽENIM UZORCIMA 91
AKTIVNOST ^{7}BE U DAGNJAMA 95
DISTRIBUCIJA ^{7}BE U SLOBODNO NATALOŽENOJ PRAŠINI 99
RASPODELA ^{210}PB U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE 103
KONTAMINACIJA JESTIVIH GLJIVA CEZIJUMOM-137 I MOGUĆE RADIJACIONO OPTEREĆENJE STANOVNIŠTVA 107
RADIOAKTIVNOST EKOSISTEMA NOVOG SADA 111
RADIOAKTIVNOST ZEMLJIŠTA U VOJVODINI 115
ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA IZLOŽENOSTI STANOVNIŠTVA RADONU 119
MJERENJA RADONA U PODGORICI 1999. I 2000. GODINE 125
MERENJA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U ZATVORENOM PROSTORU NOVOG SADA I PROCENA ZDRAVSTVENOG RIZIKA 131
ODREĐIVANJE ZONE KOMFORA I KONCENTRACIJE RADONA U ZATVORENIM PROSTORIJAMA REAKTORA 137
SPECIFIČNA AKTIVNOST RADIONUKLIDA U MLEKU I MLEČNIM PROIZVODIMA OD 1995-2000. GODINE U REPUBLICI SRBIJI 143
НЕКЕ МОГУЋНОСТИ БИОМОНИТОРА У РАДИОЕКОЛОШКИМ ИСТРАЖИВАЊИМА 147
PRENOS RADONA KROZ BETON I ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA DIFUZIJE ZA BETONE TIPIČNE ZA SRBIJU 151

C. DOZIMETRIJA I INSTRUMENTACIJA
KOMPJUTERSKI PROGRAM ZA DOZIMETRIJSKI MODEL RESPIRATORNOG TRAKTA 159
ПОДЕШАВАЊЕ ФУНКЦИЈЕ КОЈА ОПИСУЈЕ КИНЕТИКУ МЕШОВИТОГ РЕДА 163
ODREĐIVANJE AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA NA VIŠEDETEKTORSKOM γ-KOINCIDENTNOM SPEKTROMETRU 167
RELATIVNI DOPRINOSI VIŠESTRUKIH SUDARA KOEFICIJENTU REFLEKSIJE X-ZRAKA 171
KOEFICIJENT REFLEKSIJE X-ZRAKA U MODELU JEDNOSTRUKOG SUDARA 175

PRENOSNI MERAČ POVRŠINSKE KONTAMINACIJE 179
PRIMENA MONTE CARLO PROGRAMA MCNP ZA OPTIMIZACIJU DETEKTORSKOG SISTEMA COMPTONOVE GAMA KAMERE 183
PRIMENA ANALIZE KRIVE ISIJANJA TLD U LIČNOJ DOZIMETRIJI 189
JONIZACIONA KOMORA I CT DOZIMETRIJA 193
ODREĐIVANJE SREDNJE GLANDULARNE DOZE KOD MAMOGRAFSKOG PREGLEDA 195

D. DEKONTAMINACIJA I RADIOAKTIVNI OTPAD
DOZIMETRIJSKA ISKUSTVA IZ DEKONTAMINACIJE RTA ARZA OD OSIROMAŠENOG URANIJUMA 201
PRIMENA IMPULSNOG UGLJENDIOKSIDNOG LASERA ZA RADIOLOŠKU DEKONTAMINACIJU BAKARNIH POVRŠINA 209
SELEKCIJA MATRICA ZA IMOBILIZACIJU URANIJUMA:ANALIZA STABILNOSTI PRIRODNIH MATRICA 213
SELEKCIJA MATRICA ZA IMOBILIZACIJU URANIJUMA:ANALIZA STABILNOSTI AUTUNITNIH FAZA 217

E. PRIMENA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U MEDICINI I ZAŠTITA
ZNAČAJ REFERENTNIH NIVOA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI 223
PROIZVODNJA RADIONUKLIDA ZA TERAPIJU U NUKLEARNOM REAKTORU 227
ISPITIVANJE RADIONUKLIDNE ČISTOĆE RADIOFARMACEUTSKIH PREPARATA PREMA ZAHTEVIMA EVROPSKE FARMAKOPEJE 1997 231
MERENJE DISTRIBUCIJE RADIOFARMACEUTIKA U TELU EKSPERIMENTALNIH ŽIVOTINJA... 235
PRIMENA α I β EMITERA U RADIOIMUNOTERAPIJI TUMORA 239
UPOTREBA CT PODATAKA ZA MONTE KARLO SIMULACIJE TRANSPORTA ELEKTRONA I PROTONA U VOKSELIZOVANOJ GEOMETRIJI 243
RADIJACIONI AKCIDENTI PRI KORIŠĆENJU DIJAGNOSTIČKIH RENDGEN APARATA 247
REVITALIZACIJE RENDGEN DIJAGNOSTIČKE OPREME U REPUBLICI SRBIJI 251
IZLOŽENOST OČNIH SOČIVA PROFESIONALNO IZLOŽENIH LICA U INTERVENTNOJ RADIOLOGIJI 255
KALIBRACIJA BRAHITERAPIJSKOG IZVORA ^{192}IR : UTICAJ ATENUACIJE U KATETERU 259
ODREĐIVANJE MAKSIMALNE ENERGIJE ZAKOČNOG ZRAČENJA TERAPIJSKOG SNOPA AKTIVACIONOM TEHNIKOM 263
NOVE MOGUĆNOSTI ATENUACIONE TEHNIKE U ODREĐIVANJU ENERGETSKOG SPEKTRA ZAKOČNOG ZRAČENJA TERAPIJSKIH UREĐAJA 267
ODREĐIVANJE FILTERSKE POLUDEBLJINE ZA 300 KV RADIOTERAPIJSKI RO APARAT 271

F. RADIOBIOLOGIJA I EFEKTI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA
RADIOBIOLOGIJA U ZAŠTITI OD ZRAČENJA 277
BIOLOŠKA DOZIMETRIJA KOD OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆEG ZRAČENJA 283
ISPITIVANJE ZDRAVSTVENOG STANJA STANOVNIŠTVA SA PODRUČJA KOJA SU KONTAMINIRANA URANIJUMOM 287
REZULTATI CILJANOG PREGLEDA UČESNIKA U DEKONTAMINACIJI TERENA KONTAMINIRANOG URANIJUMOM 291
UČESTALOST HROMOZOMSKIH ABERACIJA KOD LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH OTVORENIM I ZATVORENIM IZVORIMA ZRAČENJA 295
SPECIFIČNOSTI ZDRAVSTVENOG STANJA ZDRAVSTVENIH RADNIKA U ZONI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA 299
INHIBICIJA RASTA ĆELIJA HUMANOG MELANOMA PROTONSKIM ZRAČENJEM 303
PROTEKTIVNI EFEKAT CRNOG VINA NA GENOM HUMANIH LIMFOCITA OZRAČENIH *IN VITRO* 307
RADIOSENZITIVNOST LIMFOCITA PROFESIONALNO IZLOŽENIH LICA 311
DENSITY OF RAT LOWER JAW BONE IN FULL DENTAL OCCLUSION AFTER IRRADIATION WITH X-RAYS 315
EFEKAT γ-ZRAČENJA NA AKTIVNOST SUPEROKSID DISMUTAZA I KATALAZE U HIPOKAMPUSU PACOVA 319
UČESTALOST MIKRONUKLEUSA (MN) KOD LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH RADIONUKLIDIMA 323
BIOLOŠKE METODE U DETEKCIJI KLASTOGENIH EFEKATA U LICA PROFESIONALNO EKSPONIRANIH DEJSTVU RADIONUKLIDA 327

BIOLOŠKI ODZIV ORGANIZMA PROFESIONALNO IZLOŽENOG NISKIM DOZAMA X–ZRAČENJA 331
UTICAJ GLADOVANJA U POSTRADIJACIONOM PERIODU NA ISPOLJAVANJE ŠTETNIH EFEKATA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA KOD PACOVA 337
ZDRAVSTVENO STANJE MEDICINSKIH RADNIKA U OPERACIONOJ SALI 341

G. NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA
METODA ZA ODREĐIVANJE OPTIČKE GUSTINE LASERSKIH ZAŠTITNIH NAOČARA 345
HIPERFUNKCIJA ŠTITNE ŽLEZDE KAO POSLEDICA PRIMENE SOFT LASERSKOG ZRAČENJA U MEDICINI I STOMATOLOGIJI 351
KARAKTERISTIKE INSTRUMENTACIJE ZA RADIOMETRIJU ULTRAVIOLETNOG ZRAČENJA 355
ODREĐIVANJE REFLEKSIVNOSTI RAZLIČITIH PODLOGA ZA UV-A ZRAČENJE 359
UTICAJ DUGOTRAJNOG IZLAGANJA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA EKSTREMNO NISKE FREKFENCIJE NA MASTOCITE TIREOIDNE ŽLEZDE PACOVA 363
VARIJACIJA NIVOA ELEKTROMAGNETSKOG POLJA U OKOLINI MONITORA VIEW SONIC E651-3 367

H. PRIMENA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA U NEKIM DELATNOSTIMA
DOZIMETRIJSKA KONTROLA GRANATA PGU-14/B API SA PENETRATOROM OD OSIROMAŠENOG URANIJUMA 375
DOZIMETRIJSKA MERENJA AVIO MOTORA WIPER MK 632-41 I 632-46 379
PROMENE GUSTINE FLUKSA TERMIČKIH NEUTRONA NA DUŽINI BF_3 JONIZACIONE KOMORE UZ ZID SUDA NUKLEARNOG REAKTORA “RB” 383
ZAŠTITA OD ZRAČENJA PRI RADIOGRAFSKOJ KONTROLI SA IZVORIMA ^{192}IR I ^{75}SE 389
КЛАСИФИКАЦИЈА РЕНДГЕНСКИХ УРЕЂАЈА НАМЕЊЕНИХ ЗА ПРОТИВДИВЕРЗИОНУ И АНТИТЕРОРИСТИЧКУ КОНТРОЛУ 395

I. INDEX AUTORA 401